تشخیص تازگی ماهی کپور معمولی با استفاده از بینایی کامپیوتر و ماشین بردار پشتیبان

امین طاهری گراوند[*1]،سودابه فتاحی[2]، اشکان بنان[3]

[*1]استادیار، گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشگاه لرستان؛ taheri.am@lu.ac.ir

[2]دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشگاه لرستان؛fatahi.so@fa.lu.ac.ir

[3]استادیار ، گروه علوم دامی، دانشگاه لرستان؛ banan.a@lu.ac.ir

چکیده

امروزه بکارگیری روش‌هایی که بتواند تازگی گوشت را بعنوان اساسی‌ترین ویژگی آن با سرعت و دقت بالا و بصورت غیر مخرب تخمین بزند بسیار با اهمیت است. لذا در مطالعه حاضر از روش بینایی کامپیوتر و ماشین بردار پشتیبان برای تشخیص تازگی ماهی کپور در طول دوره نگهداری در شرایط یخ پوشی استفاده شد. پس از تهیه تصاویر و انجام عملیات پیش پردازش و انتقال تصاویر به کانال‌های رنگی مختلف، ویژگی‌های آماری بافت از تصاویر استخراج شد. در آخر روش ماشین بردار پشتیبان برای طبقه بندی تصاویر در کلاس‌های مختلف بکار رفت . همچنین شاخص‌های آماری نظیر دقت، صحت، حساسیت، اختصاصی بودن و سطح زیر منحنی برای ارزیابی طبقه‌بند جهت تخمین تازگی گوشت ماهی کپور محاسبه شدند، که مقادیر این شاخص‌ها برای ویژگی‌های مستخرج به ترتیب برابر ۹۰/۱۷، ۷۴/۰۲، ۷۶/۶۳، ۹۳/۴۹ و ۸۵/۰۵ درصد بدست آمد. این نتایج بیانگر پتانسیل سامانه پیشنهاد شده برای تعیین دقیق و سریع تازگی ماهی کپور معمولی در طول دوره نگهداری در شرایط یخ پوشی می باشد.

کلمات کلیدی: ماهی، تازگی، بینایی کامپیوتر، ماشین بردار پشتیبان.

یازدهمین کنگره ملی مهندسی مکانیک بیوسیستم (ماشین‌های کشاورزی) و مکانیزاسیون ایران

۱-امین طاهری گراوند، گروه مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان، taheri.am@lu.ac.ir

Detection of Common Carp (Cyprinus carpio) freshness using of computer vision and support vector machine

Amin Taheri-Garavand[1*], Soodabeh Fatahi[2], Ashkan Banan[3]

1* Assistant Professor, Mechanical Engineering of Biosystems Department, Lorestan University, Khorramabad, Iran, taheri.am@lu.ac.ir

2 MSc Student, Mechanical Engineering of Biosystems Department, Lorestan University, Khorramabad, Iran, fatahi.so@fa.lu.ac.ir

3 Assistant Professor, Department of Animal Science Lorestan University, Khorramabad, Iran, banan.a@lu.ac.ir

ABSTRACT

Nowadays application of methods that can estimate the freshness of meat as the most basic feature of it using the high rate and accurate and non-destructive is very important. So, in the current study, computer vision and support vector machine (SVM) is used to detect the freshness of common carp during the storage period under ice-covered conditions. After preparing the images and performing the image processing operations and transforming the images into different color channels, statistical texture features were extracted of images. Lastly, support vector machine method was applied for classification of images in different classes. Also statistical indicators such as accuracy, precision, sensitivity, specificity and area under the curve (AUC) were calculated to assess the freshness of common carp meat, which the values of these indices for extracted features were obtained 90.17, 74.02, 76.62, 93.49 and 85.05 respectively. These results express the potential of proposed system for accurate, rapid and non-destructive determining of common carp during the storage period under ice-covered conditions.

Keywords: Fish, Freshness, Computer Vision, Support Vector Machine.

۱- مقدمه

گوشت یک نوع ماده غذایی است که می تواند پروتئین ها ، ویتامین ها ، مواد معدنی و برخی مواد مغذی دیگر برای حفظ و بهبود سلامت انسان را فراهم کند. در زندگی روزانه مردم، گوشت و فرآورده های گوشتی همیشه بعنوان منبع اصلی پروتئین حیوانی محسوب می شوند (zhenjie et al., 2015). گوشت ماهی و محصولات دریایی نقش بسزایی در رژیم غذایی انسان دارند. علاوه بر طعم اشتها آور، غنی از پروتئین بوده و مواد مغذی ضروری برای تغذیه متعادل و حفظ سلامت انسان را فراهم می‌کنند (Liu *et al.*, 2013). در این میان، کپور معمولی از پراکنش گسترده‌ای در جهان برخوردار بوده که میزان جهانی تولید آبزی پروری آن در سال ۲۰۱۴ به ۴/۱۶ میلیون تن رسید و بدین ترتیب جایگاه سوم تولید را از آن خود کرد (FAO, 2016). از طرفی ماهی به دلیل داشتن pH خنثی، محتوای آبی، نیتروژنی و پروتئینی بالا و روی دادن فرآیندهای خودکافتی داخلی[1] و پروتئین کافتی میکروبی[2] از طول مدت نگهداری بسیار کمی برخوردار است (Lunda *et al.*, 2016). محصولات آبزی مانند ماهی تازه کیفیت بالایی نیز دارند. مزه و ارزش غذایی ماهی بهتر خواهد بود و ارزش تجاری بالاتری نسبت به محصولات مشابه خواهد داشت. روشن است که انجام روش تشخیص سریع تازگی

