



Production of smart film based on gelatin/chitosan nanofibers containing common poppy anthocyanins to monitor shrimp spoilage

M Bakhshizadeh¹, A Ayaseh^{2*}, T Niknazar Moghaddam¹ and M Tavassoli³

¹MSc Graduated, Department of Food Sciences and Technology, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran

²Associated Professor, Department of Food Sciences and Technology, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran

³Student Research Committee, Department of Food Science and Technology, Faculty of Nutrition and Food Sciences, Tabriz University of Medical Sciences, Tabriz, Iran

*Corresponding author: ayaseh@tabrizu.ac.ir

ARTICLE INFO

Article type:
Research Article

Article history:
Received: November 14, 2022
Accepted: March 18, 2023
Published: July 4, 2024

Keywords:
Anthocyanin, Common poppy, Smart packaging, Shrimp

ABSTRACT

Background: Colorimetric films that contain anthocyanins from plant extracts can detect food spoilage, making it an innovative and eco-friendly packaging solution. This study aimed to create a smart gelatin film with chitosan nanofibers, and anemone anthocyanin extract to monitor shrimp spoilage. Anthocyanins were first extracted from common poppy flower extract. Gelatin-based smart films were then prepared using the casting method. The films' characteristics were investigated, such as surface morphology, chemical structure, light absorption and transmission, transparency, crystalline properties, sensitivity to acid and ammonia vapors, antioxidant properties, and food test. The pure gelatin film peaked at $2\theta=19.72$, and adding chitosan nanofibers created a new peak at $2\theta=2.16$. However, adding common poppy extract had no significant effect on the peak. Examination of the films' chemical structure revealed new interactions (hydrogen bonds) between chitosan nanofibers and common poppy extract. Additionally, adding common poppy extract and chitosan nanofibers decreased the film's transparency to 16.47. The results of exposing the smart film to acid and ammonia vapors showed a color change to red and green, respectively, after 30 min. Monitoring the spoilage of smart film shrimp indicated a color change from light fawn to mustard after 7 days of storage, attributed to a change in pH from 8.3 to 10.5 and the formation of ammonia vapors due to protein decomposition. This study demonstrated that the smart film containing common poppy extract could potentially monitor the spoilage of marine food products.



Extended Abstract

Introduction: In recent years, researchers have focused on production of active and smart packaging due to the increasing interest of consumers in biodegradable packaging (Hashem et al., 2022; Zhang et al., 2022). Smart films are a category of biodegradable films that convey visual information to consumers (Dong et al., 2020). Anthocyanins are a group of flavonoids that are responsible for the red, blue and purple colors of plants. The color of anthocyanins changes in different pH (Wang et al., 2021). Common poppy belongs to the poppy family, which have several health benefits. Common poppy petals are red in color due to the anthocyanins in their composition (Katarzyna et al., 2021). The use of anthocyanins from different plants in combination with biopolymers has attracted increasing interest in the food industry. One of these biopolymers is gelatin (Xu et al., 2022). Gelatin is widely used in food packaging due to its abundant resources, non-toxicity and inexpensive price (Wang et al., 2022). However, gelatin is used in combination with other biopolymers or nanofillers due to its high-water solubility and poor mechanical properties (Rangaraj et al., 2022). One of these nanofillers is chitosan nanofibers. Chitosan nanofibers are used to improve the properties of films due to their biodegradability, non-toxicity, antibacterial properties and biocompatibility (Amjadi et al., 2019).

Material and methods: In this study, common poppy extract was prepared using the solvent extraction method. Then, the obtained extract was used to prepare a smart film based on gelatin/chitosan nanofibers. Afterward, Surface morphology was analyzed using scanning electron microscope, chemical structure using Fourier transmission infrared spectrometer and crystal structure using X-ray diffractometer. The antioxidant property of the films was tested using the DPPH method. Also, UV-vis absorption and transmission in the range of 200-800 nm was evaluated using a spectrophotometer. In addition, the samples were cut in a dumbbell shape and investigated

using a tissue analyzer to evaluate the mechanical properties of the films. The sensitivity of films to ammonia and acidic vapors was evaluated using ammonia and acetic acid solutions. Also, the transparency of smart films was evaluated at a wavelength of 600 nm using a spectrophotometer. In addition, the package containing the indicator film and shrimp was kept in the refrigerator for 7 days in order to monitor shrimp spoilage. The color changes of smart film at the beginning and end of storage were recorded using a digital camera in order to investigate shrimp spoilage.

Results and discussion: The addition of common poppy extract increased the thickness of the smart film due to the increase in solid content. Also, the pure gelatin film had the highest transparency, which significantly decreased the transparency of the films by adding chitosan nanofibers and common poppy extract. In addition, the color change of common poppy extract at different pH was evaluated. The color changes at different pH values were as follows: red at pH = 2, coral at pH = 4, peach puff at pH = 6-8, goldenrod at pH = 10 and dark goldenrod at pH = 12. In addition, the color change of the smart film at different pH was also evaluated. The results showed that the smart film at pH = 2 has a crimson color, at pH = 4 it has an indian red color, at pH 6, 7 and 8 it has a coral color, at pH = 10 it is dark salmon color and at pH = 12 it has It was dark goldenrod color. Furthermore, the results of UV-Vis light absorption and transmission characteristics of the films showed that pure gelatin film and gelatin/chitosan nanofibers have low UV-Vis absorption and high transmission. However, the addition of common poppy extract significantly increased the UV-Vis absorption and decreased the transmission of the films, which could be due to the light absorbing property of common poppy anthocyanins. Also, X-ray diffraction results showed that the pure gelatin film had a peak at $2\theta = 12.16^\circ$, which did not change significantly with the addition of common poppy. In addition, the results of the food packaging showed that the

color of the smart film changed from bright coral to goldenrod after 7 days, which was caused by the increase in pH from 8.3 to 10.5 and the production of ammonia compounds. Also, the S_{RGB} of the smart film increased to 13.20%.

Conclusion: Smart film based on gelatin/chitosan nanofiber containing common poppy extract was produced by casting method. The results showed that the smart film had the lowest amount of transparency. Also, the smart film had the lowest UV-Vis transmission and the highest absorption, which indicated the film's potential to be used for light-sensitive food packaging. In addition, the smart film color changed from coral to dark red, and its S_{RGB} reached 38.17%, when it was exposed to acid vapors. Moreover, when the smart film was exposed to ammonia vapor, its color changed from coral to dark olive and the S_{RGB} of the film reached 61.14%. The results of the food packaging showed that the color of the smart film changed from coral to goldenrod, which was caused by the decomposition of shrimp tissues and the production of ammonia-containing compounds and the increase in pH from 8.3 to 10.5. This result showed that smart film has the potential to be used to monitor food (shrimp) spoilage.

تهیه فیلم هوشمند بر پایه ژلاتین / نانو الیاف کیتوزان حاوی آنتوسیانین‌های گلبرگ شقایق برای نظارت بر فساد میگو

میلاد بخشی زاده^۱، علی ایاسه^{۲*}، تینا نیک نظر مقدم^۱ و میلاد توسلی^۲

^۱دانش آموخته کارشناسی ارشد، گروه علوم و مهندسی صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز

^۲دانشیار، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز

^۳دانشجوی کمیته تحقیقات دانشجویی، دانشجوی دکتری علوم و صنایع غذایی، دانشگاه علوم پزشکی تبریز.

✉ مسئول مکاتبه: ayaseh@tabrizu.ac.ir

چکیده

مشخصات مقاله

زمینه مطالعاتی: فیلم‌های رنگ‌سنجی حاوی آنتوسیانین‌های عصاره‌های گیاهی که می‌توانند میزان پیشرفت فساد را در مواد غذایی شناسایی کنند، یکی از روش‌های جدید و دوستدار محیط زیست در زمینه بسته‌بندی است. هدف: هدف از این مطالعه تولید فیلم هوشمند ژلاتینی حاوی نانو الیاف کیتوزان و عصاره آنتوسیانین‌های شقایق و بررسی پتانسیل فیلم تهیه شده برای نظارت بر فساد میگو بود.

روش کار: در این مطالعه، ابتدا آنتوسیانین‌های عصاره گل شقایق استخراج شد. سپس، با استفاده از روش قالب‌ریزی فیلم‌های هوشمند بر پایه ژلاتین تهیه شد. خصوصیات مورفولوژی سطحی، ساختار شیمیایی، جذب و عبور نور، شفافیت، خواص کریستالی، حساسیت به بخارات اسیدی و آمونیاک، خاصیت آنتی‌اکسیدانی و آزمون غذایی فیلم‌ها مورد بررسی قرار گرفت.

