

بررسی روند تغییرات ویژگی‌های رنگی و بافتی گوشت ماهی کپور با کمک پردازش تصویر

فاطمه کاظمی کرجی^۱، سامان آبدانان مهدی‌زاده^{۲*}، هادی اورک^۳

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی زراعی و عمران روستایی، گروه مکانیک بیوسیستم، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان

۲. استادیار، دانشکده مهندسی زراعی و عمران روستایی، گروه مکانیک بیوسیستم، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان

۳. دانش آموخته کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی زراعی و عمران روستایی، گروه مکانیک بیوسیستم، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان

(تاریخ دریافت: ۹۷/۳/۱۴، تاریخ آخرین بازنگری: ۹۷/۵/۴، تاریخ پذیرش: ۹۸/۶/۱۱)

چکیده

کیفیت ماهی تحت تاثیر روش‌های حمل و نقل، شرایط نگهداری و زمان انبارمانی می‌باشد و این عوامل موجب تغییرات شیمیایی در ماهی شده، در نتیجه با تسریع در تخریب و فساد بافت ماهی مصرف آن را برای بدن انسان خطرناک می‌کند. بیش‌تر روش‌های مورد استفاده برای بررسی تازگی ماهی هزینه بر و مخرب هستند. لذا هدف از این پژوهش توسعه روشی غیرمخرب بر مبنای رابطه بین رنگ و بافت چشم و آبشش به کمک سامانه بینایی ماشین در نظر گرفته شد. بر این اساس، بعد از استخراج ناحیه مورد نظر از تصاویر چشم و آبشش، ویژگی رنگی و بافتی از تصاویر استخراج و به کمک الگوریتم انتخاب ویژگی فیشر مناسب‌ترین آن‌ها انتخاب و عمل گروه‌بندی با کمک دو روش طبقه‌بندی QDA و LDA انجام پذیرفت. برای طبقه‌بند QDA ویژگی‌های V_HSV استخراج شده از آبشش، انرژی و تباین استخراج شده از چشم ماهی و برای طبقه‌بند LDA ویژگی انرژی استخراجی از چشم، تباین استخراجی از چشم، V_HSV استخراجی از آبشش، یکنواختی استخراجی از چشم و H_HSV استخراجی از آبشش، به ترتیب به دقت ۹۳ و ۹۶٪ رسید.

واژه‌های کلیدی: ماهی کپور، گوشت، ارزیابی کیفیت، بینایی ماشین.

۱. مقدمه

الکل همراه با آنتوسیانین‌های چای ترش استفاده کردند. مکایگ [۱۲] از دستگاه‌های رنگ‌سنجی به منظور ارزیابی تازگی ماهی‌های به نسبت مانده و به طور کامل مانده استفاده کرد. در تحقیقی وانگ فنگ و همکاران [۱۳] بر اساس تجزیه و تحلیل انرژی استخراج شده از تصویر چشم ماهی تازگی آن را تشخیص دادند. در این پژوهش آن‌ها از رابطه بین انرژی تصویر و مقادیر pH و VTBN^۱ با مدل رگرسیونی به این نتیجه رسیدند که به کمک انرژی تصاویر چشم ماهی به سرعت و با دقت بیشتر و بدون نیاز به اندازه‌گیری‌های سخت و وقت‌گیر pH و VTBN می‌توان تازگی را تشخیص داد.

چانگ و همکاران [۱۱] در پژوهشی از بسته‌بندی‌های هوشمند که توانایی اندازه‌گیری غلظت گاز هیدروژن سولفید و آمونیاک را داشتند برای تشخیص تازگی استفاده کردند. در این مطالعه نمونه‌های ماهی طی یک دوره ۶ روزه، در دو شرایط دمایی یخچال و دمای محیط قرار گرفتند؛ بر اساس نتایج گزارش شده مشخص گردید که غلظت این دو گاز در دمای اتاق نسبت به دمای یخچال، به سرعت افزایش می‌یابد. سپس با استفاده از یک رابط کاربری که در بسته‌بندی‌ها قرار دادند تازگی را در سه رنگ دسته‌بندی کردند که رنگ قرمز فساد، زرد هشدار و سبز تازگی را نشان می‌داد و به این صورت کاربرها به آسانی تازگی ماهی‌های بسته‌بندی شده را مشاهده می‌کردند. در پژوهشی دیگر زیاتو چن و همکاران از بیوسنسورهای رنگی برای ارزیابی تازگی ماهی استفاده کردند. در این پژوهش هیپوکسانتین به عنوان شاخصی از تازگی ماهی که در حضور زانتین اکسیداز با اکسیژن محلول واکنش داده و هیدروژن پراکسید تولید می‌کند و در حضور آهن^۲ سبب پراکنده شدن نانو ذرات طلا می‌شود. بنابراین تشدید پلاسمون سطحی نانو ذرات طلا منجر به تغییر رنگ سیستم شده که به راحتی و با چشم غیر مسلح قابل مشاهده است.

پژوهش‌های متعددی مبتنی بر پردازش تصویر و بینایی ماشین در حوزه‌ی کشاورزی صورت گرفته که از آن جمله می‌توان به شناسایی گونه‌های ماهی [۱۴]، اندازه‌گیری مقادیر برخی از سموم و مواد مضر مانند آکریل آمیل در چیپس [۱۵]، تشخیص بیماری در گیاهان [۱۶] تعیین تازگی میوه‌ها [۱۷] اشاره کرد. مهم‌ترین ویژگی تکنیک پردازش تصویر، غیرمخرب و قابل انعطاف بودن آن می‌باشد [۱۸]، زیرا تنها عکس نمونه به وسیله یک دوربین بدون

ماهی از جمله غذاهایی است که به سرعت فاسد شده و این موضوع بر طعم و مزه آن تاثیرگذار است [۱]. بلافاصله پس از مرگ ماهی، واکنش‌های شیمیایی پیچیده‌ای از جمله پروتئولیز، لیکوئلیز و لیپولیز آغاز می‌شود؛ این واکنش‌ها تحت تاثیر روش‌های حمل و نقل، شرایط نگهداری، خونریزی، مدت زمان انبارمانی و گونه ماهی قرار دارند [۲]. تغییرات شیمیایی و بیولوژیکی پس از مرگ ماهی، می‌تواند سبب تسریع در تخریب و فساد بافت ماهی شده که این مسئله سبب خطرناک بودن مصرف آن برای بدن انسان می‌شود [۳]. در خلال انبارمانی و فساد، تغییرات واضحی در ماهی ایجاد می‌شود، این تغییرات شامل شرایط ظاهری، رنگ، بروز لکه‌ها، تغییر در سختی بافت، بو، ترشح، ریزش پولک‌ها، پوست، تغییر رنگ چشم‌ها و آبشش‌ها است که از این تغییرات می‌توان به عنوان شاخص‌هایی برای تشخیص و ارزیابی تازگی استفاده نمود [۴].

