



مقاله پژوهشی

توسعه و ارزیابی سامانه غیر مخرب تلفیقی امواج فراصوت، سنجش مقاومت و رنگ سنجی برای تعیین ویژگی‌های بافتی فیله ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان (*Oncorhynchus mykiss*) در طول دوره نگهداری در یخچال

حسن صفی یاری^۱، سید مهدی نصیری^{۲*}، محمود ناصری^۳، مرضیه موسوی نسب^۴، عبدالعباس جعفری^۵

۱. دانشجوی دکتری، بخش مهندسی بیوسیستم، دانشگاه شیراز
۲. دانشیار، بخش مهندسی بیوسیستم و گروه پژوهشی فرآوری آبزیان، دانشگاه شیراز
۳. دانشیار، بخش مهندسی منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه شیراز
۴. استاد، بخش علوم و صنایع غذایی و گروه پژوهشی فرآوری آبزیان، دانشگاه شیراز
۵. دانشیار، بخش مهندسی بیوسیستم، دانشگاه شیراز

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱۱/۰۲، تاریخ آخرین بازنگری: ۱۳۹۹/۰۲/۱۵، تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۳/۰۹)

چکیده

در این پژوهش توانایی سامانه تلفیقی غیر مخرب امواج فراصوت، سنجش مقاومت الکتریکی و رنگ سنجی برای تعیین کیفیت فیله ماهی قزل‌آلای طی مدت نگهداری (۱۲ روز) با تعیین ویژگی‌های بافتی (سختی، شکنندگی، چسبناکی، قابلیت ارتجاعی، صمغی بودن و قابلیت جویدن) مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفت. هم‌زمان آزمایش‌های فیزیکی، مکانیکی، شیمیایی و حسی روی فیله‌ها انجام شد. عملکرد روش‌های شبکه عصبی و ماشین بردار پشتیبان برای پیش‌بینی و مدل‌سازی خصوصیات بافتی مورد مقایسه قرار گرفتند. در هر یک از مدل‌ها خصوصیات فیزیکی به عنوان ورودی و خصوصیات بافتی به عنوان خروجی در نظر گرفته شده و مدل‌سازی‌ها انجام گرفت. نتایج نشان داد در پیش‌بینی شاخص‌های سختی، شکنندگی و قابلیت ارتجاعی روش ماشین بردار پشتیبان و در شاخص‌های چسبناکی، صمغی بودن و قابلیت جویدن، روش شبکه عصبی توانمندی بیشتری برای مدل‌سازی ویژگی‌های بافتی را دارا بودند، به طوری که ریشه میانگین مربعات خطا شاخص‌های سختی، شکنندگی، چسبناکی، قابلیت ارتجاعی، صمغی بودن و قابلیت جویدن به ترتیب برابر ۰/۱۱۴، ۰/۰۲۵، ۰/۰۱۵، ۰/۰۱۵، ۰/۰۴۴ و ۰/۱۷۱ و ضریب همبستگی آنها نیز به ترتیب برابر ۰/۹۹۳، ۰/۹۸۵، ۰/۹۹۲، ۰/۹۶۱، ۰/۹۹۵ و ۰/۹۹۵ است؛ بنابراین سامانه پیشنهادی غیر مخرب در ترکیب با روش‌های هوش مصنوعی به عنوان ابزاری غیر مخرب و کارآمد برای پایش و کنترل کیفیت در طول نگهداری فیله ماهی قزل‌آلای ارائه می‌شود.

واژه‌های کلیدی: غیر مخرب، ماهی قزل‌آلای، ویژگی‌های بافتی، امواج فراصوت، سنجش مقاومت، رنگ سنجی

۱. مقدمه

فراورده‌های دریایی نقش قابل توجهی در تأمین غذای مردم جهان دارند و با توجه به مطلوب بودن و ارزش غذایی بالای این فراورده‌ها بر دیگر مواد پروتئینی، روز به روز بر مصرف آن‌ها افزوده می‌شود. در میان انواع ماهیان پرورشی، قزل‌آلای رنگین‌کمان از نظر تولید سالیانه، قابلیت دسترسی برای مصرف‌کننده و پراکنش مناسب از اهمیت زیادی برخوردار است و اغلب به صورت ماهی کامل از فروشگاه‌های خرده‌فروشی و یا به صورت فیله شده و شکم خالی از مراکز بزرگ یا کارخانه‌های فرآوری قابل تهیه است [۱]. با توجه به ارزش اقتصادی و غذایی، درصد بالای تولید و شیوه‌های نگهداری موقت و عرضه این ماهی، بررسی کیفیت و تعیین عمر ماندگاری آن در یخچال از جنبه‌های مهم مطالعات کیفی در بهداشت و تغذیه انسان به شمار می‌رود [۲].

روش‌های مرسوم برای تعیین و بررسی ویژگی‌های بافتی فراورده‌های شیلاتی و غذایی شامل روش‌های آزمون مرجع مکانیکی مانند آزمون‌های کشش، فشار، برش، خزش، تنش آسایی و تجزیه نیم رخ بافتی است. آزمون‌های مرجع که بر اساس نیرو، جابجایی و ضربه وارد شده به بافت، اطلاعاتی را در اختیار محققان قرار می‌دهد، با تخریب فراورده‌ها همراه بوده است [۷]. این روش‌ها نیازمند تجهیزات و ابزار دقیق و همچنین کارشناسان آموزش دیده و متخصص برای اجرا بوده و زمان‌بر هستند و غالباً موجب از بین رفتن نمونه‌ها می‌شوند. افزون بر آن نمی‌توان از این آزمون‌ها در خط تولید به طور مستقیم استفاده نمود. در بازارهای رقابتی امروز، جایی که اهمیت نظارت کیفی از اهمیت بسیار برخوردار است، لزوم توسعه روش‌های غیر مخرب، سریع، اقتصادی و امن برای افزایش بازدهی اندازه‌گیری شاخص‌های کیفی وجود دارد. از جمله روش‌هایی که به این منظور توسعه یافته‌اند روش‌های غیر مخرب امواج فراصوت، سنجش مقاومت و رنگ سنجی هستند [۳]. آگاهی از کیفیت فراورده‌های شیلاتی نه تنها از دیدگاه صادرات و نیز منافع مصرف‌کنندگان داخلی اهمیت دارد، بلکه کمک بسیاری در کنترل و کاهش ضایعات پس از برداشت می‌نماید [۴].

ترددی فراورده‌های گوشتی یک ویژگی مهم برای برآورد کیفیت خوراکی آنها از نگاه مصرف‌کننده است [۹]. شیوه‌های

دستگاهی برآورد تردی همچون نیروی برشی وارنر- براتزلر^۱ یکی از بهترین روش‌ها برای برآورد کمی تردی است و نسبت به روش حسی دقت و صحت بیشتری دارد. با این حال محاسبه نیروی برشی، مخرب است و باعث انحراف زیادی در محاسبه تردی می‌شود [۱۰]. سفتی نیز یکی دیگر از ویژگی‌های مهم در گوشت است. شیوه‌های محاسبه سفتی بافت همچون استفاده از آزمون وارنر- براتزلر، فشردگی برشی کرامر^۲ و تحلیل نیم‌رخ بافت است که همگی روش‌های تخریبی هستند [۱۱].

دستگاه سنجش تازگی ماهی^۳ وسیله‌ای است که می‌تواند با اندازه‌گیری همزمان چندین تغییر که در خواص الکتریکی بافت پس از مرگ رخ می‌دهد و نمایش آن به صورت عدد، سنجش غیر مستقیمی از تازگی را ارائه نماید. از این وسیله برای تمام گونه‌های ماهی می‌توان استفاده نمود، هرچند در عمل دیده شده که در مورد بعضی گونه‌ها از کارایی بیشتری برخوردار هستند. این وسیله از دو زوج الکتروود که به صورت هم مرکز قرار داده شده‌اند، تشکیل شده است. با قرار گرفتن این وسیله بر روی بدن ماهی یک جریان متناوب از بین دو الکتروود خارج گشته و از بدن ماهی عبور می‌نماید و در همان حال ولتاژ حاصل به وسیله زوج الکتروود داخلی دریافت می‌گردد. سپس زاویه فاز بین جریان متناوب و ولتاژ به وسیله دستگاه اندازه‌گیری و به صورت درجه‌بندی شده از صفر تا ۱۶ بر صفحه نمایش نمایان می‌گردد. زاویه فاز و به تبع آن عدد خوانده شده با ظهور فساد در ماهی به تدریج کاهش می‌یابد [۱۲].

دولتی و همکاران [۱۴] به بررسی تازگی ماهی سفید به وسیله ماشین بینایی بر اساس تغییرات رنگ چشم و آبشش پرداختند. آن‌ها نشان دادند که خصوصیات رنگی L^* ، b^* و E چشم‌ها با افزایش مدت نگهداری افزایش پیدا می‌کند. شاخص a^* نیز روند مشخصی را نشان نمی‌دهد؛ در این تحقیق اشاره‌ای به رابطه بین تغییرات خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و میکروبی ماهی در مدت نگهداری نشده است. چنگ^۴ و همکاران [۹] پتانسیل تصاویر ابرطیفی را در

1. Warner-Bratzler Shear Force (WBSF)

2. Kramer Shear Compression

3. Torrymeter

4. Cheng

همکاران [۴]، ابوالقاسمی و همکاران [۲۰]، لول^۱ و همکاران [۲۱]، سیمال^۲ و همکاران [۲۲] و نوآک^۳ [۲۳] تکنوآگا^۴ و همکاران [۲۴]، خصوصیات فراصوتی محصولات غذایی را مورد بررسی قرار داده و نشان دادند که سرعت عبور امواج و ضریب تضعیف آن ارتباط معناداری با خصوصیات فیزیکی و شیمیایی محصولات غذایی دارند.

