



پردازش تصویر فیلم موسیلاژ دانه چیا حاوی نانوامولسیون اسانس دارچین

بهنام امیری^۱، مهران صیادی^{۲*}، الهه عابدی^{۳*}، محمد امین جعفری^۴

۱- استادیار بخش آمار، دانشکده علوم پایه، دانشگاه فسا

۲- استادیار دانشگاه علوم پزشکی فسا

۳- دانشیار مهندسی علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فسا

۴- دانشجوی دانشگاه تربیت مدرس تهران

چکیده

اطلاعات مقاله

تصویربرداری ابزاری مهم برای ارزیابی ساختار مواد غذایی است. پردازش تصویر شامل تصاویر دو بعدی (D_2) از سطوح و مقاطع، مانند آنچه در میکروسکوپ مشاهده می‌شود و همچنین تصاویر سه بعدی (D_3) از ساختار داخلی، مانند آنچه توسط میکروسکوپ کانفوکال، توموگرافی کامپیوتری و تصویربرداری تشدید مغناطیسی می‌باشد. در این تحقیق از پردازش تصاویر برای تعیین سختی و فشردگی بیو فیلم‌های خوراکی آغشته به نانوامولسیون استفاده شد. فیلم خوراکی صمغ دانه چیا حاوی اسانس دارچین با غلظت ۲٪، ۴٪ و ۶٪ تهیه شد. تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی^۱ و میکروسکوپ نیروی اتمی^۲ از فیلم‌ها تهیه شد. نتایج AFM و پردازش تصویر نشان دادند که با افزایش میزان اسانس از ۲٪ به ۶٪ میزان فشردگی کاهش و زبری سطح افزایش پیدا کرد که با نتایج پردازش تصاویر مطابقت داشت. بنابراین پردازش تفسیر این امکان را فراهم می‌کند که قابلیت بالقوه‌ای برای تعیین فشردگی فیلم‌های خوراکی و غیر خوراکی در صنعت بسته‌بندی دارد.

تاریخ های مقاله :

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۸/۴

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۹/۲۱

کلمات کلیدی:

صمغ دانه چیا،

پردازش تصویر،

میکروسکوپ الکترونی روبشی،

میکروسکوپ نیروی اتمی،

فشردگی فیلم خوراکی

DOI:10.22034/FSCT.22.159.221.

* مسئول مکاتبات:

Mehransayadi62@gmail.com;
elaheabedi1389@gmail.com

1: Scanning electron microscopy (SEM)

2: Atomic Force Microscopy (AFM)

۱- مقدمه

مقادیر پایین در محلول‌های آبی دارای خواص موسیلاژی است [۹]. موسیلاژ دانه چیا به عنوان پایدارکننده، قوام دهنده و امولسیون کننده در سیستم‌های غذایی و همچنین در بسته بندی‌های زیست تخریب پذیر کاربرد دارد [۱۰]. موسیلاژ دانه چیا به دلیل دارا بودن ظرفیت نگهداری آب و گرانبوی مناسب، یک ماده بالقوه برای تولید فیلم‌های خوراکی است [۹].

اسانس‌های روغنی^۳ (EOs) ترکیبات فرار و طبیعی هستند که طیف وسیعی از خواص ضد باکتریایی، ضد قارچی، آنتی اکسیدانی و ضد التهابی دارند [۱۱]. در بین EO های مختلف، اسانس دارچین یک ترکیب فرار با چندین ویژگی بیولوژیکی از جمله فعالیت‌های ضد باکتریایی، آنتی اکسیدانی و ضد التهابی است و ترکیبات اصلی آن سینامالدهید و اوژنول است. اگرچه اسانس دارچین به عنوان یک طعم و عطر افزودنی در محصولات غذایی استفاده می شود، اما حلالیت آن ضعیف است. این محدودیت به ویژه در فیلم‌های خوراکی مبتنی بر پلی ساکارید [۱۲] بسیار مهم می باشد. بنابراین، کپسوله کردن اسانس دارچین برای استفاده در ماتریس فیلم بسیار مهم است.

چندین استراتژی برای تهیه فیلم‌های خوراکی کامپوزیتی با اتصال متقابل و افزودن لیپیدهای آگریز و اسانس‌ها جهت افزایش مقاومت در برابر آب فیلم‌های خوراکی گزارش شده است [۱۳-۱۴]. در تحقیقی، Luo و همکاران (۲۰۱۹) تاثیر موسیلاژ دانه چیا را بر فیلم خوراکی ژلاتین بررسی کردند. در این تحقیق، اسانس ارگانو در فیلم خوراکی موسیلاژ دانه چیا/ژلاتین بارگذاری شد و سپس فعالیت آنتی میکروبی فیلم مورد بررسی قرار گرفت. مطابق با نتایج، با افزودن موسیلاژ دانه چیا، استحکام کششی، نفوذپذیری به بخار آب کاهش و ازدیاد طول در نقطه شکست و زاویه تماس افزایش یافت.

از موسیلاژ پلی ساکاریدهای گیاهی به عنوان پلیمرهای زیستی پایدار در فیلم‌های بسته بندی مواد غذایی استفاده می شوند. استفاده از موسیلاژ در فیلم‌های بسته بندی خوراکی به دلیل عدم سمیت، زیست سازگاری، زیست تخریب پذیری و نفوذپذیری انتخابی به اکسیژن/دی اکسید کربن دارای اهمیت است [۱-۲]. همچنین استفاده از موسیلاژ در فیلم‌های خوراکی فواید سلامتی قابل توجهی مانند کاهش کلسترول، کاهش فشار خون بالا و بهبود شاخص گلیسمی را نشان داده است. فیلم‌های خوراکی به دلیل ماهیت زیست تخریب پذیری که دارند، جایگزین پلاستیک در بسته بندی مواد غذایی شده اند و استفاده غالب از فیلم‌های خوراکی می تواند به طور قابل توجهی آلودگی محیطی را به دلیل پلاستیک حدود ۷.۸ میلیارد تن در سراسر جهان، کاهش دهد [۳-۴]. پلی ساکاریدهای گیاهی متعددی مانند آلزینات‌ها، پکتین، نشاسته، ریحان، صمغ زانتان به طور گسترده برای فرموله کردن فیلم‌های خوراکی استفاده می گردند [۵]. با این حال، فیلم‌های خوراکی ساخته شده دارای طبیعت شکننده و مقاومت مکانیکی ضعیفی هستند. چنین محدودیت‌هایی با اضافه کردن پلی ساکاریدهای مختلف و پرکننده‌ها، امولسیفایرها و اسانس‌ها برطرف می گردد [۶].

