

Introducing and Efficiency of Some Natural pH-Indicators for Use in Smart Food Packaging

Behnaz Bazargani-Gilani*, Zahra Izadpanahi, Zahra Kafrashi, Fatemeh Salimi, Fatemeh Zarei

*Associate Professor, Department of Food Hygiene and Quality Control, Faculty of Veterinary Medicine, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran

(Received: 24/08/2023; Accepted: 14/10/2023)

Abstract

The usage of pH indicators that discolor with spoilage and pH changes of the food has been considered in the food packaging, recently. Some herbal products and their residues that contain pH sensitive compounds can be introduced and used to produce smart, healthy and cost-effective packaging in food products. In this study, the efficiency of borage flower, red apple peel, red cabbage, red radish peel, barberry fruit, red beet root peel, mallow flower and eggplant peel extracts was investigated against pH changes. After preparing their aqueous-ethanolic extracts by maceration method, their color response were evaluated at pH range of 3-12 using hydrochloric acid and sodium hydroxide solutions. The color changes of the extracts were analyzed by UV-visible spectroscopy in wavelength range of 300-800 nm. According to the findings, red cabbage and red radish peel extracts showed a wider range of color changes at different pH than the other extracts, and red beet root peel, mallow flower, borage flower, eggplant peel, apple peel and Barberry fruits were placed in the next ranks, respectively. It can be concluded that red cabbage and red radish peel extracts are more sensitive to pH changes and show the color responses with the higher accuracy than the other extracts and can be introduced as natural cost-effective pH indicators in smart food packaging for timely monitoring of food spoilage.

Keywords: pH Indicator, Herbal Extracts, Maceration Method, Food Waste, Smart Packaging

*Corresponding Author E-mail: behnazbazargani90@gmail.com

This article is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license.

علمی - پژوهشی

معرفی و کارایی برخی نشانگرهای pH طبیعی برای استفاده در بسته‌بندی‌های هوشمند غذایی

بهناز بازرگانی گیلانی^{۱*}، زهرا ایزدپناهی^۲، زهرا کفراشی^۳، فاطمه سلیمی^۴، فاطمه زارعی^۵

۱- دانشیار، ۲، ۳، ۴ و ۵- کارشناس گروه بهداشت و کنترل کیفی مواد غذایی، دانشکده دامپزشکی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران

(دریافت: ۱۴۰۲/۰۶/۰۲، پذیرش: ۱۴۰۲/۰۷/۲۲)

چکیده

امروزه در بسته‌بندی‌های مواد غذایی، استفاده از شناساگرهای pH که همزمان با فساد و تغییرات pH ماده غذایی تغییر رنگ می‌دهند، مورد توجه قرار گرفته‌اند. برخی از محصولات گیاهی و پسماندهای آن‌ها که حاوی ترکیبات حساس به pH هستند، می‌توانند برای تولید بسته‌بندی‌های هوشمند، سالم و مقرون به صرفه در محصولات غذایی معرفی و مورد استفاده قرار بگیرند. در این مطالعه کارایی عصاره گل گاوزبان، پوست سیب قرمز، کلم قرمز، پوست تربچه قرمز، میوه زرشک، پوست ریشه چغندر قرمز، گل پنیرک، و پوست بادمجان سیاه در تغییرات pH مورد بررسی قرار گرفتند. پس از تهیه عصاره‌های آبی- اتانولی آن‌ها به روش غوطه‌وری، پاسخ رنگی آن‌ها در محدوده pH ۳ تا ۱۲، با استفاده از محلول‌های اسید کلریدریک و هیدروکسید سدیم مورد ارزیابی قرار گرفت. تغییرات رنگی عصاره‌ها توسط طیف‌سنجی اشعه فرابنفش- مرئی در محدوده طول موج ۳۰۰ تا ۸۰۰ نانومتر آنالیز گردید. بر طبق یافته‌های به دست آمده عصاره‌های کلم قرمز و پوست تربچه قرمز طیف وسیع‌تری از تغییرات رنگی را در pHهای مختلف نسبت به سایرین از خود نشان دادند و عصاره‌های پوست ریشه چغندر قرمز، گل پنیرک، گل گاوزبان، پوست بادمجان سیاه، پوست سیب و میوه زرشک به ترتیب در رده‌های بعدی قرار گرفتند. بر اساس نتایج به دست آمده می‌توان نتیجه گرفت که عصاره‌های کلم قرمز و پوست تربچه قرمز، نسبت به تغییرات pH حساسیت بیشتری دارند و این تغییرات را با دقت بالاتری نسبت به سایر عصاره‌ها به نمایش می‌گذارند و می‌توانند به‌عنوان شناساگرهای pH طبیعی و مقرون به صرفه، در نمایش به‌موقع فساد در بسته‌بندی‌های هوشمند مواد غذایی، معرفی شوند.

کلیدواژه‌ها: نشانگر pH، عصاره‌های گیاهی، روش غوطه‌وری، ضایعات مواد غذایی، بسته‌بندی‌های هوشمند

۱- مقدمه

از جمله این ترکیبات حساس به تغییرات pH می‌توان به گیاه گل گاوزبان اشاره نمود. گیاه گل گاوزبان ایرانی^۱ است و خواص درمانی بسیاری در مورد آن گزارش شده است. در ایران و بسیاری از نقاط دنیا، گیاه گل گاوزبان به جهت مصارف دارویی کشت می‌شود و از برگ و گل آن به‌عنوان تصفیه کننده خون، ماده آرام بخش و معرق استفاده می‌شود [۳]. گیاه حساس به pH دیگر، گل پنیرک^۲ از تیره پنیریکان است. پنیرک به‌صورت خودرو، در بسیاری از نقاط رشد کرده و برگ و گل آن دارای مصارف دارویی فراوان است. برگ‌های گیاه پنیرک حالت دایره‌ای و دنداندار و گل‌ها، بنفش رنگ و کوچک هستند. گل‌های بنفش رنگ و خشک شده گیاه پنیرک بیشترین استفاده را در ایران دارد [۴].

امروزه استفاده از بسته‌بندی‌های هوشمند در مواد غذایی بسیار مورد توجه قرار گرفته است. این بسته‌بندی‌ها حاوی نشانگرهای pH هستند که می‌توانند همزمان با تغییرات pH ماده غذایی که در نتیجه فساد اتفاق می‌افتد، تغییر رنگ دهند و در نتیجه مصرف کننده را متوجه فساد ماده غذایی کنند. از آنجایی که مصرف کنندگان مواد غذایی، استفاده از ترکیبات طبیعی را به افزودنی‌های شیمیایی به دلیل اثرات مخرب آن‌ها بر سلامتی ترجیح می‌دهند، بنابراین استفاده از نشانگرهای طبیعی و مقرون به صرفه به جای نشانگرهای شیمیایی مورد توجه است [۱]. برخی از گیاهان، حاوی رنگدانه‌ها و همچنین ترکیباتی به نام آنتوسیانین در ساختار خود هستند که به تغییرات pH حساس می‌باشند. امروزه تحقیقات بسیاری برای شناسایی و بررسی عملکرد این ترکیبات انجام شده است [۲].

* رایانامه نویسنده مسئول: b.bazargani@basu.ac.ir

¹ Echium amoenum

² Malva sylvestris



بادمجان^۵ گیاهی یک ساله، بومی مناطق گرمسیری و دارای ساقه نسبتاً ضخیم و پوشیده از کرک تا ارتفاع ۷۰ سانتی متر می‌باشد. بادمجان حاوی ویتامین‌ها و مواد معدنی گوناگون و همچنین دارای ترکیبات فنلی و اسید آسکوربیک است که فعالیت آنتی‌اکسیدانی قابل توجهی دارند. عصاره آن مانع از تصلب شرائین^۶ می‌گردد و با ممانعت از رشد عروق خونی، از پیشرفت تومور^۷ جلوگیری می‌کند [۱۰].

