مجله علوم تغذیه و صنایع غذایی ایران
سال پانزدهم، شماره ۱، بهار ۱۳۹۹، صفحات ۱۲۲-۱۱۳

تعیین غیرتخریبی بازهای ازته فرار کل (TVB-N) توسط تصاویر ابرطیفی در ماهی گوازیوم دم‌رشته‌ای (*Nemipterus japonicus*)

سارا خشنودی‌نیا[1]، مرضیه موسوی‌نسب[2]

۱- دانش‌آموخته‌ی دکتری علوم و صنایع غذایی، گروه پژوهشی فرآوری آبزیان، دانشکده‌ی کشاورزی، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران

۲ – نویسنده مسئول: استاد بخش علوم و صنایع غذایی و رئیس گروه پژوهشی فرآوری آبزیان، دانشکده‌ی کشاورزی دانشگاه شیراز، شیراز، ایران

پست الکترونیکی: marzieh.moosavi-nasab@mail.mcgill.ca

تاریخ دریافت: ۹۸/۲/۱۷ تاریخ پذیرش: ۹۸/۵/۱۴

چکیده

سابقه و هدف: با توجه به اهمیت ارزیابی کیفی آبزیان از صید تا مصرف، روش‌های سریع و غیرتخریبی برآورد فساد در صنعت شیلات مهم هستند. هدف این مطالعه بررسی پتانسیل به‌کارگیری تصاویر ابرطیفی (HSI: ۱۰۱۰-۴۳۰ nm) برای پیش‌بینی بازهای ازته‌ی فرار کل (TVB-N) در فیله‌ی گوازیوم دم‌رشته‌ای (*Nemipterus japonicus*) به عنوان ماهی آب شور است.

مواد و روش‌ها: فساد فیله‌های ماهی طی ۸ روز نگهداری در دمای یخچال (۴±۲ °C) مورد بررسی قرار گرفت. ابتدا، داده‌های مربوط به تصاویر ابرطیفی و TVB-N فیله‌های ماهی در آزمایشگاه حاصل شد. مدل اولیه‌ی پیش‌بینی این شاخص بر پایه‌ی شبکه‌ی مصنوعی عصبی پس‌انتشار خطا (BP-ANN) تشکیل شد. برای ساده کردن مدل، ۱۰ طول موج به روش ضریب-رگرسیون (RC) انتخاب شد و مدل‌های رگرسیون خطی-چندگانه (MLR) و BP-ANN بر پایه‌ی طول موج‌های برگزیده پیاده‌سازی شدند.

یافته‌ها: در طیف کامل طول موج، مدل BP-ANN قدرت پیش‌بینی نسبتاً ضعیفی را نشان داد (R^2_P=۰/۷۶ و RMSEP=۴/۴۵). بعد از انتخاب ۱۰ طول موج، توانایی مدل‌های ساده شده بهتر از مدل مبتنی بر طیف کامل بود. قدرت پیش‌بینی مدل ساده BP-ANN بالاتر از MLR بود ($R^2_{P(RC-BP-ANN)}$=۰/۸۲۰ و $RMSEP_{RC-BP-ANN}$=۳/۷۹؛ $R^2_{P(RC-MLR)}$=۰/۷۹۴ و $RMSEP_{RC-MLR}$=۴/۲۵). بنابراین RC-BP-ANN عملکرد خوبی را در پیش‌بینی شاخص TVB-N نشان داد (۰/۸۲≤R^2_P≤۰/۹۰).

نتیجه‌گیری: اگرچه مدل چندطیفی ساده‌ی توسعه‌یافته بر پایه‌ی مدل BP-ANN نتایج امیدوارکننده‌ای را در پیش‌بینی مقادیر TVB-N فیله‌ی ماهی گوازیوم دم‌رشته‌ای نشان داد. اما، مدل پایه‌ریزی‌شده قدرت پیش‌بینی قوی را در طول دوره‌ی نگهداری نشان نداد. بنابراین مطالعات بیش‌تری به منظور بهبود قدرت پیش‌بینی و کاربری روش HSI برای برآورد TVB-N در ماهی گوازیوم دم‌رشته‌ای نیاز است.

واژگان کلیدی: انتخاب متغیر، بازهای ازته فرار کل، تحلیل شیمی‌سنجی، تصاویر ابرطیفی، ماهی گوازیوم دم رشته‌ای

• مقدمه

توسعه‌ی سریع صنعت شیلات در کنار افزایش آگاهی مصرف‌کننده و بهبود عادات غذایی، تمایل به مصرف فرآورده‌های دریایی به ویژه ماهی را افزایش داده است (۱). بعد از صید ماهی، عضلات ماهی در معرض فساد فیزیکی، شیمیایی و میکروبی قرار می‌گیرد و به تدریج کیفیت ماهی را تحت تأثیر قرار می‌دهد و در نهایت آن را غیرقابل مصرف می‌سازد. همگام با افزایش آگاهی مصرف‌کنندگان، نیاز به کیفیت بالاتر و اطمینان از سلامت فرآورده‌های دریایی به یکی از دغدغه‌های مهم مصرف‌کننده و صنعت مبدل شده است.

شیوه‌های سنتی متفاوتی در زمینه‌ی سنجش محصولات گوشتی از جمله ماهی در دسترس است که عموما شامل ارزیابی حسی، نظارت میکروبی و برآورد شاخص‌های شیمیایی است (۱). در این میان شاخص بازهای ازته فرار (TVB-N) از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. این شاخص ترکیبات بازی فرار (شامل آمونیاک، تری‌متیل‌آمین و دی‌متیل آمین) را مشخص می‌کند که در طول تجزیه‌ی پروتئین حاصل می‌شود. بنابراین می‌تواند معیار نسبتا مناسبی برای برآورد تخریب پروتئین محصولات گوشتی طی دوران نگهداری باشد (۱). مقامات

[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2025-06-02]

نظارت بر کیفیت و سلامت مواد غذایی، سنجش بازهای ازته فرار را در بسیاری کشورها به عنوان شاخص اجباری سنجش کیفیت ماهی معرفی کرده‌اند (۲). اما برآورد این شاخص با استفاده از روش مرسوم زمان‌بر بوده و نیازمند اپراتور آموزش‌دیده و ماهر است. ضمن این‌که به دلیل تخریبی بودن آزمون‌ها، امکان سنجش کیفیت تک‌تک محصولات فراهم نیست. بنابراین روش‌های مرسوم مناسب نظارت درون‌خطی (In-line) یا روی خطی (On-line) نیستند و برای پاسخ به تقاضای فزاینده مصرف‌کنندگان مبنی بر دریافت غذای ایمن و سالم و همچنین نیاز صنعت به انجام سریع آزمون‌های سنجش کیفیت و تازگی محصولات دریایی از صید تا فروش، روش‌های غیر مخرب و سریع، نیاز فوری این صنعت شیلات است.

در سال‌های پیشین برخی روش‌های سریع و غیرتخریبی برای برآورد تازگی و سلامت ماهی طی زمان نگهداری ارائه شده است که از مهم‌ترین این روش‌ها می‌توان به بینایی رایانه‌ای (Computer Vision) و طیف‌سنجی (Spectroscopy) اشاره کرد (۵-۳). با این حال به کارگیری روش بینایی‌رایانه‌ای به‌تنهایی نمی‌تواند اطلاعات ترکیب شیمیایی محصول را ارائه کند و روش طیف‌سنجی نیز قادر به تجسم اطلاعات فضایی نمونه نیست (۱).

