

## اثر نانو ذرات اکسید روی بر رشد باکتری های باسیلوس سوبتیلیس و اثرشیاکلی O157:H7

حکیمه اسماعیل زاده<sup>a\*</sup>، پروانه سنگ پور<sup>b</sup>، رامین خاکسار<sup>c</sup>، فرزانه شهرآز<sup>d</sup>

<sup>a</sup>دانشجوی کارشناسی ارشد دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، دانشکده علوم تغذیه و صنایع غذایی، گروه علوم و صنایع غذایی،

تهران، ایران

<sup>b</sup>استادیار پژوهشگاه مواد و انرژی، پژوهشکده فناوری نانو و مواد پیشرفته، کرج، ایران

<sup>c</sup>دانشیار دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، دانشکده علوم تغذیه و صنایع غذایی، گروه علوم و صنایع غذایی، تهران، ایران

<sup>d</sup>کارشناس دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، دانشکده علوم تغذیه و صنایع غذایی، گروه علوم و صنایع غذایی، تهران، ایران

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۲/۸/۲۶

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۲/۷/۳

۲۱

### چکیده

**مقدمه:** اثر ضد میکروبی نانوذرات فلزی از جمله نانوذرات اکسید روی طی سال‌های اخیر مورد توجه زیادی قرار گرفته است. اثر ضد میکروبی قابل توجه و قیمت پایین نانوذرات اکسید روی موجب شده است تا امکان بکارگیری آن‌ها در صنعت غذا جهت کاهش رشد باکتری‌های موجود در مواد غذایی وجود داشته باشد. در مطالعه حاضر تأثیر نانوذرات اکسید روی بر رشد باسیلوس سوبتیلیس و اثرشیاکلی O157:H7 که از جمله باکتری‌های مهم موجود در مواد غذایی هستند، بررسی شده است.

**مواد و روش‌ها:** نانوذرات اکسید روی به روش نمک مذاب سنتز شدند. ویژگی‌های آنها به کمک پراش اشعه ایکس و میکروسکوپ الکترونی روبشی تعیین شد. باکتری‌های باسیلوس سوبتیلیس و اثرشیاکلی O157:H7 به مدت ۱۸ ساعت در معرض محیط کشت مایع حاوی دو غلظت ۲٪ و ۴٪ از این نانوذرات قرار گرفتند. سپس منحنی رشد آنها رسم شد.

**یافته‌ها:** هر دو غلظت ۲٪ و ۴٪ از نانوذرات اکسید روی به طور معنی داری سبب کاهش رشد باکتری اثرشیاکلی O157:H7 شد (به ترتیب  $p = 0/001$  و  $p < 0/001$ ). با این حال در مورد باکتری باسیلوس سوبتیلیس فقط غلظت ۴٪ نانوذرات موجب کاهش معنی‌دار ( $p < 0/001$ ) شمار باکتری شد و در غلظت ۲٪ این نانوذرات تغییر معنی‌داری در تعداد باکتری باسیلوس سوبتیلیس مشاهده نشد ( $p < 0/537$ ).

**نتیجه‌گیری:** با توجه به نتیجه مطالعه حاضر نانوذرات اکسیدروی می‌توانند موجب کاهش معنی داری در تعداد هر دو باکتری شوند. به نظر می‌رسد این نانوذرات روی باکتری‌های گرم منفی تأثیر بیشتری داشته باشند.