دانه چیا (*Salvia hispanica*) یک گیاه یکساله از خانواده *Lamiaceae* و بومی آمریکای مرکزی می باشد که دارای ارزش تغذیه‌ای بالایی است. دانه چیا دارای ۵-۶٪ موسیلاژ است که می تواند ۲۷ برابر وزن خود آب جذب کند. این ماده عمدتاً از زیلوز، گلوکز و متیل گلوکورونیک اسید تشکیل شده است و باعث تشکیل پلی ساکارید شاخه‌ای با وزن مولکولی بالا می شود [۷-۸] و به عنوان یک صمغ پلی ساکارید جدید توسط FAO شناخته شده است، زیرا در

بین موسیلاژ دانه چیا با ماتریکس پروتئینی بود. تصاویر SEM و AFM سلول‌های سالم باکتریایی را نشان داد. همچنین، عملکرد فیلم خوراکی پروبیوتیک توسط پوشش نان‌های گندم ارزیابی شد که زنده‌مانی پروبیوتیک‌ها برای ۳ هفته در دمای ۲۵ درجه سانتیگراد بدست آمد و نشان‌دهنده کاربرد فیلم خوراکی پروبیوتیک به عنوان حامل باکتری‌های پروبیوتیکی در محصولات نانویی است [۱۸]. در تحقیقی Muñoz-Tébar و همکاران (۲۰۲۳) فیلم خوراکی حاصل از موسیلاژ دانه چیا حاوی اسانس‌های ارگانو (*Origanum vulgare*) و مرزه (*Satureja montana*) در مقادیر مختلف (۰/۱، ۱ و ۷/۷٪) تهیه کردند و ویژگی‌های فیزیکی، شفافیت، مکانیکی و ضدقارچی و ساختاری آن‌ها را مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که استفاده از اسانس‌های مختلف تنها بر شفافیت، اختلاف رنگ کل و فعالیت ضدقارچی فیلم‌ها تأثیر معنی‌داری داشت. با این حال، نوع اسانس تأثیر قابل توجهی در خواص مکانیکی و فیزیکی فیلم‌ها نداشت. همچنین مطابق با نتایج، افزایش مقدار اسانس تا ۱/۵٪ منجر به کاهش قدرت کششی فیلم و ازدیاد طول در نقطه شکست شد. فعالیت ضدقارچی فیلم‌ها نیز با افزودن اسانس‌ها افزایش معنی‌داری داشت. از نظر فعالیت ضدقارچی، فیلم‌های حاوی ۰/۱٪ اسانس غیرفعال بودند درحالی‌که فیلم‌های حاوی ۱ و ۱/۵٪ به شکل موثری از رشد گونه‌های قارچی (۳۸-۷۷٪) جلوگیری کردند. همچنین تصاویر SEM نشان داد که افزودن اسانس‌ها باعث برخی ناهمگنی در ماتریکس فیلم‌ها و سطح بدون منافذ و شکاف شد. درحالی‌که ساختار متراکم و همگن‌تری در پلیمر حاوی اسانس ارگانو مشاهده شد. در نهایت، نویسندگان گزارش کردند که افزودن اسانس‌های مرزه و ارگانو به عنوان ترکیبات ضد میکروبی طبیعی در ساختار فیلم‌ها دارای پتانسیل لازم در بسته بندی‌های فعال و کنترل رشد کپک‌ها را دارد و منجر به افزایش ایمنی مواد غذایی می‌شود [۱۹].

علی رغم تحقیقات جامع در مورد خواص میکروبی، مکانیکی، دمایی و فیزیکی شیمیایی انواع بیوفیلم‌های خوراکی،

همچنین به دلیل پیوندهای هیدروژنی بین ترکیبات تشکیل دهنده ماتریکس فیلم، نرخ باقی ماندن اسانس در فیلم افزایش یافت. همچنین بررسی رهایش اسانس با استفاده از کروماتوگرافی گازی نشان داد که فعالیت ضد میکروبی پایداری در فیلم وجود داشت که ناشی از باقی ماندن مقادیر بالایی از اسانس در فیلم خوراکی بود [۱۵]. Emir Çoban و همکاران (۲۰۲۰) تأثیر پوشش خوراکی موسیلاژ دانه چیا حاوی مقادیر مختلفی از عصاره گوجی بری را در ماندگاری فیله ماهی قزل‌الا تهیه و مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که رشد میکروبی در نمونه پوشش داده با موسیلاژ حاوی ۲٪ عصاره گوجی بری نسبت به نمونه کنترل به تاخیر افتاد. همچنین پوشش موسیلاژ دانه چیا از افزایش اندیس تیوباریتوریک اسید، pH و میزان نیتروژن فرار جلوگیری کرد [۱۶]. در تحقیق انجام شده توسط Mousavi و همکاران (۲۰۲۱) تأثیر پوشش خوراکی موسیلاژ دانه چیا / سلولز باکتریایی را بر ترکیبات زیست فعال و فعالیت آنتی اکسیدانی توت فرنگی در دوره انبارمانی سرد بررسی کردند. در این تحقیق، توت فرنگی‌ها با موسیلاژ دانه چیا حاوی ۰/۶ و ۸٪ (w/w) نانوفیبر سلولز باکتریایی پوشش داده شدند. محتوای فنل، فلاونوئید، آنتوسیانین، اسکوربیک اسید، پروتئین، فعالیت آنتی اکسیدانی و فعالیت پلی فنل اکسیداز، پروکسیداز را بررسی کردند. نتایج نشان داد که استفاده از موسیلاژ دانه چیا منجر به حفظ ترکیبات فنلی، فلاونوئید، اسکوربیک اسید و فعالیت آنتی اکسیدانی شد [۱۷]. در تحقیق دیگری، Semwal و همکاران (۲۰۲۲) به فیلم پروبیوتیک برپایه کازئینات سدیم، موسیلاژ دانه چیا را به عنوان محافظ اضافه کردند و بهبود زنده‌مانی باکتری پروبیوتیک (*Limosilactobacillus fermentum*) NKN51 و *Lactobacillus brevis* NKN52 بارگذاری شده در ساختار فیلم و نگهداری شده در دمای ۲۵ و ۴ درجه سانتیگراد بررسی کردند. نتایج نشان داد که حضور موسیلاژ دانه چیا منجر به افزایش قابل توجهی در زنده‌مانی باکتری‌های پروبیوتیک شد. همچنین باعث بهبود انعطاف پذیری فیلم و کاهش حلالیت فیلم شد که ناشی از فعل و انفعالات