طبق گزارش سازمان بهداشت جهانی [۵] مصرف ماهی، حداقل دو بار در هفته توسط کلیه افراد، از عوامل مؤثر در پیشگیری از بیماری‌های قلبی - عروقی و سکت‌های مغزی است که این پیشگیری به چربی موجود در ماهی یعنی امگا ۳ نسبت داده می‌شود. با این حال گران بودن غذاهای دریایی [۶] و عدم اعتماد و فقدان اطلاعات در تهیه و پخت این غذاها، مانع مصرف مکرر آن‌ها می‌شود [۷، ۸]. تازگی به عنوان یک ویژگی مشخص برای ارزیابی کیفیت شناخته شده [۹] و برای ایمنی مواد غذایی و تولید با کیفیت بالا ضروری است [۱۰]. بنابراین نظارت بر تازگی غذا-های دریایی از جمله ماهی در طول توزیع و نگهداری آن‌ها به صورت تازه برای ایمنی مصرف‌کننده ضروری است [۱۱].

روش‌های متعددی به منظور بررسی و ارزیابی تازگی ماهی استفاده می‌شود، اما هنوز هم سامانه‌های تشخیص و تعیین سریع و ارزان تازگی ماهی مورد نیاز است. متداول‌ترین روش تشخیص تازگی استفاده از روش‌های آزمایشگاهی و مواد شیمیایی است که این آزمایشات و مواد مصرفی سبب تخریب نمونه می‌گردند. به علاوه این روش‌ها زمان‌بر و پرهزینه هستند و برای تمامی نمونه‌ها نمی‌توان از آن استفاده کرد چون از نظر هزینه مقرون به صرفه نمی‌باشند. لذا روش‌های جایگزین و غیرمخرب مورد توجه محققان مختلف بوده است. ژایی و همکاران [۲] به منظور نظارت بر تازگی ماهی از فیلم‌های رنگی مبتنی بر نشاسته/پی وی سی

1. Determination of Volatile Basic Nitrogen

2. Fe²⁺

نهایت چشم با توجه به داشتن ضریب کرویت بالاتر از دیگر اشیا جدا و به بخش انتخاب ویژگی انتقال یافت. جزئیات مراحل ذکر شده در ذیل خواهد آمد. در ضمن الگوریتم پردازش تصویر در نرم افزار MatLab 2016 توسعه یافت.

۳.۲. اخذ تصویر

به منظور اخذ تصویر در شرایط نوری کنترل شده، از جعبه چوبی در ابعاد $45 \times 45 \times 45 \text{ cm}^3$ مجهز به دو لامپ ۵۰w استفاده گردید (شکل a-۲). قسمت داخلی جعبه برای جلوگیری از بازتاب نور با کاغذهای سیاه پوشانده شدند و به منظور جداسازی و تفکیک بهتر ماهی، از پس زمینه آبی رنگ استفاده گردید. منابع نوری به منظور حذف سایه‌های احتمالی با لنز دوربین در زاویه ۴۵ درجه قرار داشتند. به منظور اخذ تصاویر از دوربین مدل EXILIM EX-ZR700، ساخت کشور ژاپن با وضوح تصویر 921×745 پیکسل استفاده گردید. فاصله لنز دوربین تا نمونه ۴۵cm در نظر گرفته شد تا از ناحیه هدف پوشش‌دهی کاملی داشته باشد. در نهایت تصاویر اخذ شده به رایانه منتقل شدند. شکل (b-۲) نمونه‌ای از تصاویر اخذ شده در شرایط ذکر شده را نشان می‌دهد.

۴.۲. پردازش تصویر

مطابق با شکل (۳)، به منظور جداسازی نمونه‌ها از پس زمینه ابتدا هیستوگرام تصاویر گسترش یافته و درجه تباین آن‌ها به صورت سرتاسری بهبود یافت. سپس تصاویر از فضای RGB (شکل a-۳) به Lab منتقل (شکل b-۳) و با اعمال آستانه مناسب (رابطه ۱) بر روی تصاویر جداسازی آبشش صورت پذیرفت (شکل c-۳) [۱۹].

$$I_{GILL} = \begin{cases} 2.538 < L < 98.342 \\ 13.909 < a < 50.117 \\ -10.561 < b < 43.132 \end{cases} \quad (1)$$

تصاویر به دست آمده از آستانه‌گذاری دارای حفره‌های سیاه رنگ بودند که به عنوان پس زمینه اشتباهاً حذف گردیدند (شکل d-۳). به منظور رفع این مشکل و ایجاد بافت یکنواخت، حفرها با استفاده از عملگر بستن^۱ پر شدند (شکل e-۳). بعد از جدا شدن آبشش، مرکز سطح آن تعیین و از مرکز سطح آن دایره‌ای به شعاع

این که تغییر فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی در آن رخ دهد ذخیره می‌شود؛ در ضمن نمونه‌ها بعد از عکس برداری قابل استفاده هستند. با توجه به اهمیت مصرف ماهی در وعده‌های غذایی و نیاز به تازه بودن آن هدف از این پژوهش توسعه یک سامانه بینایی ماشین به منظور ارائه یک روش برای ارزیابی تازگی ماهی در نظر گرفته شد.