**واژه‌های کلیدی:** اثرشیاکلی O157:H7، اکسید روی، باسیلوس سوبتیلیس، ضد میکروبی، نانوذره

## مقدمه

در سال‌های اخیر تمایل به مصرف غذاهای تازه با حداقل فراوری افزایش یافته است، از طرفی جهانی شدن تجارت غذا و حمل غذا در مسافت‌های طولانی تا رسیدن به دست مصرف کننده چالش‌های بزرگی را متوجه ایمنی و کیفیت غذا کرده و در نتیجه فشار روز افزونی جهت یافتن روش‌های جدید برای حفظ ایمنی میکروبی غذاها به وجود آمده است. پیشرفت‌های اخیر در زمینه نانوتکنولوژی به ویژه توانایی ساخت نانوذرات در شکل‌ها و سایزهای مختلف منجر به ایجاد دسته‌ی وسیعی از عوامل ضد میکروبی شده است. مواد در ابعاد نانو نسبت سطح به حجم بیشتری در مقایسه با ذرات بزرگتر با همان ترکیب شیمیایی دارند و همین امر موجب می‌شود تا از نظر بیولوژیکی فعال تر باشند (Chau et al., 2007). صنعت مواد غذایی به ویژه در بخش بسته‌بندی می‌تواند بهترین بازار برای جلب ترکیبات تولید شده به وسیله‌ی علم نوظهور نانوتکنولوژی باشد. ترکیبات ضد میکروبی غیر آلی به ویژه فلزات و اکسید آنها به دلیل توانایی تحمل شرایط سخت فراوری از جمله دما و فشار بالا، مورد توجه بسیاری از محققان قرار گرفته‌اند (Zhang et al., 2007). روی فلزی است که پراکندگی فراوانی در طبیعت داشته و برای عملکرد بسیاری از متالوپروتئین‌ها ضروری است. نانوذرات اکسید روی دارای اثرات ضد میکروبی بوده و نسبت به نانوذرات نقره مزایایی دارند، از جمله این مزیت‌ها می‌توان به قیمت پایین‌تر، ظاهر سفید رنگ و توانایی بلوکه کردن اشعه فرابنفش اشعه کرد (Llorens et al., 2012). اثر ضد میکروبی نانوذرات اکسید روی علیه دسته وسیعی از باکتری‌های گرم مثبت و گرم منفی هم چون استافیلوکوکوس اورئوس، انتروکوکوس فکالیس، سالمونلا تایفی موریوم و انتروباکتر آئروژنز بررسی شده و به اثبات رسیده است (Krishna R Raghupathi, 2011). روش‌های مختلفی مثل روش نمک مذاب، روش شیمیایی مرطوب، روش سل-ژل و ... برای سنتز نانوذرات فلزی از جمله نانوذرات اکسید روی وجود دارد. روش در این میان روش نمک مذاب از بازده خوبی برخوردار بوده و می‌توان از آن جهت تولید نانوذرات در مقیاس بالا، بهره گرفت. در

روش نمک مذاب مخلوط واکنشگرها و نمک در بالای نقطه ذوب نمک حرارت داده می‌شوند. نمک ذوب شده به عنوان یک حلال عمل کرده و ذرات محصول شکل می‌گیرند. ویژگی‌های محصول حاصل از واکنش به وسیله‌ی انتخاب دما و زمان حرارت دهی قابل کنترل است. مخلوط واکنش تا دمای اتاق خنک شده و سپس شستشو به وسیله‌ی یک حلال که معمولاً آب است صورت می‌گیرد تا نمک از محیط حذف شده و نانوذرات به دست آیند (Kimura, 2011). براساس جستجوهای ما، تاکنون اثر ضد میکروبی نانوذرات اکسید روی سنتز شده به روش نمک مذاب در هیچ پژوهشی مورد بررسی قرار نگرفته است، هدف این مطالعه بررسی اثر این نانوذرات بر رشد باکتری عامل فساد باسیلوس سوبتیلیس و باکتری بیماری زای اشرشیاکلی H7:O157 می‌باشد.

## مواد و روش‌ها

### مواد -

به منظور سنتز نانوذرات اکسید روی از کلریدروی، هیدروکسید سدیم و هیدروکسید پتاسیم ساخت شرکت مرک آلمان استفاده شد. باکتری، باسیلوس سوبتیلیس (PTCC 1721) و اشرشیاکلی H7:O157 (ATCC 700728) از سازمان پژوهش‌های علمی و صنعتی ایران تهیه شدند. جهت تست های میکروبی محیط کشت مایع TSB<sup>1</sup> و محیط کشت جامد TSA<sup>2</sup> ساخت شرکت مرک آلمان مورد استفاده قرار گرفت.

### - سنتز نانوذرات اکسید روی

جهت سنتز نانوذرات اکسید روی از روش نمک مذاب استفاده شد، به این ترتیب که ۰/۸۳۰ گرم نمک کلرید روی، ۱/۱۹۰ گرم هیدروکسید سدیم و ۱/۱۰ گرم هیدروکسید پتاسیم بر اساس مقادیر استوکیومتری<sup>۳</sup> مطابق واکنش (۱)، توزین و با هم مخلوط شدند.

