

طراحی برچسب حاوی متابولیت‌های ثانویه گیاهی به عنوان شناساگر

روناک امیری^{۱*}، گلشن مرادی^۲

تاریخ دریافت مقاله: آذرماه ۱۳۹۷

تاریخ پذیرش مقاله: اردیبهشت ماه ۱۳۹۸

چکیده

متابولیت‌های گیاهی به علت حضور مواد کنژوگه یا فتولیک، با تغییر pH، تغییر رنگ نشان می‌دهند ولی متأسفانه بررسی این موضوع، به شکل کاربردی و همچنین به عنوان شناساگر دمایی- زمانی پرداخته نشده است. این مطالعه به منظور طراحی برچسب حاوی متابولیت‌های ثانویه گیاهی به عنوان شناساگر زمانی- دمایی انجام شد. جهت ساخت برچسب هوشمند زمان-دما، کاغذ سلولزی در محلول حاوی آنتوسیانین هویج سیاه قرار داده شد. برای بررسی سینتیک تغییر رنگ، از فعال‌سازی برچسب زمان- دما توسط مقیاس CIElab استفاده گردید. به منظور بررسی مورفولوژی آنتوسیانین مورد استفاده جهت ساخت برچسب زمان- دما در مطالعه حاضر از تصویربرداری الکترون روبشی، و به منظور بررسی ساختار شیمیایی از آنالیز طیف‌سنج مادون قرمز استفاده شد. برچسب زمان- دمای تهیه شده در زمان‌های ۰، ۱، ۳، ۷، ۱۲، ۲۴، ۴۸، و ۷۲ ساعت پس از فعال‌سازی برچسب در دماهای ۲-، ۶، ۱۵، و ۲۵ درجه سانتی‌گراد مورد بررسی قرار گرفتند. نتایج حاصل از میکروسکوپ الکترونی روبشی نشان می‌دهد که ساختار دارای فشردگی کافی بدون شکاف است. نتایج طیف‌سنجی نشان داد که پیک 1369 cm^{-1} نمایانگر وجود گروه‌های فنول C-O در ساختار آنتوسیانین می‌باشد. پیک مشاهده شده در فرکانس 1100 cm^{-1} مربوط به حلقه پیران و پیک موجود در فرکانس 1025 cm^{-1} متعلق به ارتعاشات C-H در ساختار آنتوسیانین می‌باشد. نتایج آنالیز تغییر رنگ نشان می‌دهد که با گذشت زمان و افزایش دما گوشت شروع به فاسد شدن می‌کند و برچسب زمان- دمای روی بسته گوشت نیز دچار تغییر رنگ می‌شود، به طوری که با گذشت زمان و افزایش دما میزان تغییر رنگ برچسب نیز افزایش می‌یابد. بنابراین برچسب حاوی متابولیت‌های ثانویه گیاهی به عنوان شناساگر زمانی- دمایی می‌تواند استفاده شود.

۱- مقدمه

امروزه، افزایش تقاضا برای خوراکی‌های با کیفیت، ایمن و تازه منجر به طراحی و گسترش روش‌های خلاقانه‌ای در فناوری بسته‌بندی شده است [۱]. در طول سال‌های اخیر، حوزه بسته‌بندی فعال به دنبال به دست آوردن مقبولیت و محبوبیت برای مصرف‌کنندگان می‌باشد [۲ و ۳]. یکی از انواع بسته‌بندی که در طی سال‌های اخیر مورد توجه قرار گرفته است، بسته‌بندی هوشمند می‌باشد.

واژه‌های کلیدی

آنتوسیانین، شناساگر دمایی-زمانی، برچسب هوشمند، مقیاس^۳ CIElab

۱- کارشناسی ارشد مهندسی شیمی، دانشگاه رازی کرمانشاه.

(x نویسنده مسئول: roonak.amiri1369@yahoo.com)

۲- دانشجوی دکتری مهندسی شیمی، دانشگاه رازی کرمانشاه (gls.moradi@gmail.com).