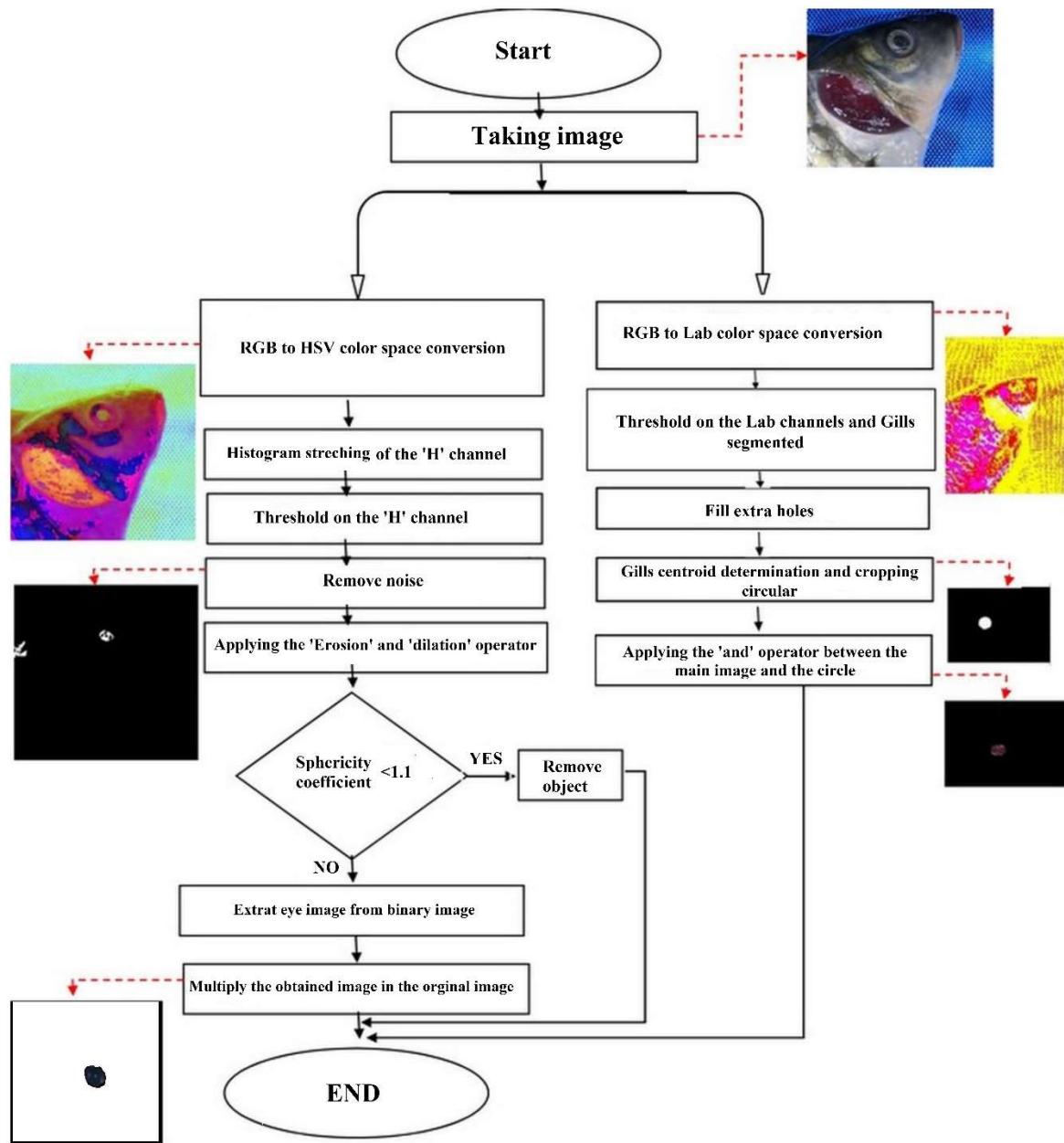
۲. مواد و روش‌ها

۱.۱. تهیه نمونه

در پژوهش حاضر به منظور بررسی کیفیت ماهی کپور تغییرات رنگ آبشش و چشم در هر روز ۲۰ ماهی و در مجموع ۱۰۰ نمونه مورد مطالعه قرار گرفت. ماهی کپور با نام علمی *cyprinus carpio* یک گونه از تیره کپور ماهیان است. این ماهی از خانواده -ای دارای دو جفت سیبک و دندان‌های حلقی می‌باشد. کپور معمولی فلس‌های درشت و باله‌های ممتد دارد. به منظور بررسی تازگی، ابتدا ماهی‌ها از آکواریم خارج شدند و بلافاصله در ظرف پر شده از یخ قرار گرفتند که این کار منجر به مرگ ناگهانی ماهی‌ها شد. ماهی‌ها به مدت ۹ روز در شرایط و جعبه‌های پر شده از یخ نگهداری شدند. نمونه‌ها از محل پرورش ماهی در شهرستان شوشتر واقع در ۷۵ Km اهواز انتخاب گردیدند.

۲.۲. نحوه عملکرد سامانه بینایی ماشین

شکل (۱) فلوچارت روند پردازش تصویر در پژوهش حاضر را نشان می‌دهد. بعد از اخذ تصاویر به منظور بررسی آبشش، تصاویر از فضای RGB به فضای Lab تبدیل شدند. سپس با آستانه‌گذاری بر روی شدت کانال‌های رنگی، آبشش از تصویر جدا و با پر نمودن حفره‌های موجود در آن سطح تصاویر یکنواخت گردیدند. در ادامه با ترسیم دایره‌ای با شعاع مشخص در مرکز آبشش و استفاده از عملگر آند^۱ بین تصویر اصلی و دایره به دست آمده بخشی از آن جدا گردید و به مرحله انتخاب ویژگی ارسال شد. به منظور بررسی چشم، تصاویر از فضای RGB به فضای HSV منتقل و حفره‌های ناشی از آستانه‌گذاری پر شدند. سپس با گسترش هیستوگرام در کانال H و آستانه‌گذاری بر روی آن چشم و بخشی‌های از ماهی جدا گردیدند که به منظور بخش‌بندی دقیق و حذف نویزهای ناخواسته ضریب کرویت اشیا موجود در تصویر محاسبه و در

