

تعیین تازگی فیله ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان طی نگهداری در یخچال با روش غیرمخرب تلفیقی امواج فراصوت، مقاومت الکتریکی و رنگ‌سنجی

حسن صفی‌باری^۱، سید مهدی نصیری^{۲*}، عبدالعباس جعفری^۳، محمود ناصری^۴ و مرضیه موسوی‌نسب^۵

چکیده

فیله ماهی، محصولی بسیار حساس به فساد است و بررسی کیفیت و بهداشت آن قبل از مصرف ضروری است. بسیاری از روش‌های تعیین کیفیت و تازگی ماهی بر پایه آزمون‌های مخرب و زمان‌بر است. در این پژوهش توانایی تلفیق روش‌های غیرمخرب امواج فراصوت، سنجش مقاومت الکتریکی و رنگ‌سنجی برای پایش تازگی فیله ماهی قزل‌آلا در دمای یخچال مورد ارزیابی قرار گرفت. نمونه‌هایی از فیله ماهی تهیه و به مدت ۱۲ روز در دمای یخچال نگهداری شد و طی این مدت آزمون‌های فیزیکی شامل میرایی امواج فراصوت، مقاومت الکتریکی و رنگ‌سنجی برای تعیین مؤلفه‌های رنگی در دو فضای رنگی RGB و $L^*a^*b^*$ و آزمون حسی فیله‌ها (رنگ، عطر، طعم و بافت) انجام شد. آزمون شیمیایی برای تعیین میزان خاکستر، پروتئین و چربی فیله‌ها در این مدت نیز صورت گرفت. داده‌های استخراج شده از آزمون‌های فیزیکی مختلف در دو مدل شبکه عصبی و درخت تصمیم برای تعیین تازگی ماهی مورد استفاده قرار گرفتند و نتایج مدل‌ها برای انتخاب بهترین مدل برای دسته‌بندی مقایسه شد. شبکه‌های عصبی متفاوت تک لایه مخفی با تعداد نرون‌های ۱ تا ۱۰ و درخت تصمیم با پنج الگوریتم (J48, LMT, REP, random tree, random forest) ارزیابی شدند. داده‌های آزمون‌های فیزیکی به عنوان ورودی و روزهای نگهداری به عنوان خروجی برای هر یک از مدل‌ها در نظر گرفته شد. بر اساس نتایج به دست آمده بیشترین دقت طبقه‌بندی (۱۰۰٪) و کمترین مقدار میانگین خطا (۰/۰۲) در شبکه عصبی با تعداد ۶ نرون در لایه مخفی و مقادیر متناظر ۱۰۰ درصد و حدود صفر مربوط به عملکرد درخت تصمیم با الگوریتم J48 بود. نتایج حاصل از ماتریس اغتشاش نیز دقت این دو روش طبقه‌بندی را مورد تأیید قرار داد. در مجموع تلفیق سه روش فیزیکی با الگوریتم درخت تصمیم بهترین عملکرد را برای دسته‌بندی فیله‌ها بر اساس تازگی (بر اساس روز ماندگی) به دست داد. این روش نیازی به آماده‌سازی نمونه ندارد و با دقت مناسب می‌تواند به صورت غیرتخریبی در طی فرآیند مواد غذایی و شیلاتی در تعیین تازگی آن‌ها به کار برده شود.

واژه‌های کلیدی: امواج فراصوت، رنگ‌سنجی، روش غیر مخرب، درخت تصمیم، شبکه عصبی، ماهی قزل‌آلا، مقاومت الکتریکی.

ارجاع: صفی‌باری ح.، نصیری س. م.، جعفری ع. م.، ناصری م. و موسوی‌نسب م. ۱۴۰۱. تعیین تازگی فیله ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان طی نگهداری در یخچال با روش غیرمخرب تلفیقی امواج فراصوت، مقاومت الکتریکی و رنگ‌سنجی. نشریه پژوهش‌های مکانیک ماشین‌های کشاورزی. ۲۴: ۶۹-۷۹. <https://dx.doi.org/10.22034/JRMAM.2022.13730.569>

۱- دانشجوی سابق دکتری، گروه مهندسی بیوسیستم، دانشگاه شیراز.

۲- دانشیار گروه مهندسی بیوسیستم و مرکز پژوهشی فرآوری آبزیان، دانشگاه شیراز.

۳- دانشیار گروه مهندسی بیوسیستم، دانشگاه شیراز.

۴- دانشیار گروه مهندسی منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه شیراز.

۵- استاد گروه علوم و صنایع غذایی، و مرکز پژوهشی فرآوری آبزیان، دانشگاه شیراز.

* نویسنده مسئول: nasiri@shirazu.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۱/۰۹ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۱/۱۵

مقدمه

به دنبال توسعه سریع صنعت شیلات و افزایش آگاهی مصرف‌کننده و متعاقباً بهبود عادات غذایی، تمایل به مصرف فرآورده‌های دریایی به ویژه ماهی افزایش یافته است (Cheng *et al.*, 2014). همگام با این افزایش مصرف، نیاز به کیفیت بالاتر این محصول و اطمینان از سلامت آن به یکی از دغدغه‌های مهم مصرف‌کننده و صنعت فرآوری تبدیل شده است (Sanaeifar, 2017). تازگی و کیفیت محصولات دریایی تحت تأثیر فعالیت آنزیم‌ها و ریزسازگان و متقابلاً تجزیه پروتئین، کربوهیدرات‌ها و چربی است. از آنجایی که محصولات دریایی به طور چشم‌گیری مستعد فساد هستند، بررسی کیفیت و سلامت آن‌ها حائز اهمیت ویژه است. بعد از صید ماهی، ماهیچه ماهی در معرض فساد فیزیکی، شیمیایی و میکروبی قرار گرفته و به تدریج کیفیت ماهی را تحت تأثیر قرار می‌دهد و در نهایت آن را غیرقابل مصرف می‌سازد (Alimelli *et al.*, 2007).

هدف اصلی در تولید جهانی غذا، استفاده بهینه از منابع انرژی و به دست آوردن محصولی با کیفیت بهتر از راه ارتقاء فناوری، اتوماسیون، دسته‌بندی مواد اولیه و کاهش ضایعات است. درجه‌بندی کمی-کیفی محصولات شیلاتی براساس شکل، اندازه و همچنین فاسد یا سالم بودن (تازگی)، افزایش ارزش افزوده محصول را به دنبال داشته و برای خریداران امکان انتخاب محصولی منطبق بر نیاز را فراهم می‌کند. افزون بر آن، تعیین کیفیت محصولات شیلاتی کمک بسیاری در کنترل و کاهش ضایعات پس از صید نیز می‌نماید (Zaki Dizaji *et al.*, 2009).