با توجه به بررسی منابع انجام شده تاکنون پژوهشی در زمینه بررسی ویژگی های بافتی فیله ماهی قزل آلا با تلفیق سامانه های فیزیکی ذکر شده صورت نگرفته است؛ بنابراین هدف از این پژوهش به کارگیری سامانه تلفیقی غیر مخرب امواج فراصوت، سنجش مقاومت و رنگ سنجی به منظور نظارت بر کیفیت فیله ماهی قزل آلا در طول دوره نگهداری در دمای یخچال است.

۲. مواد و روش ها

۱.۲. تهیه نمونه ها و عمل آوری آنها

برای انجام پژوهش حاضر ماهی قزل آلا رنگین کمان مورد نیاز با وزن تقریبی ۷۰۰ - ۶۵۰ gr از مزرعه پرورش ماهی واقع در استان فارس تهیه شده و پس از یخ پوشی کامل و با رعایت نکات بهداشتی به محل آزمایشگاه فرآوری شیلات دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز منتقل گردید. پس از تخلیه شکمی، جدا نمودن سر و باله ها و شستشو، ماهی ها وزن شده و برای انجام آزمایش های فیزیکی، مکانیکی و شیمیایی به صورت فیله درآمدند. سپس فیله ها به مدت ۱۲ روز در درون یخچال (دمای $4 \pm 1^\circ \text{C}$) نگهداری شدند. دوره انجام آزمایش ها ۳ روزه بود که در هر روز فیله به مقدار مورد نیاز جهت انجام آزمون های فیزیکی (دستگاه های فراصوت، سنجش مقاومت، رنگ سنجی)، مکانیکی (تجزیه نیم رخ بافت و تعیین ویژگی های بافتی)، شیمیایی (رطوبت، خاکستر، چربی، پروتئین) و ارزیابی حسی، از یخچال خارج گشته و پس از ۳۰ min قرارگیری در دمای محیط، مورد آزمایش قرار گرفتند.

پیش بینی آبچک در ماهی کپور تحت تأثیر ۲۴ h منجمد کردن و رفع انجماد آن در دمای 4°C برای ۱، ۲، ۴ و ۶ روز بررسی کردند. نتایج نشان داد شناسایی جنبه های مختلف ماده غذایی توسط تصاویر ابرطیفی و تحلیل های شیمیایی سنجی به خوبی امکان پذیر است و تحقیق در این حوزه می تواند نوید بخش ایجاد یک سیستم تشخیصی برخط برای برآورد کیفیت محصولات غذایی باشد.

آزمون فراصوت روش غیر مخرب دیگری برای اندازه گیری ویژگی های بافتی است [۱۵]. از مزایای مهم این روش، خودکار بودن و قابلیت استفاده به صورت برخط را می توان نام برد [۱۶]. در صنعت، توسعه و پیشرفت آزمون غیر مخرب فراصوت نسبت به سایر آزمون های غیر مخرب کندتر بوده است. بیشترین کاربرد آن در پزشکی، بررسی جوش و صنعت هوا فضا است و به کارگیری این فناوری در صنعت شیلات نسبت به سایر رشته ها محدودتر بوده است. علت اصلی آن در ویژگی های منحصر به فرد و پیچیده فرآورده های شیلاتی است. در روش فراصوت میزان تغییر ویژگی های فراصوتی مانند سرعت عبور امواج، کاهش انرژی یا دامنه، میزان انعکاس امواج و غیره در گذر یا انعکاس از مواد به کیفیت و یا چگونگی مواد ارتباط داده می شود [۱۳]. کاربردهای فراصوت در صنعت غذا بسیار گسترده بوده و در دو نوع متفاوت تقسیم بندی شده است، کاربردهایی با شدت کم (بسامد بیش از ۱۰۰ KHz و یا توان فراصوت کمتر از w/cm^2) و شدت زیاد (بسامد در محدوده ۲۰-۱۰۰ KHz و یا توان فراصوت در محدوده $10-100 \text{ w/cm}^2$). ویژگی های فیزیکی و شیمیایی مواد غذایی در به کارگیری امواج فراصوت با کاربردهای شدت کم تغییر نمی یابند و در کاربردهای فراصوت با شدت زیاد اغلب خواص مواد غذایی به طور همیشگی تغییر می یابد [۱۷]؛ اما در مورد بررسی کیفیت فرآورده های غذایی، پژوهشگران سامانه هایی با بسامد کم و دامنه تحریک بسیار قوی را پیشنهاد کرده اند [۱۸]، همچنین پژوهش هایی با بسامد زیاد (۵/۰ MHz) و توان نسبتاً زیاد هم گزارش شده است [۱۹]. در اکثر آزمون های غیر مخرب فراصوتی از روش آزمون عبوری استفاده شده است. ذکی و

1. Lull

2. Simal

3. Nowacka

4. Tokunaga



$$\alpha = \frac{-20}{L} \log\left(\frac{A}{A_0}\right) \quad (1)$$

سخت‌افزار سامانه اندازه‌گیری فراصوت شامل مولد سیگنال (تپ ساز)، دریافت‌کننده (تپ گیر)، کاوشگرها (فرستنده و گیرنده)، میکرومتر، واحد پردازش سیگنال (اسیلوسکوپ)، رایانه و محفظه اندازه‌گیری است. آشکارساز رقمی و پردازشگر سیگنال در واحد پردازش سیگنال قرار داده می‌شوند. آشکارساز رقمی با درگاه USB به رایانه متصل شد. کنترل چگونگی کارکرد واحد پردازش به وسیله آشکارساز رقمی و نرم‌افزار آن انجام گرفت. نمونه‌های فیله ماهی درون دستگاه قرار داده شدند. سامانه فراصوت خصوصیات بافت ماهی را به صورت زمان عبور امواج فراصوت و دامنه سیگنال دریافتی یا مقدار سرعت فراصوت و تضعیف امواج در ماهی، با تماس کاوشگرها اندازه‌گیری می‌کند. کاوشگر فرستنده، امواج فراصوت تپی ارسال می‌کند و کاوشگر گیرنده امواج عبوری و حاوی اطلاعات (کمترین، بیشترین و میانگین ولتاژ دریافتی، میانگین مربعات خطا، دامنه ولتاژ، میانه ولتاژ، مدت زمان و فرکانس امواج دریافتی) از بافت ماهی را دریافت می‌کند. واحد پردازش زمان بین ارسال تا دریافت امواج را اندازه‌گیری می‌کند. کل مدارهای الکترونیک سامانه به تعدادی بلوک تقسیم می‌شود. پردازشگر درون واحد پردازش پس از دریافت فرمان از سوی رایانه، به تراشه جانبی فرمان می‌دهد تا با تحریک یک سوئیچ الکترونیکی، امواج فراصوتی را تولید کند. امواج فراصوتی از کاوشگر فرستنده خارج می‌شود و پس از عبور از ماهی، به کاوشگر گیرنده برخورد می‌کند. اولین تقویت سیگنال دریافتی توسط تقویت‌کننده خارجی انجام می‌شود. سیگنال دریافتی پس از تقویت و شکل‌دهی (پوش‌گیری)، توسط یک مبدل آنالوگ به دیجیتال، رقمی شده و در یک حافظه سیگنال ذخیره می‌شود. پردازشگر آن را از طریق درگاه سریال به رایانه منتقل می‌کند. سامانه توسط یک برنامه رایانه‌ای کنترل می‌شود. به طوری که برنامه پس از نمایش سیگنال و انجام محاسبات روی سیگنال، ویژگی‌های فراصوتی را به صورت نمودار و رقم نشان می‌دهد.

۲.۲. تعیین ویژگی‌های فراصوت، سنجش مقاومت الکتربیکی و رنگ سنجی

مهم‌ترین فراسنجه مورد اندازه‌گیری در حوزه زمان و میرایی، سرعت امواج و نوسانات سیگنال‌های عبوری/انعکاسی و ارسالی در بسامد و اندازه پرتو داده شده است. این دو خاصیت مهم را به طور خلاصه سرعت امواج فراصوتی و ضریب تضعیف یا میرایی می‌نامند که کاربردهای خاص آنها در توصیف و ردیابی عیوب، چگالی، خواص کشسانی و مکانیکی است [۱۶].

۱.۲.۲. سرعت امواج فراصوت (V)

در واقع سرعت عبوری امواج فراصوت است که به ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی مواد بستگی دارد. به دلیل ناهمگن و ناهمسان بودن اغلب مواد غذایی، تعیین سرعت امواج فراصوتی به صورت تحلیلی بسیار مشکل است، اما در عمل سرعت امواج فراصوت از طریق اندازه‌گیری طول موج فراصوت در بسامد مشخص و یا از طریق زمان مورد نیاز برای عبور موج فراصوت از ضخامت مشخص مواد قابل تعیین است $(V = \frac{L}{t})$ که در آن L ضخامت ماده (m) و t زمان (s) است.