۱-۱- پیشینه تحقیق

راجی و همکاران [۱۱] فیلمی حساس به pH بر پایه کیتوزان- پلی وینیل الکل که حاوی آنتوسیانین‌های کرم قرمز بود برای پایش فساد شیر ساختند. آن‌ها دریافتند که رنگ فیلم طراحی شده از صورتی در pH کمتر از ۶ تا زرد در مقادیر بالاتر از ۶ تغییر می‌کند. آنها عملکرد این فیلم را برای ارزیابی فساد شیر بسیار مناسب گزارش کردند. گو و همکاران [۹] یک نوع فیلم فعال هوشمند بر پایه پکتین پوست هندوانه و عصاره ریشه چغندر قرمز برای نمایش تازگی گوشت گوساله در طول نگهداری در یخچال ساختند. آن‌ها گزارش کردند که فیلم طراحی شده، تغییر رنگ مشخصی در رنج pH ۱۰-۳ از خود نشان می‌دهد. رنگ فیلم ساخته شده از صورتی تا قهوه‌ای به دنبال روند فساد گوشت گوساله قابل مشاهده بود. آن‌ها نتیجه‌گیری کردند که فیلم ساخته شده، می‌تواند به عنوان یک نشانگر طبیعی pH برای نمایش تازگی گوشت گوساله مورد استفاده قرار بگیرد. بوکالون و همکاران [۱۲] فیلمی هوشمند بر پایه نشاسته سیب زمینی حاوی عصاره پوست پیاز قرمز طراحی کردند. آنها نشان دادند که فیلم‌های طراحی شده حساس به محیط‌های قلیایی و اسیدی هستند. بطوری که با فساد گوشت قرمز و تولید ترکیبات نیتروژنی فرار درون بسته‌بندی، این فیلم تغییر رنگ واضحی از خود نشان می‌داد. همچنین با فساد شیر پاستوریزه و تولید شرایط اسیدی درون ظرف، فیلم مورد مطالعه تغییر رنگ آشکاری را از خود به نمایش می‌گذاشت. آنها نتیجه‌گیری کردند که فیلم‌های طراحی شده، در پایش به موقع محصولات فاسدشدنی نظیر گوشت و شیر بسیار خوب عمل کرده‌اند. گستی و همکاران [۱۳] نشان دادند که حضور آنتوسیانین‌های نوعی میوه در فیلم کیتوزان/متیل سلولز علاوه بر نمایش تغییرات pH در طول دوره نگهداری فیلم ماهی، سبب افزایش خاصیت ضد باکتریایی و آنتی‌اکسیدانی فیلم می‌شود و تاثیر مطلوبی در افزایش ماندگاری فیلم ماهی دارد. یانگ و همکاران [۱۰] گزارش کردند که آنتوسیانین‌های استخراج شده از عصاره بادمجان‌های

زرشک^۱ دارای درختچه‌ای خاردار است که استفاده‌های مختلف درمانی و خوراکی دارد؛ هم‌چنین ارقام اصلاح شده آن استفاده زینتی دارد. آنتوسیانین یکی از رنگدانه‌های موجود در زرشک است که شاخص کیفیت زرشک بوده و مقدار آن به عواملی همچون آب و هوا، زمان برداشت و شرایط کشت بستگی دارد. زرشک سرشار از ویتامین C است و حاوی آلکالوئیدی به نام بربرین است که خواص ضدباکتریایی آن علیه باکتری استافیلوکوکوس اورئوس به اثبات رسیده است. علاوه بر این، بربرین خواص دیگری همچون ضد التهاب، ضد نقرس، کاهنده قند خون و ضد آکنه نیز دارد [۵].

کلم بنفش یا ارغوانی^۲ متعلق به خانواده کروسیفر است که دارای برگ‌های ضخیم و ورقه‌ای بنفش رنگ است و سال‌هاست که از آن برای مقاصد درمانی در تسکین ادم، سوختگی‌ها، ضایعات پوستی و درعین حال بهبود هضم و کاهش درد آرتروز استفاده می‌شود. اثرات آنتی‌اکسیدانی قابل توجه این ماده نیز به اثبات رسیده است [۶].

سیب قرمز منبع غنی از ترکیبات فنلی است و بیوستنز آن‌ها در پوست میوه سیب انجام می‌گیرد. از عمده‌ترین ترکیبات فنلی و فلاونوئیدی که اغلب در پوست میوه سیب قرمز تجمع می‌یابد شامل اسیدهای فنلی، فلاونول‌ها، کوئرستین گلیکوزید، آنتوسیانین و دی‌هیدرو چالکون‌ها هستند. ترکیبات فنلی در گیاهان دارای کاربردهایی مانند تنظیم فعالیت‌های نموی و واکنش‌های دفاعی گیاهان در مقابل عوامل زنده و غیر زنده هستند [۷].

از محصولات حساس به pH دیگر تربچه^۳ یکی از سبزی‌های فیبری اصلی خانواده کروسیفر است. تربچه در بازه زمانی کوتاهی رشد می‌کند و ارقام گوناگونی برای این گیاه ذکر شده است. رنگدانه‌های آنتوسیانین مسبب ایجاد رنگ قرمز ریشه گیاه تربچه هستند. از ترکیبات زیست فعال موجود در تربچه، برای درمان برخی بیماری‌ها استفاده می‌شود [۸].

گیاه دیگر، ریشه چغندر قرمز^۴ از تیره اسفناج است. بتالائین‌ها و ترکیبات فنلی موجود در ریشه چغندر قرمز خاصیت آنتی‌اکسیدانی دارند و آسیب اکسیداتیو چربی‌ها را کاهش می‌دهند. ترکیبات فنلی به دلیل داشتن گروه‌های هیدروکسیل می‌توانند رادیکال‌های آزاد را خنثی کنند و به عنوان دهنده الکترون یا هیدروژن عمل نمایند. ریشه چغندر قرمز به دلیل داشتن ترکیبات زیست فعالی از جمله بتالائین‌ها، پلی‌فنل‌ها، کاروتنوئیدها و فلاونوئیدها، دارای خواص مفیدی بر سلامتی هستند [۹].

⁵ Solanum melongena

⁶ Atherosclerosis

⁷ Tumor

¹ Berberis vulgaris

² Brassica oleracea

³ Raphanus sativus

⁴ Beta vulgaris

دست آمده توسط کاغذ صافی واتمن شماره ۱ فیلتر گردید و عصاره‌های به دست آمده برای تست‌های بعدی مورد استفاده قرار گرفتند [۱۴ و ۱۵].

۲-۴- ارزیابی تغییرات رنگی عصاره‌ها نسبت به تغییرات pH

به‌منظور ارزیابی میزان پاسخ رنگی عصاره‌ها در مقابل تغییرات pH، هر یک از عصاره‌های به دست آمده در رنج pH ۳ تا ۱۲ با استفاده از محلول‌های اسید کلریدریک و هیدروکسید سدیم ۰/۱ نرمال قرار گرفتند. به‌عبارت دیگر، برای هر عصاره ۱۰ لوله از pH ۳ تا ۱۲ در نظر گرفته شد و سپس تغییرات رنگی عصاره‌ها مورد ارزیابی قرار گرفت. سپس میزان جذب نوری عصاره‌های تغییر رنگ داده شده با استفاده از دستگاه طیف‌سنجی اشعه فرابنفش- مرئی (UV-VIS) در رنج طول موج ۸۰۰-۳۰۰ نانومتر قرائت گردید [۱۶ و ۹ و ۸].

