

# استفاده از نانو کامپوزیت‌های نقره، اکسید روی و دی اکسید تیتانیوم در بسته‌بندی جهت حفاظت مواد غذایی در برابر میکروارگانیسم‌ها

فریدالدین محمدیان<sup>۱\*</sup>، مریم عجم<sup>۲</sup>، مینا سعیدیان<sup>۳</sup>

تاریخ دریافت مقاله: آذر ماه ۱۳۹۱

تاریخ پذیرش مقاله: دی ماه ۱۳۹۱

## چکیده

از جمله موضوعاتی که اخیراً مورد توجه قرار گرفته استفاده از نانوذرات در بسته‌بندی‌های مواد غذایی می‌باشد، زیرا اغلب موادی که برای بسته‌بندی مواد غذایی به کار می‌روند، دارای معایبی از قبیل غیر قابل تجزیه بودن در محیط زیست، مقاومت و استحکام پایین و نفوذپذیر بودن در مقابل اکسیژن می‌باشند که استفاده از آن‌ها را محدود کرده است. استفاده از کامپوزیت‌های<sup>۴</sup> نانو در بسته‌بندی مواد غذایی منجر به طولانی‌تر شدن مدت ماندگاری ماده غذایی و همچنین ممانعت از شیوع بیماری‌های ناشی از مواد غذایی می‌شود، چرا که فناوری نانو با جا به جا کردن سطح پوشش مواد، می‌تواند تقریباً از ورود هر میکروارگانیسمی<sup>۵</sup> به ماده غذایی جلوگیری کند. استفاده از نانو ذرات نقره در بسته‌بندی مواد غذایی دارای توان بالای میکروبی‌زدایی می‌باشد و مدت ماندگاری ماده غذایی را دو تا سه برابر افزایش می‌دهد. امروزه از ترکیب دی اکسید تیتانیوم<sup>۶</sup> و اکسید روی در سطح وسیع به صورت نانو ذره در ساختار بسته‌بندی مواد غذایی استفاده می‌شود. دی اکسید تیتانیوم ماده‌ای ارزان

قیمت با بازده بالا می‌باشد. همچنین دی اکسید تیتانیوم و اکسید روی سبب حفظ حداکثر مواد مغذی، تازگی و کاهش بار میکروبی در ماده غذایی بسته‌بندی شده می‌گردند.

## واژه‌های کلیدی

نقره، اکسید روی، دی اکسید تیتانیوم، بسته‌بندی و میکروارگانیسم.

## ۱- مقدمه

فناوری نانو به عنوان انقلاب آینده در بسیاری از صنایع از جمله فرآوری و بسته‌بندی مواد غذایی تبلیغ شده است (۵). بسته‌بندی یکی از مسائل اساسی در زمینه ایمنی غذا است. از این رو، تولید بسته‌بندی‌هایی با کارایی وسیع و مؤثر در برابر انواع میکروارگانیسم‌ها به وسیله فناوری نانو، مورد توجه پژوهشگران قرار گرفته است (۷). استفاده از دانش نانو می‌تواند سبب بهبود کیفیت و کارایی مواد بسته‌بندی و در نتیجه اطمینان از امنیت غذایی گردد (۱۰). از مهم‌ترین ویژگی‌های ضد میکروبی پوشش‌های نانو کاربرد آن‌ها در صنایع بسته‌بندی می‌باشد (۱). بسته‌بندی‌های نانو کمپوزیتی می‌توانند هوشمندانه به شرایط محیطی (دما و رطوبت) پاسخ دهند و یا مصرف‌کننده را از فساد مواد غذایی و یا حضور مواد سمی آگاه سازند. برخی از نانو مواد می‌توانند ویژگی‌های نفوذ پذیری مواد بسته‌بندی را تغییر داده، سبب بهبود ویژگی

