



مقاله علمی-پژوهشی

طراحی شناساگر هوشمند حساس به پی‌اچ تهیه شده از ژلاتین-کاپاکاراگینان-آنتوسیانین لاله عباسی و زرشک به منظور بررسی تازگی/فساد گوشت بره

محمد هادی مرادیان^۱، رضا عابدی فیروزجاه^۲، شمیمه عظیمی سلیم^۲، فاطمه ملایی^۲، آروین افرا^۲، زهرا سرلک^۲، مریم عزیزی لعل آبادی^{۲*}

۱. کمیته تحقیقات دانشجویی، دانشگاه علوم پزشکی کرمانشاه، کرمانشاه، ایران

۲. گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده علوم تغذیه و صنایع غذایی، دانشگاه علوم پزشکی کرمانشاه، کرمانشاه، ایران.

اطلاعات مقاله	چکیده
تاریخ های مقاله : تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۲/۱۶ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۴/۲	امروزه استفاده از شناساگرهای هوشمند در بسته بندی مواد غذایی به منظور نظارت و تشخیص کیفیت غذا با تجزیه و تحلیل داده‌های کیفی و تغییر رنگ فیلم‌های بسته بندی با توجه به وضعیت غذا، در حال افزایش است. در این تحقیق مقایسه ای، فیلم های هالوکرومیک بسته‌بندی هوشمند ژلاتین و کاپاکاراگینان با افزودن درصد‌های مختلف عصاره گل لاله‌عباسی (۶، ۱۲ و ۲۴ درصد) و عصاره زرشک (۶، ۱۲ و ۲۴ درصد) طراحی و تهیه شد. با استفاده از تصاویر SEM و طیف‌سنجی FTIR، مشخص شد که هر دو فیلم تهیه شده با عصاره زرشک و گل لاله‌عباسی به‌طور کامل در ماتریس پلیمری ژلاتین و کاپاکاراگینان، با برهمکنش‌های مولکولی قابل توجهی مانند اتصالات هیدروژن و الکترواستاتیک توزیع شده‌اند. با این حال، فیلم های تهیه شده با عصاره گل لاله‌عباسی سطوح غیرمنظم و خشن تری نسبت به فیلم‌های تهیه شده با عصاره زرشک نشان دادند. هر دو فیلم تهیه شده با عصاره زرشک و گل لاله‌عباسی دارای فعالیت آنتی‌اکسیدانی و حساسیت به پی‌اچ و آمونیاک مناسبی هستند. فیلم های تهیه شده با عصاره زرشک فعالیت آنتی‌اکسیدانی بالاتر و حساسیت بیشتری نسبت به تغییرات پی‌اچ داشتند. فیلم‌های تهیه شده ژلاتین و کاپاکاراگینان همراه با عصاره زرشک و گل لاله‌عباسی به طور موثری تازگی گوشت بره ذخیره شده در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد را به موازات تجمع گازهای آمونیاک در فضای بالای بسته‌های نگهداری و تغییرات پی‌اچ نشان دادند. یافته‌های ما نشان می‌دهد که ویژگی‌های ساختاری، فیزیکی و عملکردی فیلم‌های ژلاتین و کاپاکاراگینان حاوی عصاره‌های حساس به پی‌اچ بسیار تحت تاثیر نوع و غلظت عصاره‌ها قرار دارند.
کلمات کلیدی: بسته بندی هوشمند، فیلم‌های حساس به پی‌اچ، آنتوسیانین، نشانگر رنگ سنجی، شاخص تازگی	
DOI:10.22034/FSCT.21.156.185.	
* مسئول مکاتبات: maryamaazizi766@gmail.com maryam.azizi@kums.ac.ir	

۱- مقدمه

حفاظت از محصولات غذایی به منظور افزایش مدت زمان نگهداری و حفظ کامل آن‌ها از خطر عوامل فساد درونی و بیرونی مانند میکروارگانیسم‌ها و همچنین اکسید شدن مواد غذایی از زمان تولید تا مصرف امری بسیار مهم و ضروری می‌باشد که می‌تواند از طرق مختلف مانند بسته‌بندی مواد غذایی میسر گردد [۱]. با توجه به تغییر در سبک زندگی افراد، تقاضای آن‌ها جهت استفاده از محصولات باکیفیت، تازه، با حداقل فرآوری و آماده مصرف با ماندگاری طولانی مدت، افزایش یافته است. لذا متعاقباً راهکارهای متفاوتی مانند کاربرد بسته‌بندی نوین (فعال و هوشمند) مورد توجه بسیاری از محققان قرار گرفته است [۲، ۳]. در واقع، این نوع بسته‌بندی‌ها با عملکرد بهتر در پاسخ به نیاز مصرف‌کنندگان و افزایش ماندگاری محصولات مورد استفاده‌ی آن‌ها توسعه یافته‌اند. تغییرات در ایمنی و کیفیت محصولات غذایی می‌تواند در طول تولید، ذخیره‌سازی، توزیع، حمل و نقل و مصرف رخ دهد. مصرف‌کنندگان معمولاً با استفاده از تاریخ مصرف چاپ‌شده روی بسته‌بندی، تازگی و کیفیت غذاهای بسته‌بندی شده را تشخیص و ارزیابی می‌کنند [۴، ۵].

با این حال، تنها تاریخ مصرف، شاخص کافی جهت ارزیابی تازگی و کیفیت برخی از محصولات غذایی مانند میوه‌ها و سبزیجات تازه محسوب نمی‌شود. رنگ به عنوان یک شاخص طبیعی سنجش کیفیت غذا و نیز به عنوان یکی از عوامل کلیدی جهت شناسایی و پایش تغییرات فیزیکوشیمیایی محصولات غذایی در نظر گرفته می‌شود. در این راستا، استفاده از سنسورها و برچسب‌های رنگی هوشمند، سیستمی نوآورانه جهت تشخیص، ردیابی، حفاظت و اطمینان برای تولید محصولاتی ایمن و با کیفیت محسوب می‌شود. این نوآوری منجر به پیدایش بسته‌بندی‌های نسل جدید با عنوان هوشمند^۱ و فعال^۲ گردیده که می‌توان با تولید کیت‌ها یا برچسب‌های حساس به تغییرات ماده غذایی (پی‌اچ، گازهای فرار و ...) و الحاق کردن آن به بسته‌بندی، گام بلندی در تولید انواع سنسور و یا

شناساگرهای هوشمند برداشت. امروزه به دلیل نگرانی در مورد مسائل زیست محیطی مربوط به دفع و تجمع پلاستیک‌های غیرقابل تجزیه و نیز کاهش منابع نفتی، محققان و مصرف‌کنندگان توجه ویژه‌ای به استفاده از ترکیبات قابل تجزیه و زیست‌تخریب‌پذیر در محیط دارند. به این ترتیب، تلاش‌های گسترده‌ای جهت بررسی و استفاده از پلیمرهای قابل تجزیه بر پایه ترکیبات طبیعی از منابع تجدیدپذیر انجام شده است [۶، ۷]. به همین دلیل در سال‌های اخیر توجه دانشمندان به استفاده از پلیمرهای طبیعی برای تولید سیستم-های بسته‌بندی با عملکرد مکانیکی بالا و همچنین خواص فیزیکی و عملکردی مناسب معطوف شده است [۸]. پروتئین‌ها و پلی‌ساکاریدها پلیمرهای اصلی هستند که به طور گسترده برای تولید فیلم‌ها و بسته‌های پایدار استفاده می‌شوند [۹].

ژلاتین پروتئینی است که از آبکافت کلاژن به دست می‌آید و به دلیل خواص منحصربه‌فرد آن مانند فعالیت سطحی، قابلیت تشکیل ژل، کنترل گرانش و تشکیل فیلم، یکی از مهم‌ترین پلیمرهای طبیعی است که در صنایع مختلف از جمله صنایع غذایی کاربرد دارد. ژلاتین فیلم‌هایی با ویژگی مکانیکی خوب و حفاظتی مناسب در برابر اکسیژن و بو در رطوبت نسبی کم و متوسط ایجاد می‌کند اما به دلیل آب‌دوست بودن این پلیمر، فیلم‌های تهیه‌شده از آن نسبت به رطوبت نفوذپذیر است. از سویی دیگر، مطالعات نشان داده‌اند که فیلم‌های خوراکی تولید شده با ترکیب چند بیوپلیمر دارای خواص بهتری نسبت به فیلم‌های ساخته شده از یک جزء هستند. در واقع، می‌توان با استفاده از دیگر پلیمرهای زیست‌تخریب‌پذیر، کامپوزیت‌هایی با خواص فیزیکوشیمیایی، ساختاری و عملکردی مناسب ایجاد کرد. بر همین اساس، معمولاً نشانگر و فیلم‌های مرکب و نیمه‌سنتزی، با عملکرد تکنولوژیکی و ویژگی‌های بیولوژیکی بهبودیافته، با استفاده از دو یا چند پلیمر طبیعی یا مصنوعی ساخته می‌شوند [۱۰، ۱۱]. از جمله این ترکیبات مناسب با

ترکیب رنگی حساس به تغییرات کیفی مواد غذایی و همچنین دارای خاصیت آنتی‌اکسیدانی مناسب جهت کاربر در صنایع بسته‌بندی غذایی هستند. به طور کلی از فیلم‌های هوشمند به عنوان یک شاخص بالقوه‌ی تازگی برای بسیاری از غذاهای فاسدشدنی مانند غذاهای دریایی و غذاهای گوشتی استفاده می‌شود، زیرا تغییرات رنگی که در اثر فساد مواد غذایی در این فیلم‌ها ایجاد می‌شود روشی قابل اطمینان جهت تشخیص میزان خرابی مواد غذایی در طول ذخیره‌سازی است [۱، ۱۷، ۱۸]. مطالعات کمی بر استفاده از رنگدانه استخراج شده از گل لاله‌عباسی و زرشک صورت پذیرفته است. همچنین پژوهشی در راستای مقایسه آنتوسیانین لاله‌عباسی و زرشک در بسته‌بندی هوشمند مواد غذایی متمرکز نشده است. بنابراین هدف از این پژوهش تولید و بهینه‌یابی ویژگی‌های عملکردی کامپوزیت ژلاتین/کاپاکاراگینان حاوی شناساگرهای هوشمند حساس به پی‌اچ رنگدانه آنتوسیانین لاله‌عباسی و زرشک در نظارت بر تازگی/فساد گوشت بره تازه می‌باشد.

۲- مواد و روش

۲-۱- مواد

پودرهای کاپاکاراگینان (وزن مولکولی ۵۶۰-۴۰۰ کیلودالتون) و ژلاتین (وزن مولکولی ۸۰ کیلودالتون، قدرت ژل ۲۰۰ گرم بلوم، رطوبت کمتر از ۱۲ گرم در ۱۰۰ گرم و محتوای خاکستر کمتر از ۲ گرم در ۱۰۰ گرم) از کمپانی سیگما خریداری شد. اتانول، گلیسرول، اسیدکلریدریک (HCl) و سدیم‌هیدروکسید (NaOH) از کمپانی مرک آلمان خریداری شد. آب مورد استفاده در آزمایش از سیستم تصفیه Millipore می‌باشد. همه مواد شیمیایی دارای درجه آنالیتیکال بوده و گوشت بره نیز از بازار محلی کرمانشاه خریداری شد.

۲-۲- استخراج آنتوسیانین‌ها از گلبرگ لاله‌عباسی و زرشک

برای استخراج آنتوسیانین از روش پیشنهادی علیزاده‌ثانی و همکاران (۲۰۱۹) استفاده شد. به‌طور خلاصه به ۱۰ گرم

پتانسیل بالا برای تشکیل چنین کامپوزیت‌هایی می‌توان به کاراگینان اشاره کرد. کاراگینان‌ها خانواده‌ای از پلی‌ساکاریدهای سولفات‌ه خطی طبیعی هستند که از جلبک‌های دریایی خوراکی قرمز استخراج می‌شوند. کاراگینان‌ها به دلیل تجزیه‌پذیری زیستی، شفافیت و انعطاف‌پذیری بالا، کاربرد فراگیر و قابل قبولی در محصولات غذایی دارند [۱۲]. از طرفی این ترکیب، فیلمی با استحکام مناسب ایجاد می‌کند و فیلم حاصل از آن شفاف، بی‌بو، بی‌مزه و مقاوم است اما نفوذپذیری بالایی نسبت به بخار آب دارد [۱۳].

لاله‌عباسی (*Mirabilis jalapa*)، رایج‌ترین گونه زینتی گیاه *Mirabilis* است که در طیف‌های رنگی مختلف از جمله زرد، تا بنفش و نارنجی موجود است. *Mirabilis jalapa* سال‌هاست که برای اهداف دارویی و زینتی در بسیاری از مناطق گرمسیری و همچنین در اروپا، سواحل مدیترانه و ایران کشت می‌شود [۱۴] این گیاه فعالیت ضد میکروبی، ضد ویروسی و آنتی‌اکسیدانی مناسبی داشته و همچنین تجزیه و تحلیل شیمیایی گونه‌های مختلف، وجود آلکالوئیدها، فلاونوئیدها، فنل‌ها، استروئیدها، تری‌ترین‌ها، گلیکوزیدها، تانن‌ها، ساپونین‌ها، لیگنین‌ها و چندین ترکیب دیگر را در این گیاه به اثبات رسانده است [۱۵]. زرشک (*Berberis vulgaris*) گیاهی رایج در ایران و مناطقی مانند شمال آمریکا و اروپای مرکزی و جنوبی و جنوب آسیا است که از آن به عنوان گیاه دارویی و از میوه آن به عنوان افزودنی غذایی استفاده می‌شود. حدود ۲۲ ترکیب آلکالوئیدی در ریشه، برگ و میوه زرشک، از جمله پروتوبربرین، بربرامین، تتراندین، کندوکورین و پالماتین شناسایی شده است. میوه‌های این گیاه حاوی مقادیر قابل توجهی ترکیبات فنلی (شامل رنگدانه‌های آنتوسیانین و کاروتنوئید)، پکتین، اولئوسین، ویتامین C، رزین و تانن هستند. فعالیت آنتی‌اکسیدانی زرشک به حدی است که بقای سلول‌های سرطانی را کاهش می‌دهد و این خاصیت احتمالاً به دلیل ترکیبات فنلی و فلاونول‌های موجود در گیاه زرشک است [۱۶]. آنتوسیانین‌های استخراج شده از زرشک و گل لاله‌عباسی، دو منبع منحصربه‌فرد به عنوان

ترکیب و به مدت ۲ ساعت تا رسیدن به محلولی یکنواخت همزده شد. آنتوسیانین‌های گل لاله‌عباسی و زرشک به صورت جداگانه و با غلظت‌های ۶، ۱۲ و ۲۴ درصد حجمی/حجمی پلیمر با همزدن در دمای اتاق برای ۱۰ دقیقه به محلول‌ها اضافه شدند. محلول‌ها برای حذف حباب‌ها به مدت ۳ دقیقه اولتراسونیک شدند و سپس محلول‌های نهایی تشکیل فیلم روی صفحات شیشه‌ای با قطر ۸ سانتی‌متر پخش شده و در دمای محیط به مدت ۷۲ ساعت خشک شدند. فیلم‌های خشک‌شده از صفحات جدا و تا زمان انجام آزمایش‌ها در داخل پلاستیک‌های با درب پرس‌شده که هیچ‌گونه تبادل هوایی با بیرون نداشت در یخچال نگهداری شدند [۲۰].

