



دانشگاه گوارش و علوم پزشکی گوارش

بهره‌برداری و پرورش آبزیان

جلد نهم، شماره چهارم، زمستان ۱۳۹۹

۱-۱۷

<http://japu.gau.ac.ir>

DOI: 10.22069/japu.2021.18001.1539

مقاله کامل علمی - پژوهشی

ارزیابی عملکرد نانوحسگر رنگی گرافن اکسید آمین دار - برموفنول بلو بر پایه کاغذی صافی در تعیین کیفیت اکسیداسیونی غذای ماهی نگهداری شده در شرایط سرد

شهاب نقدی^۱، مسعود رضائی*^۲ و نادر بهرامی^۳ فر

^۱ دانشجوی دکتری گروه فرآوری محصولات شیلاتی، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس، شهرستان نور- مازندران،
^۲ استاد گروه فرآوری محصولات شیلاتی، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس، شهرستان نور- مازندران،
^۳ استادیار گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس، شهرستان نور- مازندران
تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۲/۲۱؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۴/۲۵

چکیده

در مطالعه حاضر به منظور ارزیابی کیفیت اکسیداسیونی غذای ماهی نگهداری شده در دمای یخچال به مدت ۶ ماه از نانوحسگر رنگی گرافن اکسید آمین دار - برموفنول بلو بر پایه کاغذی صافی استفاده شد. نتایج نشان داد مقادیر رطوبت از ۷/۱۹ درصد به ۹/۳۷ درصد و خاکستر از ۷/۲۹ درصد به ۸/۰۴ درصد تغییر یافته و در طول دوره نگهداری روند افزایشی داشتند ($P < 0/05$). تغییرات مقدار چربی و پروتئین در طول دوره نگهداری بدین صورت بودند که محتوای چربی از ۱۲/۸۷ درصد به ۱۰/۵۳ درصد و محتوای پروتئین از ۵۴/۵۱ درصد به ۵۲/۳۷ درصد تغییر کردند و روند کاهشی نشان دادند ($P < 0/05$). شاخص پراکساید (PV) در طول دوره افزایش یافته و بیشترین مقدار آن مقدار روند افزایشی (meq O₂/kg lipid) ۶/۱ در انتهای دوره نگهداری بود ($P < 0/05$). مقدار تیوباریوتیک اسید (TBA) روند افزایشی نشان داد که نهایتاً به مقدار (mg MAL / kg meal) ۳/۸۶ رسید ($P < 0/05$). تغییرات رنگی (ΔE) نانوحسگر مورد مطالعه در زمان نگهداری افزایش یافته و از ۲۹/۰۴ به ۵۲/۶۷ تغییر یافت ($P < 0/05$). هم‌چنین از رنگ سبز به آبی تغییر رنگ داد و با چشم غیرمسلح قابل تشخیص بود. مقادیر همبستگی پیرسون بین شاخص‌های PV و TBA با شاخص تغییر رنگ ΔE به ترتیب ۰/۹۳ و ۰/۸۹ بود. نتایج این مطالعه پیشنهاد می‌کند که استفاده از نانوحسگر رنگی گرافن اکسید آمین دار - برموفنول بلو بر پایه کاغذی صافی از طریق فرایند ساده تغییر رنگ می‌تواند یک رویکرد نوین در تعیین تغییرات کیفیت اکسیداسیونی غذای ماهی در زمان نگهداری آن‌ها باشد.

واژه‌های کلیدی: اکسیداسیون چربی، تعیین کیفیت، غذای ماهی، نانوحسگر

* مسئول مکاتبه: rezai_ma@modares.ac.ir

مقدمه

در دهه‌های اخیر به دلیل پیشرفت سریع صنایع شیلاتی مانند صیادی و آبی‌پروری میزان تولید و صید آبزیان از مرز ۱۷۸ میلیون تن در سال گذشته است (فائو، ۲۰۱۸). بخش عظیمی از این مقدار مربوط به صنایع آبی‌پروری است که تولیدات این بخش الزاما نیاز به مصرف مقادیر بسیار بالای پودر ماهی دارد. از همین‌رو کشورهایمانند پرو و شیلی به دلیل دسترسی به ذخایر ارزشمند ماهی آنچوی از تولیدکنندگان عمده این محصولات هستند و در مجموع ۵۰ درصد از صادرات پودر ماهی جهان را بر عهده دارند. در سال ۲۰۱۸ سه کشور پرو، ویتنام و شیلی با تولید به ترتیب ۸۹۰ هزار تن، ۴۶۰ هزار تن و ۴۵۰ هزار تن به ترتیب بیش‌ترین مقادیر تولید پودر ماهی را بخود اختصاص دادند. هم‌چنین بیش‌ترین واردات مربوط به کشور چین با مقدار ۱ میلیون و ۴۵۰ هزار تن بوده است (فائو، ۲۰۱۸). طبق آمار اداره شیلات ایران (۱۳۹۶) در ایران نیز تعداد ۴۷ کارخانه تولید پودر ماهی با ظرفیت ۱۲۰۰ تن ماده اولیه در روز در حال فعالیت هستند.

با توجه به مطالب ذکر شده همان‌طوری‌که پیداست بیش‌تر کشورهای تولیدکننده غذای ماهی در مناطق با دمای بالا قرار دارند و این باعث شده زنجیره نقل و انتقال به سایر کشورهای مصرف‌کننده بسیار طولانی باشد که این موارد باعث کاهش کیفیت غذاهای ماهی نسبت به زمان اولیه می‌شود (لاوهابنجونگ و همکاران، ۲۰۰۹؛ کنان و همکاران، ۲۰۱۶). کاهش کیفیت غذای ماهی با توجه به ترکیبات سازنده آن بیش‌تر متأثر از چربی‌های آن‌ها می‌باشد که شامل فساد اکسیداتیو و فساد هیدرولیتیک می‌شود (بچتل و وئو، ۲۰۰۸؛ لاوهابنجونگ و همکاران، ۲۰۰۹). بر همین اساس پژوهشگران گزارش‌هایی مبنی بر فساد اکسیداتیو در طول

ذخیره‌سازی غذای ماهی داده‌اند (لاوهابنجونگ و همکاران، ۲۰۰۹). در همین راستا اتواکسیداسیون چربی‌ها یکی از فرآیندهای اصلی کاهش کیفیت چربی است. در طی مراحل اولیه این واکنش زنجیره رادیکال‌های آزاد، موقعیت پیوندهای دوگانه را در اسیدهای چرب غیراشباع تغییر داده و هیدروپراکسیدها را تولید می‌کنند. در واقع، هیدروپراکسیدها محصولات اولیه اتواکسیداسیون هستند که اغلب به‌اختصار پراکسیدها نامیده می‌شوند. پراکسیدها فاقد بو و رنگ هستند، اما این ترکیبات در اثر تجزیه تبدیل به محصولات ثانویه‌ای از جمله آلدهیدهای آلفاتیکی، الکل‌ها، کتون‌ها و هیدروکربن‌ها می‌شوند که از میان ترکیبات نهایی تشکیل شده حاصل از تجزیه پراکسیدها مالون‌دی‌آلدهید (MDA)^۱ را به‌عنوان محصول اصلی اکسیداسیون در نظر گرفته می‌شود (جاکوبسن و فاروین، ۲۰۱۳). اندازه‌گیری محصولات اولیه اکسیداسیون با توجه به ماهیت زودگذر بودن پراکسیدها محدود است. با این وجود، حضور آن‌ها پتانسیل تشکیل ترکیبات بعدی که از نظر حسی مطلوب نیستند را فراهم می‌کند. مقادیر پراکسید تنها زمانی افزایش پیدا می‌کند که سرعت تشکیل آن‌ها بیش‌تر از تجزیه آن‌ها باشد. در مواردی که تجزیه پراکسیدها با سرعت تشکیل آن‌ها برابر است، بررسی پراکسید چربی شاخص مناسبی برای اکسیداسیون نیست. بنابراین در مواردی که پذیرش فرآورده غذایی حاوی روغن به‌میزان پیشرفت درجه اکسیداسیون آن وابسته است، شناسایی هم‌زمان محصولات اولیه و ثانویه اکسیداسیون کمک بهتری به تشخیص کیفیت چربی می‌کند. البته روش شیمیایی ایده‌آلی که ارتباط خوبی با تغییرات ویژگی‌های ارگانولپتیک چربی‌های اکسید شده در طول دوره اتواکسیداسیون داشته باشد وجود ندارد. به همین دلیل، تشکیل و تجزیه