۲.۲.۲. ضریب تضعیف امواج فراصوت (α)

دامنه امواج فراصوت در گذر از مواد کاهش می‌یابد؛ به عبارت دیگر موج تضعیف یا میرا می‌شود چون جذب و پخش می‌شود. در جذب امواج، موج مکانیکی در نهایت به گرما تبدیل می‌شود. پخش امواج در مواد ناهمگن به علت وجود ذرات، فضاها خالی و شکاف صورت می‌گیرد. ضریب تضعیف مواد (α) با واحد (dbmm^{-1}) تعریف می‌شود و از رابطه زیر قابل محاسبه است که در این رابطه A_0 و A به ترتیب دامنه موج گیرنده و فرستنده (mV) و L ضخامت ماده (m) است [۲۵]:

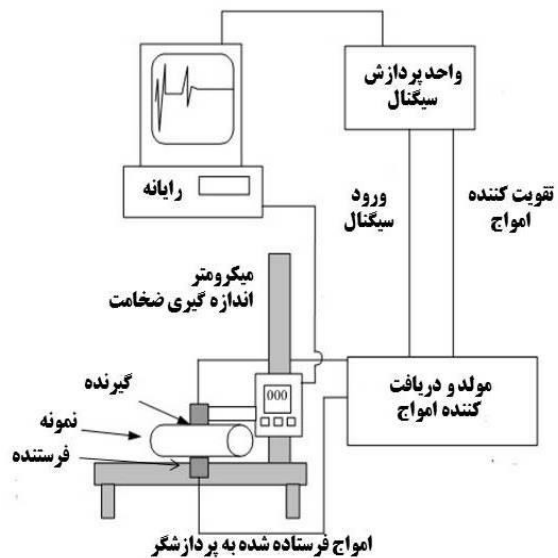
اندازه‌گیری شد. این ماشین به یک دستگاه رایانه متصل بود و از طریق نرم‌افزار مربوطه تنظیمات آزمایش اعمال شده و نمودار نیرو-تغییر شکل برای هر آزمایش ثبت گردید. آزمون انجام شده با این دستگاه آزمون دو سیکیلی، قطر پروب مورد استفاده ۶۰ mm و صفحه زیرین آن ۷۵ mm بوده و هر دو صفحه از جنس آلومینیوم در نظر گرفته شدند. میزان تغییر شکل بر روی نمونه ۶ mm پس از قرار گرفتن نمونه پراب بر روی سطح نمونه‌ها بوده و سرعت حرکت پروب ۲ mm/s تنظیم شد. سختی^۳، شکنندگی^۴، پیوستگی^۵، قابلیت ارتجاعی^۶، صمغی بودن^۷ و قابلیت جویدن^۸ ویژگی‌های بافتی بودند که در این تحقیق مورد آزمایش قرار گرفتند.



شکل (۲) دستگاه تست بافت (یونیورسال سری ۲۰-STM)
Fig 2. Texture testing machine (Universal 20-STM series)

۴.۲ انجام آزمون‌های آنالیز تقریبی

چربی کل به شیوه استخراج با کلروفروم/متانول اندازه‌گیری شد. بدین منظور ابتدا فاز پایینی مواد ته‌نشین شده درون دکانتور، در ارلن ریخته شد و روی هیتر با حرارت ملایم قرار گرفت تا حلال پریده و چربی بر جای بماند. مجدداً ارلن که این بار حاوی چربی بود، وزن شده و از اختلاف آنها چربی کل محاسبه شد [۲۸]. اندازه‌گیری پروتئین نیز به شیوه



شکل (۱) طرح‌واره مکانیزم کیفیت سنج فراصوتی و اجزا آن
Fig 1. Schematic of the ultrasound quality meter mechanism and its components

۳.۲.۲ سنجش مقاومت الکتریکی

برای اندازه‌گیری مقاومت الکتریکی سامانه‌ای ساخته شد که از دو صفحه مسی تشکیل شده بود. فیله‌های ماهی بین این دو صفحه در حالی که نیروی ثابت ۵ N به آن وارد می‌شد قرار گرفت. سپس پردازشگر میزان مقاومت را از طریق درگاه به رایانه منتقل کرده و در نرم‌افزار تهیه شده در کامپیوتر ذخیره شد.

۴.۲.۲ رنگ‌سنجی

رنگ‌سنجی با دستگاه رنگ‌سنج مجهز به رایانه^۱ و سنسور^۲ (شرکت طب البرز ایرانا، شیراز، ایران) انجام شد. نمونه‌های فیله درون دستگاه قرار گرفت و پس از عکس‌برداری اولیه، مقادیر L^* ، a^* و b^* که به ترتیب بیانگر روشنایی، قرمزی و زردی هستند و همچنین مقادیر RGB در طول مدت نگهداری اندازه‌گیری شدند.

۳.۲ تحلیل نیم‌رخ بافت (TPA)

آزمون بافت با دستگاه آزمون فشار سری STM-20

3. Hardness
4. Fracturability or Brittleness
5. Cohesiveness
6. Springiness
7. Gumminess
8. Chewiness

1. MAH 3000
2. CTH 2432



شد. به این منظور افراد ماهی خام را با استفاده از روش هدونیک ۵ نقطه‌ای ارزیابی نمودند. افراد آزمایشگر پس از هر ارزیابی طعم، دهان خود را با آب‌لیموی ۲٪ شستشو داده و بعد از حداقل ۳ min اقدام به تست نمونه بعدی می‌نمودند. ارزیابی حسی در چهار بخش بافت، بو، رنگ و پذیرش کلی انجام شد. در جدول (۱) مقیاس کیفی مورد استفاده در ارزیابی حسی فیله ماهی قزل‌آلا آورده شده است. در این ارزیابی امتیاز یک برای دوست نداشتن زیاد (بافت=زمانی که گوشت بیش از حد نرم شده است، بو= بوی ترش شدگی و متعفن، رنگ= قهوه‌ای) و امتیاز ۵ برای علاقه‌مندی زیاد (بافت= گوشت سفت و انعطاف‌پذیر است و پس از رها شدن بلافاصله به حالت اولیه برمی‌گردد، بو= کاملاً تازه، رنگ= قرمز روشن) است. امتیاز ۳ برای فیله‌ها در ارزیابی حسی به عنوان حد مقبولیت برای مصارف انسانی در نظر گرفته شد [۳۳].

کدال و با استفاده از ضریب تبدیل ۰/۶۵ صورت گرفت [۲۹]. برای اندازه‌گیری میزان رطوبت، حدود ۵ gr از نمونه چرخ شده ماهی توزین شد و در ظرف شیشه‌ای در آن با دمای ۱۰۲ °C قرار گرفت. پس از ۲۴ h نمونه‌ها از آن خارج و به دسیکاتور انتقال یافت. نمونه پس از سرد شدن مجدداً توزین گردید و عمل خشک شدن تا زمانی ادامه یافت که تغییر وزن محسوسی در نمونه دیده نشد [۳۰]. برای اندازه‌گیری خاکستر، ۰/۵ gr نمونه به مدت ۴۸ h در آن ۶۵ °C و سپس درون بوته چینی در کوره الکتریکی و در دمای ۵۵۰ درجه سلسیوس، به مدت ۵ h قرار گرفت تا زمانی که سوزانده شد و خاکستر آن بر جای ماند [۳۰].

۵.۲. ارزیابی حسی

ارزیابی حسی فیله‌ها توسط ۶ نفر افراد آموزش دیده انجام

جدول (۱) مقیاس کیفی مورد استفاده در ارزیابی حسی فیله‌های ماهی

Table 1. Quality scale used in sensory evaluation of fish fillets

| شاخص حسی sensory Index | امتیاز Score | | | |
|---------------------------|-----------------|---|---|--|
| | 5 | 4 | 3 | 2 |
| بافت Texture | | | | خیلی نرم very soft |
| بو Odour | | | | کاملاً نامطلوب extremely unacceptable |
| رنگ Color | | | | کاملاً بی رنگ extreme discoloration |
| پذیرش کلی Overall | | | | کاملاً نامطلوب extremely unacceptable |

هر ویژگی همراه با درجه از عدم وابستگی درونی آنها انجام می‌شود [۳۱]. پس از مشخص شدن ویژگی‌های بهینه، به منظور پیش‌بینی و مدل‌سازی دو روش شبکه عصبی مصنوعی و ماشین بردار پشتیبان مورد بررسی و ارزیابی قرار می‌گیرند. هر شبکه عصبی از سه لایه تشکیل شده است، لایه ورودی برای دریافت داده‌های اولیه، لایه‌های پنهان یا مخفی برای وزن دهی به ورودی‌ها و ارتباط بین آن‌ها و لایه خروجی که در آن پاسخ خروجی دریافت می‌شود. لایه مخفی ممکن است تک لایه یا چند لایه باشد. به شبکه‌های

۶.۲. واکاوی اطلاعات

با توجه به زیاد بودن و هم راستا بودن ورودی‌ها (ویژگی‌های امواج فراصوت، سنجش مقاومت الکتریکی و رنگ سنجی)، کاهش بعد ضروری بود. به این منظور از روش انتخاب ویژگی بر مبنای همبستگی^۱ که روش کاهش بعد با نظارت است استفاده شد. در این روش ارزش‌گذاری مجموعه‌ای از ویژگی‌ها با توجه به توانایی پیش‌بینی فردی

1. Correlation-based Feature Selection

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (a_i - p_i)^2}{n}} \quad (2)$$

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (a_i - p_i) \quad (3)$$

$$R = \frac{\sum_{i=1}^n (a_i - \bar{a})(p_i - \bar{p})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (a_i - \bar{a})^2 \sum_{i=1}^n (p_i - \bar{p})^2}} \quad (4)$$

در این روابط a_i مقادیر واقعی و p_i مقادیر مدل شده پارامترها و n تعداد کل داده‌هاست. کلیه تجزیه و تحلیل‌ها و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از نرم‌افزار داده کاوی weka 3.8 و SPSS انجام شده است.