(۱)



مخلوط فوق درون یک محفظه تفلونی قرار گرفته و

<sup>1</sup> Tryptic Soy Broth

<sup>2</sup> Tryptic Soy Agar

<sup>3</sup> Stoichiometry

حاوی ۲٪ و ۴٪ وزنی نانوذرات اکسید روی تلقیح شدند. پس از ۱۸ ساعت انکوباسیون در دمای ۳۷°C درجه سانتیگراد و هم‌زدن به مدت ۱۵ ثانیه هر ۵ دقیقه یکبار ۱۰۰ μL از باکتری‌ها به روی محیط کشت جامد TSA منتقل شده و با میله L به صورت سطحی کشت داده شدند. ۱۸ ساعت انکوباسیون در دمای ۳۷ درجه سانتی‌گراد صورت گرفت. سپس یک کلنی از پلیت‌ها به درون چاهک دستگاه بایواسکرین که حاوی محیط کشت مایع TSB بود منتقل شده و منحنی رشد باکتری‌ها در دمای ۳۷°C براساس دانسیته نوری (OD) <sup>۲</sup> رسم شد. کدورت سنجی در طول موج ۴۲۰-۵۸۰nm صورت گرفت.

### - تجزیه و تحلیل آماری

داده‌های حاصل از آزمایش‌ها در قالب طرح کاملاً تصادفی با دو تکرار، تجزیه و تحلیل شدند. برای تعیین معنی‌داری تأثیر نانوذرات اکسید روی در دو غلظت ۲ و ۴٪ بر باکتری‌های اشرشیاکلی *H7: O157* و باسیلوس سوبتیلیس، از آنالیز واریانس یک طرفه با سطح اطمینان ۹۵٪ استفاده گردید. تجزیه و تحلیل داده‌ها و مقایسه میانگین‌ها توسط نرم‌افزار SPSS 16 (آمریکا) انجام شد.

### یافته‌ها

با توجه به کارت XRD موجود برای این ماده به شماره JCPDS card No. 01-080-0075 پیک‌های پراش‌یافته انطباق بسیار خوبی با ZnO دارند. سایز نانوذرات اکسید روی با استفاده از رابطه دبای-شرر به طور میانگین ۲۵/۴ نانومتر محاسبه شد. مورفولوژی و ساختار نانوذرات اکسید روی به وسیله میکروسکوپ الکترونی روبشی بررسی شد. همان‌طور که در شکل ۲ مشاهده می‌شود نانوذرات اکسیدروی تقریباً بی‌شکل بوده و یا به صورت ستاره‌های کوچکی شکل گرفته‌اند، که در صورت افزایش زمان سنتز این ذرات رشد کرده و شکل منظم‌تری به خود خواهند گرفت.

دربندی شد. محفظه به یک آون الکتریکی منتقل شده و دما به  $20 \pm 5^\circ C$  (بالای دمای یونکتیک هیدروکسید سدیم و پتاسیم) رسانده شد، دمای مذکور به مدت ۳۰ دقیقه حفظ شد. سپس محفظه از آون خارج گردید و به طور طبیعی تا دمای اتاق خنک شد. مخلوط به دست آمده ۳ بار با آب مقطر داغ شسته و سانتریفوژ شد تا نمک فلزات قلیایی از محیط حذف شوند. رسوب‌های حاصل از سانتریفوژ به مدت ۳ ساعت در آون  $100^\circ C$  قرار داده شدند تا رطوبت موجود در آنها به طور کامل حذف شده و پودر سفید رنگ حاوی نانوذرات اکسید روی به‌دست آید (Kimura, 2011).

### - تعیین ساختار نانوذرات اکسید روی

آزمون پراش پرتو ایکس (XRD) <sup>۱</sup> با دستگاه Phillips X'Pert با اشعه‌ی دارای طول موج  $\lambda = 0.15406 \text{ nm}$  در محدوده‌ی  $2\theta$  بر روی نانوذرات اکسید روی انجام شد. نتایج این آزمون با استفاده از نرم افزار Xpert تحلیل گردید و اندازه دانه (کریستالیت) با استفاده از رابطه دبای-شرر (۲) محاسبه شد. این رابطه بصورت زیر است:

$$D = \frac{(0.9\lambda)}{B \cos \theta} \quad (2)$$

که در آن D اندازه کریستالیت،  $\lambda$  طول موج اشعه ایکس مس که برابر با  $1.5406 \text{ \AA}$ ،  $\theta$  زاویه براگ و B عرض در نصف ارتفاع پیک ماکزیمم می‌باشد. مورفولوژی، ساختار و سایز نانوذرات اکسید روی به وسیله ی میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) <sup>۲</sup>، تعیین شد.

