



ساخت حسگر زیستی هوشمند بر پایه ی نانوکریستال نشاسته و رز هلندی جهت تشخیص فساد مرغ

منا مرادی^۱، محمدجوکی^۲، مژگان امتیازجو^{۳*}، نرگس مورکی^۳، محمد جواد شکوری^۲

۱-دانشجوی دکتری، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده علوم زیستی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال، تهران، ایران

۲-استادیار دانشکده علوم زیستی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال، تهران، ایران

۳-دانشیار دانشکده علوم و فنون دریایی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال، تهران، ایران

چکیده

اطلاعات مقاله

در این مطالعه، یک فیلم هوشمند بهینه حساس به pH بر پایه نشاسته در سطح ۱٪ وزنی/حجمی حاوی ۰/۱٪ نانوبلورنشاسته سیب زمینی و آنتوسیانین استخراج شده از گیاه رز هلندی (*Rosa hybrida*) در سطح ۵/۰٪ وزنی/حجمی طراحی و برای تعیین فساد فیله گوشت مرغ در دمای یخچال در طول ۱۲ روز نگهداری مورد استفاده قرار گرفت. اندیس بازهای فرار نیتروژنی^۱ و تیوباریتوریک اسید^۲ نمونه مرغ به طور معنی داری در طول ۱۲ روز افزایش پیدا کرد. نتایج نشان داد که تلقیح عصاره در بیوفیلم، جمعیت کل باکتری‌ها و باکتری‌های سایکروفیل را در فیله‌های مرغ به ترتیب طی ۸ و ۱۲ روز به زیر سطوح قابل تشخیص تغییر داد. مطالعه حاضر نشان داد که تغییر رنگ فیلم هوشمند در پایان روز ذخیره سازی با الگوی رشد میکروبی و همچنین افزایش TBA، TVB- N و pH مطابقت دارد که ناشی از تولید مواد نیتروژنی و ترکیبات قلیایی توسط باکتری های مزوفیل و سایکروفیل است. بنابراین، فیلم نانوبلورهای نشاسته سیب زمینی/ نشاسته سیب زمینی حاوی عصاره گل رز هلندی می‌تواند به عنوان شاخص تازگی فیله گوشت استفاده شود.

تاریخ های مقاله :

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۳/۸

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۵/۳۱

کلمات کلیدی:

آنتوسیانین،

بسته بندی هوشمند،

باکتری سایکروفیل،

فیلم نشاسته‌ای،

بازهای فرار نیتروژنی

DOI: 10.22034/FSCT.20.142. 104

DOR:20.1001.1.20088787.1402.20.142.7.7

*مسئول مکاتبات:

moz_emtyazjoo@yahoo.com

۱- مقدمه

بسته بندی هوشمند را می توان بسته بندی فعال پیشرفته دانست که ضمن کنترل شرایط بسته بندی، اطلاعاتی در مورد کیفیت محصول در طول دوره انبارمانی و توزیع ارائه و قادر به انجام عملکرد های هوشمندانه نظیر تشخیص، قابلیت حسگر بودن، ثبت کردن، ردیابی، ارتباط و به کار بردن منطق علمی در جهت افزایش ایمنی و فراهم کردن اطلاعات و هشدار درباره مشکلات احتمالی است. خصوصیت منحصر به فرد این بسته بندی قابلیت آن در ارتباط با ماده غذایی است [۱].

نشانگرها ممکن است به عنوان ماده ای تعریف شوند که فقدان یا وجود ماده دیگری یا درجه واکنش بین دو یا چند ماده را با استفاده از تغییرات مشخصه به ویژه در رنگ نشان می دهد. تغییرات رنگ شاخص pH را می توان برای بررسی ترکیبات فرار اسیدی و یا بازی و ایجاد یک تغییر رنگ برگشت ناپذیر در ظاهر پیشنهاد کرد. نشانگرها ها به دلیل روش غیرمخرب، سادگی، هزینه کم و تشخیص آسان با چشم غیرمسلح پرکاربردترین ابزار هستند. تغییرات شیمیایی و بیولوژیکی در محصولات غذایی یکی از رخدادهای طبیعی محسوب می شوند. آلودگی توسط میکروارگانیسم ها نیز عامل اصلی فساد بیشتر غذاها است. میکروبها می توانند متابولیت های شیمیایی مختلفی مانند CO₂، اسیدهای آلی، الکل (اتانول)، سولفید هیدروژن (H₂S) و مولکول های حاوی نیتروژن تولید کنند که به عنوان مولکول های هدف، مناسب برای شاخص ها پیشنهاد شده اند [۲].

آنتوسیانین ها ترکیباتی بسیار ناپایدار در مقابل pH، نور، اکسیژن، دمای نگهداری، حضور آنزیم ها، دی اکسید گوگرد، یون های فلزی، کوپیگمان ها، ساختمان و غلظت آنتوسیانین ها و حضور ترکیبات دیگر همچون سایر فلاونوئیدها و مواد معدنی هستند. آنتوسیانین ها، مسئول رنگ های مختلف گل و میوه هستند. ترکیبات فنلی عناصر مشتق شده از گیاه با

چندین فعالیت زیستی هستند، به ویژه توانایی های آنتی اکسیدانی و ضد میکروبی دارند. مهمتر از همه ترکیبات فنولیک استخراج شده از گیاهان بی خطر هستند. بنابراین می توان فیلم های بسته بندی را با ترکیب آنتوسیانین ها برای نظارت بر کیفیت مواد غذایی تولید کرد. بعلاوه آنتوسیانین ها بعنوان یک شاخص مهم و حساس به pH برای ارزیابی فساد مواد غذایی بکار می روند [۳]. در بین رنگدانه های آنتوسیانین، سیانیدین-۳- گلوکوزید، آنتوسیانین اصلی است که در بیشتر گیاهان یافت می شود. سبزیجات برگ سبز، غلات، انواع توت ها، انگور و برخی از میوه های گرمسیری دارای محتوای آنتوسیانین بالایی هستند. علاوه بر این هویج، کلم قرمز و سیب زمینی غنی از آنتوسیانین بوده که برای پیشگیری از بیماری ها مصرف می شوند. در شرایط اسیدی آنتوسیانین ها قرمز به نظر می رسند و دارای رنگ بنفش در pH خنثی هستند اما با افزایش pH آبی می شوند [۴]. آنتوسیانین استخراج شده از توت سیاه رسیده برای ایجاد یک شاخص کیفیت برای نظارت بر کیفیت گوشت مرغ تازه در طول ذخیره سازی استفاده شده است [۵]. گل رز حاوی رنگدانه های آنتوسیانین از سیانیدین چند ظرفیتی و مالویدین-گلیکوزید می باشد. گل رز حاوی اجزای فنلی است که توسط آگلیکون از طریق پیوند گلیکوزیدی متصل شده است [۶].

نشاسته از جمله فراوانترین و ارزان ترین پلیمرهای موجود در طبیعت است. قابلیت تشکیل فیلم نشاسته به محتوی آمیلوز موجود در آن نسبت داده می شود. حضور زنجیره های جانبی از ارتباط بین مولکولی جلوگیری کرده و ویژگی فیلم پذیری پلی ساکارید را ضعیف می کنند، بنابراین فیلم های بر پایه آمیلوپکتین شاخه دار ضعیف و شکننده هستند، در حالی که مولکول های خطی آمیلوز تشکیل فیلم های قوی و انعطاف پذیر می دهند [۷]. استفاده از اسانس ها، عصاره و ذرات نانو سبب می شود که خواص مکانیکی، نفوذپذیری و هیدروفیلی فیلم های نشاسته ای بهبود پیدا کند و

شیکر با سرعت ۱۲۰ دور در دقیقه در دمای 40 ± 1 درجه سانتی‌گراد قرار گرفت. سپس مخلوط در ۱۰۰۰ دور بر دقیقه به مدت ۱۰ دقیقه سانتریفیوژ و با آب مقطر شسته شد تا به pH برابر ۷ برسد.