۲-۵- خصوصیات فیزیکوشیمیایی نمونه‌ها

۲-۵-۱- ضخامت

ضخامت فیلم‌ها^۳ با استفاده از یک میکرومتر دیجیتال دستی (Mitutoyo Co, Tokyo, Japan) در شش نقطه‌ی تصادفی، با دقت ۰/۰۰۱ میلی‌متر ارزیابی شد.

۲-۵-۲- میزان رطوبت

برای ارزیابی میزان رطوبت (MC)^۴، نمونه‌ها به قطعات کوچک (۲۰ میلی‌متر × ۲۰ میلی‌متر) برش داده شدند و قبل از خشک‌شدن در دمای ۲۵ درجه‌ی سانتی‌گراد وزن شدند، سپس به مدت ۶ ساعت در آون با دمای ۱۰۵ درجه‌ی سانتی‌گراد خشک و مجدداً وزن شدند، در نهایت درصد کاهش وزن نمونه با توجه به وزن اولیه بر اساس فرمول زیر محاسبه شد:

$$\% \text{ رطوبت} = \frac{\text{وزن فیلم‌ها بعد از رسیدن رطوبت نسبی } 98\% - \text{وزن اولیه فیلم‌ها}}{\text{وزن اولیه فیلم‌ها}}$$

۲-۵-۳- حلالیت در آب

حلالیت در آب (WS)^۵ بر اساس کاهش وزن نمونه‌ها پس از انحلال در آب مقطر ارزیابی شد. در این راستا، ابتدا نمونه‌ها در آون به مدت ۲۴ ساعت در دمای

گلبرگ خشک‌شده و الک‌شده گل لاله‌عباسی در ارلن ۲۰۰ میلی‌لیتر، حلال آب و الکل با نسبت ۶۰:۴۰ اضافه شد. ارلن به مدت ۲۴ ساعت روی همزن مغناطیسی با دمای ۲۵ درجه‌ی سانتی‌گراد قرار داده شد. اطراف ارلن با فویل آلومینیومی پوشیده شد تا از اثر مخرب نور جلوگیری شود. سپس، در روز بعد نمونه‌ها به کمک کاغذ واتمن، صاف و مایع زیرین پس از جمع‌آوری به کمک دستگاه سانتریفیوژ به مدت ۲۰ دقیقه سانتریفیوژ شد. مایع بالایی جدا و با استفاده از دستگاه تبخیرکننده گردان (روتاری) حلال آن جدا شد. همچنین آنتوسیانین زرشک نیز بعد از خشک‌شدن، الک‌کردن و پودرشدن دانه‌های زرشک با نسبت ۸۰:۲۰ با الکل و آب در یک ارلن پوشیده شده با فویل آلومینیومی مخلوط و به مدت ۲۴ ساعت روی همزن مغناطیسی به خوبی مخلوط شد. سپس، مشابه روش استخراج رنگ از گل لاله‌عباسی، باقی‌مراحل بر رنگدانه زرشک نیز اعمال شد [۱۵].

۲-۳- حساسیت به پی‌اچ رنگدانه‌های آنتوسیانین گل لاله‌عباسی و زرشک

با استفاده از محلول‌های HCl و NaOH، پی‌اچ محلول ابتدا بین ۱۳-۲ تنظیم شد. سپس رنگدانه‌های تغلیظ‌شده‌ی لاله‌عباسی و زرشک در محلول‌های اسیدی یا قلیایی آماده‌شده (۱۳-۲ پی‌اچ) غوطه‌ور شدند و تغییرات رنگ عصاره‌ها توسط دوربین دیجیتال ثبت شد [۱۹].

۲-۴- آماده‌سازی فیلم:

برای تولید فیلم‌های هوشمند حاوی عصاره زرشک و گل لاله‌عباسی، بسترهای تشکیل‌دهنده فیلم ابتدا با روش قالب‌ریزی مطابق با تکنیک روی و همکاران (۲۰۲۰) با کمی تغییر تهیه شد. فیلم‌ها از ۲ درصد وزنی کاپا کاراگینان و ۳ درصد وزنی ژلاتین تهیه شد که هرکدام به طور جداگانه با آب مقطر حاوی ۳۰ درصد وزنی پلیمر گلیسرول با هم‌زدن شدید در دمای ۱۰۰ درجه‌ی سانتی‌گراد به مدت ۳۰ دقیقه آماده شدند. سپس دو محلول با نسبت‌های ۵۰:۵۰ با یکدیگر

5 -Water solubility

3- Film thickness

4 -Moisture content

۲۵ میلی‌متر) برش داده شدند و بین دستگیره‌های دستگاه آزمایش قرار گرفتند. طول گیج پایه روی ۵۰ میلی‌متر و سرعت ۵۰ میلی‌متر بر دقیقه تنظیم شد. استحکام کششی (TS)^۷ برحسب مگاپاسکال و ازدیاد طول در هنگام شکست (EAB)^۸ برحسب درصد به صورت زیر مورد بررسی قرار گرفتند:

$$\text{استحکام کششی} = \frac{\text{بیشینه نیروی وارده به فیلم}}{\text{عرض فیلم} \times \text{ضخامت}}$$

$$\text{درصد افزایش طول} = \frac{\text{تغییر طول نمونه}}{\text{طول اولیه}} \times 100$$

$$\text{تغییرات تنش برشی نمونه} = \frac{\text{تغییرات تنش کرنش نمونه}}{\text{مدول یانگ}}$$

۲-۷- شفافیت فیلم‌ها^۹

نوارهای فیلم (۳۰ میلی‌متر × ۱۲ میلی‌متر) مستقیماً در یک سل آزمایش قرار گرفتند و عبور نور (T%) نمونه‌ها با استفاده از یک اسپکتروفتومتر مرئی-UV (UNICO 2100, USA) با طول موج‌های ۸۰۰-۲۰۰ نانومتر در دمای اتاق ثبت شد. برای هر نمونه، ضخامت قبل از اسکن محاسبه شد و مقادیر شفافیت نمونه‌ها نیز با بررسی میزان عبور نور (درصد) در طول موج ۶۰۰ نانومتر (T600) به صورت معادله زیر تعیین شد [۲۱]:

$$\text{اندیس شفافیت فیلم‌ها} = -\frac{\text{Log (میزان عبور نور در 600 نانومتر)}}{\text{ضخامت فیلم‌ها}}$$

۲-۸- مشخصات ساختاری و مورفولوژی نمونه‌ها

برای مشخص شدن ریزساختار نمونه‌های فیلم تهیه شده از میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) (Quanta 10, USA) از طریق مشاهده مورفولوژی سطحی و مقطعی نمونه‌های حاوی غلظت‌های مختلف عصاره زرشک و گل لاله‌عباسی استفاده شد. قبل از اسکن، تیمارها با لایه نازکی

۱۰۵ درجه‌ی سانتیگراد خشک و سپس توزین شدند. پس از آن نمونه‌ها در ۱۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر به مدت ۲۴ ساعت در دمای اتاق غوطه‌ور شدند. این سیستم با کاغذ صافی (واتمن شماره ۱) برای جمع‌آوری نمونه حل نشده و باقیمانده، صاف شد. در نهایت، نمونه‌های باقی‌مانده در کاغذ صافی پس از خشک شدن در دمای ۱۰۵ درجه‌ی سانتیگراد در طول ۲۴ ساعت مجدداً وزن شدند. در نهایت حلالیت نمونه‌ها در آب به صورت زیر تعیین شد:

$$\% \text{ حلالیت فیلم‌ها در آب} = \frac{\text{وزن خشک نهایی فیلم‌ها} - \text{وزن خشک اولیه فیلم‌ها}}{\text{وزن خشک اولیه فیلم‌ها}}$$

۲-۵-۴- نفوذپذیری بخار آب

نفوذپذیری بخار آب (WVP)^۶ نمونه‌ها با روش استاندارد ASTM E96-00 با تغییرات جزئی ارزیابی شد [۱۴]. نمونه‌های فیلم تهیه‌شده دقیقاً در بالای یک فنجان نفوذ شیشه‌ای شامل ۳ گرم از گرانول‌های CaCl₂ به‌عنوان یک ماده‌ی جاذب‌الرطوبه نصب شدند و سپس در یک خشک‌کننده شامل آب مقطر قرار گرفتند. تغییر وزن فنجان‌ها پس از زمان‌های بازه‌ای از پیش تعیین‌شده (دریک روز؛ هر ساعت برای ۶ ساعت، و چند روز؛ هر ۲۴ ساعت به مدت ۵ روز) ثبت شد. با ضرب کردن نرخ انتقال بخار در ضخامت فیلم و تقسیم آن بر اختلاف فشار بین رطوبت نسبی درون سل‌ها و رطوبت نسبی دسیکاتور، نفوذپذیری نسبت به بخار آب به دست می‌آید [۱۴]:

$$\text{نفوذپذیری به بخار آب} = \frac{\text{نرخ} \times \text{ضخامت}}{\text{اختلاف رطوبت نسبی (فشار)}}$$

۲-۶- ویژگی‌های مکانیکی

مقاومت مکانیکی نمونه‌ها توسط آنالایزر بافت (M350) (10CT, Testometric Co., England) تعیین شد. نمونه‌ها به قطعات مستطیلی شکل (۸۰ میلی‌متر ×

9- Film transparency
10- Scanning electron microscopy

6- Water vapor permeability
7- Tensile strength
8- Elongation at break

از طلا با ولتاژ شتاب دهنده ۱۰ کیلوولت به مدت ۱۲۰ ثانیه پوشانده شدند.

وضعیت گروه‌های شیمیایی خاص و ارتباط بین و درون مولکولی بین ترکیبات مختلف نمونه‌ها پس از اضافه کردن درصد‌های مختلف رنگدانه به نمونه‌های پلیمر، نسبت به نمونه شاهد، با استفاده از طیف‌سنج فروسرخ تبدیل فوریه (FTIR)^{۱۱} در محدوده فرکانس $4000-400 \text{ cm}^{-1}$ با استفاده از وضوح 4 cm^{-1} و میانگین ۳۲ اسکن در هر نمونه تجزیه و تحلیل شد.

$$\text{TVB} - \text{N} \left(\frac{\text{mg}}{100\text{g}} \right) = \frac{14 \times 100 \times \text{غلظت اسید هیدروکلریک} \times \text{حجم اسید هیدروکلریک اضافه شده}}{10}$$

۲-۱۰-۲- تعیین عملکرد فیلم‌ها

۲-۱۰-۲-۱- رفتار هالوکرومیک^{۱۴}

نمونه‌های فیلم حاوی ۲۴ درصد عصاره‌ی زرشک و گل لاله‌عباسی به صورت مربع‌های ۳۰ میلی‌متری بریده شدند و به مدت ۵ دقیقه در مجموعه‌ای از محلول‌های بافر (۱۳-۲ پی‌اچ) خیسانده شدند و تغییرات رنگ آن‌ها در پاسخ به پی‌اچ‌های مختلف توسط دوربین دیجیتال ثبت شد. همچنین نمونه‌های حاوی غلظت‌های مختلف عصاره با قرار دادن نمونه بالای محلول آبی آمونیاک (۰/۲ مول برلیتر) به مدت ۶۰ دقیقه در یک فنجان شیشه‌ای انجام شد. تغییرات رنگی فیلم‌ها با استفاده از دوربین دیجیتال در فاصله زمانی ۱۰ دقیقه ثبت شد.

۲-۱۰-۲-۲- فعالیت آنتی‌اکسیدانی^{۱۵}

فعالیت‌های آنتی‌اکسیدانی فیلم‌های تهیه شده با استفاده از روش انجام شده توسط وانگ و همکاران (۲۰۱۷) با مهار رادیکال آزاد ۲،۲-دی فنیل-۱-پیکریل هیدرازیل (DPPH) مورد ارزیابی قرار گرفت. محلول فیلم رقیق شده (۱ میلی‌لیتر) با ۳ میلی‌لیتر محلول اتانول DPPH (50 mg/L; Ruitaibio Company, Beijing, China) مخلوط شد. محلول تهیه شده، در دمای اتاق به مدت ۳۰ دقیقه در تاریکی انکوبه شد و جذب آن در طول موج ۵۱۷ نانومتر اندازه‌گیری شد. در نهایت درصد فعالیت مهار DPPH به شرح زیر تعیین شد [۲۴]:

بررسی خصوصیات کریستالی نمونه‌های آماده‌شده توسط الگوهای پراش اشعه ایکس (XRD)^{۱۲} انجام شده در محدوده $5-80^\circ$ و سرعت اسکن 4°min^{-1} در پراش‌سنج آزمایشگاهی هوشمند (Rigaku) تعیین شد [۲۲].

۲-۹- اندیکاتور نظارت بر تازگی/فساد گوشت بره

در این مطالعه از روش بیان شده توسط چی و همکاران (۲۰۲۰) برای نظارت بر تازگی گوشت بره استفاده شد. ابتدا گوشت بدون چربی گوسفند به ابعاد اسانتی مترمکعب بریده شد. نمونه فیلم (۱۰ میلی‌متر × ۱۰ میلی‌متر) بر روی سطح داخلی ظرف حاوی ۳۰ گرم گوشت بره در دمای ۲۵ درجه‌ی سانتیگراد ثابت شد. نمونه‌ها در انکوباتور در دمای ۲۵ درجه‌ی سانتیگراد قرار داده شد. مقدار کل نیتروژن فرار (TVB-N)^{۱۳} و مقادیر پی‌اچ گوشت بره هر ۶ ساعت با سه تکرار اندازه‌گیری شد.

برای تعیین محتوای TVB-N گوشت از روش کلدال استفاده شد. ابتدا ۱۰ گرم نمونه گوشت و ۲ گرم اکسیدمنیزیم به طور مساوی در ۳۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر پخش شد. سپس محلول در ۵۰ میلی‌لیتر اسیدبوریک رقیق شد و معرف متیل رد به آن اضافه شد و پس از آن به حجم ۱۵۰ میلی‌لیتر رسید. محلول با اسید هیدروکلریک (HCl) تیترا شد. در نهایت مقدار TVB-N نمونه با رابطه‌ی زیر محاسبه و به صورت

14- Halochromic behavior
15 -Antioxidant Activity

11- Fourier transform infrared spectroscopy
12- X-ray diffraction
13 -Total volatile nitrogen-base

دوربین دیجیتال در بازه‌ی زمانی مختلف (۰، ۷، ۱۴ و ۲۱ روز) ثبت شد.