1- Malondialdehyde

زمان ۲۴ تغییر رنگ یافت و از نارنجی به آبی تغییر کرد (شوگلا و همکاران، ۲۰۱۵). در ادامه بررسی عملکرد شناساگرها میتوان به این نکته اشاره کرد که شناساگرها به دلیل نداشتن بخش گیرنده عملکرد مناسبی نسبت به تشخیص گازهای مختلف ندارند بنابراین اعتبار کافی برای تعیین فساد ترکیبات مختلف را ندارند و نمی‌توانند در مقابل ترکیبات و گازهای مختلف اختصاصی عمل کنند. از همین رو استفاده از نانوذرات به دلیل ویژگی‌هایی مانند داشتن نسبت سطح به حجم بالا، خواص الکتریکی مناسب، خواص تغییر رنگ خوب و... نظر پژوهشگران را به منظور استفاده در اصلاح تخصصی شناساگرها بخود معطوف کرده‌اند (مالک‌آلای و همکاران، ۲۰۱۵). در همین راستا نانوصفحات گرافن اکسید آمین‌دار به دلیل داشتن ویژگی‌های ذکر شده امروزه به صورت گسترده در صنعت بسته‌بندی هوشمند مورد استفاده قرار گرفتند (لی و همکاران، ۲۰۱۱؛ یانگ و همکاران، ۲۰۱۳). به منظور بررسی بهتر استفاده از نانوذرات در بهبود عملکرد نانوحسگرها می‌توان به مطالعات مختلفی مانند مطالعه گنگ و همکاران (۲۰۱۰) اشاره کرد که آن‌ها یک نانوسنسور فوق حساس به آمونیاک تولید نمودند که این سنسور از فیلم پلی‌آنلین و نانوذره‌های تیتانیوم اکسید استفاده کرده بودند که این پژوهشگران نتایج خود را به حضور نانوذرات در سنسور خود نسبت داده بودند. در مطالعه‌ای دیگر که توسط چوپرا و همکاران (۲۰۰۳) انجام شد آن‌ها از نانوتیوب‌های کربن یک سنسور برای تشخیص گازها استفاده کردند که عملکرد این حسگر با افزودن نانوتیوب‌ها ارتقا یافت. هم‌چنین در مطالعه لویان و همکاران (۲۰۱۰) آن‌ها با استفاده از نانوذره‌های ZnO یک نانو سنسور توسعه دادند که توانای تشخیص گاز H₂ و NH₃ و بوتان در دمای اتاق داشت که نتایج این پژوهش عملکرد بالای این نانو ذره در جذب این

محصولات اولیه و ثانویه اکسیداسیون چربی باید در طول زمان انجام شود (ایمارد و همکاران، ۲۰۱۰). در همین راستا اندازه‌گیری این شاخص‌ها از طریق انجام آزمایش‌های شیمیایی ممکن می‌شود که انجام آن‌ها الزاماً به مصرف ماده شیمیایی، کاربر متخصص و هزینه بالا نیازمند است. موارد ذکر شده باعث شده تا امروزه توجه صنایع مختلف به سیستم‌های هوشمند بسته‌بندی معطوف گردد (کاسوندی و همکاران، ۲۰۱۷). بسته‌بندی هوشمند عبارت است از سیستم بسته‌بندی که بی‌نیاز به ارزیابی‌های شیمیایی و میکروبی برای تعیین کیفیت محصول بسته‌بندی شده باشد و به راحتی و از طریق مکانیزم‌های مختلفی مثل تغییر مقاومت الکتریکی (انجیون و همکاران، ۲۰۱۴)، تغییر رنگ (کو و همکاران، ۲۰۲۰؛ نقدی و همکاران، ۲۰۱۸)، تغییرات کیفی محصول موردنظر را برای مصرف‌کننده ارائه دهند. قابل ذکر است که بسته‌بندی هوشمند به دو دسته اصلی شناساگرها و سنسورها دسته‌بندی می‌شود. شناساگرها می‌توانند شامل شناساگرهای پی‌اچ از نوع سنتتیک (نقدی و همکاران، ۲۰۱۸) و یا از مواد گرفته شده از گیاهان باشند (هوانگ و همکاران، ۲۰۱۹) و هم‌چنین سنسورها به دلیل عملکرد تخصصی‌تر علاوه بر بخش شناساگر دارای بخش گیرنده نیز هستند (کاسوندی و همکاران، ۲۰۱۷). که در این راستا می‌توان به مطالعاتی مانند مطالعه مورسی و همکاران (۲۰۱۶) اشاره کرد که نشان دادند شناساگرهای برموفنول آبی، برموکروزول قرمز بالاترین همبستگی $R^2=0/92$ را در رابطه با تولید TBA در بسته ماهی سالمون نگهداری شده در دمای یخچال نشان دادند. در مطالعه‌ای دیگر که از شناساگر برموفنول آبی به منظور تعیین زمان نگهداری گوشت خوک در دمای اتاق استفاده شد نتایج نشان داد که شناساگر از رنگ زرد در زمان صفر به رنگ آبی در

گازها را نشان داد. با توجه به مطالعات گذشته می‌توان بیان نمود که نانوصفحات گرافن اکسید به دلیل داشتن گروه‌های عاملی هیدروکسیل و کربوکسیل به خوبی قادر به جذب محصولات حاصل از فساد میکروبی همانند انواع آمین‌ها هستند، اما مشکلی موجود در راستای تشخیص فساد اکسیداسیون این است که در فساد اکسیداسیونی محصولات تولیدشده بیش‌تر انواع آلدئیدها هستند. بنابراین به این دلیل مطالعات محدودی در زمینه تعیین فساد اکسیداسیون با نانوسنسورها انجام شده است، اما مطالعاتی که اخیراً در زمینه‌های مختلف انجام شدند این موضوع را مشخص کردند که یکی از راه‌کارهای مناسب برای جذب ترکیبات حاصل از اکسیداسیون (آلدئیدها) به دام انداختن آن‌ها از طریق افزودن گروه‌های آمینی به این ترکیبات از طریق بخش گیرنده حسگرها است (فنگ و همکاران، ۲۰۱۰؛ کاوامورا و همکاران، ۲۰۰۵). با توجه به این‌که محصولات دریایی مانند غذای ماهی و پودر ماهی که به صورت فصلی تولید شده و سپس طولانی مدت نگهداری می‌شوند باعث می‌شود تا به روشی ساده و با دقت برای تعیین کیفیت این محصولات نیاز باشد و در عین حال روش مذکور باید قابلیت استفاده برای تمام افراد دخیل در چرخه خرید و فروش را داشته باشد. بنابراین در مطالعه حاضر به منظور دستیابی به این هدف از نانوحسگر ساخته شده با نانوصفحات گرافن اکسید آمین‌دار شده (GO-NH₂) و شناساگر برموفنول آبی بر پایه کاغذ صافی استفاده شد و در ادامه به ارزیابی قابلیت نانوحسگر استفاده‌شده در نشان دادن اکسیداسیون چربی‌های موجود در غذای ماهی بسته‌بندی‌شده نگهداری شده در شرایط سرد به مدت ۶ ماه پرداخته شد.

مواد و روش‌ها

تهیه غذای ماهی و آنالیز ترکیبات: برای این منظور غذای ماهی دوره پرورشی ماهی قزل‌آلا از شرکت

فردانه تهیه شد. ترکیبات تشکیل‌دهنده غذای ماهی طبق اطلاعات موجود در بسته‌بندی برای پروتئین خام، چربی خام، خاکستر، رطوبت و سایر مواد تشکیل‌دهنده به ترتیب بین ۳۸-۴۲، ۱۳-۱۷، ۷-۱۱، ۵-۱۱ و ۳-۵ درصد وزن خشک غذای ماهی تولید شده بود. در عین حال ترکیبات غذای ماهی تهیه شده مورد آنالیز قرار گرفت. رطوبت نمونه‌ها از طریق خشک کردن آن‌ها در دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد در آون تا دستیابی به یک وزن ثابت صورت پذیرفت. تعیین مقدار خاکستر نیز از طریق سوزاندن نمونه‌ها در دمای ۵۵۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۱۲ ساعت در کوره الکتریکی انجام شد. مقدار پروتئین نمونه‌ها (نیترژن کل $\times 6.25$) از روش کج‌لدال و بعد از هضم نمونه در اسید سولفوریک ۹۸ درصد تعیین شد. برای استخراج چربی نمونه‌ها از روش سوکسله استفاده شد. تمامی آنالیزهای ذکر شده با استفاده از رفرنس (AOAC (1990) انجام شد.

سنتز نانو گرافن اکسید (GO): سنتز نانو گرافن اکسید (GO) از روش اکسایش شیمیایی آفمن و هامر (۱۹۵۸) با استفاده از اکسنده‌های شیمیایی H₂SO₄، KMnO₄، H₂O₂ انجام شد. گرافیت به صورت ماده اولیه خریداری و برای سنتز گرافن اکسید استفاده شد. مقدار ۱۰۰ میلی‌لیتر از اسید سولفوریک ۹۵ درصد به یک ارلن ۵۰۰ میلی‌لیتری اضافه شد و به مدت ۱۰ دقیقه در حمامی از یخ در زیر هود با همزن مغناطیسی هم‌دما شد. پس از کاهش دما مقدار ۳ گرم از پودر گرافیت طی ۱۰ دقیقه و ۲ گرم سدیم نیترات در مدت ۲۰ دقیقه به آرامی به اسیدسولفوریک اضافه شد. مقدار ۱۵ گرم پتاسیم پرمنگنات به آرامی طی ۳۰ دقیقه به ارلن با دمای صفر درجه سانتی‌گراد اضافه شد؛ سپس حمام یخ حذف و اجازه داده شد که دما به ۲۵ درجه سانتی‌گراد برابر دمای اتاق برسد رنگ ماده موجود در فلاسک در این مرحله سبز لجنی

مخلوط حاصل ۴۸ ساعت در شرایط رفلاکس قرار گرفت. سپس مخلوط نهایی در شرایط خلاء در ۸۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۸ ساعت خشک شد.