۲-۴- تهیه فیلم نشاسته سیب زمینی و هوشمند حساس به pH

برای تهیه محلول اولیه تشکیل فیلم، نشاسته سیب زمینی در سطح ۱٪ (وزنی/حجمی)، نانوبلورهای نشاسته سیب زمینی در ۰/۱ درصد وزنی/حجمی و گلیسرول در ۰/۵ درصد وزنی/حجمی. در ۱۰۰ میلی لیتر آب مقطر با هم زدن ۷۰۰ دور بر دقیقه به مدت ۳۰ دقیقه حل شد. محلول‌ها توسط Ultra-Turra دیجیتال در ۱۰۰۰۰ دور در دقیقه به مدت ۲ دقیقه همگن و در سانتریفیوژ یخچالی (Sigma 8K، آلمان) با چرخش ۳۰۰۰ دور بر دقیقه به مدت ۵ دقیقه قرار داده شدند تا حباب‌های هوا از محلول حذف شوند [۱۰]. فیلم‌های نشاسته سیب زمینی با اضافه نمودن ۳۰ میلی‌لیتر از هر محلول تشکیل‌دهنده فیلم در ظرف پتری پلاستیکی به قطر ۸۰ میلی‌متر و قرار دادن آن‌ها در اجاق با دمای 42 ± 2 درجه سلسیوس به مدت ۲۴ ساعت ساخته شدند. فیلم مناسب با توجه به ظاهر مناسب، شفافیت و انعطاف پذیری انتخاب گردید [۱۱].

فیلم‌های حسگر با استفاده از محلول تشکیل فیلم نشاسته‌ای و افزودن پودر عصاره فعال زیستی گلبرگ‌های رز تهیه شدند. ۰/۵ گرم پودر عصاره به ۱۰۰ میلی لیتر از محلول تشکیل‌دهنده فیلم اضافه و پس از اختلاط کامل، مخلوط با Ultra-Turrax دیجیتال در دور ۲۰۰۰ به مدت ۵ دقیقه همگن شد. مخلوط حاصل به پتری‌دیش انتقال و به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۴۰ درجه سلسیوس قرار گرفت تا خشک شود.

۲-۵- نفوذپذیری اکسیژن فیلم حسگر

برای تعیین نفوذپذیری اکسیژن (OP) فیلم حسگر، از دستگاه تست نفوذپذیری گاز GDP (CD-80335، مونیخ) استفاده

از طرف دیگر استفاده از این افزودنی‌ها و حساسیت به عواملی مانند pH سبب می‌شود که فیلم مورد نظر به عنوان یک بسته بندی هوشمند قلمداد شود. بر این اساس در تحقیق حاضر از عصاره گل رز هلندی به عنوان یک منبع غنی از آنتوسیانین برای ایجاد یک حسگر حساس به pH بر پایه فیلم نشاسته سیب زمینی برای نظارت بر تازگی فیله مرغ استفاده گردید.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- مواد

گل‌های رز از بازار محلی تهران خریداری شد، سپس خشک و تا زمان استفاده در مکانی تاریک و خشک نگهداری شد. نشاسته سیب زمینی از شرکت داروسازی نانو البرز (کرج، ایران) تهیه شد. سایر معرف‌های مورد استفاده دارای درجه آزمایشگاهی بودند. تمام مواد شیمیایی از شرکت سیگما آلدریج (سنت لوئیس، ایالات متحده آمریکا) خریداری شد.

۲-۲- استخراج عصاره گیاه رز

برای استخراج ترکیبات فعال زیستی، روش استخراج آبی استفاده شد [۸]. بدین منظور حلال اتانول آب به نسبت ۲۰:۸۰ به حجم ۵۰۰ میلی لیتر تهیه و با ۵۰ گرم پودر گل رز مخلوط و برای استخراج موثر، از حمام اولتراسونیک در دمای ۳۰ درجه سلسیوس به مدت ۲۰ دقیقه استفاده گردید. پس از صاف کردن عصاره با کاغذ صافی (واتمن، شماره ۴) با استفاده از خشک کن انجمادی (Armfield FT-33, Ltd., Ringwood، انگلستان) در دمای ۵۵- درجه سلسیوس به مدت ۲۴ ساعت در فشار ۲۲-۴۰ پاسکال؛ عصاره خشک و در مکانی تاریک و خشک نگهداری گردید.

۲-۳- تهیه نانوبلورهای نشاسته سیب زمینی

نانوبلورهای نشاسته سیب زمینی بر اساس روش پیشنهادی توسط Zhou و همکاران (۲۰۱۶) تهیه شدند [۹]. ۲۵ گرم نشاسته سیب زمینی در ۲۵۰ میلی لیتر اسید سولفوریک مولار ۳/۱۶ مولار مخلوط و سوسپانسیون به مدت ۷ روز روی

میانگین اندازه‌گیری گزارش شد. TVB-N به عنوان میلی گرم نیتروژن / ۱۰۰ (N) گرم نمونه بیان شد.

۲-۱۰- آنالیز میکروبی

۲۵ گرم نمونه به صورت اسپتیک تهیه شد و به ۲۲۵ میلی لیتر محلول آب پیتون استریل (۰/۱ درصد) منتقل شد. سپس مخلوط به مدت ۲ دقیقه با استفاده از یک مخلوط کن استریل همگن شد. برای شمارش میکروبی، نمونه‌های ۰/۱ میلی‌لیتری از رقت‌های سریال (۱۰:۱، رقیق‌کننده) هم‌ژنه‌های نمونه در محیط کشت پلیت کانت آگار پخش شد. تعداد کل میکروارگانسیم‌های زنده (TVC) و شمارش تعداد سرماگرا (PTC) بر روی محیط پلیت کانت آگار استاندارد (PCA, Merck) در دمای ۷ درجه سلسیوس به مدت ۱۲ روز مورد بررسی قرار گرفتند [۱۲].

۲-۱۱- تعیین رنگ:

تغییرات رنگ فیلم حسگر با استفاده از رنگ سنج مینولتا (CR-400, Japan) اندازه‌گیری شد. پس از اندازه‌گیری پارامترهای روشنایی (L)، قرمزی (a) و زردی (b)، اختلاف رنگ کل (ΔE) فیلم قرار داده شده روی نمونه‌ها محاسبه شد و تفاوت ثبت شد (معادله ۱). همچنین تغییرات رنگ فیلم پوشش داده شده روی نمونه‌ها به صورت بصری بررسی شد. (۱)

$$\Delta E = \sqrt{(L - L_f)^2 + (a - a_f)^2 + (b - b_f)^2}$$

و L_f ، a_f و b_f مقادیر پارامترهای رنگ L ، a و b برای

نمونه تازه هستند [۱۶].

۲-۱۲- آنالیز آماری

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها با استفاده از نرم افزار SPSS/۱۷ (نسخه: ۲۱،۰) و Excel انجام شد سپس همگنی واریانس داده‌ها صورت می‌گیرد. جهت مقایسه‌ی آماری ویژگی‌های فیلم ابتدا از تجزیه‌ی واریانس (ANOVA) سپس برای مقایسه‌ی میانگین‌ها از آزمون مقایسه چندگانه دانکن ($p < 0.05$) استفاده شد و نتایج

شد. به طور خلاصه، فیلم روی یک ماسک فولادی ضد زنگ با سطح آزمایش باز ۰/۱۴۳ متر مربع قرار گرفت و در معرض جریان اکسیژن در دمای ۲۴ درجه سانتیگراد و ۵۰٪ RH قرار گرفت [۱۲].

چهار اندازه‌گیری برای تعیین نفوذپذیری انجام شد و میانگین داده‌ها به عنوان نرخ ($OP \text{ cm}^3 \mu\text{m}^2 \text{ d kPa}$) گزارش شد.

۲-۶- خواص مکانیکی فیلم حسگر و نشاسته سیب زمینی یک تحلیلگر بافت بروکفیلد (CT3، ایالات متحده آمریکا) برای تعیین خواص مکانیکی فیلم حسگر استفاده شد و تحلیل مکانیکی انجام شد [۱۳]. خواص مکانیکی مورد بررسی شامل ازدیاد طول در شکست (EB) و استحکام کششی (TS) بود.

۲-۷- تهیه نمونه‌های مرغ

نمونه‌های مرغ تازه خریداری شده از بازار تهران پس از آماده سازی در یخ قرار داده و به آزمایشگاه منتقل شدند و خصوصیات میکروبی و شیمیایی آنها در روزهای ۰، ۴، ۸ و ۱۲ تعیین گردید.