### - تست‌های ضد میکروبی

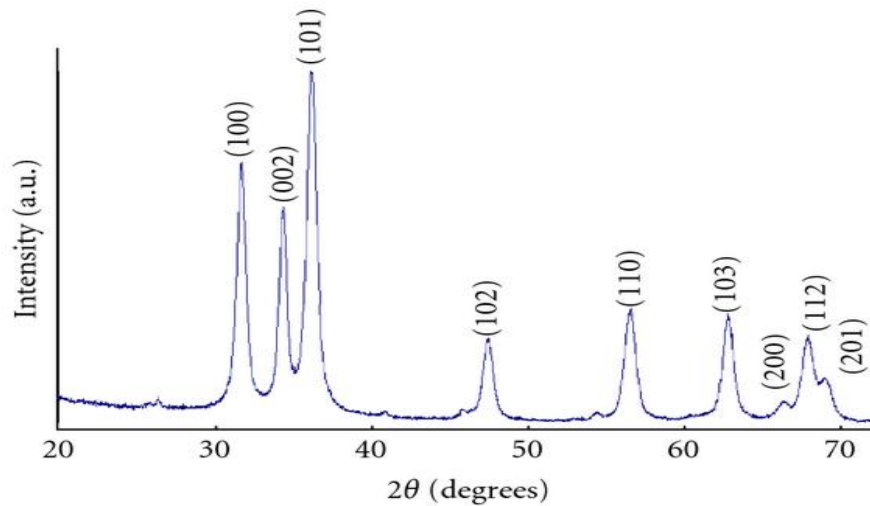
برای انجام تست‌های ضد میکروبی، باکتری‌های باسیلوس سوبتیلیس و اشرشیاکلی *H7: O157* به مدت ۱۸ ساعت در محیط کشت مایع TSB تا رسیدن به غلظت  $10^8 \text{ cfu/ml}$  کشت داده شدند. پس از دو بار رقت سازی  $10^6 \text{ cfu/ml}$  از باکتری‌های باسیلوس سوبتیلیس و اشرشیاکلی *H7: O157* در محیط کشت مایع TSB

<sup>1</sup> X-ray Diffraction

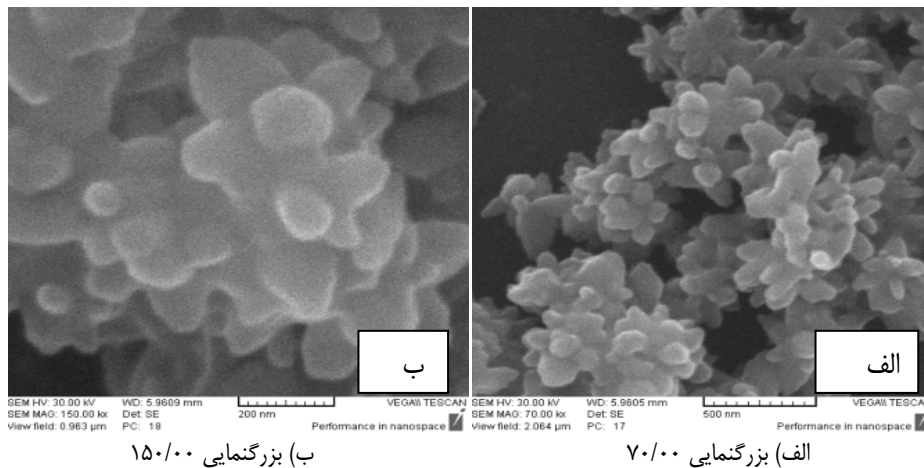
<sup>2</sup> Scanning Electron Microscopy

<sup>3</sup> Optical Density

اثر نانو ذرات اکسید روی بر رشد باکتری های *باسیلوس سوبتیلیس* و *اشرشیاکلی H7:O157*



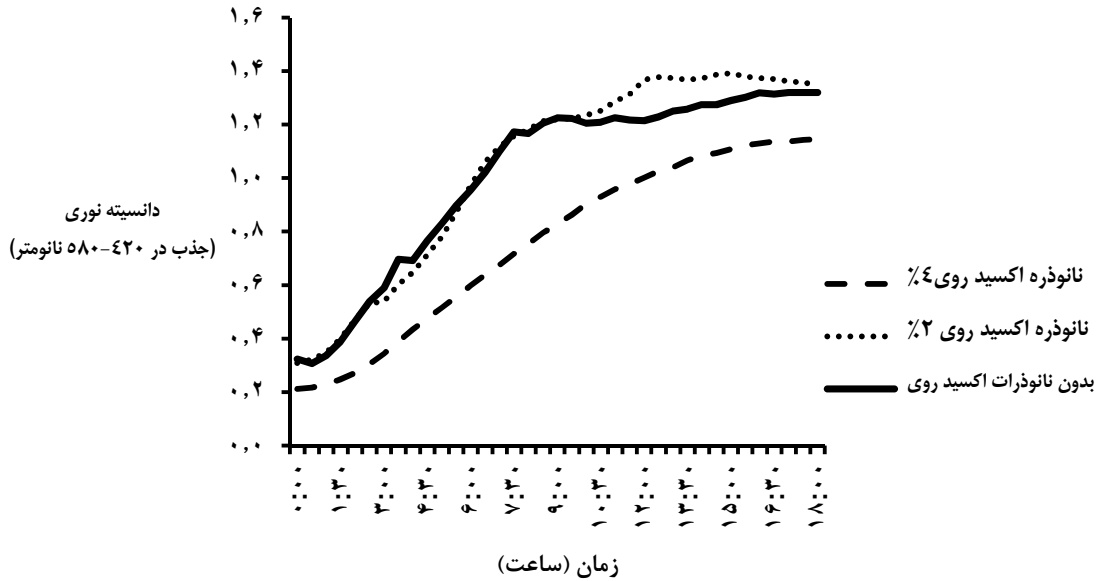
شکل ۱- طیف پراش پرتو ایکس نانوذرات اکسید روی