۲-۵- تجزیه و تحلیل آماری

طرح آزمایشی مورد استفاده در این تحقیق از نوع کاملاً تصادفی است. این مطالعه در آزمایشگاه بهداشت و کنترل کیفی مواد غذایی دانشکده دامپزشکی دانشگاه بوعلی سینا در سال ۱۴۰۱ انجام شده است. تمامی آزمایشات در قالب طرح تصادفی و در حداقل سه تکرار انجام گردید. آنالیز آماری داده‌ها با استفاده از آنالیز واریانس یک طرفه (ANOVA) و نرم افزار SPSS (IBM SPSS statistics 21) انجام شد. همچنین مقایسه میانگین داده‌ها با تست توکی (Tuke)

(y test) صورت گرفت. مقادیر $p \leq 0/05$ معنی‌دار در نظر گرفته شد. ضمناً داده‌ها به صورت میانگین \pm انحراف استاندارد (SD) ذکر گردید. بعد از محاسبه میانگین داده‌ها، برای رسم نمودارها از نرم افزار اکسل نسخه ۲۰۱۶ استفاده شد.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- عصاره گل گاوزبان

تصویر شماره ۱a تغییرات رنگی عصاره گل گاوزبان را در pHهای ۳ تا ۱۲ نشان می‌دهد. بر طبق تغییرات رنگی به دست آمده، این عصاره در pHهای اسیدی (۳-۵) طیف‌های رنگی متفاوتی (قرمز تا صورتی روشن) ایجاد کرده ولی در pHهای ۷-۱۱ این طیف‌ها تفاوت چندانی با یکدیگر ندارند و رنگ‌های به دست آمده تقریباً مشابه می‌باشند. نمودار شماره ۱b جذب نوری تغییرات رنگی عصاره گل گاوزبان را در pHهای مختلف در طول موج‌های ۸۰۰-۳۰۰ نانومتر نشان می‌دهد. بر طبق نتایج به‌دست آمده، تمایز قابل ملاحظه‌ای در نمودارها مشاهده نمی‌شود و نمودارها در اغلب طول موج‌ها دچار هم‌پوشانی شده‌اند. گیاه گل گاوزبان

بنفش و سیاه در pHهای مختلف، ساختار متفاوتی با رنگ‌های مختلف از خود نشان می‌دهند. آن‌ها این آنتوسیانین‌ها را به فیلم کیتوزان اضافه کردند و تغییر رنگ قابل قبولی با تغییرات pH در فیلم‌های ساخته شده، مشاهده کردند.

از آنجائی‌که، میزان و نوع آنتوسیانین‌های موجود در محصولات گیاهی که به‌عنوان نشانگرهای طبیعی شناخته شده‌اند، از یکدیگر متفاوت است، در نتیجه مفروض است که عملکرد هر کدام از آن‌ها در تغییر رنگ و نمایش به موقع تغییرات pH نیز متفاوت خواهد بود. بنابراین، سوالی که مطرح می‌شود این است که آیا می‌توان با مقایسه عملکرد آن‌ها در مقابل تغییرات pH، مناسب‌ترین و کاراترین آن‌ها را یافته و در تولید بسته‌بندی‌های هوشمند مواد غذایی به کار برد؟ با توجه به اینکه، تاکنون مطالعه‌ای مبنی بر مقایسه عملکرد نشانگرهای طبیعی یافت شده در مقابل تغییرات pH با یکدیگر وجود ندارد، بنابراین هدف از مطالعه حاضر ارزیابی و مقایسه میزان پاسخ رنگی عصاره‌های گل گاوزبان، پوست سیب قرمز، کلم قرمز، پوست تربچه قرمز، میوه زرشک، پوست ریشه چغندر قرمز، گل پنیرک، و پوست بادمجان سیاه در مقابل تغییرات pH به‌منظور یافتن کاراترین و مناسب‌ترین نشانگر است.

۲- روش تحقیق

۲-۱- مواد اولیه

گل گاوزبان، گل پنیرک، زرشک، کلم قرمز، ریشه چغندر قرمز، تربچه، سیب قرمز و بادمجان سیاه از بازار محلی شهر همدان خریداری شدند.

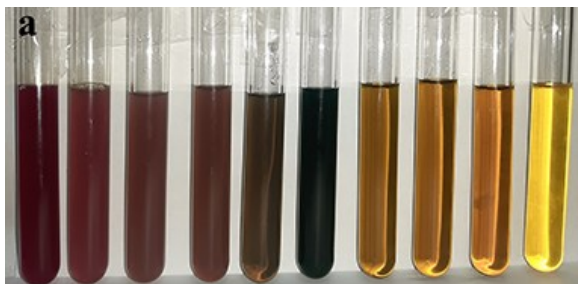
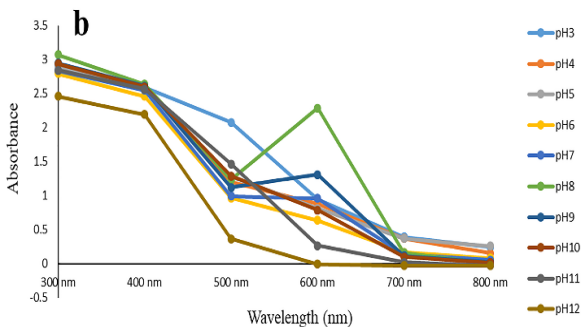
۲-۲- آماده‌سازی ترکیبات

بعد از پاک‌سازی و شستشوی محصولات تهیه شده، (بغیر از گل گاوزبان و گل پنیرک)، با یک چاقوی تمیز پوست‌گیری شده و پوست‌های جدا شده، به قطعات کوچک تقسیم شدند. سپس پوست‌های قطعه شده، بصورت جداگانه بر یک پارچه نخی تمیز در سایه به مدت ۲ هفته در هوای اتاق خشک و توسط یک آسیاب برقی پودر شدند. بخش گل گیاهان گل گاوزبان و پنیرک که بصورت خشک خریداری شده بود نیز آسیاب گردید. پودرهای به دست آمده در آزمایشات بعدی به کار رفتند.

۲-۳- استخراج عصاره‌ها

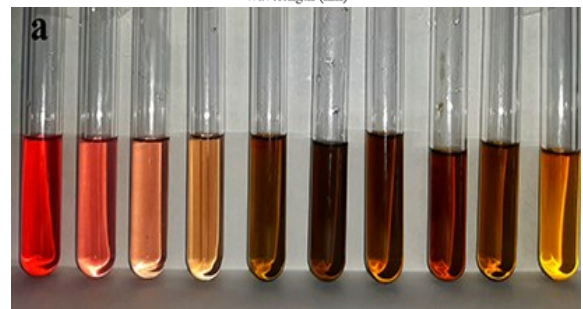
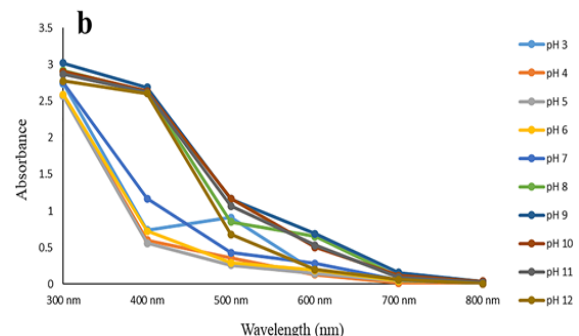
هر کدام از پودرهای حاصل از مرحله قبل با نسبت ۱ به ۱۰ با حلال اتانول ۷۰٪ مخلوط شدند و سپس با استفاده از دستگاه ارلن شیکر به مدت ۲۴ ساعت مخلوط به‌دست آمده بهم زده شد. بعد از این مدت مواد جامد از عصاره با استفاده از سانتریفیوژ با دور ۳۵۰۰ rpm به مدت ۱۵ دقیقه جدا شد. سپس محلول به

