مجله علوم و صنایع غذایی ایران

سایت مجله: www.fsct.modares.ac.ir

مقاله علمی_پژوهشی

تولید و بررسی خواص فیلم زیست تخریب پذیر آنتی اکسیدانی برپایه آرد کدوسبز حاوی نانوذرات کیتوزان بارگذاری شده با اسانس رازیانه

مهسا عباسپور[۱]، محسن اسمعیلی[۱]، هادی الماسی[۱]، فروغ محترمی[۱*]

۱- گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران

اطلاعات مقاله

تاریخ های مقاله :

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۰/۲۰

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۱/۲۸

کلمات کلیدی:

آرد کدوسبز،
فیلم آنتی اکسیدانی،
اسانس رازیانه،
خواص مکانیکی،
مورفولوژی

DOI: 10.22034/FSCT.22.165.196.

* مسئول مکاتبات:

mohtarami.f@gmail.com;
f.mohtarami@urmia.ac.ir

چکیده

هدف این پژوهش تولید فیلم زیست تخریب پذیر برپایه آرد کدوسبز و بررسی تأثیر افزودن نانوذرات کیتوزان بارگذاری شده با اسانس رازیانه(۰، ۳، ٦ و ۹ درصد وزنی/وزنی)بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و مکانیکی فیلم‌ها بود.نتایج نشان داد که افزودن نانوذرات کیتوزان به طور قابل توجهی مقاومت کششی و ازدیاد طول تا نقطه شکست فیلم‌ها را افزایش داد که نشان می‌دهد نانوذرات می‌توانند به عنوان تقویت‌کننده عمل کرده و ساختار فیلم را بهبود بخشند. افزایش درصد نانوذرات باعثافزایش حلالیت در آب و کاهش زاویه تماس آب فیلم‌ها شد. فعالیت آنتی‌اکسیدانی فیلم‌ها با افزایش غلظت نانوذرات به طور قابل توجهی افزایش یافتکه می‌تواند به دلیل وجود اسانس رازیانه در نانوذرات و بروز خواص آنتی‌اکسیدانی آن باشد. نتایج آزمون FTIR نشان داد که نانوذرات کیتوزان به خوبی با ماتریس پلیمری فیلم آرد کدوسبز پیوند شیمیایی برقرار کرده‌اند. تصاویر SEM نیز نشان داد که افزودن نانوذرات باعث افزایش زبری سطح فیلم‌ها شده و یکنواختی سطح فیلم با افزایش میزان نانوذرات کیتوزان کمتر شده است.بر اساس نتایج این پژوهش، فیلم حاوی ٦ درصد نانوذره کیتوزان حامل اسانس رازیانه، از نظر خواص مکانیکی و فیزیکی بهترین عملکرد را نشان داد. بطور کلی، فیلم خوراکی آرد کدوسبز فعال شده با اسانس رازیانه و نانوذرات کیتوزانمی‌تواند به عنوان فیلم خوراکی فعال با خواص مطلوب جهت استفاده در بسته بندی مواد غذایی حساس به فساد اکسایشی معرفی شود.

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2025-08-06]

[DOI: 10.22034/FSCT.21.165.196]

۱-مقدمه

استفاده از پلاستیک در بسته بندی مواد غذایی به دلیل ویژگی‌های مطلوبی مانند سبک و مقرون به صرفه بودن و خواص مکانیکی مناسب در سطح جهانی گسترش یافته است. با این حال، وابستگی زیاد به پلاستیک‌هایی که از سوخت‌های فسیلیتولید شده‌اند، برای محیط زیست بسیار مضر است.یک راه حل برای غلبه بر این مشکل، توسعه و استفاده از پلاستیک‌های زیست تخریب پذیر است که سازگار با محیط زیست بوده و برای سلامتی بی ضرر هستند.پیشرفت‌های تکنولوژیکی اخیر، تولید فیلم‌های زیست تخریب‌پذیر را از منابع تجدیدپذیر و سازگار با محیط‌زیست تسهیل کرده است[۱]. فیلم‌های خوراکی معمولا حاوییکیا چند ترکیب اصلی، حلال و نرم کننده می‌باشند. اجزای اصلی فیلم‌ها شامل پلی ساکاریدها (نشاسته، پکتین، صمغ و غیره)، لیپیدها (روغن، چربی، موم، اسانس و غیره) و پروتئین‌ها (کازئین، آب پنیر، گندم، سویا و غیره) می‌باشدکه به تنهاییا در ترکیب باهم استفاده می‌شوند[۲].تحقیقات اخیر به توسعه و بررسیمواداولیه جدیددر تهیه فیلم‌ها می‌پردازد و به پتانسیل تشکیل فیلماز آرد حاصل از منابع مختلف اشاره می‌کند[۳]. آردهای به دست آمده از محصولات کشاورزی، ترکیبات پیچیده طبیعی از پلی‌ساکاریدها، پروتئین‌ها و لیپیدها هستندو درسال‌های اخیر، علاقه فزاینده‌ای به استفاده از آرد به عنوان ماتریس فیلم وجود دارد[٤].مطالعات مختلف تولید فیلم‌های زیست تخریب پذیر از منابع مختلف آرد مانند آرد گندم سیاه،آرد نخود، آرد چغندر، آرد چنار بومی، آرد بادمجان و غیره را بررسی کرده‌اند[۵-۸].کدو سبز[1] (*Cucurbita pepo* L.) یک سبزی محبوب و فصلی با ارزش غذایی بالا است که در سراسر جهان کشت می‌شود.خواص مفید این گیاه به وجود ترکیبات فعال زیستی از جمله لوتئین، بتاکاروتن و اسید فولیکمربوط می‌شود.کدو سبز نقش مهمی در رژیم غذایی سالم ایفا می‌کند زیرا حاوی مواد مغذی بالاییاز جمله فولات، کربوهیدرات، فیبر، پروتئین و ویتامین‌ها (ویتامین‌های K،C و B_6)و مواد معدنی (پتاسیمو منگنز) است[۹]. مطالعات مختلف استفاده از کدو سبز را برای غنی سازی مواد غذایی مورد بررسی قرار داده‌اند. به عنوان مثال،Różyłoو همکاران [۱۰] نان گندم غنی شده با کدو سبز را در تحقیقات خود مورد بررسی قرار داده و اظهار داشتند که کدو سبز تأثیر زیادی در بهبود خواص نان رژیمی داشت. همچنینZhang و همکاران[۱۱]اثر پلی ساکارید کدو سبز را بر چسبندگی[2]، رئولوژی، خواص ساختاری و قابلیت هضم آزمایشگاهی نشاسته سیب‌زمینی بررسی کردند و به این نتیجه رسیدند که غذاهایفراسودمند مبتنی بر نشاسته را می‌توان با ترکیب پلی‌ساکارید کدو سبز و نشاسته سیب‌زمینی توسعه داد.آرد کدو سبز علاوه بر بهبود خواص مواد غذایی، قابلیت استفاده در تولید فیلم خوراکی و زیست تخریب پذیر را نیز دارد. برای بهبود خواص عملکردیفیلم‌ها می‌توان انواع مواد زیست فعال طبیعی را بهآن‌ها اضافه کرد. در سال‌های اخیر، اسانس‌ها به طور گسترده‌ای به عنوان مواد موثرهدر تولید فیلم‌ها و پوشش‌های خوراکی مورد استفاده قرار گرفته‌اند.رازیانه[3] با نام علمی*Foeniculum vulgar*گیاهی است چند ساله که در صنایع دارویی، غذایی و آرایشی و بهداشتی کاربرد فراوانی دارد. محافظت از کبد، خواص آنتی اکسیدانی، ضد التهابی، ضد دیابت، ضد سرطان، ضد قارچ و فعالیت ضد باکتریایی اسانس رازیانه در مطالعات مختلف به اثبات رسیده است. ۲۲ ترکیب در اسانس رازیانه شناسایی شده است که درصد آن‌ها در مراحل مختلف رشد تغییر می‌کند، اما ترکیبات اصلی آن شامل آنتول، لیمونن، فنچون، استراگول و

1-Zucchini

2-Pasting

3-Fennel

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2025-08-06]

[DOI: 10.22034/FSCT.21.165.196]