ساخت نانو حسگر گرافن اکسید آمین‌دار- برموفنول آبی بر پایه کاغذ صافی: در این پژوهش برای ساخت حسگرها از روش غوطه‌وری در شناساگر استفاده شد. ابتدا محلول ۱ میلی‌گرم در میلی‌لیتر شناساگر برموفنول آبی آماده شد (کاسوندی و همکاران، ۲۰۱۵). سپس مقدار ۰/۰۵۰ میلی‌گرم در لیتر نانوصفحات گرافن اکسید آمین‌دار به محلول شناساگر بر روی همزن اضافه شد. سپس کاغذ صافی با ابعاد مشخص در محلول آماده شده قرار گرفت، در ادامه تمام طول شب را در محلول شناساگر و نانوصفحه غوطه‌ور بود سپس از محلول خارج گشته و در دیسیکاتور خشک شدند.

آماده‌سازی بسته‌بندی هوشمند: نانوحسگر آماده شده در بخش درونی ظرف یکبار مصرفی که حاوی ۱ کیلوگرم غذای ماهی بود قرار گرفت و به مدت ۶ ماه در دمای یخچال نگهداری شدند و در طول این مدت هر ماه از حسگر مورد نظر عکس گرفته می‌شد و از بسته‌های شاهدهی که در کنار بسته هوشمند قرار داشت به منظور بررسی شاخص‌های اکسیداسیون و آنالیز ترکیبات استفاده شد.

شاخص پراکساید (PV): به منظور تعیین شاخص پراکساید ابتدا مقدار ۰/۳ گرم روغن داخل یک ارلن ۵۰ میلی‌لیتری توزین شد. در ادامه ۱۰ میلی‌لیتر حلال (اسید استیک کلروفرمی) به نمونه افزوده و همراه با تکان دادن ظرف حل گردید. سپس، مقدار ۱ میلی‌لیتر محلول پتاسیم یدید اشباع به محلول درون ارلن اضافه شده و به مدت دقیقاً یک دقیقه همراه با تکان شدید و ثابت، نگهداری شد. بعد از طی شدن زمان مذکور، مقدار ۳۰ میلی‌لیتر آب مقطر به آن اضافه

است. سوسپانسیون حاصل برای ۳ ساعت به حال خود واگذاشته شد. در مرحله بعد دما به کمک حمام روغن در ۳۵ درجه سانتی‌گراد ثابت و برای ۵ ساعت مخلوط توسط همزن مغناطیسی هم زده شد. با حذف حمام روغن سلیکون و قرار دادن حمام یخ مقدار ۱۵۰ میلی‌لیتر آب دیونیزه در فلاسک تیترا گردید. ماده حاصل از این مرحله بسیار غلیظ و رنگ آن از سبز به قهوه‌ای روشن تغییر یافت. سوسپانسیون برای ۱۲ ساعت در دمای ۹۰ درجه سانتی‌گراد نگهداری شد. در مرحله بعد با کاهش دما به ۶۰ درجه مقدار ۵۰ میلی‌لیتر آب جوش و مقدار ۳۰ میلی‌لیتر (۳۰w/v درصد) آب اکسیژنه به آن اضافه شد. سوسپانسیون را صاف کرده و خمیر قهوه‌ای رنگ حاصل جدا شد. این ماده توسط ۲۵۰ میلی‌لیتر HCl ۵ و ۱۰ درصد برای حذف گروه‌های سولفاته شست‌وشو شده و در نهایت با آب مقطر pH آن به نزدیک ۶/۵ رسانده شد. پس از ثابت نمودن pH نمونه توسط خشک‌کن انجمادی خشک و به صورت سوسپانسیون ۰/۰۵ درصد در آب مقطر به مدت ۱ ساعت تحت التراسونیک خشک با قدرت ۱۰۰ هرتز قرار داده شد. برای جداسازی گرافن اکسیدهای چندلایه از تک لایه سوسپانسیون حاصل با ۳۰۰۰ دور در دقیقه به مدت ۲۰ دقیقه سانتیریفیوژ شد و مجدداً توسط خشک‌کن انجمادی خشک شد.

آمین‌دار کردن نانو صفحات گرافن اکساید (GO): آمین‌دار کردن نانو صفحات گرافن اکساید با استفاده از روش زاویسا و همکاران (۲۰۱۶) انجام گرفت. بدین ترتیب که ۱۰۰ میلی‌گرم نانو صفحات گرافن اکساید سنتز شده در مرحله قبل را با ۱۵ میلی‌لیتر ^۱EDA بر روی همزن تحت حرارت به حالت معلق در آمده سپس ۰/۳ گرم ^۲DCC به آن اضافه شد و

1- Ethylenediamine

2- N,N-Dicyclohexylcarbodiimide

میلی‌لیتر ۱-سبوتانول و محلول ۰/۲ درصد (TBA) آماده شد. لوله‌ها پس از همزدن با ورتکس، به مدت ۲ ساعت در دمای ۹۵ درجه سانتی‌گراد درون حمام آب قرار گرفت. پس از طی شدن زمان مذکور لوله‌ها را از حمام آب بیرون آورده و با نگهداری زیر شیر آب تا رسیدن به دمای محیط خنک شدند. سپس به منظور اندازه‌گیری میزان جذب نمونه، دستگاه اسپکتروفتومتر روشن و بر روی طول موج ۵۳۲nm تنظیم شد. دستگاه با استفاده از شاهد آب مقطر صفر شده و سپس میزان جذب نمونه توسط سیل شیشه‌ای اندازه‌گیری شد. مقادیر TBA با استفاده از رابطه زیر محاسبه و نتایج به صورت mg malonaldehyde/kg oil بیان شد (لاوه‌باجونگ و همکاران، ۲۰۰۹).

$$TBA \text{ value} = (50 \times A532)/m \quad (2)$$

که در آن، عدد ثابت ۵۰ براساس حجم بالن حجمی ۲۵ میلی‌لیتری و طول سیل ۱cm است، ۵۳۲ A میزان جذب نمونه (قبلاً بر اساس میزان جذب نمونه شاهد اصلاح شده) و m وزن نمونه (به میلی‌گرم) است.

آنالیز دیجیتالی رنگ عکس‌های گرفته شده: دوربین در یک مکان مشخص تنظیم شده و در زمان‌های مشخص عکس برداری با دوربین NICON تمام HD با وضوح ۲۱/۱ مگاپیکسل انجام شد. تصاویر به دست آمده برای آنالیز دیجیتالی به کامپیوتر منتقل و سپس به نرم‌افزار فتوشاپ CS2017 منتقل شدند و پس از تبدیل شاخص RGB به L^*a^*b به صورت لکه‌ای با بزرگی 31×31 پیکسل ابتدا average bluer گشته و سپس مقدار شاخص‌های ترکیب رنگ آن‌ها به‌دقت آمده و از طریق رابطه یک ارزش رنگ در نرم‌افزار Exell2016 به ΔE تبدیل شدند (کاسوندی و همکاران، ۲۰۱۵).