روش‌های سنتی ارزیابی حسی در تعیین و طبقه‌بندی کیفیت مواد غذایی کاربرد زیادی دارند. این روش‌ها هرچند کاربردی و سریع هستند اما نتایج آنها برخی اوقات ممکن است به دلیل اشتباه انسانی، عدم آموزش و تجربه کافی و یا عدم بی طرفی قابل اطمینان نباشند. لذا این موارد، انگیزه برای توسعه روش‌های جایگزین ایجاد می‌کند. امروزه استفاده از سامانه‌های خودکار کیفیت سنجی و تعیین تازگی محصولات شیلاتی به علت بالاترین تقاضای بازار، کمبود و گرانی نیروی کار انسانی در برخی کشورها و سرعت بالاتر سامانه‌های ماشینی رو به افزایش است (Sanaeifar, 2017). در بازارهای رقابتی امروز جایی که اهمیت نظارت کیفی افزایش می‌یابد، 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 غیرمخرب امواج فراصوت، سنجش مقاومت و رنگ‌سنجی هستند.

تحقیقات متعددی در زمینه تأثیر عوامل مختلف بر روند تغییرات شیمیایی، میکروبی و حسی فیله‌های ماهی برای تعیین مدت زمان ماندگاری آنها طی نگهداری در دمای یخچال انجام شده است (Zolfaghari *et al.*, 2010 and 2011b). محققین از روش تصویربرداری فراطیفی که تلفیقی از بینایی ماشین و طیف‌سنجی است برای تعیین کیفیت ماهی قزل‌آلا استفاده نموده‌اند. نتایج نشان داد که تصویربرداری فراطیفی روشی بسیار مناسب برای تعیین کیفیت مواد غذایی به خصوص ماهی است، تنها مشکل استفاده از این روش فیزیکی گران‌قیمت بودن آن است (Khojastehnazhand, 2015). دستگاه سنجش تازگی ماهی^۱ 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 (Razavi-Shirazi *et al.*, 1990).

نتایج بررسی تازگی ماهی سفید به وسیله بینایی ماشین بر اساس تغییرات رنگ چشم و آبشش نتایج نشان داد که خصوصیات رنگی L^* و b^* چشم‌ها با افزایش زمان نگهداری افزایش پیدا می‌کند اما شاخص a^* از روند مشخصی پیروی نمی‌کند. مشخص شد خصوصیات رنگی L^* و b^* آبشش با افزایش زمان نگهداری، افزایش اما a^* کاهش پیدا می‌نماید. در این تحقیق اشاره‌ای به رابطه بین تغییرات خصوصیات فیزیکی و خصوصیات شیمیایی و میکروبی ماهی در زمان نگهداری نشده است (Dowlati, 2013).

آزمون صوت و فراصوت نیز به عنوان یک روش غیرمخرب برای اندازه‌گیری ویژگی‌های بافتی مواد مورد استفاده قرار گرفته است. از مزایای مهم این روش، خودکار بودن و قابلیت استفاده به صورت برخط را می‌توان نام برد (Dupart *et al.*, 1997; Nowak, 2015). در صنعت، توسعه و پیشرفت آزمون غیرمخرب فراصوت نسبت به سایر

پروتئین) و ارزیابی حسی به مقدار مورد نیاز از یخچال خارج و مورد آزمایش قرار گرفتند.



شکل ۱- فیله‌های ماهی

تعیین ویژگی‌های فراصوت، سنجش مقاومت الکتریکی و رنگ‌سنجی

سرعت امواج فراصوت (V): سرعت عبوری امواج فراصوت 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. معادله (۱)، سرعت امواج را در یک جسم تعیین می‌کند که در آن L ضخامت ماده (m) و t زمان (s) است.

$$V = L / t \quad (1)$$

ضریب تضعیف امواج فراصوت (α): دامنه امواج فراصوت در گذر از مواد کاهش می‌یابد، به عبارت دیگر موج، تضعیف یا میرا می‌شود. علت اصلی آن جذب و پخش امواج است که در نهایت این موج مکانیکی به گرما تبدیل می‌شود. ضریب تضعیف مواد (α) با واحد دسی‌بل بر میلی‌متر (dB mm^{-1}) تعریف می‌شود و از معادله (۲) قابل محاسبه است که در این معادله A و A_0 به ترتیب دامنه موج گیرنده و فرستنده بر واحد (mV) و L ضخامت ماده (m) است (Rose, 2004).

$$a = \frac{-20}{L} \log\left(\frac{A}{A_0}\right) \quad (2)$$

سخت‌افزار سامانه اندازه‌گیری فراصوتی شامل مولد سیگنال (تپ‌ساز)، دریافت‌کننده (تپ‌گیر)، کاوشگرها

آزمون‌های غیرمخرب کند بوده است. بیشترین کاربرد آن در پزشکی، بررسی جوش و صنعت هوا فضا است. اما بکارگیری این فناوری در صنعت شیلات نسبت به سایر رشته‌ها محدودتر بوده است. علت اصلی آن در ویژگی‌های منحصر به فرد و پیچیده محصولات شیلاتی است. در روش فراصوت میزان تغییر ویژگی‌های 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 می‌شود. پژوهش‌گران خصوصیات فراصوتی محصولات مختلف غذایی را مورد بررسی قرار داده و نشان دادند که سرعت عبور امواج و ضریب تضعیف آن ارتباط معناداری با روند تغییرات خصوصیات فیزیکی و شیمیایی محصولات غذایی دارند (Nielsen et al., 1998; Llull et al., 2002; Simal et al., 2003; Abolghasemi et al., 2009; Zaki Dizaji et al., 2009).

با توجه به توضیح‌های فوق و مزیت هر کدام از روش‌ها، الگوریتمی مبتنی بر تلفیق روش‌های غیرمخرب امواج فراصوت، سنجش مقاومت و رنگ‌سنجی برای تعیین تازگی فیله ماهی قزل‌آلا در طول دوره نگهداری در دمای یخچال در این پژوهش توسعه و مورد ارزیابی قرار گرفت. در این راستا عملکرد روش‌های شبکه عصبی و درخت تصمیم برای واکاوی اطلاعات و مدل‌سازی مقایسه شد.

مواد و روش‌ها

تهیه نمونه‌ها و عمل‌آوری آنها

برای انجام پژوهش، ماهی قزل‌آلای رنگین کمان مورد نیاز با وزن تقریبی ۷۰۰ - ۶۵۰ گرم از مزرعه پرورش ماهی واقع در استان فارس تهیه شد و پس از یخ‌پوشی کامل و با رعایت نکات بهداشتی به محل آزمایشگاه گروه پژوهشی فرآوری آبزیان دانشگاه شیراز منتقل گردید. ماهی‌ها پس از تخلیه شکمی، جدا نمودن سر و باله‌ها و شستشو، توزین و برای انجام آزمایش‌های فیزیکی، شیمیایی و حسی فیله شدند (شکل ۱).