۲-۸- اندازه‌گیری pH نمونه‌های مرغ:

برای تعیین pH نمونه‌های مرغ از pH متر آزمایشگاهی (Jenway, 3510 انگلستان) استفاده شد. ۱۰ گرم نمونه در ۱۰۰ میلی لیتر آب مقطر همگن شده و الکتروود دستگاه در مخلوط قرار داده شد.

۲-۹- اندازه‌گیری اندیس تیوباریتوریک اسید (TBA) و

بازهای فرار نیتروژنی (TVB-N)

تعیین اندیس تیوباریتوریک با توجه به روش توصیف شده توسط Jouki و همکاران (۲۰۱۴) انجام شد [۱۴]. با محاسبه مقدار مالون دی آلدئید (mg/kg نمونه مرغ) تعیین گردید. برای تعیین محتوای TVB-N از روش توصیف شده توسط Malle و همکاران (۱۹۸۷) استفاده شد [۱۵] و

بازهای فرار نیتروژنی (TVB-N) پارامتری است که ترکیبات متشکل از آمونیاک و آمین‌های اولیه، ثانویه و سوم را تعیین می‌کند و افزایش آن مربوط به فعالیت باکتری‌های فساد و آنزیم‌های درون‌زا مرتبط است [۲۰]. افزایش محتوای TVB-N وابسته به فساد باکتریایی و فعالیت‌های آندوژن می‌باشد [۲۱]. به این صورت که بازهای فرار با جدا شدن آمین‌ها از اسیدهای آمینه توسط آنزیم‌های میکروبی تولید می‌شوند [۲۲]. براساس دستورالعمل دفتر نظارت بر بهداشت عمومی سازمان دامپزشکی کشور، در صورتی که میزان tvb-n در گوشت مرغ بیش از ۲۷ میلی‌گرم در هر ۱۰۰ گرم گوشت باشد، گوشت غیرقابل مصرف خواهد بود. این میزان اگر حداکثر ۲۰، ۲۱-۲۴ و ۲۵-۲۷ میلی‌گرم در هر ۱۰۰ گرم باشد، مصرف گوشت به ترتیب مطلوب، قابل مصرف و مصرف سریع خواهد بود [۲۳].

میزان TVB-N بر حسب میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم نمونه در گوشت مرغ در شکل ۲ نشان داده شده است. براساس نتایج بدست آمده با افزایش مدت زمان نگهداری، میزان TVB-N به طور معنی‌داری افزایش می‌یابد ($p < 0.05$). این روند موافق با تحقیقات مرتبط قبلی در مورد دیگر گونه‌های طیور می‌باشد [۲۴]. حداقل و حداکثر میزان TVB-N در گوشت مرغ به ترتیب ۱۰/۶۴ میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم نمونه در روز اول و ۳۶/۱۹ میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم نمونه در روز ۱۲ می‌باشد. افزایش میزان TVB-N در طول دوره نگهداری را با فعالیت‌های باکتری‌های مولد فساد می‌توان مرتبط دانست، میزان بالای فعالیت باکتری‌ها ترکیباتی نظیر تری‌متیل‌آمین اکساید و پپتیدها و آمینواسیدها را به بازهای فرار می‌شکند [۲۵]. Ali Sahari در سال (۲۰۱۳) گزارش کرده‌اند که سطح TVB-N در گوشت طیور اگر مقدار برابر با ۶/۱۹ mgN/100g باشد نشانه مرز تازگی مرغ است [۲۶].

Ojagh و همکاران (۲۰۱۰) [۲۷] گزارش کردند که TVB-N در فیله قزل‌آلای رنگین کمان روکش‌دار با ترکیب

بصورت میانگین \pm انحراف معیار ارائه شد. از نرم افزار گراف پد جهت آنالیز نتایج ارزیابی همبستگی استفاده شد.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- pH مرغ:

pH نمونه‌ها در ابتدای دوره نگهداری در نمونه مرغ برابر با ۵/۱۳ بود که با افزایش زمان نگهداری تا ۱۲ روز به ۷/۱۱ افزایش یافت (شکل ۱). براساس نتایج به دست آمده با افزایش مدت زمان نگهداری، میزان pH نمونه مرغ به طور معنی‌داری افزایش یافت ($p < 0.05$). که در توافق با مطالعات قبلی می‌باشد [۱۷]. افزایش pH در تیمارها می‌تواند به دلیل فعالیت میکروارگانیسم‌ها و افزایش ترکیبات فرار مانند: آمونیاک، تری‌متیل‌آمین و دی‌متیل‌آمین باشد [۱۸]. نتیجه این مطالعه مبنی بر وجود همبستگی بین تغییر رنگ بسته‌بندی با تغییرات pH منطبق با نتایج بیان‌شده توسط Yan و همکاران (۲۰۱۹) است که از معرف کاغذی لیت‌موس جهت جداسازی زمان واقعی تازگی گوشت گاو استفاده نمود [۱۹].

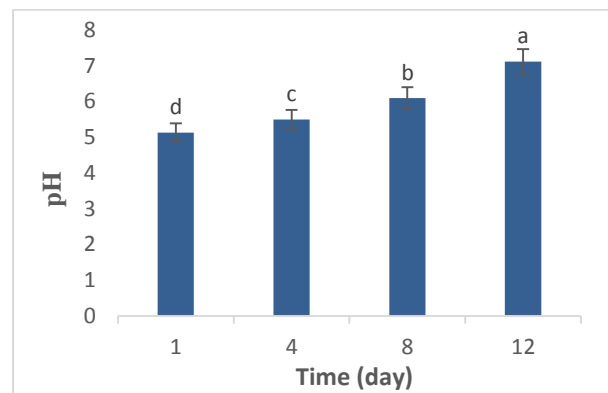


Fig 1) pH of chicken samples packaged with potato starch/ potato starch nanocrystals/Dutch rose extraction for 12 days. Different letters show significant difference at $p < 0.05$

۳-۲- اندیس بازهای فرار نیتروژنی (TVB-N) و

تیوباریتوریک اسید (TBA) نمونه مرغ

در هر کیلوگرم گوشت را شروع اکسیداسیون چربی و آغاز تغییر در طعم گوشت مرغ بیان کرده اند در حالیکه **Teets** و همکاران در سال ۲۰۰۸، میزان ۳ میلیگرم مالون دی آلدئید در هر کیلوگرم را همراه با فساد اکسیداتیو در گوشت گزارش نموده اند [۳۱، ۳۲].

در مطالعه **Yingyuad** و همکاران (۲۰۰۶) نشان دادند که استفاده از پوشش کیتوزان در گوشت خوک نگهداری شده در دمای یخچالی باعث کاهش قابل توجه اکسیداسیون چربی و افزایش کیفیت و مدت ماندگاری گوشت می‌گردد [۳۳].

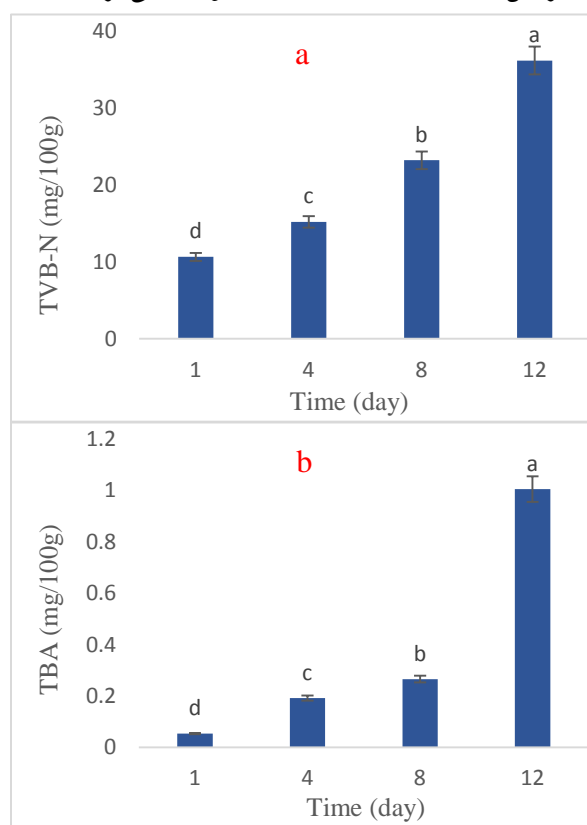


Fig 2 (a) TVB-N, (b) TBA of chicken samples packaged with potato starch/potato starch nanocrystals/Dutch rose extraction for 12 days. Different letters show significant difference at $p < 0.05$