فن‌آوری تصویربرداری ابرطیفی (Hyperspectral imaging) مزایای هر دو روش را در یک مجموعه گردآوری می‌کند و به عبارتی می‌تواند اطلاعات شیمیایی و فضایی نمونه را همزمان در اختیار کاربر قرار دهد. اما، تفسیر تغییرات منحنی نمودار طیفی پیچیده است و در عین حال پیک‌های کاملا مشخصی برای شاخص‌های فساد در پروفایل طیفی به چشم نمی‌خورد. به علاوه حجم داده‌های طیفی این تصاویر بسیار بزرگ است و می‌تواند حجم زیادی از اطلاعات پنهان را شامل شود که به طور معنی‌داری با شاخص‌های فساد ماهی در ارتباط است. با این حال این داده از مشکل هم‌خطی (Collinearity) رنج می‌برند و حاوی اطلاعات مزاحم هستند. به همین دلیل انجام تحلیل و بررسی‌های شیمی‌سنجی برای داده‌کاوی در میان اطلاعات مهم لازم است که خود فرایندی پیچیده است (۱). اما بعد از انجام محاسبات آماری، کاربرد این روش می‌تواند ساده باشد. بنابراین، این روش می‌تواند یک فن آوری غیرتخریبی کارا برای شناسایی ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی غذا باشد (۶). از روش‌های تجزیه و تحلیل تصاویر ابرطیفی در سال‌های قبل به منظور برآورد ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی، میکروبی و بیوشیمیایی محصولات مختلف گوشتی استفاده شده است (۱۱-۷، ۱). برآورد شاخص بازهای ازته فرار به کمک داده‌های ابرطیفی تاریخچه‌ی طولانی ندارد. اولین بار Cheng و همکاران در سال ۲۰۱۴ با کمک تصویربرداری ابرطیفی در طول موج ۱۰۰۰-۴۰۰ نانومتر و آزمون‌های شیمی‌سنجی اقدام به محاسبه بازهای ازته فرار فیله‌ی ماهی کپور طی دوران نگهداری در یخچال پرداختند. نتایج نشان داد تصاویر ابرطیفی می‌توانند به‌طور قابل‌قبولی میزان بازهای ازته را تشخیص دهند (۱۱). در ادامه‌ی این روند Dai و همکاران (۲۰۱۶) از سیستم ابرطیفی مشابهی (۱۰۰۰-۴۰۰ نانومتر) به منظور تعیین بازهای ازته فرار در میگو استفاده کردند و نتایج نسبتا مطلوبی حاصل شد (۱۲).

از آن‌جایی که روند فساد در ماهی آب شور و شیرین متفاوت است، دقت سامانه‌ی تصاویر ابرطیفی برای پیش‌بینی فساد در این دو نوع ماهی نیز متفاوت خواهد بود (۷). ماهی گوازیوم دم‌رشته‌ای که با نام محلی سلطان ابراهیم در سواحل جنوب کشور شناخته می‌شود یکی از ماهی‌هایی است که در مناطقی مثل دریای سرخ، سواحل شرقی آفریقا، خلیج فارس و دریای عمان، سواحل ژاپن و فیلیپین و غیره صید می‌شود. به دلیل گوشت سفید و قیمت پایین طرفداران بسیاری دارد و یکی از گونه‌های مهم اقتصادی است (۱۳). از آن‌جایی که تاکنون هیچ پژوهشی در مورد بررسی شاخص TVB-N به کمک سامانه‌ی تصویربرداری ابرطیفی در ماهی آب‌های شور صورت نگرفته است، لذا این پژوهش با کمک مدل‌های خطی و غیر خطی به بررسی شاخص مهم TVB-N در فیله‌ی ماهی گوازیوم (*Nemipterus japonicus*) به عنوان یک نمونه‌ی آزمایشی می‌پردازد. در پژوهش‌های پیشین ماهی‌های قرمز گوشت مورد بررسی بودند، سفید گوشت بودن و دسترسی ساده و آسان به این ماهی دلیل اصلی انتخاب این گونه بود. همچنین برای ساده‌تر کردن مدل از روش ضریب رگرسیون برای یافتن مهم‌ترین طول موج‌ها استفاده شد.

• مواد و روش‌ها

آماده‌سازی نمونه‌های ماهی: شصت ماهی گوازیوم یا (*Nemipterus japonicus*) با وزن تقریبی ۲۵±۱۷۵ گرم مستقیما از جایگاه تخلیه صید در بوشهر تهیه و به فاصله کم‌تر از ۱۲ توسط جعبه حاوی پودر یخ با نسبت ۱ به ۳ (ماهی به یخ) به آزمایشگاه گروه پژوهشی فرآوری آبزیان (شیراز، ایران) منتقل شد. بلافاصله امعا و احشا از شکم ماهی تخلیه و سرزنی و فیله کردن انجام شد. فیله‌ها به خوبی با آب سرد (با دمای حدود ۷-۱۰ درجه‌ی سانتی‌گراد) شسته شدند. از هر ماهی چهار فیله با اندازه‌ی تقریبی ۱×۵×۸ cm (به ترتیب طول، عرض و ضخامت) بریده شدند. به این ترتیب ۱۵۰ نمونه از

[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2025-06-02]

نقاط مختلف ماهی تهیه شد. نمونه‌ها در کیسه فریزر قرار گرفتند و به شکل تصادفی در ۵ گروه ۳۰ تایی برای آزمون در بازه‌ی زمانی متفاوت (۰، ۲، ۴، ۶ و ۸ روز) تقسیم‌بندی و برچسب‌گذاری شدند (در ابتدا برنامه‌ریزی بر مبنای ۱۲ روز نگهداری انجام شد اما عملا ماهی‌ها از روز هشتم به بعد غیرقابل مصرف بودند به همین دلیل بعد از روز هشتم دور ریخته شدند و نمونه‌ها تا روز هشتم مورد بررسی قرار گرفتند). نمونه‌ها تا زمان آزمایش در دمای یخچال ۲±۴ °C نگهداری شدند. از میان ۳۰ نمونه در نظر گرفته شده برای هر بازه‌ی زمانی، ۲۰ نمونه برای طرح‌ریزی مدل واسنجی (آموزشی) و ۱۰ نمونه به‌عنوان مجموعه‌ی پیش‌بینی در نظر گرفته شدند. به‌منظور جلوگیری از سوگیری (Bias) در انتخاب مجموعه‌ی آموزشی و پیش‌بینی از الگوریتم کلاسیک کنارد-استون (Kennard–Stone (KS) algorithm) استفاده شد (۱۴). در هر دوره‌ی زمانی ابتدا نمونه توسط دوربین ابرطیفی اسکن و توسط روش مرسوم (تقطیر کلدال) شاخص TVB-N محاسبه شد.