[1]- native autolytic
[2]- microbial proteolytic

محصولات آبزی ماهی دارای ارزش علمی و اقتصادی نسبتا خوبی است برای اطمینان از سلامت مواد غذایی، لازم است که به دنبال روشی برای تشخیص تازگی محصولات آبزی ماهی بصورت مستقیم و با سرعت و دقت بالا باشیم (Wang et al., 2013). از طرفی توقعات و آگاهی مشتریان در مورد کیفیت فرآورده‌های غذایی افزایش یافته است. نیاز به فرآورده‌های ماهی با کیفیت موجب افزایش رقابت در بین تولیدکنندگان شده و آن‌ها را به یافتن راه حل‌های فناورانه به منظور بهبود بهره‌وری و سودآوری سوق داده است (Saberioon et al., 2017). بطور سنتی، کیفیت ظاهری فرآورده‌های ماهی توسط کارشناسان متخصص تعیین می‌شود که این روش زمان بر، پرزحمت، گران و غیر دقیق است (Balaban et al., 2011). اخیرا برخی روش‌ها برای اندازه گیری و تخمین تازگی ماهی که اساسا مربوط به ارزیابی سنسوری، آزمایش ویژگی‌های فیزیکی(رنگ و بافت)، روش‌های میکروبی، اندازه گیری ترکیبات فرار و اکسیداسیون چربی، تعیین تغییرات در پروتئین ماهیچه و محصولات تجزیه ATP در ماهی می‌باشد توسعه داده شده اند(Cheng et al., 2014; Cheng, et al., 2013). روش‌های معمول مورد نظر برای اندازه گیری تازگی گوشت ماهی ، روش‌های بیوشیمیایی، اندازه گیری K-value می‌باشند به طور گسترده بعنوان یک روش قابل اعتماد مورد استفاده قرار گرفته است. روش‌های بیوشیمیایی اساسا مخرب، زمان بر بوده و در زمان‌های اولیه نگهداری حساس نیستند. (Kanamori et al., 2017). بنابراین، توسعه یک روش سریع، آسان، غیرمخرب، هدفمند، ارزان و کمی برای تخمین تازگی ماهی ضروری به نظر می‌رسد(Dowlati et al., 2012) . در مقایسه با روش های بازرسی سنتی، بینایی کامپیوتر یکی از مهمترین روش های بازرسی و ارزیابی غیرمخرب، سریع، اقتصادی ،پایدار وعینی در صنعت غذا می باشد. این روش بازرسی بر مبنای آنالیزو پردازش تصویر می‌باشد و کاربردهای مختلفی در صنعت غذا یافته است(Judal & Bhadania, 2015) . پردازش تصویر بعنوان یک روش غیرمخرب و ایمن برای ارزیابی اطلاعات برمبنای تهیه تصاویر وتحلیل تغییرات رنگ آن با استفاده از نرم افزار تصویربرداری شناخته شده است، این روش همچنین می-تواند بعنوان روش اصلی برای ارزیابی کیفیت ماهی بکار رود(Menesatti et al., 2010)

گزارشاتی در زمینه تعیین خواص کیفی انواع مختلف گوشت ماهی با تاکید بر استفاده از روش‌های پردازش تصویر، بینایی کامپیوتر آورده شده است که در ادامه به گزیده ای از این مطالعات اشاره می‌شود: کیشور دوتا و همکاران(۲۰۱۶) از روش پردازش تصویر برای تخمین تازگی کپور هندی روهو (*Labeo rohita*) استفاده کردند. بدین منظور روش خوشه بندی را برای تقسیم بندی بافت آبشش ماهی بکار بردند و ویژگی‌های بافت در دامنه تبدیل موجک با استفاده از فیلتر هال استخراج نمودند. رابطه بین این ویژگی‌ها و سطوح تازگی با استفاده از داده‌های یادگیری ایجاد نمودند و براساس این روابط یک چهارچوب برای تشخیص تازگی از تصاویر ماهی پیشنهاد گردید(Kishore Dutta et al., 2016). کمانی و همکاران (۱۳۹۲) ، با اندازه گیری شاخص‌های رنگ سنجی به کمک تکنیک پردازش تصویرتوانستند میزان شاخص پراکسید را در فیله ی ماهی قزل آلای رنگین کمان نگهداری شده در یخچال را تخمین زدند (کمانی و همکاران، ۱۳۹۲). دولتی و همکاران (۲۰۱۳) روش بینایی کامپیوتررا بعنوان یک روش قابل اعتماد برای ارزیابی تازگی ماهی سیم سرطلایی (*Sparus aurata*) به کمک تغییر رنگ چشم و آبشش ماهی بکار گرفتند(Dowlati et al., 2013). وانگ و همکاران (۲۰۱۳) برای تشخیص فاکتور تازگی ماهی روشی برمبنای رگرسیون را بر روی چشم ماهی پیاده کردند(Wang et al., 2013) .