گردید. در ادامه، ۱ میلی‌لیتر از محلول ۱ درصد نشاسته به محلول‌ها اضافه و تماماً تکان داده شد. در این زمان رنگ محلول به صورت بنفش در آمد. سپس محلول‌ها با استفاده از محلول تیوسولفات ۰/۰۱ نرمال تا ناپدید شدن رنگ بنفش تیترا گردید. به منظور تکان دادن ممتد و مؤثر محلول حاوی نمونه و هم‌چنین مشاهده بهتر تغییر رنگ طی مراحل تیتراسیون از یک همزن مغناطیسی و آهن‌ربا استفاده شد. حجم تیوسولفات سدیم نهایی اضافه شده ثبت شد. هم‌زمان یک تست شاهد (بدون افزودن روغن یا چربی استخراجی) انجام شد (جوادیان و همکاران، ۲۰۱۷). محاسبه PV با استفاده از:

$$PV = [(S-B) \times N \times 1000]/W \quad (1)$$

که در آن، S حجم (میلی‌لیتر) تیوسولفات سدیم مورد نیاز برای تیترا کردن نمونه، B حجم (میلی‌لیتر) تیوسولفات سدیم مورد نیاز برای نمونه شاهد، N نرمالیه محلول تیوسولفات سدیم و W وزن نمونه (گرم)

اندازه‌گیری مقدار تیوباربیتوریک اسید (TBA): سنجش TBA برای اندازه‌گیری میزان محصولات ثانویه اکسیداسیون به کار برده می‌شود و شدت رنگ صورتی ناشی از واکنش بین مالون آلدهید (Malonaldehyde) یا سایر ترکیبات واکنش‌دهنده با TBA را با تیوباربیتوریک اسید (۲-thiobarbituric acid) در نمونه مورد نظر اندازه‌گیری می‌کنند. روغن استخراج شده آماده شد. سپس مقدار ۵۰ میلی‌گرم روغن داخل بالن حجمی ۲۵ میلی‌لیتری توزین شد. نمونه در مقادیر کمی از ۱-سبوتانول حل و سپس به حجم رسانیده شد. محلول کاملاً مخلوط شد. ۵ میلی‌لیتر از محلول ۰/۲ درصد TBA در ۱-سبوتانول به آن افزوده گردید. هم‌زمان یک تست شاهد (۵

طول دوره نگهداری تغییرات معنی‌داری داشت و بیش‌ترین مقدار آن در انتهای دوره نگهداری با مقدار $6/1$ (meq/kg lipid) بود ($P < 0/05$). افزایش میزان PV¹ یکی از مهم‌ترین از عوامل کاهش کیفیت محصول و چربی آن است. بین عوامل تشدیدکننده و ضداکسیداسیون موجود در بدن موجود زنده تعادل برقرار است اما بعد از مرگ و با گذشت زمان این تعادل مختل شده و فساد اکسیداتیو آغاز می‌شود (طاهری و همکاران، ۲۰۱۲). در همین راستا، هیدروپراکسیدها ترکیبات واسطه‌ای‌اند که به ترکیبات ثانویه اکسیداسیون تبدیل می‌شوند (خجسته‌نژاد و همکاران، ۲۰۱۴) و یا با پروتئین‌ها یا سایر ترکیبات موجود در گوشت تشکیل کمپلکس دهند و سبب تولید بوی نامطبوع و از بین رفتن کیفیت می‌شوند (احمدی و همکاران، ۲۰۱۴). اکسیداسیون لیپیدهای حساس در ماهی در مرحله اول منجر به تشکیل پراکسیدها و در ادامه منجر به شکل‌گیری آلدئیدها و کتون‌ها می‌شود. در مطالعاتی که به بررسی تغییرات اکسیداتیو در طول دوره نگهداری ماهی انجام شده نتایج متفاوتی درباره شاخص پراکساید به‌دست آمده که پژوهشگران به این مورد اشاره کردند که ناپایداری این ترکیبات و تبدیل مدام و پیوسته این ترکیبات به ترکیبات ثانویه اکسیداسیون عامل اصلی این نتایج مختلف به‌دست آمده است (بهنام و همکاران، ۲۰۱۵؛ لاهابنجونگ و همکاران، ۲۰۰۹). این شاخص از طریق تولید محصولات اولیه اکسیداسیون که محصولات ثانویه را تشکیل می‌دهند می‌تواند باعث تغییر کیفی در محصول و هم‌چنین تغییر در رنگ حسگر شوند، محصولات حاصل از تجزیه پراکسیدها تبدیل به آلدئیدها، کتون‌ها، الکل‌ها و ... می‌شود که

$$\Delta E = \sqrt{(a_0 - a_n)^2 + (b_0 - b_n)^2 + (L_0 - L_n)^2} \quad (3)$$

که در آن، شاخص a_0 شاخص a در زمان صفر است و a_n همین شاخص در زمان n می‌باشد، شاخص b_0 شاخص b در زمان صفر است و b_n همین شاخص در زمان n می‌باشد، شاخص L_0 شاخص L در زمان صفر است و L_n همین شاخص در زمان n می‌باشد.

L^* نشان‌دهنده شدت روشنایی است. $L^* = 0$ به منزله سیاه و $L^* = 100$ نشان‌دهنده پراکندگی روشنایی یا نور کامل است. a^* موقعیت آن بین سبز و قرمز متغیر است، مقادیر منفی a^* نشان‌دهنده رنگ‌های سبز و مقادیر مثبت آن به منزله رنگ‌های قرمز هستند. b^* موقعیت آن بین آبی و زرد متغیر است، مقادیر منفی b^* نشان‌دهنده رنگ‌های آبی و مقادیر مثبت آن به منزله رنگ‌های زرد هستند.

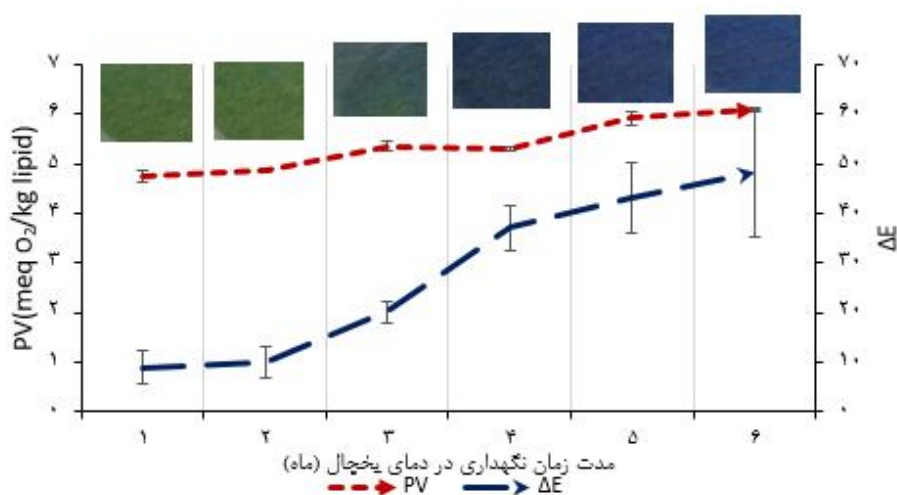
تجزیه تحلیل آماری: عکس‌های مربوط به تغییر رنگ توسط نرم‌افزار فتوشاپ CS7 به سیستم رنگی Lab تبدیل شدند. تجزیه تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS ۲۲ انجام شد. برای بررسی نرمال بودن داده‌ها از آزمون کولموگروف-اسمرینوف و برای بررسی همگنی از آزمون Leven استفاده شد. برای مقایسه کلی پارامترهای اکسیداسیون چربی هم‌چنین از آزمون تجزیه واریانس یک‌طرفه (ANOVA) و برای مقایسه میانگین داده‌ها از آزمون دانکن (در سطح ۵ درصد) و برای تعیین همبستگی بین شاخص‌های اکسیداسیون و تغییر رنگ نانوسنسور از همبستگی پیرسون و سپس برای رسم نمودارها از نرم‌افزار Excel ۲۰۱۶ استفاده شد.

نتایج و بحث

تغییرات شاخص پراکساید (PV): همان‌طوری‌که از شکل ۱- الف پیداست شاخص پراکساید در

نگهداری می‌باشد. در مطالعه‌ای که توسط نقدی و همکاران (۲۰۱۸) انجام شد از شناساگر برموفنول بلو بر پایه فیلم کیتوزان به‌منظور تعیین اکسیداسیون گوشت چرخ شده ماهی کیلکا در طول ۱۶ روز نگهداری در دمای یخچال استفاده شد. نتایج حاصل از مطالعه آن‌ها نشان داد همبستگی بین تغییر رنگ شناساگر ذکر شده و تغییرات پراکساید رابطه مثبت و معنی‌دار ۰/۴۹ بوده است.

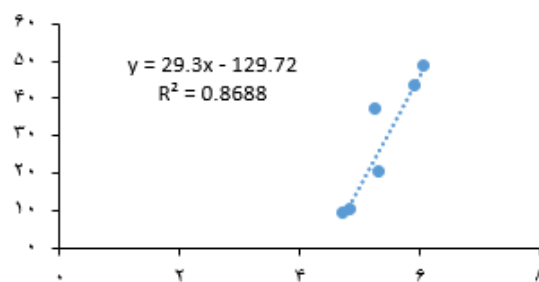
هر کدام بعد از جذب در سطح نانوحسگر منجر به ایجاد واکنش و تغییر رنگ می‌شوند. از همین رو نتایج همبستگی پیرسون بین این شاخص و شاخص تغییر رنگ نانوحسگر در شکل ۱.ب. نشان داده شده است. نتیجه این همبستگی عدد بالا و مثبت ۰/۹۳ بوده است در حالی که رابطه رگرسیونی بین دو شاخص ذکر شده $R^2=0/86$ را نشان داده است. مقادیر ذکر شده بیانگر رابطه خیلی خوب و مناسب بین شاخص تغییر رنگ نانوحسگر (ΔE) و تغییر پراکساید در طول دوره



شکل ۱- الف- تغییرات شاخص پراکساید و تغییر رنگ نانوحسگر در طول دوره نگهداری در دمای یخچال (انحراف معیار \pm میانگین).