تصویربرداری ابرطیفی: تصاویر ابرطیفی توسط دوربین طیفی ۱۰۰۰ (Hyper Spectral Imaging 1000) (شرکت Opt، کاشان، اصفهان، ایران) گرفته شد. این دوربین، طیف طول موجی ۱۱۶۰-۴۰۰ نانومتر را پوشش می‌دهد (تعداد کانال طیفی: ۲۷۲؛ دقت تفکیک طیفی: ۲/۲ نانومتر). سامانه‌ی نوردهی شامل دو لامپ ۳۶ ولت فلورسنت و دو لامپ ۱۰۰ولت تنگستن بود که در دو سمت صفحه نقاله‌ی پلکانی جایگذاری شد. برای به دست آوردن تصاویر، نمونه‌ها روی صفحه نقاله مخصوص دستگاه قرار داده شد. با حرکت نقاله تصاویر به روش روبش خطی تهیه شدند. تصاویر به کمک داده‌های تصویر سیاه (به وسیله‌ی بستن لنز دوربین با کلاهک تهیه می‌شود) و تصویر صفحه‌ی سفید با استاندارد بازتابی یکنواخت، استاندارد شد (۱۵). کلیه مراحل تصویربرداری در آزمایشگاه ابرطیفی گروه پژوهشی فرآوری آبزیان دانشگاه شیراز انجام شد.

اندازه‌گیری میزان ترکیبات نیتروژنی فرار: در فواصل زمانی تعیین شده، بلافاصله بعد از تصویربرداری ابرطیفی ترکیبات نیتروژنی فرار موجود در نمونه به روش تقطیر کلدال (PDU-500SI، تجهیزات آزمایشگاهی پکو، شیراز، ایران) اندازه‌گیری شد. بدین منظور ۱۰ گرم نمونه ماهی، ۲ گرم اکسید منیزیم و ۵۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر و چند قطعه سنگ جوش و مقداری پارافین به عنوان ضدکف به بالن تقطیر کلدال اضافه شد و بازهای ازته فرار در داخل محلول اسید بوریک ۲ درصد حاوی شاخص متیل رد جمع‌آوری شد. این محلول محلول زرد رنگ با اسید سولفوریک ۰/۱ نرمال تا حاصل شدن رنگ ارغوانی، تیتر شد. میزان بازهای ازته فرار به صورت میلی‌گرم نیتروژن در ۱۰۰ گرم نمونه ماهی بیان شد (۱۶).

پیش پردازش تصاویر و استخراج اطلاعات طیفی: بعد از تصویربرداری و تصحیح تصاویر ابرطیفی، ناحیه‌ی مورد نظر ROI (Region of interests) توسط برنامه نوشته شده در **Lab view ۲۰۱۱ مشخص** و انتخاب شد. به علاوه به منظور به حداقل رساندن نوفه‌های ناخواسته‌ای که همراه با طیف‌های طول موج استخراج شده است از دو الگوریتم پیش‌پردازش هموارسازی (Smoothing algorithm) شامل ساویتسکی-گولای S-G (Savitzky-Golay) و میانگین متحرک (Moving average) استفاده شد. این الگوریتم‌ها توسط نرم‌افزار شیمی سنجی Unscrambler ۱۰/۴ (CAMO, Trondheim, Norway) روی داده‌های طیفی اعمال شد. جزئیات این روش‌ها در کتابچه‌ی راهنمای این نرم‌افزار آمده است.

کاربرد الگوریتم‌های شیمی‌سنجی در طراحی مدل پیش‌بینی فساد: در پژوهش حاضر رابطه‌ی کمّی بین داده‌های طیفی (۳۵۵ طول موج) و مقادیر TVB-N توسط شبکه‌ی عصبی پس انتشار خطا (BP-ANN) برقرار شد (۱۷).

ارزیابی مدل: توانایی مدل(ها) در پیش‌بینی توسط ضرایب تبیین مدل واسنجی (R^2_C)، مدل اعتبارسنجی متقابل (R^2_{CV}) و مدل پیش‌بینی (R^2_P)، میانگین ریشه‌ی مربعات خطای واسنجی (RMSEC)، اعتبارسنجی متقابل(RMSECV) و پیش‌بینی (RMSEP) سنجش شد. عموما مدلی مناسب است که ضریب تبیین بالاتر (R^2<۰/۸۲: مدل ضعیف؛ ۰/۸۲<R^2<۰/۹مدل خوب؛ و ۰/۹ <R^2: مدل عالی) و خطاهای ریشه‌ی مربع میانگین کم‌تری دارد و اختلاف بین RMSEP و RMSEC کم‌تر باشد (۸).

بهینه‌یابی طول موج‌ها: تصاویر ابرطیفی عموماً با هم‌خطی چندگانه و وجود متغیر اضافی در میان طول موج‌های پیوسته روبه‌رو است، این امر فرایند واسنجی را زمان‌بر کرده و از سرعت محاسبات می‌کاهد. بنابراین یافتن متغیرهایی که حاوی مرتبط‌ترین اطلاعات باشند، ضروری است. ضریب رگرسیون (RC) از روش‌هایی هستند که عملکرد مطلوب آن در یافتن طول موج‌های بهینه برای ساختن یک مدل چندطیفی در پژوهش‌های پیشین به اثبات رسیده است (۱۸). لذا در این پژوهش از این الگوریتم برای یافتن طول موج‌های بهینه استفاده شد. این مراحل توسط نرم‌افزار MATLAB 2017a انجام شد. بر مبنای طول موج‌های بهینه مدل‌های خطی

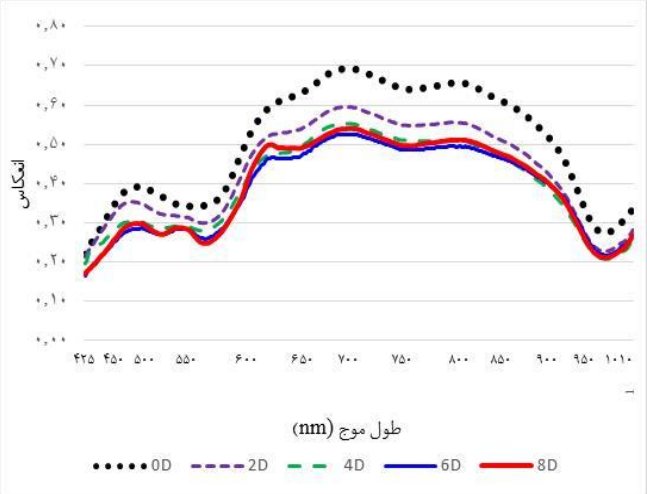
[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2025-06-02]

MLR و BP-ANN پیاده‌سازی شدند.

آنالیز آماری: آزمون در قالب طرح پایه‌ی کاملا تصادفی در ۳۰ تکرار انجام شد. تحلیل و بررسی داده با استفاده از آنالیز واریانس یک طرفه توسط نرم‌افزار Minitab 16 و مقایسه میانگین‌ها توسط آزمون توکی و در سطح اطمینان ۹۵ درصد ($p\leq ۰/۰۵$) انجام گرفت.