۳. نتایج و بحث

۳.۱. تغییرات خصوصیات شیمیایی، فیزیکی،

ویژگی‌های بافتی و حسی در طول دوره نگهداری

جدول (۲) تغییرات آنالیز تقریبی، ظرفیت نگهداری آب، آبجک، pH و اسید چرب آزاد را در طول دوره نگهداری نشان می‌دهد. در طی مدت نگهداری رطوبت و خاکستر روند افزایشی و چربی و پروتئین روند کاهشی داشته‌اند. رطوبت ماهی در روز صفر میانگین $74/73\%$ (مبنای تر) را داشته است و با یک روند افزایش در روز دوازدهم به $87/76\%$ رسیده است که اختلاف معناداری بین میزان رطوبت در روزهای ابتدایی و انتهایی دوره وجود دارد ($p > 0/05$). میزان خاکستر تا روز ششم یک روند افزایش داشته و بعد از آن کاهش یافته است، به طوری که اختلاف معناداری بین روز صفر و دوازدهم در میزان خاکستر مشاهده می‌شود. میانگین میزان چربی در روز صفر $4/96\%$ بوده که با یک روند کاهشی به میانگین $2/64\%$ در روز دوازدهم رسیده است و اختلاف معناداری بین روز صفر و دوازدهم مشاهده می‌شود. میزان پروتئین نیز تا روز ششم روند کاهشی داشته و سپس افزایش می‌یابد اما بین روز صفر و دوازدهم اختلاف معناداری یافت نشد. میانگین آبجک در روز صفر $14/16\%$ بود که در روز دوازدهم به میانگین $19/04\%$ رسید که اختلاف معناداری را نشان می‌دهد ($p > 0/05$). ظرفیت نگهداری آب به دلیل ضعیف شدن بافت و خروج آب میان بافتی در طول دوره نگهداری روند کاهشی داشته است و از آن طرف آبجک روند افزایشی داشته است که همین عوامل موجب افزایش رطوبت

تک لایه اصطلاحاً پرسپترون^۱ و به شبکه‌های چند لایه^۲ به اختصار MLP می‌گویند. همچنین شبکه‌های عصبی با تعداد نرون در هر لایه نام‌گذاری می‌شود. در این تحقیق از یک شبکه پرسپترون استفاده شده است که تعداد نرون‌های آن از ۱ تا ۱۰ مورد آزمایش قرار گرفته و مناسب‌ترین تعداد نرون برای پیش‌بینی هر ویژگی بافتی انتخاب شده است. همچنین داده‌ها به دو قسمت آموزش (70%) و اعتبارسنجی (30%) تقسیم شدند. انتخاب ساختار شبکه عصبی روی دقت نتایج تأثیر بسزایی دارد، بنابراین یافتن بهترین ساختار در ارتقای نتایج پیش‌بینی شبکه عصبی بسیار مهم است. بدین منظور ساختارهای گوناگون با تعداد نرون‌های مختلف برای هر شبکه بررسی شد و شبکه‌ای انتخاب شد که کم‌ترین خطا و بیش‌ترین دقت را داشته باشد.

ماشین بردار پشتیبان از جمله روش‌های نسبتاً جدیدی است که در سال‌های اخیر کارایی خوبی نسبت به روش‌های قدیمی‌تر برای طبقه‌بندی و پیش‌بینی نشان داده است. رویکرد ماشین بردار پشتیبان به این صورت است که در فاز آموزش، سعی می‌شود که مرز تصمیم‌گیری به‌گونه‌ای انتخاب گردد که حداقل فاصله آن با هر یک از دسته‌های مورد نظر به صورت حداکثری دیده شود. در واقع در تقسیم خطی داده‌ها سعی می‌شود خطی انتخاب شود که حاشیه اطمینان بیشتری داشته باشد این نوع انتخاب باعث می‌شود که تصمیم‌گیری ما در عمل، شرایط نویزی را به خوبی تحمل کند و پاسخ دهی خوبی داشته باشد. این نحوه انتخاب مرز بر اساس نقطه‌ای به نام بردارهای پشتیبان انجام می‌شود. از ماشین بردار پشتیبان، به منظور مدل‌سازی و طبقه‌بندی داده‌ها استفاده می‌گردد. به منظور پیش‌بینی ویژگی‌های بافتی فیله ماهی قزل‌آلا با استفاده از روش ماشین بردار پشتیبان، از توابع مختلف هسته می‌توان استفاده نمود [۳۱]. برای ارزیابی عملکرد مدل‌ها از ضریب همبستگی^۳ (R)، میانگین قدرمطلق خطا^۴ (MAE) و جذر میانگین مربع خطا^۵ (RMSE) استفاده شد.

1. Perceptron
2. Multi-layer Perceptron
3. Correlation coefficient
4. Mean Absolute Error
5. Root Mean Square Error

فیله نیز در طول دوره نگهداری شده است. pH و مقدار اسیدهای چرب آزاد نیز روند افزایش داشته به نحوی که میزان pH از میانگین ۶/۷۷ به ۷/۷۱٪ و اسید چرب آزاد از میانگین ۰/۸ به ۳/۱۳٪ بر حسب اسید اولئیک رسید که هر دو ویژگی اختلاف معناداری در روز صفر و روز دوازدهم از خود نشان دادند.

جدول (۲) میانگین آماری آنالیز تقریبی و خصوصیات شیمیایی فیله ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان در طول دوره نگهداری

Table 2. Statistical average of approximate analysis and chemical properties of rainbow trout fillet during storage

| مدت ماندگاری (روز) Storage time (Days) | | ویژگی‌ها Properties |
|---|---------------------------|-------------------------|
| 12 | 0 | |
| 76.87 ^a ± 0.69 | 73.74 ^b ± 0.71 | رطوبت Moisture |
| 19.04 ^b ± 0.42 | 20.15 ^a ± 1.72 | پروتئین Protein |
| 2.64 ^b ± 0.27 | 4.96 ^a ± 1.34 | چربی Lipid |
| 1.44 ^a ± 0.10 | 1.15 ^a ± 0.06 | خاکستر Ash |
| 15.33 ^b ± 1.03 | 21.79 ^a ± 1.53 | ظرفیت نگهداری آب WHC |
| 19.04 ^a ± 0.96 | 14.16 ^b ± 1.19 | آبچک Driploss |
| 7.71 ^a ± 0.12 | 6.77 ^b ± 0.03 | اسیدیته pH |
| 3.13 ^a ± 0.38 | 0.80 ^b ± 0.17 | اسید چرب آزاد FFA |

کم ولی مقاومت آن زیاد است. به تدریج و پس از گذشت زمان غشاها به صورت افزایشی نسبت به حاملین بارها نفوذپذیر گردیده و در نتیجه مقاومت دیواره سلولی کاهش می‌یابد. در همین هنگام نیز نیروی دگردوستی مولکول‌های آب کاهش یافته و موجب کاهش اتصال آب به سطوح پروتئینی می‌گردد که این امر موجب افت سریع در ظرفیت آب بافتی می‌گردد. روند کاهشی ظرفیت نگهداری آب با تغییر ماهیت و انبوهش پروتئین‌ها خصوصاً میوزین در ارتباط می‌باشد و این پروتئین تغییر ماهیت یافته که با افزایش مدت نگهداری به صورت منجمد ایجاد می‌شود، میل ترکیبی کمتری با آب دارد و این مسئله باعث می‌شود بافت زمینه ژل تولیدی از این پروتئین ظرفیت کمتری را برای نگهداری آب داشته باشد [۴۱]. به همین دلیل است که در روز نخست مقاومت بالا بوده (Kohm ۱/۰۱) و در روز سوم (Kohm ۰/۸۴) به دلیل کاهش مقاومت دیواره سلولی، مقاومت الکتریکی کاهش یافته است. در روزهای بعد این

جدول (۳) مقایسه خصوصیات فیزیکی فیله ماهی قزل‌آلا را در طول دوره نگهداری نشان می‌دهد. سرعت عبور امواج در روز صفر ۳۰۷/۸۶ m/s و در روز دوازدهم ۴۴۴/۰۱ m/s است که افزایش معناداری دارد (p>۰/۰۵). همچنین ضریب تضعیف امواج در روز نخست ۰/۲۸۴ dB/mm و در روز دوازدهم ۰/۲۶۳ dB/mm است که به طور معناداری کاهش یافته است. در تحقیق مشابهی که لول و همکاران [۲۲] در مدت ۴۵ days بر روی گوشت خوک انجام دادند نیز سرعت امواج به طور معناداری افزایش یافته بود. میزارچ و همکاران [۱۸] نیز به منظور تعیین کیفیت آلوسیاه با استفاده از امواج فراصوت به این نتیجه رسیدند که با افزایش زمان، ضریب تضعیف امواج کاهش یافته است که نتایج مشابهی را نشان می‌دهد. در بافت خیلی تازه (بلافاصله پس از صید) غشاهای مختلف فقط نسبت به یون‌های خاصی (پتاسیم و سدیم) نفوذپذیر هستند و در نتیجه در اطراف هر کدام یک پتانسیل خاص به وجود می‌آید. در این حالت رسانایی دیواره سلولی

و دمای نگهداری در تغییر رنگ گوشت نقش مؤثری دارند. طبق نتایج به دست آمده شاخص a در طول دوره نگهداری به طور معناداری کاهش یافته است. کاهش شاخص a نشان دهنده تمایل به سبز شدن رنگ گوشت طی دوره نگهداری را نشان می‌دهد، در واقع به دلیل کاهش فشار اکسیژن، آهن حلقه از شکل دو به سه ظرفیتی تغییر یافته و میوگلوبین قرمز به صورت مت میوگلوبین سبز در می‌آید. همچنین شاخص b در طول دوره نگهداری به طور معناداری افزایش یافته است. افزایش در این شاخص نشان دهنده افزایش رنگدانه‌های زرد ناشی از اکسیداسیون لیپیدها است [۳۳]. کاظمی و همکاران [۳۴] نشان دادند که تغییرات رنگ (G,R, b*, a*, L*, B) چشم و بافت ماهی در طول دوره فساد دارای اختلاف معنی‌داری بوده است که با نتایج این تحقیق و اختلاف معنی‌دار خصوصیات رنگی مشابهت دارد.

روند دوباره افزایشی بوده و مجدداً در روز دوازدهم به دلیل از بین رفتن کامل بافت، مقاومت الکتریکی به طور معناداری کاهش یافته است. نتایج این پژوهش با تحقیقات رضوی شیرازی و همکاران مطابقت داشته است [۱۲].