رنگ یافته را نشان می‌دهد. طبق این نمودار جذب نوری تغییرات رنگی ایجاد شده فقط در طول موج‌های ۵۰۰ تا ۷۰۰ نانومتر بصورت جداگانه قابل تشخیص‌اند و در سایر طول موج‌ها، نمودارها دچار هم‌پوشانی هستند. عصاره گل پنیرک حاوی منیزیم، کلسیم و اسید آمینه ضروری آلانین، گلوکورونیک اسید، یورونیک اسید، هیدروکسی پرولین، فرولیک اسید، آنتوسیانین‌ها و گالاکتوز است. این گیاه به دلیل وجود ترکیبات فنلی گوناگون به خصوص فلاونوئیدها و ترکیباتی همچون اوژنول دارای اثرات ضد میکروبی قابل توجهی است. اثرات ضدباکتریایی آن بر باکتری‌های استافیلوکوکوس اورئوس، باسیلوس سرئوس، لیستریا مونوسیتوزن و اشریشیا کلای و هم‌چنین اثرات ضدویروسی و ضدقارچی آن نیز اثبات شده است [۴]. وجود آنتوسیانین‌ها در این گیاه سبب کاهش کلسترول، رادیکال‌های آزاد و اکسیداسیون لیپیدها شده و از تشکیل لخته خون درون عروق جلوگیری کرده و در نهایت موجب کاهش بیماری‌های قلبی عروقی می‌شود. در مطالعه‌ای از عصاره گل پنیرک در طراحی نوعی فیلم هوشمند خوراکی بر پایه پلی‌ساکاریدهای دانه سویا استفاده کردند. آن‌ها گزارش کردند که عصاره گل پنیرک موجود در فیلم، هم‌زمان با تغییرات pH فیلم، تغییرات رنگی مشخصی را نشان داده است [۲۰]. در مطالعه دیگری گزارش کردند که عصاره گل پنیرک، تغییرات رنگی مناسبی را در مقابل تغییرات pH حاصل از فساد مواد غذایی پروتئینی در نوعی فیلم خوراکی از خود نشان داده است. آن‌ها نتیجه‌گیری کردند که از این عصاره می‌توان در ساخت نشانگرهای pH در بسته‌بندی مواد غذایی استفاده نمود [۲۱].



شکل (۲): پاسخ رنگی عصاره گل پنیرک در رنج pH ۳ تا ۱۲ (از چپ به راست) (شکل ۲a). مقادیر جذب نوری عصاره گل پنیرک تغییر رنگ یافته در طول موج ۳۰۰ تا ۸۰۰ نانومتر (شکل ۲b).

سرشار از ترکیباتی مانند فلاونوئیدها است که دارای خواص ضد اضطراب و آرامبخشی هستند. این گیاه دارای ترکیبات موثر آنتوسیانین است. بعد از کلروفیل‌ها، آنتوسیانین‌ها مهم‌ترین گروه رنگدانه‌های طبیعی هستند که محلول در آب و غیرسمی بوده و به مقدار زیادی در سیتوپلاسم سلول‌های گیاهی وجود دارند [۳]. این ترکیبات موجب ایجاد رنگ‌های آبی، بنفش و قرمز در بسیاری از میوه‌ها و گل‌ها می‌شوند. با روش‌هایی مانند خیساندن در حلال، عصاره این گیاه تهیه شده و رنگدانه آنتوسیانین از گلبرگ‌های آن استخراج می‌شود [۱۷]. مطالعات قبلی گزارش کرده‌اند که عصاره گل گاوزبان سرشار از آنتوسیانین‌های آلکیل است که موجب حساسیت آن به تغییرات pH می‌شود. علاوه بر آنتوسیانین‌ها، گل گاوزبان حاوی فلاونوئیدها، آلکالوئیدهای پیرولیزیدین، اسید رزمارینیک، ترپنوئیدها، سیانیدین ۳-گلوکوزید و دلفینیدین می‌باشد [۱۸]. در مطالعه‌ای آنتوسیانین‌های گل گاوزبان افزوده شده به نوعی فیلم خوراکی، پاسخ رنگی مناسبی به تغییرات pH حاصل از فساد میگو بسته‌بندی شده، نشان داد [۱۹].



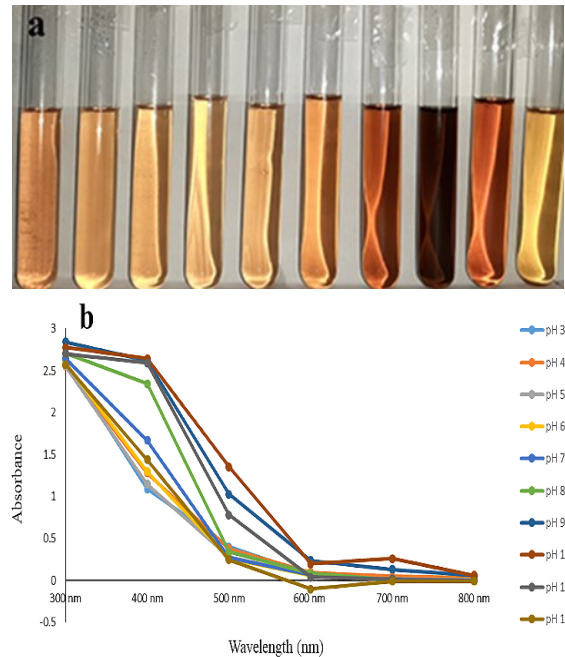
شکل (۱): پاسخ رنگی عصاره گل گاوزبان در رنج pH ۳ تا ۱۲ (از چپ به راست) (شکل ۱a). مقادیر جذب نوری عصاره گل گاوزبان تغییر رنگ یافته در طول موج ۳۰۰ تا ۸۰۰ نانومتر (شکل ۱b).

۳-۲- عصاره گل پنیرک

تصویر شماره ۲a تغییرات رنگی عصاره گل پنیرک را در pH‌های ۳ تا ۱۲ نمایش می‌دهد. تغییرات رنگی به دست آمده در pH ۵-۶ و هم‌چنین ۱۰-۹ بطور واضح قابل تشخیص نبوده و مشابه یکدیگر هستند. نمودار شماره ۲b جذب نوری عصاره‌های تغییر

۳-۳- عصاره میوه زرشک

تصویر شماره ۳a تغییرات رنگی عصاره میوه زرشک را در pH های مختلف نمایش می‌دهد. بر طبق تغییرات رنگی مشاهده شده، عصاره میوه زرشک طیف‌های رنگی جداگانه‌ای در pH های ۳ تا ۷ و ۱۲ ایجاد کرده است و تقریباً در این رنج pH رنگ‌ها مشابه یکدیگر هستند. همچنین جذب نوری این تغییرات رنگی هم موید این مطلب است. بر طبق نمودار شماره ۳b طیف‌ها در اغلب موارد دچار هم‌پوشانی شده‌اند و از یکدیگر قابل تفکیک نیستند. در مطالعه‌ای تغییرات رنگی قرمز تا زرد برای آنتوسیانین‌های استخراج شده از میوه زرشک در رنج pH ۱ تا ۱۴ گزارش شد [۲۲]. در مطالعه دیگری نیز حساسیت به pH آنتوسیانین‌های استخراج شده از میوه زرشک در مقابل تغییرات pH گوشت قرمز فاسد شده گزارش شد [۵].

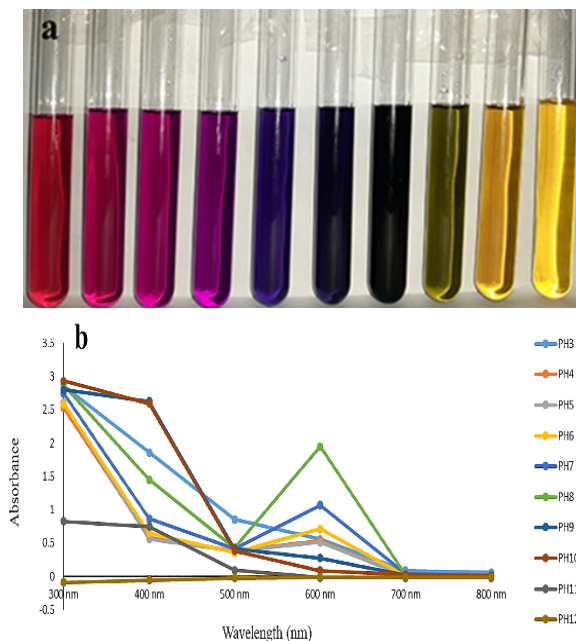


شکل (۳): پاسخ رنگی عصاره میوه زرشک در رنج pH ۳ تا ۱۲ (از چپ به راست) (شکل ۳a). مقادیر جذب نوری عصاره میوه زرشک تغییر رنگ یافته در طول موج ۳۰۰ تا ۸۰۰ نانومتر (شکل ۳b).