۲-۱۳- تجزیه و تحلیل آماری

داده‌ها با نرم‌افزار آماری SPSS (نسخه ۲۳.۰، SPSS INC., USA, IL, Chicago) مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. همه‌ی آزمون‌ها با ۳ تکرار انجام شد و نتایج به عنوان میانگین \pm انحراف معیار ارائه شد. معنی‌داری میانگین‌ها با استفاده از روش دانکن با تجزیه واریانس یک طرفه (ANOVA) در سطح $p < 0.05$ تعیین شد.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- حساسیت به پی‌اچ

تغییر در خواص محصولات غذایی از جمله تغییر در کیفیت آن‌ها، ویژگی‌های بصری، ایمنی و فساد مواد غذایی اغلب باعث تغییر در سطح پی‌اچ آن‌ها می‌شود. از این رو، تجزیه و تحلیل تغییرات در پی‌اچ مواد غذایی می‌تواند به عنوان یک روش مفید برای ارزیابی تغییرات در این ویژگی‌های کیفی مهم عمل کند [۲۷]. در نتیجه، ما اثر تغییر پی‌اچ بر رنگ محلول‌های عصاره‌ی زرشک و گل لاله‌عباسی را بررسی کردیم. تغییرات رنگ وابسته به پی‌اچ محلول‌های عصاره‌ی زرشک و گل لاله‌عباسی در پی‌اچ مختلف (۲-۱۳)، در شکل ۱ گزارش شد. بر این اساس، عصاره‌ی زرشک در پی‌اچ ۲ رنگ قرمز (مربوط به فرم کاتیون فلاویلیوم) را نشان داد و به تدریج در پی‌اچ‌های مختلف تغییر رنگ مشاهده شد به گونه‌ای که در پی‌اچ ۱۳ رنگ عصاره به سبزی‌تیره (مربوط به فرم چالکون) تغییر پیدا کرد. به‌طور مشابه، عصاره‌ی گل لاله‌عباسی در پی‌اچ ۲ به رنگ صورتی (مربوط به اسید بتلامیک و باقی مانده‌های سیکلودوپا) و به تدریج با بالا رفتن پی‌اچ تغییر رنگ پیدا کرد به گونه‌ای که در پی‌اچ ۱۳ به رنگ زرد (مربوط به بتلامیک اسید، نئوتاسیانین/ثیونین و گلوکوزید سیکلودوپا) درآمد. به‌طور کلی عصاره گل

درصد فعالیت مهار رادیکال‌های آزاد DPPH

$$\text{جذب هریک از نمونه فیلم‌ها} - \text{جذب نمونه شاهد} \\ = \frac{\text{جذب نمونه شاهد}}{\text{جذب نمونه شاهد}} \times 100$$

۲-۱۱- خواص ضد میکروبی

۲-۱۱-۱- آزمون انتشار آگار^{۱۶}

به منظور بررسی تاثیر فیلم‌های تولید شده بر علیه میکروب‌های استافیلوکوکوس (ATCC 25923)، اشرشیا کلی (ATCC 25922) و باسیلوس سرئوس (ATCC 11778) از روش آزمون انتشار آگار استفاده شد. کدورت سوسپانسیون باکتریایی با استفاده از اسپکتروفتومتر مرئی-UV (UNICO 2100, USA) در طول موج ۶۲۵ نانومتر (تراکم سلول باکتری 10^8 CFU/mL) تعیین شد. سوسپانسیون باکتریایی استاندارد شده روی صفحات مولر-هیتون آگار^{۱۷} تلقیح و سپس قطعات فیلم‌های تولید شده و خشک شده به مساحت $3/14$ سانتی متر مربع بریده و روی آگار تلقیح شده قرار داده شدند. نمونه‌های آماده شده به مدت ۲۴ ساعت در دمای 37°C درجه‌ی سانتیگراد انکوبه و در نهایت منطقه مهار رشد^{۱۸} باکتری‌ها مورد بررسی قرار گرفت [۲۵].

۲-۱۲- زیست تخریب پذیری^{۱۹}

بررسی زیست تخریب پذیر بودن فیلم‌های تهیه شده از نظر کیفی با استفاده از روش ارائه شده توسط ریاز و همکاران در سال ۲۰۲۰ مورد ارزیابی قرار گرفت [۲۶]. ابتدا کمپوست گیاهی (خاک آزمایش شده) در یک سینی پلاستیکی ($30 \times 10 \times 8$ سانتی متر) ریخته شد و سپس فیلم‌های تهیه شده (25×25 میلی متر) به مدت ۲۱ روز در عمق حدود ۲ سانتی متری روی خاک دفن شدند. برای شبیه سازی شرایط محیطی، تیمارها دو بار در روز با آب لوله‌کشی در دمای محیط اسپری شدند و تغییرات ظاهری آن‌ها با استفاده از

این رابطه به سطح پی‌اچ بستگی دارد. مطالعات دیگر نیز تغییرات رنگ عصاره‌های مختلف از جمله عصاره‌ی گل محمدی [۲۸] و عصاره‌ی لبو [۲۹] در بافرهای مختلف با روندی مشابه را بررسی کرده اند.

لاله‌عباسی غنی از بتاسیانین در مقایسه با زرشک غنی از آنتوسیانین میزان پایداری رنگ بیشتری را در پی‌اچ‌های مختلف نشان دادند. به این ترتیب، می‌توان نتیجه گرفت که تغییرات رنگ به تغییرات در ساختار مولکولی عصاره‌هایی که سرشار از آنتوسیانین و بتاسیانین هستند، مرتبط است و

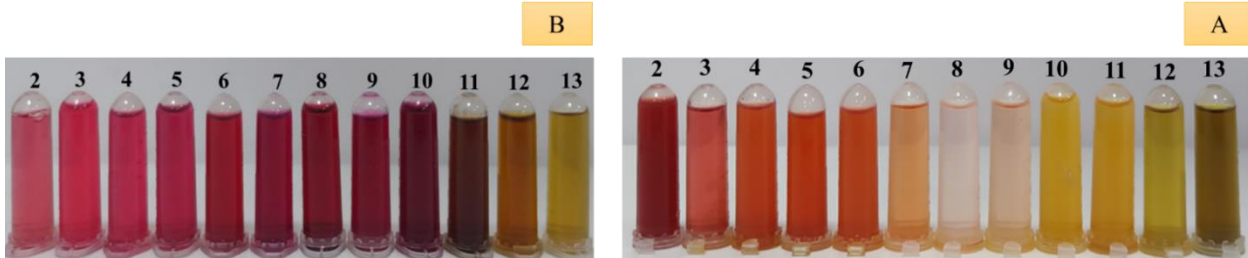


Fig 1 Color changes of (a) barberry extract and (b) Abbasi tulip flower extract in different buffer solutions (2-13 pH)

جدول ۱ اندازه‌گیری ویژگی‌های فیزیکی (ضخامت، نفوذپذیری به بخار آب، محتوای رطوبتی و حلالیت در آب) فیلم‌های تهیه شده‌ی ژلاتین و کاپاکاراگینان به همراه عصاره‌های گل لاله‌عباسی و زرشک را نشان می‌دهد.

خصوصیات فیزیکی فیلم‌های مبتنی بر ژلاتین و کاپاکاراگینان

Table 1 Physical and mechanical properties of gelatin and capcarrageenan films with different concentration of barberry extract and Abbasi tulip flower.

Characteristics	Films type						
	Blank	Abbasi tulip 6%	Abbasi tulip 12%	Abbasi tulip 24%	Barberry 6%	Barberry 12%	Barberry 24%
Physical properties							
Thickness (μm)	92 \pm 2 ^c	101 \pm 1 ^b	107 \pm 0 ^a	109 \pm 2 ^a	102 \pm 1 ^b	107 \pm 0 ^a	108 \pm 2 ^a
WVP ($\times 10^{-11}$ g. m/m ² . s. Pa)	1.91 \pm 0.01 ^a	1.28 \pm 0.05 ^e	1.35 \pm 0.05 ^d	1.38 \pm 0.05 ^d	1.45 \pm 0.03 ^c	1.46 \pm 0.02 ^c	1.59 \pm 0.01 ^b
Water solubility (%)	80.19 \pm 0.02 ^b	92.73 \pm 0.03 ^a	77.12 \pm 0.01 ^c	73.21 \pm 0.06 ^d	43.11 \pm 0.05 ^g	49.03 \pm 0.03 ^f	68.36 \pm 0.02 ^e
Moisture content (%)	16.03 \pm 0.05 ^f	19.23 \pm 0.03 ^c	23.12 \pm 0.04 ^b	28.16 \pm 0.02 ^a	17.91 \pm 0.04 ^d	16.04 \pm 0.03 ^e	8.67 \pm 0.01 ^g
Visual feature							
Transparency	15.68 \pm 0.05 ^a	10.5 \pm 0.03 ^c	10.04 \pm 0.04 ^e	9.46 \pm 0.03 ^f	10.33 \pm 0.01 ^d	10.66 \pm 0 ^b	8.69 \pm 0 ^g
Mechanical properties							
TS (MPa)	1.01 \pm 0 ^{de}	2.89 \pm 0 ^a	2.2 \pm 0.03 ^b	1.76 \pm 0.01 ^c	1.84 \pm 0.01 ^{bc}	1.17 \pm 0.01 ^d	0.73 \pm 0.55 ^e
YM (MPa)	1.70 \pm 0.01 ^a	3.85 \pm 0.01 ^b	5.11 \pm 0.02 ^c	4.71 \pm 0 ^d	2.02 \pm 0.01 ^e	5.26 \pm 0 ^f	2.19 \pm 0.03 ^g
EAB (%)	16.72 \pm 0 ^f	55.47 \pm 0 ^a	33.69 \pm 0.03 ^c	21.28 \pm 0.02 ^e	39.52 \pm 0.03 ^b	22.19 \pm 0.04 ^d	16.21 \pm 0.01 ^g
Functiona properties							
DPPH radical quenching(%)	4.2 \pm 0.01 ^g	6.3 \pm 0.02 ^f	10.38 \pm 0.03 ^e	31.39 \pm 0.02 ^d	87.97 \pm 0.03 ^c	89.18 \pm 0.04 ^b	90.2 \pm 0.03 ^a

TS: tensile strength, YM: young modulus, EAB: elongation at break, DPPH: 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl. The data are presented as mean \pm standard deviation. Any two means in the same row followed by the same letter are not significantly ($P > 0.05$) different from Duncan's multiple range tests.

از آنجا که ضخامت فیلم‌ها، نقش اساسی در تعیین خصوصیات مکانیکی و محافظتی فیلم‌های نهایی تولید شده

۳-۲-۱- ضخامت

دارند، بنابراین ما در ابتدا، ضخامت فیلم‌های مبتنی بر ژلاتین و کاپاکاراگینان را اندازه‌گیری کردیم [۱۳]. با توجه به نتایج ما در جدول ۱، ضخامت فیلم‌ها با اضافه کردن عصاره‌ها به نمونه‌های فیلم تهیه شده، به دلیل پر شدن حجم آزاد فیلم‌های تهیه شده و متعاقباً متراکم شدن آن پس از افزودن عصاره‌ها، به‌طور قابل‌توجهی افزایش یافت. روند مشابهی نیز در افزایش ضخامت با افزایش غلظت عصاره آنتوسیانین زعفران و زرشک [۳۰]، عصاره دانه‌ی گریپ‌فروت و کورکومین [۳۱] و آنتوسیانین کلم قرمز [۳۲] در فیلم‌های بسته‌بندی هوشمند مشاهده شد.

۳-۲-۲- حلالیت در آب

حلالیت در آب به یک ویژگی فیزیکی اشاره دارد که نشان می‌دهد فیلم‌های تهیه شده تا چه حد به مواد غذایی با رطوبت بالا حساس هستند. فیلم‌های بسته‌بندی ایده‌آل برای نگهداری محصولات غذایی با رطوبت متوسط یا زیاد، فیلم‌هایی هستند که حتی اگر در تماس مستقیم با آب قرار گیرند، مقاومت مناسبی در برابر انحلال در آب دارند [۳۳]. درصد‌های انحلال نمونه‌های تهیه شده در جدول ۱ خلاصه شده است. بر این اساس نمونه‌ی شاهد بدون رنگدانه حلالیت بالایی را نشان دادند که احتمالاً به دلیل ماهیت آبدوست پپتیدهای قطبی ژلاتین و کاپاکاراگینان است [۳۴، ۳۵]. با وجود ماهیت آبدوستی عصاره‌ها، مقدار حلالیت فیلم‌های تهیه شده با افزودن عصاره‌ی زرشک و گل لاله‌عباسی کاهش یافت. هرچند که این میزان کاهش در نمونه‌های تهیه شده با عصاره‌ی گل لاله‌عباسی کمتر از نمونه‌های تهیه شده با عصاره‌ی زرشک بود. با توجه به اینکه حلالیت فیلم‌ها تحت تأثیر تعداد گروه‌های هیدروکسیل موجود و اتصالات هیدروژنی بین پلیمرها در ساختار فیلم است، بنابراین، افزودن عصاره‌ی زرشک و گل لاله‌عباسی حلالیت فیلم‌ها را کاهش داده است که احتمالاً به دلیل افزایش نیروهای جاذبه بین مولکول‌های بیوپلیمر و کاهش جذب آب می‌باشد. مطالعات دیگر مانند تولید فیلم مبتنی بر ژلاتین تقویت شده توسط برهمکنش کووالانسی با صمغ گوار اکسید شده حاوی

عصاره چای سبز که توسط یآوری معروفی و همکاران در سال ۲۰۲۰ انجام شد [۳۶] و یا مطالعه‌ای که توسط روی و همکاران در سال ۲۰۲۰ در تهیه فیلم نشانگر رنگی مبتنی بر ژلاتین/کاراگینان ادغام شده با شیکونین انجام شد [۲۰]، روند حلالیت مشابهی را به دست آوردند. با این حال، نتایج ما نشان داد که حلالیت نمونه‌های تولید شده با اضافه کردن عصاره‌ی گل لاله‌عباسی کاهش یافت. در بین همه‌ی نمونه‌ها، فیلم‌های تولید شده با ۶ درصد عصاره‌ی گل لاله‌عباسی به دلیل ماهیت آبدوستی عصاره و همچنین کاهش پایداری فیلم‌های ژلاتین و کاپاکاراگینان، پس از افزودن عصاره‌ی گل لاله‌عباسی به نمونه‌ها، بالاترین درصد حلالیت در آب را نشان داد. با این وجود، با افزایش بیشتر درصد‌های عصاره‌ی گل لاله‌عباسی اضافه‌شده به نمونه‌ها (۱۲ و ۲۴ درصد)، حلالیت اندکی کاهش می‌یابد، که احتمالاً مربوط به کاهش آبدوستی فیلم‌ها به دلیل اثر پرکنندگی ناشی از افزودن عصاره‌ها می‌باشد [۳۷]. یافته‌های مشابهی پس از افزودن آنتوسیانین [۳۸] و عصاره‌ی چغندر [۳۹] در نمونه‌های فیلم گزارش شد.