رطوبت نسبی ۵۲٪ در مخزن حاوی محلول اشباع Mg (NO₃)₂ تا زمان انجام آزمون‌ها نگهداری گردید [۲۲].

اندازه‌گیری خصوصیات سطحی فیلم

خصوصیات سطحی فیلم‌ها به وسیله‌ی دستگاه میکروسکوپ الکترونی بررسی شد. در آماده‌سازی نمونه‌ها برای تصویربرداری از مقطع عرضی، ابتدا نمونه‌ها را در نیتروژن مایع شکسته، در مقطع عرضی روی پایه آلومینیومی چسبانده و پایه‌ها در یک دستگاه پوشش دهنده با طلا پوشش داده شدند و با یک میکروسکوپ الکترونی در بزرگ‌نمایی متفاوت تصویربرداری گردیدند [۲۲].

میکروسکوپ نیروی اتمی (AFM)

برای مشاهده سطح فیلم، از میکروسکوپ نیروی اتمی (AFM) استفاده شد. بعد از اینکه فیلم به روش تصعیدی، خشک شد، الگوی سطح فیلم در دامنه ۱۰ mm در دمای ۲۵ درجه سانتیگراد بررسی گردیدند [۲۲].

پردازش تصویر فیلم خوراکی

در این مطالعه برای بررسی دوره‌ای بودن تصویر یک فیلم و تعیین میزان فشردگی از کد نویسی در نرم افزار R و بسته imager استفاده شد. برای این منظور، ابتدا تصاویر فیلم‌ها توسط بسته imager در برنامه R فراخوانی شد. در پردازش تصویر، هر تصویر را می‌توان به صورت یک فرآیند فضایی در نظر گرفت و از ویژگی‌های فرآیند فضایی در تحلیل تصاویر استفاده کرد. یک فرآیند فضایی مرتبه دوم گردایه‌ای به صورت $X = \{X_t; t = (t_1, t_2) \in \mathcal{T} \subseteq \mathbb{Z}^2\}$ است هرگاه برای هر $X_t, t \in \mathcal{T}$ یک متغیر تصادفی با میانگین صفر ($E[X_t] = 0$) و گشتاور دوم متناهی ($E[X_t^2] < \infty$) باشد. برای فرآیند X تابع کوواریانس، R_X ، به صورت زیر بدست می‌آید:

$$R_X(t, s) = E[X_t X_s], t, s \in \mathcal{T}.$$

تا کنون از پردازش تصویر جهت تعیین فشردگی فیلم‌های خوراکی مطالعاتی صورت نگرفته است. در این مطالعه پردازش تصویر فیلم خوراکی در حضور و عدم حضور نانوامولسیون اسانس دارچین، برای تجزیه و تحلیل میزان فشردگی فیلم‌های مورد مطالعه استفاده شد. برای این منظور، ابتدا مقادیر پیکسل‌های تصویر یک فیلم به صورت یک فرآیند فضایی در نظر گرفته شده و با استفاده از ویژگی‌های فرآیند فضایی همبسته دوره‌ای و تابع کوهرنسی فضایی، معرفی شده توسط شیشه بر و امیری (۲۰۱۹)، به صورت یک فرآیند فضایی همبسته دوره‌ای مدل‌بندی شد [۲۰]. همچنین بر اساس نمودار کوهرنسی فضایی، دوره تناوب تصویر فیلم برآورد شده و میزان فشردگی فیلم با استفاده از مقدار دوره تناوب مشخص گردید. برای اجرای تحلیل‌های بیان شده از نرم افزار R استفاده شد.

۲- مواد و روش‌ها

تهیه نانوامولسیون حاوی اسانس دارچین

برای تهیه نانوامولسیون، درصدهای مختلفی از اسانس دارچین با توپین ۸۰ (۶٪ وزنی اسانس) و آب مقطر ترکیب و با دور ۳۰۰۰ rpm استیرر شد. سپس با هموژنایزر اولتراتوراکس به مدت ۷ دقیقه و اولتراسوند به مدت ۵ دقیقه هموژن شد [۲۱].