۱- دانشجوی کارشناسی ناپیوسته علوم و صنایع غذایی، مؤسسه آموزش عالی رودکی، تنکابن

(\*) نویسنده مسئول: mohammadian\_f@ymail.com

۲ و ۳- دانشجوی کارشناسی ارشد علوم و صنایع غذایی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد دامغان

4- Composite

5- Microorganisms

6- Carbon dioxide titanium

طبق تحقیقات اخیر، نانو  $TiO_2$  ویروس‌هایی از جمله: پالیو وایروس وان، هپتاتیس بی وایروس، هرپس سیمپلکس وایروس و مس تو باکتیروفگ<sup>۶</sup> را از بین می‌برد. مقدار دی اکسید تیتانیوم مورد نیاز جهت از بین بردن ویروس‌ها و باکتری بین ۱۰۰ تا ۱۰۰۰ ppm است که به اندازه‌ی ذرات، شدت و طول موج نور به کار رفته، بستگی دارد(۲).

دی اکسید تیتانیوم فوتوکاتالیز<sup>۷</sup> که باعث افزایش پراکسیداسیون فسفولیپیدهای<sup>۸</sup> غیر اشباع سلول میکروبی می‌شود، برای غیر فعال کردن باکتری‌های پاتوژن<sup>۹</sup> مواد غذایی استفاده می‌شوند(۲۰).

گال اور<sup>۱۰</sup> و همکاران(۲۰۰۶) اثر دی اکسید تیتانیوم در فیلم‌های پوشش داده شده در معرض نور خورشید را برای غیر فعال کردن کلی فرم‌های مدفوعی در آب نشان دادند(۲۱).

بنابراین قرار دادن محصولات در بسته‌بندی‌های نانو، از آلوده شدن آن‌ها با عوامل میکروبی جلوگیری می‌نماید. امروزه یکی از عمده‌ترین زمینه‌های تمرکز بخش‌های توسعه و تحقیق شرکت‌های نانو فناوری، در زمینه صنایع غذایی است(۷).

بنابراین در تحقیق حاضر به بررسی نقش نانوکامپوزیت‌های نقره، اکسید روی و دی اکسید تیتانیوم در بسته‌بندی جهت حفاظت ماده غذایی در برابر میکروارگانیسم‌ها پرداخته می‌شود.

های مکانیکی، شیمیایی، حرارتی و میکروبی شوند(۱۰). بسته‌بندی‌های فعال ضد میکروب نانو کامپوزیت‌های فلزی، نسل جدیدی از بسته‌بندی‌ها با ساختار نانو هستند که از ترکیب مستقیم نانوذرات فلزی با پلیمر زمینه تولید می‌شوند(۱۴).

نقره، ذاتاً خاصیت آنتی باکتریال<sup>۱</sup>، ضد کپک و ضد قارچ دارد. میزان رشد باکتری‌ها ۲۴ درصد هنگام ساعت اولیه در ظروف جدیدی که دارای نانو ذرات نقره هستند نسبت به ظروف معمولی ۹۸ درصد کاهش می‌یابد. جهت حفظ بیش‌تر ارزش ماده غذایی به همراه بو و مزه‌ی آن و کاهش سرعت فساد ماد غذایی از پوششی با پایه‌ی پلیمری که نسبت به هوا و بو غیر قابل نفوذ است، استفاده می‌شود. میانگین قطر نانو ذرات نقره در حدود ۲۰-۱۰ نانومتر است(۲). در بین نانو ذرات، اکسید روی ( $ZnO$ ) و اکسید تیتانیوم ( $TiO_2$ ) جزو نانو ذرات مهم هستند که در بسیاری از کشورها در مقیاس صنعتی مصرف می‌شوند(۱۱). خاصیت ضد میکروبی ترکیبات نقره و اکسید روی از گذشته بسیار دور شناخته شده و کاربردهای فراوانی در ضد عفونی کردن وسایل پزشکی، تصفیه آن، بهبود زخم‌ها، کرم‌ها، لوسیون‌ها<sup>۲</sup> و پمادهای ضد باکتری دارند(۱۳).