کیتوزان و اسانس دارچین، فیله‌های روکش‌دار شده با کیتوزان و فیله‌های شاهد به طور معنی‌داری طی دوره نگهداری افزایش یافت، با این وجود تا انتهای زمان نگهداری (روز ۱۶) میزان افزایش در فیله‌های روکش‌دار شده با ترکیب کیتوزان و اسانس دارچین در مقایسه با فیله‌های روکش‌دار شده با کیتوزان و نهایتاً فیله‌های شاهد کمتر بود. به دلیل رشد باکتری بالاتر در نمونه شاهد و میزان بازهای ازته فرار هم بیشتر است، درپوشش‌دهی کیتوزان با آنتوسیانین میزان بازهای ازته فرار کمتر بود که آن را می‌توان به دلیل عدم رشد باکتری‌ها در این نوع پوشش مرتبط دانست. بنابراین می‌توان گفت که پوشش‌دهی باعث حفظ کیفیت نمونه‌ها در کل دوره نگهداری می‌شود و پوشش‌های خوراکی به صورت ماده ضد میکروبی عمل کرده و بر میزان بازهای فرار تاثیر گذار می‌باشند می‌توان نتیجه گرفت که پوشش‌دهی در کاهش بازهای فرار نمونه‌های فیله مرغ در طی نگهداری موثر بوده است. تیوباربتوریک اسید معمولاً جهت سنجش وضعیت اکسیداسیون غذاهای گوشتی به کار می‌رود [۲۸]. براساس نتایج بدست آمده با افزایش مدت زمان نگهداری، میزان تیوباربتوریک اسید به طور معنی‌داری افزایش می‌یابد ($p < 0.05$). حداقل و حداکثر میزان تیوباربتوریک اسید در فیله مرغ به ترتیب ۰/۰۵۴ در روز اول و ۱/۰۰۶ در روز ۱۲ در ۱۰۰ گرم نمونه می‌باشد. (شکل ۲). حضور TBA در جریان اکسیداسیون خود به خودی چربی که در طی آن پراکسیدها به آلدئیدها و کتون تبدیل می‌شود، به محتوای ترکیبات ثانویه اکسیداسیونی بستگی دارد [۲۹]. اما میزان TBA ممکن است میزان واقعی اکسیداسیون لیپیدها را نشان ندهد، زیرا که مالون دی‌آلدئیدها می‌توانند با دیگر ترکیبات فیله مرغ واکنش نشان دهند. از جمله این ترکیبات می‌توان به آمین‌ها، نوکلئوتیدها و اسیدهای نوکلئیک، پروتئین‌ها، اسیدهای آمینه و فسفولیپیدها اشاره نمود. چنین واکنش‌هایی به میزان زیادی به نوع گونه طیور بستگی دارد [۳۰]. **Buyn** و همکاران در سال ۲۰۰۳، میزان ۲ میلیگرم مالون دی آلدئید

۳-۳- بررسی شمارش کلی باکتری‌ها و باکتری‌های

سایکروفیل

بر اساس نتایج بدست آمده با افزایش مدت زمان نگهداری، میزان لگاریتم شمارش کلی باکتری‌ها به طور معنی‌داری افزایش می‌یابد ($p < 0.05$). حداقل و حداکثر میزان لگاریتم شمارش کلی باکتری‌ها در فیله مرغ به ترتیب ۴/۲ در روز اول و $7/5$ ($\log \text{CFU}/\text{g}$) در روز ۱۲ می‌باشد (شکل ۳a). در تحقیق حاضر میزان کل باکتری‌ها در روز هشتم دوره نگهداری به میزان $7/1 \log \text{CFU}/\text{g}$ رسید که از حد مجاز توصیه شده فراتر رفت، بنابراین از نمونه‌های فیله مرغ به عنوان نمونه‌های فاسد در این روز برای بررسی تغییرات رنگ فیلم حسگر استفاده شد.

سطوح لاشه تازه کشتار شده بطور معمول حاوی 10^3 تا 10^5 باکتری در هر سانتیمتر مربع لاشه یا یک گرم گوشت می‌باشد که در اثر شرایط بد نگهداری و مساعد برای رشد میکروارگانیسمها به سرعت تعداد آنها افزایش یافته و وقتی تعداد آنها به بیش از 10^7 در هر سانتیمتر مربع از گوشت برسد فساد شروع خواهد شد که در این صورت سطح گوشت کدر و لزج شده و بوی نامطبوع می‌دهد [۳۴]. در مطالعه Yao و همکاران (۲۰۱۳) اثر ضد باکتریایی پوشش‌های زیست تخریب‌پذیر بر روی باکتری‌ها تایید شد [۳۵]. کاهش قابل توجه در شمارش کل باکتری‌ها در نمونه‌های پوشش‌دار به دلیل اعمال پوشش است که به عنوان سدی در مقابل انتقال اکسیژن عمل کرده و منجر به مهار رشد باکتری‌های هوازی می‌شود [۳۶].

شمار بالایی از بار میکروبی می‌تواند در محصول خام پیدا شود که وابسته به شرایط نگهداری و آلودگی‌های ثانویه است. آئروموناس، موراکسلا و سودوموناس‌ها از مهم‌ترین گروه‌های باکتریایی هستند که از گوشت طیور جدا شدند [۳۷]. افزایش بار میکروبی کل برای هر تیمار در طول دوره نگهداری به میزان رعایت اصول بهداشتی در روش‌های عمل آوری و میزان اولیه باکتری بستگی دارد. افزایش دما و

افزایش طول دوره نگهداری باعث رشد و تکثیر باکتری‌ها می‌شود [۳۸].

بر اساس نتایج بدست آمده با افزایش مدت زمان نگهداری، میزان لگاریتم شمارش کلی باکتری‌های سایکروفیل هم در نمونه مرغ به طور معنی‌داری افزایش می‌یابد ($p < 0.05$). حداقل و حداکثر میزان لگاریتم شمارش کلی باکتری‌های سایکروفیل در فیله مرغ به ترتیب ۳/۱ در روز اول و \log (CFU//g) ۹/۸ در روز ۱۲ می‌باشد (شکل ۳b). دلیل افزایش بار میکروبی در دماهای پایین می‌تواند به دلیل رشد باکتری‌های سرماگرا باشد. در نمونه حاوی آنتوسیانین به دلیل حضور آنتوسیانین‌ها به عنوان نگهدارنده و همچنین خواص آنتی‌اکسیدانی که دارند نسبت به سایر تیمارها رشد کمتری داشتند. نتایج به دست آمده از آزمایش‌های شمارش میکروبی باکتری‌های سرماگرا مطابق با دیگر نتایج بود [۳۹، ۴۰]. باکتری‌های هوازی سرماگرا از قبیل گونه‌های سودوموناس جزء گروه‌های باکتریایی غالب در گوشت طیور و ماهی هستند که به طور گسترده‌ای به فساد گوشت نگهداری شده در شرایط هوازی کمک می‌کنند [۴۱]. بار باکتریایی مجاز برای باکتری‌های سرمادوست هوازی ($\log \text{CFU}/\text{g}$) ۷ گزارش شده است [۴۲]. که برای نمونه مرغ در روز ۸ بیش از حد مجاز گردید. باکتری‌های سرماگرای گرم منفی، گروه اصلی میکروارگانیسم‌های مولد فساد در شرایط هوازی و در دمای سرد می‌باشند [۴۳، ۲۷]. در این مطالعه باکتری‌های سرماگرا فلور غالب بوده و نقش عمده این باکتری‌ها در فساد نمونه‌ها، آمین زدایی اسیدهای آمینه آزاد و تولید ترکیبات نیتروژنی فرار می‌باشد که علاوه بر کاهش ارزش غذایی، سبب ایجاد بو و طعم نامطبوع در آنها می‌شوند. این نتایج با نتایج سایر محققان در مورد بار باکتری‌های سرماگرا در سایر گونه‌ها در طول نگهداری در سرما مطابقت داشت [۴۴، ۴۵].

مقاومت کششی در فیلم حاوی عصاره گل رز بیشتر از فیلم حاوی نشاسته سیب زمینی می باشد که از نظر آماری اختلاف معناداری بین نمونه ها داشت ($p < 0.05$).