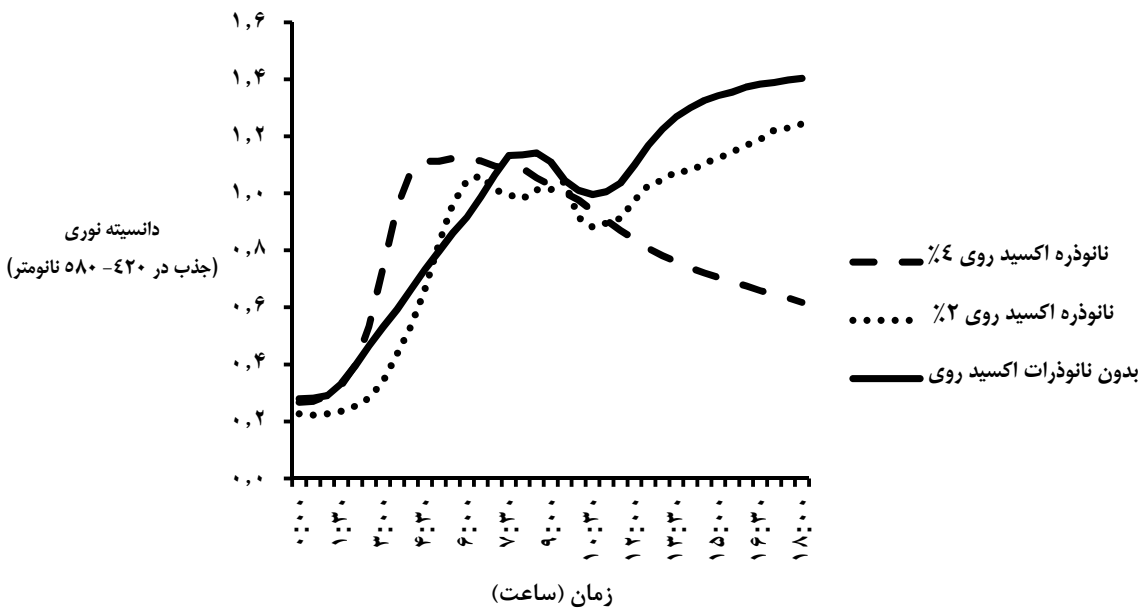
شکل ۲- تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی نانوذرات اکسید روی

شکل های ۳ و ۴ نشان دهنده منحنی رشد باکتری ها براساس دانسیته نوری، پس از ۱۸ ساعت قرارگیری در معرض نانوذرات اکسید روی و بدون قرارگیری در معرض این نانوذرات هستند. همان طور که در شکل ۳ مشاهده می شود غلظت ۴٪ نانوذرات اکسید روی به طور معنی داری سبب کاهش رشد باکتری *باسیلوس سوبتیلیس* شده است ( $p < 0.001$ ). درحالی که غلظت ۲٪ این نانوذرات قادر به ایجاد کاهش معنی دار در شمار باکتری *باسیلوس سوبتیلیس* نمی باشد ( $p = 0.537$ ). شکل ۳ نشان دهنده منحنی رشد باکتری *اشرشیاکلی H7:O157* می باشد. باتوجه به آنالیز آماری انجام شده نانوذرات اکسیدروی در هر دو غلظت ۲٪ و ۴٪ قادرند شمار باکتری *اشرشیاکلی H7:O157* را به طور معنی داری کاهش دهند (به ترتیب  $p = 0.001$  و