آلفاپنین است[۱۲, ۱۳].انکپسولاسیونیک روش مقرون‌به‌صرفه و ایده‌آل برای محافظت از اسانس‌ها در برابر آسیب اکسایشی، تخریب نوری، گرما و رطوبت نسبی بالا است و اجازه رهایش کنترل‌شده را به اسانس‌می‌دهد[۱٤]. تکنیک‌های مختلفی برای نانوانکپسولاسیون مواد زیست فعال مورد بررسی قرار گرفته است. نانومواد به موادی اطلاق می‌شود که دارای ذرات با اندازه ۱۰۰-۱ نانومتر هستند. نانوذرات محصور شده حاوی اسانس معمولاً توسط پلیمرهای زیستی مختلف تهیه می‌شوند و کیتوزان به دلیل خواصی مانند ایمنی، زیست سازگاری و زیست تخریب‌پذیری اغلب به عنوان ماده اولیه در تشکیل نانوذرات استفاده می‌شود[۱۵].کیتوزان [٤] (CH) یک پلی ساکارید کاتیونی است که به دلیل استخراج قابل کنترل و آسان، زیست سازگاری، زیست تخریب پذیری، غیرسمی بودن، خواص ضد قارچی، اصلاح شیمیایی آسان و توانایی آن در تشکیل ژل، فیلم و... کاربردهای گسترده‌ای در فناوری نانو دارد[۱٦]. نانوذرات کیتوزانبا روش ژل شدنیونی[٥]تشکیل می‌شوند که در نتیجه برهمکنش الکترواستاتیکی بین بار مثبت کیتوزان و بار منفی تری پلی فسفات سدیم (TPP) در یک محیط اسیدی رخ می‌دهد[۱۷]. نانوذرات کیتوزان به طور گسترده برایانکپسولاسیون ترکیبات فعال زیستی مختلف مانند اسانس چاویر[۱۸]، میخک[۱۹]،دارچین[۲۰]و ماندارین[۲۱] استفاده شده است.تاکنون پژوهشی در مورد تولید فیلم خوراکی از آرد کدو سبز گزارش نشده است. همچنین از نانوذرات کیتوزان برای درون پوشانی اسانس رازیانه استفاده نشده است. هدف از این مطالعه بررسی امکان تولید فیلم خوراکی از آرد کدو سبز و بررسی تاثیر افزودن نانوذرات کیتوزان بارگذاری شده با اسانس رازیانه بر ویژگی فیزیکی، ساختاری و مورفولوژیکی فیلم‌های حاصل است.

۲-مواد و روش‌ها

مواد

کدو سبز تازهمورد استفاده در این تحقیق از بازار محلی ارومیه، استان آذربایجان غربی، ایران تهیه شد. اسانس رازیانه (FEO[6]) با روش تقطیر با آب به وسیله دستگاه کلونجر به مدت ۳ ساعت استخراج شد.کیتوزان با وزن مولکولی کم (Mw = 50-90 kDa، درجه استیلاسیون = ۷۵-۸۵٪) وتری پلی فسفات سدیم(TPP) از سیگما آلدریچآلمان و دی فنیل پیکریل هیدرازیل(DPPH)، اسید استیک،Tween 80، و گلیسرول از شرکت مرک آلمان تهیه شدند.

تهیه آرد کدو سبز

آرد کدو سبز (ZF)طبق روش پیشنهادیKręcisz و همکاران[۹] با تغییرات جزئی تهیه شد. ابتدا کدوها شسته و به صورت دیسکی شکل باضخامت یکسان بدون پوست-گیریبرش داده شده و در آون با دمای°C ٦٥ به مدت ٦ ساعت خشک شدند. کدو سبزهای خشک شده با آسیاب به شکل پودر درآمده و با استفاده از الک با مش ٦٠ (۲٥۰ میکرومتر) الک شدند. آرد حاصل در کیسه‌های پلی اتیلن بسته بندی و در دمای ٤ درجه سانتی گراد نگهداری شد.

آنالیز شیمیایی آرد کدو سبز

ترکیب شیمیایی آرد کدو سبز شامل رطوبت، خاکستر، پروتئین، چربی و محتوای فیبر خام بر اساس استاندارد (2000AOAC) [۲۲]تعیین شد و محتوای کربوهیدرات با کم کردن مجموع رطوبت، خاکستر، پروتئینو چربی از ۱۰۰ محاسبه شد[۲۳].

تهیه نانوذرات کیتوزان بارگذاری شده با اسانس رازیانه (FEO-NP)

4 Chitosan

5-Ionic gelation

6-Fennel Essential Oil

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2025-08-06]

[DOI: 10.22034/FSCT.21.165.196]

نانوذرات کیتوزانبارگذاری شده با اسانس رازیانهبه روش ژل شدن یونی بر اساس روش پیشنهادیHosseini و همکاران[۲۴]تهیه شدند. ابتدا۱۰۰ میلی‌گرم کیتوزان به ۱۰ میلی‌لیتر اسید استیک (۱ درصد حجمی) اضافه و در دمای اتاق به مدت ۲۴ ساعتبر روی استیرر قرار داده شد تا کاملاً حل شود.pHمحلول کیتوزان با استفاده ازNaOH ۱۰ مولار بر روی ۵ تنظیم و۰/۱ گرم توئین ۸۰ به عنوان سورفکتانت به محلول اضافه و در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۳۰ دقیقههم زده شد تا یک امولسیون همگن تشکیل شود.آزمایش‌های اولیه برایافتن نسبت بهینه کیتوزان و اسانس انجامشد و در نهایت بر اساس بالاترین راندمان انکپسولاسیون (۹۶٪) و کوچک‌ترین اندازه ذرات (۱۱۵ نانومتر)، نسبت وزنی کیتوزان به اسانس ۱:۱ انتخاب شد.اسانس رازیانه در یک میلی‌لیتر اتانول حلشده و به تدریجدر حمام یخ به امولسیونکیتوزاناضافه و به مدت ۳۰ دقیقههمزده شد تا امولسیون تهیه شود.سپس محلول۰/۴ درصد وزنی/حجمی تری پلی فسفاتبا نسبت ۱:۱حجمی/حجمی به صورت قطره‌ای به امولسیون اضافهو به مدت ۴۰ دقیقه هم زده شد.محلول به‌دست‌آمده با سرعت ۱۰۰۰۰ دور در دقیقه به مدت ۳۰ دقیقه سانتریفیوژ و نانوذرات حاصل به وسیله آب دیونیزهشسته و جدا شدند وبه مدت ۴ دقیقهدر حمام یخاولتراسوند شدند. نانوذرات به دست آمده در ۱۵ میلی‌لیتر آب مقطر حل شده و در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند.

تهیه فیلم فعال

آماده سازی فیلم‌ها طبق روشYazicioglu[۲۵]با اندکی تغییرات صورت گرفت. ابتدا ۴ گرم آرد کدو سبز (ZF)در ۱۵۰ میلی‌لیتر آب مقطربه مدت ۳۰ دقیقه در دمای ۸۵ درجه سانتی‌گراد تحت هم زدن مداوم حرارت داده شد و سپس تا دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد خنک شد. سپس pH محلول با NaOH (0.1 N) روی ۱۰ تنظیم و گلیسرول (۳۶٪ وزنی) به عنوان نرم کننده اضافه و محلول به مدت ۳۰ دقیقههمزده شدو در نهایت محلول فیلمشاهد تهیه شد. برای تهیه فیلم-های حاویانوذرات، ابتدا نانوذرات کیتوزانتهیه شده در ۵۰ میلی‌لیتر آب مقطر حل و به مدت ۱۰ دقیقه تحت تیمار فراصوت قرار گرفتند. سپس سوسپانسیون همگن نانوذرات به محلول فیلم اضافهو به مدت ۴۰ دقیقه هم زده شد. محلول حاصل به مدت ۵ دقیقهدر حمام فراصوت قرار گرفت تا حباب‌های هوا از آن حذف شود، سپس ۳۰ میلی‌لیتر از این محلول بر روپیلیت (قطر ۱۰ سانتی‌متر) ریخته شد و در دمای ۳۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت خشک شد. فیلم‌های خشک شده از پلیت جدا و در داخل کیسه‌های پلاستیکی زیپ‌لاک در دمای ۴ درجه سانتی‌گرادنگهداری شدند. فیلم‌های کدوسبز حاوی ۰، ۳، ۶ و ۹ درصد نانوذره کیتوزان حاوی اسانس رازیانه به ترتیبشاهد،F_3، F_6 و F_9 نامگذاری شدند.

آزمون‌های نانوذرات کیتوزان

اندازه ذرات

اندازه ذرات، شاخص پراکندگی [۷](PDI) و پتانسیل زتانانوذرات کیتوزان با تکنیک پراکندگی نور پویا[8] (DLS)با استفاده از دستگاه Zetasizer Nano ZS(مدل UK ،ZEN3600، Malvern Instruments، Worcestershire) اندازه‌گیری شد.نمونه‌ها قبل از آنالیز با آب مقطر تا ۱۰ برابر رقیق شدند.