با توجه به اینکه تاکنون گزارشی در زمینه طبقه‌بندی هوشمند ماهی کپور براساس تازگی با استفاده از روش‌های بینایی کامپیوتر و ماشین بردار پشتیبان یافت نشده است. بنابراین هدف اصلی از پژوهش حاضر بررسی توانایی و قابلیت روش بینایی کامپیوتر و ماشین بردار پشتیبان به منظور استخراج مهمترین ویژگی از تصاویرنمونه های ماهی و امکان اندازه گیری رنگ برای تعیین تازگی و طبقه‌بندی ماهی کپور معمولی در طول دوره نگهداری در یخ بعنوان یک روش سریع، دقیق، غیرمخرب، غیر تهاجمی و قابل اعتماد است. در ادامه به مراحل پردازش تصویر در تحقیق حاضر اشاره می‌شود. در ابتدا تصاویر ماهی تهیه شده سپس مراحل پیش پردازش و محاسبه کانال‌های مختلف از تصاویر انجام شد. ویژگی‌های بافت از تصاویر استخراج شد. در نهایت تصاویر از با استفاده از روش ماشین بردار پشتیبان تصاویر ماهی در هر کلاس تازگی طبقه‌بندی شدند که بصورت مفصل در ادامه توضیح داده می‌شود.

۲- بخش مواد و روش‌ها

۲-۱- آماده سازی نمونه‌ها

در مطالعه حاضر ۴۸ قطعه ماهی کپور معمولی (*Cyprinus carpio*) با میانگین وزنی ۱۰±۱۰۰ گرم بلافاصله پس از صید از استخر پرورشی درون یونولیت‌های حاوی یخ، به آزمایشگاه مکانیک بیوسیستم دانشگاه لرستان انتقال یافت. هر قطعه ماهی پس از شستشو در داخل زیپ پک‌های جداگانه قرار گرفت و نامگذاری شد. ماهی‌ها در داخل دو یونولیت جداگانه، هر کدام حاوی ۲۴ قطعه ماهی با نسبت یخ به ماهی ۲ به ۱ یخ پوشی در دمای (-۴ ۰) درجه سلسیوس گردیدند و هر دو روز یکبار محتوای یخ موجود در داخل یونولیت‌ها با یخ جدید جایگزین می‌شد. نمونه‌ها در شرایط نگهداری فوق به مدت دو هفته نگهداری شدند.

۲-۲- سامانه تصویربرداری

سامانه تصویربرداری از سه بخش اصلی شامل: سیستم روشنایی، دوربین و کامپیوتر تشکیل شده است. جنس سامانه بستر تصویربرداری ورقه‌های MDF سفید رنگ می‌باشد. تعداد ۴ عدد لامپ هالوژن در چهار گوشه سقف با قابلیت چرخش۱۸۰ درجه نصب شده و به منظور ایجاد روشنایی یکنواخت ، یک ورق آکریلیک بصورت قوس رو به پایین در زیر لامپ ها قرار گرفته است. در بالای بستر تصویربرداری یک پایه برای نصب دوربین تعبیه شده است .در ضمن سوراخی به اندازه لنز دوربین در بالای بستر و در ورق آکریلیک ایجاد شده، بطوریکه لنز دوربین کاملا عمود به سطح نمونه باشد. یک صفحه سبز رنگ با قابلیت جابجایی در ارتفاع های معین در راستای عمود برای قرار دادن نمونه بر روی آن درون بستر قرار داده خواهد شد. دوربین کاملا عمود به سطح نمونه و در فاصله ۲۷ سانتیمتری از آن قرار گرفت در شکل (۱)تصویر سامانه تصویربرداری بکار رفته نشان داده شده است.

Figure 1. Capturing system
شکل ۱ – سامانه تصویربرداری

۲-۳- تهیه تصاویر

پس از تهیه نمونه‌ها و انتقال به به آزمایشگاه ، به منظور بررسی ماندگاری گوشت ماهی در شرایط یخ پوشی از نمونه‌ها درداخل سامانه تصویربرداری عکسبرداری شد . عکسبرداری از روز صفر (روز صید) به مدت دو هفته و هر۲۴ ساعت یکبارانجام شد و تصاویر با استفاده از دوربین دیجیتال (Canon, Model: SX-260,) در اندازه ۴۰۰۰ * ۳۰۰۰ پیکسل، با فرمت JPEG ذخیره شدند.