با توجه به مطالعات اخیر مبنی بر اینکه نانو مواد سولفیدی<sup>۳</sup> و اکسید فلزات دارای خواص آنتی باکتریایی بسیار خوبی هستند بنابراین عوامل آنتی باکتریایی که شامل این نانو مواد باشند می‌توانند دارای خاصیت ضد میکروبی بسیار مؤثری باشند(۱۲).

دی اکسید تیتانیوم ( $TiO_2$ )، پرکاربردترین فوتوکاتالیزور<sup>۴</sup> است که با تشعشع<sup>۵</sup> UV-A فعال شده، خواص فوتوکاتالیزوری آن در کاربردهای مختلف محیطی نمود پیدا می‌کند تا آلوده‌کننده‌ها را از آب و هوا حذف نماید(۲).  $TiO_2$  می‌تواند باکتری گرم مثبت و گرم منفی را بکشد.

6- Poliovirus 1 ،Hepatitis B Virus ،Herpes Simplex Virus و Ms2 Bacteriophage

7- Photocatalysis

8- Phospholipids

9- Pathogen

10- Gal over

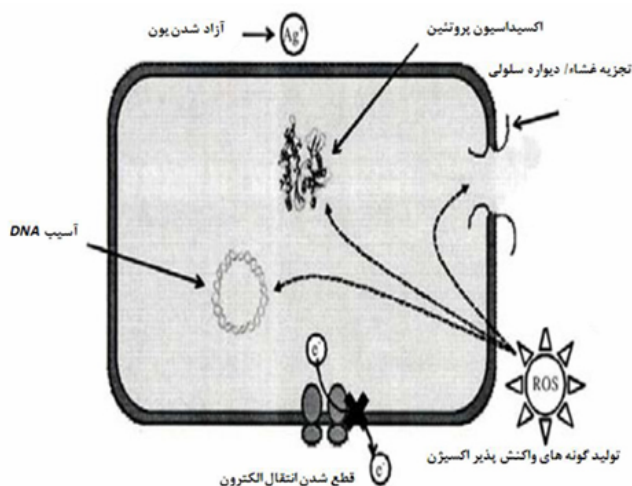
1- Anti bacteria

2- Lotion

3- Sulphyd

4- Photo catalyst

5- Radiation



شکل ۱- مکانیسم ضد میکروبی نقره

مقابل واکنش‌های اکسایش<sup>۴</sup> ایفا می‌کنند؛ اما یون‌های نقره طی واکنش جانشینی باندهای<sup>۵</sup> sh- در جدار باکتری را به<sup>۶</sup> Ags- تبدیل و در نتیجه سبب از بین رفتن باکتری می‌شوند (شکل ۱).

دیواره سلولی باکتری حاوی مقدار زیادی بار منفی است (۳) و تجزیه نانو ذرات نقره باعث انتشار یون‌های نقره با بار مثبت ضد میکروبی می‌شود. به طور کلی، ذرات کمتر از ۱۰ نانومتر برای باکتری‌هایی نظیر اشرشیاکلی<sup>۷</sup> و سودوموناس<sup>۸</sup> آئروژینوزا<sup>۹</sup> سمی می‌باشند (۸).

زمانی که این باکتری در مجاورت بافتی که حاوی نقره بوده قرار می‌گیرد یون‌های با بار مثبت نقره جذب بار منفی دیواره باکتری شده و در نهایت موجب از بین رفتن باکتری می‌شوند (۳).