نتایج: نتایج نشان داد که فیلم ژلاتین خالص دارای پیک در محدوده $\theta = 19/72^\circ$ بود که افزودن نانوالیاف کیتوزان باعث ایجاد یک پیک جدید در $\theta = 12/16^\circ$ شد. با این حال، افزودن عصاره شقایق تاثیر خاصی بر روی پیک نداشت. بررسی ساختار شیمیایی فیلم‌ها نشان داد که برهمکنش‌های جدیدی (پیوندهای هیدروژنی) بین نانو الیاف کیتوزان و عصاره شقایق شکل گرفت. علاوه بر این، با افزودن عصاره شقایق و نانوالیاف کیتوزان شفافیت فیلم به $16/47$ کاهش یافت. همچنین، نتایج تاثیر بخارات اسیدی و آمونیاک بر روی فیلم هوشمند نشان داد که فیلم هوشمند پس از ۳۰ دقیقه قرارگیری در معرض این بخارات به ترتیب به رنگ قرمز و سبز تغییر رنگ داد. نتایج نظارت بر فساد میگو فیلم‌های هوشمند نشان داد که پس از ۷ روز نگهداری، رنگ فیلم هوشمند ازحنایی روشن به خردلی تغییر یافت که دلیل آن تغییر pH از ۸/۳ به ۱۰/۵ و تشکیل بخارات آمونیاک در اثر تجزیه پروتئین‌ها بود.

نتیجه‌گیری نهایی: این مطالعه نشان داد فیلم هوشمند حاوی عصاره شقایق پتانسیل استفاده برای نظارت بر فساد محصولات غذایی دریایی را دارد.

نوع مقاله:

علمی پژوهشی

تاریخچه مقاله:

دریافت: ۱۴۰۱/۸/۲۳

پذیرش: ۱۴۰۱/۱۲/۷

انتشار: ۱۴۰۳/۴/۱۴

کلید واژگان:

آنتوسیانین، بسته‌بندی هوشمند، شقایق، میگو

مقدمه

در سالیان اخیر افزایش تقاضای مصرف کنندگان برای آگاهی از تازگی، ایمنی و کیفیت محصولات غذایی، توجه محققان را به توسعه سیستم‌های بسته‌بندی هوشمند جلب کرده است (هاشم و همکاران ۲۰۲۲؛ ژانگ و همکاران ۲۰۲۲). فیلم‌های رنگ سنجی هوشمند مبتنی بر pH بخشی از بسته‌بندی هوشمند هستند که تحت تأثیر pH های مختلف تغییر رنگ داده و اطلاعات بصری بیشتری را در اختیار مصرف کننده قرار می‌دهند (دونگ و همکاران ۲۰۲۰). آنتوسیانین‌ها به دسته فلاونوئیدها تعلق دارند که به برگ‌ها، گل‌ها و میوه‌ها طیف وسیعی از رنگ‌ها (مانند آبی، قرمز روشن و بنفش) را به دلیل تغییر ساختار ناشی از محیط‌هایی با pH متفاوت می‌دهند. اخیراً، آنتوسیانین‌ها به دلیل مزایای بالقوه سلامتی و رنگ مطلوب، به طور گسترده به عنوان رنگ‌دهنده در انواع غذاها مورد استفاده قرار گرفته‌اند (وانگ و همکاران ۲۰۲۱). بنابراین استفاده از رنگ‌های طبیعی حاوی آنتوسیانین می‌تواند جایگزین مناسبی برای رنگ‌های مصنوعی باشد. مطالعات متعددی درباره استفاده از آنتوسیانین‌های هویج (ابراهیمی تیرتاشی و همکاران ۲۰۱۹)، کلم قرمز (عابدی فیروزجاه و همکاران ۲۰۲۲) و زعفران (علیزاده ثانی و همکاران ۲۰۲۱) به عنوان رنگدانه‌های طبیعی در بسته‌بندی هوشمند گزارش شده است. شقایق قرمز^۱ که اغلب به عنوان شقایق معمولی شناخته می‌شود، عضوی از خانواده خشخاشیان^۲ است. در طول تاریخ، این گل به عنوان یک ماده دارویی برای درمان بیماری‌های مختلف در بسیاری از کشورهای اروپایی و آسیایی مورد توجه بوده است (کاتارزینا و همکاران ۲۰۲۱). خواص دارویی عصاره شقایق شامل ضد سرفه، ضد اسهال، ضد التهاب، ضد اختلالات خواب، ضد اسپاسم و ضد سرطان است. مواد فنلی متعددی از جمله کامفرول، ایزورامنتین، کورستین و میریستین و همچنین مواد معدنی مانند سدیم، پتاسیم و کلسیم می‌توانند عامل این مزایای سلامتی باشند (کاتارزینا و همکاران ۲۰۲۱؛ مارسول و همکاران ۲۰۲۰؛ شهسونا تبریزی و همکاران ۲۰۲۰). رنگ قرمز

شقایق مربوط به وجود آنتوسیانین‌های مختلف مانند سیانیدول، ویتکسین، کومارین، روتین، مالویدین و لوتولینیدین در گلبرگ‌های آن است (گراوسو و همکاران ۲۰۲۱). در سالیان اخیر علاقه فزاینده‌ای به استفاده از پلیمرهای زیست تخریب پذیر و سازگار با محیط زیست مانند پلی ساکاریدها، پروتئین‌ها و لیپیدها برای فیلم های بسته‌بندی هوشمند و فعال وجود دارد (روی و ریم ۲۰۱۹). در این راستا، ژلاتین یکی از بیوپلیمرهایی است که به دلیل خواصی مانند زیست سازگاری خوب، خواص عملکردی منحصر به فرد، منابع فراوان و زیست تخریب پذیری در زمینه‌های آرایشی، صنایع غذایی، مهندسی بافت و دارورسانی استفاده شده است (زو و همکاران ۲۰۲۲). توانایی عالی در تشکیل فیلم و انعطاف پذیری ژلاتین به دلیل محتوای بالای گلیسین، هیدروکسی پرولین و پرولین است (وانگ و همکاران ۲۰۲۲). با این حال، به دلیل ممانعت کنندگی رطوبت و ویژگی‌های مکانیکی ضعیف ژلاتین، استفاده از آن به عنوان یک ماده بسته‌بندی محدود است (رنگاراج و همکاران ۲۰۲۲). برای حل این موانع، استفاده از نانوپرکننده‌ها توجه زیادی را در فرمولاسیون فیلم‌های مبتنی بر پلیمرهای زیستی جلب کرده است (امجدی و همکاران ۲۰۲۱). نانوالیاف کیتوزان (CNF) به عنوان یک نانوپرکننده دوبعدی، یک پلی ساکارید قلبایی است که برای تقویت ویژگی‌های ممانعت کنندگی، حرارتی و مکانیکی فیلم‌های پلیمری استفاده می‌شود (پیرس و همکاران ۲۰۲۱). نانوالیاف کیتوزان به دلیل خواصی که شامل توانایی تشکیل فیلم، زیست سازگاری، زیست تخریب پذیری و غیرسمی بودن است، بیشتر برای تقویت سیستم‌های بسته بندی استفاده می‌شود (امجدی و همکاران ۲۰۱۹). میگو جزئی از محصولات شیلاتی مورد علاقه جهان می‌باشد که استفاده از آن روز به روز افزایش می‌یابد. امروزه توجه بیشتر مصرف کنندگان به تازگی و ایمنی محصولات غذایی است. با این حال، میگوها به دلیل پروتئولیز آنزیمی و متابولیسم میکروبی در طی مراحل نگهداری و خرده فروشی پس از برداشت، بسیار فاسد شدنی هستند و بافت آن‌ها تخریب

² Papaveraceae¹ *Papaver rhoeas* L.

طور کامل در ۵۰ میلی‌لیتر آب مقطر پراکنده شده و به محلول ژلاتین اضافه شد و به مدت ۱ ساعت در دمای محیط همزده شد. سپس به سوسپانسیون حاصل، عصاره آنتوسیانین‌های گلبرگ شقایق (۲٪ وزنی/حجمی) با همزدن مداوم اضافه شد. سپس گلیسرول (۳۰٪ وزنی/وزنی) به محلول اضافه شده و به مدت ۳۰ دقیقه در دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد همزد شد. محلول حاصل به داخل پلیت‌های پلی استایرن ریخته شده و به مدت ۴۸ ساعت در دمای محیط خشک شد. همچنین، فیلم‌های ژلاتین خالص، ژلاتین/نانوالیاف کیتوزان، ژلاتین/عصاره آنتوسیانین‌های گلبرگ شقایق در روشی مشابه تهیه شدند (بیگ محمدی و همکاران ۱۳۹۹).

ضخامت

ضخامت فیلم‌های مبتنی بر ژلاتین با استفاده از یک میکرومتر دیجیتال (Mitutoyo, Dial Thickness Gauge 7301, Kanagawa, Corporation, ژاپن) در ۸ نقطه از هر فیلم با دقت ۰/۰۰۱ میلی‌متر ارزیابی شد. میانگین این ۸ نقطه به عنوان ضخامت اعلام شد.

