مقاله پژوهشی

تهیه و بررسی خواص فیزیکی مکانیکی نانو پوشش خوراکی از مخلوط کربوکسی متیل سلولز و صمغ گوار و نانوذرّات اکسید روی

عبدالرسول ارومیه‌ای[1×]، فاطمه سادات میرلوحی [2]

تاریخ دریافت مقاله: آذرماه ۱۳۹۷

تاریخ پذیرش مقاله: فروردین ماه ۱۳۹۸

چکیده

استفاده از فیلم‌ها و پوشش‌های خوراکی مشتق شده از بیوپلیمرهای طبیعی در صنایع غذایی به دلایل زیست محیطی بسیار مورد توجّه است. این فیلم‌ها و پوشش‌های خوراکی، از طریق کاهش تبادل رطوبت و گازها بین محیط و مواد غذایی می‌توانند باعث کاهش جذب روغن در هنگام سرخ کردن و بهبود کیفیت و ماندگاری مواد غذایی گردند. در این پژوهش، فیلم زیست تخریب‌پذیر خوراکی با کربوکسی متیل سلولز و صمغ گوار به همراه نانو ذرّه اکسید روی به روش ریخته‌گری تولید شد و اثر حضور نانو ذرّه اکسید روی در محصول پوشش‌دهی شده، به منظور بررسی خواص فیزیکی و مکانیکی فیلم‌ها، مورد مطالعه قرار گرفت. کربوکسی متیل سلولز و صمغ گوار با نسبت‌های ۱۰۰:۰، ۷۰:۳۰، ۵۰:۵۰، ۳۰:۷۰، ۰:۱۰۰ با یکدیگر ترکیب شدند. در ساخت این پوشش‌ها از گلیسرول به عنوان نرم‌کننده(پلاستی سایزر) استفاده شد. تأثیر هر کدام از این ترکیب درصدها بر روی ویژگی‌های مکانیکی، زبری، عبوردهی گازها، رطوبت و میزان جذب روغن و همچنین خواص ضدمیکروبی مورد مطالعه قرار گرفت. آزمون خواص مکانیکی نشان داد با افزودن نانوذرّات، درصد ازدیاد طول، افزایش مقدار مدول و استحکام کششی، کاهش یافت. در تصاویر میکروسکوپ نیروی اتمی فیلم حاوی نانو ذرّه اکسید روی و میزان برآمدگی‌ها و زبری آن افزایش یافته و تجمع نانو ذرّات در فیلم بیوپلیمر بیشتر شده است. نتایج بررسی خواص ضدمیکروبی فیلم خوراکی، حاکی از آن است که عدم حضور نانو ذرّه در پوشش خوراکی، نتیجهٔ مثبت به رشد باکتری را نشان می‌دهد. با توجّه به مضرات بالا بودن روغن در محصولات سرخ شده و تأثیر پوشش خوراکی بر کاهش میزان جذب روغن، نتایج حاصل از اعمال پوشش خوراکی بر روی سیب زمینی و بادمجان نشان داد که رابطه مستقیمی بین میزان جذب روغن و افت رطوبت در سیب زمینی و بادمجان وجود دارد که نمایانگر کاهش جذب روغن در هنگام سرخ کردن می‌باشد . بیشترین میزان رطوبت و کمترین میزان جذب روغن مربوط به نمونهٔ پوشش‌دهی شده با کربوکسی متیل سلولز ۷۰ ٪ و گوار ۳۰ ٪ می‌باشد . در نتیجهٔ اعمال پوشش بر روی توت فرنگی فیلم کربوکسی متیل سلولز و گوار با نسبت ۷۰:۳۰ بهترین ماندگاری را تا روز پنجم به همراه داشته است. بنابراین نتیجه می‌گیریم پوشش‌دهی سبب ایجاد مانعی مناسب برای عبور گازها و رطوبت شده است.

واژه‌های کلیدی

پوشش خوراکی – زیست تخریب‌پذیر – خواص فیزیکی مکانیکی – نانو ذرّات اکسید روی

۱– عضو هیأت علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب.

(× نویسنده مسئول:oromia2000@yahoo.com)

۲– کارشناسی ارشد مهندسی پلیمر، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب(fateme_mir68@yahoo.com).

۱- مقدمه

طی سالیان اخیر به دلیل افزایش آلودگی‌های زیست محیطی، بالارفتن قیمت نفت خام و چالش‌های مربوط به گرم شدن زمین، توجّه و علاقه به زیست پلیمرها افزایش یافته است که این ترکیبات در زمینه‌های مختلف مانند: فیزیوتراپی، داروسازی، پزشکی، پوشش‌دهی، فراورده‌های غذایی و مواد بسته‌بندی استفاده می‌شوند که در زمینهٔ پوشش‌دهی مواد غذایی از این پوشش‌ها برای حفظ کیفیت و تازگی مواد غذایی و افزایش مدّت زمان نگهداری آن‌ها به کار برده می‌شود. در ضمن برخی از این پوشش‌ها برای کاهش میزان جذب روغن توسط مواد غذایی که جاذب زیاد روغن است می‌باشند مانند بادمجان و سیب زمینی بدون اینکه تغییری در ظاهر یا عطر و طعم آن‌ها به وجود آید[۱ و ۲]. در سال‌های اخیر تمایل به استفاده از بیوپلیمرهای زیست تخریب‌پذیر در تولید مواد بسته‌بندی، بسیار مورد توجه قرار گرفته است. یکی از کاربردهای بالقوهٔ این بیوپلیمرها تولید پوشش‌های ضدمیکروبی با اضافه کردن نانوذرّات می‌باشد[۱ و ۳]. پوشش‌های خوراکی که بر روی سطح ماده قرار داده می‌شوند تا مانعی در برابر عوامل مخرب مانند گازهایی همچون اکسیژن، دی اکسید کربن و رطوبت باشند تا به این ترتیب زمان ماندگاری ماده غذایی افزایش یابد[۴ و ۵]. پوشش‌های خوراکی می‌تواند از انواع پلی‌ساکاریدها حاصل شود[۶]. یکی از مهم‌ترین پلی‌ساکاریدهایی که در تولید فیلم‌های خوراکی مورد استفاده قرار می‌گیرد سلولز و مشتقات آن است[۷]. یکی دیگر از مواد مورد استفاده در این تحقیق، صمغ‌ها هستند که فرآورده‌های پاتولوژیک[1] گیاه هستند که در اثر زخمی شدن گیاه مانند نیش حشرات یا شکستگی در اثر عوامل مختلف مثل شرایط نامساعد و ... تولید می‌شوند[۸]. صمغ‌های مواد غذایی برای تهیه ژل و به عنوان پایدارکننده و عوامل سوسپانسیون[2] مورد استفاده قرار می‌گیرند[۱۲]. از انواع صمغ‌ها می‌توان به صمغ گوار[3] اشاره کرد که پودر سفید یا قهوه‌ای رنگ گوار از دانه گیاه گوار به دست می‌آید[۹]. این صمغ با پروتئین‌ها و دیگر پلی‌ساکاری‌ها ناسازگاری نشان نمی‌دهد و فیلم‌های قابل انعطاف و با دوام تشکیل می‌دهد[۱۲]. فیلم‌های مرکب می‌توانند شامل مخلوطی از فیلم‌های پلی‌ساکاریدی –پروتئینی و لیپیدی باشند. به منظور غلبه بر تأثیر منفی یکی از ترکیبات مذکور از فیلم‌های مرکب استفاده می‌شود که دارای ویژگی ممانعت در برابر عبور رطوبت –گاز و مواد حل شده می‌باشند[۱۲]. در سال‌های اخیر فنّاوری نانو در صنایع غذایی، به دلیل نسبت بالای سطح به حجم در ذرّات با ابعاد نانومتر، افزایش داشته است [۱۰] که امروزه از مواد نانوفلزی در پلیمرهای در تماس با مواد غذایی برای افزایش خواص مکانیکی و برای جلوگیری از کاهش تخریب نوری پلاستیک اضافه می‌شوند[۱۳]. در بین نانو ذرّات فلزی، از اکسید روی که فعالیت‌های ضد میکروبی برجسته‌تری از ذرّات دیگر دارد از اهمیت بالایی برخوردار است[۱۴].