۳-۲-۳- میزان رطوبت

ساختار شبکه‌ای پلیمرها در مواد بسته‌بندی عمدتاً حاوی منافذی است که باعث به دام افتادن مولکول‌های آب و سایر مواد می‌شود. از این رو، میزان رطوبت فیلم‌ها به‌ویژه در فیلم‌های بیوپلیمری آبدوست مانند ژلاتین و کاپاکاراگینان مهم است. زیرا این ویژگی از طریق اندازه‌گیری چگالی و آبگریزی لایه‌های پلیمری نشان می‌دهد که جذب و فعالیت آب می‌تواند تأثیر قابل‌توجهی بر ساختار و عملکرد فیلم‌ها داشته باشد [۱۳]. با توجه به نتایج که در جدول ۱ خلاصه شده است، با اضافه شدن عصاره‌ی زرشک، فیلم‌های تهیه شده با ۲۴ درصد زرشک کاهش قابل‌توجهی در میزان رطوبت از حدود ۱۶/۰۳ درصد به حدود ۸/۶۷ درصد نشان دادند. کاهش برهمکنش با مولکول‌های آب و در نتیجه کاهش جذب آب ممکن است به دلیل ایجاد اتصالات هیدروژنی بین عوامل آبدوست فیلم و آنتوسیانین‌ها باشد [۳۹]. با این حال، فیلم‌های حاوی ۶ و ۱۲ درصد عصاره‌ی زرشک هیچ

تغییر قابل توجهی در میزان رطوبت نشان ندادند، که به دلیل محتوای عصاره‌ی زرشک کمتر بود. از سوی دیگر، نتایج ما نشان داد که محتوای رطوبت فیلم‌های تهیه شده با عصاره‌ی گل لاله‌عباسی به طور قابل توجهی با اضافه شدن عصاره، افزایش می‌یابد. همانطور که در جدول ۱ گزارش شده، نمونه‌های فیلم ژلاتین و کاپاکاراگینان حاوی ۲۴ درصد عصاره‌ی گل لاله‌عباسی دارای حداکثر میزان رطوبت، به میزان ۲۸/۱۶ درصد است. احتمالاً به دلیل ادغام عصاره‌ی گل لاله‌عباسی با محلول فیلم پلیمری، انسجام و برهمکنش‌های بین مولکولی در شبکه‌ی پلیمری فیلم ژلاتین و کاپاکاراگینان، به دلیل وجود ترکیبات پلی‌فنلی ساختار بتاسیانین کاهش پیدا می‌کند. در نتیجه، ظرفیت نگهداری رطوبت در داخل شبکه فیلم مشابه تحقیقات قبلی انجام شده توسط بهاتیا و همکاران (۲۰۲۴) [۴۰] و پورجوهر و همکاران (۲۰۱۷) افزایش می‌یابد [۴۱].

۳-۲-۴- نفوذپذیری بخار آب

نفوذپذیری بخار آب در بسته‌بندی‌های ضد میکروبی و هوشمند تهیه شده از پلیمرهای زیستی، ویژگی بسیار مهمی به شمار می‌رود. زیرا این پارامتر نشان‌دهنده اثربخشی فیلم در جلوگیری از عبور آب یا سایر ترکیبات فرار آبدوست است. فیلم‌های تولیدی باید نفوذپذیری پایینی داشته باشند تا به طور موثری دوام ترکیبات غذایی را با به تأخیر انداختن فساد فیزیکوشیمیایی و میکروبیولوژیکی افزایش دهند. همانطور که در جدول ۱ گزارش شد، در بین تمام نمونه‌های تولید شده، فیلم ژلاتین و کاپاکاراگینان خالص بالاترین میزان نفوذپذیری بخار آب را، به دلیل وجود عوامل هیدروکسیل آبدوست در اجزای فیلم نشان داد که با نتایج هی و همکاران نیز مطابقت داشت [۳۵]. پس از افزودن عصاره‌ها به نمونه‌های فیلم، میزان نفوذپذیری به بخار آب کاهش یافت. کاهش نفوذپذیری بخار آب در نمونه‌ها پس از ادغام عصاره‌ها می‌تواند با افزایش ضخامت، جنبه‌های مختلف ریزساختارهای داخلی (به عنوان مثال، درجه کریستالی یا مناطق آمورف) و تشکیل پیوندهای هیدروژنی ایجاد شده بین

اجزای فیلم با گروه‌های عاملی آنتوسیانین یا بتاسیانین مرتبط باشد [۴۲]. افزودن ۶ درصد از عصاره‌ی زرشک به نمونه‌های فیلم تهیه شده میزان نفوذپذیری به بخار آب را به طور قابل توجهی کاهش داد که به دلیل تشکیل فیلم یکنواخت و فشرده بود. پس از افزودن ۱۲ و ۲۴ درصد از عصاره‌ی زرشک به نمونه‌های فیلم به تدریج میزان نفوذپذیری به بخار آب افزایش یافت که احتمالاً به کاهش همگنی مربوط می‌شود. با این حال، این میزان کاهش پس از افزودن عصاره به محلول‌های فیلم در نمونه‌های تهیه شده با عصاره‌ی گل لاله‌عباسی نیز مشاهده شد. نتایج نشان داد که نفوذپذیری بخار آب در نمونه‌های تهیه شده با عصاره‌ی گل لاله‌عباسی کمتر از نمونه‌های تهیه شده با عصاره‌ی زرشک بود که می‌توان آن را به ساختار داخلی متراکم‌تر نمونه‌های تهیه شده با عصاره‌ی گل لاله‌عباسی نسبت داد، که ناشی از اتصالات هیدروژنی قوی ایجاد شده بین بتاسیانین و محلول فیلم است که به طور قابل توجهی آبدوستی فیلم را کاهش می‌دهد. نتایج مشابه در فیلم‌های حاوی عصاره لبو [۴۳] و عصاره زعفران و زرشک غنی از آنتوسیانین [۳۰] مشاهده شد.

۳-۲-۵- ویژگی‌های مکانیکی

یکی از ویژگی‌های بسته‌بندی مواد غذایی توانایی تحمل فشارهای وارده در حین حمل و نقل و نگهداری آن است به گونه‌ای که تا حد ممکن تغییر نکنند. تحقیقات انجام شده نشان داده است که ویژگی‌های مکانیکی فیلم‌های تهیه شده به ساختار اجزای آن و برهمکنش میان آن‌ها بستگی دارد [۳۰]. در جدول ۱ استحکام کششی، ازدیاد طول هنگام شکست و مدول یانگ فیلم‌های تولید شده گزارش شده است. بر این اساس فیلم‌های ژلاتین و کاپاکاراگینان خالص تهیه شده میزان انعطاف‌پذیری نسبتاً پایین (۱۶۷۲ درصد) و نیز استحکام کششی و مدول یانگ پایینی (۱/۰۱ و ۱/۷۰ مگاپاسکال) داشتند. در واقع، میزان انعطاف‌پذیری و ازدیاد طول هنگام شکست در نمونه‌های تهیه شده در یک راستا بوده است. به طور کلی اگرچه مقدار استحکام کششی و مدول یانگ نسبت به نمونه شاهد افزایش یافته، اما با اضافه

شدن درصد‌های بالای عصاره به محلول فیلم‌ها روند کاهشی مشاهده شده است. با توجه به اینکه مقدار استحکام کششی و مدول یانگ نسبت به نمونه شاهد افزایش یافته است، بنابراین خواص مکانیکی فیلم‌های تولیدی با افزودن عصاره‌های زرشک و گل لاله‌عباسی بهبود یافته که در نمونه‌های تهیه شده با عصاره‌ی گل لاله‌عباسی مشهودتر بود. این بهبود ویژگی استحکام کششی و مدول یانگ در فیلم‌های تولید شده را می‌توان با ریزساختارهای داخلی نسبتاً بهتر فیلم‌های تهیه شده با عصاره‌ی زرشک و گل لاله‌عباسی و اتصالات هیدروژنی قدرتمند بین آنتوسیانین‌ها یا بتاسیانین‌ها و شبکه‌ی پلیمری ژلاتین و کاپاکاراگینان نسبت داد. علت این افزایش و سپس کاهش استحکام کششی و مدول یانگ در نمونه‌های تهیه شده با غلظت‌های مختلف عصاره این است که ابتدا چون مقدار عصاره کم بوده استحکام کششی زیاد شده و زنجیره‌ها به هم اتصال محکمی داشتند اما پس از اضافه شدن درصد‌های بالای عصاره زرشک و گل لاله‌عباسی، عصاره‌ها بین زنجیره‌های پلیمر قرار گرفته و باعث می‌شود زنجیره‌های پلیمری روی هم بلغزند. بنابراین، اگرچه میزان استحکام کششی و مدول یانگ در فیلم‌های تولید شده با عصاره به تدریج کاهش یافته است، اما چون میزان آن‌ها نسبت به نمونه‌ی شاهد افزایش یافته، بنابراین ما به‌طور کلی در فیلم‌های تولیدشده با عصاره بهبود خواص مکانیکی را مشاهده می‌کنیم. نتایج مشابهی هنگام افزودن عصاره‌ی گل اگزالیس به محلول فیلم تهیه شده با کاپاکاراگینان و نشاسته سیب‌زمینی مشاهده شد [۴۴]. با افزودن عصاره‌ی زرشک و گل لاله‌عباسی به محلول ژلاتین و کاپاکاراگینان خالص، انعطاف‌پذیری فیلم‌ها افزایش یافت. دلیل آن این است که آنتوسیانین‌ها یا بتاسیانین‌ها می‌توانند به عنوان سیالی عمل کنند که تحرک مولکول‌های پلیمری را افزایش می‌دهد. نتایج مشابهی نیز از افزایش انعطاف‌پذیری هنگامی که عصاره‌های غنی از آنتوسیانین یا بتاسیانین در ماتریس فیلم اضافه می‌شوند، ثبت شده است [۲۸، ۳۰، ۴۵].

۳-۳- شفافیت

بسته‌بندی‌های مواد غذایی باید دارای ویژگی‌های نوری مطلوبی باشند. به‌گونه‌ای که به‌طور موثر مواد غذایی را در برابر اثرات مضر اشعه ماوراء بنفش حفظ کرده و در عین حال شفافیت مناسبی داشته باشند تا مصرف‌کنندگان بتوانند غذاهای بسته‌بندی شده را ببینند [۴۶]. شفافیت فیلم‌های تهیه شده در جدول ۱ گزارش شده است. نتایج نشان داد که فیلم تهیه شده‌ی ژلاتین و کاپاکاراگینان خالص نسبتاً شفاف است که بالاترین میزان شفافیت را (۱۵/۶۸) در میان نمونه‌های فیلم داشت که به دلیل ترکیبات موجود در فیلم ژلاتین و کاپاکاراگینان خالص بود که کروموفور پایینی داشت که منجر به توانایی محدود در جذب نور و کمک به رنگ‌آمیزی آن شد. با این حال، با توجه به این که بتاسیانین‌ها حاوی کروموفورهایی مانند پیوندهای کربن-کربن، کربن-اکسیژن و کربن-نیترژن هستند و همچنین آنتوسیانین‌ها حاوی تعداد زیادی کروموفور مانند پیوندهای کربن-کربن و کربن-اکسیژن هستند، شفافیت فیلم‌های تهیه شده به‌طور قابل‌توجهی با افزودن عصاره‌های زرشک و گل لاله‌عباسی به محلول فیلم کاهش یافت [۴۲]. در بین تمام نمونه‌ها، فیلم‌های تهیه شده با ۲۴ درصد عصاره‌ی زرشک کمترین شفافیت (۸/۷) را نشان داد، که احتمالاً به دلیل تراکم آنتوسیانین‌های مختلف مانند سیانیدین، پئونیدین و دلفینیدین در عصاره‌ی زرشک و متعاقباً تعداد زیادی پیوند کربن-کربن و کربن-اکسیژن باشد [۴۷]. از آنجایی که عبور نور مضر از بسته‌بندی‌های مواد غذایی ارتباط نزدیکی با شفافیت آن‌ها دارند و از آنجایی که یافته‌های ما نشان داد که فیلم‌های تهیه شده با عصاره‌ی زرشک دارای قابلیت مانع‌کنندگی عبور نور نسبت به نمونه‌های تهیه شده با عصاره‌ی گل لاله‌عباسی است، بنابراین، اگرچه ممکن است به دلیل رنگ تیره‌ی آن‌ها از نظر زیبایی‌شناختی چندان جذاب نباشد، اما هنگام انتخاب مواد بسته‌بندی همچنان در اولویت هستند. همانطور که انتظار می‌رفت، روند مشابه کاهش شفافیت هنگام اضافه کردن عصاره‌ی گلبرگ زعفران یا زرشک در فیلم‌ها نیز مشاهده شد [۴۸].

۳-۴- مشخصات ساختاری و مورفولوژی نمونه‌ها

۳-۴-۱- مورفولوژی و ترکیب سطح

به منظور ارزیابی مورفولوژی سطح فیلم‌های مبتنی بر ژلاتین و کاپاکاراگینان از روش عکس‌برداری SEM استفاده شد. همانطور که در شکل ۲ مشاهده می‌کنید فیلم خالص تهیه شده با ژلاتین و کاپاکاراگینان دارای سطحی صاف و یکنواخت بود. عصاره زرشک ۶ درصد پس از اضافه شدن به محلول فیلم، به صورت یکنواخت توزیع و منافذ بسیار کمی را نشان داد. پس افزودن غلظت‌های ۱۲ و ۲۴ درصد عصاره زرشک به فیلم‌های تهیه شده، سطوح فیلم‌ها به تدریج خشن‌تر شدند، به گونه‌ای که خوشه‌هایی از ذرات را می‌توان به وضوح بر روی سطح فیلم مشاهده کرد که دلیل آن غلظت بالای عصاره زرشک و اختلاط غیر یکنواخت‌تر اجزای فیلم است که منجر به تراکم می‌شود [۴۹]. سانی و همکاران (۲۰۲۲) گزارش کردند که فیلم‌های تهیه شده با ژلاتین و کاپاکاراگینان همراه با TiO_2 ، پس از افزودن آنتوسیانین سطوح یکنواخت و صاف‌تری را نشان دادند [۳۰].

فیلم تهیه شده با عصاره گل لاله‌عباسی ۶ درصد به طور قابل پیش‌بینی یکنواخت‌تر و منافذ بسیار کمی را نشان داد، اما سطح فیلم‌های ژلاتین و کاپاکاراگینان زمانی که غلظت

عصاره گل لاله‌عباسی به ۱۲ و ۲۴ درصد افزایش یافت، زبرتر شد. همانطور که در شکل ۲ مشاهده می‌کنید، تجمع عصاره گل لاله‌عباسی در غلظت‌های بالا در فیلم ژلاتین و کاپاکاراگینان، در مقایسه با فیلم‌های تهیه شده با عصاره زرشک سطوح زبر و خشن‌تری را نشان دادند که احتمالاً به دلیل اختلاط غیریکنواخت‌تر عصاره گل لاله‌عباسی در مقایسه با عصاره زرشک است. علاوه بر این، شایان ذکر است که تشکیل ترک‌ها در غلظت‌های ۲۴ درصد هر دو عصاره بسیار آشکار و به راحتی قابل مشاهده بود. در مطالعه مشابهی که توسط سینگ و همکاران در سال ۲۰۲۲ انجام شد. به دلیل تجمع مواد عصاره در ماتریس فیلم، فیلم مبتنی بر نشاسته با ۳۰ و ۴۰ درصد عصاره چغندر مخلوط شده، سطحی نامنظم و خشن با منافذ کوچک و همچنین برخی ترک‌ها را نشان می‌دهد [۴۳]. ژانگ و همکاران نیز تأیید گزارش کردند که اضافه کردن آنتوسیانین چای‌ترش به فیلم کیتوزان و پلی‌وینیل‌الکل همراه با نشاسته ناسازگار بوده و تراکم تشکیل می‌دهد [۵۰]. بنابراین، نتایج ما نشان داد که نوع و غلظت عصاره‌ها به همراه شرایط آماده‌سازی فیلم تأثیرات انکارناپذیری بر مورفولوژی فیلم‌ها دارد.