## ۲-۲-۱- توکسیولوژی<sup>۱۰</sup> نقره

شکل سمی نقره، به شکل آلرژیک<sup>۱۱</sup> مشاهده می‌شود ولی هیچ گزارش منظمی از آلرژیک نقره وجود ندارد. در

## ۲- مکانیسم عملکرد کامپوزیت‌های نقره و نانو اکسیدهای فلزی در برابر میکروارگانیسم‌ها

### ۲-۱- مکانیسم ذرات نقره در برابر میکروارگانیسم‌ها

اثر کشندگی نانو ذرات نقره را می‌توان به صورت زیر در نظر گرفت:

ذرات نقره به سطح غشاء سلول می‌چسبند و کارهای معمولی سلول نظیر: تنفس و انتقال مواد را مختل می‌کنند. این نظریه ناشی از بازده بالای نانو ذرات ریزتر است، زیرا با افزایش سطح ذرات، میزان چسبندگی به سطح سلول‌ها زیاد شده و در نتیجه راندمان میکروب‌کشی نیز افزایش می‌یابد (۴).

نانو ذرات نقره، مولکول‌های لیپوپلی ساکارید<sup>۱</sup> را تجزیه نموده سپس وارد سلول و سبب افزایش شدید نفوذپذیری غشاء می‌شوند (۸). با ورود یون‌های نقره به داخل سلول و اتصال به<sup>۲</sup> DNA، باکتری مانع عمل مکمل سازی DNA شده و در نتیجه هیچ گونه تکثیری صورت نمی‌گیرد. پیوندهای دی سولفیدی<sup>۳</sup> (S-S) نقش محافظتی را برای باکتری‌ها در

- 4- Oxidation
- 5- SH-bond
- 6- Ags<sub>2</sub>
- 7- Escherichia coli
- 8- Seudomonas
- 9- Aeruginosa
- 10- Toxicology
- 11- Allergies

- 1- Lipo polysaccharide
- 2- Deoxyribonucleic acid
- 3- Desulfhyd

کاتالیزورهای قدرتمندی در ابعاد نانو متری تولید کرد. این نانوکاتالیزورها، راندمان واکنش‌های شیمیایی را به شدت افزایش داده و هم چنین به میزان چشمگیری از تولید مواد زاید در واکنش‌ها جلوگیری خواهند کرد (۱۷).

در پژوهش‌هایی که تاکنون انجام شده به خواص ضد سرطانی و ضد باکتریایی کاتالیست‌های<sup>۸</sup> نوری نانومواد از جمله تیتانیوم اشاره شده است. تحقیقاتی که بر روی اثر نانو ماده دی اکسید تیتانیوم (TiO<sub>2</sub>) بر روی باکتری‌ها شده است نشان می‌دهد که پیوند محکم نانوذرات به لایه خارجی اشرفیاکلی و استافیلوکوکوس اورئوس<sup>۹</sup> موجب مهار فعالیت انتقالی، مهار دهیدروژناسیون<sup>۱۰</sup>، مهار آنزیم‌های پری پلاسمیک<sup>۱۱</sup> (آنزیم‌های موجود در فضای بین غشای پلاسمایی و دیواره سلولی باکتری) و لیز شدن سلول باکتری در محیط کشت اشرفیاکلی و استافیلوکوکوس اورئوس و سرانجام مهار DNA و RNA<sup>۱۲</sup> و مهار سنتز<sup>۱۳</sup> پروتئین می‌شود (۹). نانو ذرات دی اکسید تیتانیوم در ابتدا موجب پراکسیداسیون ترکیبات چند حلقه‌ای غشاء لیپیدی باکتری‌های اشرفیاکلی و استافیلوکوکوس اورئوس و نیز باعث کاهش یکپارچگی غشاء می‌شود و در نتیجه فعالیت‌های اساسی یک سلول سالم از جمله فعالیت‌های تنفسی از بین رفته و سلول می‌میرد (۹). عمل آهسته‌تر اکسید روی بر روی باکتری و حساسیت‌های متفاوت اکسید روی در مقایسه با اکسیدهای فلزات قلیایی، نشان می‌دهد که نحوه عمل اکسید روی، ممکن است متفاوت از اکسیدهای فلزات قلیایی باشد. اکسید روی نیمه رسانا است. اکسیدهای نیمه رسانا، کریستال‌های<sup>۱۴</sup> یونی دارند و به‌عنوان گونه‌های n یا p نیمه رساناها طبقه‌بندی می‌شوند. اکسید روی، گونه n است، همان طور در واکنش (۱) مشاهده می‌شود. یکی از