۲-۴- پیش پردازش

در مطالعه حاضر ، مرحله پیش‌پردازش تصاویر از مراحل بخش‌بندی تصاویر ، تغییر شکل و اندازه تصاویر و فیلتر کردن آن‌ها جهت حذف اغتشاش-های احتمالی، تشکیل یافته است که هدف اصلی آن ارتقاء و حذف داده‌های غیر ضروری تصویرمی‌باشد. انجام عملیات پیش‌پردازش مناسب موجب افزایش دقت تشخیص و کارآیی طبقه‌بندی بهتر می‌شود (Shi & He, 2010). در مرحله بخش‌بندی تصاویر، به کمک کد نوشته شده در نرم افزار MATLAB (نسخه ۲۰۱۵) به صورت خودکار تصویر ماهی از پس زمینه جدا شد. سپس کانال‌های R، G و B از تصاویر رنگی استخراج گریدند. تصاویر باینری با در نظر گرفتن حد آستانه ایده‌ال (۰/۵) از کانال R حاصل شدند. در این مرحله تعدادی حفره ناخواسته در تصاویر باینری ظاهر شد که با استفاده از توابع باز و بسته موجود در نوار ابزار نرم افزار MATLAB پر شدند. سپس پس زمینه تصویر باینری بصورت خودکار برش داده شد و در نهایت با ضرب تصاویر باینری درکانال‌های R، G و B و ترکیب آن‌ها، تصویر نهایی مورد نظر بدست آمد. با انتقال تصاویر به فضاهای رنگی مختلف می-توان ویژگی‌های موردنظر را از این کانال‌ها استخراج نمود که روش محاسبه این کانال‌ها و استخراج ویژگی‌ها در ادامه آمده است.

۲-۵- استخراج ویژگی

محاسبه کانال‌های رنگی مختلف

کانال‌های R, G, B به ترتیب نشان دهنده کانال‌های آبی و قرمز و سبز بوده و به طور مستقیم از تصاویر RGB استخراج شدند. کانال H رنگ، S اشباع و I روشنایی را نشان می‌دهد (Zhou et al., 2015).در این فضا، *L، *a و *b به ترتیب معرف روشنایی، دامنه رنگ از سبز به قرمز و دامنه رنگ از آبی به زرد می‌باشد (Chaudhary et al., 2012).

یافتن یک تبدیل سیگنال یا تصویر ساده و موثر برای تشخیص خطا و نظارت بر شرایط، هدف اصلی استخراج ویژگی می‌باشد. غالبا برای استخراج

ویژگی از روش مبتنی بر خصوصیات استاتیکی هیستوگرام تصویر استفاده می‌شود(Gonzalez et al., 2004). ویژگی‌های هیستوگرام بنیادی‌ترین روش استخراج ویژگی بافت بوده و نمایش دهنده اطلاعاتی مرتبط با مشخصات توزیع سطح خاکستری برای تصویر می‌باشد. هیستوگرام نرمال روی تصاویر مقیاس خاکستری با استفاده از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$P(z_i) = \frac{H(z_i)}{N} \quad (۱)$$

که در آن z متغیر تصادفی نشان‌دهنده شدت، $H(z_i)$ هیستوگرام متناظر تصویر، N تعداد کل درایه‌های موجود در ماتریس تصویر مقیاس خاکستری و $p(z_i)$ هیستوگرام نرمال شده تصویر مقیاس خاکستری می‌باشد(Taheri-Garavand et al., 2015).

از هر یک از کانال‌های مذکور، ۶ ویژگی آماری شامل میانگین، انحراف معیار، همواری، چولگی، انرژی و آنتروپی که متداول ترین ویژگی‌های هیستوگرام تصویر می‌باشند قابل استخراج است(Khulal et al., 2016). در بررسی حاضر برای هر تصویر، ۹×۶ ویژگی (۶ ویژگی × ۹ کانال رنگ) بدست آمد که این ۵۴ ویژگی تغییرات ماهی را درطول مدت بررسی نشان می‌دهد. . به این ترتیب که، کانال قرمز، سبز، آبی از فضای رنگ RGB، رنگ، اشباع، شدت از فضای رنگ HIS و روشنایی، a و b از فضای رنگ L* a* b* محاسبه شدند. سپس از هر کدام از کانال‌های رنگ، ۶ ویژگی آماری شامل میانگین، انحراف معیار، همواری، چولگی، انرژی و آنتروپی استخراج گردید که مقادیر این ویژگی‌ها با استفاده از معادلات زیر محاسبه شدند.

$$m = \sum_{i=0}^{L-1} z_i\, p(z_i) \quad (۲)$$

$$m = \sum_{i=0}^{L-1} z_i\, p(z_i) \quad (۳)$$

$$\delta = \sqrt{\sum_{i=0}^{L-1} (z_i - m)^2\, p(z_i)} \quad (۴)$$

$$R = 1 - \frac{1}{1+\delta^2} \quad (۵)$$

$$U = \sum_{i=0}^{L-1} p^2\,(z_i) \quad (۶)$$

$$e = -\sum_{i=o}^{L-1} p(z_i)\, log_2\, p(z_i) \quad (۷)$$

z_i یک متغیر تصادفی نشان‌دهنده شدت، $P(z_i)$ هیستوگرام سطوح شدت در یک ناحیه، L تعداد سطوح شدت ممکن. m سطح میانگین شدت تصویر مورد بررسی، μ_3 اندازه چولگی هیستوگرام، δ مقدار کنتراست متوسط، R اندازه همواری نسبی شدت در یک ناحیه،U اندازه یکنواختی و e اندازه تصادفی بودن را نشان می‌هند(Khulal et al., 2016).