شفافیت

شفافیت فیلم‌های مبتنی بر ژلاتین با استفاده از یک اسپکتروفتومتر UV-vis (Ultrospec 2000, Scintec, UK) طبق روش ASTM D1746-09 اندازه‌گیری شد. بدین منظور، نمونه‌های فیلم به شکل مستطیلی (۱۰×۳۰ میلی‌متر) برش داده شدند و در دستگاه اسپکتروفتومتر UV-Vis قرار گرفتند. میزان عبور نور فیلم‌ها در طول موج ۶۰۰ نانومتر اندازه‌گیری شد (علیزاده ثانی و همکاران ۲۰۲۱). سپس شفافیت فیلم‌ها با استفاده از معادله زیر اندازه‌گیری شد:

$$\text{Transparency} = \frac{\log T_{600}}{x} \quad (1) \text{ معادله}$$

که در آن T_{600} میزان عبور نور در طول موج ۶۰۰ نانومتر و x ضخامت فیلم هستند.

سنجش رنگ

تغییرات رنگ فیلم‌ها در مقابل تغییرات pH با استفاده از محلول‌های بافر تریس با pHهای مختلف (۲-۱۲) اندازه‌گیری شد. برای این منظور، نمونه‌های فیلم به شکل مربع (۲۰×۲۰

می‌شود. بنابراین، توسعه فناوری نگهداری عملی و موثر برای حفظ کیفیت میگو و همچنین نظارت بر فساد میگو ضروری می‌باشد (پنگ و همکاران ۲۰۲۲).

بنابراین، هدف اصلی این مطالعه تهیه یک نشانگر رنگ حساس به pH با استفاده از ژلاتین/نانوالیاف کیتوزان به عنوان یک ماتریکس جامد و عصاره گلبرگ شقایق به عنوان نشانگر حساس به pH بود. همچنین در فیلم تهیه شده ضخامت، کارایی فیلم نشانگر در pHهای مختلف و تاثیر بخارات اسیدی و آمونیاک مورد ارزیابی قرار گرفت. همچنین از فیلم نشانگر برای نظارت بر فساد میگو استفاده شد.

مواد و روش‌ها

گلبرگ‌های شقایق مورد استفاده در این تحقیق از عطاری محلی تبریز تهیه شد. گلیسرول، اتانول ۹۶٪، ۲،۲-دی‌فنیل-۱-پیکریل هیدرازیل (DPPH) و پودر ژلاتین (بلوم ۱۰۰-۱۴۰) از شرکت مرک (آلمان) تهیه شدند. نانو الیاف کیتوزان (قطر متوسط ۲۸ نانومتر، طول متوسط ۲-۳ نانومتر و با خلوص ۹۹٪) از شرکت نانو نوین پلیمر (ایران) خریداری شد.

تهیه عصاره آنتوسیانین‌های شقایق

آنتوسیانین‌های گلبرگ شقایق با استفاده از استخراج با حلال استخراج شدند. به طور خلاصه، پودر گلبرگ شقایق با اتانول ۲۰٪ به نسبت ۱:۲۰ (وزنی/حجمی) ترکیب شد و به مدت ۸ ساعت در دمای اتاق همزده شد. سپس مخلوط‌ها با استفاده از کاغذ واتمن شماره ۱ صاف شده و به مدت ۱۰ دقیقه در ۶۰۰۰ rpm سانتریفیوژ شدند و در آخر آنتوسیانین‌ها با حذف حلال آلی با استفاده از اواپراتور چرخشی (۳۷ درجه سانتی‌گراد و ۲۵ میلی‌متر جیوه) تغلیظ شدند. عصاره استخراج شده در یخچال (۴ درجه سانتی‌گراد) نگهداری شد. (علیزاده ثانی و همکاران ۲۰۲۱).

روش تهیه نمونه فیلم

برای تهیه فیلم، ۳ گرم پودر ژلاتین در ۵۰ میلی‌لیتر آب مقطر در دمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۳۰ دقیقه حل شد. همچنین، ۰/۱۵ گرم (۵٪ وزنی/وزنی) نانو الیاف کیتوزان به

در محدوده $5-75^\circ = 2\theta$ در دمای 25° درجه سانتی‌گراد استفاده شد (علیزاده ثانی و همکاران ۲۰۲۱).

فعالیت آنتی‌اکسیدانی

فعالیت آنتی‌اکسیدانی نمونه‌های فیلم با استفاده از روش مهار رادیکال DPPH انجام شد. برای این منظور، 250 میلی‌گرم فیلم برش داده شده و در 10 میلی‌لیتر محلول اتانول آبی (5 میلی‌لیتر آب مقطر، 5 میلی‌لیتر اتانول 96%) در دمای 35° درجه سانتی‌گراد حل شد. سپس $3/9$ میلی‌لیتر محلول DPPH با $0/1$ میلی‌لیتر محلول فیلم مخلوط شد و به مدت 30 دقیقه در مکانی تاریک نگهداری شد (امجدی و همکاران، ۲۰۲۰). سپس فعالیت آنتی‌اکسیدانی فیلم‌ها با استفاده از معادله زیر محاسبه شد:

$$\text{DPPH (\%)} = \frac{Ab_{\text{Control}} - Ab_{\text{sample}}}{Ab_{\text{Control}}} \times 100 \quad (2)$$

که در آن Ab_{control} میزان جذب DPPH و Ab_{sample} میزان جذب نمونه می‌باشند.

تاثیر بخارات اسیدی و آمونیاکی بر روی فیلم هوشمند
حساسیت فیلم نشانگر به بخارات اسیدی و قلیایی بر اساس روش عزتی و همکاران (۲۰۲۱) با کمی اصلاحات انجام شد. برای این منظور، یک فیلم نشانگر به قطر 2 سانتی‌متر روی فالكون حاوی 40 میلی‌لیتر محلول آمونیاک ($0/8$ مولار) و اسید استیک (99%) قرار داده شد. آزمایش در زیر هود آزمایشگاهی انجام شد. با استفاده از دوربین دیجیتال در فواصل 10 دقیقه‌ای به مدت 30 دقیقه عکس‌برداری شد. سپس حساسیت (SRGB) نشانگر با استفاده از معادله زیر محاسبه شد:

$$S_{\text{RGB}} = \frac{(R_a - R_b) + (G_a - G_b) + (B_a - B_b)}{R_a + G_a + B_a} \quad (3)$$

که در آن R_a (قرمز)، G_a (سبز)، B_a (آبی) پارامترهای اولیه شاخص و R_b ، G_b ، B_b پارامترهایی بودند که پس از قرار گرفتن در معرض آمونیاک و بخارات اسیدی به دست آمدند.

آزمون غذایی

فیلم هوشمند رنگ‌سنجی برای نظارت بر فساد میگو در طول نگهداری استفاده شد. بدین منظور، فیلم را به شکل دایره برش داده و روی قسمت داخلی درب ظرف ($13 \times 12 \times 5$ سانتی‌متر مکعب) حاوی 50 گرم میگو تازه (خریداری شده از بازار

میلی‌متر) بریده شده و در بافرهایی با pH مختلف غوطه‌ور شدند. سپس با استفاده از دوربین دیجیتال (Canon Power shot SX720 HS، ژاپن) در فاصله 30 سانتی‌متری از پلیت‌ها تغییر رنگ فیلم‌ها ثبت شد. همچنین، به منظور بررسی تغییر رنگ آنتوسیانین‌های عصاره شقایق، مقدار مشخصی از این محلول در ویال‌های شیشه‌ای ریخته شد. سپس بافرهایی با pH مختلف به محلول اضافه شد و تغییر رنگ فیلم‌ها با استفاده از دوربین دیجیتال عکس‌برداری شد (علیزاده ثانی و همکاران ۲۰۲۲).

میزان عبور نور UV-Vis

طیف جذب و عبور نور فیلم‌های مبتنی بر ژلاتین در طول موج 200 تا 800 نانومتر با استفاده از یک طیف‌سنج UV-Vis تعیین شد (Ultrospec 2000, Scintec, UK). برای این منظور، فیلم‌ها به شکل مستطیلی (30×10 میلی‌متر) بریده شدند و در داخل اسپکتروفتومتر UV-vis قرار گرفتند. از هوا به عنوان نمونه خالی استفاده شد و طیف جذب و عبور نمونه‌های فیلم مورد اندازه‌گیری قرار گرفت (علیزاده ثانی و همکاران ۲۰۲۱).

میکروسکوپ الکترونی روبشی نشر میدانی

به منظور بررسی ویژگی‌های مورفولوژیکی فیلم‌های مبتنی بر ژلاتین، نمونه‌ها به شکل مربع (15×15 میلی‌متر) بریده شدند و سپس با یک لایه طلا پوشانده شدند. سپس از سطح فیلم‌ها توسط میکروسکوپ الکترونی روبشی نشر میدانی (TESCAN Mira3، جمهوری چک) با ولتاژ شتاب دهنده 10 کیلوولت تصویر تهیه شد (امجدی و همکاران ۲۰۲۰).

طیف‌سنجی مادون قرمز تبدیل فوری

برهمکنش‌های ساختاری نمونه‌های فیلم با استفاده از یک اسپکتروفتومتر FT-IR (Bruker Tensor 27 FTIR، بروکر، آلمان) در محدوده عدد موج $4000-400$ cm^{-1} تعیین شد (امجدی و همکاران ۲۰۱۹).