کارایی درون پوشانی

کارایی درون پوشانی [۹] (EE) نانوذرات با روش اسپکتروفتومتریUV-Vis تعیین شد[۲۶]. به طور خلاصه،۰/۵ میلی‌لیتر سوسپانسیون نانوذرات با ۳/۵ میلی‌لیتر اتانول (۵۰ درصد V/V)مخلوط شد. محلول حاصل با

7-Poly dispersity index

8-Dynamic Light Scattering

9-Encapsulation Efficiency

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2025-08-06]

[DOI: 10.22034/FSCT.21.165.196]

سرعت ۹۰۰۰ دور در دقیقه به مدت ۵ دقیقه در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد سانتریفیوژ شد و مایع رویی به‌دست‌آمده برای تعیین محتوایاسانس با اسپکتروفتومتر در طول موج ۲۵٤ نانومتر (حداکثر طول موج جذب برایFEO)آنالیز شد. از منحنی استاندارد برای محاسبه مقدار FEO بارگذاری شده استفاده شد. راندمان انکپسولاسیون(EE)با معادله زیر محاسبه شد:

$$EE\ (\%) = ((\text{Total FEO} - \text{Free FEO})/\text{Initial amount of FEO}) \times 100 \quad (۱)$$

مورفولوژی نانوذرات

مورفولوژینانوذرات کیتوزان با میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM)[10] (MIRA3, TESCAN, Brno, Czech Republic) بررسی شد. حدود ۱ میلی‌گرم نانوذره خشک شده در فریز درایر در ۲۰ میلی‌لیتر آب مقطر حل شد و به مدت ٤ دقیقه تحت تیمار فراصوت قرار گرفت. یک قطره از اینمونه رویک زیرلایه شیشه‌ای پخش و در هوا خشک شد، روی ستون آلومینیومی نصب و سپس با طلا پوشانده شد و مشاهده با میکروسکوپFESEM انجام شد.

آزمون‌های فیلم

حلالیت در آب (WS)

برای تعیین حلالیت در آب، قطعات مربعی شکل به ابعاد ۲×۲ سانتی‌متر از فیلم‌ها تهیه و به مدت ۲٤ ساعت در دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد خشک شدند. فیلم‌های خشک شده توزین (W_1) وبه مدت ۲٤ ساعت در ۱۰ میلی لیتر آب مقطر در دمای اتاق نگهداری شدند. سپس فیلم‌ها از کاغذ صافی عبور داده و در دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد خشک شدند تا به وزن ثابت برسند[۲۷]. وزن نهایی فیلم‌ها مجدداً اندازه گیری (W_2) ودر نهایت حلالیت فیلم خوراکی با استفاده از رابطه زیر محاسبه شد:

$$WS\ (\%) = (W_1 - W_2/W_1) \times 100 \quad (۲)$$

زاویه تماس آب (WCA)

برای تعیین زاویه تماس آب، یک قطره آب مقطر (۵ میکرولیتر) روی سطح فیلم‌ها قرار داده شد و با استفاده از دوربین دیجیتال

(Microsoft, 185 LifeCam, H5D-00013, zoom ×24)از شکل قطره عکس گرفته شد. زاویه قطرات قرار داده شده بر روی فیلم‌ها با استفاده از نرم افزار (Image. J 1.48)تعیین شد[۲۸].

خواص مکانیکی

خواص مکانیکیفیلم‌ها، مانند استحکام کششی (TS) ودرصد ازدیاد طول تا نقطه شکست(EAB) توسط دستگاه بافت سنج (TA.TXT plus) آنالیز شد. فیلم‌ها به شکل دمبل (۱×۸ سانتی متر) برش داده شدند و بین دو فک دستگاه قرار گرفتند.فاصله بین دوفک قبل از آزمون ٤۰ میلی‌متر بود. فک بالا با سرعت ۰/۵ میلی‌متر بر ثانیه شروع به حرکت کرد و در لحظه پاره شدن فیلم آزمون پایانیافت. استحکام کششی (TS)و درصد ازدیاد طول (EAB)با استفاده از معادلات زیر محاسبه شد[۲۹]:

$$TS = F_{max}/A \quad (۳)$$

$$EAB\ (\%) = (\Delta L/L) \times 100 \quad (٤)$$

که در آن A سطح مقطع (m^2)، F_{max} حداکثر نیروی کششیدر نقطه شکست (N)، ΔL تغییر شکل یا افزایش طول(Lmax-L) و L طول اولیه فیلم (m) است.

10-Scanning electron microscopy

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2025-08-06]

[DOI: 10.22034/FSCT.21.165.196]

میکروسکوپ الکترونی روبشی(SEM)

برای بررسی ریز ساختار (مورفولوژی)فیلم‌ها از دستگاهمیکروسکوپ الکترونی روبشی (MIRA3، TESCAN، برنو، جمهوری چک) استفاده شد. نمونه‌ها با یک لایه نازک رسانا از طلا پوشانده شدند و مشاهدات با ولتاژ شتاب دهنده ۲۰ کیلو ولت انجام شد.

طیف‌سنجی فروسرخ تبدیل فوریه (FTIR)[11]

آنالیزFTIR برای بررسیبرهمکنش‌های ساختاری در فیلم‌ها استفاده شد. به این منظور از یک طیف سنج (Bruker-Tensor 27, Bremen, Germany)استفاده شد و طیف‌ها در محدوده cm^{-1} ۴۰۰-۴۰۰۰ ثبت شدند.

فعالیت آنتی اکسیدانیDPPH

فعالیت آنتی اکسیدانی فیلم‌ها با استفاده از روش مهار رادیکال آزاد DPPH ارزیابی شد. به طور خلاصه، ۰/۰۲گرم از هر فیلمبه مدت ۵ دقیقه در ٤ میلی‌لیتر آب مقطر حل شد. سپس ۲ میلی‌لیتر از محلول عصاره فیلم با ۱ میلی‌لیتر محلول اتانولی ۰/۱ میلی‌مولار DPPH مخلوط شد. مخلوط به خوبی با سرعت ۵۰۰ دور در دقیقه به مدت یک دقیقه ورتکس شد. پس از ۳۰ دقیقه نگهداری در تاریکی، میزان جذب محلول توسط اسپکتروفتومتر در طول موج ۵۱۷ نانومتر خوانده و فعالیت آنتی اکسیدانی فیلم‌ها با استفاده از فرمول زیرمحاسبه شد[۳۰]:

$$DPPH\ (\%) = \frac{A_c - A_s}{A_c} \times 100 \qquad (۵)$$

که در آن Ac جذب کنترل و As جذب نمونه فیلم است.

تجزیه و تحلیل آماری

آنالیز آماریبا استفاده از نرم افزار SPSS در قالب طرح کاملا تصادفی انجام گرفت. از آزمون چند دامنه‌ای دانکن برای تعیین وجود اختلاف میانگین در سطح ۵ درصد بین نمونه‌ها استفاده شد.

۳-بحث و نتایج

ترکیب شیمیایی آرد کدو سبز

آرد کدو سبز حاوی ۱۰/۵۲ درصد رطوبت، ۷/۵۸ درصد خاکستر، ۵۲/۰۳ درصد کربوهیدرات، ۱۱/۷ درصد فیبر خام، ۲/۸۰ درصد چربی و ۲٦/٦۵ درصد پروتئین بود. آرد کدو سبزمحتوای کربوهیدرات کمتری در مقایسه با آرد چنار، آرد نخود، آرد کدو تنبل و آرد چغندرداشت. همچنیندر مقایسه با آردهای کیوی، کدو تنبل، بوکایووا، آچیرا، چنار، چغندر و آرد نخود،آرد کدو سبز دارای میزان پروتئین بیشتریبود[۵, ۷, ۳۴-۳۱]. پروتئین‌ها و کربوهیدرات‌های پلی ساکاریدی مانند نشاسته مسئول ایجاد خاصیت فیلم‌سازی توسط آرد کدوسبز بوده و با توجه به محتوای بالای این دو ترکیب شیمیایی، قابلیت تشکیل فیلم‌های خوراکی مطلوب، مورد انتظار بود.

بررسی خصوصیات نانوذرات کیتوزان

اندازه ذرات و پتانسیل زتا (DLS)

اندازه ذرات، شاخص پراکندگی (PDI)و پتانسیل زتا نانوذرات کیتوزان بارگذاری‌شده با FEOدر شکل۱مشاهده می‌شود. نانوذرات کیتوزان دارای اندازه متوسط ۲٦۰/۸ نانومتر می‌باشند وپتانسیل زتای نانوذرات۵۲/۳ میلی ولت است.اندازه کمتر از ۵۰۰ نانومتر ذرات تولید شده نشان دهندهٔ موفقیت آمیز بودن روش تولید نانوذرات در این تحقیق است.به طور کلی، مقادیر بالای پتانسیل زتا(مثبت یا منفی) نشان‌دهنده بار الکتریکی سطحی قوی‌تر است که منجر به ایجاد نیروهای دافعه الکترواستاتیکی روی سطح نانوذرات می‌شودوباعث پایداری فیزیکی آن‌ها می‌شود. مقادیر ZP بیش از ۳۰+ میلی ولت نشان دهنده پایداری فیزیکی بالای نانوذرات، مقادیر حدود ۲۰+ میلی ولت پایداری کوتاه مدت

11-Fourier Transform Infrared Spectroscopy

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2025-08-06]

[DOI: 10.22034/FSCT.21.165.196]

و مقادیر کمتر از ۵+ میلی ولت نشان دهنده پایداری کم و تجمع سریع است[۱۸].کیتوزان به دلیل وجود گروه‌های آمین دارای بار خالص مثبت است و پتانسیل زتای بالا نشان دهندهٔ خلوص مطلوب نانوذرات تولیدی است.PDIنانوذرات کیتوزان ۰/۲۸ تعیین گردید. مقدار PDIبین ۰/۱ تا ۰/۲۵ نشان دهنده توزیع اندازه نزدیک به هم و مقدار PDI بزرگتر از ۰/۵نشان دهنده توزیع غیریکنواخت اندازه ذرات می‌باشد [۳۵].