۳-۴- عصاره کلم قرمز

بر طبق نتایج به دست آمده، عصاره کلم قرمز طیف‌های رنگی بسیار متمایزی در pH های مختلف از خود نشان داده است. به گونه‌ای که در هر pH، یک رنگ متفاوت از سایر pH ها به وجود آمده است (تصویر ۴a) و این تمایز بالا در جذب نوری آن‌ها نیز کاملاً مشهود است. به طوری که نمودارهای به دست آمده کاملاً از هم جدا بوده و با یکدیگر هم‌پوشانی ندارند (تصویر ۴b). کلم قرمز یکی از بهترین منابع آنتوسیانین‌ها نظیر سیانیدین ۳ و ۵-دی گلیکوزید و سیانیدین ۳-دی گلیکوزید است که این رنگدانه‌ها

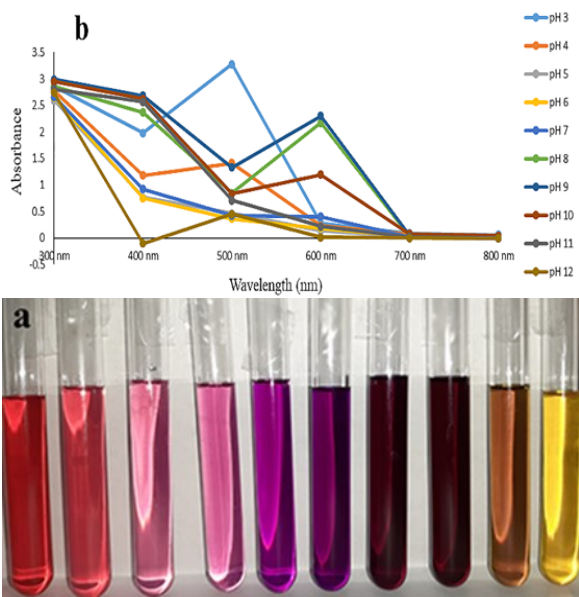
در برگ‌های این گیاه به وفور یافت می‌شود [۶]. رنگ عصاره کلم قرمز به دلیل آنتوسیانین‌های فراوان موجود در آن از قرمز در شرایط اسیدی، بنفش در شرایط خنثی و سبز مایل به زرد در شرایط قلیایی متغیر است. به همین دلیل از این گیاه به عنوان نشانگر pH استفاده می‌کنند. در یک مطالعه، تغییرات رنگی بسیار مشخصی از آنتوسیانین‌های کلم قرمز موجود در نوعی فیلم خوراکی که گوشت خوک با آن بسته‌بندی شده بود، گزارش شد [۲۳]. در مطالعه‌ای دیگر، فیلمی حساس به pH که حاوی آنتوسیانین‌های کلم قرمز بود برای پیش فساد شیر ساخته شد. بر طبق نتایج به دست آمده، رنگ فیلم طراحی شده از صورتی در pH کمتر از ۶ تا زرد در مقادیر بالاتر از ۶ تغییر نمود و عملکرد این فیلم برای ارزیابی فساد شیر بسیار مناسب گزارش گردید [۱۱]. علاوه بر این، کلم قرمز به دلیل داشتن مواد معدنی، ویتامین‌ها، الیگوساکاریدها و چندین ماده فعال زیستی مانند فلاونوئیدها و گلوکوزینولات‌ها، ارزش غذایی بالایی داشته و تاثیر مثبتی بر سلامت انسان دارد [۲۴].



شکل (۴): پاسخ رنگی عصاره کلم قرمز در رنج pH ۳ تا ۱۲ (از چپ به راست) (شکل ۴a). مقادیر جذب نوری عصاره کلم قرمز تغییر رنگ یافته در طول موج ۳۰۰ تا ۸۰۰ نانومتر (شکل ۴b).

۳-۵- عصاره پوست میوه سیب

عصاره پوست میوه سیب، پاسخ رنگی مناسبی در pH های مختلف نشان نداده است و همانطور که از نتایج مشخص است در pH های ۳ تا ۸ رنگ‌های به وجود آمده تقریباً طیف رنگی مشابهی (زرد رنگ) دارند و قابل تفکیک نیستند. از pH ۹ تا ۱۱ رنگ عصاره بین قهوه‌ای کم‌رنگ و پررنگ متغیر شد (تصویر ۵a). جذب نوری عصاره‌ها نیز در طول موج‌های مختلف هم این مسئله

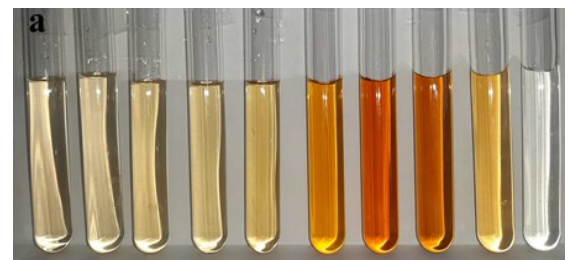
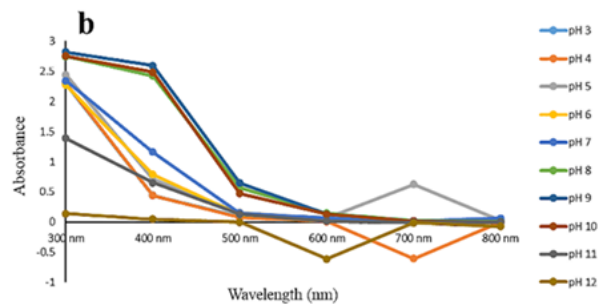


شکل (۶): پاسخ رنگی عصاره پوست تربچه در رنج pH ۳ تا ۱۲ (از چپ به راست) (شکل ۶a). مقادیر جذب نوری عصاره پوست تربچه تغییر رنگ یافته در طول موج ۳۰۰ تا ۸۰۰ نانومتر (شکل ۶b).

۳-۷- عصاره پوست ریشه چغندر قرمز

عصاره پوست ریشه چغندر قرمز در pH های ۳ تا ۷ تقریباً طیفی رنگی مشابهی از خود نشان داده (قرمز رنگ) و رنگ‌های ایجاد شده با یکدیگر تفاوت چندانی ندارند (تصویر ۷a). در pH های ۸ تا ۱۰ به ترتیب رنگ‌های قهوه‌ای پررنگ، قهوه‌ای مایل به سیاه، قهوه‌ای کم‌رنگ و زرد به وجود آمد. هم‌چنین جذب نوری عصاره‌ها تفکیک قابل ملاحظه‌ای از یکدیگر نشان دادند و در بیشتر طول موج‌ها دچار هم‌پوشانی بودند (تصویر ۷b). ترکیب فنلی محلول موجود در این گیاه، بتالائین نام دارد که باعث ایجاد رنگ قرمز - ارغوانی می‌شود. بتالائین‌ها رنگدانه‌های گیاهی نیتروژن‌دار محلول در آب هستند که شامل دو گروه رنگی، بتاسیانین‌های قرمز و بتازانتین‌های زرد رنگ می‌باشند [۲۵]. پایداری بتالائین‌ها در چغندر قرمز به شدت تحت تاثیر عوامل خارجی مانند اکسیژن، دما، pH، فعالیت آبی، نور و فرآیندهای شیمیایی و عوامل داخلی مانند آنزیم‌ها (پلی‌فنل اکسیدازها و پراکسیدازها) قرار دارد [۲۶]. بتانین، قسمت عمده بتالائین‌ها (۷۵ - ۹۵٪) را تشکیل می‌دهد که توسط اتحادیه اروپا به عنوان رنگ مجاز غذایی تحت عنوان E162 معرفی شده است [۲۷]. گو و همکاران [۹] یک نوع فیلم فعال هوشمند بر پایه پکتین پوست هندوانه و عصاره ریشه چغندر قرمز برای نمایش تازگی گوشت گوساله در طول نگهداری در یخچال ساختند. آن‌ها گزارش کردند که فیلم طراحی شده، تغییر رنگ مشخصی در رنج pH ۳-۱۰ از خود نشان می‌دهد. رنگ فیلم ساخته شده از صورتی تا قهوه‌ای به دنبال روند فساد گوشت گوساله تغییر کرد. آن‌ها نتیجه‌گیری کردند که فیلم ساخته شده، می‌تواند به عنوان