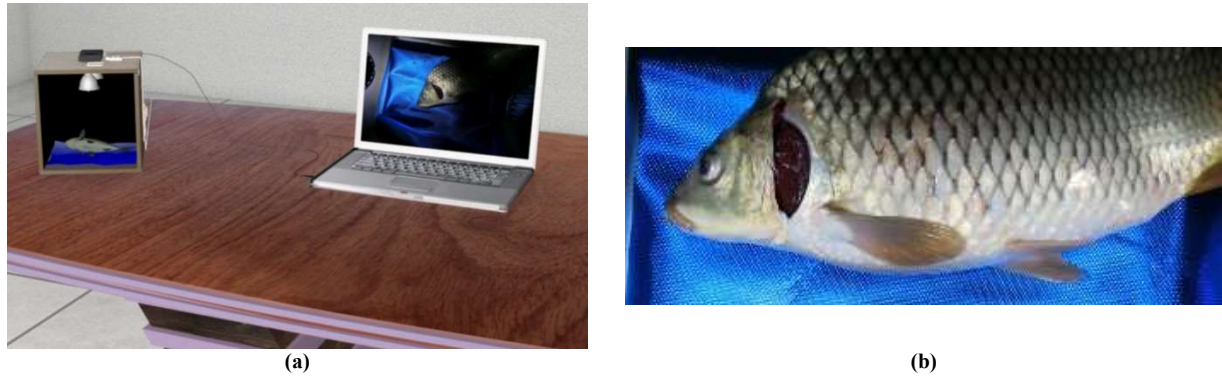


شکل (۱) فلوچارت روند پردازش تصویر

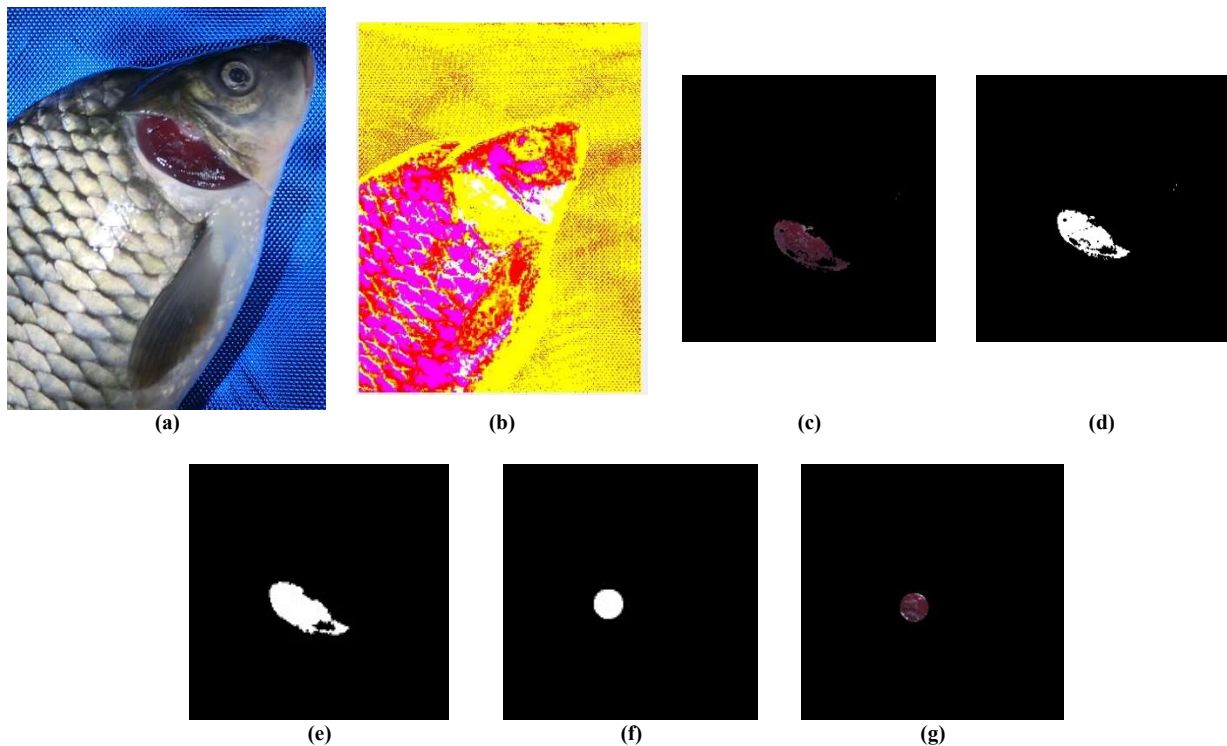
Fig. 1. Flowchart of the image processing process

رنگی HSV تبدیل شدند (شکل b-۴). در مرحله بعد کانال H از فضای رنگی HSV به دلیل تمایز بیشتر بین پیکسل‌های چشم و پس‌زمینه انتخاب گردید. سپس هیستوگرام کانال H گسترش یافت و با آستانه‌گذاری بر روی این کانال چشم از پس‌زمینه جدا گردید. شایان ذکر می‌باشد که در این مرحله به دلیل شباهت‌های رنگی بین چشم ماهی و پس‌زمینه، قسمت‌هایی از پس‌زمینه نیز همراه با چشم جدا شدند (شکل c-۴). به منظور حذف این نواحی

۵۰ پیکسل ترسیم گردید (شکل f-۳). در نهایت به منظور استخراج ویژگی‌های بافتی و رنگی با اعمال عملگر آند میان تصویر اصلی و دایره ترسیم شده، ناحیه مطلوب آبشش برای بررسی تازگی ماهی به دست آمد (شکل g-۳). به منظور جداسازی چشم ماهی از تصاویر اخذ شده مطابق شکل (۴) چندین مرحله صورت گرفت؛ ابتدا تصاویر رنگی (RGB) اخذ شده (شکل a-۴) به منظور جداسازی بهتر به فضای



شکل (۲) (a) شماتیک سامانه اخذ تصویر، (b) عکس نمونه در روز اول
 Fig. 2. a) schematic of image acquisition system, b) sample image on the first day