• یافته‌ها

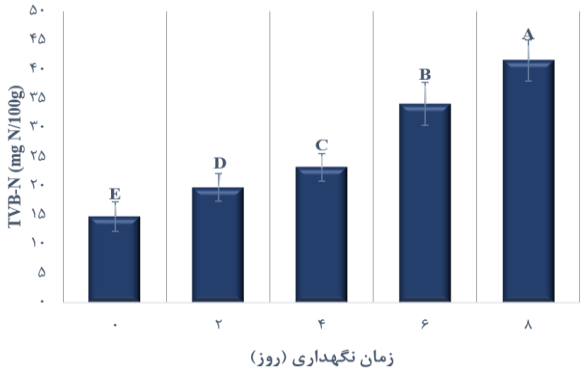
تحلیل نمودار طیفی: در این پژوهش تصاویر ابرطیفی خام در طیف ۴۰۰ تا ۱۱۶۰ نانومتر تهیه شدند، اما نوفه موجود در ناحیه طیفی کم‌تر ۴۲۵ نانومتر و بالای ۱۰۲۵ نانومتر باعث شد تا دامنه‌ی طول موج بین ۱۰۲۵-۴۲۵ نانومتر برای بررسی بیش‌تر در نظر گرفته شود. میانگین داده‌های طیفی ۳۰ نمونه در بازه‌های مختلف زمانی در شکل ۱ نمایش داده شده است. مقایسه منحنی انعکاس طیفی نمونه‌های ماهی در روزهای مختلف نگهداری نشان داد که این منحنی‌ها تقریبا روند مشابهی دارند. برجسته‌ترین تفاوت در این نمودارها میزان کشیدگی آن‌ها طی زمان بود که با گذشت زمان از کشیدگی نمودارها کاسته شد. در مورد شکل ظاهری منحنی‌ها نیز مهم‌ترین تفاوت پیک موجود در حوالی ناحیه‌ی ۶۲۰ نانومتر است که با گذشت زمان برجسته می‌شود. همچنین در ناحیه ۵۵۰-۴۵۰ نانومتر در روز اول عموما یک برجستگی با قله ۴۸۷ نانومتر قابل مشاهده است. با گذشته زمان این پیک به دو قله ۴۸۴ و ۵۴۳ نانومتر می‌شکنند.



شکل ۱. نمودار طیفی فیله‌های ماهی گوازیوم دم رشته‌ای طی ۸ روز نگهداری در دمای یخچال

0D: نمودار طیفی ماهی در روز صفر نگهداری، 2D: نمودار طیفی ماهی در روز دوم نگهداری؛ 4D: نمودار طیفی ماهی در روز چهارم نگهداری؛ 6D: نمودار طیفی ماهی در روز ششم نگهداری و 8D: نمودار ماهی در روز هشتم نگهداری

برآورد شاخص TVB-N: تغییرات شاخص TVB-N طی ۸ روز نگهداری در شکل ۲ مشخص است. میزان TVB-N نمونه‌ها در روز صفر حدود ۱۴/۸ mg/۱۰۰g بود. طی نگهداری این شاخص به‌طور معنی‌داری افزایش یافت ($p<۰/۰۱$) و در روز هشتم به حدود ۴۱/۶ mg/۱۰۰g رسید.



شکل ۲. شاخص بازهای نیتروژنی فرار در نمونه‌های ماهی گوازیوم دم‌رشته‌ای

حرف ناهمسان به معنی وجود تفاوت معنی‌دار بین تیمارهای مختلف است ($p<۰/۰۵$)

همچنین نتایج آمار توصیفی مربوط به این شاخص در نمونه‌های فیله‌ی ماهی طی ۸ روز نگهداری در سه گروه واسنجی، پیش‌بینی و کل نمونه‌ها در جدول ۱ آمده است. که حاکی از دامنه‌ی وسیع در داده‌های ورودی و انحراف از استاندارد مناسب است.

پیش‌بینی TVB-N بر اساس طیف کامل طول موج: این مدل از طریق ایجاد همبستگی بین داده‌های طیفی استخراج شده از تصاویر ابرطیفی و داده‌های مرجع مربوطه بر پایه‌ی الگوریتم شیمی‌سنجی BP-ANN در طیف کامل ۱۰۱۰-۴۲۵ نانومتر (۳۵۵ متغیر) پایه‌ریزی شد. جدول ۲ عملکرد پیش‌بینی شاخص TVB-N با این مدل را نشان می‌دهد. الگوریتم BP-ANN در مجموعه‌ی واسنجی عملکرد مناسبی را بر اساس ضریب تبیین نشان داد ($۰/۸۲<R^2<۰/۹۰$). میزان RMSEC نیز برابر ۳/۸۱ mg/۱۰۰g بود. اما عملکرد گروه اعتبارسنجی متقابل و مجموعه پیش‌بینی قدرت مجموعه واسنجی را نشان نداد و ضریب R^2 در این دو گروه به ترتیب ۰/۸۰۶ و ۰/۷۶۳ بود. ضرایب RMSE نیز در این دو مجموعه بالای ۴/۴ mg/۱۰۰g بود. اختلاف RMSEP و RMSEC نیز ۰/۹۸ mg/۱۰۰g که مقدار متوسطی است. در مجموع به نظر می رسد عملکرد مدل در پیش‌بینی شاخص TVB-N متوسط و کم‌تر باشد.

[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2025-06-02]

جدول ۱. داده‌های توصیفی شاخص TVB-N ماهی گوازیوم طی نگهداری در یخچال

گروه داده	تعداد نمونه	میانگین	انحراف معیار	کمینه	بیشینه	دامنه
کل	۱۵۰	۲۶/۶۸۹	۱۰/۲۴۲	۱۱/۱۶	۴۸/۸۸	۳۷/۷۲
کالیبراسیون	۱۰۰	۲۶/۳۶۵	۱۰/۱۳۲	۱۱/۱۶	۴۸/۸۸	۳۷/۷۲
پیش‌بینی	۵۰	۲۶/۷۹۷	۱۰/۵۶۱	۱۱/۳۳	۴۵/۲۱	۳۳/۸۸

جدول ۲. عملکرد الگوریتم‌های شیمی‌سنجی در پیش‌بینی شاخص TVB-N فیله ماهی گوازیوم دم‌رشته‌ای

نوع الگوریتم	n	مجموعه واسنجی		مجموعه اعتبار سنجی متقابل		مجموعه پیش‌بینی	
		R^2_C	RMSEC	R^2_{CV}	RMSECV	R^2_P	RMSEP
BP-ANN	۳۵۵	۰/۸۶۰	۳/۸۲۴	۰/۸۰۶	۴/۴۴۸	۰/۷۶۳	۴/۸۰
RC-BP-ANN	۱۰	۰/۸۹۰	۳/۱۵۶	۰/۸۱۴	۳/۹۸۶	۰/۸۲۰	۳/۷۹۳
RC-MLR	۱۰	۰/۸۶۸	۳/۸۹۱	۰/۸۰۸	۴/۳۶۲	۰/۷۹۴	۴/۲۵

R^2_C: ضریب تبیین مجموعه واسنجی، RMSEC: ریشه میانگین مربعات مجموعه واسنجی؛ R^2_{CV}: ضریب تبیین مجموعه اعتبارسنجی متقابل، RMSECV: ریشه میانگین مربعات خطا مجموعه اعتبارسنجی متقابل؛ R^2_P: ضریب تبیین مجموعه پیش‌بینی، RMSEP: ریشه میانگین مربعات خطا مجموعه پیش‌بینی؛ BP-ANN: شبکه عصبی مصنوعی پس انتشار خطا؛ MLR: رگرسیون چند خطی؛ RC: ضریب رگرسیون؛ واحد ریاضی ریشه میانگین مربعات خطا: mg N/۱۰۰g

طول موج‌های منتخب: با کمک طول موج‌های منتخب با بیش‌ترین اطلاعات، می‌توان الگوریتمی را پیاده‌سازی کرد که قدرت پیش‌بینی تقریبا برابر یا حتی بیش‌تر از مدل مبتنی بر طیف کامل طول موج داشته باشد. این مزیت بزرگی برای کاهش زمان محاسبه و ایجاد امکان بازرسی بلادرنگ (Real-time) است. در این پژوهش از ضریب رگرسیون (RC) برای به دست آوردن طول موج‌های بهینه به منظور ساده‌سازی مدل‌های واسنجی استفاده شد. ده طول موج به شرح ذیل؛ ۵۱۲، ۵۴۳، ۵۷۶، ۵۹۵، ۶۱۸، ۷۶۲، ۸۲۶، ۹۳۳ و ۹۸۴ نانومتر، برای پیش‌بینی TVB-N انتخاب شد که نیمی از این طول موج‌ها در دامنه‌ی مرئی قرار داشتند که از این تعداد نیز ۴ طول موج در ناحیه باریک ۵۱۲ تا ۵۹۵ نانومتر قرار داشتند.