برای تولید فیلم‌ها و پوشش‌های پلیمری زیست تخریب‌پذیر معمولاً از دو روش کلی خشک و مرطوب استفاده می‌شود که روش مرطوب یا کاستینگ[4] که بیشتر برای تولید پوشش‌ها، فیلم‌ها و ورقه‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند. در این روش بیوپلیمر را در حلال مناسبی پخش و به صورت محلول در می‌آورند سپس حلال را از آن توسط روش‌هایی مانند تبخیر حلال، رسوب دادن فاز جامد توسط تغییر PH، تغییر قطبیت حلال یا افزودن الکترولیت‌ها جدا می‌کنند که در این پروژه، روش کاستینگ مورد استفاده قرار گرفته است[۱۱]. در این پروژه به بررسی خواص مکانیکی، ممانعت نسبی از عبور رطوبت، گازها و مواد محلول و همچنین توانایی آن‌ها به عنوان حامل مواد معطّر و طعم، خواص ضدمیکروبی و ... که نقش تعیین‌کننده‌ای در قابلیت استفاده از فیلم‌های

1- Pathological
2- Suspension
3- Guar Gum
4- Casting

خـوراکی دارنـد، پرداختـه مـی‌شـود. خـواص مکـانیکی عکـس‌العمـل مـاده را در برابـر نیروهـای فیزیکـی توصـیف می‌کند و از جهت حفاظت مواد غذایی در برابـر تـنش مهـم می‌باشند. و حضور مواد مختلف نظیر: لیپیدها و نرم‌کننـده‌هـا در فرمولاسیون این فیلم‌ها و همچنین شرایط مختلـف تولیـد فیلم، تأثیر زیادی بر خواص آن‌ها دارد. بازدارندگی در برابـر بخار آب به لحاظ جلـوگیری از مهـاجرت رطـوبتی از هـوا و اجزای غذایی مختلف، بازدارندگی در برابر اکسیژن به لحـاظ جلوگیری از واکنش‌های اکسیداتیو و تنفس مواد غذایی تـازه در این مطالعه اهمیت دارد[۷].

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- مواد

در این پروژه، کربوکسی متیل سلولز مورد استفاده با نشان تجاری والتی[1] خریداری شده است. صمغ گوار تهیه شده از نشان تجاری سانستار[2] ساخت کشور هند با نام تجاری گوارگام مورد استفاده قرار گرفت. گلیسرول موجود در این تحقیق T از صنایع شیمیایی دکتر مجلّلی تهیه شد. نانو ذرّات اکسید روی مورد استفاده با اندازه ذرّات ۳۰-۱۰ نانومتر و خلوص بیش از ۹۹٪ درصد از کمپانی[3] خریداری شد.

۲-۲- دستگاه

برای انجام آزمون کشش، از دستگاه کام تیچ[4] استفاده شد. آزمون[5] AFM از دستگاه میکروسکوپ پروب پویشی[6](SPM) مدل[7]DME ،[8] (ساخت کشور دانمارک) واقع در پژوهشگاه شیمی و مهندسی شیمی ایران استفاده شد.

۲-۳- تهیه محلول کربوکسی متیل سلولز

به منظور آماده‌سازی، ۳ گرم پودر کربوکسی متیل سلولز به همراه ۱/۵ گرم گلیسیرین(۵۰ درصد وزنی) به عنوان پلاستی‌سایزر در ۳۰۰ میلی لیتر آب مقطر حل شد. سپس محلول تشکیل‌دهندهٔ فیلم در دمای بین ۷۵-۶۵ درجه سانتی‌گراد روی هیتر مگنت‌دار، به مدّت ۳۰ دقیقه حرارت داده شود تا کربوکسی متیل سلولز به طور کامل حل شد. سپس به مدّت ۳۰ دقیقه جهت خنک شدن و خروج کامل حباب‌های هوا به حالت ساکن قرار داده شد تا محلول یکنواختی به دست آمد.

برای تهیه فیلم حاوی نانوذرّه محلول[9] CMC نیز به همان صورت بالا عمل کرده با این تفاوت که ۳گرم کربوکسی متیل سلولز را به همراه گلیسیرین و نانو ذرّه اکسید روی در ۳۰۰ میلی لیتر آب مقطر مخلوط کرده و محلول را روی هیتر با دور۵۰۰ rpm و با همان درجه حرارت و مدّت زمان حرارت می‌دهیم تا به اختلاط کامل برسند.