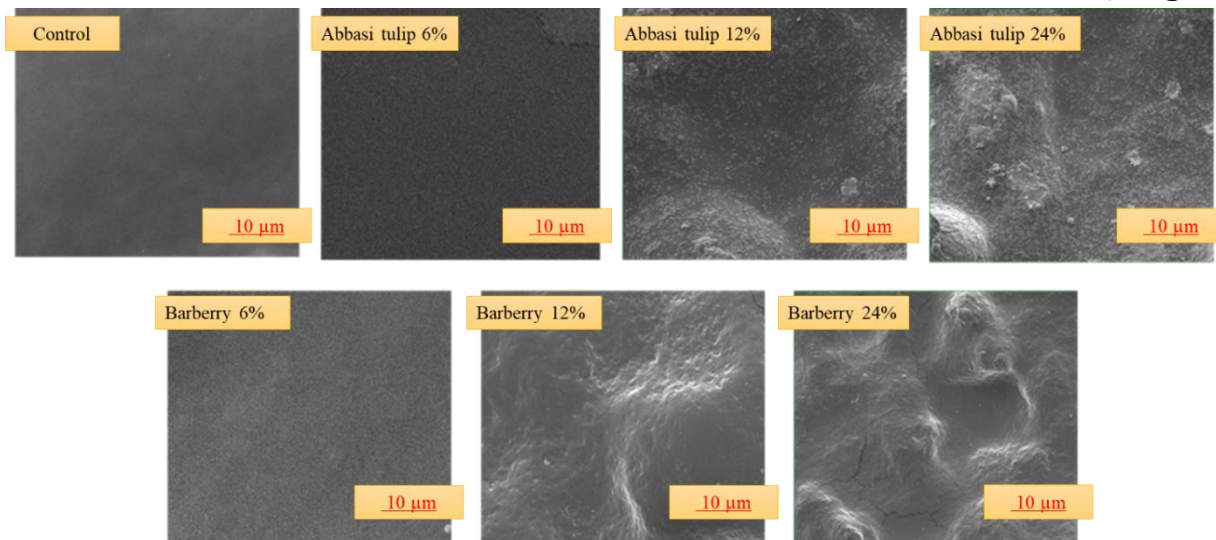


Fig 2 The impact of incorporating barberry extract and Abbasi tulip flower at varying concentrations on gelatin and capcarrageenan films.

۳-۴-۲- پراش اشعه ایکس (XRD)

حالت فیزیکی فیلم‌های تهیه شده که شامل حالت کریستالی در مقابل آمورف در ساختار است بر ویژگی‌های نوری، مکانیکی و ممانعت‌کنندگی آن‌ها تأثیر می‌گذارد [۵۱]. از این رو، ما به تجزیه و تحلیل XRD فیلم‌های تهیه شده برای ارائه بینش‌هایی در مورد وضعیت فیزیکی فیلم‌های مختلف پرداختیم. همانطور که در شکل ۳ الف و ب مشاهده می‌کنید، نمودار XRD فیلم ژلاتین و کاپاکاراگینان دارای یک پیک کوچک در 2θ ۲۸/۴ و یک پیک پهن در 2θ ۲۰ درجه بود که نشان دهنده‌ی میزان بالای ساختار آمورف فیلم‌های تهیه شده می‌باشد. در واقع هرچه میزان باند پهن‌تر باشد، نشان دهنده‌ی ساختار آمورف بیوپلیمرها می‌باشد [۳۰]. همانطور که در شکل ۳ مشاهده می‌کنید، پیک 2θ ۲۸/۴ به پتاسیم کلرید نسبت داده شده است که در کاپاکاراگینان موجود است. نمونه‌ی شاهد ژلاتین و کاپاکاراگینان دارای پهنای باند کمتری نسبت به نمونه‌های تهیه شده با عصاره زرشک و گل لاله‌عباسی است که نشان دهنده‌ی ساختار کریستالی نمونه‌های شاهد می‌باشد. با اضافه کردن درصد‌های مختلف عصاره پهنای باند بیشتر شده و ساختار بیوپلیمر آمورف‌تر

می‌شود. با افزایش غلظت عصاره گل لاله‌عباسی پهنای باند بیشتر شده به گونه‌ای که بیشترین پهنای باند مربوط به نمونه‌ی حاوی ۱۲ درصد عصاره‌ی گل لاله‌عباسی است. در نمونه‌های تهیه شده با عصاره‌ی زرشک نیز بیشترین پهنای باند مربوط به نمونه‌ی تهیه شده با ۶ درصد عصاره زرشک است که نشان می‌دهد افزودن عصاره باعث افزایش ناخالصی نمونه‌های شاهد شده و ساختار را از حالت کریستالی به آمورف تغییر می‌دهد. اما با افزودن درصد‌های ۱۲ و ۲۴ عصاره‌ی زرشک به ساختار پلیمر، مجدداً پهنای باند به سمت شکل کریستالی میل پیدا می‌کند. از آنجایی که میزان آنتوسیانین‌های با بار مثبت در غلظت‌های ۱۲ و ۲۴ درصد عصاره زرشک بالا است و از آنجایی که آنتوسیانین‌های با بار مثبت تمایل به جایگزینی با یون پتاسیم در ساختار کریستالی پتاسیم کلرید موجود در کاپاکاراگینان دارند، بنابراین می‌توان این کاهش پهنای پیک پس از افزودن غلظت‌های بالای عصاره را به واکنش جابه‌جایی و تشکیل مجدد کریستال آنتوسیانین با بار مثبت و یون کلرید نسبت داد. روند مشابهی هنگام افزودن آنتوسیانین پوست انگور به فیلم مبتنی بر کاپاکاراگینان [۲۳] مشاهده شد.

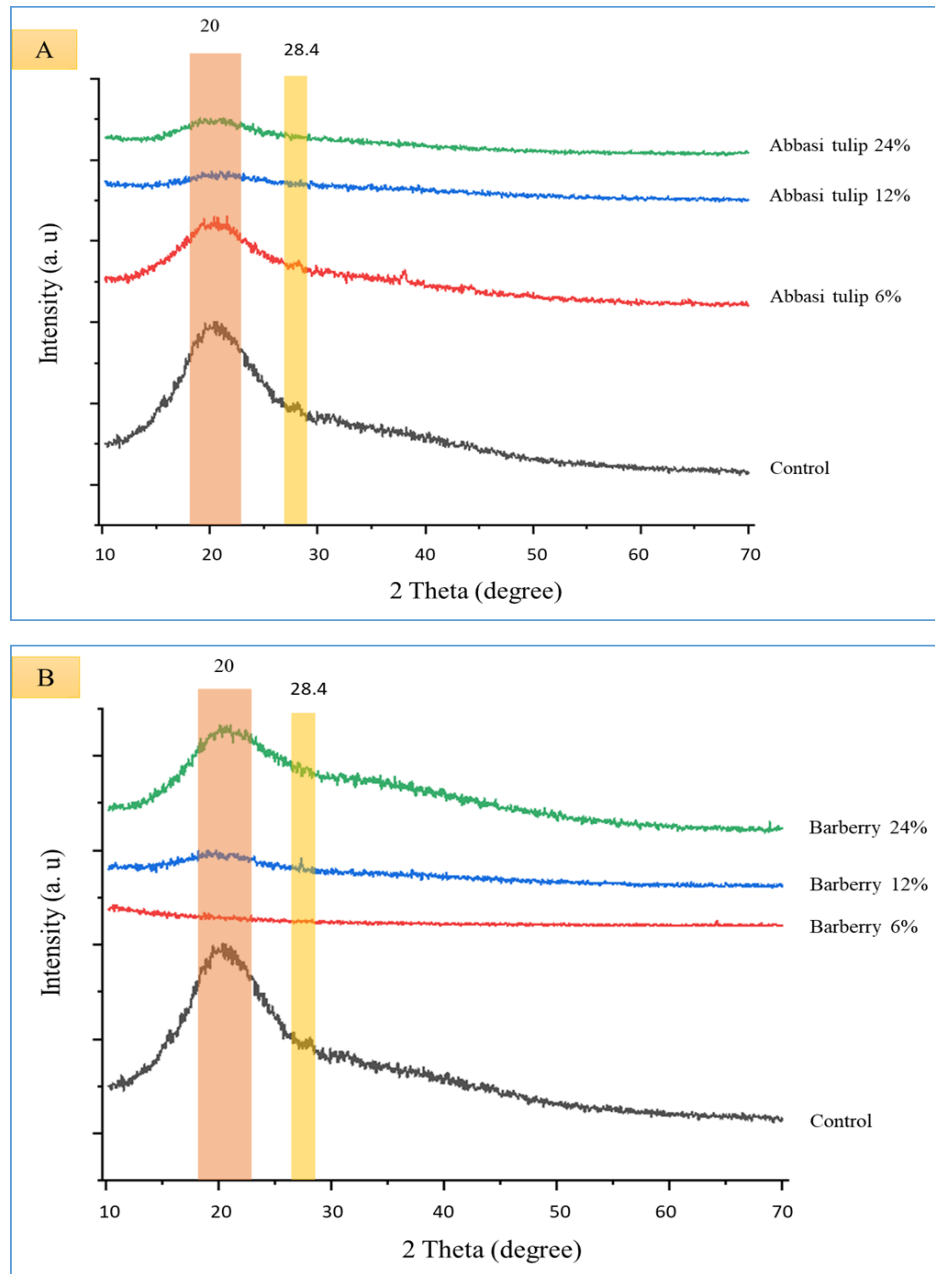


Fig 3 X-ray diffraction of gelatin and capcarragenan films with different concentrations of Abbasi tulip flower extract (a) and barberry (b)

(ژلاتین). ارتعاشات در این گروه‌های عملکردی ممکن است به دلیل برهمکنش آن‌ها با مواد دیگر تغییر کند [۵۲]. همانطور که در شکل ۴ الف و ب مشخص شده است، پهنای باند در حدود ۳۲۰۰ سانتی‌متر می‌توان به کشش مربوط به هیدروژن-اکسیژن و هیدروژن-نیتروژن گروه آمید A همراه با هیدروژن نسبت داد [۱۳]. کشش گروه هیدروژن-نیتروژن در حدود ۳۲۰۰ سانتی‌متر پس از اضافه کردن عصاره گل لاله‌عباسی به محلول فیلم ژلاتین و کاپاکاراگینان افزایش

۳-۴-۳- طیف‌سنجی FTIR

طیف‌سنجی FTIR برای ارائه اطلاعاتی در مورد وجود یا عدم وجود گروه‌های عاملی خاص، و همچنین ساختار شیمیایی مواد پلیمر و در نهایت تغییرات شیمیایی ایجاد شده در فیلم‌های تهیه شده در اثر تغییرات شیمیایی یا فیزیکی استفاده می‌شود. گروه‌های عاملی اصلی شناخته شده در ساختار پلیمرها عبارتند از گروه‌های هیدروکسیل (آنتوسیانین‌ها، ژلاتین و کاپاکاراگینان) و گروه‌های آمین

کربن-اکسیژن موجود در ژلاتین بوده. همانطور که در شکل ۴ الف مشاهده می‌کنید، در نمونه تهیه شده با عصاره زرشک ۲۴ درصد یک پیک در ۱۱۱۳ سانتی‌متر مشاهده می‌شود که نشان دهنده ارتعاش کششی کربن-اکسیژن-کربن موجود در مواد شیمیایی پلی‌فنلی است که در عصاره زرشک یافت می‌شود. پیک‌های زیر ۱۰۰۰ سانتی‌متر به ارتعاشات پیوند موجود در عصاره‌های زرشک و گل لاله‌عباسی مرتبط هستند [۵۶]. مطالعه مشابهی بر روی گروه‌های عاملی موجود در فیلم‌های پوششی با طیف‌سنجی FTIR توسط علی‌زاده و همکاران در سال ۲۰۲۰ بر روی فیلم‌های ژلاتین و کاپاکاراگینان همراه با نانوذرات TiO_2 و آنتوسیانین [۳۰] و همچنین توسط یآوری معروفی و همکاران در سال ۲۰۲۱ برای تهیه فیلم ژلاتین همراه با ترکیب نانوذرات کاپاکاراگینان و زئین اصلاح شده [۵۷] انجام شد.

یافت که نشان می‌دهد گروه‌های هیدروژن-نیتروژن در مولکول‌های ژلاتین ممکن است از طریق پیوند هیدروژنی با عصاره گل لاله‌عباسی برهمکنش داشته باشد [۵۳، ۵۴]. اما با اضافه کردن عصاره زرشک به محلول فیلم‌ها شدت پیک کمتر شده که احتمالاً به دلیل ترکیب شدن عصاره زرشک در محلول فیلم و باز شدن پیوندهای موجود در پلیمر است. پیک‌های مرتبط با کشش حلقه آروماتیک (۱۶۰۰-۱۵۸۵؛ ۱۴۰۰-۱۵۰۰ سانتی‌متر) به حضور آنتوسیانین‌های موجود در عصاره زرشک و گل لاله‌عباسی در فیلم‌های تهیه شده مرتبط است. نوار امید نوع ۱ مشاهده شده در تمام نمونه‌ها در ۱۶۲۹ سانتی‌متر به کشش کربن-اکسیژن گروه‌های کربوکسیل در ژلاتین مرتبط است [۵۵]. باند امید نوع ۲ در ۱۵۴۰ سانتی‌متر به خمش هیدروژن-نیتروژن و ارتعاشات کششی نیتروژن-کربن گروه‌های آمینه در ژلاتین مرتبط است. پیک‌های مشخص شده در ۱۰۳۰ سانتی‌متر مربوط به پیوند