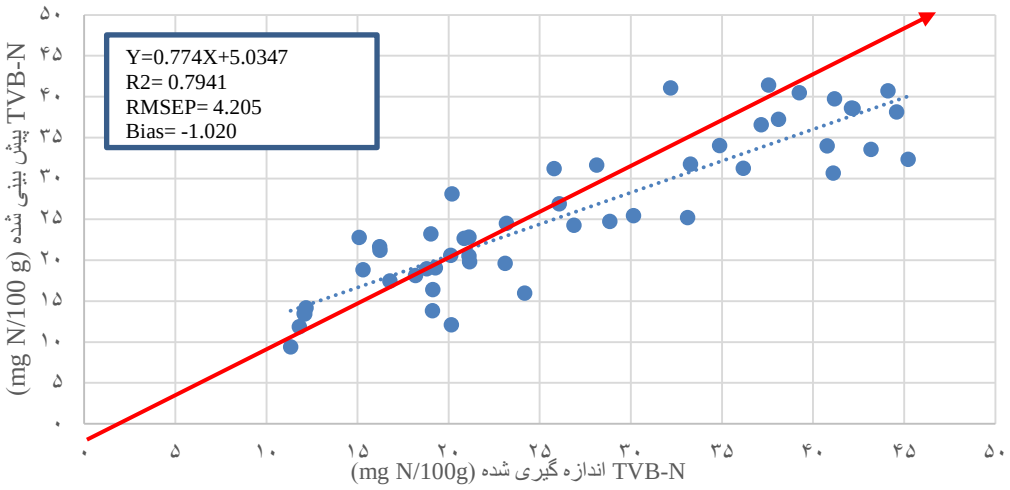
پیش‌بینی مقدار TVB-N بر اساس طول موج‌های منتخب: بعد از انتخاب طول موج‌های بهینه، مدل‌های ساده شده MLR و BP-ANN طرح‌ریزی شدند. نتایج عملکرد این الگوریتم‌ها در جدول ۲ خلاصه شده است. عملکرد مدل ساده شده‌ی BP-ANN در مجموع بهتر از مدل مبتنی بر طیف کامل طول موج بود و R^2 در مجموعه‌ی پیش‌بینی با ۷/۵ درصد افزایش را نشان داد و از ۰/۷۶ به‌حدود ۰/۸۲ رسید. RMSEP نیز نسبت به مدل مبتنی بر طیف کامل بیش از ۱ mg/۱۰۰g کاهش یافته است. بنابراین، تأثیر متغیرهای فاقد اطلاعات در عملکرد BP-ANN بر قدرت پیش‌بینی مدل برجسته بوده و در پی حذف این داده‌ها عملکرد مدل بهبود یافته است. در مورد مدل RC-MLR نیز باید گفت عملکرد آن بهتر از BP-ANN مبتنی بر طیف کامل طول موج بود. اما نسبت به RC-BP-ANN عملکرد مدل خطی ضعیف‌تر بود.

شکل ۳ همبستگی بین داده‌های پیش‌بینی‌شده و داده‌های اندازه‌گیری‌شده TVB-N را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشخص است در بازه‌ی ۲۵-۱۰ بیش‌ترین تراکم در اطراف خط برازش یک به یک (فلش قرمز رنگ) مشاهده می‌شود و بعد از این مقدار تراکم در اطراف خط برازش کاهش یافته است. این بازه، بازه‌ی مهمی در تعیین فساد و تازگی ماهی است، بنابراین مدل‌های ساده شده به ویژه مدل BP-ANN از کارایی مناسبی در پیش‌بینی شاخص TVB-N در ماهی گوازیوم دم‌رشته‌ای برخوردار است. در هر دو نمودار همبستگی عدد بایاس (اریبی) (Bias) منفی است به این معنی که داده‌های پیش‌بینی شده به طور میانگین حدود ۱ mg/۱۰۰g کم‌تر از داده‌های واقعی برآورد شده‌اند و این مدل‌ها دچار کم‌برازشی هستند.

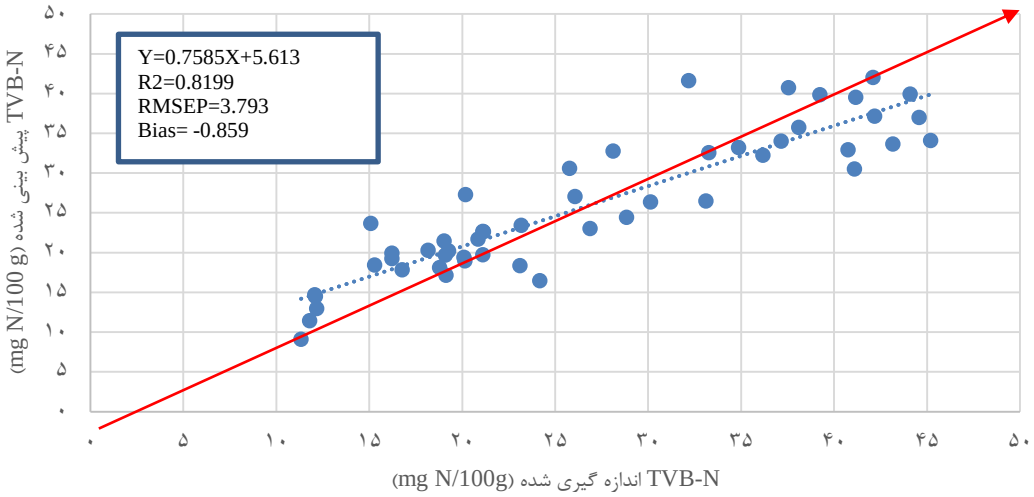
• بحث

نمودار طیف‌سنجی: Xiong و همکاران (۲۰۱۵) عنوان کردند که به مرور زمان و با ایجاد پیوند عرضی بین ترکیبات ناشی از فساد و پروتئین‌های میوفیبریل، ساختار و عملکرد این پروتئین‌ها تغییر می‌کنند که منجر به تغییر در انعکاسی طیفی می‌شود (۱۹). پیک ناحیه ۶۲۰ نانومتر که رفته‌رفته برجسته‌تر می‌شود نیز مربوط به فعالیت‌های باکتریایی و تشکیل سولفومیوگلوبین است که متعاقب فساد در گوشت ماهی افزایش می‌یابد. برجستگی‌هایی که در ناحیه‌ی ۴۵۰ تا ۵۵۰ نانومتر نیز به چشم می‌خورد، به رنگ‌دانه‌ها نسبت داده می‌شود. قله‌های ناحیه ۷۱۰ نانومتر مربوط به طیف کششی سوم O-H در آب و محصولات حاصل از اکسایش و اورتون کششی C-H و N-H در محصولات حاصل از تجزیه ترکیبات اصلی ماهی هستند .