Correlations			
		VAR00001	VAR00002
VAR00001	Pearson Correlation	1	.931**
	Sig. (2-tailed)		.007
	N	6	6
VAR00002	Pearson Correlation	.931**	1
	Sig. (2-tailed)	.007	
	N	6	6

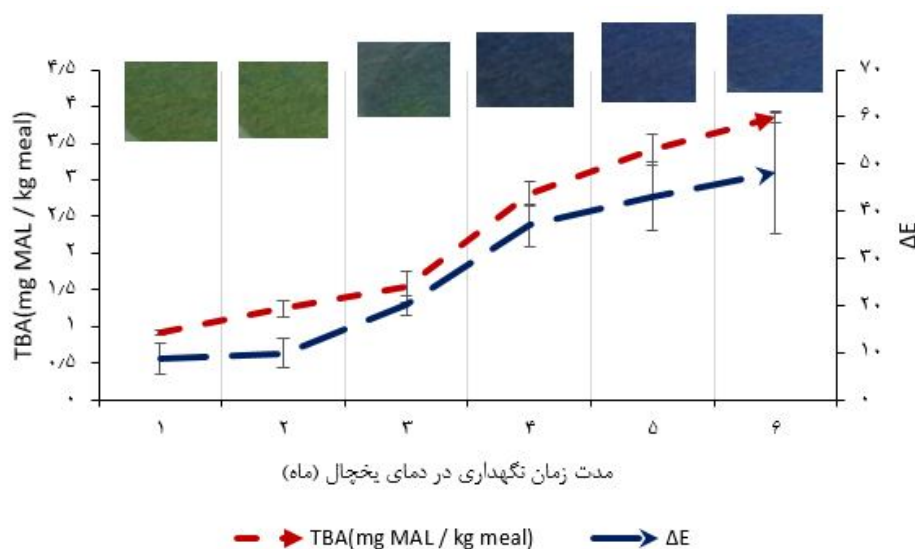
** Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).



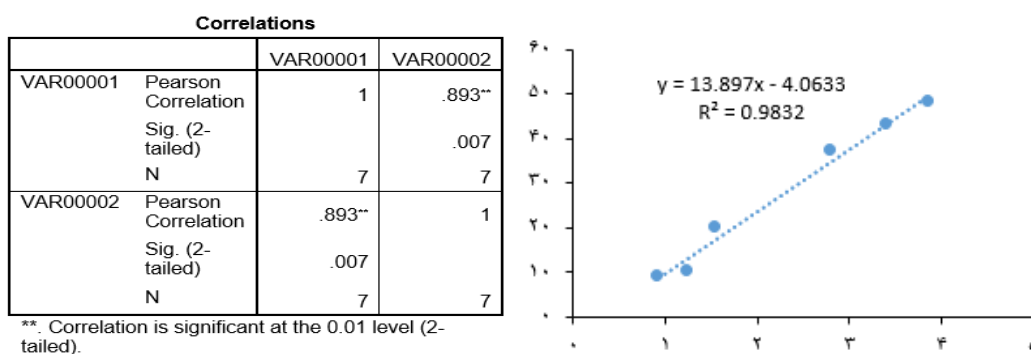
شکل ۱- ب- تعیین رابطه معادله رگرسیونی و همبستگی پیرسون بین دو شاخص پراکساید و تغییر رنگ نانوحسگر.

پودر ماهی به منظور بررسی تأثیرات فیزیولوژیکی آن بر میگو (*Penaeus monodon*) مشخص شد که کمترین میزان رشد در میگوهای تغذیه شده از این جیره غذایی بود و نیز بیشترین آسیب‌های فیزیولوژیکی در بافت کبد را به وجود آورده بود. هم‌چنین جیره‌های با سطوح مختلف TBA تأثیرات مختلفی بر روند رشد و سیستم ایمنی میگو ایجاد کرده بودند. در راستای بررسی روند تأثیرات این شاخص بر تغییر رنگ نانوحسگر باید اشاره کرد که این شاخص هدف اصلی برای ایجاد تغییر رنگ در نانوحسگر بود، زیرا محصولات ثانویه اکسیداسیون که اکثراً الدهیدها هستند در این شاخص به خوبی اندازه‌گیری می‌شوند و هم‌چنین این محصولات با واکنش از طریق گروه آمینی سطح نانوحسگر سبب تولید محصولی به نام شف باز می‌شوند که باعث تغییر pH در سطح نانوحسگر شده و باعث تغییر رنگ آن می‌شوند. همان‌طوری‌که از شکل ۲-ب قابل‌مشاهده است میزان همبستگی پیرسون بین این شاخص و شاخص تغییر رنگ نانوحسگر مقدار بالا و مثبت ۰/۸۹ بود هم‌چنین نتایج رابطه خطی بین دو شاخص ذکر شده $R^2=0/98$ را نشان داد. با توجه به این نتایج به خوبی می‌توان تغییر رنگی ایجاد شده در زمان نگهداری غذای ماهی را به تغییرات مربوط به شاخص TBA نسبت داد.

تغییرات شاخص تیوباریوتیک اسید (TBA): ترکیب سه کربنه مالون دی آلدئید (MDA) مهم‌ترین کربونیل تولید شده از اتوکسیداسیون چربی‌های با زنجیره‌های بلند چنداشباعی است، اندازه‌گیری میزان TBA بر اساس واکنش یک مولکول مالون دی آلدئید و دو مولکول TBA است که باعث ایجاد رنگ صورتی می‌شود و با روش اسپکتوفتومتر سنجیده می‌شود (گای و همکاران، ۲۰۱۵). تولید این محصولات ثانویه اکسیداسیون باعث تخریب بیش‌تر چربی‌ها و پروتئین‌ها می‌شود زیرا این محصولات ثانویه با پروتئین‌ها تشکیل کمپلکس می‌دهند و باعث کاهش ارزش تغذیه‌ای پروتئین می‌شود (لی و همکاران، ۲۰۱۶). همان‌طوری‌که از شکل ۲-الف پیداست میزان این شاخص در طول دوره روند افزایشی داشت و بیشترین مقدار این شاخص در انتهای دوره نگهداری با مقدار $3/86$ (mg MAL / kg meal) بود ($P<0/05$). افزایش در مقدار این شاخص در طول نگهداری و زنجیره نقل و انتقال پودر ماهی به‌عنوان یک امر پذیرفته شده است (بریگیدوتیر و همکاران، ۲۰۰۴؛ لاهابنجونگ و همکاران، ۲۰۰۹). در مطالعه‌ای که توسط لاهابنجونگ و همکاران (۲۰۰۹) انجام شد مشخص شد که در طول دوره نگهداری غذای ماهی به مدت ۶ ماه این شاخص افزایش معنی‌داری داشت و پس از استفاده از این



شکل ۲- الف- تغییرات شاخص تیوباریوتیک اسید (TBA) و تغییر رنگ نانوحسگر در طول دوره نگهداری در دمای یخچال (انحراف معیار ± میانگین).



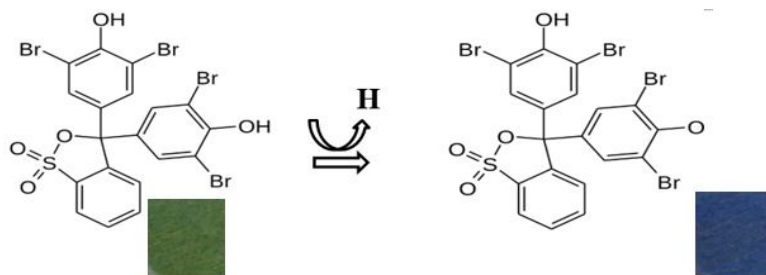
شکل ۲- ب- تعیین رابطه معادله رگرسیونی و همبستگی پیرسون بین دو شاخص تیوباریوتیک اسید (TBA) و تغییر رنگ نانوحسگر.