3- CIElab Scale



رنگ می‌باشند [۱۳]. آنتوسیانین‌ها^۳ به عنوان گروهی از اجزای فنولی متعلق به خانواده فلاونوئیدها^۴ مسئول رنگ‌های مختلف در میوه، گل‌ها و سبزیجات می‌باشند [۱۴]. آنتوسیانین‌ها پیگمان‌های محلول در آب، با استخراج آسان و طبیعی می‌باشند [۱۵]. تغییرات رنگ در این پیگمان‌ها به علت حضور مواد کنژوگه^۵ یا فنولیک^۶ می‌باشد [۱۶]. گزارش‌هایی مبتنی بر استفاده از آنتوسیانین‌های گیاهان مختلف به عنوان شناساگر طبیعی pH موجود می‌باشد [۱۵ و ۱۷]. در مطالعاتی که از آنتوسیانین به عنوان شناساگر در سامانه بسته‌بندی هوشمند برای بررسی تغییرات بازهای فرار نیتروژنی^۷ برای بررسی فساد در ماهی استفاده شد و نشان داده شد که با افزایش بازهای فرار نیتروژنی، رنگ شناساگر از زرد به سبز تغییر می‌کند. بیشتر تحقیقاتی تاکنون انجام شده‌اند، از متابولیت‌های ثانویه گیاهان همانند آلizarin^۸ و آنتوسیانین به عنوان فیلم و تنها در قالب پژوهشی برای شناسایی تغییرات استفاده نموده‌اند و متأسفانه بیشتر تحقیقات را تنها بر روی تغییرات pH تمرکز نموده و بر تغییرات زمانی- دمایی تمرکز نکرده‌اند. چون این متابولیت‌ها، ایمن، غیرتهاجمی و غیرسمی بوده و به راحتی نیز قابل دسترس می‌باشند، در این پژوهش از این مواد به عنوان شناساگرهای دمایی- زمانی به شکل کاربردی استفاده شد. بنابراین هدف از این مطالعه، استفاده از آنتوسیانین به عنوان شناساگر یا برچسب دمایی- زمانی به شکل صنعتی می‌باشد.

۲- مواد و روش‌ها

در این مطالعه، آنتوسیانین استخراجی از هویج سیاه تهیه شد و در تمام مطالعه مورد بررسی قرار گرفت. جهت ساخت برچسب هوشمند زمان- دما، کاغذ سلولزی

بسته‌بندی هوشمند خوراکی حاوی جزئی است که می‌تواند شرایط خوراک بسته‌بندی شده و یا محیط پیرامون بسته خوراکی را پایش نماید [۴]. بنابراین می‌توان بیان نمود که این فناوری، سیستمی است که توانایی پایش کردن را برای کیفیت خوراک فراهم می‌آورد و همچنین کمک می‌کند که برخی فراسنجه‌های ضروری همانند تغییرات در خوراک و بی‌نقصی بسته‌بندی را ثبت نمود [۵]. قطعاً، این سامانه بسته‌بندی در یک زنجیره غذایی از هدر رفت و ضایعات خوراکی جلوگیری می‌کند [۶]. وسایل و تمهیدات هوشمند ممکن است با مواد بسته‌بندی آمیخته شوند و یا بیرون و داخل بسته‌بندی قرار بگیرند [۷]. این وسایل و تمهیدات به دو دسته تقسیم‌بندی می‌شوند: دسته اول، شامل: حامل‌های اطلاعاتی می‌باشند که از این جمله می‌توان به برچسب‌های بارکددار و برچسب‌های شناسایی امواج رادیویی (RFID) اشاره کرد. دسته دوم، شامل: شناساگرهای بسته‌بندی می‌باشد که شامل: شناساگرهای زمان- دمایی، سنسورها و بیوسنسورهای pH یا گازی می‌باشد [۸]. سامانه‌های شناساگری معمولاً اطلاعات کیفی را از طریق سامانه‌های بصری رنگی فراهم می‌آورند [۹]. به هر حال، شناساگرهای زمانی- حرارتی می‌توانند تغییرات زمانی- دمایی یک محصول خوراکی را نشان دهند و پیشینه دمایی- زمانی یک محصول خوراکی را نمایش دهند [۱۰]. نمونه دیگری از شناساگرها، سامانه‌های دمایی- زمانی هستند که می‌توانند منجر به کاهش ضایعات و مدیریت کارایی نگهداری یک محصول با ماندگاری محدود شوند. با استفاده از مدل‌های معتبر سینتیک^۲ محصول و پاسخ به دما- زمان، اثر دما و زمان می‌تواند پایش شود [۱۱]. سامانه‌های شناساگری امروزه به دنبال شناساگرهای ارزان، کوچک، ایمن، قابل حمل تا نقاط دور دست، حساسیت بالا، سریع، معتبر، غیرتهاجمی و غیرتخریبی باشد [۱۲]. نمونه‌ای از شناساگرها، پیگمان‌های استخراج شده از میوه‌ها و سبزیجات برای بررسی تغییرات