اغلب مطالعات، به غیر سمی بودن نانو ذرات اشاره گردیده است (۱۹). حسین و همکاران (۲۰۰۵) سمی بودن اندازه‌های مختلف نانو ذرات نقره را روی سلول کبد موش مطالعه کردند و نتایج آن‌ها حاکی از آن بود که سلول‌های میتوکندری<sup>۱</sup> بعد از قرار گرفتن در معرض ذرات نقره در حدود ۲۴ ساعت، به اندازه و انقباض غیر طبیعی و شکل نامنظم تبدیل شدند (۱۸).

## ۲-۲- مکانیسم نانو اکسیدهای فلزی

مکانیسم ضد میکروبی نانوذرات فلزی حاصل از این فلزات هنوز دقیقاً مشخص نیست. بر اساس مطالعات محققان، این مکانیسم ممکن است به صورت القای تنش اکسیداتیو<sup>۲</sup> به غشای سلول میکروبی به دلیل آزادسازی گونه‌های اکسیژن فعال<sup>۳</sup> (ROS) یا آزادسازی یون از سطح ذره و اتصال به غشای سلول و انهدام آن باشد (۹).

ماخولوف<sup>۴</sup> پیشنهاد کرد که یون‌های سوپراکسید فعال تولید شده در سطح می‌تواند با حلقه‌های زنجیر پپتید<sup>۵</sup> درون دیواره سلولی باکتری واکنش داده و باعث از هم گسیختگی آن‌ها شود (۱۶). به طور کلی در مورد مکانیسم‌های احتمالی واکنش و فعل و انفعالات نانو مواد با ماکرومولکول‌های بیولوژیکی<sup>۶</sup>، اعتقاد بر این است که نانو مواد یون‌هایی را آزاد می‌کنند که با گروه تیول<sup>۷</sup> (SH-) پروتئین‌های موجود بر سطح سلول باکتری‌ها واکنش می‌دهند. این قبیل پروتئین‌ها از غشاء سلولی باکتری به سمت بیرون برآمدگی داشته و موجب انتقال مواد غذایی از دیواره سلول می‌شوند. نانو مواد این پروتئین‌ها را غیر فعال کرده، نفوذ پذیری غشاء را کاهش داده و سرانجام باعث مرگ سلولی می‌شود (۶).

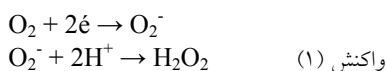
یکی از خواص نانوذرات، نسبت سطح به حجم بالای این مواد است. با استفاده از این خاصیت، می‌توان

- 8- Catalyzed
- 9- Aureus
- 10- Dehydrogenation
- 11- Priplasmic
- 12- Ribo nucleic acid
- 13- Synthetic
- 14- Crystall

فصلنامه علمی-ترویجی علوم و فنون  
**بسته‌بندی**

- 1- Mitochondria
- 2- Oxidative
- 3- Active
- 4- Makhluft
- 5- Peptid
- 6- Macro molecular biologi
- 7- Thiol

ویژگی‌های این اکسیدها این است که اکسیژن، الکترون<sup>۱</sup> جذب می‌کند و تبدیل به اکسیژن برانگیخته O<sub>2</sub><sup>-</sup> می‌شود و متعاقباً هیدروژن پر اکسید<sup>۲</sup> تشکیل می‌شود.



پذیرفتنی است که این گونه‌های اکسیژن فعال با سطح دیواره آنزیم‌ها واکنش داده و آن‌ها را غیرفعال می‌سازد. در تعامل اکسید روی با باکتری، الکترون‌های آزاد نیز ممکن است، شرکت کنند که در نهایت سبب دناتوره شدن<sup>۳</sup> پروتئین‌های سطح سلول و غیر فعال شدن سلول شود؛ اما سائی<sup>۴</sup> پیشنهاد کرد که تولید هیدروژن پر اکسید، مکانیسم اصلی فعالیت ضد میکروبی آن است (۱۵).