آخرین لایه آن در اثر حضور مواد با pH بازی است که این واکنش مطابق شکل ۳ است. هم‌چنین این معرف pH دارای طیف رنگی از نارنجی، زرد، سبز و آبی با درجه‌های مختلف است (شکلا و همکاران، ۲۰۱۵). هم‌چنین امروزه برای ارتقای حسگرها از نانوذرات به‌دلیل داشتن ویژگی‌های خاص استفاده شده است (شکلا و همکاران، ۲۰۱۵؛ کاسوندی و همکاران، ۲۰۱۶). در سال‌های اخیر در پژوهش‌هایی که به‌منظور ساخت سنسور مناسب جهت حضور و

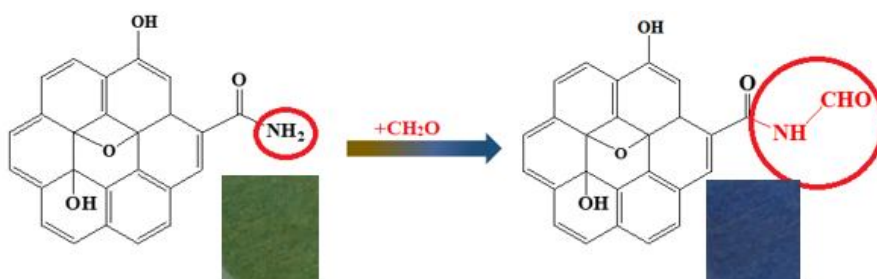
بررسی عملکرد مکانیسم تغییر رنگ نانوحسگر: مترجم مهم‌ترین بخش یک حسگر است و می‌تواند از مواد مختلفی مانند معرف‌های pH انتخاب شود (کاسوندی و همکاران، ۲۰۱۶)، که در مطالعه حاضر به‌دلیل حساسیت مناسب بروموفنل آبی به تولید محصولات حاصل از اکسیداسون و قدرت بالا در تفکیک pH اسیدی از بازی به‌عنوان مترجم انتخاب شد (کستشا و همکاران، ۲۰۱۶). مبنای تغییر رنگ و ایجاد طیف رنگ این ماده تغییر در بار الکترونی

است (سرینویس و همکاران، ۲۰۱۴). در همین راستا واکنش بین آلدهید و نانوحسگر رنگی در شکل ۴ نشان داده شده است. همان طوری که از نتایج تغییر رنگ نانوحسگر (ΔE) پیداست مقدار این شاخص در طول دوره روند افزایشی داشت ($P < 0/05$) و بیشترین مقدار آن در انتهای دوره نگهداری بود. در مطالعاتی که به بررسی و ارزیابی استفاده از شناساگر برموفنول بلو به عنوان بسته بندی هوشمند استفاده شده بود نتایج نشان داد که این شناساگر قابلیت بسیار مناسب در نشان دادن فساد اکسیداسیون و میکروبی بوده و در طول نگهداری تغییر رنگ واضحی نشان داده است (نقدی و همکاران، ۲۰۱۸؛ کاسوندی و همکاران، ۲۰۱۶).

اندازه گیری آلدهیدها انجام شده است از ترکیباتی استفاده می شود که دارای گروه آمینی در ساختار خود می باشند، زیرا بیش تر این روش هایی که برای شناسایی آلدهیدها به کار برده شده بر اساس اضافه کردن گروه آمین به آلدهید یا به عبارت بهتر جذب آلدهید توسط گروه آمینی از طریق پیوند هیدروژنی است (موهر و همکاران، ۲۰۰۴؛ تودا و همکاران، ۲۰۰۵؛ کاماوارا و همکاران، ۲۰۰۵؛ فنگ و همکاران، ۲۰۱۰). واکنش بین آمین های نوع اول و دوم با آلدهید منجر به تولید شیف باز (Schiff base) ^۱ و آب می شود. تولید شیف باز منجر به تغییر رنگ و تغییر pH می شود (فنگ و همکاران، ۲۰۱۰). این روش یعنی به دام انداختن آلدهیدها با آمین روش مناسبی برای تشخیص و تعیین آلدهید از طریق تغییر pH



شکل ۳- مکانیسم تغییر رنگ شناساگر برموفنول بلو در تغییر بی اچ محیط.



شکل ۴- مکانیسم جذبی آلدهیدها توسط نانوحسگر گرافن اکسید آمین دار - برموفنول بلو برا پایه کاغذ صافی.

در ادامه به منظور بررسی جامع‌تر وضعیت کیفی غذای ماهی نگهداری شده در شرایط سرد تغییرات موجود در شاخص‌های رطوبت، چربی، خاکستر و پروتئین مورد بررسی قرار گرفت که نتایج به شرح زیر بودند:

تغییرات محتوای چربی: طبق نتایج به دست آمده (جدول ۱) مشخص شد که تغییرات محتوای چربی یک روند کاهشی داشته و در نهایت محتوای آن به $0.26 \pm 10.53\%$ درصد رسید ($P < 0.05$). پودر ماهی تهیه شده از ماهی‌های چرب در طول دوره نگهداری به طور کلی دچار یک روند کاهشی می‌شوند و در طول دوره کاهش می‌یابند که این کاهش در محتوای چربی را پژوهشگران به فرایند کند اکسیداسیون نسبت داده‌اند که نتیجه این فرایند تولید محصولات حاصل از اکسیداسیون همانند آلدهیدها، کتون‌ها و الکل‌ها می‌باشد (موحامد، ۲۰۱۲؛ کوزولینو و همکاران، ۲۰۰۲). این محصولات از طریق مکانیسم ذکر شده در شکل ۲ می‌توانند جذب حسگر شده و منجر به تغییر رنگ حسگر شده‌اند. در مطالعه‌ای که بر روی تاثیرات نقل و انتقال و ذخیره‌سازی غذای ماهی‌های مختلف در طول فرایند فروش و جابجایی تا زمان مصرف انجام شد مشخص شد که روند ثابت و مشخصی در تغییرات محتوای چربی نمونه‌ها وجود ندارد و در برخی از آن‌ها روند کاهشی داشته که این نتایج را نیز به تغییرات در محتوای رطوبت نمونه‌ها نسبت داده‌اند (موحامد، ۲۰۱۲؛ براگادوتیر و همکاران، ۲۰۰۴).

تغییرات محتوای پروتئین: تغییرات محتوای پروتئین به صورت نامظم و کاهشی بود ($P < 0.05$). محتوای پروتئین یکی از کلیدی‌ترین عوامل مؤثر بر هزینه تولید و تمام شده غذای ماهی است. محتوای پروتئین در جیره‌های غذای مختلف بنا بر آبی پرورش داده شده متفاوت است و با توجه به نوع تغذیه محصول پرورش داده شده محتوای پروتئینی جیره غذایی ماهی

متفاوت می‌باشد (موحامد، ۲۰۱۲). در مطالعه موحامد (۲۰۱۲) مشخص شد که محتوای پروتئینی غذای ماهی تولید شده در طول دوره نگهداری به مدت یک سال کاهش معنی‌دار $7/6\%$ درصد را داشت. آن‌ها این کاهش محتوای پروتئینی را به دمای بالای محیط نگهداری و زنجیره نقل و انتقال نسبت دادند به صورتی که این افزایش دما می‌تواند از طریق تأثیری که بر ساختار شیمیایی پروتئین‌ها می‌گذارد باعث تخریب آن و در نهایت سبب کاهش کیفیت و ارزش تغذیه‌ای محتوای پروتئینی شود. هم‌چنین در تعدادی از مطالعات انجام شده پژوهشگران تغییرات در محتوای پروتئینی به فعالیت تخریبی و رشد باکتری‌ها نسبت داده شده بود (لیم و همکاران، ۲۰۰۱؛ سولومون و همکاران، ۲۰۱۶). تغییرات ناشی از رشد باکتری‌ها بر سوبستراهای پروتئینی می‌تواند منجر به تولید محصولاتی همانند آمین‌ها شود که این ترکیبات با تأثیر بر عملکرد تغییر رنگ حسگر مهم در نظر گرفته می‌شود (سولومون و همکاران، ۲۰۱۶).

تغییرات محتوای رطوبت: همان‌طوری که در جدول ۱ مشخص است درصد رطوبت در ابتدای دوره نگهداری $74 \pm 7/29\%$ بود که در طول دوره نگهداری در مدت ۶ ماه افزایش معنی‌داری داشت ($P < 0.05$). پژوهشگران بیان نمودند که افزایش در مقدار رطوبت می‌تواند مربوط به فرایندهای بیولوژیکی ناشی از فعالیت میکروارگانیسم‌هایی مانند قارچ‌ها و حشرات باشد (کنان و همکاران، ۲۰۱۶). هم‌چنین در مطالعات دیگری مشخص شد که افزایش در درصد رطوبت در طول فرایند ذخیره‌سازی می‌تواند به دلیل دما و رطوبت محل ذخیره‌سازی پودر ماهی باشد (دی‌کونینگ و همکاران، ۲۰۰۲). در همین راستا این پژوهشگران معتقد بودند که نگهداری فرآورده‌های پودر ماهی در کیسه‌هایی که بتوانند مانع از نفوذ رطوبت و نور به

تغییرات محتوای خاکستر: همان طوری که از نتایج این بخش پیداست (جدول ۱)، در طول ذخیره سازی غذای ماهی در یخچال روند افزایشی معنی داری در محتوای خاکستر دیده شده و بیشترین مقدار آن در انتهای دوره نگهداری مشاهده شد ($P < 0/05$). میزان مواد معدنی موجود در جیره غذایی به محتوای استخوان ماهی که پودر ماهی از آن تهیه شده است بستگی دارد، هم چنین عامل تأثیرگذار دیگر در این شاخص زمان صید ماهی ای است که برای تولید پودر ماهی مورد استفاده قرار می گیرد (برآگادوتیر و همکاران، ۲۰۰۴). در مطالعه دیگری تغییرات در مقدار این شاخص را به تأثیر شرایط محیطی و آلودگی هایی مانند گرد و خاک در محیط نگهداری پودر ماهی با بسته باز شده نسبت داده شده است که پژوهشگران این پژوهش به این مورد اشاره کردند که نشستن گرد و غبار بر روی پودر ماهی یا آلودگی های محیطی ناشی از نقل و انتقال می تواند باعث تغییر در محتوای این شاخص شده باشد (موحامد، ۲۰۱۲).