3- Anthocyanins

4- Flanoids

5- Conjugate

6- Phenolic

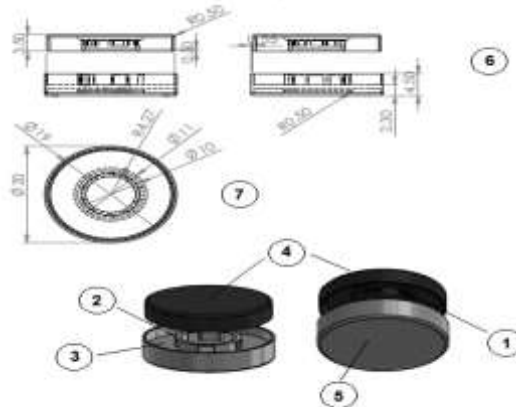
7- Total Volatile Basic Nitrogen

8- Alizarin

1- Radio Frequency Identification

2- Synthetic

با ابعاد $2/5 \times 2/5$ سانتی‌متر مربع و ضخامت تقریبی $0/05$ میلی‌متر به مدت ۴ ساعت در محلول ۱۰ میلی‌لیتر آب حاوی $0/23$ گرم آنتوسیانین قرار داده شد. سپس، کاغذ آغشته شده به آنتوسیانین با مقدار کافی آب شست‌وشو داده شد و به مدت ۶ ساعت در آن در دمای 25 درجه سانتی‌گراد قرار داده شد و تغییرات رنگی بررسی شد. در مرحله بعدی، واکس پارافینی با $0/01$ گرم اسید سیتریک مخلوط شد و پس از 10 دقیقه هم خوردن واکس مورد نیاز جهت ساخت برچسب هوشمند زمان-دما آماده شد. در (شکل ۱) شماتیک برچسب زمان-دما ساخته شده نمایش داده شده است. همان‌طور که از شکل مشاهده می‌شود، واکس در داخل محفظه کوچک متشکل از دو فک شیاردار بالایی و پایینی قرار داده شد. با چرخش محفظه، واکس از شیارهای موجود خارج شد و در تماس با کاغذ آغشته به آنتوسیانین قرار گرفت، به این ترتیب، برچسب فعال و آماده استفاده شد.



شکل ۱- شماتیک برچسب زمان-دما.

- ۱- فک شیاردار بالایی، ۲- فک شیاردار پایینی، ۳- کاغذ سلولزی آغشته به آنتوسیانین، ۴- روکش شفاف پلیمری، ۵- چسب و لایه برچسب مانند، ۶- نمای روبرو برچسب زمان-دما، ۷- نمای بالای برچسب زمان-دما

۱-۲- شاخص‌های دینامیکی-آنالیز رنگ

تغییرات رنگ بعد از فعال‌سازی برچسب زمان-دما تهیه شده توسط مقیاس CIElab مورد بررسی قرار گرفت. تغییرات رنگ ایجاد شده بر اثر کاهش pH در اثر ذوب کنترل

شده واکس اسیدی و تماس آن با کاغذ آغشته به آنتوسیانین است. به‌منظور بررسی تغییر رنگ برچسب، شاخص‌های روشنایی (L)، قرمزی-سبزی (a) و زردی-آبی (b) به‌منظور تعیین تفاوت رنگ کل (TCD)، به‌عنوان یک شاخص دینامیکی برای آنالیز تغییر رنگ برچسب تهیه شده در این مطالعه، مورد استفاده قرار گرفت. تفاوت رنگ کل از معادله ذیل به دست می‌آید:

$$TCD=[(\Delta a^*)^2+(\Delta b^*)^2+(\Delta L^*)^2]^{0.5} \quad (1)$$

در این مطالعه، Δa^* ، Δb^* و ΔL^* به ترتیب تفاوت بین قرمزی-سبزی، زردی-آبی و روشنایی بین نمونه برچسب مورد آزمایش در زمان دلخواه و مقدار آن در لحظه فعال‌سازی می‌باشند و از روابط ذیل به دست می‌آیند:

$$\Delta a^*=a^*-a_0^* \quad (2)$$

$$\Delta b^*=b^*-b_0^* \quad (3)$$

$$\Delta L^*=L^*-L_0^* \quad (4)$$

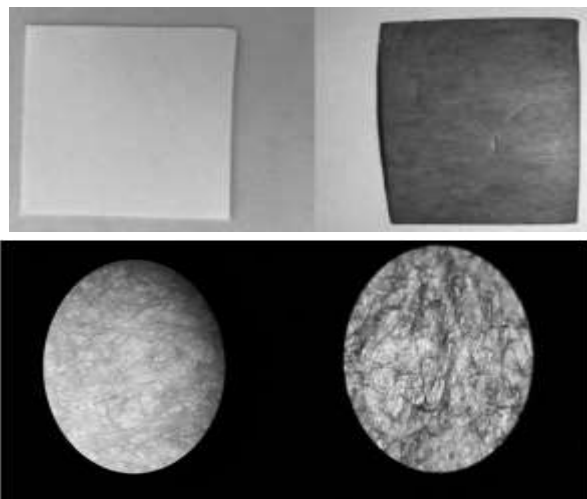
نمونه برچسب هوشمند زمان-دما تهیه شده در این مطالعه به‌صورت ایزوترمال^۲ در پنج دمای مختلف (۲-، ۶، ۱۵، ۲۵ و ۴۵ درجه سانتی‌گراد) مورد بررسی و آزمایش قرار گرفت. به‌منظور کاهش خطای اندازه‌گیری، هر آزمایش سه بار تکرار شد. شاخص‌های رنگ نمونه‌ها توسط رنگ‌سنج ساخته شده در دانشکده نفت و پتروشیمی دانشگاه رازی کرمانشاه مورد ارزیابی قرار گرفت. در داخل رنگ‌سنج از دو لامپ کم‌فشار^۳ LED با زاویه 60 درجه نسبت به نمونه و فاصله 30 سانتی‌متری از برچسب هوشمند زمان-دما مورد آزمایش، استفاده شد. نمونه برچسب مورد آزمایش بر روی پتری دیش قرار داده

- 1- The Whole Color
- 2- Isothermal
- 3- Light Emitting Diode

ذوب شده که منجر به تغییر رنگ کاغذ آغشته به آنتوسیانین در اثر کاهش pH می‌شود و برچسب زمان-دمای تهیه شده در زمان‌های ۰، ۱، ۳، ۷، ۱۲، ۲۴، ۴۸ و ۷۲ ساعت پس از فعال‌سازی برچسب در دماهای ۲-، ۶، ۱۵ و ۲۵ درجه مورد بررسی قرار گرفت [۱۰].