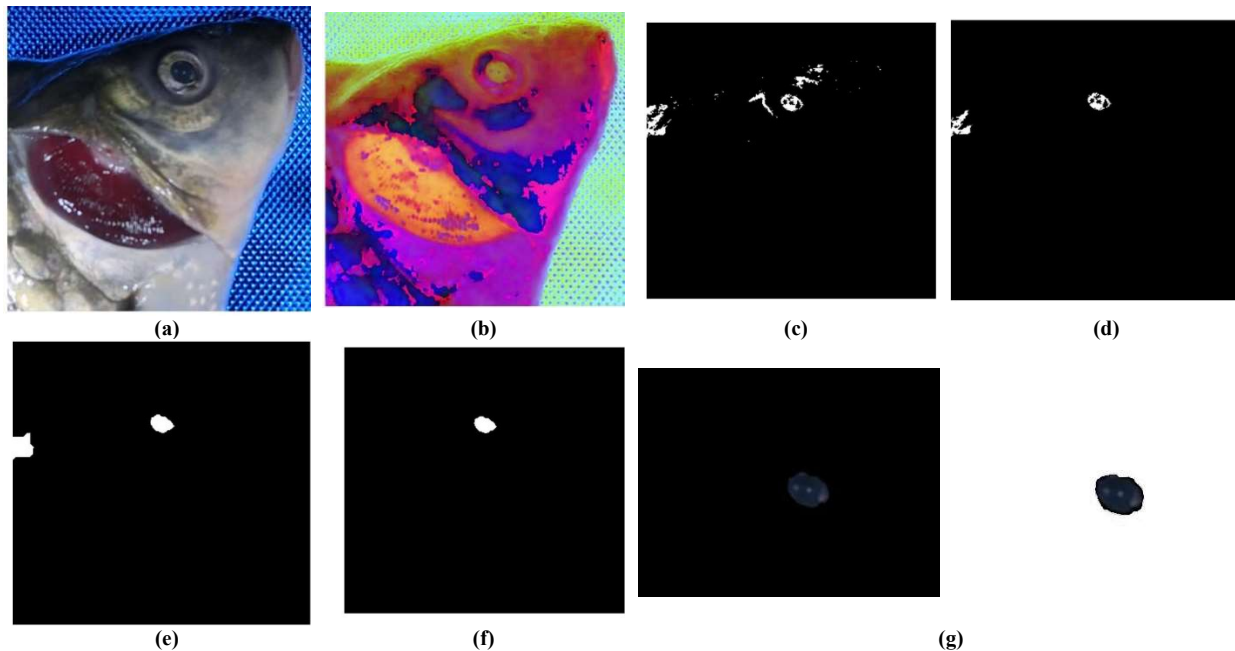


شکل (۳) مراحل جداسازی آبشش از ماهی (a) تصویر در فضای RGB، (b) تصویر در فضای Lab، (c) آستانه‌گذاری روی کانال‌های Lab، (d) تصویر دارای حفره حاصل از آستانه‌گذاری، (e) اعمال عملگر بستن برای پر کردن حفره‌ها، (f) تعیین مرکز سطح و رسم دایره، (g) اعمال عملگر آند میان تصویر اصلی و دایره ترسیم شده
 شده

Fig. 3. Steps of gill separation from fish, a) image in RGB space, b) image in Lab space, c) thresholds on Lab channels, d) image with hole obtained from the threshold, e) apply the closing operation to fill the holes, f) the center of the surface calculation and draw the circle, g) apply an and operation between the main image and the circle

دایره نزدیک می‌باشد، با محاسبه ضریب کرویت و اعمال شرط $S < 1.1$ (رابطه ۴)، تنها چشم باقی ماند و تمامی نوپه‌ها و قسمت‌های اضافی حذف گردیدند و چشم ماهی از تصویر استخراج گردید (شکل f-۴). در نهایت با ضرب تصویر حاصل شده در

با آستانه‌گذاری بر روی مساحت 80 Pixel^2 نوپه‌های کوچک موجود در تصویر حذف شدند (شکل d-۴). اما قسمت‌هایی از بخش‌های مختلف ماهی علاوه بر چشم در تصویر باقی ماند (شکل e-۴). با دانستن این موضوع که چشم ماهی از لحاظ هندسی به



شکل (۴) مراحل جداسازی چشم از ماهی (a) تصویر در فضای RGB، (b) تصویر در فضای HSV، (c) گسترش هیستوگرام، (d) آستانه‌گذاری روی مساحت، (e) تصویر حاصل شده از آستانه‌گذاری، (f) محاسبه ضریب کرویت و اعمال شرط $S < 1.1$ ، (g) ضرب تصویر حاصل شده در تصویر اصلی

Fig. 4. Separation steps of eye from fish a) image in RGB space, b) image in HSV space, c) Histogram expansion, d) Threshold on the area, e) The image obtained from the threshold, f) Calculate the spherical coefficient and apply the $S < 1.1$ condition, g) Multiply the image obtained in the main image

تصویر اصلی چشم ماهی در تصویر رنگی جدا شد (شکل g-۴). انرژی (۵) $E = \sum_{i,j=0}^{N-1} (P_{ij})^2$

همگنی (۶) $H = \sum_{i,j=0}^{N-1} \frac{P_{ij}}{1+(i-j)^2}$

$$S = \frac{r_i}{r_c} \quad (2)$$

که در این رابطه S ضریب کرویت، r_i شعاع دایره محاطی داخلی و r_c شعاع دایره محیط شده خارجی می‌باشد.

در آن‌ها σ انحراف معیار و P_{ij} نیز احتمال وقوع شدت در موقعیت (i,j) می‌باشد.