درون محصول شود می تواند از این افزایش رطوبت ناشی از شرایط محیطی جلوگیری کرد. که در مطالعه حاضر نیز بسته حاوی غذای ماهی به خوبی بسته بندی شده به طوری که از تأثیر شرایط محیطی بر آن تا حد امکان جلوگیری شود. اما ممکن است در طول انتقال نمونه برای آنالیزهای بیش تر رطوبت آن به دلیل انتقال رطوبت محیط به نمونه ها رطوبت آن ها افزایش پیدا کند. در مطالعه کنان و همکاران (۲۰۱۶) که تعدادی پودر ماهی مختلف را به مدت چند ماه در شرایط مختلف انواع بسته بندی (بسته پودر ماهی باز باشد و بسته پودر ماهی بسته باشد) نگهداری کردند که در تمامی پودرهای ماهی بسته بندی شده محتوای رطوبت آن ها افزایش معنی داری نیز داشته بود (کنان و همکاران، ۲۰۱۶). که نتایج مطالعه آن ها نیز در راستای نتایج مطالعه حاضر می باشد که غذای ماهی در شرایط بسته بندی شده نیز دچار افزایش رطوبت شده است که این تغییرات را می توان به فرایندهای بیولوژیکی ناشی از میکروارگانیسم ها نسبت داد.

جدول ۱- تغییرات مقادیر خاکستر، پروتئین، چربی و رطوبت غذای ماهی در طول دوره نگهداری ۶ ماهه در دمای یخچال ($n=3$; انحراف معیار \pm میانگین).

ماه	ماه اول	ماه دوم	ماه سوم	ماه چهارم	ماه پنجم	ماه ششم
شاخص ها						
خاکستر (درصد)	$7/29 \pm 0/06^c$	$7/47 \pm 0/09^b$	$7/54 \pm 0/07^b$	$7/67 \pm 0/11^b$	$7/91 \pm 0/06^a$	$8/04 \pm 0/08^a$
چربی (درصد)	$12/87 \pm 0/09^a$	$12/64 \pm 0/05^a$	$12/19 \pm 0/16^b$	$11/87 \pm 0/12^c$	$11/35 \pm 0/25^d$	$10/53 \pm 0/26^e$
پروتئین (درصد)	$54/51 \pm 0/32^a$	$54/31 \pm 0/05^a$	$53/64 \pm 0/33^b$	$53/20 \pm 0/14^c$	$52/47 \pm 0/12^d$	$52/37 \pm 0/11^d$
رطوبت (درصد)	$7/19 \pm 0/74^c$	$8/08 \pm 0/05^{bc}$	$8/40 \pm 0/07^b$	$8/51 \pm 0/02^{ab}$	$8/72 \pm 0/06^{ab}$	$9/37 \pm 0/34^a$

حروف کوچک انگلیسی نامشابه در برابر اعداد هر ستون نشان دهنده اختلاف معنی داری بین میانگین داده ها است ($P < 0/05$). نتایج به صورت (انحراف معیار \pm میانگین) بیان شده اند.

نتیجه‌گیری

امروزه آسیب‌های مخرب ناشی از فساد و تقلب در ارائه محصول بی‌کیفیت باعث تغییر در رویکرد مصرف‌کنندگان و تولیدکنندگان شده است. در این مطالعه نیز به‌منظور بررسی و ارزیابی کیفیت غذای ماهی ذخیره شده در دمای یخچال به‌مدت شش ماه از نانوحسگر رنگی گرافن اکسید آمین‌دار شده- برموفنول بلو بر پایه کاغذ صافی استفاده شد. نتایج بیانگر آن بود که این نانوحسگر بخوبی قابلیت ارائه و نمایان کردن تغییرات کیفی غذای ماهی بسته‌بندی‌شده را در زمان نگهداری دارد. نتایج همبستگی شاخص تغییر رنگ و کیفیت اکسیداتیو تأییدکننده مطلب ذکر شده

است. رنگ نانوحسگر موردنظر در طول مدت نگهداری غذای ماهی از رنگ سبز به رنگ آبی تغییر نمود. در نهایت می‌توان بیان نمود که این روش می‌تواند یک روش کارکردی، ارزان‌قیمت با دقت بالا در ارائه کیفیت پودر ماهی بسته‌بندی و نگهداری شده در شرایط سرد باشد.

سپاسگزاری

نویسندگان این مقاله از حمایت مالی دانشگاه تربیت مدرس در انجام این پژوهش سپاسگزاری می‌نمایند.

منابع

- AOAC. 2005. Official Method of Analysis (17th Edition). Association of Officiating Analytical Chemists, Washington DC, Method 935.14 and 992.24: 771p.
- Ahmadi, M., Razavilar, V., Motallebi, A.A., Kenari, R.E., and Khanipour, A.A. 2014. Effects of Hydroalcoholic and Water Extracts of Nettle Leaf (*Urtica dioica* L.) on Chemical Properties of Superchilled Minced Meat of Common Kilka (*Clupeonella cultriventris caspia*). J. Food Qual. Hazard. Control. 1: 85-88.
- Behnam, S., Anvari, M., Rezaei, M., Soltanian, S., and Safari, R. 2015. Effect of nisin as a biopreservative agent on quality and shelf life of vacuum packaged rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) stored at 4 °C. J. Food Sci. Technol. 52: 2184-2192. <https://doi.org/10.1007/s13197-013-1241-2>.
- Bragadóttir, M., Pálmadóttir, H., and Kristbergsson, K. 2004. Composition and Chemical Changes during Storage of Fish Meal from Capelin (*Mallotus villosus*). J. Agric. Food Chem. 52: 1572-1580. <https://doi.org/10.1021/jf034677s>.
- Cozzolino, D., Chree, A., Murray, I., and Scaife, J.R. 2002. The assessment of the chemical composition of fishmeal by near infrared reflectance spectroscopy. Aquac. Nutr. 8: 149-155. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2095.2002.00206.x>.
- Chopra, S., McGuire, K., Gothard, N., Rao, A.M., and Pham, A. 2003. Selective gas detection using a carbon nanotube sensor. *Applied Physics Letters*, 83: 11. 2280-2282.
- De Koning, A.J. 2002. Quantitative quality tests for fish meal. II: An investigation of the quality of South African fish meals and the validity of a number of chemical quality indices. Int. J. Food Prop. 5: 495-507. <https://doi.org/10.1081/JFP-120015487>.
- Eymard, S., Jacobsen, C., and Baron, C.P. 2010. Assessment of washing with antioxidant on the oxidative stability of fatty fish mince during processing and storage. J. Agric. Food Chem. 58: 6182-6189. <https://doi.org/10.1021/jf904013k>.
- FAO, I., and UNICEF, 2018. WFP and WHO: The State of Food Security and Nutrition in the World 2018. *Building climate resilience for food security and nutrition*, 200.
- Feng, L., Musto, C.J., and Suslick, K.S. 2010. A Simple and Highly Sensitive Colorimetric Detection Method for Gaseous Formaldehyde. Pp: 4046-4047.