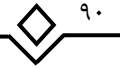
رنگ فیله ماهی در طول دوره نگهداری دچار نوسان گردید که با تحقیقی که جدی و همکاران [۳۲] بر روی فیله ماهی قزل آلا انجام دادند مشابهت دارد. از آنجا که رنگ گوشت ناشی از عملکرد دو عامل رنگدانه‌های گوشت (میوگلوبین و تا حدودی هموگلوبین) و حاصل نحوه پراکندگی نور است، آن‌ها تغییرات رنگ گوشت را به میزان زیادی به شدت اکسیداسیون میوگلوبین مربوط دانستند. در تحقیقی دیگر که وفا [۳۳] روی فیله ماهی قزل آلا انجام داد نشان داد که عوامل داخلی مثل pH گوشت و اکسیداسیون چربی‌ها و عوامل خارجی مانند قرارگیری در معرض نور، رشد میکروبی

جدول (۳) مقایسه خصوصیات فیزیکی فیله ماهی قزل آلا در طول دوره نگهداری
Table 3. Comparison of the physical properties of rainbow trout fillet during storage

| ویژگی‌های فیزیکی Physical Properties | مدت ماندگاری (روز) Storage time (Days) | | | |
|---|---|----------------------------|------------------------------|------------------------------|
| | 12 | 9 | 6 | 3 |
| سرعت عبور امواج Velocity (m/s) | 444.01 ^a ± 28.50 | 370.77 ^b ± 4.42 | 346.60 ^{bc} ± 82.42 | 323.69 ^{cd} ± 69.40 |
| ضریب تضعیف امواج Attenuation (dB/mm) | 0.26 ^c ± 0.01 | 0.26 ^c ± 0.01 | 0.27 ^b ± 0.01 | 0.27 ^b ± 0.01 |
| مقاومت الکتریکی Resistance (Kohm) | 0.8 ^d ± 0.03 | 1.42 ^a ± 0.08 | 1.25 ^b ± 0.12 | 0.84 ^d ± 0.13 |
| مولفه رنگی R | 152.84 ^{bc} ± 9.01 | 149.81 ^c ± 7.15 | 156.43 ^{ab} ± 9.55 | 157.62 ^a ± 4.66 |
| مولفه رنگی G | 114.03 ^a ± 12.52 | 103.40 ^b ± 9.12 | 116.91 ^a ± 13.03 | 104.84 ^b ± 9.83 |
| مولفه رنگی B | 80.71 ^b ± 9.32 | 75.43 ^b ± 7.41 | 80.12 ^b ± 8.36 | 79.34 ^b ± 6.80 |
| مولفه رنگی L* | 44.08 ^{ab} ± 4.29 | 40.99 ^c ± 3.10 | 45.03 ^a ± 4.39 | 42.23 ^{bc} ± 2.88 |
| مولفه رنگی a* | 6.46 ^c ± 2.27 | 9.96 ^b ± 1.52 | 6.49 ^c ± 2.51 | 12.53 ^a ± 3.23 |
| مولفه رنگی b* | 16.83 ^b ± 1.74 | 15.54 ^c ± 1.37 | 17.80 ^a ± 1.90 | 15.81 ^c ± 1.51 |

می‌دهد، در روز اول N ۲/۶۳ بوده و تا روز نهم به طور معناداری افزایش یافته و به N ۴/۶۹ رسیده است و سپس در روز دوازدهم به دلیل از بین رفتن و تجزیه بافت ماهی، مجدداً کاهش یافته است. همچنین هر سه شاخص پیوستگی

جدول (۴) ویژگی‌های بافتی فیله ماهی قزل آلا را در طول دوره نگهداری نشان می‌دهد. همان طور که مشاهده می‌شود شاخص سختی که حداکثر ارتفاع منحنی نیرو در اولین فشار است و حداکثر نیروی اعمال شده طی گاز زدن را نشان



تحقیقات مشابهی که جدی و همکاران [۳۲] بر روی فیله ماهی قزل‌آلا انجام دادند میزان سختی در طول دوره نگهداری ابتدا افزایش یافته و سپس در روز چهاردهم کاهش یافته است. همچنین میزان پیوستگی در روز صفر $0/01 \pm$ گزارش شده است که با مقدار روز صفر پژوهش حاضر همخوانی دارد ($0/05 \pm 0/35$). همچنین نتایج پژوهش حاضر با یافته‌های اعتمادیان و همکاران [۶] که ویژگی‌های بافتی (سختی، چسبناکی، نیروی چسبندگی، ویژگی صمغی و ارتجاعی و قابلیت جویدن) فیله‌های ماهی سفید را طی نگهداری در یخ مورد بررسی قرار دارند مشابهت دارد.

(نسبت سطح زیر نمودار در دومین اعمال فشار به سطح زیر نمودار در اولین فشار است)، صمغی بودن (حاصل ضرب سختی در پیوستگی بوده و به صفت حسی صمغی و خمیری بودن مربوط است. در حقیقت نیروی لازم برای هضم دهانی مواد نیمه جامد و آماده کردن آن برای بلعیدن است) و قابل جویدن بودن (حاصل ضرب صمغی بودن در قابلیت ارتجاع بوده و بیانگر انرژی لازم برای هضم دهانی و جویدن مواد غذایی است) در طول دوره نگهداری کاهش یافته است. شکنندگی نیز ابتدا تا روز سوم افزایش یافته و سپس کاهش می‌یابد اما میزان قابلیت ارتجاعی حالت نوسانی دارد. در

جدول (۴) مقایسه ویژگی‌های بافتی فیله ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان در طول دوره نگهداری

Table 4. Comparison of textural properties of rainbow trout fillet during storage

| مدت ماندگاری (روز) | | | | | ویژگی‌های بافتی Textural Properties |
|--------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|--|
| 12 | 9 | 6 | 3 | 0 | |
| $1.91^e \pm 0.57$ | $4.69^a \pm 2.34$ | $3.76^b \pm 0.03$ | $3.20^c \pm 1.47$ | $2.63^d \pm 0.96$ | سختی Hardness (N) |
| $0.64^e \pm 0.02$ | $0.92^c \pm 0.03$ | $0.99^b \pm 0.03$ | $1.07^a \pm 0.06$ | $0.83^d \pm 0.04$ | شکنندگی Fracturability (N) |
| $0.06^d \pm 0.02$ | $0.07^d \pm 0.02$ | $0.13^c \pm 0.01$ | $0.29^b \pm 0.04$ | $0.35^a \pm 0.05$ | پیوستگی Cohesiveness |
| $3.94^a \pm 0.06$ | $3.98^a \pm 0.03$ | $3.78^a \pm 0.14$ | $3.83^a \pm 0.26$ | $3.90^a \pm 0.06$ | قابلیت ارتجاعی Springiness (mm) |
| $0.09^e \pm 0.01$ | $0.38^d \pm 0.03$ | $0.49^c \pm 0.04$ | $0.96^b \pm 0.14$ | $1.12^a \pm 0.17$ | صمغی بودن Gumminess (N) |
| $0.38^e \pm 0.03$ | $1.54^d \pm 0.12$ | $1.88^c \pm 0.14$ | $3.77^b \pm 0.57$ | $4.46^a \pm 0.68$ | قابلیت جویدن Chewiness (J) |

جدول (۵) روند تغییرات امتیاز حسی فیله ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان در طول دوره نگهداری در یخچال

Table 5. Trend of changes in sensory rating of rainbow trout fillet during refrigerated storage

| مدت ماندگاری (روز) | | | | | شاخص حسی Sensory Index |
|--------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|---------------------------|
| 12 | 9 | 6 | 3 | 0 | |
| $1.00^d \pm 0.00$ | $2.20^c \pm 0.45$ | $3.20^b \pm 0.45$ | $5.00^a \pm 0.00$ | $5.00^a \pm 0.00$ | بافت Texture |
| $1.40^e \pm 0.55$ | $2.20^d \pm 0.45$ | $3.20^c \pm 0.45$ | $4.40^a \pm 0.55$ | $5.00^a \pm 0.00$ | بو Odour |
| $2.00^e \pm 0.00$ | $3.00^d \pm 0.00$ | $4.00^c \pm 0.00$ | $4.00^a \pm 0.00$ | $5.00^a \pm 0.00$ | رنگ Color |
| $1.00^d \pm 0.00$ | $3.00^c \pm 0.00$ | $4.00^b \pm 0.00$ | $4.80^a \pm 0.45$ | $5.00^a \pm 0.00$ | پذیرش کلی Overall |

۲.۳. پیش‌بینی ویژگی‌های بافتی با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی و ماشین بردار پشتیبان

برای تعیین بهترین ساختار شبکه عصبی مصنوعی به منظور پیش‌بینی ویژگی‌های بافتی ماهی طی دوره نگهداری، تعداد مختلفی از نرون‌ها (۱ تا ۱۰) در لایه مخفی به همراه میزان خطای هر کدام مورد بررسی قرار گرفت (جدول ۶). همان‌طور که مشاهده می‌شود تعداد ۷ نرون برای شاخص‌های شکنندگی و قابلیت ارتجاعی، ۸ نرون برای چسبناکی، ۹ نرون برای سختی و ۱۰ نرون برای شاخص‌های صمغی و قابلیت جویدن کمترین میزان خطا را داشتند.

مطابق جدول (۵) تا روز ششم تمامی شاخص‌های حسی امتیاز بالای ۳ را داشته‌اند و از روز نهم به بعد تقریباً تمامی شاخص‌ها (بافت، بو، رنگ و پذیرش کلی) فاسد بودن ماهی را مشخص نموده‌اند (امتیاز کمتر از ۳) به جز رنگ که تا روز نهم نیز امتیاز قابل قبول ۳ را داشته و از روز دوازدهم به امتیاز غیر قابل قبول رسیده است. در تحقیقاتی که نصیری و همکاران [۳۵]، اجاق و همکاران [۳۶]، تقی‌زاده و همکاران [۳۷] و ذوالفقاری و همکاران [۳۸] در طول دوره نگهداری فیله ماهی قزل‌آلا در دمای یخچال انجام دادند نیز به این نتیجه رسیدند که پس از گذشت ۶ الی ۸ روز امتیازات حسی به کمتر از مقدار ۳ (قابل قبول) می‌رسد که با نتایج این تحقیق مشابهت دارد.