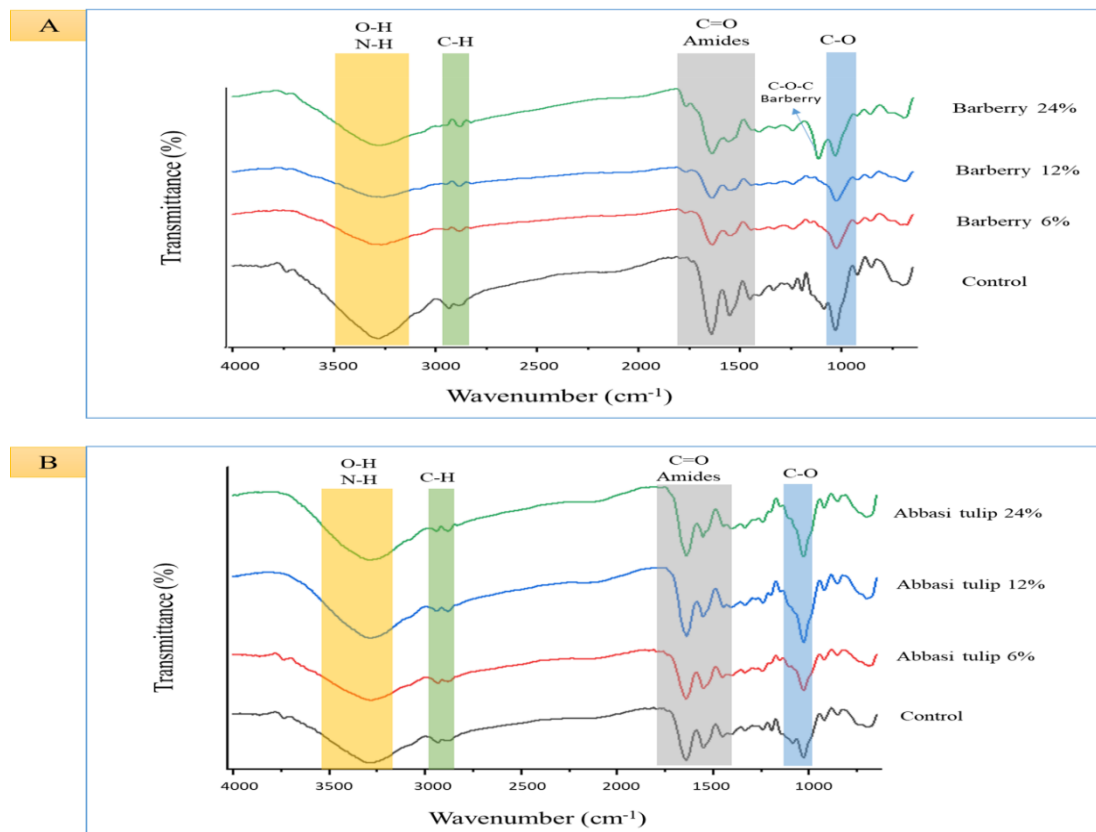


Fig 4 FTIR spectroscopy of gelatin and caparragenan films with barberry extract (a) and Abbasi tulip flower (b)

۳-۵- تعیین شاخص‌های تازگی گوشت بره

گوشت به عنوان یک محصول غنی از پروتئین، در اثر فساد باکتریایی، اکسیداسیون لیپید و پروتئین و تغییرات بیوشیمیایی، در شرایط محیطی و یخچالی فاسد می‌شود. در واقع، هنگامی که پروتئین‌های موجود در گوشت خام تجزیه می‌شوند، ترکیبات نیتروژن فرار اولیه مانند آمونیاک و آمین‌ها را تولید می‌کنند [۲۷]. با گذشت زمان، آمونیاک فرار و آمین‌های بیوژنیک در فضای سر بسته تجمع یافته و سطح پی‌اچ را افزایش می‌دهند. که این تجمع را می‌توان با استفاده از فیلم‌های حساس به پی‌اچ تشخیص داد. همانطور که در شکل ۵ نشان داده شده است، نمونه‌های گوشت به مدت ۷۲ ساعت در دمای ۲۵ درجه‌ی سانتیگراد نگهداری شدند و برای پایش تازگی آن‌ها از فیلم‌های تهیه شده ژلاتین و کاپاکاراگینان همراه با عصاره‌های زرشک و گل لاله‌عباسی با غلظت‌های مختلف استفاده شد. این شرایط مشابه شرایط نگهداری گوشت هنگام بسته‌بندی و حمل و نقل می‌باشد [۵۸]. در این مطالعه، مقادیر اولیه TVB-N و پی‌اچ نمونه‌های گوشت به ترتیب ۶/۸ و ۵/۴ میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم گزارش شد. مقادیر پی‌اچ و TVB-N نمونه‌های گوشت فاسد شده به ترتیب بیشتر از ۷ و ۲۵ میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم

بیان می‌شود. به همین ترتیب، پی‌اچ و TVB-N نمونه‌های گوشت پس از ۴۸ ساعت نگهداری به ترتیب ۷/۲۳ و ۲۹ میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم گزارش شد که از حد استاندارد فساد فراتر رفت. در این لحظه، رنگ فیلم‌های تهیه شده با عصاره‌ی زرشک قهوه‌ای و فیلم‌های تهیه شده با عصاره گل لاله‌عباسی به سبز تغییر رنگ پیدا کرد. فساد منجر به تغییر پی‌اچ از ۶/۳ به ۸ می‌شود که با آزاد شدن بخار آمونیاک مرتبط است. این بخار در آب درون لایه‌ها حل می‌شود و منجر به تولید یون‌های هیدروکسیل و در نتیجه افزایش پی‌اچ می‌شود که منجر به شروع تجزیه آنتوسیانین‌ها و بتاسیانین‌ها توسط گاز بازی فرار می‌شود [۵۹]. در نتیجه فیلم‌های تولیدی با عصاره‌های زرشک و گل لاله‌عباسی ویژگی عملکردی و تغییر رنگ مناسبی در طول ۴۸ ساعت نگهداری گوشت از خود نشان دادند. پس از ۷۲ ساعت، فیلم‌های تهیه شده با عصاره زرشک به بی‌رنگ و فیلم‌های تهیه شده با عصاره گل لاله‌عباسی به رنگ سبز تیره تغییر رنگ پیدا کرد. تحقیقات قبلی نیز نشان داد که فیلم‌های حاوی عصاره‌های غنی از آنتوسیانین‌ها و بتاسیانین‌ها، مانند عصاره گلبرگ زعفران [۱۳]، عصاره سیب‌زمینی شیرین [۵۳]، عصاره پیتای قرمز [۵۹] و عصاره چغندر [۶۰] در تعیین تازگی نمونه‌های غذایی غنی از پروتئین مؤثر بودند.









Time (h)	pH	TVB-N (mg/100 g)	Gelatin-Kappacarrageenan-Barberry	Gelatin-Kappacarrageenan-Abbasi tulip
0	6/8	5/4		
24	6/9	16		
48	7/23	29		
72	7/49	45/25		

Fig 5 TVB-N, pH and color changes during storage of lamb meat at 25°C for 72 hours

۳-۶- تعیین عملکرد فیلم‌ها

۳-۶-۱- رفتار هالوکرومیک

همانطور که در شکل ۶ نشان داده شده است، فیلم تهیه شده با عصاره‌ی زرشک ۲۴ درصد و عصاره‌ی گل لاله‌عباسی ۲۴ درصد واکنش رنگی مناسبی در پی‌اچ‌های مختلف داشتند، که این نتایج مطابق با نتایج عصاره‌های غنی از آنتوسیانین و بتاسیانین پس از غوطه‌ور شدن در محلول بافرهای مختلف است (شکل ۶ الف و ب). فیلم تهیه شده با عصاره‌ی زرشک ۲۴ درصد رنگ خود را در شرایط اسیدی و تقریباً خنثی (۶-۲ پی‌اچ) به صورت یک هاله‌ی قرمز حفظ کرد، در حالی که فیلم تهیه شده با عصاره‌ی گل لاله‌عباسی ۲۴ درصد در محدوده پی‌اچ گسترده‌تر (۸-۲ پی‌اچ) به رنگ قرمز-صورتی ثابت ماند. این تفاوت را می‌توان به پایداری بیشتر ساختار شیمیایی بتاسیانین‌ها نسبت به آنتوسیانین‌ها در محدوده پی‌اچ محلول‌های اسیدی و خنثی نسبت داد [۶۱]. محصولات غذایی غنی از پروتئین به هنگام فساد، ترکیبات نیتروژنی فرار آزاد می‌کنند که باعث تغییر رنگ فیلم‌های پوششی می‌شود. آمونیاک فرار می‌تواند با رطوبت موجود در ساختار فیلم واکنش داده و منجر به تشکیل یک میکرومحیط قلیایی شود. مشابه آزمون حساسیت به پی‌اچ، هر دو نمونه‌ی فیلم رنگی تولید شده تغییرات رنگ قابل‌توجهی را پس از قرار گرفتن در معرض آمونیاک نشان دادند (شکل ۶ الف) و در واقع واکنش فیلم‌های رنگی به آمونیاک به دلیل تغییر دینامیکی مواد فنلی در ساختار آنتوسیانین و بتاسیانین است که منجر به تشکیل آنیون‌های اکسیژن فنلی می‌شود. تحقیقات انجام شده نشان داده است که آمونیاک (NH_3) به فیلم‌های تهیه شده نفوذ کرده و به یون‌های آمونیوم (NH_4^+) تبدیل می‌شود. سپس این یون‌های آمونیوم، واکنشی را بین گروه‌های هیدروکسیل فنلی و آنیون‌های اکسیژن فنولی در ساختار آنتوسیانین یا بتاسیانین ایجاد می‌کند و در نتیجه یک محیط قلیایی در ساختار فیلم‌های تولیدی ایجاد می‌شود [۶۲]. فیلم‌های تهیه شده با عصاره‌ی زرشک تغییرات رنگی سریع و مشخصی در طول ۱۵ دقیقه به نمایش گذاشتند و به

دنبال آن از دقیقه‌ی ۱۵ تا ۹۰ تغییر رنگ متناوب و آهسته‌ای ایجاد شد. تغییرات رنگ مشاهده شده در فیلم تهیه شده با ۶ درصد عصاره‌ی زرشک در طول ۹۰ دقیقه بیشتر از سایر فیلم‌ها تغییر رنگ پیدا کرد. نمونه تهیه شده از قرمز به قهوه ای (۰-۵ دقیقه) سپس به قهوه ای روشن (۱۰-۲۵ دقیقه)، سبز روشن (۳۰ دقیقه) و در نتیجه سبز تیره (۵۰-۶۰ دقیقه) تغییر رنگ پیدا کردند که به دلیل تغییر ساختار آنتوسیانین‌ها بود. یافته‌های مشابهی در فیلم‌های حاوی عصاره گلبرگ زعفران [۱۳] و عصاره زرشک [۴۸] یافت شد. بر خلاف فیلم‌های تهیه شده با عصاره‌ی زرشک، فیلم‌های تهیه شده با عصاره‌ی گل لاله‌عباسی تغییر رنگ واضحی در برابر آمونیاک نشان نداد (شکل ۶) بر این اساس، نمونه‌ی تهیه شده با عصاره‌ی گل لاله‌عباسی ۱۲ درصد واکنش رنگ متفاوتی را در مقایسه با فیلم‌های تهیه شده با عصاره‌ی زرشک نشان داد: از صورتی مایل به قرمز (۰-۲۵ دقیقه) تا قهوه‌ای (۲۵-۹۰ دقیقه). لازم به ذکر است که بتاسیانین‌ها تنها زمانی که در معرض شرایط قلیایی قرار می‌گیرند می‌توانند به اسید بتلامیک زرد و بقایای سیکلو دوپا بی‌رنگ تجزیه شوند [۳۰]. یافته‌های ما تأیید کرد که عصاره غنی از آنتوسیانین از جمله زرشک، می‌تواند بر پاسخگویی نمونه‌ها نسبت به آمونیاک تأثیر بگذارد.

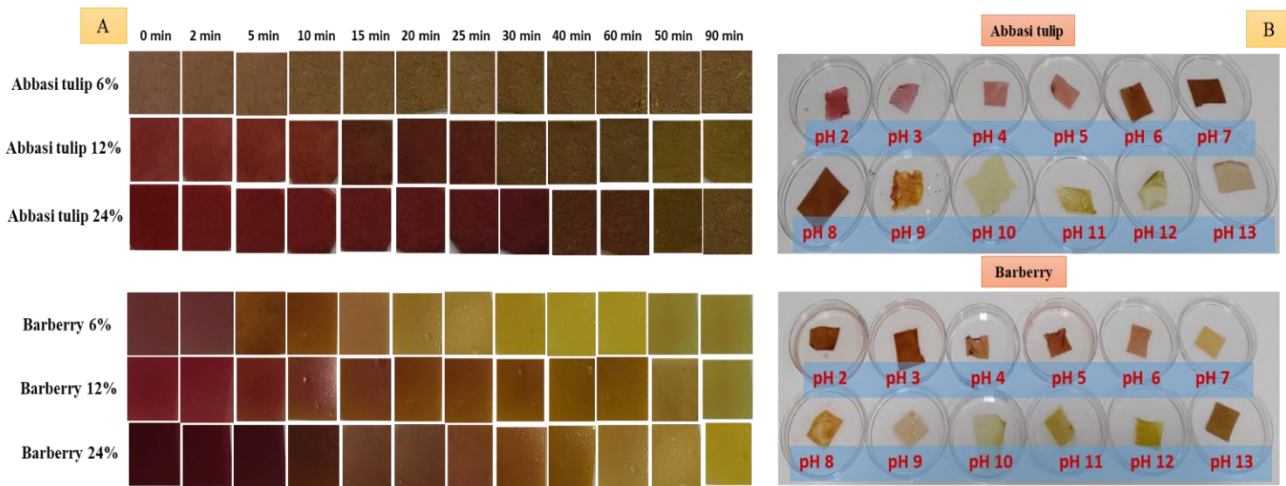


Fig 6 (a) Color changes of barberry extract and Abbasi tulip flower films with different concentrations after being exposed to ammonia (b) Color changes of barberry extract and Abbasi tulip flower films with different concentrations after immersion in buffer solutions (pH=2-13)

به‌طور قابل توجهی توانایی مهار رادیکال DPPH آنها را در یک الگوی وابسته به مقدار عصاره‌ها بهبود می‌بخشد. خواص آنتی‌اکسیدانی مناسب نمونه‌های تهیه شده با درصدهای مختلف عصاره، به وجود گروه‌های فنلی متعدد، محتوای بالای آمین حلقوی، و توانایی اهدای الکترون گروه‌های-OH در شبکه فنلی آنتوسیانین موجود در عصاره‌ی گل لاله‌عباسی و زرشک مرتبط است. توجه به این نکته ضروریست که فیلم‌های تهیه شده با عصاره‌ی زرشک فعالیت آنتی‌اکسیدانی بسیار بیشتری در مقایسه با فیلم‌های تهیه شده با عصاره گل لاله‌عباسی نشان می‌دهد، که احتمالاً به دلیل ساختار متمایز آنتوسیانین‌ها و همچنین تنوع ترکیبات و سطوح بالای ترکیبات عملکردی مختلف در عصاره زرشک می‌باشد. روش مشابهی توسط هی و همکاران در سال ۲۰۲۰ برای ساخت فیلم خوراکی با نفوذپذیری یک‌طرفه بر اساس کاپاگاراگینان و ژلاتین برای تشخیص بصری تازگی فیله ماهی کپور [۳۵] و همچنین توسط یآوری و همکاران در سال ۲۰۲۱ برای تهیه‌ی فیلم ژلاتین همراه با ترکیب نانوذرات کاپاگاراگینان و زئین اصلاح شده [۵۷] انجام شد.