۶-۲- طبقه‌بندی بر اساس تازگی

ماشین بردار پشتیبان یک روش طبقه‌بندی با نظارت بر مبنای نظریه یادگیری آماری می‌باشند. ایده اصلی این طبقه‌بندی کننده، یافتن یک ابر صفحه[1]بهینه به عنوان سطح تصمیم‌گیری به گونه‌ای می‌باشد که حاشیه بین دو کلاس را بیشینه کند. در صورتی که داده‌ها به صورت خطی جدا پذیر نباشد، داده‌ها با کرنلی غیرخطی به فضای با ابعاد بالاتر منتقل می‌شود و ابر صفحه بهینه در آن فضا تعیین می‌شود.

فرض کنید l داده‌های آموزشی موجود می‌باشد که هر یک با (x_i,y_i) نشان داده می‌شود، x_i بردار ویژگی n بعدی و $y_i \in \{-1,1\}$ برچسب آن می‌باشد. هدف یافتن ابر صفحه است که دو کلاس با برچسب ۱ و ۱- را با بیشترین حاشیه از هم جدا کند. این ابر صفحه را می‌توان با معادله زیر بیان کرد:

[1] Hyperplane.

یازدهمین کنگره ملی مهندسی مکانیک بیوسیستم (ماشین‌های کشاورزی) و مکانیزاسیون ایران

$$w^T\phi(x)+b=0 \quad (۸)$$

در این رابطه، بردار وزن w، برداری عمود بر ابر صفحه، b بردار بایاس می‌باشد که به منظور اندازه‌گیری فاصله ابر صفحه تا مبدأ استفاده می‌شود و $\phi(x)$ کرنلی برای انتقال داده به فضای با ابعاد بالاتر می‌باشد.

بیشینه نمودن حاشیه بین دو کلاس معادل کمینه کردن اندازه w می‌باشد که منجر به حل مسئله کمینه‌سازی مقید زیر می‌شود.

$$Min(\frac{1}{2}\|w\|^2+C\sum_{i=1}^{k}\xi_i) \quad (۹)$$
$$Subject\ to: y_i(w\phi(.x_i)+b)>1-\xi_i \quad i=1,...,k$$

که پارامتر C، پارامتر تنظیم در ماشین‌های بردار پشتیبان می‌باشد. به منظور در نظر گرفتن نویز موجود در داده و تداخل بین داده‌های آموزشی، از متغیر $\xi_i \succ 0$ استفاده می‌شود. وجود قید ضمانت می‌کند که داده‌ای در حاشیه قرار نمی‌گیرد. هرچند برای جلوگیری از بیش تطابق نمودن به داده-های نویزی، این قید با متغیرهای ξ_i نرم شده است (صمدزادگان و سادات حسینی، ۱۳۹۱).

سطح تصمیم‌گیری بهینه با حل مسئله مقید (۹) بر مبنای روش لاگرانژ طبق معادله زیر محاسبه می‌شود.

$$f(x)=\sum_{x_i\in SV} y_i\alpha_i\phi(x_i).\phi(x)+b \quad (۱۰)$$

در این رابطه α_i ضرایب لاگرانژ می‌باشد که در پروسه بهینه‌سازی محاسبه می‌شود، SV بردارهای پشتیبان هستند که ضریب لاگرانژ متناظر آن‌ها بزرگ‌تر از صفر است. این داده‌های آموزشی، نزدیک‌ترین نمونه‌ها به ابر صفحه هستند. همان طور که رابطه (۱۱) نشان می‌دهد، تنها بردارهای پشتیبان هستند که در مرحله آموزش شرکت می‌کنند. در نتیجه ماشین‌های بردار پشتیبان نیاز به تعداد نمونه آموزشی زیاد ندارند. در رابطه (۱۰)، ضرب داخلی بین دو کرنل نگاشت شده، می‌تواند با کرنل آن دو نمونه محاسبه گردد. از پرکاربردترین کرنل‌ها، کرنل گوسین هست که به با رابطه زیر تعریف می‌شوند.

$$\phi(x_i,x)=e^{(-\frac{\|x_i-x\|}{2\sigma^2})} \quad (۱۱)$$

در این رابطه، σ پارامتر کرنل گوسین می‌باشد (Lorena and Carvalho., 2008).

طبقه‌بندی تصاویر به منظور تشخیص تازگی ماهی برای لاشه‌های ماهی یخ پوشی شده به مدت دو هفته بر اساس مدت زمان پس از صید به صورت چهار کلاس؛ کاملا تازه (روز صفر و روز اول)، تازه (روز دوم و سوم)، نسبتا تازه (روز چهارم تا ششم) و فاسد (روز هفتم تا سیزدهم) انجام شد. در این بررسی ۸۰ درصد داده‌های حاصل برای آموزش و ۲۰ درصد برای آزمون و ارزیابی طبقه‌بند استفاده گردید. با استفاده از این طبقه بندی و تشخیص وضعیت‌های مختلف تازگی ماهی، می‌توان عملکرد سامانه تشخیص تازگی به کمک مدل طبقه‌بند ماشین بردار پشتیبان را مورد ارزیابی قرار داد. ارزیابی طبقه بند توسط شاخص‌های آماری مستخرج از ماتریس اغتشاش انجام شد. شکل ۲ ماتریس اغتشاش یک طبقه‌بند چهارکلاسه را نشان می‌دهد، که ستون‌ها نشان دهنده کلاس‌های مطلوب و ردیف‌ها کلاس‌های تخمین زده شده توسط طبقه‌بند می‌باشند.