را تأیید می‌کند. چون نمودارهای به دست آمده در تمام طول موج‌ها دارای هم‌پوشانی هستند (نمودار ۵b). در مطالعه‌ای پاسخ رنگی عصاره پوست سیب قرمز در pH های ۲ تا ۱۳ مورد بررسی قرار گرفت. آن‌ها گزارش کردند که رنگ عصاره به دست آمده در pH های زیر ۶ قرمز روشن، در pH ۷ زرد کم‌رنگ، در pH ۸ تا ۱۲ بین قهوه‌ای مایل به قرمز تا قهوه‌ای تیره و در pH ۱۳ سبز تیره بود. آن‌ها تغییر رنگ به دست آمده را در نتیجه تغییر ساختار قابل برگشت آنتوسیانین‌های موجود در پوست سیب گزارش کردند. علت تفاوت رنگ‌های ایجاد شده با نتایج ما می‌تواند به متفاوت بودن نوع و رقم سیب به کار رفته باشد [۷].

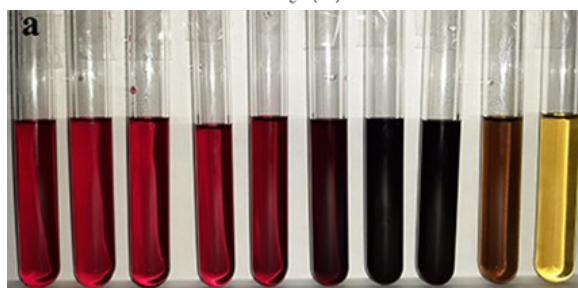
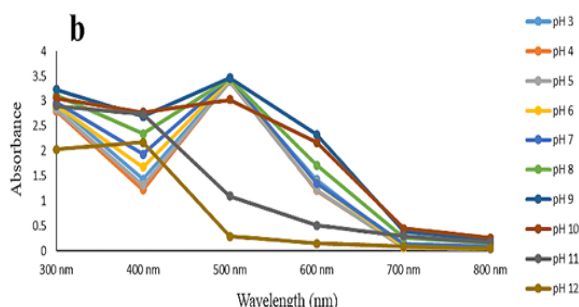


شکل (۵): پاسخ رنگی عصاره پوست میوه سیب در رنج pH ۳ تا ۱۲ (از چپ به راست) (شکل ۵a). مقادیر جذب نوری عصاره پوست میوه سیب تغییر رنگ یافته در طول موج ۳۰۰ تا ۸۰۰ نانومتر (شکل ۵b).

۳-۶- عصاره پوست تربچه

عصاره پوست تربچه طیف‌های رنگی متنوعی را در pH های مختلف از خود نشان داده است. به طوری که در pH ۳ تا ۱۲ به ترتیب رنگ‌های قرمز، صورتی پررنگ، صورتی کم‌رنگ، بنفش کم‌رنگ، بنفش پررنگ، قهوه‌ای پررنگ، قهوه‌ای کم‌رنگ و زرد ظاهر شد (تصویر ۶a). این تنوع رنگی منجر به ایجاد نمودارهای جدا از هم و قابل تفکیک در تصویر ۶b شده است. در مطالعه‌ای پاسخ رنگی آنتوسیانین‌های استخراج شده از تربچه قرمز در pH های مختلف مورد بررسی قرار گرفت و به ترتیب از pH ۲ تا ۱۲ رنگ‌های نارنجی، صورتی، صورتی مایل به بنفش، بنفش، آبی و زرد مشاهده شد. هم‌چنین نمودارهای مربوط به آنتوسیانین‌های تغییر رنگ داده شده حاصل از دستگاه طیف‌سنجی اشعه فرابنفش-مرئی (UV-VIS)، کاملاً از یکدیگر متمایز و قابل تفکیک گزارش شدند [۸].

یک نشانگر طبیعی pH برای نمایش تازگی گوشت گوساله مورد استفاده قرار بگیرد.



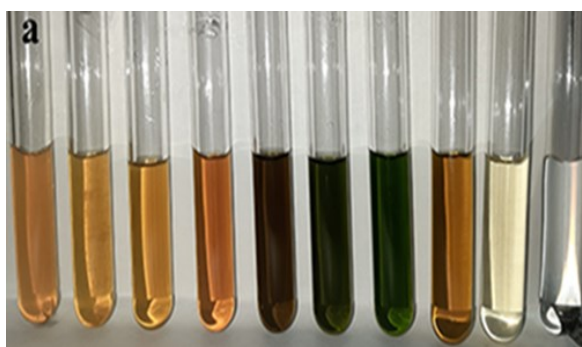
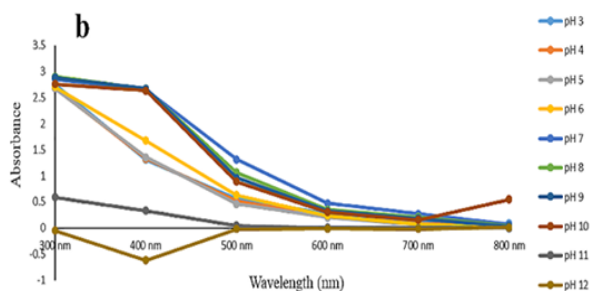
شکل (۷): پاسخ رنگی عصاره پوست ریشه چغندر قرمز در رنج pH ۳ تا ۱۲ (از چپ به راست) (شکل ۷a). مقادیر جذب نوری عصاره پوست ریشه چغندر قرمز تغییر رنگ یافته در طول موج ۳۰۰ تا ۸۰۰ نانومتر (شکل ۷b).

۳-۸- عصاره پوست بادمجان

عصاره پوست بادمجان در pH های اسیدی (۳ تا ۵) طیف رنگی مشابهی (زرد) ایجاد کرده و در pH های ۶ تا ۱۱ به ترتیب رنگ‌های نارنجی، قهوه‌ای پررنگ، سبز زیتونی، سبز پررنگ، قهوه‌ای کم‌رنگ، زرد کم‌رنگ را ایجاد کرده و در pH ۱۲ بی‌رنگ شده است (تصویر ۸a). جذب نوری به دست آمده از عصاره‌ها در طول موج‌های ۳۰۰ تا ۶۰۰ نانومتر قابل تفکیک هستند و در سایر طول موج‌ها دچار هم‌پوشانی شده‌اند (تصویر ۸b). رنگدانه‌های اصلی پوست بادمجان را آنتوسیانین‌های مختلف تشکیل می‌دهند. این گیاه دارای ترکیبات مهمی هم‌چون فنل‌ها، فلاونوئیدها، آنتوسیانین‌ها، ویتامین‌ها، مواد معدنی و ترکیبات آنتی‌اکسیدانی می‌باشد. مقادیر زیاد ترکیبات فنلی، فلاونوئیدی و قدرت آنتی‌اکسیدانی قابل توجه پوست بادمجان از یک طرف و اثرات نامطلوبی که آنتی‌اکسیدان‌های سنتزی بر سلامت انسان دارند از طرف دیگر، باعث شده است که از عصاره پوست بادمجان به عنوان یک آنتی‌اکسیدان طبیعی در فرمولاسیون مواد غذایی مستعد اکسیداسیون استفاده شود [۲۸]. از ترکیبات عمده پوست بادمجان، آنتوسیانین‌ها هستند که دارای عملکردهای فیزیولوژیک گوناگون مانند خواص آنتی‌اکسیدانی، ضد عفونی کننده، ضد سرطان و تقویت کننده بینایی می‌باشند. آنتوسیانین‌های عمده موجود در پوست بادمجان ناسونین و تولیپانین هستند؛ تحقیقات نشان داده است که قدرت