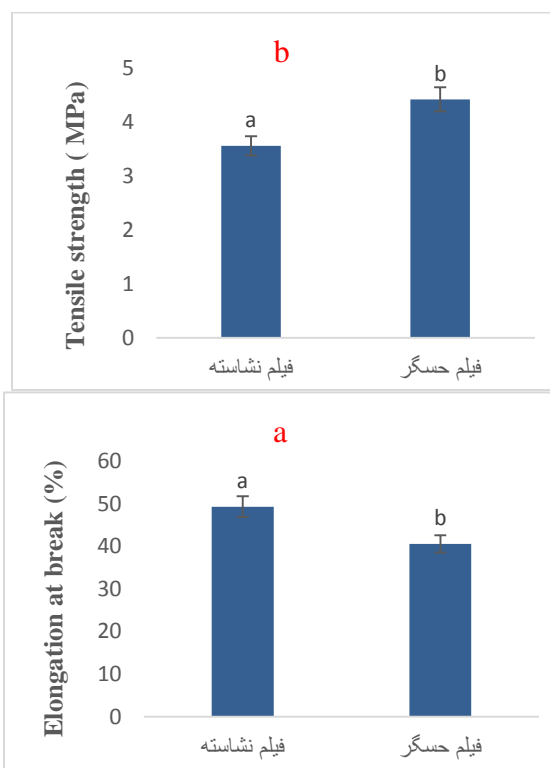


Fig 4) (a) Elongation at break **(b)** Tensile strength in potato starch film and pH-sensitive intelligent film. Different letters show significant difference at $p < 0.05$

خصوصیات مکانیکی پلیمر های مرکب از جمله خصوصیات است که به میزان برهم کنش ها در سطح مشترک ترکیبات بستگی دارد. به طور کلی برقراری برهم کنش های مناسب میان ترکیبات سبب بهبود معنی دار در ویژگی های مکانیکی فیلم ها می شود [۴۶]. خواص مکانیکی فیلم ها به نیروهای بین مولکولی زنجیره های پلیمری سازنده آنها، نسبت ترکیبات سازنده، افزودنی های اضافه شده و شرایط محیطی بستگی دارد. استحکام کششی، حداکثر تنش لازم برای پاره شدن فیلم طی آزمون کششی ارزیابی می شود. استحکام کششی با دستگاه تجزیه و تحلیل بافت اندازه گیری میشود

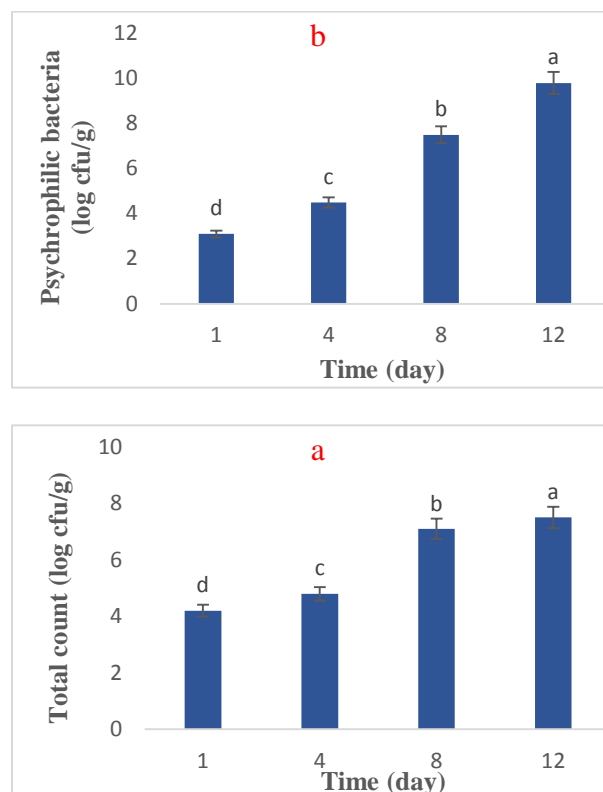


Fig 3) (a) Total count, **(b)** Psychrophilic bacteria of chicken samples packaged with potato starch/potato starch nanocrystals/Dutch rose extraction for 12 days. Different letters show significant difference at $p < 0.05$

۳-۴- بررسی خواص مکانیکی فیلم حسگر و فیلم نشاسته

سیب زمینی

نتایج مقایسه میانگین درصد ازدیاد طول در هنگام شکستن فیلم حاوی نشاسته سیب زمینی و فیلم حاوی عصاره گل رز در نمودار زیر آمده است. بر اساس نتایج بدست آمده میزان درصد ازدیاد طول در هنگام شکستن در فیلم حاوی عصاره گل رز کمتر از فیلم حاوی نشاسته سیب زمینی می باشد که از نظر آماری اختلاف معناداری بین نمونه ها داشت ($p < 0.05$).

همچنین نتایج مقایسه میانگین میزان مقاومت کششی فیلم حاوی نشاسته سیب زمینی و فیلم حاوی عصاره گل رز در نمودار زیر آمده است. بر اساس نتایج بدست آمده میزان

یکی دیگر از شاخص های مورد ارزیابی رنگ سنجی بود که با استفاده از دستگاه رنگ سنج مینولتا (CR-400, Japan) تغییرات رنگی حسگر مورد نظر ثبت گردید و با تغییر در طیف رنگی خاصی بیانگر آلودگی نمونه مورد نظر بود. اعداد حاصل از دستگاه رنگ سنجی در نمونه سالم مربوط به روز اول نگهداری و اعداد حاصل در نمونه فاسد مربوط به روز هشتم نگهداری می باشد.



Fig 5) Color changes in the intelligent pH indicator PS-films on the chicken fillets after 0 and 8 days of storage at 4 °C for fresh and spoiled chicken, respectively.

میزان شاخص L^* که نشان دهنده ی روشنایی نمونه است در نمونه گوشت مرغ سالم عدد کمتری نسبت به نمونه فاسد بدست آمد. میزان شاخص a^* که نشان دهنده ی قرمزی نمونه می باشد در گوشت مرغ سالم در مقایسه با گوشت مرغ فاسد مقدار عددی بیشتری را نشان می دهد پس در نتیجه می توان گفت قرمزی نمونه در گوشت مرغ سالم با توجه به اعداد حاصل از دستگاه رنگ سنج بیشتر است و مقادیر بالاترین شاخص را می توان به تازگی نمونه گوشت مرغ نسبت داد. میزان شاخص b^* نشان دهنده ی زرد و آبی بودن نمونه است. این شاخص در گوشت مرغ سالم نسبت به مرغ فاسد عدد کمتری را نشان داد. گوشت مرغ یک محصول غذایی غنی از پروتئین به حساب می آید و رشد میکروارگانیسم ها یکی از مهم ترین دلایل فساد آن در زمان نگهداری است. در نتیجه رشد میکروارگانیسم ها، پروتئین های موجود در گوشت به آمین های بیوژنیک تبدیل می شوند که باعث افزایش pH گوشت و مقدار TVB-N می شود

که مبتنی بر کشش طولی فیلم تا نقطه پاره شدن آن است، از اصطلاح کشیدگی در پارگی استفاده می شود در صورتی که نسبت طول کشیده شده فیلم به طول نخستین آن پیش از نقطه پاره شدن به صورت درصد گزارش می شود اصطلاح درصد کشیدگی شاخص مقاومت به پاره شدن نیز نامیده می شود [۴۷]. استحکام کششی و ازدیاد طول در هنگام شکست برای فیلم تولید شده به ترتیب برابر با $3/56 \pm 0/37$ و $49/33 \pm 2/02$ درصد و با افزودن عصاره گل رز به ساختار فیلم، استحکام و خاصیت ارتجاعی فیلم به ترتیب $4/42 \pm 0/31$ و $40/56 \pm 3/89$ درصد به دست آمد که به دلیل تغییر ساختار مکانیکی و انعطاف پذیری ساختار فیلم با افزایش ماده خشک بود.