۳- نتایج و بحث

همان‌طور که در (شکل ۲) نشان داده شده است، با آغشته شدن کاغذ به آنتوسیانین، رنگ آن از سفید به بنفش تغییر پیدا می‌کند و این تغییرات با چشم غیرمسلح کاملاً مشخص است.



شکل ۲- الف - تصویر کاغذ گیاهی قبل از آغشته شدن به آنتوسیانین (سمت چپ) ب- تصویر کاغذ گیاهی بعد از آغشته شدن توسط آنتوسیانین (سمت راست).

شکل (۳) ساختار میکروکپسول مانند آنتوسیانین را به وضوح نشان می‌دهد. همانگونه که در شکل نمایان است فشردگی کافی در ساختار مشاهده شده ولی شکافی بین ساختار دیده نمی‌شود.

شد و با استفاده از دوربین ۱۲ مگا پیکسلی با فاصله کانونی ۲۸ میلی‌متر از نمونه‌ها قرار داده شد. در این محفظه نور ثابت عکس با فاصله ثابت ۹ سانتی‌متر تهیه شد. سپس شاخص‌های رنگی (L, a و b) عکس‌های تهیه شده با استفاده از نرم‌افزار فتوشاپ^۱ CC 2017 مورد ارزیابی قرار گرفت. میزان رنگ با استفاده از شاخص‌های هانتر^۲ برحسب روشنایی (L)، قرمزی-سبزی (a) و زردی-آبی (b) بیان گردید [۳].

۲-۲- طیف‌سنجی مادون قرمز و تصویر الکترون روبشی آنتوسیانین

در مطالعه حاضر عامل ایجاد تغییر رنگ در برچسب زمان-دما، تأثیر دما و در نتیجه ذوب شدن واکس اسیدی و تماس آن با کاغذ آغشته به آنتوسیانین و در نتیجه تغییر رنگ آنتوسیانین بر اثر کاهش pH است، به منظور بررسی ترکیبات موجود در آنتوسیانین هویج سیاه از آنالیز^۳ FTIR و به منظور بررسی مورفولوژی^۴ آنتوسیانین مورد استفاده جهت ساخت برچسب زمان-دما از تصویربرداری الکترون روبشی^۵ استفاده شد.

۲-۳- تغییرات رنگ در برچسب زمان-دما

در برچسب زمان-دمای ساخته شده در این مطالعه، در لحظه فعال‌سازی و پس از تماس واکس اسیدی با کاغذ گیاهی آغشته به آنتوسیانین، اگر دمای نگهداری برچسب از دمای ذوب واکس (دمای ذوب واکس ۸ درجه سانتی‌گراد است) بیشتر باشد، واکس اسیدی بر روی کاغذ آنتوسیانین

1- Adobe Photoshop CC 2017

2- Hunter

3- Fourier Transform Infrared Spectroscopy

4- Morphology

5- Scanning Electron

در (شکل ۵) تصویر برچسب زمان-دمای تهیه شده در زمان‌های ۰، ۱، ۳، ۷، ۱۲، ۲۴، ۴۸ و ۷۲ ساعت پس از فعال‌سازی برچسب و در دماهای ۲-، ۶، ۱۵ و ۲۵ درجه نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، در دماهای ۲- و ۶ درجه سانتی‌گراد که زیر نقطه ذوب واکس هستند، تغییری در رنگ برچسب مشاهده نمی‌شود. برای برچسب زمان-دمای نگهداری شده در دمای ۱۵ و ۲۵ درجه سانتی‌گراد، پس از ذوب واکس اسیدی و تماس آن با کاغذ آغشته به آنتوسیانین، به تدریج رنگ برچسب از بنفش به صورتی تغییر پیدا کرده است. لازم به ذکر است که رنگ در برچسب نگهداری شده در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد با سرعت بیشتری تغییر کرده است. شاخص‌های رنگ a^* ، b^* و L^* تصاویر برچسب زمان-دما در زمان‌ها و دماهای متفاوت در (جدول ۱) فهرست شده‌اند. نمودار تفاوت رنگ کل برحسب زمان در (شکل ۶) نشان داده شده است.