۷-۳- خواص ضد میکروبی

۱-۷-۳- آزمون انتشار آگار

۳-۶-۲- فعالیت آنتی‌اکسیدانی

ترکیبات موجود در بسته‌بندی‌های مواد غذایی نقش مهمی در جلوگیری از فساد غذاهای بسته‌بندی شده ناشی از واکنش‌های اکسیداتیو ایجاد می‌کنند. از این رو، ارزیابی فعالیت‌های آنتی‌اکسیدانی این ترکیبات برای جلوگیری از تخریب شیمیایی اکسیداتیو مواد غذایی بسیار مهم است. روش مهار رادیکال DPPH یک روش سریع و آسان جهت ارزیابی ظرفیت آنتی‌اکسیدانی فیلم‌ها است، بنابراین ما از این تکنیک برای اندازه‌گیری فعالیت آنتی‌اکسیدانی نمونه‌ها استفاده کردیم. نمونه‌های دارای مواد آنتی‌اکسیدانی می‌توانند رادیکال‌های DPPH بنفش را به دی فنیل هیدرازین زرد تغییر دهند در بین همه‌ی نمونه‌ها، فیلم‌های شاهد کمترین توانایی مهار رادیکال آزاد DPPH را نشان داد (جدول ۱). مطالعات قبلی نشان دادند که کاپاگاراگینان همراه با لیگومرها و مشتقات آنها دارای خواص آنتی‌اکسیدانی هستند [۶۳]. فعالیت آنتی‌اکسیدانی ژلاتین نیز به بخشی از اسیدهای آمینه آن نسبت داده می‌شود که به‌عنوان اهداکننده الکترون در واکنش با رادیکال‌های آزاد برای تولید ترکیبات پایدارتر عمل می‌کنند [۶۴]. همانطور که در جدول ۱ گزارش شده است، اضافه کردن عصاره‌های گل لاله‌عباسی و زرشک به نمونه‌ها،

به گونه‌ای که بیشترین قطر هاله‌ی ضدباکتریایی تشکیل شده، برعلیه باکتری اشرشیاکلی و پس از آن باکتری‌های استافیلوکوکوس و باسیلوس سرئوس بود. از میان نمونه‌های تهیه شده، بیشترین اثر ضدباکتریایی مشاهده شده مربوط به نمونه‌های حاوی عصاره‌ی زرشک است و نمونه‌های حاوی عصاره گل لاله‌عباسی تاثیر کمتری برعلیه باکتری‌های مورد آزمایش داشت که احتمالاً به دلیل ساختار و غلظت بالای آلکالوئید موجود در زرشک است. روش مشابهی توسط عبدالله زاده و همکاران در سال ۲۰۱۸ بر روی فعالیت ضدباکتریایی فیلم‌های مبتنی بر آگار حاوی نایسین، اسانس دارچین و نانوذرات ZnO [۶۷] و همچنین توسط موتولاکشمی و همکاران در سال ۲۰۲۱ بر روی نانوکامپوزیت هیدروژل هیبریدی نقره و کاراگینان به همراه ژلاتین انجام شد [۶۸].

اثرات ضدباکتریایی نمونه‌های تهیه شده روی ماتریس آگار حاوی میکروب‌های استافیلوکوکوس، اشرشیاکلی و باسیلوس سرئوس از طریق روش انتشار دیسک مورد بررسی قرار گرفت. نتایج ما نشان داد که نمونه‌های شاهد بدون رنگدانه کمترین اثر بازدارندگی را بر روی میکروب‌ها به خصوص باسیلوس دارد، به گونه‌ای که کمترین قطر هاله مربوط به نمونه‌های تهیه شده بدون عصاره است (جدول ۲). نتایج نشان داد که تمامی نمونه‌های تهیه شده با عصاره گل لاله‌عباسی و زرشک از رشد باکتری‌های مورد نظر جلوگیری می‌کند. مطالعات قبلی نشان داد که فعالیت ضدباکتریایی این عصاره‌ها را می‌توان به ترپن‌ها و ترکیبات فلاونوئیدی و آلکالوئیدهای موجود در آنها نسبت داد [۶۵، ۶۶]. همانطور که در جدول ۲ مشاهده می‌کنید با افزایش غلظت عصاره‌های گل لاله‌عباسی و زرشک در نمونه‌های تهیه شده، فعالیت ضدباکتریایی آنها افزایش یافت،

Table 2 Antimicrobial properties of gelatin and capaccarrageenan films with different concentrations of barberry extract and Abbasi tulip flower

Antimicrobial properties of films	Films type						
	Blank	Abbasi tulip 6%	Abbasi tulip 12%	Abbasi tulip 24%	Barberry 6%	Barberry 12%	Barberry 24%
	Inhibition zone (mm)						
<i>E. Coli</i>	15±0 ^d	15±1 ^d	16±2 ^d	20±0 ^c	19±1 ^c	23±1 ^b	26±0 ^a
<i>Staphylococcus aureus</i>	12.33±0.57 ^d	10±0 ^f	18±1 ^b	20.67±0.57 ^a	11±1 ^{ef}	12±00 ^{de}	14±1 ^c
<i>Bacillus Cereus</i>	9±1 ^e	11±1 ^{cd}	13±1 ^b	15±0 ^a	9±0 ^e	10±1 ^d	12±1 ^{bc}

The data are presented as mean ± standard deviation. Any two means in the same row followed by the same letter are not significantly ($P > 0.05$) different from Duncan's multiple range tests.

قابل توجهی تجزیه شد. در ۷ روز اولیه حداقل تغییراتی در جنبه‌های بصری فیلم‌های تهیه شده با عصاره زرشک و گل لاله‌عباسی مشاهده شد. با این حال، با گذشت زمان، فیلم‌های تهیه شده از نظر شکل و رنگ تغییر پیدا کرده و تخریب شدند. به این ترتیب، پس از یک دوره ۱۴ روزه دفن، تغییرات قابل توجهی در ساختار تمام نمونه‌های فیلم مشاهده شد. نمونه‌های تهیه شده با عصاره‌ی زرشک ۲۴ درصد و عصاره گل لاله‌عباسی ۲۴ درصد بیشترین سرعت تخریب را در بازه‌ی زمانی ۲۱ روزه نشان دادند که احتمالاً به دلیل غلظت بالای عصاره در آنها است.

۳-۸- زیست تخریب پذیری

از آنجایی که کاهش آسیب‌های زیست‌محیطی ناشی از پلاستیک‌های تولید شده از مشتقات نفت مسئله بسیار مهمی است، بنابراین گسترش استفاده از فیلم‌های مبتنی بر پلیمرهای زیستی در کاهش این آسیب‌ها تاثیر بسزایی دارد [۵]. در نتیجه، آزمون شبیه سازی شده‌ای درخصوص زیست تخریب پذیری فیلم‌های تولید شده در بازه‌ی زمانی ۲۱ روزه انجام دادیم. (به شکل ۷ مراجعه کنید) پس از ۲۱ روز نمونه فیلم ژلاتین و کاپاکاراگینان خالص به میزان

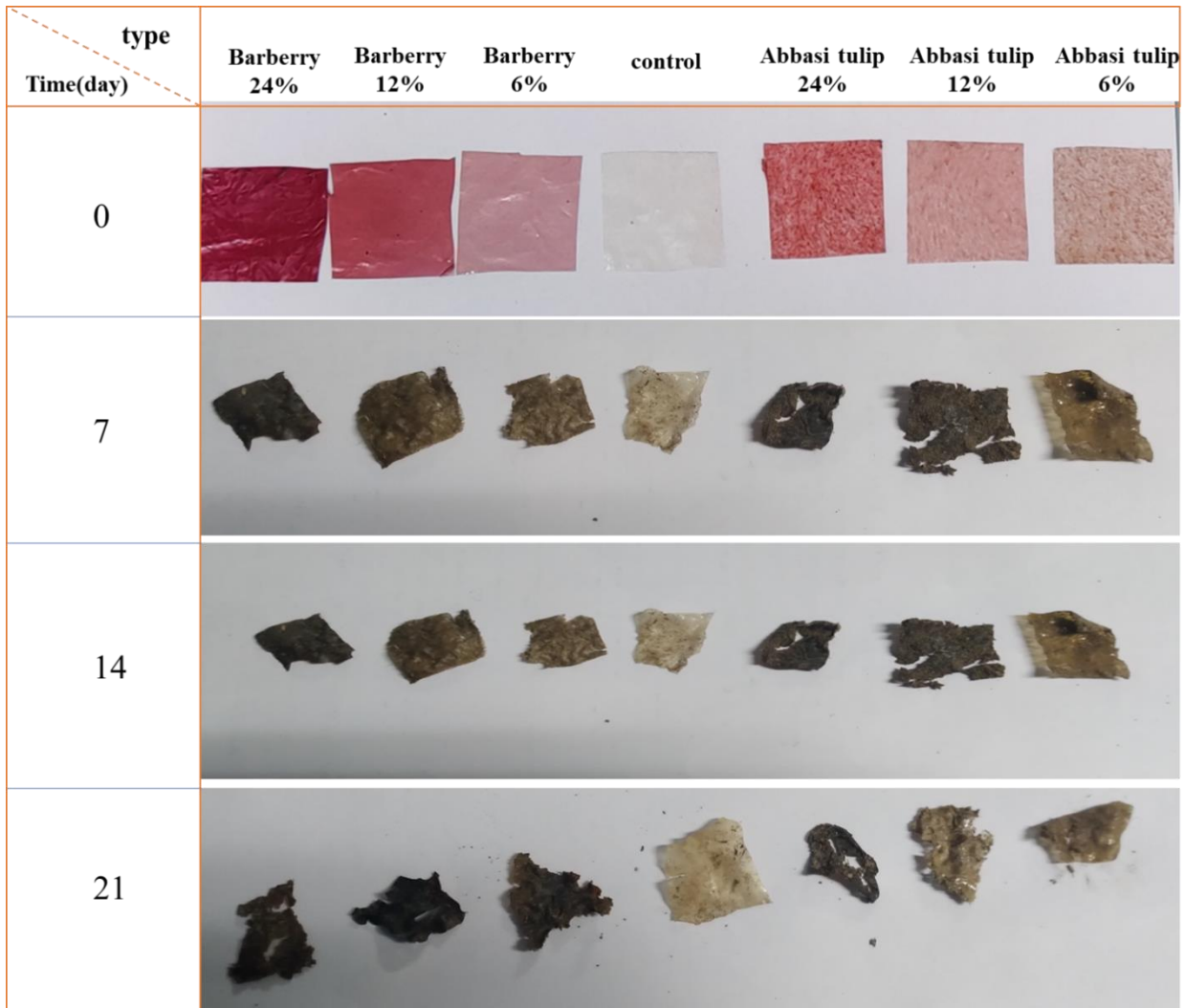


Fig 7 investigating the biodegradability of gelatin and capaccarrageenan films with barberry and Abbasi tulip flower extracts under simulated environmental conditions in a period of 21 days

افزودن عصاره‌های زرشک و گل لاله‌عباسی با موفقیت طراحی و تهیه شدند. بر اساس تجزیه و تحلیل داده‌ها، ویژگی‌های فیزیکی، مکانیکی، ساختاری و عملکردی فیلم‌های ژلاتین و کاپاکاراگینان به‌طور قابل‌توجهی تحت تأثیر عصاره‌های زرشک و گل لاله‌عباسی که غنی از آنتوسیانین و بتاسیانین هستند قرار گرفتند. از آنجایی که عصاره‌های زرشک و گل لاله‌عباسی پیوند هیدروژنی قوی با ساختار فیلم مبتنی بر ژلاتین و کاپاکاراگینان داشتند، فیلم‌های تهیه شده با عصاره، ویژگی‌های نفوذپذیری به بخار آب و خواص مکانیکی را نسبت به نمونه‌ی شاهد بهبود بخشیدند. علاوه بر این، فیلم‌های تهیه شده با عصاره‌ی گل لاله‌عباسی حلالیت و رطوبت بیشتری نسبت به فیلم‌های تهیه شده با

تخریب فیلم‌های تولید شده به دلیل وجود رطوبت، آنزیم‌ها و میکروب‌ها در خاک می‌باشد. روند تخریب‌پذیری مشابهی در فیلم‌های پلیمری زیستی تهیه شده با عصاره گلبرگ زعفران یا زرشک [۳۰] و عصاره چای سبز و ریحان [۶۹] مشاهده شد.

۴- نتیجه‌گیری

به‌طور کلی، فیلم‌های رنگی تهیه شده را می‌توان به‌عنوان یک ابزاری ساده و کاربردی جهت بررسی کیفیت و ایمنی مواد غذایی فاسدشدنی به‌کار برد. در این تحقیق، فیلم‌های حساس به پی‌اچ و NH_3 مبتنی بر ژلاتین و کاپاکاراگینان با

را بهبود می‌بخشند. محققان در ادامه‌ی این کار می‌توانند به بررسی جامع و کامل‌تر خواص ضد میکروبی فیلم‌های تهیه شده علیه میکروب‌های شاخص در گوشت از جمله سودوموناس و همچنین بررسی اثر ترکیبی آنتوسیانین دو ماده گل لاله عباسی و زرشک بپردازند.

تضاد منافع

نویسندگان مقاله اعلام دارند که هیچ گونه تضاد منافی وجود ندارد.

تقدیر و تشکر

نویسندگان مقاله از کمیته تحقیقات دانشجویی دانشگاه علوم پزشکی کرمانشاه کمال تقدیر و تشکر را دارند. این تحقیق توسط کمیته تحقیقات دانشجویی دانشگاه علوم پزشکی کرمانشاه، کرمانشاه، ایران تایید و حمایت شد (کد رهگیری طرح: ۴۰۲۰۲۷۰)

۵- منابع

- [1] Shao, P., et al., *An overview of intelligent freshness indicator packaging for food quality and safety monitoring*. Trends in Food Science & Technology, 2021. **118**: p. 285-296.
- [2] Firouz, M.S., K. Mohi-Alden, and M. Omid, *A critical review on intelligent and active packaging in the food industry: Research and development*. Food Research International, 2021. **141**: p. 110113.
- [3] Yong, H. and J. Liu, *Recent advances in the preparation, physical and functional properties, and applications of anthocyanins-based active and intelligent packaging films*. Food Packaging and Shelf Life, 2020. **26**: p. 100550.
- [4] Roy, S., H.-J. Kim, and J.-W. Rhim, *Effect of blended colorants of anthocyanin and shikonin on carboxymethyl cellulose/agar-based smart packaging film*. International Journal of Biological Macromolecules, 2021. **183**: p. 305-315.
- [5] Abedi-Firoozjah, R., et al., *Application of red cabbage anthocyanins as pH-sensitive pigments in smart food packaging and sensors*. Polymers, 2022. **14**(8): p. 1629.
- [6] Becerril, R., C. Nerín, and F. Silva, *Bring some colour to your package: Freshness indicators based on anthocyanin extracts*. Trends in Food Science & Technology, 2021. **111**: p. 495-505.
- [7] Ezati, P., et al., *CMC and CNF-based intelligent pH-responsive color indicator films integrated with shikonin to monitor fish freshness*. Food control, 2021. **126**: p. 108046.
- [8] Salgado, P.R., et al., *Recent developments in smart food packaging focused on biobased and biodegradable polymers*. Frontiers in Sustainable Food Systems, 2021. **5**: p. 630393.
- [9] Abelti, A.L. and T.A. Teka, *Development and Characterization of Biodegradable Polymers for Fish Packaging Applications*. Journal of Packaging Technology and Research, 2022. **6**(3): p. 149-166.