۲-٤- تهیه محلول صمغ گوار

۱/۵ گرم صمغ گوار را به همراه ۳۰ درصد وزنی گلیسیرین (۰/۰۴۵ گرم) به عنوان پلاستی‌سایزر در ۳۰۰ میلی لیتر آب مقطر حل کردیم. سپس محلول تشکیل‌دهندهٔ فیلم در دمای بین ۴۰-۳۰ درجه سانتی‌گراد به مدّت ۱۵ دقیقه روی هیتر مگنت‌دار حرارت داده شد تا گوارگام به طور کامل حل شد. سپس به منظور خنک شدن و خروج کامل حباب‌های هوا، به مدّت ۳۰ دقیقه به حالت ساکن قرار داده شد تا محلول یکنواختی به دست آمد.

برای تهیه این محلول به همراه نانو ذرّه همانند بالا با این تفاوت که ۱/ ۵ گرم گوار را به همراه گلیسیرین و نانو ذرّه اکسید روی به ۳۰۰ میلی لیتر آب مقطر اضافه کرده و

1- Wealthy
2- Sunstar
3- US Research Nanomaterials, Inc
4- Comethech
5- Atomic Force Microscopy
6- Scanning Probe Microscopy
7- Designated Mechanic Examiner
8- Dualscope/ Rasterscope C26
9- Carboxymethyl Cellulose

با همان درجه حرارت و مدّت زمان حرارت می‌دهیم تا به اختلاط کامل برسند.

۲-۵- تولید فیلم مرکب

محلول‌های کربوکسی متیل سلولز + گوار را در نسبت‌های ۱۰۰/۰ ، ۷۰/۳۰ ، ۵۰/۵۰ ، ۳۰/۷۰ و ۰/۱۰۰ روی هیتر مخلوط کرده و پس از رفع حباب روی صفحه‌های تفلونی با قطر ۲۵ سانتی‌متر پخش کردیم. پس از گذشت ۴۸ ساعت از قالب‌گیری، فیلم‌های خشک شده از سطح صفحات جداسازی شدند.

۳-آزمون‌ها

۳-۱- آزمون مکانیکی فیلم‌های خوراکی

به منظور انجام این آزمون، نمونه‌ها به صورت دمبلی یا مستطیلی شکل بریده شده و در دستگاه قرار داده می‌شوند. که در این دستگاه، میزان تنش کششی وارد شده برحسب کرنش ثبت شده و منحنی آن کشیده می‌شود که با استفاده از آن اطّلاعاتی نظیر درصد ازدیاد طول، مدول و استحکام کششی را می‌توان به دست آورد.

۳-۲- آزمون میکروسکوپ نیروی اتمی (AFM)

این دستگاه، سطح نمونه را توسط یک سوزن تیز حس می‌کند. نیروهای بین سوزن و سطح نمونه باعث خم شدن یا انحراف کانتیلیور[1] می‌شود. یک آشکارساز میزان انحراف کانتیلیور را اندازه می‌گیرد که امکان تولید تصویر توپوگرافی[2] سطح را می‌دهد. مجموع داده‌های حاصل از هر نمونه، به تصاویر سه بعدی قابل تبدیل شدن می‌باشند.

۳-۳-آزمون ضدمیکروبی فیلم‌های خوراکی

آنالیز میکروبی نانو فیلم‌ها با حضور و رشد باکتری اشرشیاکلی[3] ATCC 25922 به عنوان نمایندهٔ میکرو ارگانیسم‌های گرم منفی و از باکتری استافیلوکوکوس اورئوس[4] ATCC 29523 به عنوان نمایندهٔ میکرو ارگانیسم‌های گرم مثبت در آزمایشگاه مورد بررسی قرار گرفت. برای کشت این میکروارگانیسم‌ها، از محیط‌های کشت اختصاصی هر کدام طبق استاندارد استفاده شد. نمونه‌ها با سوش باکتری‌های اشرشیاکلی و استافیلوکوکوس اورئوس با تعداد باکتری قادر به زیست 10^7 در هر میلی‌لیتر تلقیح شدند و شمارش باکتری بلافاصله بعد از تلقیح آغاز شد. شمارش میکروبی در نمونه‌ها بر اساس استاندارد ۵۲۷۲ انجام گرفت.

٤- پوشش‌دهی بر روی مواد غذایی

٤-۱-پوشش خوراکی تهیه شده بر روی بادمجان

با توجّه به مضرات بالا بودن روغن، در محصولات سرخ شده و تأثیر پوشش خوراکی بر کاهش میزان جذب روغن، در اینجا به بررسی امکان تولید بادمجان کم چرب با استفاده از پوشش گوار و کربوکسی متیل سلولز انجام گرفت. به این صورت که بادمجان‌ها پس از پوست‌گیری به صورت دستی به حلقه‌هایی به قطر ٤ سانت متر و ضخامت ۱ سانتی‌متر بریده شدند. حلقه‌ها به وسیله برس زدن، پوشش‌دهی شدند و به منظور حذف پوشش‌های اضافی بر روی سینی مشبک قرار گرفتند. وزن حلقه‌ها در قبل و بعد از پوشش‌دهی ثبت گردید. سپس با استفاده از سرخ‌کن خانگی در روغن مایع مخصوص سرخ کردنی به مقدار یکسان در دمای ۱۸۰ درجه سانتی‌گراد به مدّت ۳ دقیقه سرخ شدند. سپس بر روی سینی مشبک قرار گرفتند تا روغن اضافی حلقه‌ها گرفته شود .پس از حذف روغن و رسیدن به دمای محیط، وزن حلقه‌ها و مقدار روغن باقی مانده مجدداً اندازه‌گیری و ثبت شد.

1- Countyliver
2- Topography
3- Escherichia coli
4- Staphylococcus

٤-٢- پوشش خوراکی تهیه شده بر روی سیب زمینی

سیب زمینی‌ها پس از پوست‌گیری به صورت خلال‌هایی در ابعاد تقریباً یکسان به صورت دستی خرد شدند و پس از مخلوط شدن به طور تصادفی در ٦ دسته جداسازی و هر کدام به مقدار مساوی توسط ترازوی خانگی وزن شدند. به منظور پوشش‌دهی، خلال‌های خرد شده در روغن مایع مخصوص سرخ کردن در دمای ثابت به مدّت ۵ دقیقه سرخ وسپس میزان روغن و وزن آن‌ها اندازه‌گیری شد.