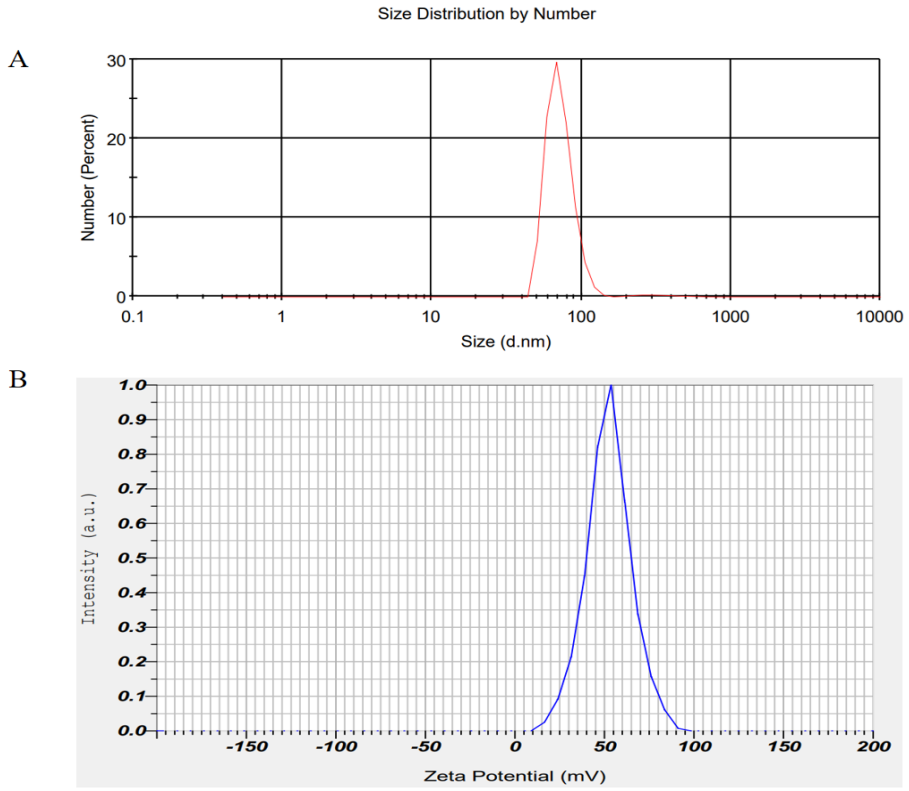

Fig. 1. (A) size distribution, (B) ζ-potential of FEO-NPs.

کارایی درون پوشانی

راندمان درون پوشانی (EE)به عنوان محتوای واقعیاسانس بارگذاری شده در نانوذرات تعریف می‌شود. راندمان درون پوشانی نانوذراتکیتوزان بارگذاری شده با اسانس برابر با ۹۶درصد بودکه این نتیجه تاییدکننده موفقیت انکپسولاسیون اسانس رازیانهدر نانوذرات کیتوزان می‌باشد. نتایج مشابهی برای کارایی درون پوشانی اسید گالیک بارگذاری شده در نانوذرات کیتوزان گزارش شد که برابر ۸۹/۶۳ درصدبود[۳۶]. همچنین در مطالعه دیگری راندمان درون پوشانیعصاره آبی انگور بارگذاری شده در نانوذرات کیتوزان، ۵۱/۹درصدبود.وزن مولکولی ترکیبی که قرار است محصور شود به طور قابل توجهی بر راندمان درون پوشانی تأثیرگذار است بطوریکه، مولکول‌های با وزن مولکولی بالا معمولاً حرکت محدودی دارند و منجر به راندمان درون پوشانی کمتر می‌شوند[۳۷].

مورفولوژی نانوذرات (SEM)

مورفولوژینانوذراتثبت شده با میکروسکوپFE-SEMدر شکل ۲ نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود، ذرات تقریبا کروی با توزیعیکنواختدیده می‌شوند و اندازه ذرات کمتر از ۵۰۰ نانومتر بود. مقداری تجمع در

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2025-08-06]
[DOI: 10.22034/FSCT.21.165.196]

تصاویرSEM قابل مشاهده است که احتمالاً به برهمکنش پیوند هیدروژنی بین نانوذرات در طول خشک کردن انجمادی مربوط است[۳۸]. Cai و همکاران[۳۹] نتایج مشابهی را برای مورفولوژی نانوذرات کیتوزان بارگذاری شده با اسانس ریحان گزارش کردند.

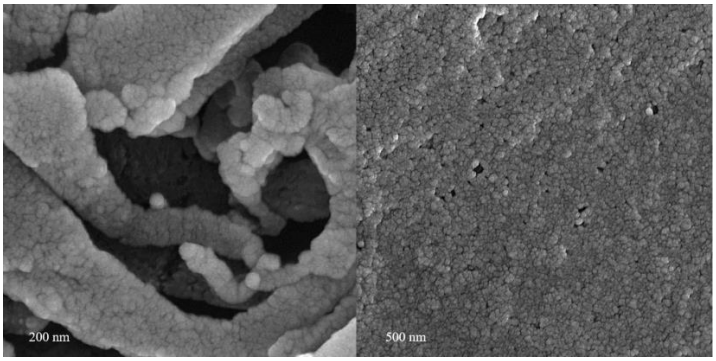

Fig. 2. SEM images of FEO-NP powders

خصوصیات فیلم‌ها

حلالیت در آب (WS)

قابلیت انحلال در آب، یک فاکتور مهم مورد مطالعه در فیلم-های خوراکی می‌باشد. همانطور که در جدول ۱ مشاهده می‌شود، افزودن نانوذرات باعث کاهش حلالیت فیلم‌ها از۱۱درصد در نمونه شاهد به ۹/۵ درصددر فیلم حاوی ۳ درصد نانوذره شد. کاهش حلالیت در آب با افزودن نانوذرات کیتوزان می‌تواند ناشی از تشکیل پیوندهای هیدروژنی بین ماتریس فیلم و نانوذرات کیتوزان باشد. با این حال، افزایش بیشتر نانوذرات در سطوح ٦ و ۹ درصدباعث افزایش حلالیت فیلم‌ها شد. به نظر می‌رسد در مقادیر بالاینانوذرات کیتوزان، تجمع ذرات رخ می‌دهدو با توجه به ماهیت آبدوست کیتوزان این امر منجر به افزایش جذب آب توسط گروه‌های آبدوست سطح آن شده و حلالیت فیلم‌ها را افزایش می‌دهد. De Moura و همکاران[٤٠]نتایج مشابهی را برای کاهش حلالیت در آب با افزودن نانوذرات کیتوزان در فیلم‌های متیل سلولز گزارش کردند.همچنین Lee و همکاران [٤١]گزارش کردند که نانوذرات کیتوزان-pکوماریک اسید باعث بهبود جزئی در حلالیت فیلم-کامپوزیتی پلی‌وینیل الکل/نشاسته شد، زیرا ساختار فشرده‌ای داشت که می‌توانست مانع انتشار آب شود.Ediyilyam و همکاران[٤٢]در تحقیق خود نشان دادند که افزودن نانوذرات نقره در فیلم کامپوزیتی کیتوزان / ژلاتین باعث اندکی افزایش در حلالیت فیلم‌ها شد.