تهیه فیلم صمغ دانه چیا

بعد از خریداری دانه چیا از عطاری و تاییده پژوهشکده گیاهان و مواد اولیه دارویی دانشگاه شهید بهشتی، برای تهیه فیلم، ابتدا صمغ دانه چیا (۱٪) با ۳۰٪ گلیسرول با آب مخلوط و بن ماری شد. سپس نسبت‌های مختلف اسانس دارچین و نانوامولسیون حاوی اسانس دارچین ترکیب و با هموژنایزر اولتراتوراکس ۳۲۰۰ rpm به مدت یک دقیقه هموژن گردید. در نهایت محلول فیلم تهیه شده درون پتری دیش ریخته و در دمای اتاق به مدت ۴۸ ساعت خشک شد. سپس فیلم‌های خشک شده در دمای ۲۵ درجه سانتیگراد و

$$S_{f_X} := \{(\theta, \eta) : \theta, \eta \in [0, 2\pi)^2, f_X(\theta, \eta) > 0\}$$

$$= \bigcup_{k_1=-T_1+1}^{T_1-1} \bigcup_{k_2=-T_2+1}^{T_2-1} \left\{ (\theta, \eta) : \theta, \eta \in [0, 2\pi)^2, \theta_j - \eta_j = \frac{2\pi k_j}{T_j}, j = 1, 2 \right\}$$

(۲)

با استفاده از ویژگی‌های (۱) و (۲) شیشه بر و امیری (۲۰۱۹) یک روش گرافیکی برای تشخیص PCSP بودن و تعیین دوره تناوب یک فرآیند فضایی مرتبه دوم، به فرم $\mathbf{X} = \{X_{\mathbf{t}} : \mathbf{t} = (t_1, t_2), t_j = 1, \dots, N_j, j = 1, 2\}$ ارائه کردند. اساس کار آنها استفاده از تابع کوهرنسی فضایی، γ_X ، زیر است:

$$\gamma_X(p_1, p_2) = \frac{|\sum_{m_1=0}^{M_1-1} \sum_{m_2=0}^{M_2-1} d_X(m_1, m_2) \overline{d_X(m_1 + p_1, m_2 + p_2)}|^2}{\sum_{m_1=0}^{M_1-1} \sum_{m_2=0}^{M_2-1} |d_X(m_1, m_2)|^2 \sum_{m_1=0}^{M_1-1} \sum_{m_2=0}^{M_2-1} |d_X(m_1 + p_1, m_2 + p_2)|^2},$$

مقدار پیکسل تصویر در موقعیت $\mathbf{t} = (t_1, t_2)$ است. اگر فرآیند فضایی \mathbf{X} یک PCSP باشد، می‌توان برای تشخیص دوره‌ای بودن و تعیین دوره تناوب یک تصویر از ویژگی‌های PCSP استفاده کرد. همچنین اگر عکس یک فیلم با یک PCSP مدل بندی شود می‌توان از آن برای بررسی میزان فشردگی فیلم استفاده کرد. در این حالت هر چقدر اندازه دوره تناوب فیلم کوچکتر باشد نشان دهنده فشردگی بیشتر فیلم است.

برای تعیین فشردگی، مقادیر پیکسل‌های تصویر فیلم به صورت یک فرآیند فضایی در نظر گرفته و نمودار کوهرنسی فضایی متناظر با تصویر فیلم ها رسم شد. جهت بررسی دوره ای بودن تصویر یک فیلم و تعیین میزان فشردگی با استفاده از نمودار تابع کوهرنسی فضایی از رویکرد زیر پیروی گردید:

۱- اگر نمودار کوهرنسی فضایی متناظر با تصویر یک فیلم پیک قابل توجهی داشته باشد، این تصویر را می‌توان به عنوان یک تصویر دورایی (PCSP) در نظر گرفت.

۲- با توجه (۳)، در نمودار کوهرنسی فضایی هر چه نقطه پیک از مبدا دورتر باشد، اندازه دوره تناوب

فرآیند فضایی مرتبه دوم $\mathbf{X} = \{X_{\mathbf{t}} : \mathbf{t} \in \mathcal{T} \subseteq \mathbb{Z}^2\}$ را یک فرآیند فضایی همبسته دوره‌ای (PCSP) گویند اگر $\mathbf{T} = (T_1, T_2) \in \mathbb{N}^2$ ، چنان موجود باشد که برای هر $\mathbf{t}, \mathbf{s} \in \mathcal{T}$ و $\mathbf{n} \in \mathbb{N}^2$ رابطه زیر برقرار باشد:

$$R_X(\mathbf{t}, \mathbf{s}) = R_X(\mathbf{t} + \mathbf{n} \odot \mathbf{T}, \mathbf{s} + \mathbf{n} \odot \mathbf{T}),$$

(۱)

که در آن $\mathbf{n} \odot \mathbf{T} = (n_1 T_1, n_2 T_2)$. دوره تناوب فرآیند فضایی همبسته دوره‌ای \mathbf{X} گویند اگر T_1 و T_2 کوچکترین اعداد طبیعی باشند که در (۱) صدق می‌کنند. همچنین اگر f_X تابع چگالی طیفی \mathbf{X} باشد تکیه گاه f_X به صورت زیر است:

$$d_X(\lambda_1, \lambda_2) = \text{آن در آن}$$

$$\lambda_1, \lambda_2 \in [0, 2\pi) \text{ و } \mathbf{M} = (M_1, M_2) \in \mathbb{N}^2, \frac{1}{\sqrt{N_1 N_2}} \sum_{t_1=1}^{N_1} \sum_{t_2=1}^{N_2} X_{\mathbf{t}} e^{i2\pi(\frac{t_1 \lambda_1}{N_1} + \frac{t_2 \lambda_2}{N_2})}$$

با توجه به ویژگی‌های تابع کوهرنسی فضایی، اگر نمودار این تابع برای فرآیند فضایی \mathbf{X} دارای پیک غالب در نقطه $\mathbf{p}^* = (p_1^*, p_2^*)$ باشد، فرآیند \mathbf{X} یک PCSP بوده و دوره تناوب آن برابر است با

$$\mathbf{T} = \left(\frac{N_1}{p_1^*}, \frac{N_2}{p_2^*} \right) \quad (۳)$$

بنابه (۳) هر چقدر نقطه پیک از مبدا دورتر باشد اندازه دوره تناوب کوچکتر است و برعکس. همچنین پیک‌های موجود در نمودار کوهرنسی فضایی یک فرآیند فرکانس‌های اصلی فرآیند را تشکیل داده و بیشترین تاثیر را در فرآیند دارند. در ضمن اگر نمودار کوهرنسی فضایی فرآیندی چندین پیک داشته باشد، فرآیند ترکیبی از چندین دوره تناوب بوده و مرتفع‌ترین پیک تعیین کننده‌ی دوره تناوب غالب است.