### ۳- کاربرد عملی نانو ذرات نقره

ظروف جدیدی که دارای نانو ذرات نقره هستند ذاتاً خاصیت ضد میکروبی در این فرآیند می‌توان از مواد نانو نقره به صورت یک افزودنی در فرآیند فیلم‌ها و ظروف بسته‌بندی با اندازه مناسب استفاده کرد. با اجرای این طرح ظروف و فیلم‌های تهیه شده مواد غذایی وابسته را تا چهار برابر تازه‌تر نسبت به حالت معمولی نگه می‌دارند. همچنین این ظروف قادر هستند میوه‌ها، سبزیجات، نان و گوشت را برای مدت طولانی بدون تغییر در رنگ، مزه و خواص غذایی نگه‌داری کنند (۳).

### ۴- نتیجه گیری

دانش نانو به عنوان یک فناوری نوین امکانات بالقوه‌ای را برای بهبود کیفیت و امنیت غذا فراهم آورده است. بیشترین کاربرد فناوری نانو در زمینه بسته‌بندی و تشخیص عوامل بیماری‌زای غذایی می‌باشد. این دانش سبب ایجاد تحولی عظیم در صنایع بسته‌بندی به دلیل اصلاح ساختار مواد در سطح مولکولی شده است و هم اکنون امکان تولید

- 1- Electron
- 2- Hydrogen proxide
- 3- Denatured
- 4- Sawai

صنعتی آن‌ها فراهم می‌باشد. در صورت استفاده از ذرات نانو در ظروف بسته‌بندی یک یا چند لایه، (به خصوص نانو ذرات نقره به علت غیر قابل نفوذ بودن به اکسیژن و رطوبت) می‌تواند از رشد باکتری‌ها و کپک‌ها در بسته‌بندی ماده غذایی جلوگیری کند و نیز سبب کاهش ضایعات حاصل از فعالیت میکروارگانیسم‌ها شود. همچنین استفاده از نانو کامپوزیت‌های روی و دی اکسید تیتانیوم در بسته‌بندی مواد غذایی می‌تواند تأثیر قابل توجهی در کنترل آلودگی و افزایش زمان ماندگاری بدون ایجاد تغییرات ظاهری و فیزیکی در محصول را داشته باشند.

### ۵- منابع

۱. فروغی. س، دباغ مقدم، آ، اهری، ح، اکبرین، ح، انوار. س، آ، آقازاده مشکئی، م، قنبری سقرلون، "بررسی افزایش عمر ماندگاری فرآورده‌های غذایی با فناوری پوشش‌های نانو"، مجله علمی پژوهشی دانشگاه علوم پزشکی ارتش جمهوری اسلامی ایران، شماره ۲، ص ۸۶-۸۱، ۱۳۹۰.
۲. بینش، م، مرتضوی، س.ع، آرمین، م، مرادی، م، "بررسی تأثیر استفاده از نانو کامپوزیت نقره و دی اکسید تیتانیوم در بسته‌بندی مورد استفاده در نگه‌داری خرماي مضافتی بر تغییرات میکروبی آن طی دوره‌ی انبارداری"، مجله‌ی علوم و فناوری غذایی، شماره ۴۶، ص: ۸-۱، ۱۳۸۹.
۳. میرزایی، ح، حسین نژاد، م، "کاربرد بسته‌بندی نانو و نانو سیلور در صنایع غذایی"، مجله بسته‌بندی، شماره ۶۳، ص: ۵۲-۴۹، ۱۳۸۹.
4. B. S. Sondi, J. Sondi, Colloid, "Interface". Sci. 275-177. 2004.
5. C, Chau, S Wu, G Yen, "The development of regulations for food nanotechnology". Biological sciences, Miscellaneous papers trends in food science technology, 5: 269-280. 2007.