زاویه تماس(WCA)

درجه آب دوستی و آب گریزی سطح فیلم‌های بسته‌بندی با اندازه‌گیری زاویه تماس آب بین سطح فیلم و قطرات آب ارزیابی می‌شود. سطح یک ماده با زاویه تماس کمتر از ٦٥ درجه آبدوست خواهد بود و اگر زاویه تماس بیشتر از ٦٥ درجه باشد سطح آبگریز در نظر گرفته می‌شود[٤٣]. افزودن نانوذراتکیتوزان تاثیر چشمگیری برزاویه تماس فیلم-هانداشت و با افزایش میزان نانوذرات کیتوزان درفیلم‌ها زاویه تماس کمی کاهش یافت که نشان دهنده افزایش آب دوستی سطح فیلم‌ها بود.دلیل آن می‌تواند این باشد که نانوذرات در غلظت بالا تمایل به تجمع دارند که باعث کاهش اثربخشی آن‌ها شده و بهبود آبگریزی سطح فیلم‌ها را محدود می‌کند. علاوه بر این، ماهیت آبدوست نانوذرات به دلیل وجود گروه‌های آبدوست در سطح کیتوزان می‌تواند دلیل این افزایش ماهیت آبدوستی سطح فیلم‌ها باشد[٤٤]. Liu و همکاران [٤٥] نیز گزارش کردند زمانی که غلظت نانوذرات کیتوزان در فیلم نشاسته ذرت ٤/٥ درصد بود، زاویه تماسدر مقایسه با فیلم‌های حاوی ۳ درصد نانوذره، کاهش یافت. همچنین Hosseini و همکاران [٤٦] نیز نتایج مشابهی را برای کاهش زاویه تماس با افزودن نانوذرات کیتوزان به فیلم

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2025-08-06]
[DOI: 10.22034/FSCT.21.165.196]

کامپوزیتی کیتوزان- پلی‌وینیل الکل - ژلاتین ماهی گزارش کردند.

Table1Water solubility (WS), and water contact angle (WCA) of the films.

Samples	WS (%)	WCA (°)
Blank	11.5 ± 0.005[b]	30.810 ± 2.094[a]
F_3	9.5 ± 0.013[c]	27.776 ± 3.370[a]
F_6	17.9 ± 0.002[a]	21.693 ± 0.755[b]
F_9	18.4 ± 0.002[a]	21.743 ± 0.105[b]

Blank, F_3, F_6, and F_9 represent films containing different concentrations of nanoparticles (0, 3, 6, and 9%).The data are presented as mean ± SD. Different letters in the same column indicate significantly different ($p < 0.05$).

خواص مکانیکی

خواص مکانیکی اندازه‌گیری شده فیلم‌ها در این مطالعه شامل استحکامکششی(TS)، ازدیاد طول در نقطه شکست(EAB)بود که نتایج این شاخص‌ها در جدول ۲ آمده است.همانطور که مشاهده می‌شود، افزودن نانوذراتکیتوزان باعث افزایش استحکام کششی(TS) و درصد ازدیاد طول در نقطه شکست(EAB) فیلم‌ها شد بطوریکه،TS فیلمشاهد ۰/۵۷۷ مگاپاسکال بود و پس از افزودن نانوذرات کیتوزان به طور قابل توجهی افزایشیافت. با این حال، با افزایش بیشتر غلظت نانوذرات کیتوزان،TS کمی کاهش یافت اما همچنان بالاتر از فیلم شاهدبود. اینتایج را می‌توان با افزایش نیروهای جاذبه بین مولکولی به دلیل تشکیل پیوندهای هیدروژنی بین نانوذراتکیتوزان و ماتریس پلیمری و در نتیجه تشکیل یک شبکه فشرده توضیح داد[٤٧]. نتایج مشابهی برای فیلم‌های نانوکامپوزیت برپایه کیتوزان[٤٨] و فیلم نانوکامپوزیت هیدروکسی پروپیل متیل سلولز/هیدروکسی پروپیل نشاسته تقویت‌شده با نانوذرات کیتوزان حاوی اسانس دارچین گزارش شده است[٤٩].

Table 2. Tensile strength (TS), elongation-at-break (EAB), water vapor permeability (WVP), and DPPH radical scavenging activity of the films.

Samples	TS (MPa)	EAB (%)	DPPH scavenging (%)
Blank	0.577 ± 0.018[c]	17.331 ± 0.628[b]	24.460 ± 0.100[d]
F_3	0.745 ± 0.006[a]	19.820 ± 2.760[ab]	36.636 ± 0.102[c]
F_6	0.752 ± 0.0008[a]	21.961 ± 0.538[a]	37.840 ± 0.100[b]
F_9	0.682 ± 0.003[b]	21.145 ± 1.715[a]	43.823 ± 0.080[a]

Blank, F_3, F_6, and F_9 represent films containing different concentrations of nanoparticles (0, 3, 6, and 9%). The data are presented as mean ± SD. Different letters in the same column indicate significantly different ($p < 0.05$).

میکروسکوپ الکترونی روبشی(SEM)

تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشیبزرگنمایی‌های متفاوتاز سطح فیلم‌ها در شکل ٤ نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود، فیلمشاهد (شکل A-٤)دارای سطح صاف، همگن و یکنواختبود که نشان دهنده قابلیت خوب آرد کدو سبز به عنوان ماده اولیه جهت تشکیل فیلمیبا ویژگی‌های مطلوب و مورفولوژی مناسب می‌باشد.با افزودن نانوذراتکیتوزانمورفولوژی فیلم‌ها دچار تغییر شد بطوریکه زبری سطح آن‌ها افزایشیافته و سطوح فیلم ناهموار شدند. همچنین تودهنانوذرات بصورت برجستگی‌هایی در سطح فیلم‌ها مشهود است که به طور یکنواخت در ماتریس فیلم پراکنده شده و ساختار همگن‌تری ایجاد کردند. مشابه با تحقیق حاضر،Zeng و همکاران [٥٠] گزارش کردند که نانوذرات به طور یکنواخت در ماتریس نشاسته ریشه نیلوفر آبی پراکنده شده و سطوح فیلم‌های کامپوزیت با افزایش

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2025-08-06]

[DOI: 10.22034/FSCT.21.165.196]

محتوای نانوذراتزبرتر شدند. همچنین Al-Maqtari و همکاران[۵۱]نیز نتایج مشابهی را گزارش کردند.

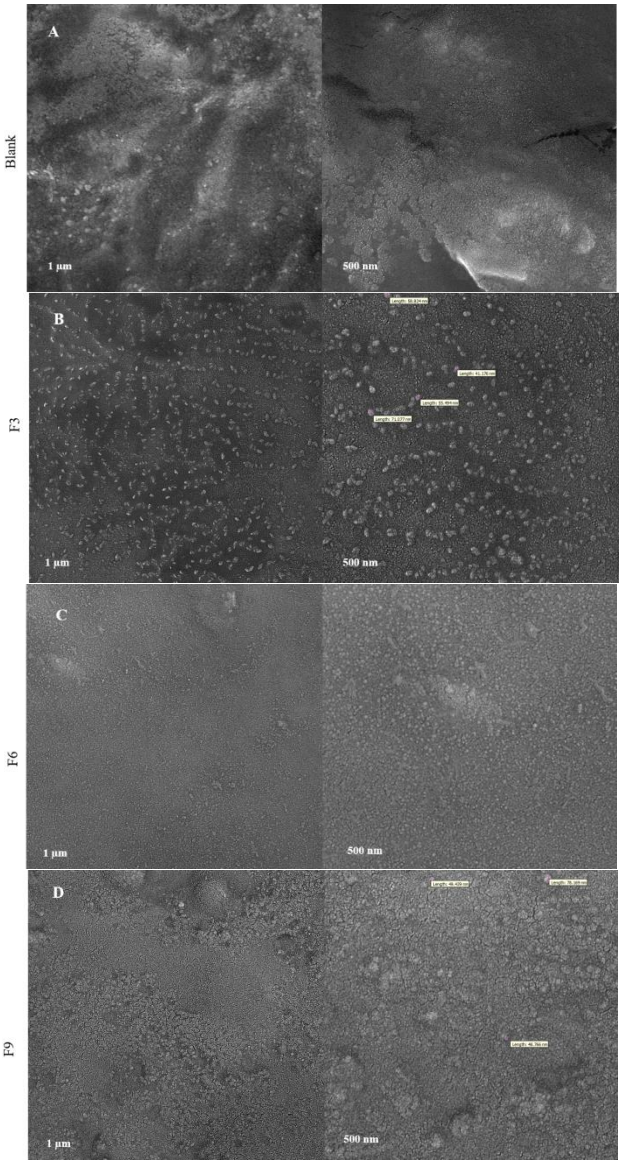

Fig. 3. Scanning electron microscopy (SEM) images of the surface of the (A)blank film and films containing (B) 3%, (C) 6%, and (D) 9% FEO-NP.