- Gai, F., Ortoffi, M., Giancotti, V., Medana, C., and Peiretti, P.G. 2015. Effect of Red Grape Pomace Extract on the Shelf Life of Refrigerated Rainbow Trout (*Oncorhynchus mykiss*) Minced Muscle. *J. Aquat. Food Prod. Technol.* 24: 468-480. <https://doi.org/10.1080/10498850.2013.789094>.
- Gong, J., Li, Y., Hu, Z., Zhou, Z., and Deng, Y. 2010. Ultrasensitive NH₃ gas sensor from polyaniline nanograin enched TiO₂ fibers. *The Journal of Physical Chemistry C*, 114: 21. 9970-9974.
- Huang, S., Xiong, Y., Zou, Y., Dong, Q., Ding, F., Liu, X., and Li, H. 2019. A novel colorimetric indicator based on agar incorporated with *Arnebium* euchroma root extracts for monitoring fish freshness. *Food Hydrocoll.* 90: 198-205. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.12.009>.
- Hummers, W.S., and Offeman, R.E. 1958. Preparation of Graphitic Oxide. *J. Am. Chem. Soc.* 80: 1339. <https://doi.org/10.1021/ja01539a017>.
- Javadian, S.R., Shahosseini, S.R., and Ariaii, P. 2017. The Effects of Liposomal Encapsulated Thyme Extract on the Quality of Fish Mince and *Escherichia coli* O157:H7 Inhibition During Refrigerated Storage. *J. Aquat. Food Prod. Technol.* 26: 115-123. <https://doi.org/10.1080/10498850.2015.1101629>.
- Kawamura, K., Kerman, K., Fujihara, M., Nagatani, N., Hashiba, T., and Tamiya, E. 2005. Development of a novel handheld formaldehyde gas sensor for the rapid detection of sick building syndrome. *Sensors Actuators, B Chem.* 105: 495-501. <https://doi.org/10.1016/j.snb.2004.07.010>.
- Khojastehnazhand, M., Khoshtaghaza, M.H., Mojaradi, B., Rezaei, M., Goodarzi, M., and Saeys, W. 2014. Comparison of visible-near infrared and short wave infrared hyperspectral imaging for the evaluation of rainbow trout freshness. *Food Res. Int.* 56: 25-34. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2013.12.018>.
- Ko, Y., Jeong, H.Y., Kwon, G., Kim, D., Lee, C., and You, J. 2020. pH-responsive polyaniline/polyethylene glycol composite arrays for colorimetric sensor application. *Sensors Actuators, B Chem.* 305: 127447. <https://doi.org/10.1016/j.snb.2019.127447>.
- Konan, C., Coulibaly, A., Daouda, S., Konan, Y., Chatigre, O., and Biego, H. 2016. Evolution of the Merchantability during Storage of Cowpeas (*Vigna unguiculata* L. Walp) Bagged Pics Containing a Biopesticide (*Lippia multiflora* Moldenke). *J. Agric. Ecol. Res. Int.* 9: 1-12. <https://doi.org/10.9734/jaeri/2016/28304>.
- Kostesha, N., Sonne, T., Morsy, M.K., Kinga, Z., Heiskanen, A., El-tanahi, H., Sharoba, A., Papkovsky, D., and Larsen, J. 2016. Development and validation of a colorimetric sensor array for fish spoilage monitoring. 60: 346-352. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2015.07.038>.
- Kuswandi, B., Damayanti, F., Jayus, J., Abdullah, A., and Heng, L.Y. 2015. Simple and Low-Cost On-Package Sticker Sensor based on Litmus Paper for Real-Time Monitoring of Beef Freshness. *J. Math. Fundam. Sci.* 47: 236-251. <https://doi.org/10.5614/j.math.fund.sci.2015.47.3.2>.
- Kuswandi, B., Futra, D., and Heng, L.Y. 2017. Nanosensors for the Detection of Food Contaminants, Nanotechnology Applications in Food: Flavor, Stability, Nutrition and Safety. Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811942-6.00015-7>.
- Kuswandi, B.B., Oktaviana, R., Abdullah, A., and Heng, L.Y. 2016. A Novel On-Package Sticker Sensor Based on Methyl Red for Real-Time Monitoring of Broiler Chicken Cut Freshness 69-81. <https://doi.org/10.1002/pts>.
- Laohabanjong, R., Tantikitti, C., Benjakul, S., Supamattaya, K., and Boonyaratpalin, M. 2009. Lipid oxidation in fish meal stored under different conditions on growth, feed efficiency and hepatopancreatic cells of black tiger shrimp (*Penaeus monodon*). *Aquaculture* 286: 283-289. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2008.09.038>.

- Lupan, O., Ursaki, V.V., Chai, G., Chow, L., Emelchenko, G.A., Tiginyanu, I.M., Gruzintsev, A.N., and Redkin, A.N. 2010. Selective hydrogen gas nanosensor using individual ZnO nanowire with fast response at room temperature. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 144: 1. 56-66.
- Li, D., Teng, J., Wang, Hang, Liu, X., Luo, Y., and Wang, H. 2016. Relationship between Lipid Oxidation, Protein Function Properties and Freshness Changes of Salt Treated Blunt-Snout Bream (*Megalobrama Amblycephala*) Fillets Stored at 4 °C. *J. Aquat. Food Prod. Technol.* 8850, 10498850. 2016.1214202. <https://doi.org/10.1080/10498850.2016.1214202>.
- Li, W., Geng, X., Guo, Y., Rong, J., Gong, Y., Wu, L., Zhang, X., and Li, P. 2011. Reduced Graphene Oxide Electrically Contacted Graphene Sensor for Highly Sensitive Nitric Oxide Detection. *Am. Chem. Soc. Nanotechnol.* 5: 6955-6961.
- Lim, H.A., Ng, W.K., Lim, S.L., and Ibrahim, C.O. 2001. Contamination of palm kernel meal with *Aspergillus flavus* affects its nutritive value in pelleted feed for tilapia, *Oreochromis mossambicus*. *Aquac. Res.* 32: 895-905. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2109.2001.00625.x>.
- Malek Alaie, M., Jahangiri, M., Rashidi, A.M., Haghighi Asl, A., and Izadi, N. 2015. A novel selective H₂S sensor using dodecylamine and ethylenediamine functionalized graphene oxide. *J. Ind. Eng. Chem.* 29: 97-103. <https://doi.org/10.1016/j.jiec.2015.03.021>.
- Mohammed, O. 2012. Effect of Storage Time on Fishmeal Made from Four Commercial Nile Fishes collected from the White Nile, Sudan. *Bull. Environ. Pharmacol. Life Sci.* 1: 21-25.
- Mohr, G.J. 2004. Chromo-and Fluororeactands: Indicators for Detection of Neutral Analytes by Using Reversible Covalent-Bond Chemistry. *Chem. - A Eur. J.* 10: 1082-1090. <https://doi.org/10.1002/chem.200305524>.
- Morsy, M.K., Zór, K., Kostesha, N., Alstrøm, T.S., Heiskanen, A., El-Tanahi, H., Sharoba, A., Papkovsky, D., Larsen, J., Khalaf, H., and Jakobsen, M.H., 2016. Development and validation of a colorimetric sensor array for fish spoilage monitoring. *Food Control*, 60: 346-352.
- Naghdi, S., Rezaei, M., and Bahramifar, N. 2018. Evaluation Quality oxidation Minced of Common Kilka (*Clupeonella cultriventris caspia*) in Cold Storage Conditions by Sensor Bromophenol Blue Based on Chitosan Film. *JFST.* 7: 4. 243-248.
- Nguyen, P.D., Tran, T.B., Nguyen, D.T.X., and Min, J. 2014. Magnetic silica nanotube-assisted impedimetric immunosensor for the separation and label-free detection of *Salmonella typhimurium*. *Sensors Actuators, B Chem.* 197: 314-320. <https://doi.org/10.1016/j.snb.2014.02.089>.
- Sabeena Farvin, K.H., and Jacobsen, C. 2013. Phenolic compounds and antioxidant activities of selected species of seaweeds from Danish coast. *Food Chem.* 138: 1670-1681. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.10.078>.
- Shukla, V., Kandeepan, G., and Vishnuraj, M.R. 2015. Development of On-Package Indicator Sensor for Real-Time Monitoring of Buffalo Meat Quality During Refrigeration Storage. *Food Anal. Methods.* 8: 1591-1597. <https://doi.org/10.1007/s12161-014-0066-6>.
- Solomon, S.G., Tiamiyu, L.O., Okomoda, V.T., and Adaga, K. 2016. Učinci uvjeta škladistenja na odlike kvalitete komercijalne riblje hrane i rasta afričkog soma *clarius gariepinus*. *Ribar. Croat. J. Fish.* 74: 30-37. <https://doi.org/10.1515/cjf-2016-0006>.
- Srinives, S., Sarkar, T., and Mulchandani, A. 2014. Sensors and Actuators B: Chemical Primary amine-functionalized polyaniline nanothin film sensor for detecting formaldehyde. *Sensors Actuators B. Chem.* 194: 255-259. <https://doi.org/10.1016/j.snb.2013.12.079>.

- Taheri, S., Motalebi, A.A., and Fazlara, A. 2012. Antioxidant effect of ascorbic acid on the quality of Cobia (*Rachycentron canadum*) fillets during frozen storage. 11: 666-680.
- Toda, K., Yoshioka, K., Mori, K., and Hirata, S. 2005. Portable system for near-real time measurement of gaseous formaldehyde by means of parallel scrubber stopped-flow absorptiometry 531: 41-49. <https://doi.org/10.1016/j.aca.2004.08.070>.
- Wu, T.H., and Bechtel, P.J. 2008. Salmon by-product storage and oil extraction. Food Chem. 111: 868-871. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.04.064>.
- Yuan, W., Liu, A., Huang, L., Li, C., and Shi, G. 2013. High-Performance NO₂ Sensors Based on Chemically Modified Graphene. Adv. Mater. 25: 766-771. <https://doi.org/10.1002/adma.201203172>.
- Zawisza, B., Baranik, A., Malicka, E., Talik, E., and Sitko, R. 2016. Preconcentration of Fe(III), Co(II), Ni(II), Cu(II), Zn(II) and Pb(II) with ethylenediamine-modified graphene oxide. Microchim. Acta. 183: 231-240. <https://doi.org/10.1007/s00604-015-1629-y>.