[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2025-06-02]



(الف)



(ب)

شکل ۳. میزان TVB-N واقعی و پیش‌بینی شده توسط الگوریتم‌های مبتنی بر طول موج‌های بهینه الف)RC-MLR و ب) RC-BP-ANN

فلش قرمز رنگ خط برازش یک به یک را نشان می‌دهد و خط نقطه‌چین نشان‌دهنده‌ی معادله خطی ارتباط بین داده‌های پیش‌بینی‌شده و اندازه‌گیری است.

تفسیر تغییرات شکل نمودار طیفی پیچیده است و پیک‌های کاملا مشخصی برای شاخص‌های فساد در پروفایل طیفی به چشم نمی‌خورد. هم‌چنین حجم داده‌های طیفی بزرگ است و حاوی اطلاعات پنهان فراوان است که می‌تواند با شاخص‌های فساد ماهی در ارتباط باشد. بنابراین انجام تحلیل شیمی‌سنجی برای داده‌کاوی در میان این اطلاعات لازم است (۲۰، ۱۵).

اندازه‌گیری TVB-N: در مورد روند تغییر شاخص TVB-N نتایج نشان از افزایش معنی‌دار این شاخص طی زمان داشت. در مورد آستانه‌ی پذیریش این شاخص، برخی ۱۵ mgN/۱۰۰g را در ماهیچه‌ی ماهی‌های آب شیرین (۷) معیار پذیرش دانسته‌اند و برخی دیگر ۳۵ mg N/۱۰۰g نمونه‌ی ماهی (۲۱) را به عنوان آستانه‌ی پذیرش عنوان کرده‌اند. تفاوت این مقادیر احتمالا به دلیل روند متفاوت فساد و تجزیه‌ی پروتئین‌ها در گونه‌های مختلف ماهی است. اگر این آستانه ۳۵ mg N/۱۰۰g در نظر گرفته شود، از روز ششم ماهی‌ها وارد فاز فساد شده‌اند. آمار توصیفی مربوط به این شاخص در نمونه‌های ماهی حاکی از دامنه‌ی وسیع در داده‌های ورودی و انحراف استاندارد مناسب است. دامنه‌ی وسیع در داده‌های ورودی به منظور پایه‌ریزی مدل‌های واسنجی صحیح، قوی و پایدار مهم است. همچنین مقادیر انحراف از معیار بالا در این پژوهش نمایانگر اختلاف در ویژگی‌های شیمیایی، بیوشیمیایی و میکروبی در یک گروه مشابه است که می‌تواند قابلیت اطمینان (روایی) مدل را بهبود بخشد (۶).

پیش‌بینی شاخص TVB-N مبتنی بر طیف کامل طول موج: نتایج برآورد این شاخص به کمک مدل BP-ANN قابل

[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2025-06-02]

مقایسه با نتایج سایر پژوهش‌ها در این حوزه بود. در اکثر پژوهش‌ها نتیجه‌ی پیش‌بینی این شاخص متوسط گزارش شده است. اما Cheng و همکاران (۲۰۱۴) با کمک حداقل مربعات ماشین بردار پشتیبان (LS-SVM) و رگرسیون حداقل مربعات (PLSR) موفق شدند TVB-N را در ماهی سفید به‌طور عالی پیش‌بینی کنند (R^2_P>۰/۹۰۵). آن‌ها عملکرد مدل غیرخطی LS-SVM را برتر از مدل خطی PLSR دانستند (۱۱). تفاوت مدل‌های پیش‌بینی به کار رفته در کنار روند متفاوت فساد در ماهی‌های آب‌های شیرین و شور می‌تواند برخی از دلایل عملکرد پیش‌بینی ضعیف‌تر در پژوهش حاضر نسبت به پژوهش Cheng و همکاران (۲۰۱۴) باشد (۷). Cheng و همکاران (۲۰۱۷) نیز به کمک مدل شبکه عصبی مصنوعی اقدام به پیش‌بینی شاخص TVB-N در گوشت خوک کردند. نتایج آن‌ها نشان از عملکرد خوب این مدل (R^2_P>۰/۸۲۴) داشت. تفاوت در نتایج می‌تواند ناشی از نوع محصول، تعداد متغیر درگیر در طراحی الگوریتم، تعداد نمونه، دامنه‌ی TVB-N مورد مطالعه و غیره باشد (۱۵)

انتخاب طول موج‌های بهینه به کمک ضریب رگرسیون: پنج طول موج برگزیده در دامنه‌ی طیفی مرئی (۷۶۰-۴۰۰ نانومتر) قرار داشتند. در پژوهش‌های پیشین نیز در مورد پیش‌بینی شاخص‌های مختلف فساد در ماهی نتایج مشابهی حاصل شده است (۱۵، ۶). احتمالاً واکنش‌های شیمیایی، میکروبی و آنزیمی در طول ذخیره‌سازی ماهی بر رنگ ماهی اثر می‌گذارد و منجر به شکل‌گیری ارتعاش در باندهای شیمیایی این محدوده می‌شود (۹). طول موج‌های منتخب و تفسیر احتمالی آن‌ها در جدول ۳ آمده است.

جدول ۳. طول موج‌های بهینه‌یابی شده از طریق ضریب رگرسیون و تفسیر احتمالی هر یک

طول موج	تفسیر	منبع
۵۱۲/۶ ۵۴۳/۸ ۵۷۶/۲ ۵۹۵/۶	رنگدانه‌ها (به ویژه میوگلوبین) رنگدانه‌ها (نزدیک به پیک‌های موجود در ناحیه‌ی ۵۰۰ تا ۶۰۰ نانومتر روی شکل ۱	(۲۲)
۶۱۸	- سولفومیوگلوبین (فساد میکروبی) - نزدیک به پیک ۶۲۰ نانومتر	(۲۳)
۷۶۲/۷	اورتن سوم O-H (آب، محصولات حاصل از اکسیداسیون چربی) -دره‌ی موجود در حوالی ۷۶۰ نانومتر	(۲۴)
۸۲۶/۴	اورتن سوم کششی N-H (پروتیین) نزدیک به قله‌ی ۸۲۰ نانومتر	(۲۳)
۹۳۳	اورتن کششی سوم C-H (گروه متیلن چربی ها)	(۲۵)
۹۸۴/۶	اورتن کششی دوم O-H (آب) نزدیک به دره‌ی ۹۸۶ نانومتر	(۲۳)

پیش‌بینی TVB-N بر اساس طول موج‌های بهینه: همان‌طور که بیان شد، مدل‌های RC-MLR و RC-BP-ANN نسبت به مدل مبتنی بر طیف کامل طول موج، عملکرد بهتری داشتند. با کمک طول موج مطلوب برگزیده که حامل بیش‌ترین اطلاعات برای پیش‌بینی شاخص(های) مورد نظر هستند، می‌توان الگوریتمی را پیاده‌سازی کرد که قدرت پیش‌بینی تقریباً برابر یا حتی بیش‌تر از مدل مبتنی بر طیف کامل طول موج داشته باشد. این مزیت بزرگی برای بهینه‌سازی مدل‌های واسنجی به منظور حذف ابعاد بزرگ داده‌های تصاویر ابرطیفی تصاویر است تا بتوان زمان محاسبه را کاهش و امکان بازرسی بلادرنگ (Real-time) و روی‌خط را فراهم کرد (۱۵، ۱۱). نتایج سایر پژوهشگران در زمینه‌ی مقایسه عملکرد مدل ساده‌شده و مدل مبتنی بر طیف کامل طول موج برای پیش‌بینی شاخص‌های بیوشیمیایی به همراه طول موج‌های بهینه در جدول ۴ گردآوری شده است. نوع مدل، شاخص به کار رفته، نوع ماده‌ی غذایی، تعداد نمونه‌ی آزمایشی، روش مدل‌سازی و غیره برخی از عواملی هستند که می‌توانند بر نتیجه‌ی نهایی آزمون مؤثر باشند. بنابراین تفاوت در دقت مدل‌های پیشنهادی در تحقیقات مختلف می‌تواند ناشی از این عوامل باشد.