طیف‌سنجی فروسرخ تبدیل فوریه (FTIR)

نتایجآزمونFTIR فیلم‌ها در شکل ۵ نشان داده شده است. طیفFTIR فیلمشاهد پیک‌هایی را درcm^{-1} ۳۴۱۳، ۲۹۳۵، ۱۶۲۳، ۱۴۲۱ و ۱۰۵۱ نشان داد که به ترتیب مربوط به ارتعاشات کششی گروه‌های هیدروکسیل (OH)، ارتعاشات کششی CH (به احتمال زیاد از محتوای آمیلوز و آمیلوپکتین)[۵۲]، کشش گروه‌های آمید(C=O)Iکه مربوط به پروتئین‌ها هستند[۵۳]، کشش متقارن گروه کربوکسیل(COO)[۳۳] و ارتعاشات کششی (C-O) مربوط به نشاسته بودند. با توجه به نتایجFTIR آردهای مختلف، پیکی که بینcm^{-1} ۳۰۰۰ تا ۲۷۰۰ قرار داشت به دلیل وجود چربی در آرد بود و پیک بینcm^{-1} ۱۷۰۰ تا ۱۵۰۰ مربوط به ناحیه پروتئین بود[۷]. نانوذرات کیتوزان بارگذاری شده با اسانس رازیانه طیف‌هایی را درcm^{-1} ۳۴۴۴ (کشش OH و NHکیتوزان)[۵۴]،cm^{-1} ۲۸۷۹ (ارتعاشات کششی آلکان،-C H)[۵۵]،cm^{-1} ۱۶۴۳ (کشش آلکان،C=C)[۵۶]،cm^{-1} ۱۵۴۲

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2025-08-06]

[DOI: 10.22034/FSCT.21.165.196]

(آمیدII، خمش N-H)[٤١]، و cm^{-1} ١٠٧٢ (کشش نامتقارن C-O-C)[٥٧]نشان دادند. همه فیلم‌ها پیک جذبی را در cm^{-1} ٣٤١٣ نشان دادند که می‌توان آن را به گروه‌های کششیOH نسبت داد، بنابراین با افزایش درصد نانوذرات در ترکیبفیلم‌ها، قله‌ها کمی جابه‌جا شدند. پیک‌های موجود در فیلم‌های حاوی مقادیر مختلف نانوذرات کیتوزان مشابه فیلم شاهد بودند وفقط شدت پیک‌هادر آن‌ها کمی کاهش یافت که می‌تواند به دلیل برهمکنش فیزیکی (تشکیل پیوند هیدروژنی) بین نانوذرات کیتوزان و ماتریس پلیمر باشد.

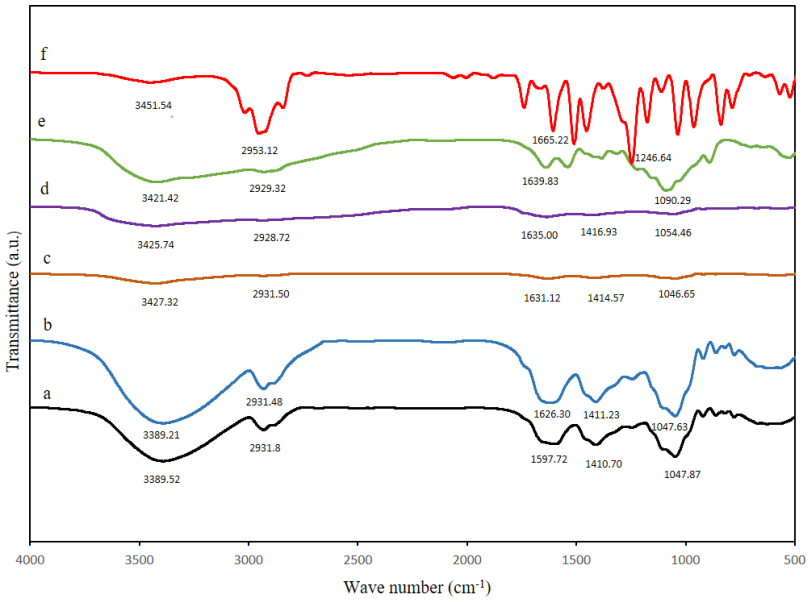

Fig. 4. FTIR spectra of (a) blank, (b) F3, (c) F6, (d) F9, (e) FEO-NP, and (f) FEO.

فعالیت آنتی اکسیدانی

فیلم‌های بسته بندی مواد غذایی باید فعالیت آنتی اکسیدانی خوبی داشته باشند. فعالیت آنتی اکسیدانی فیلم‌ها با استفاده از روش مهار رادیکال آزاد DPPHمورد ارزیابی قرار گرفت و نتایج در جدول ٢ نشان داده شده است. فیلم آرد کدو سبز خالص (شاهد) فعالیت آنتی اکسیدانی٢٤/٤٦ درصد را نشان داد که به دلیل وجود ترکیباتی با خواص آنتی اکسیدانی مانند فنولیک‌ها، کاروتنوئیدها، کلروفیل‌ها و ویتامین Cمی‌باشد[٥٨, ٥٩].فیلم‌های حاوی نانوذرات فعالیت آنتی‌اکسیدانی قابل‌توجهی نشان دادند بطوریکه با افزایش غلظت نانوذراتکیتوزان، فعالیت آنتی‌اکسیدانی فیلم‌ها افزایشیافت. بیشترین بازدارندگی رادیکالDPPH در فیلم حاوی ٩ درصد نانوذره کیتوزانمشاهده شد(٤٣/٨٢ درصد)و بازداری رادیکال فیلم‌های حاوی ٦ درصد و ٣ درصد نانوذره به ترتیب ٣٧/٨٤ و ٣٦/٦٣ درصد بود. افزایش فعالیت آنتی اکسیدانی با افزایش غلظت نانوذراتکیتوزان می‌تواند به دلیل فعالیت آنتی اکسیدانی قویFEOبارگذاری شده و خواص آنتی اکسیدانی کیتوزان باشد. گروه‌های آمینه آزاد (NH_2)کیتوزان می‌توانند رادیکال‌ها را از بین ببرند[٦٠]. مطالعات متعددی ثابت کرده‌اند که فعالیت آنتی اکسیدانیاسانس رازیانه به ترکیبات پلی فنلی فراوان موجود در آنمربوط می‌شود که این ترکیبات نقشی اساسی در مهار رادیکال‌های آزاد دارند[٦١-٦٣]. نتایج مشابه با این مطالعه در تحقیق Soltanzadeh و همکاران [٦٤]گزارش شد که نشان می‌داد با افزایش غلظت نانوذرات کیتوزان بارگذاری شده با عصاره پوست انار در ترکیب فیلم کامپوزیتی ژلاتین/صمغ دانه شاهی، فعالیت آنتی اکسیدانی بطور چشمگیری افزایش یافت. همچنین Fang و همکاران[٦٥] نیز نشان دادند با افزایش محتواینانوذرات

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2025-08-06]
[DOI: 10.22034/FSCT.21.165.196]

گلیادین-کربوکسی متیل کیتوزانهمراه با ناتامایسینو تئافلاوین (Nata/TFs-GC)فعالیت آنتی اکسیدانی فیلمکربوکسی متیل کیتوزان افزایشیافت.

٤-نتیجه گیری

این پژوهش، به استفاده از آرد کدوسبز در تهیه فیلم خوراکی به عنوان ماده‌ای در دسترس، فراوان و ارزان قیمتپرداخت. ابتدا نانوذرات کیتوزان حاوی اسانس رازیانه به روش ژل شدن یونی تهیه شدند و ویژگی‌هایآن‌ها شامل کارایی درون پوشانی،اندازه ذرات، شاخص پراکندگی (PDI)، پتانسیل زتا و مورفولوژیمورد ارزیابی قرار گرفت. براساس نتایج، راندمان درون پوشانینانوذراتکیتوزان بارگذاری شده با اسانسبرابر با ۹٦ درصد بود و نانوذرات دارای اندازه متوسط ۲٦۰/۸ نانومتر، PDI ۰/۲۸ و پتانسیل زتای۵۲/۳ میلی ولت بودند. تصاویرSEMنانوذرات نشان دهنده ذرات تقریبا کروی با توزیعیکنواخت و اندازه ذرات کمتر از ۵۰۰ نانومتر بود. سپس نانوذرات کیتوزان بارگذاری شده با اسانس رازیانه در سطوح ۰، ۳، ٦ و ۹ درصد به فیلم‌ها برپایه آرد کدوسبز اضافه شده و خصوصیات فیزیکوشیمیایی و مکانیکی فیلم‌ها مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج نشان داد افزودن نانوذرات ویژگی فیلم‌ها را بهبود بخشید. نتایج آزمون مکانیکی نشان داد با افزایش درصد نانوذرات، مقاومت کششی و ازدیاد طول تا نقطه شکست فیلم‌ها افزایش یافت. همچنین با افزایش درصد نانوذرات میزان حلالیت و زاویه تماس فیلم‌ها به ترتیب افزایش و کاهش یافت که به دلیل ماهیت آبدوست نانوذرات کیتوزان بود. فعالیت آنتی اکسیدانی فیلم‌ها با افزایش درصد نانوذرات به طور معناداری افزایش یافت. نتایج آزمون FTIR نشان داد که نانوذرات کیتوزان به خوبی با ماتریس پلیمر پیوند برقرار کردند. تصاویر SEM بدست آمده از فیلم‌ها نشان دهنده سطح صاف فیلم شاهد بود و با افزودن نانوذرات زبری سطح فیلم‌ها افزایش یافت. به طور کلی براساس نتایج این مطالعه، فیلم حاوی ٦ درصد نانوذره کیتوزان از نظر خواص مکانیکی و فیزیکی بهترین ویژگی را نسبت به سایر فیلم‌های حاوی نانوذره نشان داد.این پژوهش نشان داد که فیلم‌های خوراکی بر پایه آرد کدوسبز حاوی نانوذرات کیتوزان بارگذاری شده با اسانس رازیانه دارای خواص فیزیکوشیمیایی و مکانیکی مطلوبی بوده و می‌توانند در صنایع غذایی و دارویی کاربردهای گسترده‌ای داشته باشند.