- Castle, "Applications and implications of nanotechnologies for the food sector". Food addit contam, 25:241-58. 2008.
15. SH. Lu, L. Xing, B. Hou, H. Ge, X. Guo, Z. Tang, "Inorganic nano mental oxides used as anti-microorganism agents for pathogen control". Thechnology and education topic in applied microbiology and microbial Biotechnology, 361-368. 2010.
16. S. Makhluif, R. Dror, Y. Nitzan, et al, "Microwave-assisted synthesis of nanocrystalline MgO and its use as bactericide". Advanced functional materials, 15:1708-1715. 2005.
17. T. Joseph, M. Morrison, Nanotechnology in agriculture and food, A nanoforum report, May 5, www.nanoforum.org. 2006.
18. J. Weiss, P. Takhistov, D.J. "McClements". Journal of food science, 9:107-116. 2006.
19. C. Roberts, N. Ivins, A. Widgerow, "Acticoat and allewyn ag". wounds international; 2(2): Available from <http://www.woundinternational.com>. 2011.
20. P. C. Maness, S. Smolinski, D. Blake, Z. Huang, E. J. Wolfrum, & W. A. Jacoby, Bactericidal activity of photocatalytic TiO<sub>2</sub> reaction: toward an understanding of its killing mechanism, Applied and environmental microbiology, 65(9), 4094-4098, 1999.
21. S. Gelover, L. A. Gómez, K. Reyes, & M. T. Leal, A practical demonstration of water disinfection using TiO<sub>2</sub> films and sunlight, Water research, 40:3274-3280, 2006.
6. GD. Sadler, ME. Parish, L. Wicker, "Microbial, enzymatic and chemical chalenges during storage of fresh and processed orange juice". J Food Sci, 57:1187-92. 1992.
7. G.H. Asadi, S.E. Hosseini, A.D. Mogadam, "Nanotechnology and the future of food science". Congress of innovation in traditional foods(Intrad food) congress proceedings, Universidad politecnica devaencla, Valencia, Spain: 1471-1474. 2005.
8. J. R. Morones, J. L. Elechiguerra, A. Camacho, K. Holt, J. B. Kouri, J. T. Ramirez, M. J. Yacaman, "The bactericidal effect of silver nano particles". Nanotechnology 16 (10): 2346-2353. 2005.
9. J. Sawai, T. Yoshikawa, "Quantitative evaluation of antifungal activity of metallic oxide powders (MgO, CaO and ZnO) by an indirect conductimetric assay". J Appl Microbiol, 96:803-9. 2004.
10. J. Weiss, P. Takhistov, D. J. McClements, "Functional materials in food Nanotechnology". Journal of food science, Vol.71, No.9, (Nov-Dec 2006), pp. 107-116, ISSN, 1750-3841. 2006.
11. M. Heinlaan, A. Ivask, I. Blinova, HC. Dubourguier, A. Kahru, "Toxicity of nanosized and bulk ZnO, CuO and TiO<sub>2</sub> to bacteria vibrio fischeri and crustaceans daphnia magna and thamnocephalus platyurus". Chemosphere, 71(7): 1308-16. 2008.
12. M. Pin-ching, S. Smolinski, DM. Blake, Zh. Huang, WA. Wolfrum, Jacoby, et al, "Bactericidal activity of photocatalytic TiO<sub>2</sub> reaction: toward an understanding of its killing mechanism". App Enviro micro, 65(9): 4094-98. 1999.
13. P. Gajjar, B. Pettee, DW. Britt, W. Huang, W. Johnson, AJ. Anderson, "Antimicrobial activities of commercial nanoparticles against an environmental soil microbe, Pseudomonas putida KT2440". 3(9): 1183-8. 2009.
14. Q. Chaudhry, M. Scotte, J. Blackburn, B. Ross, A. Boxall, L.

### آدرس نویسنده

استان گلستان - شهرستان کاله - خیابان امام حسین(ع) - روبروی کوچه امام حسین ۱۱ - پلاک ۲۴۴.