در مجموع، اگرچه ساده کردن مدل توانست عملکرد مدل پیش‌بینی شاخص TVB-N را بهبود بخشد اما نتایج پیش‌بینی این شاخص توسط مدل‌های BP-ANN و MLR چندان رضایت‌بخش نبود. احتمالاً واکنش ترکیبات نیتروژنی فرار با سایر ترکیبات و نوسانات احتمالی در روند این شاخص (۲۶) دلیل عدم پیش‌بینی قوی این شاخص توسط داده‌های ابرطیفی و مدل‌های مورد بررسی، بوده است. استفاده از سایر مدل‌های شیمی‌سنجی، به کارگیری روش‌های مختلف پیش‌پردازش داده‌های طیفی در کنار روش‌های بهینه‌یابی مختلف می‌تواند عملکرد سیستم پیش‌بینی شاخص TVB-N در ماهی گوازیوم دم‌رشته‌ای را بهبود دهد.

سپاس‌گزاری: این پژوهش تحت حمایت مالی صندوق حمایت از پژوهشگران و فناوران کشور (Iran National Science Foundation: INSF) به شماره ۹۵۸۴۹۷۲۶ انجام شده است. بدین وسیله نویسندگان مراتب تشکر خود از این صندوق را اعلام می‌نمایند.

[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2025-06-02]

جدول ۴. طول موج‌های برگزیده برای پیش‌بینی شاخص TVB-N در پژوهش‌های پیشین

محصول	روش	n	الگوریتم	طول موج بهینه	نتیجه کلی	منبع
ماهی سفید	SPA	۹	LS-SVM	۷۱۷، ۶۱۵، ۵۹۵، ۵۵۲، ۵۲۳، ۴۶۶، ۴۲۰، ۸۵۰، ۹۵۵	R^2_P:۰/۹۱→۰/۸۹ RMSEP:۲/۷۵→۲/۸۱	(۱۱)
ماهی سفید	SPA	۹	PLSR	۷۱۷، ۶۱۵، ۵۹۵، ۵۵۲، ۵۲۳، ۴۶۶، ۴۲۰، ۸۵۰، ۹۵۵	R^2_P:۰/۹۲→۰/۹۰ RMSEP:۲/۳۵→۲/۷۸	(۱۱)
خوک نمک سود	SPA	۱۰	ANN	۵۷۸، ۵۶۳، ۴۷۲، ۴۴۴، ۴۲۵، ۴۰۵، ۷۵۶، ۷۲۵، ۶۳۲، ۵۹۲	R^2_P:۰/۸۹→۰/۸۷ RMSEP:۲/۲۸→۲/۴۲	(۲۷)
خوک پخته	SPA	۸	ANN	۶۴۹، ۵۳۲، ۴۹۸، ۴۵۸، ۴۴۴، ۴۰۱، ۸۴۴، ۷۸۸	R^2_P:۰/۸۳→۰/۸۴ RMSEP:۲/۷→۲/۷۱	(۲۷)
نمک سود+پخته	SPA	۹	ANN	۸۹۶، ۸۶۰، ۸۱۳، ۶۷۳، ۴۲۲، ۴۰۷، ۹۹۰، ۹۶۰، ۹۳۸	R^2_P:۰/۸۲→۰/۸۳ RMSEP:۲/۸۴→۲/۷	(۲۷)
خوک نمک سود	GA-RC	۸	ANN	۵۹۱، ۵۸۹، ۵۵۰، ۴۴۱، ۴۴۰، ۴۳۸، ۸۳۸، ۶۹۰	R^2_P:۰/۸۹→۰/۸۸ RMSEP:۲/۲۸→۲/۳۱	(۲۷)
خوک پخته	GA-RC	۸	ANN	۹۱۷، ۷۸۸، ۵۳۸، ۴۹۰، ۴۶۴، ۴۶۳، ۹۶۰، ۹۱۸	R^2_P:۰/۸۳→۰/۸۵ RMSEP:۲/۷→۲/۴۳	(۲۷)
نمک سود+پخته	GA-RC	۸	ANN	۹۵۹، ۸۰۷، ۶۵۷، ۴۲۸، ۴۲۶، ۴۲۵، ۹۸۸، ۹۶۰	R^2_P:۰/۸۲→۰/۸۵ RMSEP:۲/۸۴→۲/۴۴	(۲۷)
خوک	RC	۹	PLSR	۷۴۶، ۶۷۵، ۶۴۳، ۶۰۷، ۵۸۵، ۵۵۳، ۹۳۷، ۹۰۸	R^2_P:۰/۸۵→۰/۸۳ RMSEP:۴/۹۲→۵/۳۸	(۱۸)
خوک	RC	۹	MLR	۷۴۶، ۶۷۵، ۶۴۳، ۶۰۷، ۵۸۵، ۵۵۳، ۹۳۷، ۹۰۸	R^2_P:۰/۸۶ RMSEP:۰/۴۷	(۱۸)

SPA: الگوریتم طرح‌ریزی پی‌در پی؛ GA: الگوریتم ژنتیک؛ ANN: شبکه عصبی هوشمند؛ PLSR: رگرسیون حداقل مربعات جزئی؛ LS-SVM: حداقل مربعات ماشین بردار پشتیبان.

• References

1. Cheng J-H, Sun D-W. Hyperspectral imaging as an effective tool for quality analysis and control of fish and other seafoods: current research and potential applications. Trends Food Sci Tech. 2014;37(2):78-91.
2. Folkestad A, Wold JP, Rørvik K-A, Tschudi J, Haugholt KH, Kolstad K, et al. Rapid and non-invasive measurements of fat and pigment concentrations in live and slaughtered Atlantic salmon (Salmo salar L.). Aquac. 2008;280(1-4):129-35.
3. Pena EA, Ridley LM, Murphy WR, Sowa JR, Bentivegna CS. Detection of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in raw menhaden fish oil using fluorescence spectroscopy: Method development. Environ Toxicol Chem. 2015;34(9):1946-58.
4. Hu J, Li D, Duan Q, Han Y, Chen G, Si X. Fish species classification by color, texture and multi-class support vector machine using computer vision. Comput Electron Agric. 2012;88:133-40.
5. Shi C, Qian J, Han S, Fan B, Yang X, Wu X. Developing a machine vision system for simultaneous prediction of freshness indicators based on tilapia (Oreochromis niloticus) pupil and gill color during storage at 4° C. Food Chem. 2018;243:134-40.
6. Dai Q, Cheng J-H, Sun D-W, Zeng X-A. Advances in feature selection methods for hyperspectral image processing in food industry applications: a review. Crit Rev Food Sci Nutr. 2015;55(10):1368-82.
7. Cheng J-H, Sun D-W, Qu J-H, Pu H-B, Zhang X-C, Song Z, et al. Developing a multispectral imaging for simultaneous prediction of freshness indicators during chemical spoilage of grass carp fish fillet. J Food Eng. 2016;182:9-17.
8. Cheng J-H, Sun D-W. Rapid and non-invasive detection of fish microbial spoilage by visible and near infrared hyperspectral imaging and multivariate analysis. LWT-food Sci Technol. 2015;62(2):1060-8.
9. Cheng J-H, Sun D-W. Data fusion and hyperspectral imaging in tandem with least squares-support vector machine for prediction of sensory quality index scores of fish fillet. LWT-Food Sci Technol. 2015;63(2):892-8.
10. Khojastehnazhand M, Khoshtaghaza MH, Mojaradi B, Rezaei M, Goodarzi M, Saeys W. Comparison of Visible–Near infrared and short wave infrared hyperspectral imaging for the evaluation of rainbow trout freshness. Food Res Int. 2014;56:25-34.
11. Cheng J-H, Sun D-W, Zeng X-A, Pu H-B. Non-destructive and rapid determination of TVB-N content for freshness evaluation of grass carp (Ctenopharyngodon idella) by hyperspectral imaging. Innov Food Sci Emerg Technol. 2014;21:179-87.