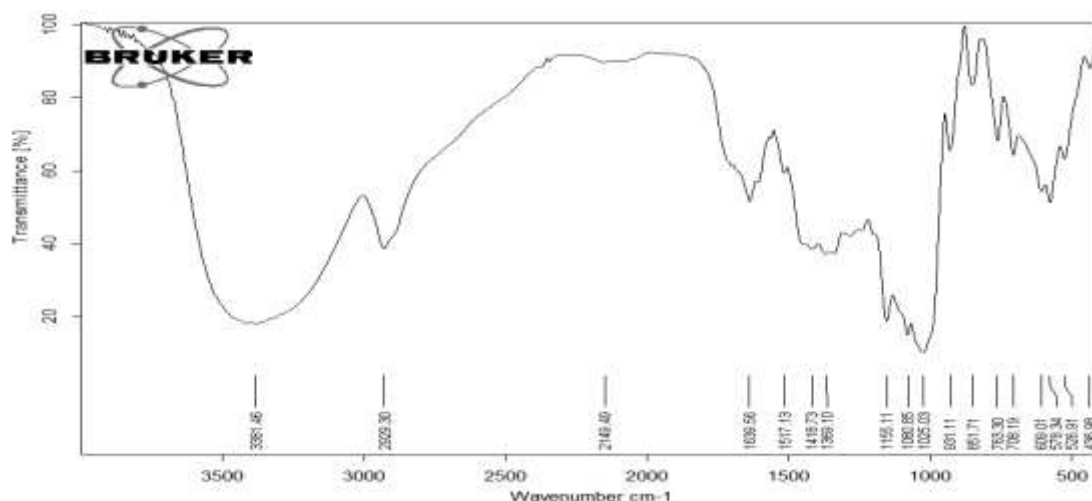


شکل ۳- تصویر الکترون روبشی آنتوسیانین در دو بزرگ‌نمایی

مختلف

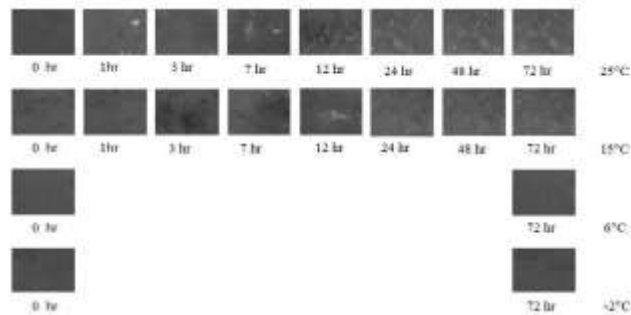
طیف‌سنجی مادون‌قرمز آنتوسیانین در (شکل ۴) نشان داده شده است. پیک مشاهده شده در فرکانس 3381 cm^{-1} مربوط به گروه‌های کربوکسیل موجود در ساختار آنتوسیانین می‌باشد. پیک‌های موجود در فرکانس‌های 2929 cm^{-1} و 1517 به ترتیب مربوط به ارتعاشات $\text{C}=\text{H}$ و $\text{C}=\text{C}$ می‌باشند. پیک‌های 1639 و 1418 cm^{-1} مربوط به ارتعاشات آروماتیک $\text{C}=\text{C}$ می‌باشند. پیک 1369 cm^{-1} نمایانگر وجود گروه‌های فنول $\text{C}-\text{O}$ در ساختار آنتوسیانین می‌باشد. پیک مشاهده شده در فرکانس 1155 cm^{-1} مربوط به حلقه پیران و پیک موجود در فرکانس 1025 cm^{-1} متعلق به ارتعاشات $\text{C}-\text{H}$ در ساختار آنتوسیانین می‌باشد.