آنتی‌اکسیدانی ناسونین نسبت به سایر ترکیبات آنتوسیانینی، بیشتر است. در بادمجان ۴۰۰۰ ترکیب مهم وجود دارد که از این ترکیبات می‌توان به فنولیک اسیدها، آنتوسیانین‌ها، اسید آسکوربیک، گلوکوتایون، آمین‌های بیوژنیک، پلی‌فنل‌ها، فلاونوئیدها و ویتامین‌ها اشاره کرد و به همین دلیل ظرفیت بالایی در جذب رادیکال‌های آزاد دارد. پلی‌فنل‌ها و فلاونوئیدها، مهم‌ترین این ترکیبات هستند که معمولاً با یک حلقه آروماتیک همراه با گروه‌های هیدروکسیلی آزاد و یا به صورت ترکیب با کربوهیدرات قرار می‌گیرند [۳۰، ۲۹].

در یک مطالعه، بعد از استخراج آنتوسیانین‌های بادمجان بنفش و سیاه، پاسخ رنگی هر یک از آن‌ها بطور جداگانه در pH های مختلف مورد ارزیابی قرار گرفت. رنگ آنتوسیانین‌های بادمجان بنفش در رنج pH های ۶-۲، ۱۰-۷ و ۱۳-۱۱ به ترتیب صورتی، آبی و زرد گزارش شد. اما رنگ آنتوسیانین‌های بادمجان سیاه در pH های ذکر شده به ترتیب قرمز مایل به صورتی، بنفش و زرد به دست آمد. آن‌ها اعلام کردند که آنتوسیانین‌ها در pH های مختلف، ساختار متفاوتی با رنگ‌های مختلف از خود نشان می‌دهند [۱۰].



شکل (۸): پاسخ رنگی عصاره پوست بادمجان سیاه در رنج pH ۳ تا ۱۲ (از چپ به راست) (شکل ۸a). مقادیر جذب نوری عصاره پوست بادمجان سیاه تغییر رنگ یافته در طول موج ۳۰۰ تا ۸۰۰ نانومتر (شکل ۸b).

۴- نتیجه‌گیری

در مطالعه حاضر، کارایی تعدادی از نشانگرهای pH حاصل از محصولات و پس‌ماندهای گیاهی در مقابل تغییرات pH مورد ارزیابی قرار گرفت. بر طبق یافته‌های به دست آمده، عصاره‌های هیدروالکلی کلم قرمز و پوست تربچه قرمز طیف وسیع‌تری از

- [5] M. Alizadeh-Sani, M. Tavassoli, E. Mohammadian, A. Ehsani, G. J. Khaniki, R. Priyadarshi, and J. W. Rhim, "pH-responsive color indicator films based on methylcellulose/chitosan nanofiber and barberry anthocyanins for real-time monitoring of meat freshness," *Int. J. Biol. Macromol.*, vol. 166 pp. 741-750, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.10.231>
- [6] S. Pourjavaher, H. Almasi, S. Meshkini, S. Pirsai and E. Parandi, "Development of a colorimetric pH indicator based on bacterial cellulose nanofibers and red cabbage (*Brassica oleracea*) extract," *Carbohydr. Polym.*, vol. 156 pp. 193-201, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2016.09.027>
- [7] W. Lan, S. Wang, Z. Zhang, X. Liang, X. Liu, and J. Zhang, "Development of red apple pomace extract/chitosan-based films reinforced by TiO₂ nanoparticles as a multifunctional packaging material," *Int. J. Biol. Macromol.*, vol. 168 pp. 105-115, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.12.051>
- [8] K. Chayavanich, P. Thiraphibundet, and A. Imyim, "Biocompatible film sensors containing red radish extract for meat spoilage observation," *Spectrochim. Acta A Mol. Biomol. Spectrosc.*, vol. 226 pp. 117601, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.saa.2019.117601>
- [9] Z. Guo, Z. Ge, W. Li, L. Yang, L. Han, and I. Yu, "Active-intelligent film based on pectin from watermelon peel containing beetroot extract to monitor the freshness of packaged chilled beef," *Food Hydrocoll.*, vol. 119 pp. 106751, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2021.106751>
- [10] H. Yong, X. Wang, X. Zhang, Y. Liu, Y. Qin, and J. Liu, "Effects of anthocyanin-rich purple and black eggplant extracts on the physical, antioxidant and pH-sensitive properties of chitosan film," *Food Hydrocoll.*, vol. 94 pp. 93-104, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.03.012>
- [11] M. Raji, L. Foujji, M. Mekhzoum, M. Achaby, H. Essabir, R. Bouhfd, and A. Qaiss, "pH-indicative Films Based on Chitosan-PVA/Sepiolite and Anthocyanin from Red Cabbage: Application in Milk Packaging," *J. Bionic Eng.*, vol. 19 pp. 837-851, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1007/s42235-022-00161-9>
- [12] E. Boccalon, G. Viscusi, E. Lamberti, F. Fancello, S. Zara, P. Sassi, M. Marinozzi, M. Nocchetti, and G. Gorrasi, "Composite films containing red onion skin extract as intelligent pH indicators for food packaging," *Appl. Surf. Sci.*, vol. 593 pp. 153319, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2022.153319>
- [13] T. Gasti, S. Dixit, O. J. D'souza, V. D. Hiremani, S. K. Vootla, S. P. Masti, R. B. Chougale, and R. B. Malabadi, (2021). "Smart biodegradable films based on chitosan/methylcellulose containing *Phyllanthus reticulatus* anthocyanin for monitoring the freshness of fish fillet," *Int. J. Biol. Macromol.*, vol. 187 pp. 451-461. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2021.07.128>
- [14] P. Barkhordari, and B. Bazargani-Gilani, "Effect of apple peel extract and zein coating enriched with ginger essential oil on the shelf life of chicken thigh meat," *J. Food Meas. Charact.*, vol. 15(3) pp. 2727-2742, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11694-021-00863-4>
- [15] E. Tavakkoli, B. Bazargani-Gilani, and M. Pajohi-Alamoti, "The impacts of tomato residuum extract with Arabic gum and dill essential oil on the shelf life improvement of trout filets stored at chilly condition," *J. Food Saf.*, vol. 40 pp. 12812, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1111/jfs.12812>
- [16] J. Liu, H. Wang, P. Wang, M. Guo, S. Jiang, and X. Li, "Films based on κ -carrageenan incorporated with curcumin for freshness monitoring," *Food Hydrocoll.*, vol. 83 pp. 134-142, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.05.012>
- [17] A. Abed, M. Minaiyan, A. Ghannadi, P. Mahzouni, and M. R. Babavalian, "Effect of *Echium amoenum* Fisch. et Mey a traditional Iranian herbal remedy in an experimental model of acute pancreatitis," *ISRN Gastroenterol.*, vol. 2012 pp. 141548, 2012. DOI: <https://doi.org/10.5402/2012/141548>
- [18] B. Asghari, S. Mafakheri, M. Zarrabi, S. Erdem, I Orhan, and M. Bahadori, "Therapeutic target enzymes inhibitory potential, antioxidant activity, and rosmarinic acid content of *Echium amoenum*," *S. Afr. J. Bot.*, vol. 120 pp. 191-197, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2018.05.017>
- [19] S. Mohammadinejad, H. Almasi, and M. Moradi, "Immobilization of *Echium amoenum* anthocyanins into bacterial cellulose film: A novel colorimetric pH indicator for freshness/spoilage monitoring of shrimp," *Food Control*, vol. 113