	C_1	. . .	C_4
C^*_1	n_{11}	. . .	n_{14}
.	.	.	.
.	.	.	.
.	.	.	.
C^*_4	n_{41}	. . .	n_{44}

یازدهمین کنگره ملی مهندسی مکانیک بیوسیستم و ماشین‌های کشاورزی و مکانیزاسیون ایران

Figure 2. Confusion matrix for classifying four classes

شکل ۲- ماتریس اغتشاش برای طبقه‌بندی چهار کلاسه

عضو n_{ij} مشخص کننده تصاویری است که توسط طبقه‌بند (C*i) در کلاس i طبقه‌بندی شده‌اند اما در طبقه‌بندی واقعی (Cj) متعلق به کلاس j می باشند. در نتیجه اعضای قطری اصلی ماتریس (i=j) نشان دهنده تصاویری هستند که درست طبقه‌بندی شده‌اند، اما اعضای خارج از قطر اصلی (i≠j) نمونه‌هایی هستند که درست توسط طبقه‌بند، طبقه‌بندی نشده‌اند. هر یک از ارزیابی‌های طبقه‌بند شامل ۴ حالت مختلف زیر است: تصمیمات مثبت صحیح (TP)، نمونه‌هایی که درست توسط طبقه‌بند (C*i) در کلاس iام طبقه‌بندی شده اند. تصمیمات مثبت ناصحیح (FP)، نمونه‌هایی که اشتباها توسط طبقه‌بند (C*i) در کلاس iام طبقه‌بندی شده اند.تصمیمات منفی صحیح (TN)، نمونه‌هایی که درست توسط طبقه‌بند (C*i) در کلاس iام طبقه‌بندی نشده‌اند. تصمیمات منفی ناصحیح (FN) نمونه‌هایی که اشتباها توسط طبقه‌بند (C*i) به کلاس iام تعلق نگرفته‌اند. که $n_{TP} = n_{i,i}$ ، $n_{FP} = n_{i,+} - n_{i,i}$ ، $n_{FN} = n_{+,j} - n_{i,i}$ و $n_{TN} = n - n_{TP} - n_{FP} - n_{FN}$ می‌باشد. $n_{i,+}$ مجموع اعضای تمامی ستون‌های متعلق به سطر iام و $n_{+,j}$ مجموع اعضای تمامی سطرهای متعلق به ستون jام در ماتریس اغتشاش می‌باشد(Labatut &Cheri, 2012) . همچنین از شاخص‌های آماری مستخرج از ماتریس اغتشاش نظیر درصد اختصاصی بودن، حساسیت، صحت، دقت و ناحیه زیر منحنی (AUC) برای ارزیابی سامانه طبقه‌بند پیشنهادی استفاده شد.

$$Accuracy = \frac{n_{TP} + n_{TN}}{n_{TP} + n_{TN} + n_{FP} + n_{FN}} \quad (۱۲)$$

$$Sensitivity(Recall) = \frac{n_{TP}}{n_{TP} + n_{FN}} \quad (۱۳)$$

$$Specificity = \frac{n_{TN}}{n_{TN} + n_{FP}} \quad (۱۴)$$

$$Precision = \frac{n_{TP}}{n_{TP} + n_{FP}} \quad (۱۵)$$

$$AUC = \frac{1}{2}\left(\frac{n_{TP}}{n_{TP} + n_{FN}} + \frac{n_{TN}}{n_{TN} + n_{FP}}\right) \quad (۱۶)$$

دقت روی تاثیر کلی طبقه‌بند ANN تمرکز می‌کند. صحت، شرط کلاس برچسب داده‌ها با برچسب‌های مثبت مشخص شده توسط طبقه‌بند را ارزیابی می‌کند. حساسیت تاثیر طبقه‌بند ANN بر برچسب‌های مثبت و چگونگی تاثیر طبقه‌بند با برچسب منفی را تشخیص می‌دهد. AUC توانایی طبقه‌بند برای اجتناب از طبقه بندی غلط می‌باشد(Sokolova & Lapalme, 2009).

۳- نتایج و بحث

در ساعات معین اaز هر دو طرف ماهی یخ‌پوشی شده در طول دوره نگهداری دو هفته عکسبرداری شد. سپس عملیات پیش پردازش، تغییر فضاهای رنگ و استخراج ویژگی‌های آماری بافت از کانال‌های مختلف فضاهای رنگی رو تصاویر انجام شد.