- [10] Ge, Y., et al., *Intelligent gelatin/oxidized chitin nanocrystals nanocomposite films containing black rice bran anthocyanins for fish freshness monitorings*. International Journal of Biological Macromolecules, 2020. **155**: p. 1296-1306.
- [11] Ibrahim, S., H. Elsayed, and M. Hasanin, *Biodegradable, antimicrobial and antioxidant biofilm for active packaging based on extracted gelatin and lignocelluloses biowastes*. Journal of Polymers and the Environment, 2021. **29**: p. 472-482.
- [12] Indriani, D.R., A.N. Asikin, and I. Zuraida, *Karakteristik edible film dari kappa karagenan kappaphycus alvarezii dengan jenis plasticizer berbeda (Characteristics of Edible film From Kappa Carrageenan Kappaphycus alvarezii With Different Plasticizers)*. Saintek Perikanan: Indonesian Journal of Fisheries Science and Technology, 2021. **11**: p. 1-6.
- [13] Alizadeh-Sani, M., et al., *Multifunctional halochromic packaging materials: Saffron petal anthocyanin loaded-chitosan nanofiber/methyl cellulose matrices*. Food Hydrocolloids, 2021. **111**: p. 106237.
- [14] Musso, Y.S., P.R. Salgado, and A.N. Mauri, *Smart gelatin films prepared using red cabbage (Brassica oleracea L.) extracts as solvent*. Food Hydrocolloids, 2019. **89**: p. 674-681.
- [15] Liya, F.I., et al., *Mirabilis jalapa: A review of ethno and pharmacological activities*. Advancement in Medicinal Plant Research, 2021. **9**(1): p. 1-10.
- [16] Imenshahidi, M. and H. Hosseinzadeh, *Berberine and barberry (Berberis vulgaris): a clinical review*. Phytotherapy Research, 2019. **33**(3): p. 504-523.
- [17] Wu, D., et al., *Freshness monitoring technology of fish products in intelligent packaging*. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 2021. **61**(8): p. 1279-1292.
- [18] Sani, M.A., et al., *Nano-enabled plant-based colloidal delivery systems for bioactive agents in foods: Design, formulation, and application*. Advances in Colloid and Interface Science, 2022. **305**: p. 102709.
- [19] Huang, S., et al., *Preparation and dynamic response properties of colorimetric indicator films containing pH-sensitive anthocyanins*. Sensors and Actuators Reports, 2021. **3**: p. 100049.
- [20] Roy, S. and J.-W. Rhim, *Preparation of gelatin/carrageenan-based color-indicator film integrated with shikonin and propolis for smart food packaging applications*. ACS Applied Bio Materials, 2020. **4**(1): p. 770-779.
- [21] Ali, A. and S. Ahmed, *Eco-friendly natural extract loaded antioxidative chitosan/polyvinyl alcohol based active films for food packaging*. Heliyon, 2021. **7**(3).
- [22] Yadav, S., et al., *Preparation, physicochemical and biological evaluation of quercetin based chitosan-gelatin film for food packaging*. Carbohydrate polymers, 2020. **227**: p. 115348.
- [23] Chi, W., et al., *Developing a highly pH-sensitive κ -carrageenan-based intelligent film incorporating grape skin powder via a cleaner process*. Journal of Cleaner Production, 2020. **244**: p. 118862.
- [24] Ma, Q., Y. Ren, and L. Wang, *Investigation of antioxidant activity and release kinetics of curcumin from tara gum/polyvinyl alcohol active film*. Food hydrocolloids, 2017. **70**: p. 286-292.
- [25] Zepon, K.M., et al., *Smart wound dressing based on κ -carrageenan/locust bean gum/cranberry extract for monitoring bacterial infections*. Carbohydrate polymers, 2019. **206**: p. 362-370.
- [26] Riaz, A., et al., *Effect of Chinese chives (Allium tuberosum) addition to carboxymethyl cellulose based food packaging films*. Carbohydrate polymers, 2020. **235**: p. 115944.
- [27] Abedi-Firoozjah, R., et al., *Betalains as promising natural colorants in smart/active food packaging*. Food Chemistry, 2023: p. 136408.
- [28] Shavisi, N. and Y. Shahbazi, *Chitosan-gum Arabic nanofiber mats encapsulated with pH-sensitive Rosa damascena anthocyanins for freshness monitoring of chicken fillets*. Food Packaging and Shelf Life, 2022. **32**: p. 100827.

- [29] Cejudo-Bastante, M.J., et al., *Optical, structural, mechanical and thermal characterization of antioxidant ethylene vinyl alcohol copolymer films containing betalain-rich beetroot*. Food packaging and shelf life, 2020. **24**: p. 100502.
- Sani, M.A., et al., *Development of green halochromic smart and active packaging materials: TiO₂ nanoparticle-and anthocyanin-loaded gelatin/ κ -carrageenan films*. Food Hydrocolloids, 2022. **124**: p. 107324.
- [30] Roy, S. and J.-W. Rhim, *Antioxidant and antimicrobial poly (vinyl alcohol)-based films incorporated with grapefruit seed extract and curcumin*. Journal of Environmental Chemical Engineering, 2021. **9**(1): p. 104694.
- [31] Prietto, L., et al., *Ultrafine fibers of zein and anthocyanins as natural pH indicator*. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2018. **98**(7): p. 2735-2741.
- [32] Caban, M. and P. Stepnowski, *How to decrease pharmaceuticals in the environment? A review*. Environmental Chemistry Letters, 2021. **19**: p. 3115-3138.
- [33] Tabatabaei, R.H., et al., *Preparation and characterization of nano-SiO₂ reinforced gelatin- κ -carrageenan biocomposites*. International Journal of Biological Macromolecules, 2018. **111**: p. 1091-1099.
- [34] He, F., et al., *Developing a unidirectionally permeable edible film based on κ -carrageenan and gelatin for visually detecting the freshness of grass carp fillets*. Carbohydrate polymers, 2020. **241**: p. 1.11336
- [35] Yavari Maroufi, L., M. Ghorbani, and M. Tabibiazar, *A gelatin-based film reinforced by covalent interaction with oxidized guar gum containing green tea extract as an active food packaging system*. Food and Bioprocess Technology, 2020. **13**: p. 163-7. 1744
- [36] Avila, L.B., et al., *Promising new material for food packaging: An active and intelligent carrageenan film with natural jaboticaba additive*. Foods, 2022. **11**(6): p. 792.
- [37] Etxabide, A., P.A. Kilmartin, and J.I. Maté, *Color stability and pH-indicator ability of curcumin, anthocyanin and betanin containing colorants under different storage conditions for intelligent packaging development*. Food Control, 2021. **121**: p. 107645.
- [38] Yadav, N., et al., *An overview of nanomaterial based biosensors for detection of Aflatoxin B1 toxicity in foods*. Food and chemical toxicology, 2021. **152**: p. 112201.
- [39] Bhatia, S., et al., *Enhancing Tensile Strength, Thermal Stability, and Antioxidant Characteristics of Transparent Kappa Carrageenan Films Using Grapefruit Essential Oil for Food Packaging Applications*. ACS omega, 2024.
- [40] Pourjavaher, S., et al., *Development of a colorimetric pH indicator based on bacterial cellulose nanofibers and red cabbage (Brassica oleraceae) extract*. Carbohydrate polymers, 2017. **15**: p. 193-201.
- [41] Gao, L., et al., *κ -carrageenan-based pH-sensing films incorporated with anthocyanins or/and betacyanins extracted from purple sweet potatoes and peels of dragon fruits*. Process Biochemistry, 2022. **121**: p. 463-480.
- [42] Singh, R., et al., *Development and characterization of elephant foot yam starch based pH-sensitive intelligent biodegradable packaging*. Journal of Food Process Engineering, 2022. **45**(3): p. e13984.
- [43] Jiang, C., et al., *Antioxidant and ammonia-sensitive films based on starch, κ -carrageenan and Oxalis triangularis extract as visual indicator of beef meat spoilage*. International Journal of Biological Macromolecules, 2023. **235**: p. 123698.
- [44] Jamróz, E., et al., *The verification of intelligent properties of furcellaran films with plant extracts on the stored fresh Atlantic mackerel during storage at 2 C*. Food Hydrocolloids, 2019. **97**: p. 105211.
- [45] Cvek, M., et al., *Biodegradable films of PLA/PPC and curcumin as packaging materials and smart indicators of food spoilage*. ACS Applied Materials & Interfaces, 2022. **14**(12): p. 14654-14667.
- [46] Pradhan, P.C. and S. Saha, *Anthocyanin profiling of Berberis lycium Royle berry and its bioactivity evaluation for its nutraceutical*

- potential*. Journal of food science and technology, 2016 :۵۳ .p. 1205-1213.
- [47] Alizadeh-Sani, M., et al., *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, 2021 :۱۶۶ .p. 741-750.
- [48] Wu, Y., et al., *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, 2021. **191**: p. 679-688.
- [49] Zhang, J., et al., *Preparation of an intelligent pH film based on biodegradable polymers and roselle anthocyanins for monitoring pork freshness*. Food chemistry, 2019. **272**: p. 306-312.
- [50] Lu, P.-J., et al., *Analysis of titanium dioxide and zinc oxide nanoparticles in cosmetics*. Journal of food and drug analysis, 2015. **23**(3): p. 587-594.
- [51] Zhang, X., et al., *Development of multifunctional food packaging films based on chitosan, TiO₂ nanoparticles and anthocyanin-rich black plum peel extract*. Food hydrocolloids, 2019. **94**: p. 80-92.
- [52] Yong, H., et al., *Development of antioxidant and intelligent pH-sensing packaging films by incorporating purple-fleshed sweet potato extract into chitosan matrix*. Food hydrocolloids, 2019. **90**: p. 216-224.
- [53] Zhu, Z., H. Cai, and D.-W. Sun, *Titanium dioxide (TiO₂) photocatalysis technology for nonthermal inactivation of microorganisms in foods*. Trends in Food Science & Technology, 2018. **75**: p. 23-35.
- [54] Arfat, Y.A., et al., *Properties and antimicrobial activity of fish protein isolate/fish skin gelatin film containing basil leaf essential oil and zinc oxide nanoparticles*. Food Hydrocolloids, 2014. **41**: p. 265-273.
- [55] Alzahrani, A.R., *A study of the anticancer potential of Pluronic F-127 encapsulated Fe₂O₃ nanoparticles derived from Berberis vulgaris extract*. Green Processing and Synthesis, 2023. **12**(1): p. 20230126.
- [56] Maroufi, L.Y., et al., *Advanced properties of gelatin film by incorporating modified kappa-carrageenan and zein nanoparticles for active food packaging*. International Journal of Biological Macromolecules, 2021. **183**: p. 753-759.
- [57] Dirpan, A., M. Djalal, and A.F. Ainani, *A simple combination of active and intelligent packaging based on garlic extract and indicator solution in extending and monitoring the meat quality stored at cold temperature*. Foods, 2022. **11**(10): p. 1495.
- [58] Yao, X., et al., *Development and comparison of different polysaccharide/PVA-based active/intelligent packaging films containing red pitaya betacyanins*. Food Hydrocolloids, 2022. **124**: p. 107305.
- [59] Guo, Z., et al., *Active-intelligent film based on pectin from watermelon peel containing beetroot extract to monitor the freshness of packaged chilled beef*. Food Hydrocolloids, 2021. **119**: p. 10675.
- [60] Qin, Y., et al., *Comparison of the physical and functional properties of starch/polyvinyl alcohol films containing anthocyanins and/or betacyanins*. International journal of biological macromolecules, 2020. **163**: p. 898-909.
- [61] Garzón, V., R.-H. Bustos, and D. G. Pinacho, *Personalized medicine for antibiotics: the role of nanobiosensors in therapeutic drug monitoring*. Journal of Personalized Medicine, 2020. **10**(4): p. 147.
- [62] Abad, L.V., et al., *Antioxidant activity potential of gamma irradiated carrageenan*. Applied Radiation and Isotopes, 2013. **79**: p. 73-79.
- [63] Gómez-Guillén, M., et al., *Functional and bioactive properties of collagen and gelatin from alternative sources: A review*. Food hydrocolloids, 2011. **25**(8): p. 1813-1827.
- [64] Hajji, M., et al., *GC/MS and LC/MS analysis, and antioxidant and antimicrobial activities of various solvent extracts from Mirabilis jalapa tubers*. Process Biochemistry, 2010. **45**(9): p. 1486-1493.

- [65] Kazemipoor, M., et al., *Chemical composition and antibacterial activity of Berberis vulgaris (barberry) against bacteria associated with caries*. Clinical and experimental dental research, 2021. **7**(4): p. 601-608.
- [66] Abdollahzadeh, E., H. Mahmoodzadeh Hosseini, and A.A. Imani Fooladi, *Antibacterial activity of agar-based films containing nisin, cinnamon EO, and ZnO nanoparticles*. Journal of food safety, 2018. **38**(3): p. e12440.
- [67] Muthulakshmi, L., et al., *A novel Ag/carrageenan-gelatin hybrid hydrogel nanocomposite and its biological applications: Preparation and characterization*. journal of the mechanical behavior of biomedical materials, 2021. **115**: p. 104257.
- [68] Medina-Jaramillo, C., et al., *Active and smart biodegradable packaging based on starch and natural extracts*. Carbohydrate Polymers, 2017. **176**: p. 187-194.



Scientific Research

Designing a pH-sensitive smart detector from gelatin-kappacarrageenan *Mirabilis jalapa* and *Berberis vulgaris* anthocyanin to evaluate the freshness/spoilage of lamb meat

Mohammad Hadi Moradiyan¹, Reza Abedi-Firoozjah², Shamimeh Azimi Salim², Fatemeh Mollaei², Arvin Afrah², Zahra Sarlak², Maryam Azizi-Lalabadi^{2*},

1 -Student Research Committee, Kermanshah University of Medical Sciences, Kermanshah, Iran

2 -Department of Food Science and Technology, School of Nutrition Sciences and Food Technology, Kermanshah University of Medical Sciences, Kermanshah, Iran

ARTICLE INFO

ABSTRACT

Article History:

Received: 2024/5/5

Accepted: 2024/6/22

Keywords:

Smart packaging,
pH sensitive films,
Anthocyanin,
Colorimetric indicator,
Freshness Indicators

DOI: 10.22034/FSCT.21.156.185.

*Corresponding Author E-
maryamaazizi766@gmail.com
maryam.azizi@kums.ac.ir

Today, the utilization of smart indicators in food packaging to monitor and detect food quality through analyzing quality data and color changes in packaging films based on the food's condition is on the rise. In this comparative study, halochromic films made of gelatin and k-carrageenan with mirabilis jalapa extract (6, 12, and 24%) and barberry extract (6, 12, and 24%) were developed and examined. Through SEM images and FTIR spectroscopy, it was observed that both types of films incorporating barberry and mirabilis jalapa extracts were uniformly dispersed in the gelatin and k-carrageenan polymer matrix, displaying notable molecular interactions like hydrogen bonding and electrostatic forces. However, films containing mirabilis jalapa extract exhibited more irregular and rough surfaces compared to those with barberry extract. Both types of films displayed good antioxidant properties and responsiveness to changes in pH and ammonia levels. Films with barberry extract demonstrated higher antioxidant activity and greater sensitivity to pH variations. The gelatin and k-carrageenan films with barberry and mirabilis jalapa extracts effectively indicated the freshness of lamb meat stored at 25°C by correlating with the presence of ammonia gases in the storage packages and pH fluctuations. Our results highlight that the structural, physical, and functional attributes of gelatin and k-carrageenan films incorporating pH-responsive extracts are significantly influenced by the extract type and concentration.