سپس تمامی فیله‌ها به مدت ۱۲ روز در درون یخچال (دمای 4 ± 1 درجه سلسیوس) نگهداری شدند. دوره انجام آزمایش‌ها ۳ روز بود که در هر روز فیله‌های مورد نیاز برای انجام آزمایش‌های فیزیکی (دستگاه‌های فراصوت، سنجش مقاومت، رنگ‌سنجی)، شیمیایی (رطوبت، خاکستر، چربی،

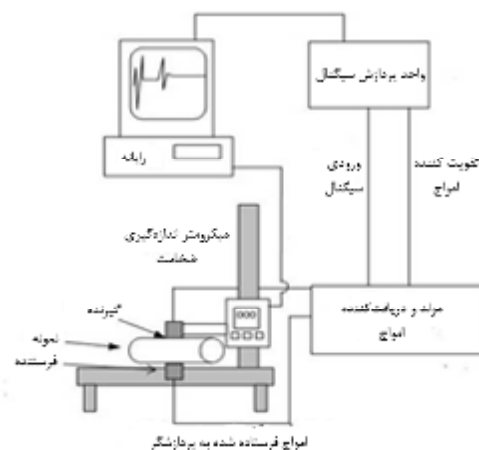
صفحه در حالی که نیروی ثابتی به آن وارد می‌شد قرار گرفتند. سپس مقاومت الکتریکی خوانده شده و در محیط نرم‌افزار تهیه شده در رایانه ذخیره شد.

رنگ‌سنجی: رنگ سنجی با دستگاه رنگ سنج مجهز به رایانه مدل MAH 3000 و سنسور CTH 2432 (شرکت طب البرز ایرانا، شیراز، ایران) انجام شد. نمونه‌های فیله درون دستگاه قرار گرفته و پس از عکس‌برداری اولیه، مقادیر L^* ، a^* و b^* که به ترتیب بیانگر روشنایی (L)، قرمزی (a) و زردی (b) هستند و همچنین مقادیر مؤلفه‌های رنگی R، G و B در طول مدت نگهداری اندازه‌گیری شدند.

انجام آزمون‌های تحلیل تقریبی

برای اندازه‌گیری چربی کل ۴۵ گرم از نمونه داخل دکانتور قرار داده شد. سپس ۹۰ میلی‌لیتر متانول و ۴۵ میلی‌لیتر کلروفرم به آن اضافه گردید و به مدت ۲ دقیقه مخلوط شدند. سپس ۴۵ میلی‌لیتر کلروفرم به مخلوط قبلی اضافه و به مدت ۲ دقیقه به هم زده شد و مجدداً ۷۲ میلی‌لیتر آب مقطر به مدت ۲ دقیقه به خوبی مخلوط گردید. مخلوط حاصل به مدت ۱۰ دقیقه با سرعت دورانی ۲۰۰۰ دور بر دقیقه سانتریفیوژ شد و پس از آن لایه پایینی به بالن حجمی انتقال داده شد. استخراج دوم با استفاده از مخلوط ۴۵ میلی‌لیتر کلروفرم و متانول انجام شد که پس از مخلوط کردن و سانتریفیوژ شدن، فاز پایینی شامل کلروفرم و روغن به استخراج اول اضافه گردید. حلال‌پرانی با استفاده از دستگاه روتاری در دمای ۴۵ درجه سلسیوس انجام شد. درصد چربی نمونه نیز از تقسیم وزن روغن به وزن نمونه و ضرب در عدد ۱۰۰ محاسبه شد (Bligh & Dyer, 1959). و درصد پروتئین نیز به روش کلدال اندازه‌گیری شد (AOAC, 2005). برای اندازه‌گیری میزان رطوبت، حدود ۵ الی ۱۰ گرم از نمونه چرخ شده ماهی توزین شد و در ظرف شیشه‌ای در آون با دمای ۱۰۲ درجه سلسیوس قرار گرفت. پس از ۲۴ ساعت نمونه‌ها از آون 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 (کمتر از ۰/۰۰۱ گرم) دیده نشد. برای تعیین میزان خاکستر نمونه‌ها، بوته‌های چینی که قبلاً در آون با دمای ۱۹۰ درجه

(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 (شکل ۲).



شکل ۲- طرح‌واره مکانیزم کیفیت‌سنج فراصوتی و اجزاء آن

سامانه فراصوت خصوصیات بافت ماهی را می‌توان به صورت زمان عبور امواج فراصوت و دامنه سیگنال دریافتی یا مقدار سرعت فراصوت و تضعیف امواج در ماهی، با تماس کاوشگرها اندازه‌گیری کرد. پردازشگر درون واحد پردازش پس از دریافت فرمان از سوی رایانه، به تراشه جانبی فرمان می‌داد تا با تحریک یک سوئیچ الکترونیکی، امواج فراصوتی را تولید کند. این امواج فراصوتی از کاوشگر فرستنده خارج می‌شد و پس از عبور از ماهی، به کاوشگر گیرنده برخورد می‌کرد که پس از تقویت و شکل‌دهی (پوش‌گیری) و تبدیل توسط یک مبدل آنالوگ به دیجیتال، در حافظه سیگنال ذخیره می‌شد. پردازشگر آن را از طریق درگاه سریال به رایانه منتقل می‌کرد به طوری که برنامه پس از نمایش سیگنال و انجام محاسبات روی سیگنال، ویژگی‌های فراصوتی را به صورت نمودار و رقم نشان می‌داد.

سنجش مقاومت الکتریکی: برای اندازه‌گیری مقاومت الکتریکی سامانه‌ای هوشمند طراحی گردید که از دو صفحه مسی تشکیل شده بود. فیله‌های ماهی بین این دو

صورت یک درخت از حالات مختلف مقادیر و ویژگی‌ها ارائه می‌شود. درخت تصمیم به شکل یک درخت وارونه بوده که ریشه آن در بالاترین قسمت و برگ‌ها در پایین آن قرار دارند. این مدل‌ها با استفاده از فرآیند تکراری تفکیک در گره‌ها، داده‌ها را به کلاس‌های مجزا تقسیم کرده و توسعه پیدا می‌کند. گره اول به عنوان ریشه درخت در نظر گرفته می‌شود و هر گره مربوط به یک خصوصیت معین است. شاخه‌ها به معنای بازه‌ای از مقادیر هستند که باید بخش‌های مختلف مجموعه مقادیر معلوم را برای خصوصیت‌ها به دست دهد. عمل انشعاب توسط یکی از متغیرهای پیش‌بینی کننده انجام می‌پذیرد که سبب بزرگ شدن اندازه درخت می‌شود. کار با درخت بزرگ که شاخه‌ها و گره‌های زیادی دارد سخت است، بنابراین برای رسیدن به یک درخت بهینه و کارآمد باید شاخه‌های اضافی درخت هرس شود (Sanaeifar, 2017).