طراحی برچسب حاوی متابولیت‌های ثانویه گیاهی به عنوان نشانگر

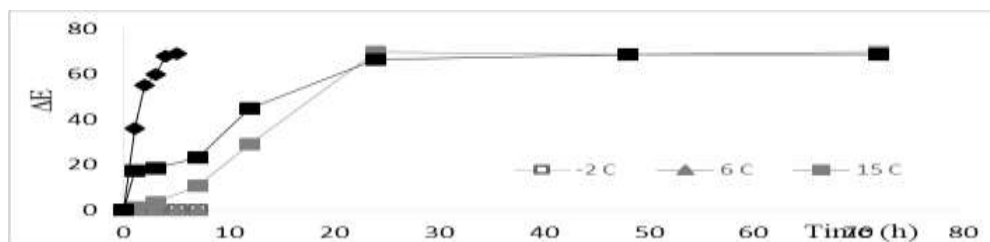


شکل ۴- نتیجه طیف‌سنجی مادون‌قرمز آنتوسیانین

1- Aromatic



شکل ۵- تغییر رنگ برچسب زمان-دما تهیه شده در زمان‌ها و دماهای مختلف



شکل ۶- نمودار تفاوت رنگ کل برحسب زمان

جدول ۱- برچسب زمان-دما در زمان‌ها و دماهای مختلف

	L_0^*	a_0^*	b_0^*		
	$32/80 \pm 0/02$	$-0/41 \pm 0/01$	$-3/61 \pm 0/03$		
ΔE	L^*	a^*	b^*	زمان (h)	دما (°C)
0	$32/90 \pm 0/01$	$0/41 \pm 0/02$	$-3/50 \pm 0/04$	72	-2
0	$33 \pm 0/01$	$0/60 \pm 0/03$	$-3/40 \pm 0/03$	72	6
17/20	$40/40 \pm 0/07$	$8/41 \pm 0/05$	$-2/84 \pm 0/03$	1	15
1/8/6	$38/82 \pm 0/03$	$12/60 \pm 0/02$	$-4 \pm 0/02$	3	
23/2	$34/60 \pm 0/03$	$16 \pm 0/04$	$1/43 \pm 0/06$	7	
45	$34 \pm 0/05$	$38/63 \pm 0/11$	$1/20 \pm 0/07$	12	
66/4	$43/63 \pm 0/08$	$40/40 \pm 0/06$	$11/20 \pm 0/01$	24	
68/6	$44/60 \pm 0/02$	$41/40 \pm 0/03$	$11/40 \pm 0/04$	48	
68/8	$44/40 \pm 0/03$	$41/40 \pm 0/02$	$11/81 \pm 0/05$	72	
1/2	$35/40 \pm 0/02$	$-2 \pm 0/04$	$-7/81 \pm 0/07$	1	25
3/4	$32/61 \pm 0/03$	$2/40 \pm 0/04$	$-7/22 \pm 0/03$	3	
10/8	$36/62 \pm 0/07$	$9/21 \pm 0/06$	$-10/62 \pm 0/04$	7	
29	$34/62 \pm 0/11$	$18/21 \pm 0/10$	$0/61 \pm 0/09$	12	
69/8	$42 \pm 0/02$	$41/20 \pm 0/02$	$11/02 \pm 0/04$	24	
68/6	$40/84 \pm 0/03$	$41/8 \pm 0/04$	$10/4 \pm 0/04$	48	
69/8	$43/81 \pm 0/04$	$41/21 \pm 0/01$	$9/24 \pm 0/02$	72	

برچسب زمان-دما در زمان‌ها و دماهای مختلف در (جدول ۱) آورده شده است. با در نظر گرفتن دمای ۷۲ درجه سانتی‌گراد، مشاهده می‌شود که با افزایش درجه حرارت از ۲- درجه سانتی‌گراد به ۶ درجه سانتی‌گراد، شاخص (a*) (سبزی- قرمزی) به شکل معنی‌داری کاهش یافت و از ۰/۴۱- به ۰/۶۰- رسیده است. با افزایش زمان از یک تا ۲۴ ساعت در دمای ۱۵ درجه سانتی‌گراد، این شاخص به شکل معنی‌داری افزایش یافت و در زمان‌های ۴۸ و ۷۲ ساعت تغییر معنی‌داری را نسبت به زمان ۲۴ نشان نداد. این تغییرات نسبت به زمان در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد نیز تکرار شد. در ارتباط با شاخص (b*) یا زردی-آبی، در زمان ۷۲ ساعت، اختلاف معنی‌داری بین دماهای ۲- و ۶ درجه سانتی‌گراد مشاهده نشد. در دمای ۱۵ درجه سانتی‌گراد با افزایش زمان از ۳ ساعت به ۲۴ ساعت، این شاخص به شکل معنی‌داری افزایش یافت. چنین افزایشی در زمان ۷ ساعت تا ۲۴ ساعت برای دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد مشاهده نشد. در ارتباط با شاخص روشنایی (L*)، در زمان ۷۲ ساعت بین دماهای ۲- و ۶ ساعت اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. در زمان ۱ تا ۲۴ ساعت، در دمای ۱۵ درجه سانتی‌گراد، این شاخص به طور معنی‌داری افزایش یافت. در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد نتایج متناقضی به دست آمد. در ارتباط با اختلاف رنگ کل (ΔE) در زمان ۷۲ ساعت، اختلاف معنی‌داری بین دمای ۲- درجه و ۶ درجه سانتی‌گراد مشاهده نشد. با این حال، در هر دو دمای ۱۵ و ۲۵ درجه سانتی‌گراد، با افزایش زمان از ۱ تا ۲۴ ساعت، اختلاف کلی رنگ از ۱ تا ۲۴ ساعت به شکل معنی‌داری افزایش یافت ولی در دماهای ۴۸ و ۷۲ ساعت اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد.