۵-منابع

[1] Dirpan, A., A.F. Ainani, and M. Djalal, *A review on biopolymer-based biodegradable film for food packaging: trends over the last decade and future research.* Polymers, 2023. **15**(13): p. 2781.

[2] Rai, S.K., K. Chaturvedi, and S.K. Yadav, *Evaluation of structural integrity and functionality of commercial pectin based edible films incorporated with corn flour, beetroot, orange peel, muesli and rice flour.* Food Hydrocolloids, 2019. **91**: p. 127-135.

[3] Galus, S., et al., *Novel materials in the preparation of edible films and coatings—A review.* Coatings, 2020. **10**(7): p. 674.

[4] Emir, A.A., et al., *Active films based on Faba bean (Vicia faba L.) flour incorporated with Sumac (Rhus coriaria): Assessment of antioxidant and antimicrobial performances of packaging for shelf life of chicken breast.* Food and Bioprocess Technology, 2023. **16**(2): p. 327-341.

[5] da Silva, A.O., et al., *Development and characterization of biopolymer films based on bocaiuva (Acromonia aculeata) flour.* International journal of biological macromolecules, 2020. **155**: p. 1157-1168.

[6] Gutiérrez, T.J., et al., *Effect of beet flour on films made from biological macromolecules: Native and modified plantain flour.* International Journal of Biological Macromolecules, 2016. **82**: p. 395-403.

[7] Yildiz, E., et al., *Development of pea flour based active films produced through different homogenization methods and their effects on lipid oxidation.* Food Hydrocolloids, 2021. **111**: p. 106238.

[8] Nouraddini, M., M. Esmaiili, and F. Mohtarami, *Development and characterization of edible films based on eggplant flour and corn*

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2025-08-06]

[DOI: 10.22034/FSCT.21.165.196]

starch. International journal of biological macromolecules, 2018. **120**: p. 1639-1645.
[9] Kręcisz, M., et al., *Physicochemical and quality properties of dried courgette slices: Impact of vacuum impregnation and drying methods.* Molecules, 2021. **26**(15): p. 4597.
[10] Różyło, R., et al., *Wheat bread with pumpkin (Cucurbita maxima L.) pulp as a functional food product.* Food technology and biotechnology, 2014. **52**(4): p. 430-438.
[11] Zhang, Y., et al., *Effects of zucchini polysaccharide on pasting, rheology, structural properties and in vitro digestibility of potato starch.* International Journal of Biological Macromolecules, 2023. **253**: p. 127077.
[12] Diao, W.-R., et al., *Chemical composition, antibacterial activity and mechanism of action of essential oil from seeds of fennel (Foeniculum vulgare Mill.).* Food control, 2014. **35**(1): p. 109-116.
[13] Noshad, M. and F. Falah, *Investigation of antimicrobial activity of Fennel essential oil on some pathogenic microorganisms causing infection and food poisoning and its interaction with kanamycin antibiotic.* Journal of food science and technology (Iran), 2019. **16**(91): p. 233-241.
[14] Carpena, M., et al., *Essential oils and their application on active packaging systems: A review.* Resources, 2021. **10**(1): p. 7.
[15] Zhang, W., et al., *Effective strategies of sustained release and retention enhancement of essential oils in active food packaging films/coatings.* Food Chemistry, 2022. **367**: p. 130671.
[16] Mondéjar-López, M., et al., *Chitosan nanoparticles loaded with garlic essential oil: A new alternative to tebuconazole as seed dressing agent.* Carbohydrate polymers, 2022. **277**: p. 118815.
[17] Hasheminejad, N., F. Khodaiyan, and M. Safari, *Improving the antifungal activity of clove essential oil encapsulated by chitosan nanoparticles.* Food chemistry, 2019. **275**: p. 113-122.
[18] Kaboudi, Z., et al., *Nanoencapsulation of Chavir (Ferulago angulata) essential oil in chitosan carrier: Investigating physicochemical, morphological, thermal, antimicrobial and release profile of obtained nanoparticles.* International Journal of Biological Macromolecules, 2023. **237**: p. 123963.
[19] Hadidi, M., et al., *Chitosan nanoparticles loaded with clove essential oil: Characterization, antioxidant and antibacterial activities.* Carbohydrate polymers, 2020. **236**: p. 116075.
[20] Xu, X., et al., *Cinnamon cassia oil chitosan nanoparticles: Physicochemical properties and anti-breast cancer activity.* International Journal of Biological Macromolecules, 2023. **224**: p. 1065-1078.
[21] Song, X., et al., *Mandarin (Citrus reticulata L.) essential oil incorporated into chitosan nanoparticles: Characterization, anti-biofilm properties and application in pork preservation.* International Journal of Biological Macromolecules, 2021. **185**: p. 620-628.
[22] International, A., *Official methods of analysis of AOAC International*. Vol. 17. 2000: AOAC international.
[23] Mohtarami, F., Z. Rashidi, and S. Pirsa, *Extraction of flaxseed and Plantago Psyllium mucilage: Investigation of rheological properties and efficiency as a fat substitute for the production of low-calorie cookies.* Journal of Food Processing and Preservation, 2022. **46**(11): p. e16964.
[24] Hosseini, S.F., et al., *Two-step method for encapsulation of oregano essential oil in chitosan nanoparticles: preparation, characterization and in vitro release study.* Carbohydrate polymers, 2013. **95**(1): p. 50-56.
[25] Yazicioglu, N., *Chitosan/teff flour active films incorporated with citric acid and beetroot leaf extract: Physicochemical properties and mathematical modeling of phenolic release.* International Journal of Biological Macromolecules, 2024. **270**: p. 132301.
[26] Shetta, A., J. Kegere, and W. Mamdouh, *Comparative study of encapsulated peppermint and green tea essential oils in chitosan nanoparticles: Encapsulation, thermal stability, in-vitro release, antioxidant and antibacterial activities.* International Journal of Biological Macromolecules, 2019. **126**: p. 731-742.
[27] Ebrahimi, S.E., et al., *Interactions between Lepidium perfoliatum seed gum–Grass pea (Lathyrus sativus) protein isolate in composite biodegradable film.* Food Hydrocolloids, 2016. **54**: p. 302-314.
[28] Marand, S.A., H. Almasi, and N.A. Marand, *Chitosan-based nanocomposite films incorporated with NiO nanoparticles: Physicochemical, photocatalytic and antimicrobial properties.* International Journal of Biological Macromolecules, 2021. **190**: p. 667-678.

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2025-08-06]

[DOI: 10.22034/FSCT.21.165.196]