٤-٣- پوشش خوراکی تهیه شده بر روی توت فرنگی

توت فرنگی‌های منتخب به وسیله برس زدن پوشش مزبور در غلظت‌های مختلف پوشش‌دهی شدند. به طوری که هر میوه در تماس کامل با محلول ترکیب درصد مشخص قرار گرفتند. سپس به مدّت یک هفته در دمای اتاق نگهداری شدند.

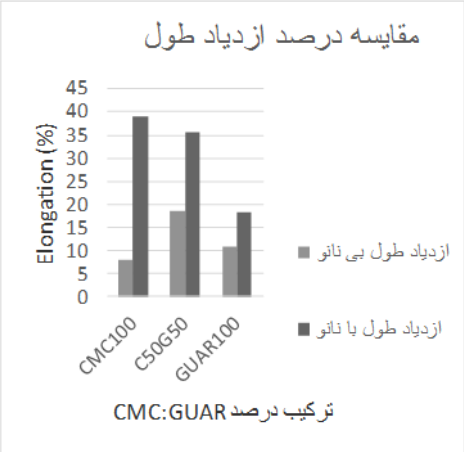
٥- نتایج و بحث

٥-١- خواص مکانیکی آمیزه‌ها

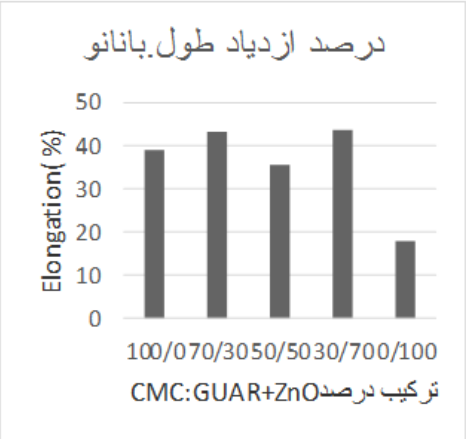
در نمودارهای ذیل نتایج خواص مکانیکی فیلم‌ها از لحاظ شاخص‌های مکانیکی اندازه‌گیری شده، آورده شده است.

٥-١-١- ازدیاد طول

همانطور که در (نمودار ۱) می‌بینیم بالاترین درصد ازدیاد طول را فیلم مرکب کربوکسی متیل سلولز و گوار به نسبت ۵۰:۵۰ داراست. با افزودن نانو ذرّه اکسید روی، علاوه بر اینکه افزایش چشمگیری در درصد ازدیاد طول تمامی فیلم‌ها مشاهده شد، بیشترین درصد ازدیاد طول از میان ترکیب درصدهای (نمودار۱) را فیلم خوراکی کربوکسی متیل سلولز ۱۰۰ درصد حاوی نانو ذرّه به خود اختصاص داد. با توجّه به (نمودار۲) که به مقایسهٔ درصد ازدیاد طول فیلم‌های خوراکی همراه با نانوذرّه اکسید روی در ترکیب درصدهای مختلف



نمودار ۱- مقایسه درصد ازدیاد طول (%) فیلم خوراکی همراه با نانو ذرّه و بدون نانو در ترکیب درصدهای مختلف

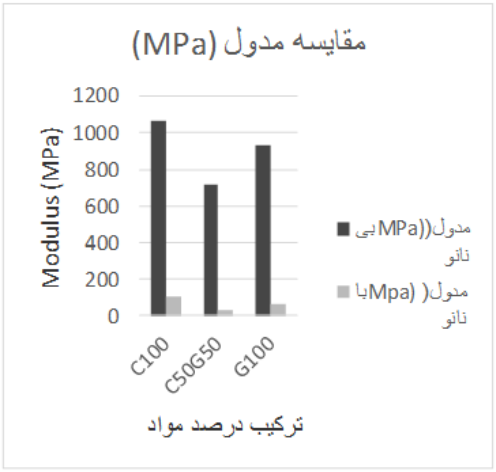


نمودار۲- مقایسه درصد ازدیاد طول (%) فیلم خوراکی همرا با نانو در ترکیب درصدهای مختلف

پرداخته، پایین‌ترین درصد ازدیاد طول مربوط به فیلم خوراکی حاوی گوار ۱۰۰ درصد وزنی است که اختلاف قابل ملاحظه‌ای با دیگر نمونه‌ها دارد، فیلم‌های مرکب کربوکسی متیل سلولز و گوار به نسبت ۷۰:۳۰ و ۳۰:۷۰ دارای بالاترین درصد از این شاخص می‌باشند.

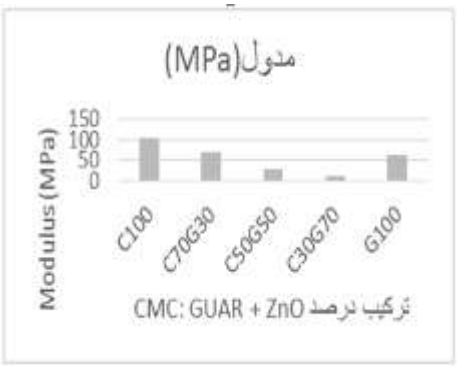
۵-۱-۲- مدول یانگ

در(نمودار ۳) مشاهده می‌کنیم در فیلم‌های بدون نانو ذرّات اکسید روی، فیلم کربوکسی متیل سلولز ۱۰۰ درصد وزنی بیشترین مقدار مدول را دارا است. افزودن نانو ذرّات



نمودار ۳ - مقایسه مدول (MPa) فیلم خوراکی همراه با نانو ذرّه و بدون نانو در ترکیب درصدهای مختلف

اکسید روی نیز به طور کلی سبب کاهش در مدول فیلم‌ها می‌شود. به عبارت دیگر نانو کامپوزیت‌ها دارای مقاومت کمتری در برابر تغییر شکل نسبت به فیلم‌های متناظر خود هستند.



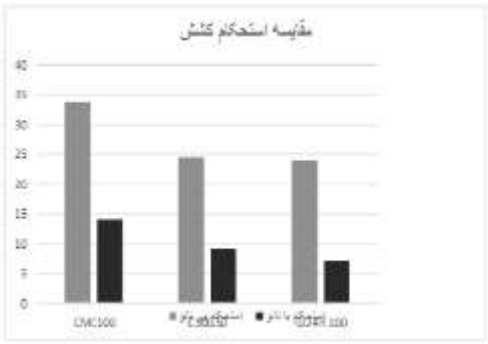
نمودار ٤ - مقایسه مدول (MPa) فیلم خوراکی همراه با نانو در ترکیب درصدهای مختلف

نمودار(۴) نمایانگر بیشترین مقدار مدول به ترتیب در فیلم‌های کربوکسی متیل سلولز خالص و کربوکسی متیل سلولز ۷۰ درصد به همراه گوار ۳۰ درصد، نسبت به دیگر درصدها می‌باشد. کمترین مقدار مدول با میزان اختلاف چشمگیری مربوط به فیلم کربوکسی متیل سلولز ۳۰ و گوار ۷۰ می‌باشد.