پراش اشعه ایکس (XRD)

برای تجزیه و تحلیل ساختار کریستالی فیلم تهیه شده از دستگاه پراش اشعه ایکس (زیمنس D5000، کلن، آلمان) با تابش Cu

مصرف کننده تأثیر می‌گذارد، به وضوح به شفافیت آن بستگی دارد (توسلی و همکاران ۲۰۲۱). همانطور که در جدول ۲ نشان داده شده است، فیلم ژلاتینی دارای بیشترین شفافیت (۲۵/۷۱) بود که با افزودن نانوالیاف کیتوزان به ۲۳/۰۳ کاهش یافت. همچنین شفافیت فیلم‌های ژلاتین/عصاره شقایق و ژلاتین/نانوالیاف کیتوزان/عصاره شقایق به دلیل پراکندگی و خواص جذب نور مرئی آنتوسیانین‌ها به ترتیب به ۱۹/۶۱ و ۱۶/۴۷ کاهش یافت. در راستای نتایج ما، هاشم و همکاران (۲۰۲۳) یک فیلم هوشمند مبتنی بر متیل سلولز/آگار حاوی موم آفتابگردان و آنتوسیانین‌های کلم بنفش چینی تولید کرد. آن‌ها گزارش دادند که شفافیت فیلم‌ها با افزودن آنتوسیانین کلم بنفش چینی به میزان قابل توجهی کاهش یافت.

Table 1-Thickness of film samples

| Film sample | Thickness (mm) |
|-------------|-----------------------------|
| G | 0.084 ± 0.005 ^c |
| G/CNF | 0.087 ± 0.004 ^{bc} |
| G/CP | 0.096 ± 0.003 ^{ab} |
| G/CNF/CP | 0.10 ± 0.001 ^a |

Data are expressed as mean ± standard deviation (n=3) and different letters show significant difference at the 5% level in Duncan's test ($p < 0.05$). G: gelatin, CNF: chitosan nanofiber, CP: common poppy.

Table 2-Transparency of film samples

| Film sample | Transparency (log T600/mm) |
|-------------|----------------------------|
| G | 25.71 ± 0.41 ^a |
| G/CNF | 23.03 ± 0.41 ^b |
| G/CP | 19.64 ± 0.61 ^c |
| G/CNF/CP | 16.47 ± 0.38 ^d |

Data are expressed as mean ± standard deviation (n=3) and different letters show significant difference at the 5% level in Duncan's test ($p < 0.05$). G: gelatin, CNF: chitosan nanofiber, CP: common poppy.

محلی) چسبانده شد. سپس ظرف میگو حاوی فیلم هوشمند رنگ سنجی به مدت ۷ روز در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد در یخچال نگهداری شد. به منظور بررسی حساسیت فیلم هوشمند رنگ سنجی (SRGB)، فیلم هوشمند در ابتدا و در انتهای ذخیره‌سازی عکسبرداری شد. همچنین pH میگو با استفاده از pH متر دیجیتال (A211-pH, Thermo Scientific meter, اندونزی) اندازه‌گیری شد (عزاتی و همکاران ۲۰۲۱).

تحلیل آماری

برای تجزیه و تحلیل داده‌ها از نرم‌افزار SPSS (IBM NY, Armonk, Corporation، آمریکا) با استفاده از تحلیل واریانس یک‌طرفه (ANOVA) و آزمون مقایسه چندگانه تعقیبی دانکن در سطح معنی‌داری ۰.۰۵٪ برای تایید وجود اختلاف بین میانگین‌ها استفاده شد. آزمون‌ها در سه تکرار انجام شد.

نتایج و بحث

ضخامت

ضخامت فیلم یک پارامتر موثر در خواص نوری، ممانعت‌کنندگی و ویژگی‌های مکانیکی است (امجدی و همکاران، ۲۰۱۹). همان‌طور که در جدول ۱ نشان داده شده است، فیلم ژلاتین خالص کمترین ضخامت را داشت (۰/۸۴ میلی‌متر)، که با افزودن نانوالیاف کیتوزان تغییر معنی‌داری نشان نداد (۰/۰۵ $P <$). با این حال، افزودن عصاره آنتوسیانین‌های گلبرگ شقایق افزایش قابل توجهی در ضخامت فیلم را نشان داد (۰/۰۵ $P <$ ، که می‌تواند به دلیل افزایش محتوای مواد جامد فیلم باشد. نتایج مشابهی توسط کیم و همکاران (۲۰۲۲) گزارش شده است، که نشان داد افزودن آنتوسیانین نخود پروانه‌ای ضخامت فیلم مبتنی بر ژلاتین/آگار را افزایش می‌دهد که ناشی از افزایش محتوای جامد است.

شفافیت

مواد بسته‌بندی مورد استفاده برای مواد غذایی می‌تواند با ممانعت از نور، از اجزای غذایی حساس به نور در برابر تخریب محافظت کنند. علاوه بر این، ظاهر کلی یک فیلم، که بر درک

سنجش رنگ

تغییر رنگ عصاره شقایق با استفاده از محلول‌های بافر مختلف در شکل ۱ (a) نشان داده شده است. طول موج و شدت حداکثر

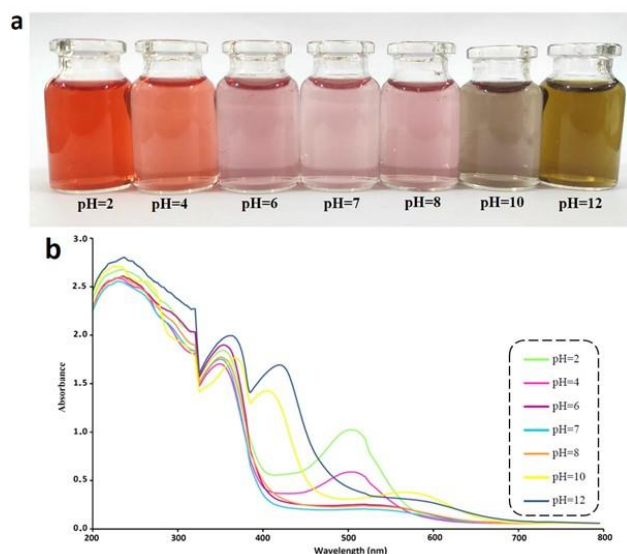
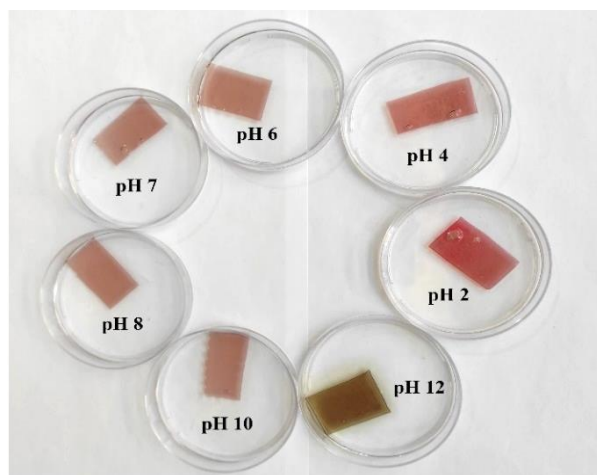


Figure 1- The color variations (a) and the UV-vis spectra (b) of common poppy anthocyanins in various buffer solutions (pH 2 to 12)



e 2- The color change of the smart film in buffer solutions with different pH values (2-12)

تغییر رنگ فیلم‌های رنگ‌سنجی در pHهای مختلف با استفاده از محلول‌های بافر با pHهای مختلف مورد بررسی قرار گرفت و نتایج در شکل ۲ نشان داده شده است. تغییر رنگ فیلم‌های هوشمند در pHهای مختلف روند مشابهی را با تغییر رنگ محلول فیلم نشان داد. فیلم هوشمند دارای رنگ قرمز در pH = ۲ بود که با افزایش pH به ۴ تبدیل به رنگ مرجانی شد. فیلم رنگ‌سنجی در pH خنثی (۶، ۷ و ۸) رنگ نخودی بود و با افزایش pH به ۱۰ به رنگ خردلی تغییر کرد و در pH ۱۲

پیک جذب محلول‌های آنتوسیانین تحت تأثیر pH قرار گرفت. مطابق شکل ۱ (a)، تغییرات رنگ در مقادیر مختلف pH به شرح زیر است: قرمز زرشکی در pH = ۲، جگری در pH = ۴، مرجانی در pH = ۶-۸، قهوه ای حنایی در pH = ۱۰ و خردلی در pH = ۱۲. همچنین، طیف جذب نور UV-vis عصاره شقایق در شکل ۱ (b) نشان داده شده است. یک پیک جذب در محدوده pH اسیدی در طول موج ۵۰۷ نانومتر مشاهده شد که با افزایش pH از ۲ به ۴، شدت آن از ۱/۰۲۵ به ۰/۵۸۹ کاهش یافت. همچنین، پیک جذب قوی در محدوده pH اسیدی در طول موج ۴۰۸ نانومتر مشاهده شد که با افزایش pH از ۱۰ به ۱۲، طول موج پیک جذب تغییر کرد (۴۲۱ نانومتر) و همچنین شدت آن از ۱/۲۲۹ به ۱/۶۹۵ افزایش یافت. تغییر در پیک جذب نور UV-vis و تغییر رنگ عصاره شقایق با تغییر در ساختار آنتوسیانین‌ها، تحت تأثیر pHهای مختلف بود (گستی و همکاران ۲۰۲۱). ساختار آنتوسیانین‌ها در pH اسیدی یک کاتیون فلاویلیوم با رنگ قرمز است که در pH خنثی این ساختار به شبه باز (خاکستری/بنفش/آبی) تبدیل می‌شود و در pH قلیایی این ساختار به کالکن تبدیل می‌شود که دارای رنگ‌های مایل به زرد و سبز است (علیزاده ثانی و همکاران ۲۰۲۲).