در این پژوهش برای طبقه‌بندی از الگوریتم‌های LMT^۲، J48، REP^۳، Random Forest و Random Tree استفاده شد. الگوریتم درخت تصادفی با داده، درختان تصمیم‌گیری مختلفی می‌سازد و پس از دریافت پیش‌بینی از هر کدام از آنها، به واسطه رای‌گیری بهترین راه حل را انتخاب می‌کند.

ورودی مدل‌های شبکه عصبی و درخت تصمیم شامل ۱۱۲ داده (۷۰٪ داده‌ها) آزمون فراصوت (سرعت عبور امواج و ضریب تضعیف امواج)، مقاومت الکتریکی و ویژگی‌های رنگی (فضاهای رنگی RGB و $L^*a^*b^*$) و خروجی‌ها شامل شاخص‌های کیفی چربی نمونه‌ها بود. ۴۸ سری داده تصادفی باقی‌مانده برای آزمون مدل‌ها استفاده شد.

فراسنجه‌های دقت طبقه‌بندی (%،) میانگین مقدار خطا و جذر میانگین مربع خطا برای انتخاب بهترین مدل شبکه عصبی و درخت تصمیم، و جدول اغتشاش برای واسنجی مدل انتخاب شده استفاده شد. مدل سازی با استفاده از نرم‌افزار Weka 3.8 انجام شد.

سلسیوس به مدت ۶۰ دقیقه قرار داده شده بودند پس از سرد شدن در دسیکاتور وزن شدند و سپس حدود ۱ گرم از نمونه‌ها در بوتله‌های مورد نظر ریخته شد و بوتله‌ها مجدداً توزین شدند. نمونه موجود در بوتله با انتقال به کوره الکتریکی طی مدت ۵ ساعت در دمای ۵۵۰ درجه سلسیوس سوزانده شد و پس از سرد شدن بوتله به وسیله دسیکاتور، بوتله حاوی خاکستر توزین و درصد آن محاسبه شد (AOAC, 2005).

ارزیابی حسی

ارزیابی حسی فیله‌ها توسط ۶ نفر افراد آموزش دیده به روش هدونیک ۵ نقطه‌ای و در چهار بخش بافت، رنگ، بو و پذیرش کلی انجام شد. در این ارزیابی امتیاز ۱ برای دوست نداشتن زیاد و امتیاز ۵ برای علاقمندی زیاد است و امتیاز ۳ برای فیله‌ها در ارزیابی حسی به عنوان حد مقبولیت برای مصارف انسانی در نظر گرفته شد (Zolfaghari et al., 2011a).

واکاوای داده‌ها

از شبکه عصبی پرسپترون چند لایه با روش پس انتشار خطا^۱ برای آموزش شبکه به منظور طبقه‌بندی تازگی فیله ماهی استفاده شد. در روش پس انتشار، خطای بین خروجی شبکه با مقدار مطلوب آن به سمت عقب انتشار می‌یابد و بر این اساس وزن‌ها تنظیم می‌شوند. این فرآیند تا زمانی ادامه می‌یابد که خروجی‌های شبکه به یک مقدار قابل اطمینانی برسد و طی این فرآیند شبکه عصبی آموزش یابد. کلیه داده‌ها به دو قسمت آموزش (۷۰٪) و آزمون (۳۰٪) تقسیم شدند. ساختارهای گوناگون با تعداد نرون‌های مختلف برای هر شبکه بررسی شد و شبکه‌ای با کمترین خطا و بیشترین دقت خروجی انتخاب شد (Sanaeifar, 2017).

درخت تصمیم یکی از ابزارهای قوی و قدرتمند در طبقه‌بندی و پیش‌بینی مسائل پیچیده و غیر خطی است. مدل درخت تصمیم برخلاف مدل شبکه عصبی به تولید قانون می‌پردازد و پیش‌بینی به دست آمده در قالب یک سری قواعد توضیح داده خواهد شد. در الگوریتم‌های رده‌بندی مبتنی بر درخت تصمیم، دانش خروجی به

2- Logistic Model Tree
3- Reduced-error pruning

1- Backpropagation

نتایج و بحث

تغییرات خصوصیات شیمیایی، فیزیکی و حسی فیله

ماهی در طول دوره نگهداری

جدول ۱، تغییرات تحلیل تقریبی، محتوای رطوبت، خاکستر، چربی و پروتئین را در روز صفر تا دوازدهم در دوره نگهداری نشان می‌دهد. محتوای رطوبت افزایش و چربی و پروتئین کاهش یافته است. با افزایش زمان

نگهداری و خروج تدریجی آب از گوشت ماهی، محتوای رطوبت بافت ماهی کاهش می‌یابد، اما با توجه به کاهش همزمان چربی و پروتئین در هر روز، محتوای رطوبت روند افزایشی نشان می‌دهد. به هر حال این تغییرات رطوبتی و کاهش مواد مغذی و پروتئین‌های محلول در آب، موجب افت ارزش غذایی و کیفیت گوشت ماهی می‌شود.

جدول ۱- مقایسه تحلیل تقریبی فیله ماهی قزل‌آلای رنگین کمان در طول دوره نگهداری

تحلیل تقریبی (%)	روز صفر	روز سوم	روز ششم	روز نهم	روز دوازدهم
رطوبت (%)	۷۳/۷۴ ^c ± ۰/۷۱	۷۴/۸۳ ^b ± ۰/۴۴	۷۴/۹۹ ^b ± ۰/۸۵	۷۶/۰۲ ^a ± ۰/۳۲	۷۶/۸۷ ^a ± ۰/۶۹
خاکستر (%)	۱/۱۵ ^b ± ۰/۰۶	۱/۳۶ ^b ± ۰/۲۷	۲/۰۴ ^a ± ۰/۳۵	۱/۴۶ ^b ± ۰/۲۹	۱/۴۴ ^b ± ۰/۱۰
چربی (%)	۴/۹۶ ^a ± ۱/۳۴	۴/۴۷ ^{bc} ± ۰/۳۳	۴/۳۸ ^{bc} ± ۰/۲۹	۳/۸۳ ^c ± ۰/۲۱	۲/۶۴ ^d ± ۰/۲۷
پروتئین (%)	۲۰/۱۵ ^a ± ۰/۷۲	۱۹/۳۴ ^{ab} ± ۰/۶۲	۱۸/۵۸ ^b ± ۰/۴۲	۱۸/۶۷ ^b ± ۰/۳۲	۱۸/۷۳ ^b ± ۰/۴۲

حروف متفاوت در سطرها نشان دهنده وجود تفاوت آماری بین میانگین‌ها در سطح احتمال ۵ درصد است.