۵.۲. استخراج ویژگی

پس از جداسازی آبشش و چشم در تصاویر، چندین ویژگی رنگی و بافتی از تصاویر استخراج گردید. ویژگی‌های رنگی شامل میانگین تمامی کانال‌های فضاها RGB ، lab ، HSV و ویژگی‌های بافتی شامل: تباین، همبستگی، انرژی و همگنی بودند (رابطه ۶-۳) [۲۰].

$$C = \sum_{i,j=0}^{N-k} P_{ij} (i-j)^2 \quad (3) \quad \text{تباین}$$

$$C_r = \sum \frac{(i-\mu)(j-\mu)P_{ij}}{\sigma^2} \quad (4) \quad \text{همبستگی}$$

۶.۲. انتخاب ویژگی

۱.۶.۲. الگوریتم انتخاب ویژگی فیشر

ضریب فیشر ابزار مناسبی برای بررسی تمایز ویژگی‌های مختلف در بردار ویژگی نهایی است. ضریب فیشر در طبقه‌بندی باینری از رابطه (۷) به دست می‌آید [۲۱]:

$$F_{ratio}(W) = \frac{W^T S_B W}{W^T S_W W} \quad (7)$$

که در آن S_B ماتریس پراکندگی بین گروهی است، که از رابطه (۸) قابل محاسبه است:

میانگین و ماتریس مشترک داده‌ها است. برای انجام یک آنالیز تمایز باید شرایط زیر برقرار باشد [۲۲]:

- ۱- همه متغیرها باید پراکندگی نرمال داشته باشند.
- ۲- ماتریس مشترک واریانس- کواریانس همه گروه‌ها باید همگن باشد.

اگر این دو شرط وجود داشته باشند، از روش آنالیز تمایز خطی و اگر فرض اول وجود داشته باشد ولی فرض دوم وجود نداشته باشد می‌توان یک تابع تمایز درجه‌ی دوم را به جای یک تابع خطی استفاده کرد [۲۳]. در صورتی که مشاهدات دارای p متغیر اندازه‌گیری شده باشد، در این صورت بردار ویژگی‌ها به صورت زیر قابل تعریف می‌باشد (رابطه ۱۲):

$$x_i = [x_{i1}, x_{i2}, x_{i3}, \dots, x_{ip}]^T \quad (12)$$

برای طبقه‌بندی مشاهده جدید بین K گروه مشاهده‌ای که توسط یک ابرصفحه جدا شده‌اند نیاز به محاسبه فاصله آن نقطه از مرکز هر گروه است. این فاصله از رابطه (۱۳) به دست می‌آید:

$$cf(x_i) = (x_i - \mu_k)^T \sum_k^{-1} (x_i - \mu_k) + \ln \left| \sum_k \right| - 2 \log \pi_k \quad (13)$$

در این رابطه μ بردار میانگین گروه k ($1 \leq k \leq K$)، معکوس

ماتریس کواریانس گروه k ، $\left| \sum_k \right|$ دترمینان ماتریس کواریانس

و π_k احتمال اولیه گروه k است. بر این اساس نقطه مشاهده‌ای جدید به گروهی تعلق خواهد داشت که کمترین فاصله از مرکز آن گروه را داشته باشد. به این معادله، تابع آنالیز تمایز درجه دوم گفته می‌شود [۲۴].

در صورتی که ماتریس کواریانس گروه‌ها همگن باشد، در رابطه (۱۳) می‌توان از ماتریس کواریانس مشترک بین گروه‌ها استفاده کرد. این ماتریس مشترک از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$\sum = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^k n_k \sum_k \quad (14)$$

در این حالت رابطه (۱۳) به رابطه زیر تبدیل می‌شود:

$$S_B = (\mu_1 - \mu_2)(\mu_1 - \mu_2)^T \quad (8)$$

در این رابطه μ_i میانگین نمونه از گروه w_i است. ماتریس S_W ماتریس پراکندگی دو گروه‌ها است. بردار w بزرگ‌ترین بردار ویژه $S_B^{-1} S_W$ می‌باشد. برای دو گروه روابط ذکر شده به صورت زیر تغییر کرده و از جمع مقادیر ماتریس‌های پراکندگی کل گروه‌ها S_W به دست می‌آید (رابطه ۹):

$$S_T = \sum_{i=1}^k S_{W_i} \quad (9)$$

اگر ماتریس S_T به صورت زیر تعریف شود (رابطه ۱۰):

$$S_T = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^m (x_i - \mu)(x_i - \mu)^T \quad (10)$$

آنگاه ماتریس S_B از رابطه (۱۱) قابل محاسبه می‌باشد:

$$S_B = S_T - S_W \quad (11)$$

پس از محاسبه ماتریس‌های مورد نیاز، از رابطه (۷) می‌توان برای مسأله‌ای با K گروه خروجی و ۵ مرحله تازگی معیار جدایی فیشر را محاسبه نمود. بردار ویژگی دارای ضریب فیشر بالاتر، توانایی بیشتری در تمایز گروه‌های خروجی دارد. بنابراین با حذف ویژگی‌هایی که ضریب فیشر پایین‌تری دارند، در آزمون تشخیص تازگی، تأثیر حذف این ویژگی را در صحت تشخیص سامانه هوشمند اندازه‌گیری کرده و در صورت ناچیز بودن تأثیر هر حذف بر نتایج خروجی، آن ویژگی از بردار خروجی نیز حذف می‌گردد. با تکرار این فرایند در نهایت برداری با ویژگی‌های حفظ شده می‌باشد که برای آموزش و آزمون سامانه تشخیص تازگی مورد استفاده قرار گرفتند. الگوریتم انتخاب ویژگی در نرم افزار MatLab 2016 توسعه یافت.

۲.۶.۲. طبقه‌بندی

هدف از طبقه‌بندی، به دست آوردن ابرصفحه‌ای است به منظور جداسازی گروه‌های مشاهده شده در آزمایش می‌باشد. این ابرصفحه اجازه می‌دهد تا مشاهدات جدید داخل یکی از گروه‌های شناخته شده و معلوم طبقه‌بندی گردند. این روش براساس

شد. نمونه‌ها بر اساس پذیرش رنگ، بو و پذیرش کلی در یک مقیاس هدونیک ۹ نقطه‌ای و نمره‌دهی از ۱ یعنی دوست نداشتن شدید تا ۹ یعنی دوست داشتن شدید مورد ارزیابی قرار گرفتند.

۲.۶.۲. آنالیز همبستگی

در این پژوهش ارتباط بین ویژگی‌های غیرمخرب، شیمیایی و شاخص‌های حسی با استفاده از ضریب همبستگی (r) که مقیاسی از رابطه خطی بین دو متغیر است مورد ارزیابی قرار گرفت. ضریب همبستگی با استفاده از رابطه (۱۷) و به کمک نرم افزار SAS محاسبه گردید.