الیاف کیتوزان باشد (توسلی و همکاران ۲۰۲۱). همانطور که در شکل مشخص است فیلم‌های فاقد عصاره شقایق در محدوده فرابنفش جذب نور بسیار کمی دارند و با اضافه شدن این ماده به فیلم‌ها مقدار جذب نور به طرز قابل توجهی افزایش یافت در واقع شروع به جذب نور که در فیلم‌های عادی از طول موج تقریباً ۳۸۰ نانومتر بود در فیلم‌های حاوی عصاره شقایق به محدوده ۲۵۰ نانومتر منتقل شد و در بازه ۲۵۰ الی ۷۰۰ نانومتر افزایش چشمگیر جذب نور صورت گرفت. در فیلم‌های رنگی هوشمند از انتقال نور در طول موج‌های زیر ۳۲۴ نانومتر جلوگیری کردند و به طور معنی داری انتقال نور را در تمام طول موج‌ها کاهش دادند. این خاصیت می‌تواند به دلیل وجود گروه‌های منحصر به فرد (گروه‌های کروموفور موجود در رنگدانه‌ها) در ساختار آنتوسیانین‌ها باشد که می‌توانند نور UV-Vis را به شدت جذب کنند. مشابه با نتایج این تحقیق، هاشم و همکاران (۲۰۲۳) گزارش کردند که افزودن آنتوسیانین‌های کلم بنفش چینی به فیلم بر پایه آگار/متیل سلولوز باعث کاهش قابل توجه عبور نور می‌شود که می‌تواند ناشی از توانایی جذب نور مرئی و فرابنفش توسط آنتوسیانین‌ها باشد. همچنین ژانگ و همکاران (۲۰۲۳) مشاهده کردند که افزودن عصاره کلم قرمز به فیلم کیتوزان/ژلاتین، جذب اشعه ماوراء بنفش فیلم را بهبود بخشید، که به جذب نور مرئی-فرابنفش حلقه‌های معطر غنی از آنتوسیانین و فلاونوئیدها در ترکیب کلم قرمز نسبت داده شد.

میکروسکوپ الکترونی روبشی نشر میدانی

مورفولوژی سطحی فیلم‌های مبتنی بر ژلاتین با استفاده از میکروسکوپ الکترونی روبشی نشر میدانی بررسی شد و نتایج در شکل ۴ نشان داده شده است. فیلم ژلاتین خالص دارای سطح صاف و یکنواختی بود. همچنین، سطح فیلم با افزودن نانو الیاف کیتوزان فشرده‌تر شد که می‌تواند ناشی از پراکندگی مناسب نانوالیاف کیتوزان در ماتریکس فیلم باشد. همچنین، نمونه فیلم حاوی عصاره شقایق دارای سطح تقریباً صاف بود که با افزودن عصاره شقایق سطح آن هموارتر و فشرده‌تر شد. در این راستا، علیزاده ثانی و همکاران (۲۰۲۱) فیلم متیل سلولوز حاوی نانوالیاف کیتوزان و آنتوسیانین زرشک تهیه کردند. آن‌ها

به خردلی تیره تبدیل شد. در مطالعه‌ای علیزاده ثانی و همکاران (۲۰۲۱) حساسیت به pH فیلم‌های متیل سلولوز/نانوالیاف کیتوزان حاوی آنتوسیانین‌های زرشک قرمز را در محلول‌های بافر مختلف بررسی کردند. تغییرات رنگی ناشی از pH در فیلم‌های حاوی آنتوسیانین‌های زرشک قرمز مطابق با تغییرات رنگی محلول‌های زرشک قرمز بود. آن‌ها گزارش کردند که فیلم‌های برپایه متیل سلولوز در شرایط اسیدی به رنگ قرمز/زرشکی، در شرایط تقریباً خنثی به رنگ هلویی کم رنگ و در شرایطقلیایی به رنگ زرد تغییر رنگ دادند.

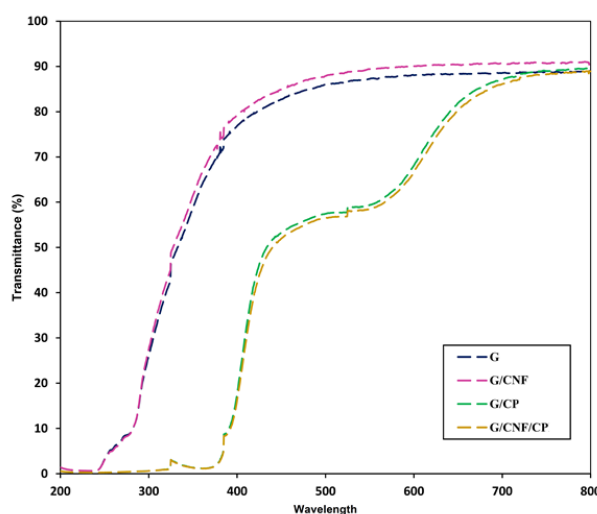


Figure 3- UV-Vis light transmittance of film samples. G: Gelatin, G/CNF: Gelatin/Chitosan nanofiber, G/CP: Gelatin/ Common poppy, G/CNF/CP: Gelatin/Chitosan nanofiber/Common poppy

جذب یا عبور نور UV-Vis

خواص جذب یا عبور در برابر اشعه ماوراء بنفش مواد بسته‌بندی یکی از پارامترهای حیاتی در بسته‌بندی مواد غذایی است. به دلیل اینکه، قرار گرفتن در معرض اشعه ماوراء بنفش تخریب نوری مواد غذایی را تسریع می‌کند (علیزاده ثانی و همکاران ۲۰۲۲). ویژگی‌های جذب یا عبور نور فیلم‌های هوشمند در شکل ۳ نشان داده شده است. فیلم‌های ژلاتین خالص دارای جذب کم و عبور زیادی بودند که نشان دهنده جذب کم توسط مولکول‌های ژلاتین است.

افزودن نانوالیاف کیتوزان به فیلم ژلاتین باعث کاهش بیشتر عبور نور شد که می‌تواند ناشی از پراکندگی امواج نور توسط

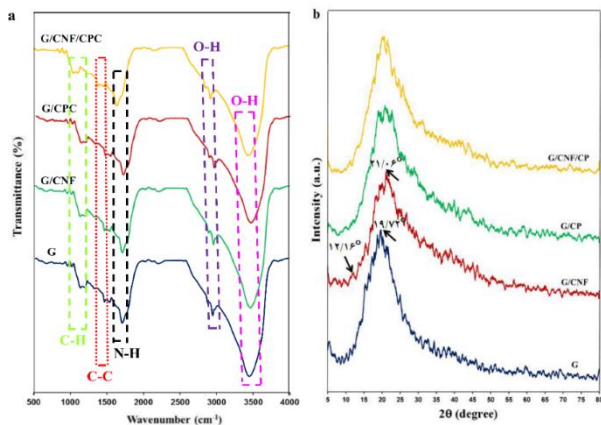


Figure 5- The Fourier transforms infrared spectra (a) and X-ray diffraction patterns of film samples (b); G: Gelatin, G/CNF: Gelatin/Chitosan nanofiber, G/CP: Gelatin/ Common poppy, G/CNF/CP: Gelatin/Chitosan nanofiber/Common poppy.

پراش پرتو ایکس

خواص کریستالی مواد بسته‌بندی به دلیل نقش مهم آن‌ها در خواص مکانیکی فیلم‌ها بسیار مهم است (توسلی و همکاران ۲۰۲۱). طیف XRD فیلم‌ها در شکل ۵ (b) نشان داده شده است. همه نمونه‌ها دارای پیک در $2\theta = 19.72^\circ$ بودند که می‌تواند به دلیل ساختار نیمه کریستالی ژلاتین باشد. با افزودن نانوالیاف کیتوزان یک پیک جدید در $2\theta = 12.16^\circ$ ظاهر شد و پیک مربوط به ژلاتین از $2\theta = 19.72^\circ$ به 21.06° تغییر یافت که می‌تواند ناشی از ساختار آمورف نانوالیاف کیتوزان باشد. همچنین، افزودن عصاره شقایق تأثیر منفی بر ساختار کریستالی نمونه‌های فیلم نداشت که با نتایج حاصل از علیرزاده ثانی و همکاران (۲۰۲۱) مطابقت داشت. آن‌ها گزارش دادند که با افزودن عصاره زعفران به فیلم متیل سلولز/نانوالیاف کیتوزان تغییر قابل توجهی در خواص کریستالی فیلم هوشمند مشاهده نشد. همچنین، امجدی و همکاران (۲۰۲۰) مشاهده کردند که افزودن نانو الیاف کیتوزان به فیلم ژلاتین، منجر به ظهور یک پیک جدید در $2\theta = 12.2^\circ$ شد و هیچ اثر منفی بر پیک ژلاتین نداشت.