فرض کنید $\mathbf{X} = \{X_{\mathbf{t}} : \mathbf{t} = (t_1, t_2), t_j = 1, \dots, N_j, j = 1, 2\}$ یک فرآیندهای فضایی متناظر با تصویری با تعداد پیکسل‌های $N_1 \times N_2$ باشد که در آن $X_{\mathbf{t}}$

یکنواخت امولسیون مشاهده کردند [۲۵]. با این حال، تجمع قطرات ممکن است پس از خشک شدن رخ دهد و مقداری لخته سازی و ادغام ایجاد کند. شن و همکاران (۲۰۲۱) به طور مشابه نشان داد که لایه‌های پولولان-ژلاتین سطح صافی داشتند، در حالی که افزودن امولسیون Pickering باعث زبری و بی‌نظمی نسبتاً در فیلم شد. این مشاهده ممکن است به دلیل حرکت گلوبول‌ها به سطح در طول خشک شدن باشد [۲۶].

در این مطالعه تصویر فیلم‌های نمایش داده شده در شکل ۲ به عنوان فرآیند فضایی در نظر گرفته و نمودار کوهرنسی فضایی آن‌ها در شکل ۳ به تصویر کشیده شد. وجود پیک در نمودار کوهرنسی فضایی متناظر با فیلم‌ها، نشان دهنده دوره‌ای بودن فیلم‌ها و محل پیک، تعیین کننده تناوب بودن عکس در یک راستا (راستای محور y) است. با توجه به نمودار کوهرنسی فضایی متناظر با فیلم‌ها، که در شکل ۱ نمایش داده شده است، به ترتیب فیلم e, f, g و h بیشترین فشردگی را دارند که نتایج حاصل از AFM را تایید کرد. لازم به توضیح است چون پیک نمودار کوهرنسی فضایی متناظر با هر دو فیلم e و f در نقطه $p = (0,4)$ است پس می‌توان گفت میزان فشردگی هر دو فیلم تقریباً یکسان بوده و چون ارتفاع پیک در نمودار کوهرنسی متناظر با فیلم f نسبت به e بیشتر است، موجب می‌شود تا با اطمینان بیشتری فشردگی آن تعیین گردد.

فیلم کوچکتر و فیلم فشردتر است.

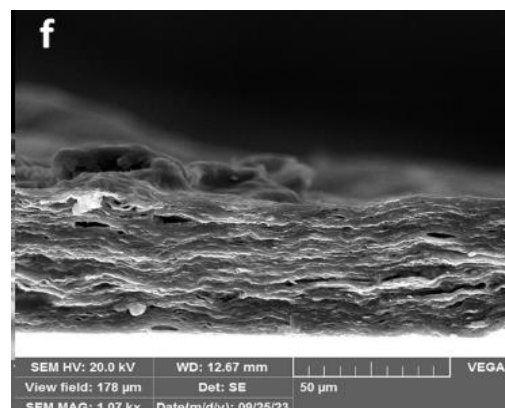
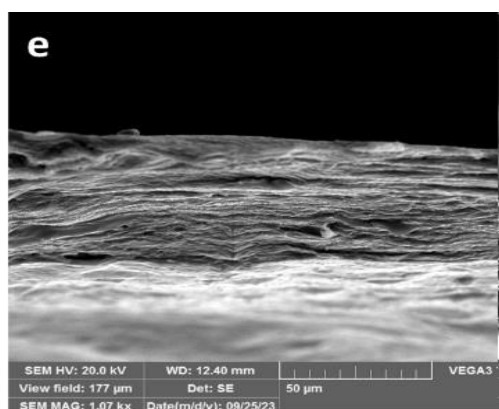
۳- اگر نمودار کوهرنسی فضای دو فیلم در نقطه یکسانی دارای پیک باشند می‌توان گفت فشردگی هر دو تقریباً یکسان است. در این حالت، ارتفاع پیک در نمودار کوهرنسی متناظر هر فیلم که بیشتر باشد میزان فشردگی را با اطمینان بیشتری مشخص می‌کند.

۴- اگر پیک نمودار کوهرنسی فضای متناظر با فیلم در محور x یا y باشد، نشان دهنده وجود دوره تناوب در همان راستا بوده است.

۳-نتایج و بحث

توپوگرافی سطح دو بعدی و سه بعدی تصاویر SEM و AFM از فیلم‌های صمغ دانه چیا حاوی نانوامولسیون اسانس دارچین در شکل ۱ ارائه شده است. سطح فیلم نسبتاً صاف و صاف بود. فیلم‌های مورد بررسی، با افزودن غلظت بیشتری از امولسیون دارای سطح نسبتاً ناهموار و نامنظمی بود. زبری فیلم‌های خوراکی حاوی امولسیون به دلیل انتشار دانه‌های ذرات روی سطح فیلم در طول خشک شدن است [۲۳].

مشاهدات ما به مشاهدات الماسی و همکاران (۲۰۲۰) نزدیک بود که سطح ناهموار فیلم پکتین بارگذاری شده با امولسیون Pickering را تایید کرد [۲۴]. علاوه بر این، سان و همکاران (۲۰۲۰) سازگاری فیلم اکنتیل سوکسینات نشاسته سدیم همراه با امولسیون اسانس دارچین را با توزیع