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2 \cdot \sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2}} \quad (13)$$

در این رابطه X_i و Y_i اندازه‌گیری متغیر X و Y و هم‌چنین \bar{X} و \bar{Y} میانگین نمونه X و Y می‌باشد.

۲.۶.۷. تجزیه و تحلیل آماری

در این پژوهش از ۱۰۰ ماهی برای جمع‌آوری داده‌ها طی ۹ روز به‌صورت یک روز در میان عکس‌برداری صورت گرفت. برای هر نمونه تمام ویژگی‌های رنگی و بافتی اندازه‌گیری و ویژگی‌های آماری استخراج و تجزیه و تحلیل روی آن‌ها در قالب بلوک‌های کاملاً تصادفی و آنالیز آماری با استفاده از نرم افزار SPSS و تفاوت میانگین‌ها به کمک آزمون چند دامنه‌ای دانکن ($p < 0.05$) انجام شد.

۳. نتایج و بحث

شکل (۵) تغییرات رنگ چشم ماهی در خلال انبارمانی را نشان می‌دهد. چشم‌ها در طول این دوره تمایل به سفید و تار شدن داشتند. این تغییرات را می‌توان به فعالیت‌های شیمیایی داخلی که باعث تغییرات ارگانیک مانند تغییر در رنگ و ظاهر ماهی پس از مرگ آن می‌شوند نسبت داد [۲۷]. بافت بدن ماهی یک منبع غنی از لیپیدهای زنجیره‌ای طولانی با مقدار زیادی اسید چرب اشباع شده است که لیپولیز و اکسیداسیون لیپید با اجزای غیر لیپیدی مانند پروتئین‌ها سبب کاهش کیفیت گوشت ماهی طی

$$cf(x_i) = (x_i - \mu_k)^r \sum_k^{-1} (x_i - \mu_k) \quad (15)$$

$$-2 \log \pi_k = 2 \mu_k^T \left| \sum_k \mu_k \right| 2 \log \pi_k$$

به این رابطه تابع آنالیز تمایز خطی می‌گویند [۲۳].

۲.۶.۳. اندازه‌گیری pH

بعد از هربار عکس‌برداری، ۵ g از گوشت ماهی وزن و به مدت ۲ min هم زده شد تا کاملاً همگن شود. در مرحله بعد ۵۰ mg آب مقطر با آن مخلوط و داخل یک ارلن ریخته شد. سپس نمونه به‌دست آمده در یک حمام آب با دمای 37°C به مدت ۱۵ min قرار گرفت. در نهایت مخلوط تهیه شده با دور ۳۰۰۰ rpm به مدت ۳ min سانتریفیوژ گردید و مقدار pH به روش کالیبراسیون دو نقطه اندازه‌گیری شد [۲۵].

۲.۶.۴. اندازه‌گیری TVBN

مقدار ۱۰ g نمونه کاملاً آسیاب شده را (نمونه گوشت باید چرخ شود) درلوله مخصوص پروتئین ریخته و ۲ g کاتالیزور اکسید منیزیم اضافه شد. لوله را در دستگاه تقطیر قرار داده و ۹۰ mL آب مقطر به نمونه اضافه و به مدت ۴ min جوشانده شد تا در اثر حرارت ازت آزاد نمونه تقطیر شود و در بشری که محتوی ۶۰ mL اسید بوریک ۴٪ است، وارد گردد. این فرایند به مدت ۴ min ادامه یافت تا در اثر تشکیل بورات آمونیوم رنگ سبز حاصل شود. در صورت پایین بودن ازت آزاد نمونه رنگ سبز به‌طور کامل مشهود نمی‌گردد و تغییر رنگ ناچیز است. در نهایت پس از اتمام جوشش نمونه محصول تقطیر با اسید سولفوریک ۰/۲ نرمال تیترو گردید. در بشر بورات آمونیوم رنگ سبز زایل شده و مجدداً رنگ بنفش حاصل شد و pH به مقدار اولیه رسید. در این مرحله تیتراسیون به‌طور اتوماتیک متوقف شد. مقدار TVBN برحسب mg در ۱۰۰ g ماده غذایی طبق فرمول زیر محاسبه شد [۲۶]:

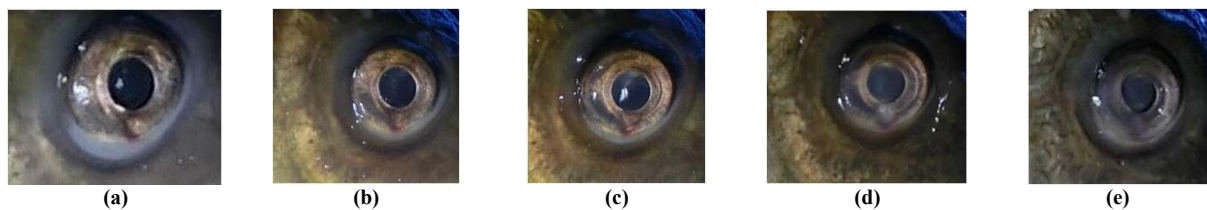
$$\text{مقدار TVBN} = 0.14 \times 1000 \times \text{نرمالیت اسید} \times \text{مقدار اسید سولفوریک مصرفی} \quad (16)$$

۲.۶.۵. ارزیابی حسی

برای ارزیابی حسی نمونه‌ها از یک گروه ۱۰ نفره کمک گرفته

عمده در نگهداری ماهی نیز محسوب می‌شود. لازم به ذکر است که حضور رنگدانه‌های همو و یون‌های فلزی در غذاهای دریایی می‌تواند منجر به اکسیداسیون چربی می‌شود. افزایش اکسیداسیون چربی و شکستن هیدرو پراکسیدها منجر به کاهش ترکیبات کربونیل با وزن مولکولی کم و ترکیبات الکل شده و در نتیجه بر رنگ، بافت، طعم و بوی آن و در نهایت بر کیفیت ماهی تاثیر می‌گذارد [۲۹]. بنابراین تغییرات فیزیکی و شیمیایی بدن ماهی سبب تغییرات فیزیکی و شیمیایی در چشم و آبشش ماهی می‌شود که نهایتاً با تغییر رنگ در این دو ناحیه همراه است. لذا ارزیابی تازگی ماهی از طریق رنگ چشم و آبشش ماهی با توجه به معنی‌داری اکثر کانال‌های رنگی در خلال انبارمانی امکان پذیر می‌باشد.