[29] Yuan, D., et al., *Preparation and characterization of chitosan-based edible active films incorporated with Sargassum pallidum polysaccharides by ultrasound treatment.* International Journal of Biological Macromolecules, 2021. **183**: p. 473-480.
[30] Li, M., et al., *Development and characterization of active bilayer film incorporated with dihydromyricetin encapsulated in hydroxypropyl-β-cyclodextrin for food packaging application.* Food Hydrocolloids, 2022. **131**: p. 107834.
[31] Andrade-Mahecha, M.M., D.R. Tapia-Blácido, and F.C. Menegalli, *Development and optimization of biodegradable films based on achira flour.* Carbohydrate polymers, 2012. **88**(2): p. 449-458.
[32] Gutiérrez, T.J., *In vitro and in vivo digestibility from bionanocomposite edible films based on native pumpkin flour/plum flour.* Food Hydrocolloids, 2021. **112**: p. 106272.
[33] Gutiérrez, T.J., et al., *Influence of beet flour on the relationship surface-properties of edible and intelligent films made from native and modified plantain flour.* Food Hydrocolloids, 2016. **54**: p. 234-244.
[34] Li, D. and F. Zhu, *Physicochemical, functional and nutritional properties of kiwifruit flour.* Food Hydrocolloids, 2019. **92**: p. 250-258.
[35] Cho, E.J., et al., *Nanoparticle characterization: state of the art, challenges, and emerging technologies.* Molecular pharmaceutics, 2013. **10**(6): p. 2093-2110.
[36] Liu, Y., et al., *Nanocomplexes film composed of gallic acid loaded ovalbumin/chitosan nanoparticles and pectin with excellent antibacterial activity: Preparation, characterization and application in coating preservation of salmon fillets.* International Journal of Biological Macromolecules, 2024. **259**: p. 128934.
[37] Soleymanfallah, S., et al., *Preparation, physical properties, and evaluation of antioxidant capacity of aqueous grape extract loaded in chitosan-TPP nanoparticles.* Food Science & Nutrition, 2022. **10**(10): p. 3272-3281.
[38] Fan, W., et al., *Formation mechanism of monodisperse, low molecular weight chitosan nanoparticles by ionic gelation technique.* Colloids and surfaces B: Biointerfaces, 2012. **90**: p. 21-27.
[39] Cai, M., et al., *Antibacterial and antibiofilm activities of chitosan nanoparticles loaded with Ocimum basilicum L. essential oil.* International Journal of Biological Macromolecules, 2022. **202**: p. 122-129.
[40] de Moura, M.R., et al., *Highly stable, edible cellulose films incorporating chitosan nanoparticles.* Journal of food science, 2011. **76**(2): p. N25-N29.
[41] Lee, S., et al., *Characterization of polyvinyl alcohol/starch composite films incorporated with p-coumaric acid modified chitosan and chitosan nanoparticles: A comparative study.* Carbohydrate Polymers, 2021. **262**: p. 117930.
[42] Ediyilyam, S., et al., *Chitosan/gelatin/silver nanoparticles composites films for biodegradable food packaging applications.* Polymers, 2021. **13**(11): p. 1680.
[43] Gasti, T., et al., *Chitosan/pullulan based films incorporated with clove essential oil loaded chitosan-ZnO hybrid nanoparticles for active food packaging.* Carbohydrate Polymers, 2022. **277**: p. 118866.
[44] Vahedikia, N., et al., *Biodegradable zein film composites reinforced with chitosan nanoparticles and cinnamon essential oil: Physical, mechanical, structural and antimicrobial attributes.* Colloids and Surfaces B: Biointerfaces, 2019. **177**: p. 25-32.
[45] Liu, Q., et al., *Incorporation of oxidized debranched starch/chitosan nanoparticles for enhanced hydrophobicity of corn starch films.* Food Packaging and Shelf Life, 2023. **35**: p. 101032.
[46] Hosseini, S.F., J. Ghaderi, and M.C. Gómez-Guillén, *Tailoring physico-mechanical and antimicrobial/antioxidant properties of biopolymeric films by cinnamaldehyde-loaded chitosan nanoparticles and their application in packaging of fresh rainbow trout fillets.* Food Hydrocolloids, 2022. **124**: p. 107249.
[47] Hosseini, S.F., et al., *Fabrication of bio-nanocomposite films based on fish gelatin reinforced with chitosan nanoparticles.* Food hydrocolloids, 2015. **44**: p. 172-182.
[48] Roy, S. and J.-W. Rhim, *Fabrication of chitosan-based functional nanocomposite films: Effect of quercetin-loaded chitosan nanoparticles.* Food Hydrocolloids, 2021. **121**: p. 107065.
[49] Yu, X., et al., *A hydroxypropyl methylcellulose/hydroxypropyl starch nanocomposite film reinforced with chitosan nanoparticles encapsulating cinnamon essential oil: Preparation and characterization.*

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2025-08-06]

[DOI: 10.22034/FSCT.21.165.196]

International Journal of Biological Macromolecules, 2023. **242**: p. 124605.
[50] Zeng, Y.-F., et al., *Preparation and characterization of lotus root starch based bioactive edible film containing quercetin-encapsulated nanoparticle and its effect on grape preservation.* Carbohydrate Polymers, 2024. **323**: p. 121389.
[51] Al-Maqtari, Q.A., et al., *Fabrication and characterization of chitosan/gelatin films loaded with microcapsules of Pulicaria jaubertii extract.* Food Hydrocolloids, 2022. **129**: p. 107624.
[52] Venegas, R., et al., *Development and characterization of plantain (Musa paradisiaca) flour-based biopolymer films reinforced with plantain fibers.* Polymers, 2022. **14**(4): p. 748.
[53] Sanches, M., et al., *Active packaging with starch, red cabbage extract and sweet whey: Characterization and application in meat. LWT–Food Sci. Technol. 2021; 135: 110275*. 2020.
[54] Ji, S., et al., *Preparation, characterization, and evaluation of tamarind seed polysaccharide-carboxymethylcellulose buccal films loaded with soybean peptides-chitosan nanoparticles.* Food Hydrocolloids, 2023. **141**: p. 108684.
[55] Ferreira, R.R., et al., *Essential oils loaded-chitosan nanocapsules incorporation in biodegradable starch films: A strategy to improve fruits shelf life.* International Journal of Biological Macromolecules, 2021. **188**: p. 628-638.
[56] Piryaei, M. and S. Azimi, *Preparation and evaluation of smart food packaging films with anthocyanin Sardasht black grape based on Astragalus gummifer and chitosan nanoparticles.* International Journal of Biological Macromolecules, 2024. **254**: p. 127974.
[57] Antoniou, J., et al., *Characterization of tara gum edible films incorporated with bulk chitosan and chitosan nanoparticles: A comparative study.* Food Hydrocolloids, 2015. **44**: p. 309-319.
[58] Kopczyńska, K., et al., *The profile of selected antioxidants in two courgette varieties from organic and conventional production.* Antioxidants, 2020. **9**(5): p. 404.
[59] Thanh, N.C., et al., *Antioxidant, anti-inflammatory and anti-proliferative activities of green and yellow zucchini (Courgette).* Applied Nanoscience, 2023. **13**(3): p. 2251-2260.
[60] Kuai, L., et al., *Regulation of nano-encapsulated tea polyphenol release from gelatin films with different Bloom values.* Food Hydrocolloids, 2020. **108**: p. 106045.
[61] Liu, T., et al., *Development and characterization of novel active chitosan films containing fennel and peppermint essential oils.* Coatings, 2020. **10**(10): p. 936.
[62] Mutlu-Ingok, A., et al., *Antioxidant and antimicrobial activities of fennel, ginger, oregano and thyme essential oils.* Food Frontiers, 2021. **2**(4): p. 508-518.
[63] Sun, Y., et al., *Fennel essential oil loaded porous starch-based microencapsulation as an efficient delivery system for the quality improvement of ground pork.* International Journal of Biological Macromolecules, 2021. **172**: p. 464-474.
[64] Soltanzadeh, M., et al., *Active gelatin/cress seed gum-based films reinforced with chitosan nanoparticles encapsulating pomegranate peel extract: Preparation and characterization.* Food Hydrocolloids, 2022. **129**: p. 107620.
[65] Fang, M., et al., *Fabrication of carboxymethyl chitosan films for cheese packaging containing gliadin-carboxymethyl chitosan nanoparticles co-encapsulating natamycin and theaflavins.* International Journal of Biological Macromolecules, 2023. **246**: p. 125685.

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2025-08-06]

[DOI: 10.22034/FSCT.21.165.196]

Journal of Food Science and Technology (Iran)

Homepage:www.fsct.modares.ir

Scientific Research

Production and investigation of properties of biodegradable antioxidant film based on zucchini flour containing chitosan nanoparticles loaded with Fennel essential oil

Mahsa Abbaspour[1], Mohsen Esmaiili[1], Hadi Almasi[1], Forogh Mohtarami[1*]

1. Food Science and Technology Department, Agriculture Faculty, Urmia Univesity, Urmia, Iran

ARTICLE INFO

Article History:

Received:2025/1/9

Accepted:2025/2/16

Keywords:

Courgette flour,

Antioxidant film,

Foeniculum vulgar essential oil,

mechanical properties,

morphology

DOI: 10.22034/FSCT.22.165.196.

*Corresponding Author E-

mohtarami.f@gmail.com;
f.mohtarami@urmia.ac.ir

ABSTRACT

The objective of this research was to produce biodegradable films based on zucchini flour and to investigate the effect of adding chitosan nanoparticles loaded with fennel essential oil (0, 3, 6, and 9% w/w) on the physicochemical and mechanical properties of the films. The results showed that adding chitosan nanoparticles significantly increased the tensile strength and elongation at the break of the films, indicating that the nanoparticles can act as a reinforcing agent and improve the film structure. Increasing the percentage of nanoparticles increased the water solubility and decreased the water contact angle of the films. The antioxidant activity of the films increased significantly with increasing nanoparticle concentration, which may be due to the presence of fennel essential oil in the nanoparticles and its antioxidant properties. The FTIR test results showed that the chitosan nanoparticles were well chemically bonded to the polymeric matrix of the zucchini flour film. The SEM images also showed that adding nanoparticles increased the surface roughness of the films and the uniformity of the film surface decreased with increasing chitosan nanoparticles. Based on the results of this study, the film containing 6% chitosan nanoparticles loaded with fennel essential oil showed the best mechanical and physical properties. In general, an edible film of zucchini flour activated with fennel essential oil and chitosan nanoparticles can be introduced as an active edible film with desirable properties for packaging food products sensitive to oxidative spoilage.

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2025-08-06]

[DOI: 10.22034/FSCT.21.165.196]