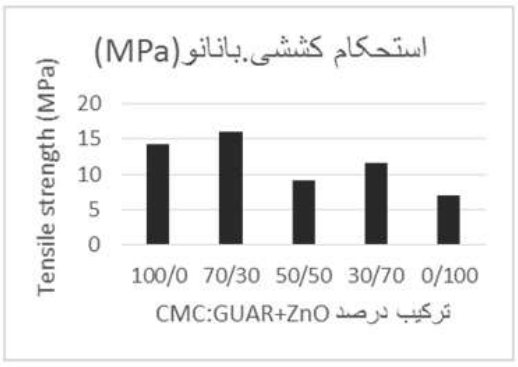
۵-۱-۳- استحکام کششی

همانطور که در (نمودار ۵) مشاهده می‌شود، فیلم کربوکسی متیل سلولز خالص دارای بالاترین و گوار خالص کمترین استحکام کششی را دارا هستند. با افزودن نانو ذرّه اکسید روی که در (نمودار۶) قابل مشاهده است، با کاهش در این استحکام مواجه می‌شویم، اما فیلم گوار خالص همچنان پایین‌ترین رتبهٔ مدول و بعد از آن فیلم CMC، ۵۰:۵۰-گوار می‌باشد.

این در صورتی است که استحکام کششی در ۳۰



نمودار ۵ - مقایسه استحکام کشش (MPa) فیلم خوراکی همراه با نانو ذرّه و بدون نانو در ترکیب درصدهای مختلف

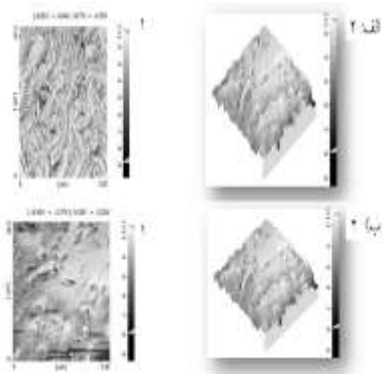


نمودار ٦- مقایسه استحکام کشش (MPa) فیلم خوراکی همرا با نانو در ترکیب درصدهای مختلف

درصد گوار بیشترین مقدار (۱۵/۹۴) را داشته است و بعد از آن فیلم CMC خالص است که تفاوت چندانی در استحکام کشش با فیلم کربوکسی متیل سلولز ۷۰ درصد و گوار ۳۰ درصد نداشته است.

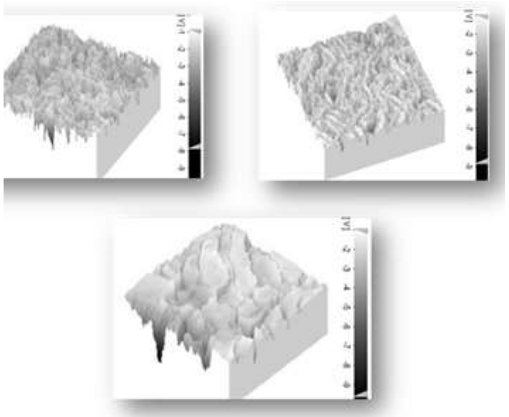
۵-۲- میکروسکوپ نیروی اتمی(AFM)

در (شکل ۱ تصویر الف)، تصاویر دو نوع فیلم تولید شده در این تحقیق را نشان می‌دهد. فیلم مرکب CMC-گوار از سطوح نسبتاً صافی همراه با منافذ زیادی برخوردار بوده و میزان پستی بلندی در سطح این فیلم‌ها کمتر از فیلمCMC – گوار– ZnO می‌باشد. در (شکل ۱ تصویر ب)، سطح مربوط به نمونه‌های حاوی نانو ذرّه اکسید روی برآمدگی‌های تیزی را نشان می‌دهند. در سطح نمونه دارای ZnO مشاهده می‌شود که پستی و بلندی‌های شدیدی در آن شکل گرفته که حاکی از تجمع زیاد می‌باشد.



شکل ۱ - تصاویر دو بعدی و سه بعدی الف) فیلم زیست کامپوزیت کربوکسی متیل سلولز – صمغ گوار ب) فیلم بیونانو کامپوزیت کربوکسی متیل سلولز – صمغ گوار – نانوذرّه اکسید روی

شکل(۲) یک تصویر توپوگرافی دیگر از فیلم بیونانوکامپوزیت را در اندازه اسکن‌های مختلف نشان می‌دهد و مشاهده می‌گردد که با افزودن نانوذرّه اکسید روی، میزان برآمدگی‌ها و فرورفتگی‌ها افزایش یافته و یکنواختی سطح فیلم، کمتر می‌شود. نواحی با رنگ روشن‌تر که به صورت تپه درآمده‌اند، قسم‌های حاوی لایه‌های نانوذرّه اکسید روی می‌باشند که به صورت لایه لایه داخل هم فرو رفته و به صورت مارپیچ بیموپلیمر[1] را پر کرده‌اند. که نتایج حاکی از تطابق با نتایج قنبرزاده و همکاران داشته که فیلم زیست کامپوزیت نشاسته-CMC، کمترین و فیلم بیونانو کامپوزیت نشاسته-CMC- نانورس، بیشترین زبری را دارد.



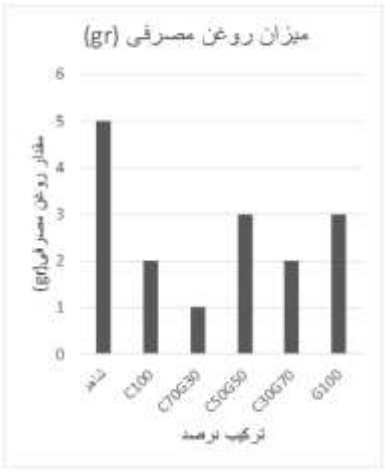
شکل ۲- تصاویر توپوگرافی فیلم بیو نانو کامپوزیت در اندازه‌های مختلف

۵-۳- خواص پوشش‌دهی

۵-۳-۱- نتایج اصل از اثر پوشش خوراکی تهیه شده بر روی بادمجان

همانطور که در (نمودار۷) و (جدول۱) مشاهده می‌شود مقدار چربی جذب شده کلیه نمونه‌های پوشش‌دهی شده در مقایسه با تیمار شاهد و بدون پوشش کمتر بود به طوری که نمونه شاهد با میزان ۵ گرم روغن جذب شده، بیشترین مقدار چربی را دارا بود. کمترین مقدار جذب روغن در تیمار C70G30 مشاهده شد.