۳-۵- بررسی نفوذ پذیری به اکسیژن

جلوگیری از نفوذ اکسیژن نیز بسیار مهم است زیرا در واکنش های شیمیایی و میکروبی شرکت می کند که منجر به فساد فرآورده های گوشتی در بسته بندی مواد غذایی می شود. نفوذپذیری کم اکسیژن (OP) فیلم های بسته بندی نقش مهمی در حفظ این محصولات دارد. همانطور که در تحقیقات قبلی ثابت شده است، به دلیل ساختار آبدوست ساکارید-بیوپلیمرها و پیوندهای هیدروژنی بالا و شبکه زل، لایه های پلی ساکارید معمولاً موانع خوبی در برابر اکسیژن و مواد فرار غیر قطبی هستند [۴۸]. در این تحقیق فیلم حسگر دارای OP برابر با $14/30 \pm 1/19$ سانتی متر مکعب بر متر مربع $d \text{ kPa}$ بود که نشان دهنده سد گاز مناسب این فیلم است. نتایج به دست آمده از آزمایش مکانیکی و نفوذپذیری اکسیژن نشان داد که این فیلم به عنوان یک سنسور حساس به pH قادر است ساختاری مناسب و انعطاف پذیر با سد گازی مناسب نشان دهد.

۳-۶- بررسی خصوصیات رنگی بیوسنسور بر روی نمونه

مرغ

ΔE دارد. بر همین اساس در پژوهش دیگری افزودن عصاره گلبرگ چای ترش به فیلم نشاسته/پلی وینیل الکل و بسته بندی گوشت خوک نشان داد که همراه با شاخص TVB-N دیگر شاخص رنگی (ΔE) افزایش پیدا کرد. به طوری که در طی ۲۴ ساعت اول این شاخص از ۷/۲۵ به ۱۱/۲۸ میلی-گرم در ۱۰۰ گرم و پس از ۳۶ ساعت به ۱۵/۶۹ میلی-گرم در ۱۰۰ گرم افزایش پیدا کرد همچنین شاخص رنگی ΔE از ۰ به ۱۲ و پس از ۳۶ ساعت به ۱۵ افزایش پیدا کرد [۵۰].

Kraig و همکاران (۲۰۱۳) از یک فیلم نشانگر پایه پلی آنیلین (PANI) تولید شده با استفاده از بستر پلی استایرن برای تشخیص فساد ماهی استفاده نمودند که از طریق تغییر رنگ قابل مشاهده با تغییرات میزان TVB-N در حین فساد ماهی، مورد مطالعه قرار داده شد. نتایج نشان داد که تغییرات رنگ، از نظر اختلاف کل رنگ PANI، با سطح TVB-N ماهی ارتباط خوبی دارد. به غیر از TVB-N، آزمایشات روی نمونه شیر ماهی نشان داد که ارتباط خوبی بین پاسخ فیلم PANI با الگوهای رشد میکروبی در نمونه‌های ماهی، به ویژه تغییر جمعیت میکروبی (تعداد قابل قبول کل (TVC) و سودوموناس) وجود دارد و با افزایش جمعیت میکروبی، رنگ فیلم به تدریج از سبز به آبی تغییر کرد. این پاسخ‌ها امکان کنترل سریع فساد ماهی را در زمان‌های مختلف با دمای ثابت یا با نوسانات دما فراهم می‌کند [۵۱].

[۴۹]. براساس نتایج به دست آمده می‌توان نتیجه گرفت که فاسد شدن نمونه مرغ سبب می‌شود که بسته‌بندی مورد نظر به دلیل فساد به وجود آمده در نمونه مرغ شاخص a^* به طور معنی‌داری کاهش پیدا می‌کند که نشان دهنده کاهش میزان آنتوسیانین است و نتایج TVB-N گزارش شده در قسمت‌های قبلی نشان داد که این شاخص با در نظر گرفتن معیاری برای فساد نمونه مرغ افزایش پیدا می‌کند و در نتیجه همبستگی منفی بین شاخص a^* و TVB-N وجود دارد. از طرفی این نتیجه با تجزیه محصول توسط آنزیم‌های ترشح شده توسط میکروارگانیسم‌ها، تجزیه پروتئین‌ها و تولید آمین‌های بیوزن همراه بود.

TVB-N که نتیجه رشد میکروارگانیسم‌های ویژه ی فساد می‌باشد مقدارش افزایش یافته و غلظت آن در فضای خالی بسته‌بندی بیشتر می‌شود که نتیجه ی آن افزایش pH اتمسفر بسته‌بندی است. با افزایش TVB-N و به تبع آن افزایش pH، رنگ نشانگر درون بسته بندی تغییر کرده و اطلاعاتی از درون بسته بندی را منتقل می‌کند [۵۰]. در مطالعه‌ای دیگر که به فیلم ژلاتینی عصاره برگ ریحان به آن اضافه شده بود این شاخص از رنگ سنجی با گذشت زمان به طور معنی-داری کاهش پیدا کرده بود و مقایسه این شاخص با TVB-N نشان می‌داد که همبستگی منفی بین این دو پارامتر وجود دارد [۵۱]. همچنین افزودن عصاره حسن یوسف به فیلم ژلاتینی و بررسی فساد ماهی قزل‌آلا نشان داد که شاخص TVB-N از ۹/۳ به ۵۵/۴ میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم نمونه در طی ۱۶ ساعت نگهداری در دمای اتاق افزایش پیدا کرد در حالی که شاخص a^* در این بازه زمانی کاهش پیدا کرد [۵۰]. تغییرات شاخص ΔE در مقابل شاخص TVB-N می‌تواند فاکتور مناسبی برای ارزیابی فاسد شدن نمونه‌های مرغ باشد در تحقیق حاضر مشخص گردید که با تغییر این شاخص در مرغ از ۱۰/۶۴ میلی‌گرم در روز اول و ۳۶/۱۹ میلی‌گرم در روز ۱۲ در ۱۰۰ گرم و تغییر شاخص ΔE از ۰ به ۲/۶۷ در روز هشتم یک ارتباط مستقیمی با شاخص رنگی

Table 3-1: Color change of intelligent film during storage period of chicken fillets samples

Samples	L	a	b	ΔE
Fresh chicken	17.32±0.32 ^a	10.95±0.16 ^a	15.97±0.28 ^a	30.87±0.31 ^a
Spoiled chicken	19.11±0.58 ^b	8.91±0.16 ^b	16.26±0.84 ^b	28.2±0.26 ^b

Data represent mean ± standard deviation. The difference in superscript letters in each column indicates a significant difference at a probability level of 5%.

ارتباط مستقیمی بین پارامترهای رنگی و عوامل فساد وجود دارد. همچنین با توجه به اینکه مقادیر بدست آمده به عدد ۱ نزدیک هستند در نتیجه ارتباط خطی بالایی بین پارامترهای رنگی حسگر و عوامل فساد وجود دارد همچنین مقادیر پارامترهای فساد نمونه مرغ با افزایش مدت زمان نگهداری در دمای ۴ درجه سلسیوس افزایش یافتند.

۳-۷- ارزیابی همبستگی میان pH، میزان فساد میکروبی، شیمیایی و پارامترهای رنگی حسگر برای بررسی ارتباط میان پارامترهای رنگی حسگر با فساد گوشت مرغ مقادیر pH، TVB-N و باکتری های کل و میزان باکتری های سرماگرا اندازه گیری شد. نتایج این بررسی در جدول زیر آورده شده است. از طریق رسم گراف های همبستگی ارتباط معناداری میان پارامترهای رنگی نشانگر و مشخصه های فساد نمونه گوشت مرغ مشاهده شد. با توجه به مثبت بودن اعداد می توان گفت

Table 3-2: The results of the relationship between the color parameters of the sensor and the spoilage parameters of chicken meat

پارامترهای رنگی			پارامترهای فساد
b*	a*	L*	
r ² =0.9568	r ² =0.9509	r ² =0.9519	pH
r ² =0.9585	r ² =0.9526	r ² =0.9536	TVB-N
r ² =0.9212	r ² =0.9188	r ² =0.9192	TVC
r ² =0.9865	r ² =0.9828	r ² =0.9834	PTC

شیمیایی فیله مرغ کاملاً قابل شناسایی بود به طوری که هم از نظر بصری و هم با رنگ سنج دیجیتال تفاوت قابل توجهی در رنگ سنسور ایجاد شد. با پیشرفت فساد فیله مرغ در طول نگهداری، با افزایش مقدار پارامترهای TVB-N، TBA و pH فیلم های هوشمند حساس به pH تغییر رنگ مشخصی از سبز روشن به سبز تیره نشان دادند که امکان استفاده

۴- نتیجه گیری کلی

در این تحقیق فیلم هوشمند مبتنی بر نشاسته و نانوبلورهای سیب زمینی حاوی ترکیبات زیست فعال گل رز تهیه و بر روی نمونه فیله مرغ مورد بررسی قرار گرفت. تغییرات رنگ سنسور به دلیل تغییرات pH ناشی از فساد میکروبی و

عصاره گل رز هلندی می‌توانند به عنوان شاخص تازگی مرغ و بهبود ماندگاری استفاده شوند.