[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2025-06-02]

12. Dai Q, Cheng J-H, Sun D-W, Zhu Z, Pu H. Prediction of total volatile basic nitrogen contents using wavelet features from visible/near-infrared hyperspectral images of prawn (Metapenaeus ensis). Food Chem. 2016;197:257-65.

13. Russell BC. A review of the threadfin breams of the genusNemipterus (Nemipteridae) from Japan and Taiwan, with description of a new species. JPN J ICHTHYOL. 1993;39(4):295-310.

14. Dantas Filho HA, Galvao RKH, Araújo MCU, da Silva EC, Saldanha TCB, José GE, et al. A strategy for selecting calibration samples for multivariate modelling. Chemometr Intell Lab Syst. 2004;72(1):83-91.

15. Khoshnoudi-Nia S, Moosavi-Nasab M, Nassiri SM, Azimifar Z. Determination of Total Viable Count in Rainbow-Trout Fish Fillets Based on Hyperspectral Imaging System and Different Variable Selection and Extraction of Reference Data Methods. Food Anal Method. 2018;11(12):3481-94.

16. Fan W, Chi Y, Zhang S. The use of a tea polyphenol dip to extend the shelf life of silver carp (Hypophthalmicthys molitrix) during storage in ice. Food Chem. 2008;108(1):148-53.

17. Wu D, Sun D-W. Advanced applications of hyperspectral imaging technology for food quality and safety analysis and assessment: A review—Part I: Fundamentals. Innov Food Sci Emerg Technol. 2013;19:1-14.

18. Yang Q, Sun D-W, Cheng W. Development of simplified models for nondestructive hyperspectral imaging monitoring of TVB-N contents in cured meat during drying process. J Food Eng. 2017;192:53-60.

19. Xiong Z, Sun D-W, Xie A, Han Z, Wang L. Potential of hyperspectral imaging for rapid prediction of hydroxyproline content in chicken meat. Food Chem. 2015;175:417-22.

20. Sun D-W. editor. Hyperspectral imaging for food quality analysis and control. Amsterdam : Elsevier; 2010. p 496

21. Lakshmanan P. editor. Fish spoilage and quality assessment. India: The Central Institute of Fisheries Technology (CIFT). 2000. p. 26-40.

22. Zhu F, Zhang D, He Y, Liu F, Sun D-W. Application of visible and near infrared hyperspectral imaging to differentiate between fresh and frozen–thawed fish fillets. Food Bioprocess Tech. 2013;6(10):2931-7.

23. Abtahi S, Aminlari M. Effect of sodium sulfite, sodium bisulfite, cysteine, and pH on protein solubility and sodium dodecyl sulfate− polyacrylamide gel electrophoresis of soybean milk base. J Agric Food Chem. 1997;45(12):4768-72.

24. Iqbal A, Sun D-W, Allen P. Prediction of moisture, color and pH in cooked, pre-sliced turkey hams by NIR hyperspectral imaging system. J Food Eng. 2013;117(1):42-51.

25. Klaypradit W, Kerdpiboon S, Singh RK. Application of artificial neural networks to predict the oxidation of menhaden fish oil obtained from Fourier transform infrared spectroscopy method. Food Bioprocess Tech. 2011;4(3):475-80.

26. Jouki M, Yazdi FT, Mortazavi SA, Koocheki A, Khazaei N. Effect of quince seed mucilage edible films incorporated with oregano or thyme essential oil on shelf life extension of refrigerated rainbow trout fillets. Int J Food Microbiol. 2014;174:88-97.

27. Cheng J-H, Sun D-W, Wei Q. Enhancing visible and near-infrared hyperspectral imaging prediction of TVB-N level for fish fillet freshness evaluation by filtering optimal variables. Food Anal method. 2017;10(6):1888-98.

[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2025-06-02]

Nondestructive Determination of the Total Volatile Basic Nitrogen (TVB-N) Content Using hyperspectral Imaging in Japanese Threadfin Bream (*Nemipterusjaponicus)* Fillet

*Khoshnoudi-Nia S[1], Moosavi-Nasab M[2 *]*

1- PhD. Graduate Student, Seafood Processing Research Group, School of Agriculture, Shiraz University, Shiraz, Iran

*2- *Corresponding author: Professor, Seafood Processing Research Group, School of Agriculture, Shiraz University, Shiraz, Iran*
Email:: marzieh.moosavi-nasab@mail.mcgill.ca

Received 7 May, 2019 **Accepted 5 Aug, 2019**

Background and Objectives: Considering the importance of safety evaluation of fish and seafood from capture to purchase, rapid and nondestructive methods are in urgent need for seafood industry. This study aimed to assess the application of hyperspectral imaging (HSI: 430-1010 nm) for prediction of total volatile basic nitrogen (TVB-N) in Japanese-threadfin bream (*Nemipterusjaponicus)* fillets, as a marine fish, during 8 days of cold storage (4±2°C).

Materials & Methods: Hyperspectral imaging data and TVB-N value of the fillets were obtained in the laboratory. The basic prediction model was established based on Back-propagation artificial neural network (BP-ANN). To simplify the calibration models, 10 wavelengths were selected based on regression-coefficient (RC). Multiple-linear regression (MLR) and BP-ANN models were established based on the selected wavelengths.

Results: In full spectral range, the BP-ANN models exhibited relatively weak prediction performance (R^2_P=0.76 and RMSEP=4.45). After selecting 10 wavebands, the capability of the simplified models was better than that of the full-wavebands. The predictive power of simplified BP-ANN was better than that of MLR model ($R^2_{P(RC\text{-}BP\text{-}ANN)}$=0.820; $RMSEP_{RC\text{-}BP\text{-}ANN}$=3.79 and $R^2_{P(RC\text{-}MLR)}$=0.794 and $RMSEP_{RC\text{-}MLR}$=4.25). Therefore, r RC-BP-ANN model showed more acceptable predictive performance ($0.82 \leq R^2_P \leq 0.90$).

Conclusion: Although the effectiveness of the developed simple multispectral imaging system based on BP-ANN model showed promising results to predict the TVB-N values of fillets, it did not show a strong prediction power of TVB-N values during storage. Therefore, further researches are required to enhance the prediction power and suitability of HSI method to evaluate TVB-N value in Japanese threadfin bream fish.

Keywords: Chemometric analysis, Total volatile basic nitrogen, Hyperspectral imaging, Japanese threadfin bream

[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2025-06-02]