تأثیر بخار اسیدی و آمونیاک بر روی فیلم هوشمند

مشاهده کردند که افزودن نانوالیاف کیتوزان به ماتریکس متیل سلولز باعث فشرده شدن مورفولوژی سطح فیلم شد.

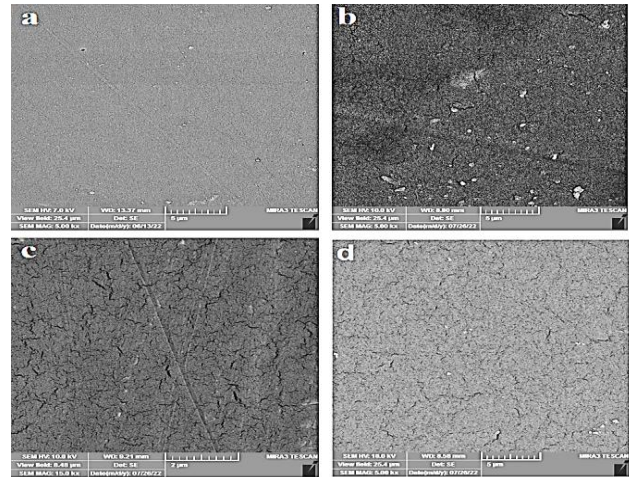


Figure 4- The field emission scanning electron microscopy (FE-SEM) images; (a) Gelatin, (b) Gelatin/Chitosan nanofiber, (c) Gelatin/ Common poppy (d), Gelatin/Chitosan nanofiber/Common poppy

طیف‌سنجی مادون قرمز تبدیل فوریه

طیف‌سنجی مادون قرمز تبدیل فوریه اطلاعات مفیدی در مورد برهمکنش‌های بین اجزای مختلف و گروه‌های عاملی فراهم می‌کند (ثانی و همکاران ۲۰۲۱). همانطور که در شکل ۵ (a) مشاهده می‌شود، پیک‌های فیلم ژلاتین خالص در محدوده 3431 cm^{-1} (ارتعاش کششی O-H گروه عاملی فنلی)، 2924 cm^{-1} (ارتعاش O-H گروه عاملی کربوکسیلیک اسیدها)، 1631 cm^{-1} (ارتعاش N-H گروه‌های آمید نوع ۱)، 1463 cm^{-1} (ارتعاش کششی C-C گروه عاملی آروماتیک) و 1115 cm^{-1} (کشش C-H الکل‌ها، اسیدهای کربوکسیلیک، استرها، اترها) بود (امجدی و همکاران ۲۰۲۰). امجدی و همکاران (۲۰۲۰) فیلم ژلاتینی حاوی نانوالیاف کیتوزان و نانولیپوزوم‌های بارگذاری شده با بتانین تولید کردند. آن‌ها مشاهده کردند که با افزودن نانو الیاف کیتوزان، پیک در 1630 cm^{-1} به سمت اعداد موج بالا منتقل شد. آن‌ها این پدیده را به ایجاد پیوند هیدروژنی احتمالی بین گروه‌های OH و NH_2 ژلاتین با نانو الیاف کیتوزان و نانولیپوزوم‌های بارگذاری شده با بتانین مرتبط دانستند.

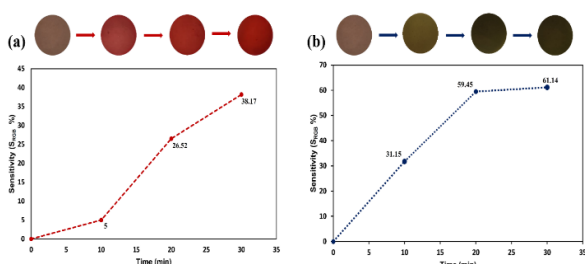


Figure 6- The sensitivity of smart colorimetric film against acid vapors (a) and ammonia (b)

فعالیت آنتی‌اکسیدانی

از روش مهار رادیکال آزاد DPPH برای اندازه‌گیری فعالیت آنتی‌اکسیدانی فیلم‌های مبتنی بر ژلاتین استفاده شد و نتایج در جدول ۳ نشان داده شده است. فعالیت آنتی‌اکسیدانی به جنبه‌های مختلفی از جمله پایداری رادیکال‌های تولید شده، ساختار بیوپلیمرها و برهمکنش بین مولکول‌ها و ترکیبات فنلی بستگی دارد (مرادی و همکاران، ۲۰۱۹). همانطور که انتظار می‌رفت، فیلم ژلاتین خالص هیچ فعالیت آنتی‌اکسیدانی نداشت که با افزودن نانوالیاف کیتوزان، فعالیت آنتی‌اکسیدانی به ۶/۱۷٪ افزایش یافت. گروه‌های NH_2 موجود در موقعیت C_2 در نانوالیاف کیتوزان توانایی گرفتن یون H^+ از محلول و تبدیل به NH_3 را دارند و می‌توانند با رادیکال آزاد DPPH برای تولید مولکول‌های پایدار برهمکنش کنند (علیزاده ثانی و همکاران ۲۰۲۱). علاوه بر این، فعالیت آنتی‌اکسیدانی فیلم‌های ژلاتین/عصاره شقایق و ژلاتین/نانوالیاف کیتوزان/عصاره شقایق به دلیل افزودن عصاره شقایق افزایش یافت. این افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدانی می‌تواند به دلیل توانایی حذف رادیکال‌های آزاد توسط گروه‌های پلی‌فنولی موجود در آنتوسیانین‌های شقایق باشد. مطابق با نتایج پژوهش حاضر، کیم و همکاران (۲۰۲۲) مشاهده کردند که فیلم ژلاتین/آگار حاوی آنتوسیانین‌های گل نخود پروانه‌ای دارای فعالیت آنتی‌اکسیدانی ۴۸/۶٪ بودند. همچنین، پژوهشگران مشاهده کردند که افزودن آنتوسیانین‌های زرشک به فیلم ژلاتین حاوی نانوالیاف کیتوزان باعث فعالیت آنتی‌اکسیدانی ۸۵/۱۲٪ شد که مربوط به ترکیبات فنولیک موجود در عصاره زرشک بود (علیزاده ثانی و همکاران ۲۰۲۱).

فیلم‌های هوشمندی که به تولید ترکیبات نیتروژنی مانند بخارات اسیدی و آمونیاک واکنش نشان می‌دهند، می‌توانند برای نظارت بر تازگی مواد غذایی مانند ماهی، میگو، گوشت و شیر در طول نگهداری استفاده شوند (علیزاده ثانی و همکاران ۲۰۲۲؛ ابراهیمی تیرتاشی و همکاران ۲۰۱۹). بنابراین، تغییر رنگ فیلم‌های رنگ‌سنجی هوشمند هنگام قرار گرفتن در معرض بخارات اسیدی و آمونیاک در فواصل ۱۰ دقیقه‌ای آزمایش شد. همانطور که در شکل ۶ (a) نشان داده شده است، هنگامی که فیلم هوشمند در ۱۰ دقیقه اول در معرض بخارات اسیدی قرار گرفت، رنگ فیلم هوشمند قرمز شده و SRGB آن به ۵٪ رسید. بیشترین افزایش در SRGB در فواصل ۱۰ تا ۲۰ دقیقه بود، زمانی که SRGB فیلم هوشمند به ۲۶/۵۲٪ رسید. پس از گذشت ۳۰ دقیقه، SRGB فیلم هوشمند به ۳۸/۱۷٪ رسید و رنگ آن به قرمز تیره تبدیل شد. همچنین، زمانی که فیلم هوشمند در ۱۰ دقیقه اول هنگامی که در معرض آمونیاک قرار گرفت (شکل ۶ (b))، به رنگ زیتونی تبدیل شده و SRGB آن به ۳۱/۷۵٪ افزایش یافت. پس از ۲۰ دقیقه، رنگ فیلم هوشمند رنگ‌سنجی به سبز تبدیل شده و SRGB آن به ۵۹/۴۵٪ افزایش یافت. در نهایت پس از گذشت ۳۰ دقیقه، تغییر رنگ جزئی ایجاد شد و SRGB فیلم به ۶۱/۱۴٪ رسید. تغییر رنگ فیلم‌های هوشمند هنگام قرار گرفتن در معرض ترکیبات حاوی آمونیاک می‌تواند به دلیل ایجاد یک محیط قلیایی در نتیجه واکنش بین گاز آمونیاک و آب باشد که منجر به تولید یون‌های هیدروکسید می‌شود (علیزاده ثانی و همکاران ۲۰۲۲). مشابه با نتایج ما، محققان گزارش کردند که فیلم‌های حاوی آنتوسیانین‌های لوروپتالوم چینی^۱ (یون و همکاران ۲۰۲۲) و ولفری سیاه^۲ ژانگ و همکاران ۲۰۲۲) زمانی که در معرض گاز آمونیاک قرار گرفتند به رنگ سبز تغییر یافتند. همچنین عزتی و همکاران (۲۰۲۱) گزارش کرد که کاغذ سلولزی حاوی شیکونین^۳ زمانی که در معرض بخارات اسیدی قرار گرفت از قرمز به قرمز روشن تغییر یافت.