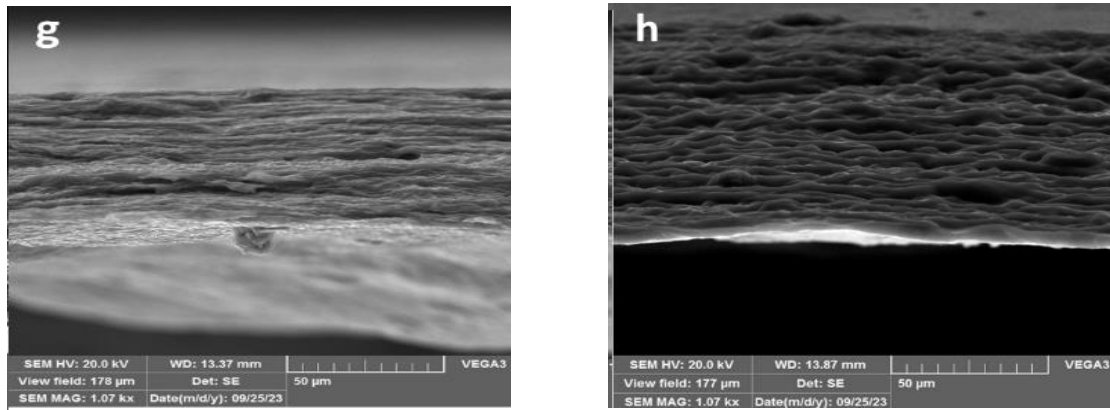


Fig. 1. SEM images of the cross-section of CSM film (e), CSM-2 (f), CSM-4 (g), CSM-6 (h).

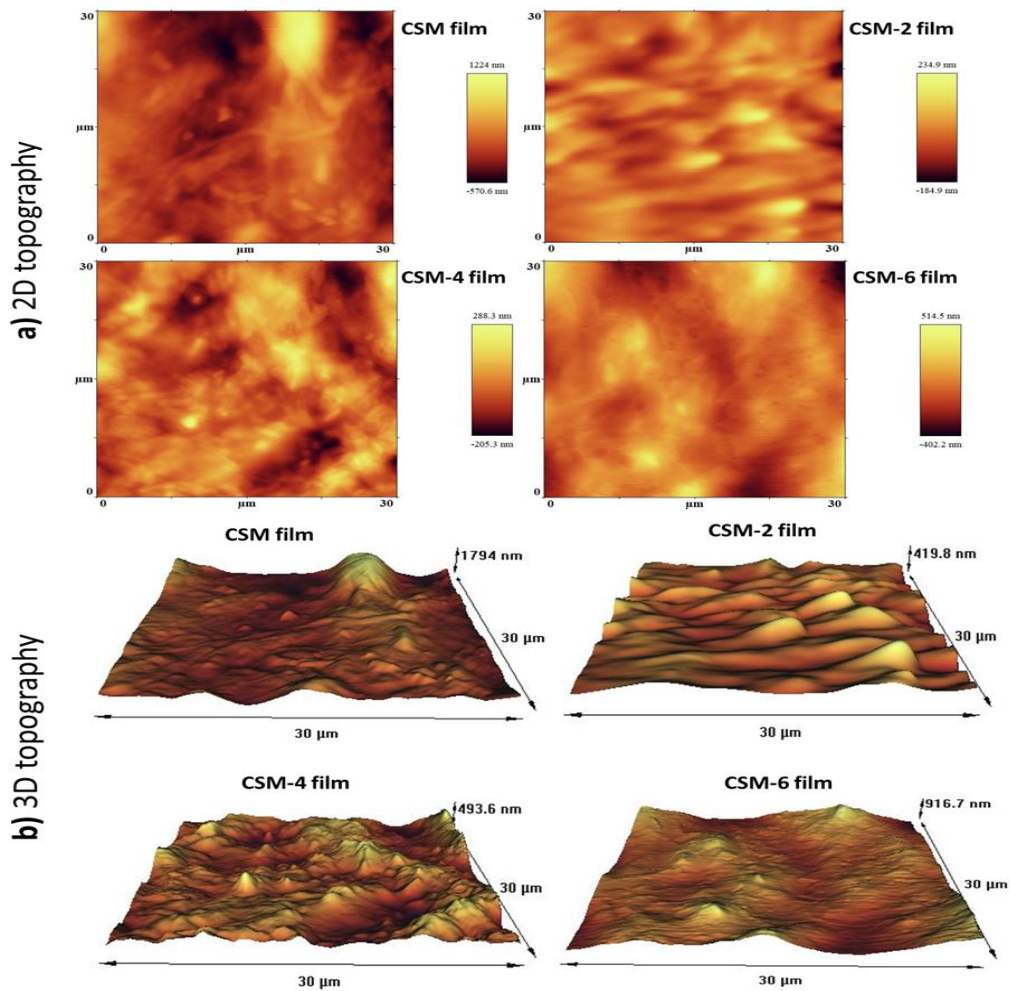


Fig. 2. AFM images of 2D surface (a) and 3D topography (b) of chia seed mucilage (CSM) films with different concentrations (2, 4, and 6%) of cinnamon essential oil nanoemulsion.