جدول (۶) تعداد نرون‌های شبکه عصبی مصنوعی و خطای اندازه‌گیری

Table 6. Number of neurons in ANN models and error provided

| 10 | 9 | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | ویژگی‌های بافتی Textural Properties |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--|
| 0.416 | 0.323 | 0.419 | 0.430 | 0.332 | 0.419 | 0.430 | 0.418 | 0.365 | 0.619 | سختی Hardness (N) |
| 0.063 | 0.067 | 0.061 | 0.059 | 0.063 | 0.062 | 0.061 | 0.064 | 0.082 | 0.085 | شکنندگی Fracturability (N) |
| 0.026 | 0.015 | 0.015 | 0.022 | 0.066 | 0.032 | 0.039 | 0.065 | 0.065 | 0.092 | پیوستگی Cohesiveness |
| 0.040 | 0.021 | 0.041 | 0.020 | 0.041 | 0.042 | 0.035 | 0.037 | 0.046 | 0.046 | قابلیت ارتجاعی Springiness (mm) |
| 0.044 | 0.310 | 0.055 | 0.056 | 0.251 | 0.235 | 0.243 | 0.240 | 0.236 | 0.302 | صمغی بودن Gumminess (N) |
| 0.171 | 0.225 | 0.222 | 0.204 | 0.960 | 0.885 | 0.947 | 0.942 | 0.951 | 0.200 | قابلیت جویدن Chewiness (J) |

جدول (۷) ساختار شبکه، ویژگی‌های بهینه به همراه ضریب همبستگی (r)، میانگین مقدار خطا (MAE) و جذر میانگین مربع خطا (RMSE) برای هر کدام از ویژگی‌های بافتی آورده شده است. ضریب همبستگی همه شاخص‌های فیزیکی بیشتر از ۰/۹۲ است که بیانگر ارتباط بالای بین ویژگی‌های فیزیکی و رنگی را با ویژگی‌های بافت است.

پس از به دست آوردن مناسب‌ترین تعداد نرون‌ها برای پیش‌بینی ویژگی‌های بافتی، به دلیل اینکه تعداد ویژگی‌های فیزیکی (سرعت عبور امواج، ضریب تضعیف امواج، مقاومت الکتریکی) و رنگی (b*, a*, L*, B, G, R) زیاد بودند، کاهش بعد ضروری بود؛ بنابراین با استفاده از روش انتخاب ویژگی بر مبنای همبستگی ویژگی‌های بهینه مشخص شدند. در

جدول (۷) ویژگی‌های بهینه استخراج شده برای پیش‌بینی ویژگی‌های بافتی با استفاده از روش انتخاب ویژگی بر مبنای همبستگی

Table 7. Optimal properties extracted for predicting textural properties using correlation-based feature selection

| MAE | MAE | r | ویژگی‌های بهینه Optimal properties | ساختار شبکه Structure | ویژگی‌های بافتی Textural Properties |
|-------|-------|-------|---------------------------------------|--------------------------|--|
| 0.278 | 0.278 | 0.953 | Resistance, Attenuation, b* | 3-9-1 | سختی Hardness (N) |
| 0.045 | 0.045 | 0.920 | Resistance, Velocity, a* | 3-7-1 | شکنندگی Fracturability (N) |
| 0.010 | 0.010 | 0.992 | Resistance, Velocity, Attenuation, b* | 4-8-1 | پیوستگی Cohesiveness |
| 0.016 | 0.016 | 0.921 | Resistance, Velocity, R | 3-7-1 | قابلیت ارتجاعی Springiness (mm) |
| 0.033 | 0.033 | 0.994 | Resistance, Velocity, Attenuation, b* | 4-10-1 | صمغی بودن Gumminess (N) |
| 0.125 | 0.125 | 0.994 | Resistance, Velocity, Attenuation, b* | 4-10-1 | قابلیت جویدن Chewiness (J) |

جدول (۸) ضریب همبستگی و خطای پیش‌بینی ویژگی‌های بافتی در روش ماشین بردار پشتیبان

Table 8. Correlation coefficient and predictive error of textural properties in support vector machine Method

| RMSE | MAE | r | تابع هسته SVM Function | ویژگی‌های بافتی Textural Properties |
|---------------|---------------|---------------|---------------------------|--|
| 0.5394 | 0.3390 | 0.8383 | Polynomial | سختی Hardness (N) |
| 0.3125 | 0.2270 | 0.9457 | Normalized Polynomial | |
| 0.6652 | 0.5441 | 0.8200 | RBF | |
| 0.1140 | 0.0666 | 0.9933 | PUK | شکنندگی Fracturability (N) |
| 0.1331 | 0.0949 | 0.5959 | Polynomial | |
| 0.1105 | 0.0740 | 0.7455 | Normalized Polynomial | |
| 0.1387 | 0.1181 | 0.5099 | RBF | پیوستگی Cohesiveness |
| 0.0250 | 0.0130 | 0.9848 | PUK | |
| 0.0815 | 0.0603 | 0.7464 | Polynomial | |
| 0.0736 | 0.0549 | 0.7955 | Normalized Polynomial | قابلیت ارتجاعی Springiness (mm) |
| 0.1154 | 0.0943 | 0.7263 | RBF | |
| 0.0214 | 0.0123 | 0.9844 | PUK | |
| 0.0467 | 0.0317 | 0.6103 | Polynomial | صمغی بودن Gumminess (N) |
| 0.0403 | 0.0267 | 0.7120 | Normalized Polynomial | |
| 0.0436 | 0.0352 | 0.5913 | RBF | |
| 0.0147 | 0.0085 | 0.9608 | PUK | قابلیت جویدن Chewiness (J) |
| 0.2708 | 0.2040 | 0.7280 | Polynomial | |
| 0.2376 | 0.1796 | 0.7886 | Normalized Polynomial | |
| 0.3359 | 0.2832 | 0.7100 | RBF | قابلیت جویدن Chewiness (J) |
| 0.0718 | 0.0380 | 0.9826 | PUK | |
| 1.0726 | 0.8085 | 0.7275 | Polynomial | |
| 0.9424 | 0.7136 | 0.7889 | Normalized Polynomial | قابلیت جویدن Chewiness (J) |
| 0.7190 | 1.1295 | 0.7190 | RBF | |
| 0.9827 | 0.1508 | 0.9827 | PUK | |

کمترین میزان خطا است. در تمامی ویژگی‌های بافتی، تابع هسته PUK، بهترین عملکرد را داشت. کمترین مقدار RMSE برای شاخص‌های سختی، شکنندگی، چسبناکی، قابلیت ارتجاعی، صمغی بودن و قابلیت جویدن در تابع هسته PUK، به ترتیب برابر ۰/۱۱۴۰، ۰/۰۲۵۰، ۰/۰۲۱۴، ۰/۰۱۴۷، ۰/۰۷۱۸ و ۰/۲۸۴۳ است. در تحقیقی که ثنایی فر

برای پیش‌بینی ویژگی‌های بافتی فیله ماهی قزل‌آلا با استفاده از روش ماشین بردار پشتیبان، توابع مختلف هسته مورد بررسی و مقایسه قرار گرفتند. نتایج مربوط به بررسی عملکرد توابع هسته ماشین بردار پشتیبان در جدول (۸) آمده است. بهترین مدل در پیش‌بینی ویژگی‌های بافتی مربوط به تابع هسته‌ای با بیشترین ضریب همبستگی و

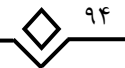
بیشتری برای مدل سازی ویژگی های بافتی را دارا هستند به طوری که RMSE شاخص های سختی، شکنندگی، چسبناکی، قابلیت ارتجاعی، صمغی بودن و قابلیت جویدن به ترتیب برابر ۰/۱۱۴، ۰/۰۲۵۰، ۰/۰۱۵۲، ۰/۰۱۴۷، ۰/۰۴۴۰ و ۰/۱۷۱۲ و ضریب همبستگی آنها نیز به ترتیب برابر ۰/۹۹۳۳، ۰/۹۸۴۸، ۰/۹۹۲۰، ۰/۹۶۰۸، ۰/۹۹۴۶ و ۰/۹۹۴۹ است. در تحقیق فان^۱ و همکاران برای پیش بینی ویژگی های بافتی سختی و صمغی بودن ۱۷ ماده غذایی ترکیبی، با استفاده از خصوصیات رنگی مستخرج از ماشین بینایی به کمک شبکه عصبی، به ترتیب ضرایب همبستگی ۰/۹۶۷۱ و ۰/۹۸۵۶ به دست آمد که مشابه نتایج به دست آمده در این تحقیق بوده و بیانگر ارتباط مناسب بین ویژگی های بافتی و خصوصیات فیزیکی است [۳۹].

[۳۱] با استفاده از روش ماشین بردار پشتیبان به منظور پیش بینی میزان تقلب مربوط به افزودن روغن های آفتابگردان، ذرت، پالم، زیتون تصفیه شده، کانولا، سویا، بادام زمینی و سبوس برنج به روغن زیتون بکر انجام دادند کمترین میزان RMSE را به ترتیب ۰/۷۲۲۴، ۰/۵۵۱۶، ۰/۴۸۴۹ و ۰/۸۶۲۰، ۰/۶۳۳۷، ۱/۴۰۲۵، ۱/۰۳۴۵، ۲/۳۹۰۹ گزارش نمودند که در مقایسه، میزان خطا در پژوهش حاضر کمتر است.