³ *Lithospermum erythrorhizon*

¹ *Loropetalum chinense*

² *Lycium ruthenicum*

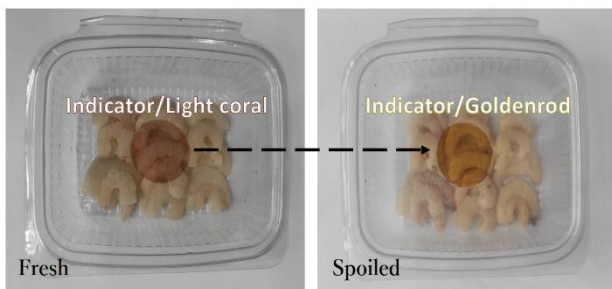


Figure 7- The monitoring the freshness and spoilage of shrimp using smart colorimetric film

نتیجه‌گیری

فیلم ژلاتین حاوی نانوالیاف کیتوزان و عصاره شقایق با موفقیت تولید شد. بررسی خصوصیات مورفولوژی سطحی، ساختار شیمیایی، جذب و عبور نور، شفافیت، خواص کریستالی، حساسیت به بخارات اسیدی و آمونیاک، خاصیت آنتی‌اکسیدانی و آزمون غذایی فیلم‌ها نشان داد که فیلم ژلاتین/نانوالیاف کیتوزان/عصاره شقایق دارای خصوصیات مناسب‌تری نسبت به سایر تیمارها بود. فیلم هوشمند دارای فعالیت آنتی‌اکسیدانی ۳۴/۱۵٪ بود که نشان دهنده پتانسیل عصاره شقایق برای استفاده در بسته‌بندی مواد غذایی به عنوان یک ماده آنتی‌اکسیدانی بود. همچنین، فیلم هوشمند به طور قابل توجهی از انتقال نور جلوگیری کرد که نشان دهنده مناسب بودن آن برای بسته‌بندی محصولات حساس به نور است. نتایج نظارت بر فساد میگو با استفاده از فیلم نشانگر نشان داد که رنگ فیلم نشانگر پس از ۷ روز نگهداری در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد از مرجانی به خردلی تغییر یافته است که نشان دهنده پتانسیل این فیلم برای نظارت بر فساد میگو است. رنگ فیلم‌های هوشمند در حضور محلول آمونیاک از قرمز به سبز تغییر کرد و S_{RGB} آن به ۶۱/۱۴٪ افزایش یافت. همچنین رنگ فیلم هوشمند رنگ سنجی با قرار گرفتن در معرض بخارات اسیدی تغییر کرد (قرمز تیره) که نشان دهنده پتانسیل استفاده از این فیلم برای نظارت بر فساد مواد غذایی است که در هنگام فساد بخارات اسیدی تولید می‌کنند.

Table 3-Antioxidant activity of film samples

| Film sample | DPPH radical scavenging (%) |
|-------------|-----------------------------|
| G | 00.00 ± 00.00 ^d |
| G/CNF | 6.17 ± 1.21 ^c |
| G/CP | 13.65 ± 1.21 ^b |
| G/CNF/CP | 34.15 ± 1.41 ^a |

Data are expressed as mean ± standard deviation (n=3) and different letters show significant difference at the 5% level in Duncan's test ($p < 0.05$). G: gelatin, CNF: chitosan nanofiber, CP: common poppy.

آزمون غذایی

فساد مواد غذایی مانند ماهی، میگو و گوشت در نتیجه فعالیت میکروارگانیسم‌ها و آنزیم‌ها رخ می‌دهد که منجر به افزایش pH غذا و تشکیل مواد نیتروژنی فرار می‌شود (علیزاده ثانی و همکاران ۲۰۲۱). pH اولیه میگو ۸/۳ بود که در نتیجه نگهداری به مدت ۷ روز و تجزیه بافت میگو و تشکیل ترکیبات نیتروژن دار به ۱۰/۵ افزایش یافت. همچنین به دلیل تجزیه بافت میگو و تشکیل مواد نیتروژن دار فرار (مانند آمونیاک)، رنگ فیلم رنگ‌سنجی هوشمند از مرجانی روشن به خردلی تغییر کرد و S_{RGB} آن به ۱۳/۲۰٪ افزایش یافت (شکل ۷). نتایج ما نشان داد که فیلم رنگ‌سنجی هوشمند حاوی نانو الیاف کیتوزان و عصاره گلبرگ شقایق پتانسیل استفاده برای نظارت بر فساد میگو را دارد. همچنین یافته‌های مشابهی توسط کانگ و همکاران (۲۰۲۰) گزارش شده است که یک فیلم نشانگر هوشمند مبتنی بر پلی وینیل الکل/موسیلاژ بامیه حاوی آنتوسیانین گل رز برای تشخیص فساد میگو توسعه داد. آن‌ها گزارش کردند که تغییرات رنگ میگو در زمان‌های مختلف به صورت: بنفش (۰ ساعت) ← آبی (۱۸ ساعت) ← سبز تیره (۲۴ ساعت) ← زرد (۳۲ ساعت) بود که نشان دهنده قابلیت فیلم هوشمند پلی وینیل الکل/موسیلاژ بامیه حاوی آنتوسیانین گل رز برای نظارت بر تازگی میگو بود.

References

- فرانک بیگ محمدی، حمیدرضا ناصری، رضا محمدی، احسان صادقی. ۱۳۹۹. تولید فیلم خوراکی بر پایه کیتوزان - ژلاتین حاوی اسانس چویر (Ferulago angulate)، ارزیابی تاثیر آن بر ویژگی‌های نوری، حسی و ماندگاری گوشت بوقلمون در دمای یخچال. پژوهش‌های صنایع غذایی. جلد ۴. شماره صفحات ۱۶۹-۱۷۹.
- Abedi-Firoozjah R, Yousefi S, Heydari M, Seyedfatehi F, Jafarzadeh S, Mohammadi R, Rouhi M and Garavand F, 2022. Application of Red Cabbage Anthocyanins as pH-Sensitive Pigments in Smart Food Packaging and Sensors. *Polymers*, 14(8).
- Aghaali Z, Hoshino Y, Monfared SR and Moieni A, 2019. Regulation of dedifferentiation and differentiation in different explants of *Papaver rhoeas* L. by one-step culture. *Scientia Horticulturae*, 246, 366–370.
- Alizadeh-Sani M, Tavassoli M, McClements DJ and Hamishehkar H, 2021. Multifunctional halochromic packaging materials: Saffron petal anthocyanin loaded-chitosan nanofiber/methyl cellulose matrices. *Food Hydrocolloids*, 111, 106237.
- Alizadeh Sani M, Tavassoli M, Mohammadian E, Ehsani A, Khaniki GJ, Priyadarshi R and Rhim JW, 2021. pH-responsive color indicator films based on methylcellulose/chitosan nanofiber and barberry anthocyanins for real-time monitoring of meat freshness. *International Journal of Biological Macromolecules*, 166, 741–750.
- Alizadeh M, Tavassoli M, Hamishehkar H and Julian D, (2021). Carbohydrate-based films containing pH-sensitive red barberry anthocyanins : Application as biodegradable smart food packaging materials. *Carbohydrate Polymers*, 255, 117488.
- Alizadeh Sani M, Tavassoli M, Salim SA, Azizi-lalabadi M and McClements DJ, 2022. Development of green halochromic smart and active packaging materials: TiO₂ nanoparticle- and anthocyanin-loaded gelatin/ κ -carrageenan films. *Food Hydrocolloids*, 124, 107324.
- Amjadi S, Almasi H, Pourfathi B and Ranjbaryan S, 2021. Gelatin Films Activated by Cinnamon Essential Oil and Reinforced with 1D, 2D and 3D Nanomaterials: Physical and Release Controlling Properties. *Journal of Polymers and the Environment*, 29(9), 3068-3078.
- Amjadi S, Emaminia S, Heyat Davudian S, Pourmohammad S, Hamishehkar H and Roufegarinejad L, 2019. Preparation and characterization of gelatin-based nanocomposite containing chitosan nanofiber and ZnO nanoparticles. *Carbohydrate Polymers*, 216, 376–384.
- Amjadi S, Nazari M, Alizadeh SA and Hamishehkar H, 2020. Multifunctional betanin nanoliposomes-incorporated gelatin/chitosan nanofiber/ZnO nanoparticles nanocomposite film for fresh beef preservation. *Meat Science*, 167, 108161.
- Chen G and Liu B, 2016. Cellulose sulfate based film with slow-release antimicrobial properties prepared by incorporation of mustard essential oil and β -cyclodextrin. *Food Hydrocolloids*, 55, 100–107.
- Dong H, Ling Z, Zhang X, Zhang X, Ramaswamy S and Xu F, 2020. Smart colorimetric sensing films with high mechanical strength and hydrophobic properties for visual monitoring of shrimp and pork freshness. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 309, 127752.
- Ebrahimi Tirtashi F, Moradi M, Tajik H, Forough M, Ezati P and Kuswandi B, 2019. Cellulose/chitosan pH-responsive indicator incorporated with carrot anthocyanins for intelligent food packaging. *International Journal of Biological Macromolecules*, 136, 920–926.
- Ezati P, Bang YJ and Rhim JW, 2021. Preparation of a shikonin-based pH-sensitive color indicator for monitoring the freshness of fish and pork. *Food Chemistry*, 337, 127995.
- Ezati P, Tajik H, Moradi M and Molaei R, 2019. Intelligent pH-sensitive indicator based on starch-cellulose and alizarin dye to track freshness of rainbow trout fillet. *International Journal of Biological Macromolecules*, 132, 157–165.
- Gasti T, Dixit S, D'souza OJ, Hiremani VD, Vootla SK, Masti SP, Chougale RB and Malabadi RB, 2021. Smart biodegradable films based on chitosan/methylcellulose containing *Phyllanthus reticulatus* anthocyanin for monitoring the freshness of fish fillet. *International Journal of Biological Macromolecules*, 187, 451–461.
- Grauso L, De Falco B, Motti R and Lanzotti V, 2021. Corn poppy, *Papaver rhoeas* L.: a critical review of its botany, phytochemistry and pharmacology. *Phytochemistry Reviews*, 20(1), 227–248.
- Guo Z, Zuo H, Ling H, Yu Q, Gou Q & Yang L. (2022). A novel colorimetric indicator film based on watermelon peel pectin and anthocyanins from purple cabbage for monitoring mutton freshness. *Food Chemistry*, 383, 131915. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.131915>
- Hashim SBH, Elrasheid Tahir HE, Liu L, Zhang J, Zhai X, Ali Mahdi A, Nureldin Awad F, Hassan MM, Xiaobo, Z and Jiyong S, 2022. Intelligent colorimetric pH sensing packaging films based on sugarcane wax/agar integrated with butterfly pea flower extract for optical tracking of shrimp freshness. *Food Chemistry*, 373, 131514.