$p < 0.001$ ). با این حال بین غلظت ۲٪ و ۴٪ این نانوذرات نیز تفاوت معنی دار وجود داشته ( $p < 0.001$ ) و کاهش رشد باکتری در حضور ۴٪ نانوذره بسیار بیشتر است (اختلاف میانگین با گروه شاهد  $0.02 \pm 0.78$  در مقابل  $0.02 \pm 0.16$ ). با توجه به منحنی های رشد رسم شده می توان دریافت که نانوذرات اکسیدروی روی باکتری های گرم منفی موثرتر از باکتری های گرم مثبت عمل کرده اند. اختلاف میانگین با گروه شاهد در مورد *اشرشیاکلی* قرار گرفته در معرض نانوذرات اکسیدروی با غلظت ۴٪،  $0.02 \pm 0.78$  است در حالی که در مورد *باسیلوس سوبتیلیس* قرار گرفته در معرض ۴٪ نانوذره اختلاف میانگین با گروه شاهد  $0.02 \pm 0.18$  می باشد.



شکل ۳- منحنی رشد باکتری باسیلوس سویبتیلیس در حضور و عدم حضور نانوذرات اکسید روی



شکل ۴- منحنی رشد باکتری اشرشیاکلی O157:H7 در حضور و عدم حضور نانوذرات اکسید روی

### بحث

در پژوهش حاضر از روش منحصر به فرد نمک مذاب برای سنتز نانوذرات اکسیدروی استفاده شد. مزیت این روش در مقایسه با روش‌های دیگر مثل روش شیمیایی مرطوب جهت تولید نانوذرات، راندمان بسیار بالا و هزینه تولید کم می‌باشد که زمینه استفاده از آن را در صنعت فراهم می‌آورد. تست های ضد میکروبی نشان داد نانوذرات

اکسیدروی می‌توانند به طور معنی داری موجب کاهش رشد هر دو نوع باکتری گرم مثبت و گرم منفی شوند و غلظت ۴٪ این نانوذرات بهترین نتایج را نشان داد. با توجه به طیف پراش پرتو ایکس فقدان پیک‌های باقیمانده به دلیل خلوص نانوذرات اکسیدروی می‌باشد و پیک‌های پراکنش تیز نشان دهنده‌ی تبلور خوب نانوذرات اکسید روی است. سائز نانوذرات اکسید روی حدود ۲۵/۴

نانومتر محاسبه شد. سایز بسیار کوچک نانوذرات سنتز شده می‌تواند در افزایش اثر ضد میکروبی آن موثر باشد (Krishna R Raghupathi, 2011; Azam *et al.*, ) (2012).

همان‌طور که در بخش‌های پیشین اشاره شد در مطالعه حاضر از دو غلظت ۲ و ۴٪ برای بررسی اثرات ضد میکروبی نانوذرات استفاده شد. در مطالعاتی که اخیراً منتشر شده است اثر ضد میکروبی درصدهای مشابهی از نانوذرات فلزی علیه میکروارگانیسم‌های مختلف به اثبات رسیده است. طبق یافته‌های دم و همکارانش در سال ۲۰۰۸ پلی آمید ۶ حاوی ۲٪ وزنی نانوذره نقره قادر به کاهش رشد اشرشیاکلی تا ۶ سیکل لگاریتمی است (Damm *et al.*, ) (2007)، هم چنین ثابت شده است که وجود تنها ۲/۱۵٪ وزنی/وزنی نانو ذرات نقره در کامپوزیت نانو ذرات نقره/کیتوزان جهت افزایش غیر فعال‌سازی اشرشیاکلی نسبت به کیتوزان خالص کافی است (Sanpui *et al.*, ) (2008). امامی فر و همکارانش نیز اثرات بسته‌بندی پلی اتیلنی حاوی ۱/۵٪ و ۵٪ نانوذره نقره و ۲۵/۰٪ و ۱٪ نانوذره اکسید روی را در غیرفعال‌سازی باکتری لاکتوباسیلوس پلانتروم موجود در آب پرتقال بررسی کردند. آنها دریافتند که تمام نانو کامپوزیت‌ها به جز نانو کامپوزیت حاوی ۱٪ اکسید روی می‌توانند موجب کاهش رشد باکتری مذکور شوند (Emamifar *et al.*, ) (2010). با افزایش غلظت نانوذرات اکسید روی اثر ضد میکروبی علیه هر دو نوع باکتری گرم مثبت و گرم منفی به طور معنی داری افزایش می‌یابد و بیشترین اثر ضد میکروبی در غلظت ۴٪ نانوذرات اکسیدروی مشاهده شد. ژانگ و همکارانش نیز در سال ۲۰۰۷ به بررسی عوامل مختلفی از قبیل سایز و غلظت نانوذرات اکسید روی بر شدت اثر ضد میکروبی علیه اشرشیا کلی پرداختند. آنها به این نتیجه رسیدند که غلظت نانوذره نقش مهم تری نسبت به سایز آن ایفا کرده و با افزایش غلظت نانوذره اثر ضد میکروبی افزایش می‌یابد (Zhang *et al.*, 2007).