در جدول (۹) مقایسه دو روش شبکه عصبی مصنوعی و ماشین بردار پشتیبان به منظور پیش بینی ویژگی های بافتی آورده شده است. همان طور که مشاهده می شود در پیش بینی شاخص های سختی، شکنندگی و قابلیت ارتجاعی روش ماشین بردار پشتیبان و در شاخص های چسبناکی، صمغی بودن و قابلیت جویدن، روش شبکه عصبی توانمندی

جدول (۹) ضریب همبستگی و خطای پیش بینی
Table 9. Correlation Coefficient and Prediction Error

| RMSE | MAE | r | تابع هسته Function | ویژگی های بافتی Textural Properties |
|---------------|---------------|---------------|---|--|
| 0.3235 | 0.2781 | 0.9530 | شبکه عصبی مصنوعی Artificial Neural network | سختی Hardness (N) |
| 0.1140 | 0.0666 | 0.9933 | ماشین بردار پشتیبان Support Vector Machine | |
| 0.0596 | 0.0452 | 0.9208 | شبکه عصبی مصنوعی Artificial Neural network | شکنندگی Fracturability (N) |
| 0.0250 | 0.0130 | 0.9848 | ماشین بردار پشتیبان Support Vector Machine | |
| 0.0152 | 0.0107 | 0.9920 | شبکه عصبی مصنوعی Artificial Neural network | پیوستگی Cohesiveness |
| 0.0214 | 0.0123 | 0.9844 | ماشین بردار پشتیبان Support Vector Machine | |
| 0.0208 | 0.0160 | 0.9214 | شبکه عصبی مصنوعی Artificial Neural network | قابلیت ارتجاعی Springiness (mm) |
| 0.0147 | 0.0085 | 0.9608 | ماشین بردار پشتیبان Support Vector Machine | |
| 0.0440 | 0.0335 | 0.9946 | شبکه عصبی مصنوعی Artificial Neural network | صمغی بودن Gumminess (N) |
| 0.0718 | 0.0380 | 0.9826 | ماشین بردار پشتیبان Support Vector Machine | |
| 0.1711 | 0.1254 | 0.9949 | شبکه عصبی مصنوعی Artificial Neural network | قابلیت جویدن Chewiness (J) |
| 0.2843 | 0.1508 | 0.9827 | ماشین بردار پشتیبان Support Vector Machine | |



توانایی لازم برای پیش‌بینی ویژگی‌های بافتی را دارا هستند و هر دو نتایج تقریباً مشابهی را نشان می‌دهند [۴۰]. در پژوهشی یک سامانه ماشین بینایی به منظور تشخیص ناخالصی‌های روغن زیتون در سه سطح ارائه شد. به این منظور پارامترهای مربوط به فضای رنگی RGB، HSV و Lab از روغن زیتون استخراج شده و با استفاده از روش‌های شبکه عصبی مصنوعی و ماشین بردار پشتیبان نتایج طبقه‌بندی مقایسه شدند (به ترتیب با درصد جداسازی ۸۲/۳۸ و ۸۷/۶۶) [۴۲].

پس از تعیین بهترین روش برای پیش‌بینی هریک از ویژگی‌های بافتی، ضریب تبیین بین مقادیر واقعی و مقادیر اندازه‌گیری شده برای ۳۰٪ داده‌ها محاسبه شد که در جدول (۱۰) آورده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود ضریب تبیین تمامی شاخص‌ها بالای ۰/۹۵ است و به این معنی است که تلفیق روش‌های فیزیکی غیر مخرب امواج فراصوت، سنجش مقاومت الکتریکی و رنگ سنجی می‌تواند ویژگی‌های بافتی را به خوبی پیش‌بینی نماید. همچنین هر دو روش شبکه عصبی مصنوعی و ماشین بردار پشتیبان

جدول (۱۰) ضریب تبیین بین مقادیر واقعی و مقادیر اندازه‌گیری شده ویژگی‌های بافتی

Table 10. Regression coefficients between actual values and measured values of textural properties

| جویدنی بودن Chewiness (J) | صمغی بودن Gumminess (N) | قابلیت ارتجاعی Springiness (mm) | پیوستگی Cohesiveness | شکندگی Fracturability (N) | سختی Hardness (N) | ویژگی‌های بافتی Textural Properties |
|------------------------------|----------------------------|------------------------------------|-------------------------|------------------------------|----------------------|--|
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.9877 | سختی Hardness (N) |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0.9698 | 0 | شکندگی Fracturability (N) |
| 0 | 0 | 0 | 0.9981 | 0 | 0 | پیوستگی Cohesiveness |
| 0 | 0 | 0.9553 | 0 | 0 | 0 | قابلیت ارتجاعی Springiness (mm) |
| 0 | 0.9946 | 0 | 0 | 0 | 0 | صمغی بودن Gumminess (N) |
| 0.9946 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | قابلیت جویدن Chewiness (J) |

۴. نتیجه‌گیری

پیوستگی، صمغی بودن و قابلیت جویدن، با استفاده از روش شبکه عصبی مصنوعی به ترتیب با ضرایب همبستگی ۰/۹۹۲۰، ۰/۹۹۴۶ و ۰/۹۹۴۶ و ویژگی‌های بافتی سختی، شکندگی و قابلیت ارتجاعی با استفاده از روش ماشین بردار پشتیبان با ضرایب همبستگی ۰/۹۹۳۳، ۰/۹۸۴۸ و ۰/۹۶۰۸ حاصل شدند.

تغییرات ویژگی‌های فیزیکی (سرعت عبور امواج، ضریب تضعیف امواج، مقاومت الکتریکی) و رنگی (G.R، $b^*a^*L^*$ ، B^*) فیله‌های ماهی قزل‌آلا، طی دوره نگهداری ماهی در دمای یخچال، محرز و مشخص بوده، همچنین این مؤلفه‌های فیزیکی به شکلی تغییر می‌کنند که نمی‌توان فقط با اتکا به روند تغییر یک مؤلفه اقدام به تعیین شاخص‌های فیزیکی نمود. همچنین تعیین ویژگی‌های بافتی، با استفاده از روش‌های مرسوم، هم زمان بر بوده، هم به بافت آسیب

با توجه به نتایج به دست آمده، با افزایش مدت ماندگاری فیله ماهی قزل‌آلا، سرعت عبور امواج افزایش (از ۳۰۷/۸۶ به ۴۴۴/۰۱ m/s)، ضریب تضعیف امواج کاهش (از ۰/۲۸ به ۰/۲۶ dB/mm) و مقاومت الکتریکی و ویژگی‌های رنگی نوسانی بودند. همچنین با گذشت زمان، ویژگی بافتی سختی تا روز نهم افزایش (از ۲/۶۳ به ۴/۶۹) و سپس کاهش یافت (۱/۹۱)، اما در طول کل دوره، ویژگی بافتی پیوستگی (از ۰/۳۵ به ۰/۰۶)، صمغی بودن (از ۱/۱۲ به ۰/۰۹) و قابلیت جویدن (از ۴/۴۶ به ۰/۳۸) روند کاهشی داشتند. در ارزیابی حسی فیله‌های ماهی قزل‌آلا، شاخص‌های بافت و بو از روز ششم و شاخص‌های رنگ و پذیرش کلی از روز نهم به امتیاز کمتر از ۳ (حد قابل قبول) رسیدند. بهترین عملکرد در مدل‌سازی و پیش‌بینی ویژگی‌های بافتی

ماشین بردار پشتیبان می توان کیفیت فراورده های شیلاتی را در کارگاه های فرآوری مورد بررسی و نظارت قرار داد. سامانه پیشنهادی به عنوان تکنولوژی نوین و کارآمد می تواند جایگزین روش های مرسوم تشخیص کیفیت فیله ماهی قزل آلا شود.

می رساند و هم اینکه گران قیمت است، لذا با استفاده از نتایج این تحقیق می توان با استفاده از دو روش مدل سازی شبکه عصبی مصنوعی و ماشین بردار پشتیبان ویژگی های بافتی را مدل سازی نمود، به طوری که در صنعت، با توانایی بالای امواج فراصوت، سنجش مقاومت و خصوصیات رنگی در ترکیب با روش های مدل سازی شبکه عصبی مصنوعی یا

منابع

- [1] Razavi-Shirzi, H. (2007). Seafood technology, principles of handling and processing (1). Parsnegar Press, 325 p.
- [2] Kamani, M. H., Mortazavi, S. A., Safari, O., & Mehrban, M. (2014). Investigation of fat oxidation of rainbow trout fillet at 4 °C using image processing technique. *J. of Inno. Food Tech.*, 2(1): 59-65. [In Persian]
- [3] Omid-Arjenaki, O., Ghanbarian, D., & Naderi-Boldaji, M. (2018). Evaluation and prediction of mechanical properties of potato during storage by laser light backscattering imaging. *Food Sci. and Tech.*, 15(10): 237-250. [In Persian]
- [4] Zaki Dizaji, H., Minaei, S., Tavakkoli Hashtjin, T., Mokhtari, M., & Montazer, A. (2009). An ultrasonic investigation of agricultural product quality. 5th National Conference on Agriculture Machinery Engineering and Mechanization, Mashhad, Iran. [In Persian]
- [5] Zolfaghari, M., Shabanpoor, B., & Fallahzadeh, S. (2011a). Comparison the effect of thyme, onion and ziziphora clinopodiodes extracts on shelflife of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *J. of Iranian Food Sci. and Tech. Res.*, 6(2): 121-129. [In Persian]
- [6] Etemadian, Y., Shabanpour, B., Sadeghi-Mahoonak, A. R., Shabani, A., Yahyae, M., & Dordiee, K. H. (2012). Effect of vacuum packaging on chemical, microbiological and sensory properties of (*Rutilus Frissi Kutum*) fillets stored in ice. *J. of Iranian Food Sci. and Tech. Res.*, 7(4): 298-304. [In Persian]
- [7] Safiyari, H., Gerami, M. H., Jafari, A., & Moosavi-nasab, M. (2015). Chemical-morphological relationships of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) computed by machine vision. *J. of Fish. Sci. and Tech.*, 4(1):53-69. [In Persian]
- [8] Zolfaghari, M., Shabanpour, B. & Fallahzadeh, S. (2010). The effect of light salting, vacuum packaging and their synergistic effect on shelflife of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fillet during storage at 4°C±1. *J. of Food Sci. and Tech.*, 31: 35-44. [In Persian]
- [9] Cheng, J. H., Qu, J. H., Sun, D. W., & Zeng, X. A. (2014). Visible/near-infrared hyperspectral imaging prediction of textural firmness of grass carp (*Ctenopharyngodon Idella*) as affected by frozen storage. *Food Res. Inter.*, 56, 190–198.
- [10] Abbasi, S. (2007). Food Texture and Viscosity: concept and measurement. 384 P.
- [11] Casas, C., Martinez, O., Guillen, M., Pin, C., & Salmeron, J. (2006). Textural properties of raw Atlantic salmon (*Salmo Salar*) at three points along the fillet, determined by different methods. *Food Cont.*, 17(7), 511–515.
- [12] Razavi-Shirazi, H., Murata, M., Sakagushi, M., & Kuwana, S. (1990). Influences of Partial Freezing on Torrymeter Readings and K values of Yellowtail Fillets. *Nippon Suisan. Gakkaishi.*, 56(5).
- [13] Tokunaga, K., Uchino, E., Tanaka, H., & Suetake, N. (2016). Intravascular ultrasound-based tissue characterization using modular network self organizing map. *Appl. Soft Comp.*, 44: 89-100.
- [14] Dowlati, M., S. S. Mohtasebi., M. Omid., S. H. Razavi., M. Jamzad., & Guardia, M. (2013). Freshness assessment of gilthead sea bream (*Sparus aurata*) by machine vision based on gill and eye color changes. *J. of Food Eng.*, 119, 277-287.
- [15] Memar-Dastjerdi, R., Minaei, S., & Khoshtaghaza, M.H. (2014). Quality Analysis of Pear Fruit of Shah Miveh variety Using Nondestructive Ultrasonic Technique., 4(2): 324-334. [In Persian]
- [16] Nowak, K., Markowski, N., & Daszkiewicz, K. (2015). Ultrasonic determination of mechanical properties of meat products. *J. of Food Eng.*, 147, 49-55.
- [17] Prakash, M. N. K., & Ramana, K. V. R. (2003). Ultrasound and its application in the food industry. *J. of Food Sci. and Tech.*, 40(6), 563-570.
- [18] Mizrach, A., Galili, N., and Rosenhouse, G., (1989). Determination of fruit and vegetable properties by ultrasonic excitation. *Trans. of the ASAE.*, 32(6), 2053–2058.
- [19] Kim, K. B., Jung, H. M., Kim, M. S., & Kim, G.S. (2004). Evaluation of fruit firmness by ultrasonic