خاکستر شامل مواد معدنی است، بنابراین طی دوره نگهداری تغییرات خاصی در آن ایجاد نمی‌شود (Razavi-Shirazi, 2007). نتایج این پژوهش نیز روند ثابت در فیله ماهی قزل‌آلای رنگین کمان را نشان داد، بجز روز ششم که اختلاف معناداری نسبت به سایر روزها داشته است که علت آن را شاید بتوان به اختلاف نمونه‌ها نسبت داد. چربی خام در فیله ماهی قزل‌آلای طی دوره نگهداری کاهش معناداری داشت. قزل‌آلای رنگین کمان به دلیل غنی بودن از اسیدهای چرب تک غیراشباع، نسبت به اکسیداسیون چربی حساسیت بالایی دارد، به همین دلیل با افزایش زمان نگهداری و به ویژه در شرایط غیر منجمد چربی فیله کاهش می‌یابد (Ojagh et al., 2010; Popelka et al., 2014; Joukar et al., 2017; Tavakoli et al., 2018).

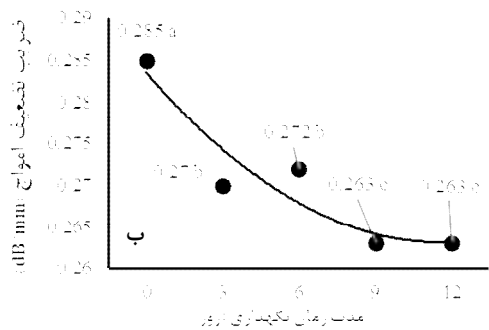
نتایج حاصل از اندازه‌گیری پروتئین خام بیانگر یک روند کاهشی در فیله ماهی قزل‌آلای رنگین کمان بود. کاهش میزان پروتئین طی زمان نگهداری را می‌توان به تولید زنجیره‌های ساده پلی‌پپتیدی ناشی از شکسته شدن و واسرشتگی پروتئین‌ها و تبدیل نیتروژن‌ها به ترکیبات فرار نسبت داد که کلیه این فرآیندها در اثر شرایط نامناسب دمای نگهداری و ایجاد محیط مناسب برای رشد میکروبی و فعالیت‌های آنزیمی است (Ojagh et al., 2012; Popelka et al., 2014; Joukar et al., 2017; Tavakoli et al., 2018).

شکل ۳ تغییرات خصوصیات فیزیکی امواج فراصوت و مقاومت الکتریکی را طی دوره نگهداری نشان می‌دهد. سرعت عبور امواج در روز صفر ۳۰۷/۸۶ و در روز دوازدهم ۴۴۴/۰۱ متر بر ثانیه است و افزایش معناداری را نشان می‌دهد (شکل ۳-الف).

ضریب تضعیف امواج در روز نخست ۰/۲۸۴ دسی‌بل بر میلی‌متر و در روز دوازدهم ۰/۲۶۳ دسی‌بل بر میلی‌متر بود که به طور معناداری کاهش یافت (شکل ۳-ب). در پژوهش Lull et al. (2002) در مدت ۴۵ روز که بر روی گوشت خوک انجام دادند نشان داد سرعت امواج به طور معناداری افزایش یافته است. در پژوهش‌های پیش‌تر بر روی انواع محصولات گوشتی و پنیرها با استفاده از امواج فراصوت نیز نشان داد که با افزایش زمان، سرعت عبور امواج افزایش و ضریب تضعیف امواج کاهش می‌یابد (Benedito et al., 2000a and 2000b).

با افزایش مدت زمان نگهداری، ظرفیت نگهداری آب کاهش و مدول الاستیسیته (E) و مدول حجمی (K)، افزایش یافته و از آنجا که این دو مدول با سرعت عبور امواج رابطه مستقیم دارند، سرعت عبور امواج نیز با گذشت زمان افزایش می‌یابد (Lull et al., 2002). همچنین بررسی فیزیک امواج فراصوت بیانگر این نکته است که با کاهش ظرفیت نگهداری آب، میزان سختی افزایش یافته و در نتیجه قابلیت فشردگی ماده کاهش می‌یابد، لذا مدول حجمی افزایش یافته و به همین دلیل

شاخص a^* نشان دهنده تمایل به سبزی رنگ گوشت طی دوره نگهداری را نشان می‌دهد. همچنین شاخص b^* در طول دوره نگهداری به‌طور معناداری افزایش یافته است. افزایش در این شاخص نشان دهنده افزایش رنگ‌دانه‌های زرد ناشی از اکسیداسیون لیپیدها است. در کل، خصوصیات رنگی فیله ماهی در طول دوره نگهداری دارای تغییراتی است که با تحقیقاتی روی فیله ماهی قزل‌آلا مشابهت دارد (Jeddi *et al.*, 2018).



شکل ۳- تغییرات خصوصیات فیزیکی سرعت امواج، ضریب تضعیف امواج و مقاومت الکتریکی در طول دوره نگهداری

سرعت عبور امواج نیز با افزایش مدت زمان نگهداری، افزایش می‌یابد (Benedito *et al.*, 2000b; Llull *et al.*, 2002). در واقع، با افزایش مدت زمان نگهداری به سبب واسرشتگی پروتئین‌ها و خارج شدن آب‌های پیوندی، کیفیت گوشت کاهش یافته که مجموعه همه این عوامل موجب افزایش سرعت عبور امواج و کاهش ضریب تضعیف امواج می‌گردد.

مقاومت الکتریکی در ابتدا کاهش و سپس افزایش یافته است. در روز نخست مقاومت بالا بوده (۱/۰۱ کیلو اهم) و در روز سوم (۰/۸۴ کیلو اهم) به دلیل افزایش تعداد یون، بار الکترولیت نیز افزایش یافته و به همین دلیل رسانایی افزایش و مقاومت الکتریکی کاهش می‌یابد. از روز سوم تا روز نهم (۱/۴۳ کیلو اهم) به دلیل کاهش تعداد یون‌های موجود در غشای بین سلولی، بار الکترولیت کاهش یافته و مقاومت الکتریکی افزایش می‌یابد. مجدداً در روز دوازدهم به دلیل از بین رفتن کامل بافت، مقاومت الکتریکی به طور معناداری کاهش یافته است (Damez *et al.*, 2007; Bai *et al.*, 2018).