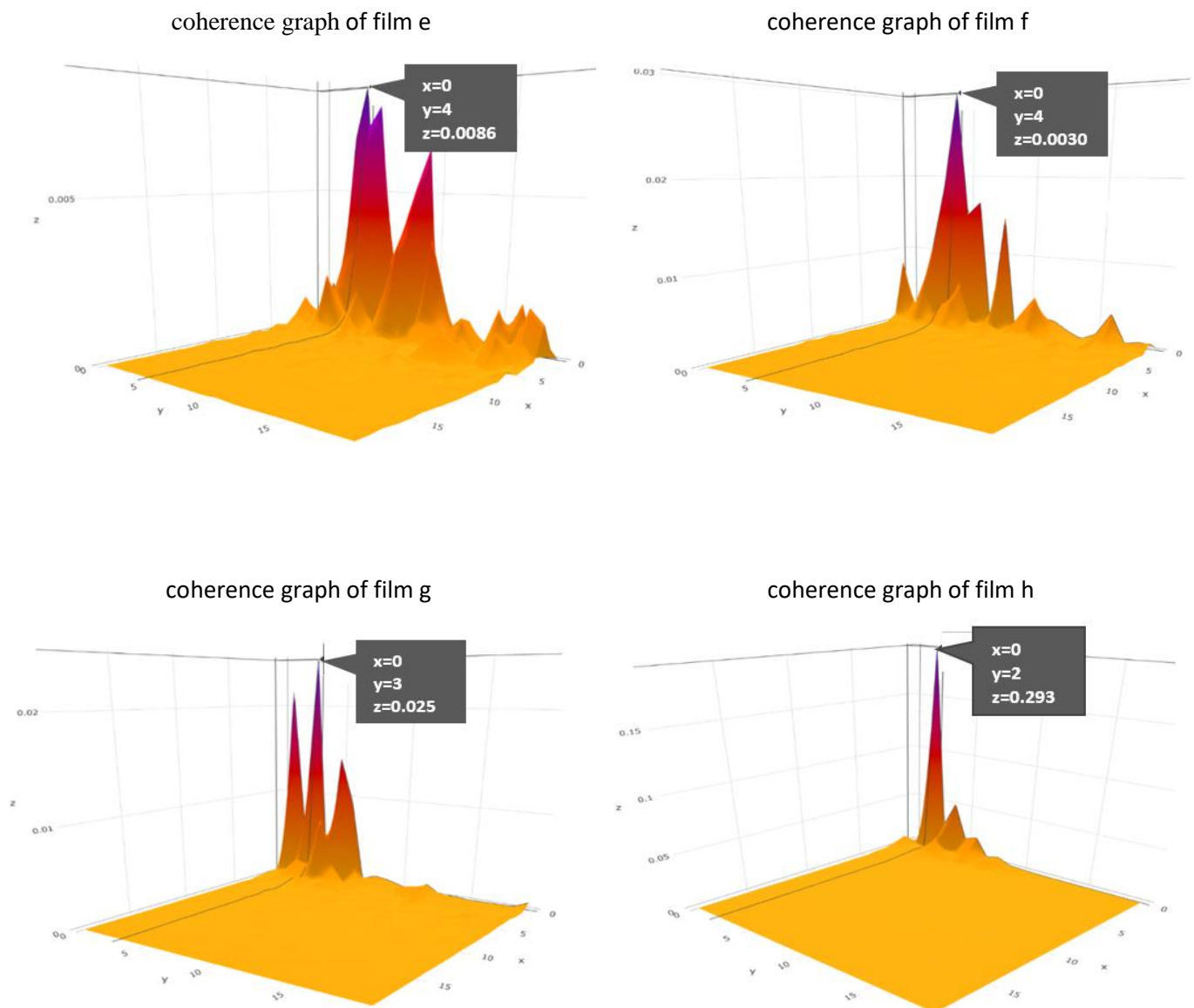


Fig. 3. Coherence graph of the films

مورد پردازش تصویر قرار گرفتند و نتایج آن با AFM مورد مقایسه قرار گرفت. نتایج پردازش تصویر به عنوان روشی جدید، میزان زبری و فشردگی فیلم‌ها را پیش بینی کرده و نتایج نشان داد که در فیلم‌های نانوامولسیون، با افزایش غلظت اسانس، میزان فشردگی سطح کاهش پیدا می‌کند.

۴- نتیجه گیری

در تحقیق حاضر، فیلم‌های صمغ چیا حاوی نانوامولسیون اسانس دارچین تهیه و ویژگی‌های ساختاری، مورفولوژیکی آن‌ها توسط میکروسکوپ الکترونی روبشی و نیروی اتمی مکانیکی مورد بررسی قرار گرفت. سپس فیلم‌های میکروسکوپ الکترونی جهت بررسی میزان فشردگی سطح

ه-منابع

- [1] Mellinas, Cristina, et al. "Active edible films: Current state and future trends." *Journal of Applied Polymer Science* 133.2 (2016).
- [2] Erginkaya, Z., Kalkan, S., & Ünal, E. (2014). Use of antimicrobial edible films and coatings as packaging materials for food safety. In *Food processing: Strategies for quality assessment* (pp. 261-295). New York, NY: Springer New York.
- [3] Jiang, Changxing, Qingping Xiong, Dan Gan, Yunpeng Jiao, Jing Liu, Liping Ma, and Xiaoxiong Zeng. "Antioxidant activity and potential hepatoprotective effect of polysaccharides from *Cyclina sinensis*." *Carbohydrate Polymers* 91, no. 1 (2013): 262-268.
- [4] Ritchie, H., Roser, M., & Rosado, P. (2020). CO₂ and greenhouse gas emissions. *Our world in data*.
- [5] Espitia, P. J. P., Du, W. X., de Jesús Avena-Bustillos, R., Soares, N. D. F. F., & McHugh, T. H. (2014). Edible films from pectin: Physical-mechanical and antimicrobial properties-A review. *Food hydrocolloids*, 35, 287-296.
- [6] Mohamed, S. A., El-Sakhawy, M., & El-Sakhawy, M. A. M. (2020). Polysaccharides, protein and lipid-based natural edible films in food packaging: A review. *Carbohydrate polymers*, 238, 116178.
- [7] Dehghani S, Noshad M, Rastegarzadeh S, Hojjati M, Fazlara A. Electrospun chia seed mucilage/PVA encapsulated with green cardamom essential oils: Antioxidant and antibacterial property. *International Journal of Biological Macromolecules*. 2020;161:1-9.
- [8] Hatamian M, Noshad M, Abdanan-Mehdizadeh S, Barzegar H. Effect of roasting treatment on functional and antioxidant properties of chia seed flours. *NFS Journal*. 2020;21:1-8.
- [9] Dick M, Costa TMH, Goma A, Subirade M, de Oliveira Rios A, Flôres SH. Edible film production from chia seed mucilage: Effect of glycerol concentration on its physicochemical and mechanical properties. *Carbohydrate Polymers*. 2015;130:198-205
- [10] Salehi F. Characterization of new biodegradable edible films and coatings based on seeds gum: A review. *Journal of Packaging Technology and Research*. 2019;3(2):193-201
- [11] Nazir, S., Wani, I. A., & Masoodi, F. A. (2017). Extraction optimization of mucilage from Basil (*Ocimum basilicum* L.) seeds using response surface methodology. *Journal of Advanced Research*, 8(3), 235-244.
- [12] Y. Zhou, X. Wu, J. Chen, J. He, Effects of cinnamon essential oil on the physical, mechanical, structural and thermal properties of cassava starch-based edible films, *Int. J. Biol. Macromol.* 184 (2021) 574–583.
- [13] Gaba, A. B. M., Hassan, M. A., Abd EL-Tawab, A. A., Abdelmonem, M. A., & Morsy, M. K. (2022). Protective impact of chitosan film loaded oregano and thyme essential oil on the microbial profile and quality attributes of beef meat. *Antibiotics*, 11(5), 583.
- [14] Alves, V. D., Costa, N., & Coelho, I. M. (2010). Barrier properties of biodegradable composite films based on kappa-carrageenan/pectin blends and mica flakes. *Carbohydrate Polymers*, 79(2), 269-276.
- [15] Luo, M., Cao, Y., Wang, W., Chen, X., Cai, J., Wang, L., & Xiao, J. (2019). Sustained-release antimicrobial gelatin film: Effect of chia mucilage on physicochemical and antimicrobial properties. *Food Hydrocolloids*, 87, 783-791.
- [16] Emir Çoban, Ö., & Ergür, N. (2021). Chia mucilage coating: Applications with gojiberry extract for shelf life extension of *Oncorhynchus mykiss* and its antibacterial and oxidative effects. *Journal of Food Processing and Preservation*, 45(2), e15114.
- [17] Mousavi, S. R., Rahmati-Joneidabad, M., & Noshad, M. (2021). Effect of chia seed mucilage/bacterial cellulose edible coating on bioactive compounds and antioxidant activity of strawberries during cold storage. *International Journal of Biological Macromolecules*, 190, 618-623.
- [18] Semwal, A., Ambatipudi, K., & Navani, N. K. (2022). Development and characterization of sodium caseinate based probiotic edible film with chia mucilage as a protectant for the safe delivery of probiotics in functional bakery. *Food Hydrocolloids for Health*, 2, 100065.
- [19] Muñoz-Tébar, N., Carmona, M., Ortiz de Elguea-Culebras, G., Molina, A., & Berruga, M. I. (2022). Chia seed mucilage edible films with *origanum vulgare* and *satureja montana* essential