۳-۱- طبقه‌بندی

ویژگی های بدست آمده به عنوان ورودی طبقه‌بند ماشین بردار پشتیبان برای طبقه‌بندی تصاویر به منظور تشخیص تازگی ماهی در طول دوره نگهداری استفاده شد. تصاویر با توجه به مدت زمان پس از صید به صورت چهار کلاس: کاملا تازه (روز صفر و روز اول)، تازه (روز دوم و سوم)، نسبتا تازه (روز چهارم تا ششم) و فاسد (روز هفتم تا سیزدهم) طبقه‌بندی شدند. عملکرد بهینه طبقه‌بند پس از ۵۰ بار اجرای طبقه‌بند با استفاده از بردار تمامی ویژگی‌های استخراج شده از تصاویر به عنوان ورودی آن، بهترین عملکرد طبقه‌بند بدست آمد و ماتریس اغتشاش نشان داده شده در جدول (۱) با توجه به آن تشکیل شد. با تشکیل ماتریس اغتشاش، جدول(۲) با توجه به مقادیر شاخص‌های آماری بدست آمده برای تمام کلاس‌های مختلف تازگی ماهی محاسبه شد. در این جدول مقادیر میانگین شاخص‌های آماری برای هر کلاس، شامل: دقت، صحت، حساسیت، اختصاصی بودن و سطح زیر منحنی (AUC) برای داده‌های آموزش به ترتیب برابر با ۹۰/۱۷، ۷۴/۰۲، ۷۶/۶۲، ۹۳/۴۹ و ۸۵/۰۵ درصد بدست آمد.

یازدهمین کنگره ملی مهندسی مکانیک بیوسیستم (ماشین های کشاورزی) و مکانیزاسیون ایران

جدول ۱ - ماتریس اغتشاش به دست آمده برای چهارکلاس تازگی ماهی با طبقه‌بند ماشین بردار پشتیبان برای داده‌های آموزش
Table 1. Obtained confusion matrix to four classes of fish freshness with SVM classifier for training data

Actual classes of fish freshness / Predicted classes of fish freshness	Totally fresh	Fresh	Fairly fresh	Rotten
Totally fresh	**31**	5	1	0
Fresh	7	**30**	10	4
Fairly fresh	0	7	**43**	24
Rotten	0	4	4	**166**

جدول ۲ - مقادیر شاخص‌های آماری مربوط به ماتریس اغتشاش به دست آمده برای چهار کلاس ازگی ماهی با طبقه‌بند ماشین بردار پشتیبان برای داده‌های آموزش
Table 2. Value of statistical indicators related to obtained confusion matrix to four classes of fish freshness using Support vector machine classifier for training data

Statistical indicators / Classes of fish freshness	Accuracy	Precition	Sensivity	Specificity	AUC
Totally fresh	96.13	83.78	81.57	97.98	89.78
Fresh	88.98	58.82	65.21	92.75	78/98
Fairly fresh	86.3	58.1	74.13	88.84	81.49
Rotten	89.28	95.4	85.56	94.36	89.96
Average for each class	**90.17**	**74.02**	**76.62**	**93.49**	**85.05**

۴- نتیجه‌گیری

ماهی بعنوان یکی از مهمترین و پر مصرف‌ترین فرآورده‌های شیلات در بین مردم شناخته شده است. با توجه به اینکه بالارفتن سطح اقتصادی زندگی موجه توجه ویژه به کیفیت و سلامت مواد غذایی می‌شود. در نتیجه یافتن روشی غیرمخرب که بتواند فاکتور تازگی را بعنوان مهمترین ویژگی کیفی ماهی بصورت سریع و دقیق تخمین بزند ضروری است. لذا در تحقیق حاضر با استفاده از روش‌های بینایی کامپیوتر و ماشین بردار پشتیبان تازگی ماهی کپور معمولی بررسی شد. پس از تهیه ۴۸ نمونه ماهی به مدت دو هفته و هر روز از هر دو سمت نمونه‌ها عکسبرداری شد. تصاویر وارد مرحله پیش پردازش شده و سپس به فضاهای رنگی RGB، HSI و L*a*b* منتقل شدند و در نهایت ویژگی‌های آماری بافت تصاویر استخراج شدند و برای طبقه بندی تصاویر از طبقه‌بند ماشین بردار پشتیبان استفاده شد. برای ارزیابی طبقه‌بند شاخص‌های آماری نظیردقت، صحت، حساسیت و اختصاصی بودن به‌کار رفت. برای هر کلاس به دست آمده از ماتریس اغتشاش، مقادیر میانگین شاخص‌های آماری شامل دقت ، صحت، حساسیت و

یازدهمین کنگره ملی مهندسی مکانیک بیوسیستم (ماشین‌های کشاورزی) و مکانیزاسیون ایران

اختصاصی بودن و سطح زیر منحنی (AUC) برای طبقه‌بندی به کمک ویژگی‌های مسخرج به ترتیب برابر ۹۰/۱۷، ۷۴/۰۲، ۷۶/۶۲، ۹۳/۴۹ و ۸۵/۰۵ درصد محاسبه شد. نتایج بدست آمده بیانگر قابلیت سیستم به کار رفته با دقت مناسب برای تشخیص و طبقه بندی تازگی ماهی در طی دوره یخ پوشی گوشت ماهی می‌باشد.

۵- مراجع

Balaban, M.O., Odabasi, A.Z., Damar S., Oliveira, A.C. (2011). Quality Evaluation of. *Computer Vision Technology for Food Quality Evaluation*, 189.