جدول ۲، مقایسه خصوصیات رنگی فیله ماهی قزل‌آلا را در طول دوره نگهداری نشان می‌دهد. از آنجا که رنگ گوشت ناشی از عملکرد دو عامل رنگدانه‌های گوشت (عمدتاً میوگلوبین و هموگلوبین) و ویژگی‌های پراکندگی نور است، تغییرات رنگ گوشت را به میزان زیادی به نرخ اکسیداسیون میوگلوبین مربوط است (Vafa, 2016; Jeddi *et al.*, 2018). پژوهش روی فیله ماهی قزل‌آلا نشان داد که عوامل داخلی مثل pH گوشت، اکسیداسیون چربی‌ها و عوامل خارجی مانند قرارگیری در معرض نور، رشد میکروبی و دمای نگهداری در تغییر رنگ گوشت نقش موثری دارند (Vafa, 2016). پروتئین‌های میوگلوبین و هموگلوبین که از دسته پروتئین‌های سارکوپلاسم بوده و دو رنگ‌دانه اصلی بافت ماهی محسوب می‌شوند و همچنین قابلیت انحلال در آب را نیز دارند، با گذشت زمان، به دلیل کاهش ظرفیت نگهداری آب، افزایش آبجک و همچنین واسرشتگی پروتئین‌ها، به صورت محلول در آب از بافت ماهی خارج شده و به همین سبب است که شاخص سفیدی افزایش یافته و اختلاف رنگ نیز افزایش می‌یابد. طبق نتایج به دست آمده شاخص a^* در طول دوره نگهداری به طور معناداری کاهش یافته است. کاهش

جدول ۲- مقایسه خصوصیات رنگی فیله ماهی قزل‌آلا در طول دوره نگهداری

مؤلفه‌های رنگی	روز صفر	روز سوم	روز ششم	روز نهم	روز دوازدهم
R	۱۵۴/۹۶ ^{ab} ± ۱۰/۸۹	۱۵۷/۶۳ ^a ± ۴/۶۶	۱۵۶/۴۳ ^{ab} ± ۹/۵۵	۱۴۹/۸۱ ^c ± ۷/۱۵	۱۵۲/۸۴ ^{bc} ± ۹/۰۱
G	۱۱۲/۱۵ ^a ± ۲۰/۸۲	۱۰۴/۸۴ ^b ± ۹/۸۳	۱۱۶/۹۱ ^a ± ۱۳/۰۳	۱۰۳/۴۰ ^b ± ۹/۱۲	۱۱۴/۰۳ ^a ± ۱۲/۵۲
B	۸۷/۳۷ ^a ± ۱۵/۲۹	۷۹/۳۴ ^b ± ۶/۸۰	۸۰/۱۲ ^b ± ۸/۳۶	۷۵/۴۳ ^b ± ۷/۴۱	۸۰/۷۱ ^b ± ۹/۳۲
L*	۴۴/۱۹ ^{ab} ± ۶/۵۵	۴۲/۲۳ ^{bc} ± ۲/۸۸	۴۵/۰۳ ^a ± ۴/۳۹	۴۰/۹۹ ^c ± ۳/۱۰	۴۴/۰۸ ^{ab} ± ۴/۳۹
a*	۸/۷۵ ^b ± ۴/۸۲	۱۲/۵۳ ^a ± ۳/۲۳	۶/۴۹ ^c ± ۲/۵۱	۹/۹۶ ^b ± ۱/۵۲	۶/۴۶ ^c ± ۲/۲۷
b*	۱۴/۹۷ ^c ± ۲/۰۸	۱۵/۸۱ ^c ± ۱/۵۱	۱۷/۸۰ ^a ± ۱/۹۰	۱۵/۵۴ ^c ± ۱/۳۷	۱۶/۸۳ ^b ± ۱/۷۴

حروف متفاوت در سطرها نشان دهنده وجود تفاوت آماری بین میانگین‌ها در سطح احتمال ۵ درصد است.

در پژوهش‌های مشابه، در طول دوره نگهداری فیله ماهی قزل‌آلا در دمای یخچال، پس از گذشت ۶ الی ۸ روز از زمان شروع نگهداری امتیازهای حسی به کمتر از مقدار ۳ (قابل قبول) رسید که با نتایج این تحقیق مشابهت دارد (Zolfaghari *et al.*, 2011b; Ojagh *et al.*, 2012; Taghizadeh & Rezaei, 2012; Nasiri *et al.*, 2016).

جدول ۳ روند تغییرات امتیاز حسی فیله ماهی قزل‌آلا در طول دوره نگهداری در یخچال را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود تا روز ششم تمامی شاخص‌ها امتیاز بالای ۳ را داشته‌اند و از روز نهم به بعد تقریباً تمامی شاخص‌ها، فاسد بودن ماهی را مشخص نموده‌اند؛ 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.

جدول ۳- روند تغییرات امتیاز حسی فیله ماهی قزل‌آلا در طول دوره نگهداری

شاخص حسی	روز صفر	روز سوم	روز ششم	روز نهم	روز دوازدهم
بافت	۵/۰۰ ^a ± ۰/۰۰	۵/۰۰ ^a ± ۰/۰۰	۳/۲۰ ^b ± ۰/۴۵	۲/۲۰ ^c ± ۰/۴۵	۱/۰۰ ^d ± ۰/۰۰
بو	۵/۰۰ ^a ± ۰/۰۰	۴/۴۰ ^b ± ۰/۵۵	۳/۲۰ ^c ± ۰/۴۵	۲/۲۰ ^d ± ۰/۴۵	۱/۴۰ ^e ± ۰/۵۵
رنگ	۵/۰۰ ^a ± ۰/۰۰	۴/۰۰ ^b ± ۰/۰۰	۴/۰۰ ^c ± ۰/۰۰	۳/۰۰ ^d ± ۰/۰۰	۲/۰۰ ^e ± ۰/۰۰
پذیرش کلی	۵/۰۰ ^a ± ۰/۰۰	۴/۸۰ ^a ± ۰/۴۵	۴/۰۰ ^b ± ۰/۰۰	۲/۰۰ ^c ± ۰/۰۰	۱/۰۰ ^d ± ۰/۰۰

حروف متفاوت در سطرها نشان دهنده وجود تفاوت آماری بین میانگین‌ها در سطح احتمال ۵ درصد است.

اساس نتایج ساختار شبکه عصبی با توپولوژی ۵-۶-۹ بهترین مدل با بیشترین دقت طبقه‌بندی (۱۰۰ درصد) و کمترین میانگین مقدار خطا (۰/۰۲۴۳) و جذر میانگین مربع خطا (۰/۰۵۴۰) برای طبقه‌بندی فیله ماهی قزل‌آلا بر اساس تازگی بود.