1- Bimopolymer



نمودار۷- مقایسه میزان روغن مصرف شده در بین ترکیب درصدهای مختلف بادمجان سرخ

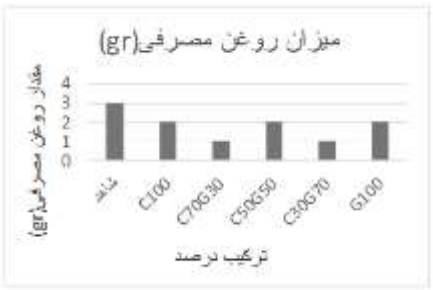
جدول ۱- وزن روغن قبل و بعد از سرخ کردن بادمجان

ترکیب	وزن روغن اولیه(gr)	وزن روغن بعد سرخ کردن (gr)	میزان روغن مصرفی(gr)
شاهد	۱۵	۱۰	۵
C100	۱۵	۱۳	۲
C70G30	۱۵	۱٤	۱
C50G50	۱۵	۱۲	۳
C30G70	۱۵	۱۳	۲
G100	۱۵	۱۲	۳

۵-۳-۲- نتایج حاصل از اثر پوشش خوراکی تهیه شده سیب زمینی

همان طور که از (نمودار ۸) و (جدول۲) مشاهده می‌شود خلال‌های پوشش‌دار شده در مقایسه با نمونه شاهد میزان روغن کمتری جذب کردند بیشترین مقدار جذب

روغن درخلال‌های شاهد(بدون پوشش) می‌باشد. در این نمونه به علت خروج آب، امکان افزایش جذب روغن وجود دارد. در نمونه‌های پوشش‌دهی شده به علت خاصیت ممانعت‌کنندگی پوشش‌ها، از خروج رطوبت جلوگیری شده و فضای کمتری برای ورود روغن به داخل بافت به وجود می‌آید. نتایج جذب روغن در این آزمایش نیز بیانگر این نکته است که قابلیت نگهداری رطوبت توسط پوشش‌های مختلف با یکدیگر متفاوت می‌باشد. میزان جذب روغن در C70G30 و C30G70 به ترتیب با میزان جذب ۱ گرم دارای کمترین میزان جذب می‌باشند.



نمودار ۸ – نمودار مقایسه میزان روغن مصرف شده در بین ترکیب درصدهای مختلف سیب زمینی سرخ شده

جدول ۲ – وزن روغن قبل و بعد از سرخ کردن سیب زمینی پوشش‌دار شده

ترکیب درصد مواد	وزن روغن اولیه(gr)	وزن روغن بعد سرخ کردن(gr)	میزان روغن مصرفی(gr)
شاهد	۷	٤	۳
C100	۷	۵	۲
C70G30	۷	٦	۱
C50G50	۷	۵	۲
C30G70	۷	٦	۱
G100	۷	۵	۲

۵-۳-۳- نتایج حاصل از پوشش خوراکی تهیه شده بر روی توت فرنگی

میوه‌های توت فرنگی بعد از پوشش‌دهی، هر بار با ترازوی خانگی و با سه بار تکرار، وزن شدند. نتایج تغییر وزن در (جدول۳) قابل مشاهده است که بعد از گذشت سه روز، کمترین کاهش وزن به ترتیب در نمونه‌های C30G70 و C50G50 به مقدار ۴ و ۶ گرم و بیشترین کاهش وزن به ترتیب مربوط به شاهد و C100 بوده که به مقدار ۸ و ۹ گرم کاهش مشاهده شد. از نظر تغییر شکل

جدول ۳- کاهش وزن ترکیب درصدهای مختلف توت فرنگی پوشش‌دار شده در طی یک هفته

ترکیب درصد مواد	وزن قبل از پوشش(gr)	کاهش وزن در روز اول(gr)	کاهش وزن در روز سوم(gr)	کاهش وزن در روز پنجم (gr)	کاهش وزن در روز هفتم(gr)
شاهد	۱۶	۱۳	۷	۳	۱
C100	۱۶	۱۳	۸	۵	۲
C70G30	۱۶	۱۴	۹	۷	٤
C50G50	۱۶	۱۴	۱۰	۸	۵
C30G70	۱۶	۱۵	۱۲	۱۱	۵
G100	۱۶	۱۴	۹	٦	۲

جدول ٤- بررسی رشد باکتری در نمونهٔ حاوی نانو ذره اکسید روی و نمونهٔ فاقد نانو

نوع باکتری قادر به زیست تلقیح شده با تعداد 10^7 در هر میلی لیتر	نوع آزمون نوع نمونه	شمارش تعداد باکتری بلافاصله پس از تلقیح (CFU/ml)	شمارش تعداد باکتری بعد از ۱ روز (CFU/ml)	شمارش تعداد باکتری بعد از ۲ روز (CFU/ml)
استافیلوکوکوس اورئوس	شاهد: CMC100	1.5×10^7	8×10^9	7×10^{12}
کواگولاز مثبت	C70G30	2×10^7	5×10^9	9×10^{11}
	C70G30+ZnO	10^5	صفر(عدم رشد میکروب)	صفر(عدم رشد میکروب)
اشرشیاکلی	شاهد:CMC100	3×10^7	7.5×10^9	4×10^{12}
	C70G30	1.5×10^7	8×10^{10}	6×10^{12}
	C70G30+ZnO	2×10^6	1.5×10^2	صفر(عدم رشد میکروب)

ظاهری به ترتیب نمونه‌های C30G70 ، C50G50 و C70G30 بهترین ماندگاری را دارا بودند که طبق

مشاهدات، این نمونه‌ها تا روز سوم تغییرات چندان محسوسی نداشتند و تا روز پنجم نیز شکل ظاهری بهتری نسبت به دیگر نمونه‌ها داشتند و از نظر خواص حسی، بو و عطر آن‌ها کاملاً حفظ شده بود، اما نمونه‌های شاهد، C100 و G100 تا روز دوم بهترین حالت خود را حفظ کردند و در روز سوم دچار تغییر در ساختار فیزیکی شدند، روز پنجم از حالت تازگی خارج و روز هفتم رطوبت میوه از بین رفته بود.