۵- منابع

- [1] Coma, V., 2008. Bioactive packaging technologies for extended shelf life of meat based products. *Meat Science* 78: 90–103.
- [2] Hogan SA, Kerry JP. Smart packaging of meat and poultry products. In: Kerry J, Butler P, editors. *Smart Packaging Technologies for Fast Moving Consumer Goods*. West Sussex, England: John Wiley & Sons; 2008. pp. 33-54.
- [3] Nobari, A., Marvzadeh, M. M., Sadeghi, T., Rezaei-savadkouhi, N., & Nafchi, A. M. 2022. Flavonoid and Anthocyanin Pigments Characterization of Pistachio Nut (*Pistacia vera*) as a Function of Cultivar. *Journal of Nuts*, *Journal of Nuts*, 13(4), 313-322.
- [4] Khoo, H. E., A. Azlan, S. T. Tang, and S. M. Lim. 2017. Anthocyanidins and anthocyanins: Colored pigments as food, pharmaceutical ingredients, and the potential health benefits. *Food & Nutrition Research* VOL 61 (1):1361779. <https://doi.org/10.1080/16546628.2017.1361779>.
- [5] Boonsiriwit, A., Itkor, P., Sirieawphikul, C., & Lee, Y. S. 2022. Characterization of Natural Anthocyanin Indicator Based on Cellulose Bio-Composite Film for Monitoring the Freshness of Chicken Tenderloin. *Molecules*, 27(9), 2752.
- [6] Erşan, S., Müller, M., Reuter, L., Carle, R., & Müller-Maatsch, J. 2022. Co-pigmentation of strawberry anthocyanins with phenolic compounds from rooibos. *Food Chemistry: Molecular Sciences*, 4, 100097.
- [7] Fallah, N., Marvzadeh, M. M., Jahangiri, R., Zeinalzadeh, A., & Mohammadi Nafchi, A. High-Barrier and Light-protective Bionanocomposite Film Based on Rye Starch/nanorod-ZnO for Food Packaging Applications. *Journal of Chemical Health Risks*. In press.
- [8] Almahy, H. A., Abdel-Razik, H. H., El-Badry, Y. A., & Ibrahim, A. M. 2017. Ultrasound-assisted extraction of anthocyanin pigments from *Hibiscus sabdariffa* (Rosella) and its phytochemical activity at Kingdom of Saudi Arabia. *International Journal of Chememical Science*, 15(4), 196.
- تجاری از این سنسور هوشمند را به عنوان نشانگر حساس به pH در تشخیص فساد نمونه‌های پروتئینی نوید می‌دهد. به طور خلاصه، فیلم‌های هوشمند حساس به pH بر پایه نشاسته سیب زمینی / نانوبلورهای نشاسته سیب زمینی و
- [9] Zhou, J., Tong, J., Su, X., & Ren, L. 2016. Hydrophobic starch nanocrystals preparations through crosslinking modification using citric acid. *International Journal of Biological Macromolecules*, 91, 186–1193.
- [10] Jouki, M., Khazaei, N., Ghasemlou, M., & HadiNezhad, M. (2013). Effect of glycerol concentration on edible film production from cress seed carbohydrate gum. *Carbohydrate polymers*, 96(1), 39-46.
- [11] M. Jouki, F.T. Yazdi, S.A. Mortazavi et al. *Int. J. Biol. Macromol.* 62, 500-507 (2013).
- [12] M. Jouki, F.T. Yazdi, S.A. Mortazavi, et al. *Food Hydrocolloid.* 36, 9–19 (2014).
- [13] Khazaei, M. Esmaili, Z. Emam Djomeh, et al., 2014. *Carbohydr. Polym*, 102, 199-206.
- [14] M. Jouki, F.T. Yazdi, S.A. Mortazavi, et al. *Int. J. Food Microbiol.* 174, 88-97 (2014).
- [15] Malle, P., & Tao, S. H. 1987. Rapid quantitative determination of trimethylamine using steam distillation. *Journal of Food Protection*, 50(9), 756-760.
- [16] Jouki, M., & Khazaei, N. 2022. Effects of active batter coatings enriched by quince seed gum and carvacrol microcapsules on oil uptake and quality loss of nugget during frying. *Journal of Food Science and Technology*, 59(3), 1104-1113.
- [17] Majdinasab, M., Niakousari, M., Shaghaghian, S., & Dehghani, H. 2020. Antimicrobial and antioxidant coating based on basil seed gum incorporated with Shirazi thyme and summer savory essential oils emulsions for shelf-life extension of refrigerated chicken fillets. *Food Hydrocolloids*, 108, 106011.
- [18] Lee, E. J., & Shin, H. S. 2019. Development of a freshness indicator for monitoring the quality of beef during storage. *Food science and biotechnology*. 28, 1899-1906.
- [19] Yan, W., Chen, W., Muhammad, U., Zhang, J., Zhuang, H., & Zhou, G. 2019. Preparation of α -tocopherol-chitosan nanoparticles/chitosan/montmorillonite film and the antioxidant efficiency on sliced dry-cured ham. *Food Control*, 104, 132-138.
- [20] M. Jouki, F.T. Yazdi, S.A. Mortazavi, et al. *Int. J. Food Microbiol.* 174, 88-97 (2014).