طبقه‌بندی تازگی ماهی با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی
طبقه‌بندی تازگی ماهی به دو روش شبکه عصبی مصنوعی و درخت تصمیم انجام شد. شمارش متفاوتی از نرون‌ها (۱ تا ۱۰) در لایه مخفی به همراه دقت طبقه‌بندی و میزان خطای هرکدام مورد بررسی قرار گرفت (جدول ۴). بر

جدول ۴- تعداد نرون‌های شبکه عصبی مصنوعی، دقت و خطای اندازه‌گیری

تعداد نرون	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰
دقت طبقه‌بندی (%)	۵۶/۲۵	۷۰/۸۳	۷۹/۱۶	۹۵/۸۳	۹۳/۷۵	۱۰۰	۹۵/۸۳	۹۷/۹۲	۹۵/۸۳	۹۵/۸۳
میانگین مقدار خطا	۰/۲۴۱	۰/۱۶۸	۰/۱۰۴	۰/۰۳۳	۰/۰۴۳	۰/۰۲۴	۰/۰۴۲	۰/۰۲۵	۰/۰۴۵	۰/۰۳۶
جذر میانگین مربع خطا	۰/۳۳۷	۰/۳۲۹	۰/۲۲۶	۰/۱۱۷	۰/۱۱۷	۰/۰۵۴	۰/۱۲۴	۰/۰۹۴	۰/۱۲۸	۰/۱۱۴

(روزهای صفر، ۳، ۶، ۹، و ۱۲) را نشان می‌دهد. ماتریس اغتشاش^۱ برای طبقه‌بندی تازگی ماهی در جدول ۵ نشان داده شده است.

در واقع بهترین مدل دارای ۹ متغیر ورودی، یک لایه مخفی با ۶ نرون و لایه خروجی با ۵ متغیر خروجی است. متغیرهای ورودی بیانگر ویژگی‌های فیزیکی و رنگی و متغیرهای خروجی کلاس‌های مختلف تازگی ماهی

1- Confusion matrix

الگوریتم J48 نسبت به الگوریتم‌های دیگر درخت تصمیم از لحاظ دقت و کارایی عملکرد بهتری را نشان داد. این الگوریتم در مقایسه با شبکه عصبی با توپولوژی ۵-۶-۹ هم با توجه به کم بودن میانگین خطا و جذر میانگین مربع خطا در طبقه‌بندی تازگی فیله ماهی قزل‌آلا دقیق‌تر و صحیح‌تر عمل کرده است. نتیجه این دقت و صحت عملکرد در ماتریس اغتشاش جدول (۷) نشان داده شده است.

پیش‌بینی کلیه کلاس‌ها به طور کاملاً صحیح انجام شده است و این توانایی الگوریتم J48 درخت تصمیم در طبقه‌بندی کلاس‌ها را نشان می‌دهد. در تحقیقی به منظور طبقه‌بندی تازگی ماهی شیر در کلاس‌های ۱، ۳، ۵، ۷، ۹، ۱۱ و ۱۳ روز پس از صید، از روش غیرمخرب بویایی ماشین استفاده شد. در این تحقیق، الگوریتم‌های ماشین بردار پشتیبان، درخت تصمیم و بیزین مورد بررسی و مقایسه قرار گرفتند. نتایج نشان داد که الگوریتم درخت تصمیم با دقت ۸۵/۷۱ درصد عملکرد بهتری در طبقه‌بندی صحیح ماهی‌ها دارد (Guney & Atasoy, 2020).

جدول ۵- ماتریس اغتشاش شبکه عصبی مصنوعی برای

طبقه‌بندی دوره نگهداری فیله ماهی قزل‌آلا					
پیش‌بینی / مشاهده	۰	۳	۶	۹	۱۲
۰	۱۰	۰	۰	۰	۰
۳	۰	۱۲	۰	۰	۰
۶	۰	۰	۱۰	۰	۰
۹	۰	۰	۰	۷	۰
۱۲	۰	۰	۰	۰	۹

پیش‌بینی کلیه کلاس‌ها به طور کاملاً صحیح انجام شده است و این توانایی شبکه عصبی مصنوعی در طبقه‌بندی کلاس‌ها را نشان می‌دهد. دقت طبقه‌بندی (۱۰۰٪) و کمترین میزان خطا (حدود صفر) حاصل شد.

طبقه‌بندی تازگی ماهی با استفاده از درخت تصمیم

الگوریتم‌های مختلف درخت تصمیم در شناسایی مراحل تازگی فیله ماهی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج مربوط به بررسی عملکرد الگوریتم‌های درخت تصمیم در جدول (۶) درج شده است.

جدول ۶- عملکرد الگوریتم‌های درخت تصمیم برای طبقه‌بندی دوره تازگی فیله ماهی قزل‌آلا

الگوریتم درخت تصمیم	LMT	J48	REP	Random Forest	Random Tree
دقت طبقه‌بندی (%)	۹۱/۶۶	۱۰۰	۹۱/۶۶	۱۰۰	۸۷/۵۰
میانگین مقدار خطا	۰/۰۶۱	۰	۰/۰۴۷	۰/۰۵۱	۰/۰۵۰
جذر میانگین مربع خطا	۰/۱۶۴	۰	۰/۱۴۸	۰/۱۱۱	۰/۲۲۴

جدول ۷- ماتریس اغتشاش درخت تصمیم برای طبقه‌بندی

دوره نگهداری فیله ماهی قزل‌آلا					
پیش‌بینی / مشاهده	۰	۳	۶	۹	۱۲
۰	۱۰	۰	۰	۰	۰
۳	۰	۱۲	۰	۰	۰
۶	۰	۰	۱۰	۰	۰
۹	۰	۰	۰	۷	۰
۱۲	۰	۰	۰	۰	۹

پژوهش دیگری نیز عملکرد مناسب این الگوریتم در طبقه‌بندی ماهی با دقت ۹۰ درصد گزارش شده است (Abbott, 1999).

نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج ارزیابی حسی مشخص شد که فیله‌های ماهی قزل‌آلا تا قبل از روز ششم هنوز از امتیاز قابل قبول برخوردار هستند اما از روز ششم به بعد به دلیل تغییرات شیمیایی و میکروبی و روند فساد ایجاد شده غیرقابل استفاده می‌شوند که می‌توان با طبقه‌بندی بر اساس روز، مشخص نمود که فیله ماهی در چه مرحله‌ای از فساد قرار دارد و دارای چه کیفیتی است. بر اساس این نتایج، توانایی و کارآمدی بالای سامانه تلفیقی غیرمخرب امواج فراصوت، سنجش مقاومت و خصوصیات رنگی در ترکیب با

عملکرد درخت تصمیم برای طبقه‌بندی کیفیت ماهی در مقابل سه الگوریتم شبکه عصبی مصنوعی، ماشین بردار پشتیبان و بیزین بررسی شد. نتایج نشان داد الگوریتم درخت تصمیم با تابع هسته جنگل تصادفی با دقت ۹۶/۸۷ درصد در طبقه‌بندی صحیح ماهی‌ها نسبت به سایر الگوریتم‌ها عمل کرده است (Sengar et al., 2017).