تغییرات رنگی را در pHهای مختلف (۱۲-۳) از خود نشان دادند و عصاره‌های پوست ریشه چغندر قرمز، گل پنیرک، گل گاوزبان، پوست بادمجان، پوست سیب و میوه زرشک به ترتیب در رده‌های بعدی قرار گرفتند. بر اساس نتایج به دست آمده می‌توان نتیجه گرفت که عصاره‌های کلم قرمز و پوست تربچه قرمز، نسبت به تغییرات pH حساسیت بیشتری دارند و این تغییرات را با دقت بالاتری به نمایش می‌گذارند و می‌توانند به جای شناساگرهای شیمیایی و گرانتیمت، در نمایش به موقع فساد در بسته‌بندی‌های هوشمند مواد غذایی، مورد استفاده قرار بگیرند. از جمله محدودیت‌های تحقیق حاضر آن است که از نشانگرهایی که در pHهای قلیایی و یا اسیدی تغییر رنگ مناسبی نشان نمی‌دهند، نمی‌توان در مواد غذایی که با فساد آن‌ها به ترتیب pH قلیایی یا اسیدی پیدا می‌کنند، استفاده نمود، چون این نشانگرها قادر به ایجاد تغییر رنگ مناسب در این pHها نیستند. بنابراین در انتخاب نشانگر برای بسته‌بندی یک ماده غذایی باید به نقاط قوت و ضعف آن نشانگر توجه نمود. به عنوان مثال اگر یک ماده غذایی با فساد خود، pH قلیایی ایجاد می‌کند باید از نشانگری استفاده کرد که در pHهای قلیایی تغییر رنگ واضحی از خود نشان می‌دهد و چنانچه یک ماده غذایی با فساد خود، pH اسیدی ایجاد می‌کند باید از نشانگری استفاده کرد که در pHهای اسیدی تغییر رنگ مناسبی از خود به نمایش می‌گذارد. البته نشانگرهای عصاره کلم قرمز و پوست تربچه قرمز در هر دو حالت (اسیدی و قلیایی) تغییر رنگ مناسب و مجزایی از خود به نمایش می‌گذارند.

جداسازی و شناسایی دقیق ترکیبات حساس به pH نشانگرهای مورد مطالعه و کاربرد فرم خالص شده‌ی آن‌ها در pHهای مختلف، برای مطالعات آینده پیشنهاد می‌شود. همچنین بررسی میزان کارایی نشانگرهای معرفی شده و فرم خالص شده‌ی ماده موثره آن‌ها در تغییرات pH درون بسته بندی‌های هوشمند مواد غذایی به منظور نمایش به موقع فساد مواد غذایی در تحقیقات آینده، توصیه می‌گردد.

۵- مراجع

- [1] S. A. Sorki and Y. Maqsoodlou, "The application of smart and active packaging in the packaging of bread and other baking products," *J. Packag. Sci. Technol.*, vol. 4, no. 16, pp. 36-45, 2014. (In Persian)
- [2] S. Pourhamzeh, "Novel Trends in the Packaging of Meat and Meat Products," *J. Packag. Sci. Technol.*, vol. 12, no. 46, pp. 1-8, 2021. (In Persian)
- [3] S. A., Pilerood, and J. Prakash, "Evaluation of nutritional composition and antioxidant activity of Borage (*Echium amoenum*) and Valerian (*Valerian officinalis*)," *J. Food Sci. Technol.*, vol. 51 pp. 845-854, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13197-011-0573-z>
- [4] A. Almasian, F. Najafi, M. Eftekhari, M. R. S. Ardekani, M. Sharifzadeh, and M. Khanavi, "Polyurethane/carboxymethylcellulose nanofibers containing *Malva sylvestris* extract for healing diabetic wounds: preparation, characterization, in vitro and in vivo studies," *Mater. Sci. Eng., C*, vol. 114 pp. 111039, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.msec.2020.111039>

- [25] M. A. Flores-Mancha, M. G. Ruiz-Gutiérrez, R. Sánchez-Vega, E. Santellano-Estrada, and A. Chávez-Martínez, "Effect of Encapsulated Beet Extracts (*Beta vulgaris*) Added to Yogurt on the Physicochemical Characteristics and Antioxidant Activity," *Molecules*, vol. 26(16) pp. 4768, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/molecules26164768>
- [26] H. Maqbool, M. P. Safeena, Z. Abubacker, M. Azhar, and S. Kumar, "Effect of beetroot peel dip treatment on the quality preservation of Deccan mahseer (*Tor khudree*) steaks during frozen storage (-18 °C)," *LWT - Food Sci. Technol.*, vol. 151 pp. 112-222, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112222>
- [27] X. Yao, H. Hu, Y. Qin, and J. Liu, "Development of antioxidant, antimicrobial and ammonia-sensitive films based on quaternary ammonium chitosan, polyvinyl alcohol and betalains-rich cactus pears (*Opuntia ficus-indica*) extract," *Food Hydrocoll.*, vol. 106 pp. 105896, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2020.105896>
- [28] T. K. Koley, S. K. Tiwari, A. Sarkar, J. Nishad, A. Goswami, and B. Singh, "Antioxidant potential of Indian eggplant: comparison among white, purple and green genotypes using chemometrics," *Agric. Res.*, vol. 8 pp. 9-20, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1007/s40003-018-0347-1>
- [29] E. J. Jung, M. S. Bae, E. K. Jo, Y. H. Jo, and S. C. Lee, "Antioxidant activity of different parts of eggplant," *J. Med. Plant Res.*, vol. 5(495) pp. 4610-4615, 2011.
- [30] A. Amiri and A. Ramezani, "The effect of active antimicrobial packaging on the quality characteristics of fruits and vegetables," *J. Packag. Sci. Technol.*, vol. 12, no. 45, pp. 42-51, 2021. (In Persian)
- pp. 107169, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2020.107169>
- [20] M. Jafarian, P. Taghinia, and S. Sedaghati, "Development and characterization of a new active and intelligent packaging system based on soluble soybean polysaccharide-Malva sylvestris extract," *J. Food Sci. Technol.*, vol. 60 pp. 1944-1951, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13197-023-05727-x>
- [21] M. Ghorbani, E. Divsalar, R. Molaei, P. Ezati, M. Moradi, H. Tajik, and M. Abbaszadeh, "A halochromic indicator based on polylactic acid and anthocyanins for visual freshness monitoring of minced meat, chicken fillet, shrimp, and fish roe," *Innov. Food Sci. Emerg. Technol.*, vol. 74 pp. 102864, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2021.102864>
- [22] A. Khezerlou, M. Alizadeh Sani, M. Tavassoli, R. Abedi-Firoozjah, A. Ehsani, and D. Julian McClements, "Halochromic (pH-Responsive) Indicators Based on Natural Anthocyanins for Monitoring Fish Freshness/Spoilage," *J. Compos. Sci.*, vol. 7 pp. 143-149, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/jcs7040143>
- [23] T. V. Vo, T. H. Dang, and B. H. Chen, "Synthesis of Intelligent pH Indicative Films from Chitosan/Poly (vinyl alcohol)/Anthocyanin Extracted from Red Cabbage," *Polym.*, vol. 11 pp. 1088-1095, 2019. DOI: <https://doi.org/10.3390/polym11071088>
- [24] R. Abedi-Firoozjah, S. Yousefi, M. Heydari, F., Seyedfatehi, S. Jafarzadeh, R. Mohammadi, and F. Garavand, "Application of red cabbage anthocyanins as pH-sensitive pigments in smart food packaging and sensors," *Polym.*, vol. 14(8) pp. 1629-1637, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/polym14081629>