- measurement. Adv. In Nondes. Evalu. PT 1-3 Key Engineering Materials, 270-273: 1049-1054, Part 1-3.
- [20] Abolghasemi, R., Emadi, B., Aghkhani, M. H., & Beiraghi Toosi, S. H. (2009). Determination of peach maturity using ultrasonic waves. *J. of Food Sci. and Tech. Res.*, 5: 63-74.
- [21] Llull, P., Simal, S., & Femenia, A. (2002). The use of ultrasound velocity measurement to evaluate the textural properties of sobrassada from Mallorca. *J. of Food Eng.*, 52: 323-330.
- [22] Simal, S., Benedito, J., Clemente, G., Femenia, A., Rosselloo, C. (2003). Ultrasonic determination of the composition of a meat-based product. *J. of Food Eng.*, 58, 253-257.
- [23] Nowak, K. (2015). Identification of meat types by ultrasonic methods. *J. of Tech Sci.*, 18(2), 79-84.
- [24] Tokunaga, K., Saeiki, C., Taniguchi, S., Nakano, S., Ohta, H., & Nakamura, M. (2020). Nondestructive evaluation of fish meat using ultrasound signals and machine learning methods. *J. of Aqua. Eng.*, 89.
- [25] Sol, T., Hayun, S., Noiman, D., Tiferet, E., Yeheskel, O & Tevet, O. (2018). Nondestructive ultrasonic evaluation of additively manufactured AlSi10Mg samples. *J. of Add. Manuf.*, 22: 700-707.
- [26] Hajiheydari, F., Massah, J & Derafshi, M. H. (2015). Design, development and test of apparatus to measurement of electrical resistance and impedance of fruit. *Iranian J. of Biosys. Eng.*, 44(1): 17-25. [In Persian]
- [27] Ghanbarzadeh, B. (2008). Principles of Food and Biopolymer Rheology. Tehran University, Tehran. 385 P.
- [28] Bligh, E. G., & Dyer, W. J. (1959). A rapid method of total lipid extraction and purification. *Can. J. Biochem. Phys.*, 37: 911-917.
- [29] AOAC, 2005. Official Method of Analysis, 17th ed. Association of Official Analytical Chemists, Washington, DC.
- [30] AOAC. 2000. Official Methods of Analysis, 17th ed. Association of Analytical Chemists, Procedur. Washington, DC.
- [31] Sanaeifar, A. (2017). Design, development and evaluation of an intelligent integrated system for olive oil quality assessment based on machine vision and dielectric spectroscopy. Ph. D. dissertation in mechanics of agricultural machinery engineering. Agriculture Faculty, Shiraz University.
- [32] Jeddi, S., Jafarpour, A., Yeganeh, S., & Naseri, M. (2018). Evaluation of color and tissue of rainbow trout fillet by chitosan edible coating incorporated with marjoram essential oil during refrigerated storage. *J. of Fish. Sci. and Tech.*, 7(1): 33-39. [In Persian]
- [33] Vafa, S. (2016). Effect of various freezing and thawing methods on physico-chemical properties of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). Thesis in natural resource science, Agriculture Faculty, Shiraz University.
- [34] Kazemi, F. Abdanan, S., & Orak, H. (2019). Study of color and textural feature variation of carp meat using image processing. *J. of Innov. Food Tech.*, 6(2): 257-276. [In Persian]
- [35] Nasiri, E., Hesari, J., Shekarforoush, S. S., Kooshesh, S. (2016). Effect of aqueous extract of myrtle leaves (*Myrtus communis*) on quality changes of farmed gutted rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) during chilled (4±1°C) storage. *Iranian Sci. Fish. J.*, 25(3). [In Persian]
- [36] Ojagh, S. M. Rezaei, M. Razavi, S. H. Hosseini, S. M. H. (2012). Effect of antimicrobial coating on shelf-life extension of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *J. of Iranian Food Sci. and Tech.*, 34(9). [In Persian]
- [37] Taghizadeh G. H., & Rezaei, M. (2012). Effect of gelatin coatings on chemical, microbial and sensory properties of refrigerated rainbow trout fillet (*Oncorhynchus mykiss*). *FSCT.*, 9(37): 67-76. [In Persian]
- [38] Zolfaghari, M., Shabanpour, B., & Fallahzadeh, S. (2011b). Study of trend of chemical and microbial changes of rainbow trout (*Oncorhynchus Mykiss*) to determine its optimum shshelflife during storage in refrigerator temperature (4°C). *J. of Nat. Envir.*, 64: 107-119. [In Persian]
- [39] Fan, F. H., Ma, Q., Ge, J., peng, Q.Y., Riley, W., & Tang, S.Z. (2013). Prediction of texture characteristics from extrusion food surface images using a computer vision system and artificial neural networks. *J. of Food Eng.*, 118: 426-433.
- [40] Wu, L., Pu, H., & Sun, D. (2019). Novel Techniques for Evaluating Freshness Quality Attributes of Fish: A Review of Recent Developments. *Trends in Food Sci. and Tech.*, 83: 259-273.
- [41] Visessanguan, W., Chutima, T., & Munehika, T. (2005). Effect of frozen storage on chemical and gel-forming properties of fish commonly used for surimi production in Thailand. *Food Hydrocsfoll.*, 19(2): 197-207.
- [42] Marchal, P. C. Gila, D. M., Garcia, J. G., Ortega, J. G. (2013). Expert system based on computer vision to estimate the content of impurities in olive oil samples. *J. of Food Eng.*, 119(2): 220-228.

*Research Article***Development and Evaluation of Integrated Non-Destructive Ultrasound, Resistance and Colorimetric System for Determination of Texture Properties of Rainbow Trout Fillet (*Oncorhynchus mykiss*) During Refrigeration**

Hasan Safiyari¹, Seyed Mehdi Nassiri^{*2}, Mahmood Naseri³, Marzieh Moosavi-Nasab⁴,
Abdolabbas Jafari²

1. Ph. D. Graduate Student, Department of Agricultural Engineering, Shiraz University, Shiraz, Iran.

2. Associate professor, Department of Biosystems Engineering, Shiraz University, Shiraz, Iran.

3. Associate professor, Department of Natural Resources and Environmental Engineering, Shiraz University, Shiraz, Iran.

4. Professor, Department of Food Science & Technology, Shiraz University, Shiraz, Iran.

Abstract

In this research, the ability of the integrated non-destructive system including ultrasound, electrical resistance measurements and colorimetric assays to predict the textural properties (hardness, brittleness, viscosity, elasticity, guminess and chewiness) of trout fillets were evaluated. For this purpose, fillets were stored for 12 days at refrigerator temperature and then examined at interval times. At the same time physical, mechanical, chemical and sensory tests were performed on the fillets. The performance of neural network and support vector machine methods for predicting and modeling tissue properties were compared. In each model, physical properties were considered as inputs and textural properties as outputs and modeling was performed. The results showed that in the prediction of hardness, fragility and elasticity of the support vector machine and in the viscous, resin and chewability indices, the neural network method had more capability to model the texture properties, so that the root mean square error (RMSE) Hardness, fragility, viscosity, elasticity, gum and chewability indices were equal to 0.144, 0.025, 0.015, 0.015, 0.044 and 0.171 respectively and their correlation coefficients were equal 0.993, 0.985, 0.992, 0.961, 0.995 and 0.995. Therefore, the proposed non-destructive system in combination with artificial intelligence methods showed promises as a non-destructive and efficient tool for monitoring and quality control during trout fillet storage.

Key words: Non-destructive, Rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*), Texture properties, Ultrasound, Resistance, Colorimetric.

* Corresponding author: nasiri@shirazu.ac.ir