نتایج میکروسکوپ رویشی نشان داد که فشردگی کافی در ساختار مشاهده شد ولی شکافی بین ساختار مشاهده

نشد. در مطالعه‌ای پورجواهر^۱ و همکاران (۲۰۱۷) نشان دادند که شکاف‌هایی در ساختار برچسب‌هایی وجود دارد که در ساختار آن‌ها آنتوسیانین- سلولز باکتریایی وجود دارد، که در این مطالعه ممکن است به علت ساختار سلولزی باکتریایی باشد [۶]. این محققین، ساختار سلولز باکتریایی- آنتوسیانین را رقیق نمودند و مشاهده کردند میزان شکاف به طور معنی‌داری کاهش یافت. نتایج به دست آمده در فرکانس 3381 cm^{-1} مربوط به گروه‌های کربوکسیل^۲ موجود در ساختار آنتوسیانین می‌باشد. زمان‌های موجود در فرکانس‌های 2929 cm^{-1} و 1517 cm^{-1} به ترتیب مربوط به ارتعاشات C-H و C=C می‌باشند. زمان‌های 1639 cm^{-1} و 1418 cm^{-1} مربوط به ارتعاشات آروماتیک C=C می‌باشند. پیک 1369 cm^{-1} نمایانگر وجود گروه‌های فنول C-O در ساختار آنتوسیانین می‌باشد. پیک مشاهده شده در فرکانس 1155 cm^{-1} مربوط به حلقه پیران و پیک موجود در فرکانس 1025 cm^{-1} متعلق به ارتعاشات C-H در ساختار آنتوسیانین می‌باشد. پیرا^۳ و همکاران (۲۰۱۵) نشان دادند که آنتوسیانین استخراجی از کلم قرمز باند جذب مشخصی در 1650 cm^{-1} نشان داد که این مربوط به ارتعاشات آروماتیک C=C می‌باشد [۱۸]. به خوبی شناخته شده است که مولکول‌های آنتوسیانین کاتیونی می‌باشند که این به علت بار اکسیژنی مثبت در حلقه مرکزی پیران است [۱۹]. طیف‌های نمایان شده ممکن است به علت پیوند بین آنتوسیانین با مولکول‌های اطراف بوده و منجر به تغییرات باند شده باشد. در دماهای ۲- و ۶ درجه سانتی‌گراد که زیر نقطه ذوب واکس هستند، تغییری در رنگ برچسب مشاهده نمی‌شود. برای برچسب

1- Pourjavaher

2- Carboxyl

3- Pereira

رویشی استفاده شد. تغییرات رنگ در پاسخ به زمان و درجه حرارت حاکی از آن است که این برچسب می‌تواند به تغییرات دما و زمان پاسخ نشان دهد. در مجموع می‌توان این برچسب را به عنوان یک شناساگر ایمن، نسبتاً ارزان و غیرتهاجمی معرفی نمود. پیشنهاد می‌شود، در صنعت این برچسب‌ها بر روی مواد غذایی، همانند بسته‌های ماهی برای پایش کردن شرایط دمایی استفاده شود.

۵- منابع

1. Kim, M. J., Jung, S. W., Park, H. R., & Lee, S. J. (2012). "Selection of an optimum pH-indicator for developing lactic acid bacteria-based time-temperature integrators (TTI)." *Journal of Food Engineering*, 113(3), 471-478.
2. Heising, J., van Boekel, M., & Dekker, M. (2015). "Simulations on the prediction of cod (Gadus morhua) freshness from an intelligent packaging sensor concept." *Food Packaging and Shelf Life*, 3, 47-55.
3. Waghmare, R. B., & Annapure, U. S. (2015). "Integrated effect of sodium hypochlorite and modified atmosphere packaging on quality and shelf life of fresh-cut cilantro." *Food Packaging and Shelf Life*, 3, 62-69.
4. EU. (2009). "Commission regulation (EC) No 450/2009 of 29 May 2009 on active and intelligent materials and articles intended to come into contact with food." OJL135, 30.05.2009, 3.
5. Vanderroost, M., Ragaert, P., Devlieghere, F., & De Meulenaer, B. (2014). "Intelligent food packaging: The next

زمان-دمای نگهداری شده در دمای ۱۵ و ۲۵ درجه سانتی‌گراد، پس از ذوب واکس اسیدی و تماس آن با کاغذ آغشته به آنتوسیانین، به تدریج رنگ برچسب از بنفش به صورتی تغییر پیدا کرد. لازم به ذکر است که رنگ در برچسب نگهداری شده در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد با سرعت بیشتری تغییر کرد. هدف اصلی بکار گرفتن شناساگرهای رنگی برای بسته‌بندی مواد غذایی، پایش آسان و معتبر سطوح فساد مواد خوراکی بسته‌بندی شده در وضعیتی غیرتخریبی در زمان توزیع و خرده‌فروشی می‌باشد. کارایی برچسب آنتوسیانینی در تشخیص تغییر رنگ با چشم غیرمسلح بسیار قابل توجه می‌باشد. برخی از محققین معتقدند که تغییر رنگ و حرکت پیک وابسته به آن ناشی از تغییر ساختار می‌باشد [۲۰]. محققینی که در ارتباط با تغییر رنگ آنتوسیانین و تغییر pH پژوهش کرده‌اند، نشان داده‌اند که آنتوسیانین‌های مختلف پاسخ رنگی مختلفی به تغییرات pH نشان می‌دهند [۲۱]. تغییرات رنگی در مطالعه حاضر در پاسخ به تغییرات دما و زمان می‌باشد و بنابراین می‌توان بیان نمود که آنتوسیانین در پاسخ به دما و زمان نیز تغییر رنگ می‌دهد. چنین پاسخ‌هایی برای تغییرات رنگ به صورت تغییرات رنگ و روشنایی نیز دیده شده است. همانگونه که نتایج نشان می‌دهد رنگ آنتوسیانین در فراسنجه‌های رنگی به شکل قابل توجهی تغییر کرده است.