- Hashim SBH, Tahir HE, Lui L, Zhang J, Zhai X, Mahdi AA, Ibrahim NA, Mahunu GK, Hassan MM, Xiaobo Z and Jiyong S, 2023. Smart films of carbohydrate-based/sunflower wax/purple Chinese cabbage anthocyanins: A biomarker of chicken freshness. *Food Chemistry*, 399, 133824.
- Kang S, Wang H, Xia L, Chen M, Li L, Cheng J, Li X and Jiang S, 2020. Colorimetric film based on polyvinyl alcohol/okra mucilage polysaccharide incorporated with rose anthocyanins for shrimp freshness monitoring. *Carbohydrate Polymers*, 229, 115402.
- Katarzyna J, Karolina J, Patrycja K, Mateusz B and Izabela G, 2021. Mineral Composition and Antioxidant Potential in the Common Poppy (*Papaver rhoeas* L.) Petal Infusions. *Biological Trace Element Research*, 199(1), 371–381.
- Kim HJ, Roy S and Rhim JW, 2022. Gelatin/agar-based color-indicator film integrated with *Clitoria ternatea* flower anthocyanin and zinc oxide nanoparticles for monitoring freshness of shrimp. *Food Hydrocolloids*, 124, 107294.
- Marsoul A, Ijjaali M, Oumous I, Bennani B and Boukir A, 2020. Determination of polyphenol contents in *Papaver rhoeas* L. flowers extracts (soxhlet, maceration), antioxidant and antibacterial evaluation. *Materials Today: Proceedings*, 31, S183–S189.
- Moradi M, Tajik H, Almasi H, Forough M and Ezati P, 2019. A novel pH-sensing indicator based on bacterial cellulose nanofibers and black carrot anthocyanins for monitoring fish freshness. *Carbohydrate Polymers*, 222, 115030.
- Peng S, Wei H, Zhan S, Yang W, Lou Q, Deng S, and Huang T. 2022. Spoilage mechanism and preservation technologies on the quality of shrimp: An overview. *Trends in Food Science & Technology*.
- Pires J, Paula CD, Souza VGL, Fernando AL and Isabel C, (2021). Understanding the Barrier and Mechanical Behavior of Different Nanofillers in Chitosan Films for Food Packaging. *Polymers*, 13, 1–25721.
- Rangaraj VM, Devaraju S, Rambabu K, Banat F and Mittal V, 2022. Silver-sepiolite (Ag-Sep) hybrid reinforced active gelatin/date waste extract (DSWE) blend composite films for food packaging application. *Food Chemistry*, 369, 130983.
- Roy S and Rhim JW, 2021. Gelatin/agar-based functional film integrated with Pickering emulsion of clove essential oil stabilized with nanocellulose for active packaging applications. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 627, 127220.
- Sani MA, Tavassoli M, Hamishehkar H and McClements DJ, 2021. Carbohydrate-based films containing pH-sensitive red barberry anthocyanins: Application as biodegradable smart food packaging materials. *Carbohydrate Polymers*, 255, 117488.
- Shahsavna Tabrizi A, Ataye Salehi E and Sheikholeslami Z, 2020. The effect of activated soy flour on the physicochemical, textural and sensory properties of pan bread, *Food Research Journal*, 30 (3), 89-105
- Tavassoli M, Sani MA, Khezerlou A, Ehsani A and McClements DJ, 2021. Multifunctional nanocomposite active packaging materials: Immobilization of quercetin, lactoferrin, and chitosan nanofiber particles in gelatin films. *Food Hydrocolloids*, 118, 106747.
- Wang F, Wang R, Pan Y, Du M, Zhao Y and Liu H, 2022. Gelatin/Chitosan Films Incorporated with Curcumin Based on Photodynamic Inactivation Technology for Antibacterial Food Packaging. *Polymers*, 14(8), 1600.
- Wang H, Ding F, Ma L and Zhang Y, 2021. Edible films from chitosan-gelatin: Physical properties and food packaging application. *Food Bioscience*, 40, 100871.
- Wang P, Wang Y, Hong P and Zhou C, 2021. Di-aldehyde starch crystal: A novel bio-crosslinker for strengthening the structure and physio-chemical properties of gelatin-based films. *Food Bioscience*, 43, 101308.
- Wang R, Li Z, Shi J, Holmes M, Wang X, Zhang J, Zhai X, Huang X and Zou X, 2021. Color 3D printing of pulped yam utilizing a natural pH sensitive pigment. *Additive Manufacturing*, 46, 102062.
- Wells N, Yusufu D and Mills A, 2019. Colourimetric plastic film indicator for the detection of the volatile basic nitrogen compounds associated with fish spoilage. *Talanta*, 194, 830–836.
- Wu Y, Tang P, Quan S, Zhang H, Wang K and Liu J, 2021. Preparation, characterization and application of smart packaging films based on locust bean gum/polyvinyl alcohol blend and betacyanins from cockscomb (*Celosia cristata* L.) flower. *International Journal of Biological Macromolecules*, 191, 679–688.
- Xu J, Yang L, Nie Y, Yang M, Wu W, Wang Z, Wang X and Zhong J, 2022. Effect of transglutaminase crosslinking on the structural, physicochemical, functional, and emulsion stabilization properties of three types of gelatins. *LWT*, 163, 113543.
- Yun D, He Y, Zhu H, Hui Y, Li C, Chen D and Liu J, 2022. Smart packaging films based on locust bean gum, polyvinyl alcohol, the crude extract of *Loropetalum chinense* var. *rubrum* petals and its purified fractions. *International Journal of Biological Macromolecules*, 205, 141–153.
- Zhang A, Han Y and Zhou Z, 2023. Characterization of citric acid crosslinked chitosan/gelatin composite film with enterocin CHQS and red cabbage pigment. *Food Hydrocolloids*, 135, 108144.

- Zhao L, Liu Y, Zhao L and Wang Y, 2022. Anthocyanin-based pH-sensitive smart packaging films for monitoring food freshness. *Journal of Agriculture and Food Research*, 9, 100340.
- Zheng L, Liu L, Yu J and Shao P, 2022. Novel trends and applications of natural pH-responsive indicator film in food packaging for improved quality monitoring. *Food Control*, 134, 108769.
- Zheng Y, Li X, Huang Y, Li H, Chen L and Liu X, 2022. Two colorimetric films based on chitin whiskers and sodium alginate/gelatin incorporated with anthocyanins for monitoring food freshness. *Food Hydrocolloids*, 127, 107517.