میوه‌های پوشش‌دار همواره از ویژگی‌های برتری نسبت به نمونه بدون پوشش برخوردارند و با افزایش زمان نگهداری اختلاف بین میوه‌های پوشش‌دار و بدون پوشش بیشتر می‌شود. کاربرد پوشش، میزان افت وزن توت فرنگی را کاهش داد و باعث بهبود رنگ میوه و افزایش قابلیت پذیرش کلی نمونه‌ها در مدّت نگهداری شد.

٥-٤- خواص ضدمیکروبی نانو پوشش خوراکی

نتایج بررسی خواص ضدمیکروبی پوشش مرکب خوراکی که در (جدول ۴) قابل مشاهده است، نشان می‌دهد افزودن نانو ذرّات اکسید روی به بیوپلیمرهای CMC-گوار (C70G30) باعث خاصیت ضدمیکروبی در برابر باکتری‌های اشرشیاکلی و استافیلوکوکوس گردید و به طور معنی داری مانع رشد طبیعی باکتری‌ها شد. علاوه بر حضور نانو ذرّات اکسید روی، نوع باکتری نیز بر میزان ممانعت‌کنندگی رشد تاثیر داشت و عملکرد استافیلوکوکوس در کنترل رشد بهتر بود. به طور کلی تعداد 10^7 باکتری قادر به زیست در هر میلی لیتر تلقیح

شده، که شمارش تعداد باکتری استافیلوکوکوس در نمونهٔ C70G30 حاوی نانو ذره اکسید روی بلافاصله پس از تلقیح $۱۰^{۵}$(CFU/ml) بود که بعد از یک روز تعداد باکتری به صفر رسیده و با عدم رشد میکروب مواجه شدیم.

شمارش تعداد باکتری استافیلوکوکوس برای نمونهٔ شاهد CMC100 و نمونهٔ C70G30 بلافاصله پس از تلقیح به ترتیب$۱۰^{۷}$× ۱/۵ و $۱۰^{۷}$×۲ و با گذشت یک روز این تعداد رو به افزایش است. شمارش تعداد باکتری برای نمونهٔ C70G30حاوی نانو ذرّه اکسید روی بلافاصله بعد از تلقیح و بعد از گذشت یک روز،کاهش داشته به طوری که با سپری شدن دو روز، عدم رشد میکروب را مشاهده می‌کنیم؛ اما در نمونهٔ شاهد و C70G30، گذر زمان سبب افزایش در تعداد باکتری شده است. خواص ضد میکروبی نانو فیلم‌ها به دلیل حضور نانو اکسید روی است باعث پدیده ضد میکروبی می‌شود.

٦- نتیجه گیری

هدف از این تحقیق، بررسی خواص فیزیکی مکانیکی فیلم زیست تخریب خوراکی حاوی نانو ذرّات اکسید روی می باشد. بدین منظور، فیلم‌های مرکب متشکل از صمغ گوار و کربوکسی متیل سلولز در حضور نانو ذرّات اکسید روی تهیه گردید و سپس اثر ترکیب درصد و حضور نانو ذرّات اکسید روی بر روی سایر خواص از جمله مکانیکی، دینامیک مکانیکی حرارتی، فیزیکی و مورفولوژیکی[1] مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج به دست آمده را می‌توان به صورت ذیل خلاصه کرد.

نتایج بررسی خواص مکانیکی نشان داد که:

در بررسی فیلم‌های حاوی نانو ذرّه اکسید روی و بدون نانو ذرّه به مقایسه ترکیب درصدهای مختلف می‌پردازیم که نشان دهیم با افزودن نانو ذرّه اکسید روی افزایش چشمگیری در ازدیاد طول به وجود می‌آید که از مقایسه میان نانو فیلم‌های مرکب CMC و گوار با ترکیب درصدهای مختلف، فیلم کربوکسی متیل سلولز و گوار با ترکیب درصدهای ۷۰:۳۰ و ۳۰:۷۰ بیشترین ازدیاد طول را دارا هستند.

- از مقایسهٔ مدول فیلم‌های مرکب، با افزودن نانو ذرّه، کاهش زیادی در مدول به وجود می‌آید و بیشترین مقدار مدول در حضور نانو ذرّه را در فیلم کربوکسی متیل سلولز ۱۰۰ درصد خالص و بعد از آن در CMC۷۰ و گوار ۳۰ داریم.
- در اثر افزودن نانو ذرّه استحکام کششی نمونه‌ها به طور کلی، کاهش یافته است. استحکام کششی در فیلم ۳۰ درصد وزنی گوار و ۷۰ درصد وزنی کربوکسی متیل سلولز در حضور نانو ذرّه بیشترین مقدار را نسبت به دیگر ترکیب درصدها داشته است.
- به طور کلی از بررسی خواص مکانیکی فیلم‌های خوراکی درمی‌یابیم که فیلم کربوکسی کتیل سلولز ۷۰ و گوار ۳۰ دارای بهترین خواص مکانیکی می‌باشد.
- طبق نتایج آزمون دینامیک مکانیکی حرارتی، فیلم خوراکی کربوکسی متیل سلولز دارای بیشترین Tg و فیلم گوار دارای کمترین دمای Tg است، و دمای Tg سایر فیلم‌های مرکب بین Tg این دو نمونه مشاهده می‌شود.
- در تصاویر میکروسکوپ نیروی اتمی از مقایسهٔ فیلم کربوکسی متیل سلولز ۷۰ درصد وزنی و گوار ۳۰ درصد وزنی و فیلم نانو کامپوزیتی آن به این نتیجه رسیدند که با افزودن نانو ذرّه اکسید روی میزان برآمدگی‌ها افزایش یافته و یکنواختی سطح فیلم کمتر می‌شود. و نشانگر این است که نانو اکسید روی سازگاری زیادی با ماتریکس پلیمر داشته و خوبی در داخل پلیمر پخش شده است.
- نتایج بررسی ضدمیکروبی سوسپانسیون فیلم خوراکی با نسبت ۷۰ درصد وزنی کربوکسی متیل سلولز و گوار ۳۰ درصد وزنی نشان داد که وارد کردن نانو ذرّه اکسید روی به بستر بیوپلیمرها مانع رشد طبیعی باکتری‌ها شده است. نتایج رشد باکتری در نمونه بدون نانو مثبت بوده است.