- [21] Maktabi, S., Zarei, M., & Chadorbaf, M. 2015. Effect of traditional marinating on bacterial and chemical characteristics in frozen rainbow trout fillet. *Journal of food quality and hazards control*, 2(4), 128-133.
- [22] Shabani, M., Mokhtarian, M., Kalbasi-Ashtari, A., & Kazempoor, R. 2021. Effects of extracted propolis (*Apis mellifera*) on physicochemical and microbial properties of rainbow-trout fish burger patties. *Journal of Food Processing and Preservation*, 45(12), e16027.
- [23] Iran Veterinary Organization, the Office of Public Health guidelines, the properties of poultry meat, 1384.
- [24] Maghami, M., Motalebi, A. A., & Anvar, S. A. A. 2019. Influence of chitosan nanoparticles and fennel essential oils (*Foeniculum vulgare*) on the shelf life of *Huso huso* fish fillets during storage. *Food science & nutrition*, 7(9), 3030-3041.
- [25] Marvizadeh, M. M., Mohammadi, N. A., & Jokar, M. 2014. Preparation and characterization of novel bionanocomposite based on tapioca starch/gelatin/nanorod-rich ZnO: towards finding antimicrobial coating for nuts. 5(2)39-47
- [26] Ali Sahari, M., Pirestani, S., & Barzegar, M. 2013. Effect of Frozen Storage on Quality Changes of Five Fish Species from South Caspian Sea. *Current Nutrition & Food Science*, 9(4), 315-320.
- [27] Ojagh, S. M., Rezaei, M., Razavi, S. H., & Hosseini, S. M. H. 2010. Effect of chitosan coatings enriched with cinnamon oil on the quality of refrigerated rainbow trout. *Food chemistry*, 120(1), 193-198.
- [28] Nair, A. S., Abraham, T. K., & Jaya, D. S. 2008. Studies on the changes in lipid peroxidation and antioxidants in drought stress induced cowpea (*Vigna unguiculata* L.) varieties. *J. Environ. Biol*, 29(5), 689-691.
- [29] Fijelu, F., Yanshun, X. U., Qixing, J. I. A. N. G., & Wenshui, X. 2014. Protective effects of garlic (*Allium sativum*) and ginger (*Zingiber officinale*) on physicochemical and microbial attributes of liquid smoked silver carp (*Hypophthalmichthys molitrix*) wrapped in aluminium foil during chilled storage. *African journal of food science*, 8(1), 1-8.
- [30] Hernández-Hernández, E., Ponce-Alquicira, E., Jaramillo-Flores, M.E. & Legarreta, I.G., 2009. Antioxidant effect rosemary (*Rosmarinus officinalis* L.) and oregano (*Origanum vulgare* L.) extracts on TBARS and colour of model raw pork batters. *Meat science*, 81(2), 410-417.
- [31] Buyn JS, Min JS, Kim IS, Kim JW, Chung MS, Lee M. Comparison of indicators of microbial quality of meat during aerobic cold storage. *Journal of Food Protection* 2003; 66: 3839-3843.
- [32] Teets AS, Were LM. Inhibition of lipid oxidation in refrigerated and frozen salted raw minced chicken breasts with electron beam irradiated almond skin powder. *Meat Science* 2008; 80(4): 1326–1332.
- [33] Yingyuad, S., Ruamsin, S., Reekprkhon, D., Douglas, S., Pongamphai, S., & Siripatrawan, U. (2006). Effect of chitosan coating and vacuum packaging on the quality of refrigerated grilled pork. *Packaging technology and science: An international journal*, 19(3), 149-157.
- [34] Rokni N. *Meat Science and Technology*, 4th ed. Tehran: University of Tehran press. 1385, p. 225-243.[in Persian].
- [35] Yao, Q., Nooeaid, P., Roether, J.A., Dong, Y., Zhang, Q. & Boccaccini, A.R., 2013. Bioglass-based scaffolds incorporating polycaprolactone and chitosan coatings for controlled vancomycin delivery. *Ceramics International*, 39(7), 7517-7522.
- [36] Chavoshi, N., Marvizadeh, M. M., Fallah, N., Rezaei-savadkouhi, N., & Mohammadi Nafchi, A. 2023. Application of Novel Nano-biopackaging Based on Cassava Starch/Bovine Gelatin/Titanium oxide nanoparticle/Fennel Essential Oil to Improve Quality of the Raw Fresh Pistachio. *Journal of Nuts*, 14(1), 19-31.
- [37] Antunes, P., Réu, C., Sousa, J.C., Peixe, L. & Pestana, N., 2003. Incidence of *Salmonella* from poultry products and their susceptibility to antimicrobial agents. *International journal of food microbiology*, 82(2), 97-103.
- [38] Marvizadeh, M. M., Mohammadi Nafchi, A., & Jokar, M. 2014. Improved physicochemical properties of tapioca starch/bovine gelatin biodegradable films with zinc oxide nanorod. *Journal of Chemical Health*
- [39] Paidari, S., & Ahari, H. (2021). The effects of nanosilver and nanoclay nanocomposites on shrimp (*Penaeus semisulcatus*) samples inoculated to food pathogens. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 15(4), 3195-3206.
- [40] Arashisar, Ş., Hisar, O., Kaya, M. and Yanik, T., 2004. Effects of modified atmosphere and

- vacuum packaging on microbiological and chemical properties of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fillets. *International journal of food microbiology*, 97(2), 209-214.
- [41] de Sousa, T., & Bhosle, S. 2012. Isolation and characterization of a lipopeptide bioemulsifier produced by *Pseudomonas nitroreducens* TSB. MJ10 isolated from a mangrove ecosystem. *Bioresource technology*, 123, 256-262.
- [42] Mateo, J. J., Mateo, R., & Jimenez, M. 2002. Accumulation of type A trichothecenes in maize, wheat and rice by *Fusarium sporotrichioides* isolates under diverse culture conditions. *International Journal of Food Microbiology*, 72(1-2), 115-123.
- [43] Sallam, K.I., 2007. Antimicrobial and antioxidant effects of sodium acetate, sodium lactate, and sodium citrate in refrigerated sliced salmon. *Food control*, 18(5) 566-575.
- [44] Yao, C. K., Muir, J. G., & Gibson, P. R. 2016. Insights into colonic protein fermentation, its modulation and potential health implications. *Alimentary pharmacology & therapeutics*, 43(2), 181-196.
- [45] Mohan, C.O., Ravishankar, C.N., Lalitha, K.V. and Gopal, T.S., 2012. Effect of chitosan edible coating on the quality of double filleted Indian oil sardine (*Sardinella longiceps*) during chilled storage. *Food hydrocolloids*, 26(1), 167-174.
- [46] Brindle, L.P. and Krochta, J.M., 2008. Physical properties of whey protein hydroxy propylmethylcellulose blend edible films. *Journal of Food Science*, 73(9).
- [47] Dehnad D, mirzaee H, emamjome Z, jafari M, dadashi S., 2013. Optimization of physical and mechanical properties of biodegradable nanocomposites of chitosan-nanocellulose. *Journal of Research and Innovation in Food Science and Technology*, 2(3), 229-242. (In Persian).
- [48] M.A. Cerqueira, Á.M. Lima, J.A. Teixeira, J. et al., 2009. *Food Eng*, 94, 372–378.
- [49] Kurek, M., Hlupić, L., Šćetar, M., Bosiljkov, T., & Galić, K. 2019. Comparison of two pH responsive color-changing bio-based films containing wasted fruit pomace as a source of colorants. *Journal of Food Science*, 84(9), 2490–2498.
- [50] Zhang, J., Zou, X., Zhai, X., Huang, X., Jiang, C., & Holmes, M. 2019. Preparation of an intelligent pH film based on biodegradable polymers and roselle anthocyanins for monitoring pork freshness. *Food Chemistry*, 272, 306-312.
- [51] Ebrahimi, V., Nafchi, A. M., Bolandi, M., & Baghaei, H. 2022. Fabrication and characterization of a pH-sensitive indicator film by purple basil leaves extract to monitor the freshness of chicken fillets. *Food Packaging and Shelf Life*, 34, 100946.
- [52] Hematian, F., Baghaei, H., Mohammadi Nafchi, A., & Bolandi, M. 2023. Preparation and characterization of an intelligent film based on fish gelatin and *Coleus scutellarioides* anthocyanin to monitor the freshness of rainbow trout fish fillet. *Food Science & Nutrition*, 11(1), 379-389.
- [53] Kraig, B., & Sen, C. T. (Eds.). 2013. *Street food around the world: an encyclopedia of food and culture: an encyclopedia of food and culture*. Abc-clio.

Journal of Food Science and Technology (Iran)

Homepage: www.fsct.modares.ir



Scientific Research

Fabrication of smart biosensor based on starch nanocrystal and Dutch rose To detect chicken spoilage

Mona Moradi¹ · Mohammad Jouki² · Mozghan Emtiazjoo^{*3} · Narges Mooraki³ · Mohammad Javad Shakouri²

1- Post graduate student, Food Science & Technology Department, Faculty of Bioscience, Islamic Azad University North Tehran Branch, Tehran, Iran

2- Assistant Professor, Faculty of Bioscience, Islamic Azad University North Tehran Branch, Tehran, Iran

3- Associated Professor, Faculty of Marine Science and Technology, Islamic Azad University North Tehran Branch, Tehran, Iran

ABSTRACT

In this study, an optimal pH-sensitive intelligent film based on starch at the level of 1% w/v containing 0.1% potato starch nanocrystals and anthocyanin extracted from the Dutch rose plant (*Rosa hybrida*) at the level of 0.5% w/v was designed and used to determine the spoilage of chicken fillet at refrigerator temperature during 12 days of storage. The index of volatile nitrogen bases¹ and thiobarbituric acid² of chicken samples increased significantly during 12 days. The results showed that the inoculation of the extract in the biofilm changed the total population of bacteria and psychrophilic bacteria in chicken fillets to below detectable levels within 8 and 12 days, respectively. The present study showed that the color change of the smart film at the end of the storage day corresponds to the microbial growth pattern and also the increase in TBA, TVB-N, and pH, which is caused by the production of nitrogenous substances and alkaline compounds by mesophilic and psychrophilic bacteria. Therefore, the film of potato starch nanocrystals/potato starch containing Dutch rose extract can be used as an indicator of the freshness of the meat fillet.

ARTICLE INFO

Article History:

Received: 2023/5/29

Accepted: 2023/8/22

Keywords:

Anthocyanin,
Intelligent packaging,
Psychrophilic bacteria,
Starch film,
Total volatile basic nitrogen

DOI: 10.22034/FSCT.20.142.104

DOR: 20.1001.1.20088787.1402.20.142.7.7

*Corresponding Author E-Mail:
moz_emtyazjoo@yahoo.com