با توجه به نتایج به دست آمده می‌توان گفت تحت شرایط این مطالعه باکتری گرم مثبت باسیلوس سوبتیلیس در مقابل نانوذرات اکسیدروی مقاومت بیشتری نسبت به باکتری گرم منفی اشرشیاکلی H7: O157 نشان داده اند. سینها و همکارانش در سال ۲۰۱۱ به بررسی اثرات ضد

میکروبی نانوذرات اکسید روی پرداخته و به این نتیجه رسیدند که گونه‌های گرم منفی اشرشیاکلی و مارینوباکتر حساسیت بیشتری به این نانوذرات در مقایسه با باکتری‌های گرم مثبت باسیلوس سوبتیلیس نشان می‌دهند. علت مقاوم بودن باکتری‌های گرم مثبت به وجود لایه‌ی پیپتیدوگلیکانی ضخیم در این باکتری‌ها نسبت داده می‌شود (Sinha *et al.*, 2011). با این حال، در برخی مطالعات نتایجی عکس نتایج فوق گزارش شده است، به‌عنوان مثال لی و همکارانش در سال ۲۰۰۹ اثر ضد میکروبی نانوذرات اکسید روی پوشش داده شده روی فیلم پلی وینیل کلراید را بر باکتری‌های گرم مثبت استافیلوکوکوس اورئوس و اشرشیا کلی بررسی کرده و گزارش کردند که نانوذرات اکسید روی علیه باکتری‌های گرم مثبت موثرتر از باکتری‌های گرم منفی عمل می‌کنند (Li *et al.*, 2009).

اثر ضد میکروبی نانوذرات اکسید روی را می‌توان با چندین مکانیسم توجیه کرد: (۱) القای استرس اکسیداتیو به دلیل تولید رادیکال‌های اکسیژن فعال، واکنش این رادیکال‌های اکسیژن فعال با DNA، پروتئین‌ها و لیپیدها و در نتیجه مرگ سلول (۲) از بین رفتن آرایش غشا به دلیل تجمع نانوذرات در در غشای باکتری و هم چنین تجمع آنها در درون سلول (۳) آزاد شدن یون‌های روی که با اتصال به غشای میکروارگانیسم‌ها سبب اعمال اثر ضد میکروبی می‌شوند. با این حال سمیت نانوذرات اکسید روی مستقیماً به وارد شدن آنها به درون سلول نسبت داده نمی‌شود، بلکه تماس نزدیک آنها با سلول موجب تغییر در ریز محیط باکتری شده و با افزایش حلالیت فلز یا تولید رادیکال‌های اکسیژن فعال در نهایت باعث آسیب به غشا می‌شوند (Emamifar *et al.*, 2010). ساوایی و همکارانش نیز در سال ۱۹۹۶ تأثیر رادیکال‌های اکسیژن تولید شده توسط اکسید روی را در ایجاد اثر ضد میکروبی آن بررسی کردند. آنها به این نتیجه رسیدند که تولید پراکسید هیدروژن موجب بروز اثر ضد میکروبی شده و با افزایش غلظت اکسیدروی غلظت پراکسید هیدروژن تولید شده هم به صورت خطی افزایش می‌یابد (Sawai *et al.*, 1996). از طرف دیگر استویمنو و همکارانش برهمکنش الکترواستاتیکی بین سطح باکتری و نانوذره را به عنوان دلیلی برای اثر ضد میکروبی بیان کردند (Stoimenov *et al.*, 2002). بنابر برخی مطالعات سوراخ شدن دیواره‌ی

Emamifar, A., Kadivar, M., Shahedi, M. & Soleimani-zad, S. (2010). Effect of nanocomposite packaging containing Ag and ZnO on inactivation of *Lactobacillus plantarum* in orange juice. *Food Control*, 22, 408-413.

Kimura, T. (2011). *Advances in Ceramics - Synthesis and Characterization, Processing and Specific Applications*. Intec.

Krishna, R., Raghupathi, R. T. K. & Adhar, C. M. (2011). Size-Dependent Bacterial Growth Inhibition and Mechanism of Antibacterial Activity of Zinc Oxide Nanoparticles. *Langmuir*, 27, 4020-4028.