- and eye color changes. *Journal of Food Engineering*, 119: 277-287.
- Guney, S., Atasoy, A. (2020). Freshness classification of horse mackerels with electric nose system using hybrid binary decision tree structure. *International Journal of Pattern Recognition and Artificial Intelligence*, 34(3): 1-17.
- 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. *Journal of Fisheries Science and Technology*, 7(1): 33-39. (In Persian)
- Joukar, F., Hosseini, S. M. H., Moosavi-Nasab, M., Mesbahi, G. R., & Behzadnia, A. (2017). Effect of Farsi gum-based antimicrobial adhesive coatings on the refrigeration shelf life of rainbow trout fillets. *LWT-Food Science and Technology*, 80: 1-9.
- Khojastehnazhand, M. (2015). Using of Hyperspectral Imaging System for Determination of Quality and Freshness of Rainbow Trout. Ph. D. dissertation in mechanics of agricultural machinery engineering. Agriculture Faculty, Tarbiat Modares University. (In Persian).
- Llull, P., Simal, S., & Femenia, A. (2002). The use of ultrasound velocity measurement to evaluate the textural properties of sobrassada from Mallorca. *Journal of Food Engineering*, 52: 323-330.
- 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 ($4\pm 1^\circ\text{C}$) storage. *Iranian Scientific Fisheries Journal*, 25(3). (In Persian).
- Nielsen, M., Martens, H. J., & Kaack, K. (1998). Low frequency ultrasonic for texture measurements in carrots (*Daucus carota* L.) in relation to water loss and storage. *Journal of Postharvest Biology and Technology*, 14: 297-308.
- Nowak, K. (2015). Identification of meat types by ultrasonic methods. *Journal of Technical Sciences*, 18(2): 79-84.
- Ojagh, S. M., Rezaei, M., Razavi, S. H., & Hosseini, S. M. H. (2010). Effect of chitosan coatings enriched with cinnamon oil on the quality of refrigerated rainbow trout. *Food Chemistry*, 120(1): 193-198.
- 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*). *Journal of Iranian Food Science and Technology*, 34(9). (In Persian)
- روش‌های مدل‌سازی شبکه عصبی مصنوعی یا درخت تصمیم برای تعیین تازگی فیله ماهی تعیین شد و از دقت بالا برخوردار بود. طبقه‌بندی ۱۰۰ درصد صحیح در استفاده از ویژگی‌های ترکیبی و الگوریتم درخت تصمیم حاصل شد.

منابع

- Abolghasemi, R., Emadi, B., Aghkhani, M., & Beiraghi-Toosi, Sh. (2009). Determination of peach maturity using ultrasonic waves. *Journal of Food Science and Technology Research*, 5: 63-74.
- Alimelli, A., Pennazza, G., Santonico, M., Paolesse, R., Filippini, D., D'Amico, A., & Di Natale, C. (2007). Fish freshness detection by a computer screen photoassisted based gas sensor array. *Analytica Chimica Acta*, 582(2): 320-328.
- AOAC. (2005). *Official methods of analysis*. 17th ed. Association of Analytical Chemists, Procedur. Washington, DC.
- Abbott, J. (1999). Quality measurement of fruits and vegetables. *Postharvest Biology and Technology*, 15: 207-225.
- Bai, X., Hou, J., Wang, L., Wang, M., Wang, X., & Wu, C. (2018). Electrical impedance analysis of pork tissues during storage. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 12: 164-172.
- Benedito, J., Carcel, J., Clemente, G., & Mulet, A. (2000a). Cheese maturity assessment using ultrasonic. *Journal of Dairy Science*, 83: 248 - 254.
- Benedito, J., Carcel, J., Sanjuan, N., & Mulet, A. (2000b). Use of ultrasound to assess Cheddar cheese characteristics. *Ultrasonics*, 38: 727-730.
- Bligh, E., & Dyer, WJ. (1959). A Rapid Method of Total Lipid Extraction and Purification. *Canadian Journal of Biochemistry Physics*, 37, 911-917.
- 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 Research International*, 56: 190-198.
- Damez, J., Clerjon, S., Abouelkaram, S., & Lepetit, J. (2007). Dielectric behavior of beef meat in the 1-1500 kHz range: Simulation with the Fricke/Cole-Cole model. *Meat Science*, 77: 512-519.
- Dowlati, M., Mohtasebi, S. S., Omid, M., Razavi, S. H., Jamzad, M., & Guardia, M. (2013). Freshness assessment of gilthead sea bream (*Sparus aurata*) by machine vision based on gill

- Science and Technology*, 31: 35-44. (In Persian).
- Zolfaghari, M., Shabanpour, B., & Fallahzadeh, S. (2011a). Comparison the effect of thyme, onion and ziziphora clinopodiodes extracts on shelf life of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Journal of Iranian Food Science and Technology Research*, 6(2): 121-129. (In Persian)
- Zolfaghari, M., Shabanpour, B., & Fallahzadeh, S. (2011b). Study of trend of chemical and microbial changes of rainbow trout (*Oncorhynchus Mykiss*) to determine its optimum shelf life during storage in refrigerator temperature (4°C). *Journal of Natural Environmental*, 64: 107-119. (In Persian).
- Popelka, P., Nagy, J., Pipova, M., Marcincak, S., & Lenhardt, L. (2014). Comparison of chemical, microbiological and histological changes in fresh, frozen and double frozen rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Journal of Acta Veterinaria Brno*, 83: 157-161.
- Razavi-Shirazi, H. (2007). *Seafood technology, principles of handling and processing*. Pars Negar Press. (in Persian)
- 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): 835.
- Rose, J. L. (2004). *Ultrasonic Waves in Solid Media*. Cambridge university press. Cambridge. UK.
- 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. Shiraz University, Shiraz, Iran. (In Persian).
- Sengar, N., Dutta, M. K., & Sarkar, B. (2017). Computer vision-based technique for identification of fish quality after pesticide exposure. *International Journal of Food Properties*, 20(2): 2192-2206.
- Simal, S., Benedito, J., Clemente, G., Femenia, A., & Rossello, C. (2003). Ultrasonic determination of the composition of a meat-based product. *Journal of Food Engineering*, 58: 253-257.
- Taghizadeh, G., & Rezaei, M. (2012). Effect of gelatin coatings on chemical, microbial and sensory properties of refrigerated rainbow trout fillet (*Oncorhynchus mykiss*). *Journal of Iranian Food Science and Technology*, 37(9): 67-76. (In Persian).
- Tavakoli, S., Naseri, M., Abedi, E., & Imani, A. (2018). Shelf-life enhancement of whole rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) treated with Reshgak ice coverage. *Food Science and Nutrition*, 6(4): 953-961.
- Vafa, S. (2016). Effect of various freezing and thawing methods on physico-chemical properties of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). MSc. Thesis in Fisheries, Shiraz University, Shiraz, Iran. (In Persian)
- 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).
- Zolfaghari, M., Shabanpour, B., & Fallahzadeh, S. (2010). The effect of light salting, vacuum packaging and their synergistic effect on shelf life of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fillet during storage at 4°C±1. *Journal of Food*