Chaudhary, P., Chaudhari, A. K., Dr. Cheeran, A. N. & Godara., Sh. (2012). Color Transform Based Approach for Disease Spot Detection on Plant Leaf. *International journal of computer science and telecommunications*, 3(6), 65-70.

Cheng, J. H., Sun, D.-W., Han, Z. & Zeng, X. A. (2014). Texture and structure measurements and analyses for evaluation of fish and fillet freshness quality: a review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 13(1), 52-61.

Cheng, J., Sun, D.-W., Zeng, X.-A. & Liu, D. (2013). Recent advances in methods and techniques for freshness quality determination and evaluation of fish and fish fillets: a review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 55(7), 1012-1025.

Dowlati, M., Mohtasebi, S. S., & de la Guardia, M. (2012). Application of machine-vision techniques to fish-quality assessment. *Trends in Analytical Chemistry*, 40: 168-179.

Dowlati, M., Mohtasebi, S. S., Omid, M., Razavi, S. H., Jamzad, M. & de la Guardia, M. (2013). Freshness assessment of gilthead sea bream (Sparus aurata) by machine vision based on gill and eye color changes. *Journal of Food Engineering*, 119(2), 277–287.

Food and Agriculture Organization (FAO) (2016): FAO yearbook. Fishery and aquaculture statistics. Rome, Italy.

Gonzalez, R.C., Woods, R.E. & Eddins, S.L. (2004). *Digital Image Processing Using MATLAB*, Pearson Prentice Hall: New Jersey, USA.

Judal, A. & Bhadania, A. G. (2015). Role of Machine Vision System in Food Quality and Safety Evaluation. *International Journal of Advance Research and Innovation*, 3(4), 611-615.

Kanamori, K., Shirataki, Y., Liao, Q., Ogawa, Y., Suzuki, T., & Kondo, N. (2017, May). *Fish freshness estimation using eye image processing under white and UV lightings*. In Sensing for Agriculture and Food Quality and Safety IX (Vol. 10217, p. 102170E). International Society for Optics and Photonics.

Khulal, U., Zhao, J., Hu, W. & Chen, Q. (2016). Nondestructive quantifying total volatile basic nitrogen (TVB-N) content in chicken using hyperspectral imaging (HSI) technique combined with different data dimension reduction algorithms. *Food Chemistry*, 197, 1191–1199.

Kishore Dutta, M., Issac, A., Minhas, N. & Sarkar, B. (2016). Image processing based method to assess fish quality and freshness. *Journal of Food Engineering*, 177, 50-58.

Labatut, V., & Cherifi, H. (2012). Accuracy measures for the comparison of classifiers. arXiv preprint arXiv:1207.3790.

Liu, D., Zeng, X. & Sun, D.-W. (2013). NIR Spectroscopy and Imaging Techniques for Evaluation of Fish Quality—A Review. *Applied Spectroscopy Reviews*, 48(8), 609–628.

Lorena, A., de Carvalho, A. (2008). Evolutionary tuning of SVM parameter values in multiclass problems. *Neurocomputing*, 71, 3326-3334.

Lunda, R., Linhartova, Z., Masilko, J., Dvorak, P., Smole Možina, S. & Mraz, J. (2016). Effect of different types of descaling methods on shelf life of air-/vacuum-packaged common carp (Cyprinus carpio L.) fillets under refrigerated storage conditions. *Aquaculture International*, 24(6), 1555-1568.

Menesatti, P., Costa, C., & Aguzzi, J. (2010). Quality evaluation of fish by hyperspectral Imaging. In D. -W. Sun (Ed.), Hyperspectral imaging for food quality: *Analysis and control* (pp. 273–294). San Diego, California, USA: Academic Press/Elsevier.

Saberioon, M., Gholizadeh, A., Cisar, P., Pautsina, A. & Urban, J. (2017). Application of machine vision systems in aquaculture with emphasis on fish: state-of-the-art and key issues. *Reviews in Aquaculture*, 9(4), 369-387.

Sokolova, M. &Lapalme, Guy. (2009). A systematic analysis of performance measures for classification tasks. *Information Processing & Management*, 45(4), 427–437.

یازدهمین کنگره ملی مهندسی مکانیک بیوسیستم (ماشینهای کشاورزی) و مکانیزاسیون ایران

Taheri-Garavand, A., Ahmadi, H., Omid, M., Mohtasebi, S.S., Mollazade, K., Russell Smith, A. J. & Carlomagno, G. M. (2015). An intelligent approach for cooling radiator fault diagnosis based oninfrared thermal image processing technique. *Applied Thermal Engineering*, 87, 434-443.

Wang, F., Zang, Y., Wo, Q., Zou, C., Wang, N., Wang, X., & Li, D. (2013*). Fish freshness rapid detection based on fish-eye image*. In PIAGENG 2013: Image Processing and Photonics for Agricultural Engineering (Vol. 8761, p. 87610A). International Society for Optics and Photonics.

Zhou, X., Yuan, J. & Liu, H. (2015). A traffic light recognition algorithm based on compressive tracking. *International Journal of Hybrid Information Technology*, 8(6), 323-332.

یازدهمین کنگره ملی مهندسی مکانیک بیوسیستم (ماشین‌های کشاورزی) و مکانیزاسیون ایران