۴- نتیجه گیری

این مطالعه به منظور طراحی برچسب حاوی متابولیت‌های ثانویه گیاهی به عنوان شناساگر زمانی-دمایی انجام شد. برچسب زمان-دمای تهیه شده در زمان‌های ۱، ۰، ۳، ۷، ۱۲، ۲۴، ۴۸، و ۷۲ ساعت پس از فعال‌سازی برچسب در دماهای ۲-، ۶، ۱۵ و ۲۵ درجه مورد بررسی قرار گرفتند. برای بررسی ساختار برچسب‌ها از میکروسکوپ الکترونی

- Science and Technology, 46, 297–304.
12. Kuswandi, B., Restyana, A., Abdullah, A., Heng, L. Y., & Ahmad, M. (2012). “A novel colorimetric food package label for fish spoilage based on polyaniline film.” *Food Control*, 25(1), 184–189.
 13. Khan, P. M. A., & Farooqui, M. (2011). “Analytical applications of plant extract as natural pH indicator: A review.” *Journal of Advanced Scientific Research*, 2(4).
 14. Chandrasekhar, J., Madhusudhan, M., & Raghavarao, K. (2012). “Extraction of anthocyanins from red cabbage and purification using adsorption.” *Food and Bioprocess Technology*, 90(4), 615–623.
 15. Zhang, X., Lu, S., & Chen, X. (2014). “A visual pH sensing film using natural dyes from *Bauhinia blakeana* Dunn.” *Sensors and Actuators B: Chemical*, 198, 268–273.
 16. Shahid, M., & Mohammad, F. (2013). “Recent advancements in natural dye applications: A review.” *Journal of Cleaner Production*, 53, 310–331.
 17. Yoshida, C. M., Maciel, V. B. V., Mendonça, M. E. D., & Franco, T. T. (2014). “Chitosan based and intelligent films: Monitoring pH variations.” *LWT: Food Science and Technology*, 55(1), 83–89.
 18. Pereira, V. A., de Arruda, I. N. Q., & Stefani, R. (2015). “Active chitosan/PVA films with anthocyanins from *Brassica oleracea* (Red generation.” *Trends in Food Science & Technology*, 39(1), 47–62.
 6. Pourjavaher S, Almasi, H, Meshkini S, Pirsa S, Parandi E. “Development of a colorimetric pH indicator based on bacterial cellulose nanofibers and red cabbage (*Brassica oleracea*) extract.” *Carbohydrate Polymers* 156 (2017) 193–201.
 7. Brody, A. L., Bugusu, B., Han, J. H., Sand, C. K., & McHugh, T. H. (2008). “Scientific status summary.” *Journal of Food Science*, 73(8), R107–R116.
 8. Kerry, J., O’grady, M., & Hogan, S. (2006). “Past, current and potential utilisation of active and intelligent packaging systems for meat and muscle-based products: A review.” *Meat Science*, 74(1), 113–130.
 9. Zajko, S., & Klimant, I. (2013). “The effects of different sterilization procedures on the optical polymer oxygen sensors.” *Sensors and Actuators B: Chemical*, 177, 86–93.
 10. Gannakourou, M.C., Koutsoumanis, K., Nychas, G.J.E., & Taoukis, P.S. (2005). “Field evaluation of the application of time temperature integrators for monitoring fish quality in the chill chain.” *International Journal of Food Microbiology*, 102, 323–336.
 11. Mai, N., Audorff, H., Reichstein, W., Haarer, D., Olafsdottir, G., Bogason, S.G., Kreyenschmidt, J., & Arason, S. (2011). “Performance of a photochromic time– temperature indicator under simulated fresh fish supply chain conditions.” *International Journal of Food*

- Cabbage) as time-temperature indicators for application in intelligent food packaging.” *Food Hydrocolloids*, 43, 180-188.
19. Tsao, R., & McCallum, J. (2010). “Chemistry of flavonoids. In *U Fruit and vegetable phytochemicals*.” New Delhi: Wiley-Blackwell.
20. Castañeda-Ovando, A., Pacheco-Hernández, M. d. L., Páez-Hernández, M. E., Rodríguez, J. A., & Galán-Vidal, C. A. (2009). “Chemical studies of anthocyanins: A review.” *Food Chemistry*, 113(4), 859-871.
21. Garber, K. C. A., Odendaal, A. Y., & Carlson, E. E. (2013). “Plant Pigment Identification: A Classroom and Outreach Activity.” *Journal of Chemical Education*, 90(6), 755-759.

آدرس نویسنده

کرمانشاه- باغ ابریشم- بلوار دانشگاه-
دانشکده فنی و مهندسی - گروه مهندسی
شیمی