oils: characterization and antifungal properties. *Membranes*, 12(2), 213.

[20] Shishebor, Z., & Amiri Aghbilagh, B. (2019). On the asymptotic behavior of the periodograms of periodically correlated spatial processes: Periodicity detection. *Communications in Statistics-Theory and Methods*, 48(8), 1854-1870.

[21] Dammak, I., Lourenço, R. V., & do Amaral Sobral, P. J. (2019). Active gelatin films incorporated with Pickering emulsions encapsulating hesperidin: Preparation and physicochemical characterization. *Journal of Food Engineering*, 240, 9-20.

[22] Khodaei, D., Oltrogge, K., & Hamidi-Esfahani, Z. (2020). Preparation and characterization of blended edible films manufactured using gelatin, tragacanth gum and, Persian gum. *Lwt*, 117, 108617.

[23] Nisar, T., Wang, Z.-C., Yang, X., Tian, Y., Iqbal, M., & Guo, Y. (2018). Characterization of citrus pectin films integrated with clove bud essential oil: Physical, thermal, barrier, antioxidant and antibacterial properties. *International Journal of Biological Macromolecules*, 106, 670-680.

[24] Almasi, H., Azizi, S., & Amjadi, S. (2020). Development and characterization of pectin films activated by nanoemulsion and Pickering emulsion stabilized marjoram (*Origanum majorana* L.) essential oil. *Food Hydrocolloids*, 99, 105338

[25] Sun, H., Li, S., Chen, S., Wang, C., Liu, D., & Li, X. (2020). Antibacterial and antioxidant activities of sodium starch octenylsuccinate-based Pickering emulsion films incorporated with cinnamon essential oil. *International Journal of Biological Macromolecules*, 159, 696-703.

[26] Shen, Y., Ni, Z.-J., Thakur, K., Zhang, J.-G., Hu, F., & Wei, Z.-J. (2021). Preparation and characterization of clove essential oil loaded nanoemulsion and pickering emulsion activated pullulan-gelatin based edible film. *International Journal of Biological Macromolecules*, 181, 528-539.



Scientific Research

Image processing of chia seed mucilage film containing cinnamon essential oil nanoemulsion

Behnam Amiri¹., Mehran Sayadi^{2*}., Elahe Abedi^{3*}., Mohammad Aamin Jafari⁴

1- Department of Statistics, Faculty of Science, Fasa University, Fasa, Iran

2-Department of Food Safety and Hygiene, Faculty of Health, Fasa University of Medical Sciences, Fasa, Iran

3-Department of Food Science and Technology, Faculty of Agriculture, Fasa University, Fasa, Iran

4-Department of Food Science and Technology, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

ARTICLE INFO

ABSTRACT

Article History:

Received:2024/10/25

Accepted:2024/12/11

Keywords:

Chia seed mucilage;

Image processing;

Scanning electron microscopy;

Atomic force microscope;

Compressibility of edible biofilms

Imaging is a crucial tool for evaluating the structure of food materials. Image processing encompasses two-dimensional (2D) images of surfaces and cross-sections, such as those observed with microscopy, and three-dimensional (3D) internal structures obtained using confocal microscopy, computed tomography, and magnetic resonance imaging. This research utilized image processing to determine the hardness and compactness of edible biofilms infused with nanoemulsions. Chia seed gum edible films containing cinnamon essential oil were prepared at concentrations of 2%, 4%, and 6%. Scanning Electron Microscopy (SEM) and Atomic Force Microscopy (AFM) images of the films were acquired. The AFM and image processing results demonstrated that increasing the essential oil concentration from 2% to 6% decreased compactness and increased surface roughness, consistent with the image processing findings. Therefore, this interpretive image processing offers a potential capability for determining the compactness of edible and non-edible films in the packaging industry.

DOI: 10.22034/FSCT.22.159.221.

*Corresponding Author E-

Mehransayadi62@gmail.com;

elaheabedi1389@gmail.com