Li, H., Li, F., Wang, L., Sheng, J., Xin, Z., Zhao, L., Xiao, H., Zheng, Y. & Hu, Q. (2009). Effect of nano-packing on preservation quality of Chinese jujube (*Ziziphus jujuba* Mill. var. *inermis* (Bunge) Rehd). *Food Chemistry*, 114, 547-552.

Llorens, A., Lloret, E., Picouet, P. A., Trbojevich, R. & Fernandez, A. (2012). Metallic-based micro and nanocomposites in food contact materials and active food packaging. *Trends in Food Science & Technology*, 24, 19-29.

Makhluf, S., Dror, R., Nitzan, Y., Abramovich, Y., Jelinek, R. & Gedanken, A. (2005). Microwave-Assisted Synthesis of Nanocrystalline MgO and Its Use as a Bactericide. *Advanced Functional Materials*, 15, 1708-1715.

Sanpui, P., Murugadoss, A., Prasad, P. V. D., Ghosh, S. S. & Chattopadhyay, A. (2008). The antibacterial properties of a novel chitosan-Ag-nanoparticle composite. *International Journal of Food Microbiology*, 124, 142-146.

Sawai, J., Kawada, E., Kanou, F., Igarashi, H., Hashimoto, A., Kokugan, T. & Shimizu, M. (1996). Detection of active oxygen generated from ceramic powders having antibacterial activity. *Journal of chemical engineering of Japan*, 29, 627-633.

Sinha, R., Karan, R., Sinha, A. & Khare, S. K. (2011). Interaction and nanotoxic effect of ZnO and Ag nanoparticles on mesophilic and halophilic bacterial cells. *Bioresource Technology*, 102, 1516-1520.

Stoimenov, P. K., Klinger, R. L., Marchin, G. L. & Klabunde, K. J. (2002). Metal Oxide Nanoparticles as Bactericidal Agents. *Langmuir*, 18, 6679-6686

باکتری به وسیله‌ی نانوذرات اکسیدفلزی و ورود نانوذرات به درون سلول می‌تواند در اعمال اثر ضد میکروبی نقش داشته باشد (Makhluf *et al.*, 2005).

با توجه به نتایج به دست آمده از مطالعه‌ی حاضر، انجام مطالعات بیشتر روی اثرات ضد میکروبی نانوذرات فلزی و اکسید فلزی به ویژه در ترکیب با پلیمرهای بکار رفته در بسته‌بندی مواد غذایی ضروری به نظر می‌رسد. بکارگیری این نانوذرات در بسته‌بندی مواد غذایی می‌تواند در کنترل بار میکروبی ماده‌ی غذایی نقش داشته باشد.

## نتیجه گیری

مطالعه حاضر نشان داد که نانوذرات اکسید روی می‌تواند موجب کاهش میکروارگانیسم‌های بیماری‌زا و عامل فساد موجود در مواد غذایی شوند. سائز کوچک نانوذرات سنتز شده نقش به سزایی در میزان اثر ضد میکروبی این نانوذرات ایفا می‌کند. با این حال در مورد باکتری گرم منفی *اشرشیاکلی H7: O157* کاهش شدیدتری در مقایسه با باکتری گرم مثبت *باسیلیوس سوبتیلیس* مشاهده شد که این امر می‌تواند به وجود دیواره سلولی ضخیم در باکتری‌های گرم مثبت نسبت داده شود. با توجه به نتایج بدست آمده از این پژوهش، می‌توان به استفاده از این نانوذرات در بخش‌های مختلف صنعت غذا از جمله بسته‌بندی مواد غذایی جهت مهار یا کاهش رشد میکروارگانیسم‌های موجود در غذا در آینده‌ای نزدیک امیدوار بود.

## منابع

Azam, A., Ahmed, A. S., Oves, M., Khan, M. & Memic, A. (2012). Size-dependent antimicrobial properties of CuO nanoparticles against Gram-positive and-negative bacterial strains. *International journal of nanomedicine*, 7, 3527.

Chau, C.-F., Wu, S.-H. & Yen, G.-C. (2007). The development of regulations for food nanotechnology. *Trends in Food Science & Technology*, 18, 269-280.

Damm, C., Munstedt, H. & Rosch, A. (2007). Long-term antimicrobial polyamide 6/silver-nanocomposites. *Journal of Materials Science*, 42, 6067-6073.

Zhang, L., Jiang, Y., Ding, Y., Povey, M. & York, D. (2007). Investigation into the antibacterial behaviour of suspensions of ZnO

nanoparticles (ZnO nanofluids). Journal of Nanoparticle Research, 9, 479-489.