1- Morpholytic

■ نتایج پوشش‌دار کردن سیب زمینی و بادمجان با ترکیب درصدهای مختلف و در نهایت سرخ کردن آن‌ها حاکی از آن بود که فیلم خوراکی مرکب کربوکسی متیل سلولز ۷۰ درصد و گوار ۳۰ درصد وزنی حاوی نانو ذرّه اکسید روی دارای کمترین اختلاف وزن با نمونهٔ قبل از پوشش‌دهی بود و کمترین درصد روغن مصرفی در سرخ کردن این نمونه مشاهده شد که نمایانگر کاهش جذب روغن در مقایسه با شاهد بوده است.

■ در نهایت اثر ماندگاری میوهٔ توت فرنگی با پوشش‌دار کردن بررسی شد ونشان داد که فیلم بیوپلیمر کربوکسی متیل سلولز ۳۰ درصد وزنی و گوار ۷۰ درصد وزنی در مدّت ۵ روز بهترین ماندگاری را شامل شده و کاهش وزن چندانی در مقایسه با شاهد و دیگر نمونه‌ها نداشته است و از نظر رنگ، بو و شکل ظاهری در بهترین حالت قرار داشته است.

۷- منابع

۱. احمدی .ز، میردهقان .ح، حکم آبادی . ح، شمشیری. ح ، (۱۳۹۲) . «**استفاده از بسته‌بندی‌های نانو و پوشش‌دهی خوراکی در بهبود عمر انباری و کیفیت دانه‌های پسته تازه**»، نشریه علوم باغبانی (علوم و صنایع کشاورزی)، (شماره ۴)، صفحات ۳۶۷-۳۷۴.

۲. دارائی گرمه خانی. ا ، میرزایی. ح ، کاشانی نژاد. م ، مقصودلو. ی .(۱۳۸۷). «**استفاده از مواد هیدروکلوئیدی به عنوان پوشش‌های خوراکی به منظور تولید چیپس کم چرب**»، مجلّه علوم کشاورزی و منابع طبیعی، (شماره ۶).

۳. قنبرزاده .ب، پزشکی .ا، الماسی .ه، (۱۳۹۰)، «**فیلم‌های خوراکی فعال در بسته‌بندی مواد غذایی**»، فصلنامه علوم و صنایع غذایی، (شماره ۳۱)، صفحات ۱۲۳-۱۳۵.

۴. بهرامیان .ف، جوانمرد .م، (۱۳۸۸)، «**ماندگاری برش‌های خربزه پوشش داده شده با پروتئین آب پنیر در شرایط سرد**»، مجلّه علوم تغذیه و صنایع غذایی ایران(شماره ۲)، صفحات ۵۳-۶۲.

۵. جرجانی .س، همراهی .و، (۱۳۹۳)، «**تأثیر هیدروکلوئیدهای گوار و زانتان بر کاهش جذب روغن در فرآیند سرخ کردن بادمجان**»، نشریه پژوهش‌های صنایع غذایی، (شماره ۲)، صفحات ۲۳۱-۲۳۸.

۶. باباپور طاهر.ا ، (۱۳۸۹)، «**اصلاح خواص فیلم‌های خوراکی زیست تخریب‌پذیر بر پایهٔ نشاسته توسط صمغ‌های گیاهی (کندر، کتیرا، زدو و سقز)**»، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم تحقیقات.

۷. قنبرزاده.ب ، الماسی.ه ، (۱۳۸۸)، «**بررسی ویژگی‌های فیزیکی فیلم‌های مرکب زیست تخریب‌پذیر خوراکی کربوکسی متیل سلولز – اسید اولئیک**»، فصلنامه علوم و صنایع غذایی،(شماره ۲)، صفحات ۳۵-۴۲.

۸. شکرابی.آ ،(۱۳۸۷)، «**بررسی تولید فیلم‌های خوراکی از زئین و کیتوزان**»، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم تحقیقات.

۹. شارقی.ب، شهدادنژاد.ک، محمدی.ه، (۱۳۹۴)، «**مطالعه پایداری ساختاری آنزیم**

پپسین در حضور نانو ذرّات اکسید روی و اکسید آهن»، مجلّه پژوهش‌های سلولی و مولکولی (مجله زیست شناسی ایران) ، جلد ۲۸(شماره ۳) ، صفحات ۳۴۴-۳۵۱.

۱۰. امامی فر.آ ،کدیور.م ،شاهدی .م ، سلیمانیان زاد.ص ،(۱۳۸۹)، «**ارزیابی اثر بسته‌بندی‌های نانو کامپوزیتی حاوی نقره و اکسید روی بر عمر نگهداری آب پرتغال تازه**»، مجلّه علوم تغذیه و صنایع غذایی ایران ، سال ششم(شماره ۱)، صفحات ۵۷-۶۷.

۱۱. حسین زاده.ا ، سمرقندی.م.ر ، علی خانی.م.ر، روشنایی.ق، عسگری.ق ،(۱۳۹۱)، «**کارایی ضدمیکروبی سوسپانسیون نانو ذرّه اکسید روی علیه باکتری‌های گرم مثبت و گرم منفی**»، مجلّه سلامت و محیط، فصلنامه علمی پژوهشی انجمن علمی بهداشت محیط ایران، دوره پنجم(شماره۴)، صفحات ۴۷۴-۴۶۳.

12. Milda E. Embuscado, Kerry C. Huber,(2009), **"Edible Films and Coatings for Food Applications ,"** Springer Science+Business Media . pages 57-59.

13. Nooshin Noshirvani, Babak Ghanbarzadeh, Reza Rezaei Mokarram, Mahdi Hashemi, V´eronique Coma .(2017). **"Preparation and characterization of active emulsified films based on chitosan-carboxymethyl cellulose containing zinc oxide nano particles ,"** International Journal of Biological Macromolecules ,2-5.

14. Xie.Y ,Yiping He,Irwin.P , Jin.T , Shi.X, ,(2011) **"Antibacterial Activity and Mechanism of Action of Zinc Oxide Nanoparticles against Campylobacter jejuni ,"** 77(7) , Pages 2325-2331.

آدرس نویسنده

تهران- بلوار کریمخان – ابتدای پل حافظ- بعد از کوچه هورتاب- پلاک ۳۹۸- طبقه اول شرقی