انبارمانی می‌شوند. رنگدانه‌های زرد در نتیجه واکنش پروتئین و لیپیدهای اکسید شده شکل می‌گیرد که توجیه‌کننده تغییر رنگ در چشم ماهی هستند. این به نوبه خود نقش مهمی در کاهش کیفیت ماهی‌ها در انبارمانی طولانی به ویژه با شرایط نامناسب ایفا می‌کند. جدول (۱) نتایج تجزیه واریانس ویژگی‌های رنگی برای چشم و V معنی‌دار شد ($p < 0.01$). به‌طور مشابه مقدار کانال H این فضا برای آبشش نیز معنی‌دار نبود اما تغییرات دو کانال دیگر (S و V) در سطح ۱٪ معنی‌دار شدند. در فضای Lab، کانال‌های a و b برای چشم، L و a برای آبشش ($p < 0.05$) و کانال L برای چشم ($p < 0.01$) معنی‌داری گردیدند. به گزارش لای [۲۸] اکسیداسیون چربی در ماهی با ایجاد عطر و مزه نامناسب، تغییر رنگ و بافت همراه است که علاوه بر کاهش کیفیت آن یک مشکل



شکل (۵) تغییرات رنگ چشم در طول دوره انبارمانی (a) روز اول، (b) روز سوم، (c) روز پنجم، (d) روز هفتم، (e) روز نهم
Fig. 5. Eye color changes during storage a) first day, b) third day, c) fifth day, d) seventh day, e) ninth day

جدول (۱) نتایج تجزیه واریانس ویژگی‌های رنگی چشم و آبشش ماهی تحت تاثیر زمان انبارمانی.

Table 1 Analysis of variance of eye and gill color characteristics effected by storage time.

میانگین مربعات Mean Square										
b	a	L	V	S	H	B	G	R	درجه آزادی df	منابع تغییر (چشم) S.O.V (eye)
34.330*	33.050*	467.4**	0.068**	0.011 ^{ns}	0.27 ^{ns}	4879.570**	4052.849**	341.2384**	4	زمان انبارمانی Storage time
30.015 ^{ns}	12.30 ^{ns}	77.573 ^{ns}	0.009 ^{ns}	0.016 ^{ns}	0.082 ^{ns}	10.080 ^{ns}	480.760 ^{ns}	316.87 ^{ns}	19	بلوک Block
21.293	10.503	55.579	0.006	0.009	0.075	426.698	346.527	272.042	95	خطا error
منابع تغییر (آبشش) S.O.V (gill)										
6.889 ^{ns}	189.889*	317.791*	0.055**	0.037**	0.075 ^{ns}	1896.386*	1101.374**	356.029**	4	زمان انبارمانی Storage time
20.201 ^{ns}	105.103 ^{ns}	171.76 ^{ns}	0.026 ^{ns}	0.007 ^{ns}	0.018 ^{ns}	1168.712 ^{ns}	627.189 ^{ns}	1718.797 ^{ns}	19	بلوک Block
12.928	43.848	59.454	0.009	0.005	0.018	375.672	240.285	582.641	95	خطا error

*،** و ^{ns} به ترتیب معنی‌داری در سطح ۵ درصد، ۱ درصد و عدم معنی‌داری را نشان می‌دهد.
*،** and ^{ns} significant at the level of 1 and 5 percent and non-significant, respectively

نتایج تجزیه واریانس ویژگی‌های بافتی برای چشم و آبشش در جدول (۲) آورده شده است. مطابق با این جدول، درجه تباین، انرژی و آنتروپی برای چشم و آبشش به صورت معنی‌داری ($p < 0.01$) تغییر می‌کنند. اما از طرف دیگر اثر زمان انبارمانی بر همبستگی برای چشم در سطح ۰.۱٪ معنی‌داری گردید در حالی که اثر انبارمانی در این ویژگی برای آبشش معنی‌دار نشد. به علاوه

ویژگی بافتی همگنی برای چشم معنی‌دار نگردید اما و برای آبشش در خلال انبارمانی به صورت معنی‌دار تغییر می‌نمود ($p < 0.01$). به منظور بررسی دقیق‌تر تغییرات ویژگی‌های استخراج شده از تصاویر آنالیز میانگین آن‌ها نیز مورد بررسی قرار گرفت (جدول ۳).

جدول (۲) نتایج تجزیه واریانس ویژگی‌های بافتی چشم و آبشش ماهی تحت تاثیر زمان انبارمانی
Table 2 Analysis of variance of textural characteristics of eye and gill effected by storage time

میانگین مربعات Mean Squares						
آنتروپی entropy	همگنی homogeneity	انرژی energy	همبستگی Correlation	تباین contrast	درجه آزادی df	منابع تغییر (چشم) S.O.V (eye)
$4.093 \times 10^{10**}$	0.001 ^{ns}	$1.694 \times 10^{-5**}$	0.027 ^{**}	$4.305 \times 10^{11**}$	4	زمان انبارمانی Storage time
1376283097^{ns}	9.77×10^{-5ns}	7.766×10^{-8ns}	0.151 ^{ns}	5.389×10^{10ns}	19	بلوک Block
784826376	8.575×10^{-5}	4.172×10^{-8}	0.161	2.948×10^{10}	95	خطا Error
منابع تغییر (آبشش) S.O.V (gill)						
$3.023 \times 10^{11**}$	0.001 ^{**}	$1.877 \times 10^{-8**}$	0.055 ^{ns}	$8.432 \times 10^{11**}$	4	زمان انبارمانی Storage time
2.156×10^{10ns}	0 ^{ns}	1.296×10^{-8ns}	0.149 ^{ns}	1.370×10^{11ns}	19	بلوک Block
1.180×10^{10}	0	6.002×10^{-9}	0.189	7.289×10^{11}	95	خطای آزمایش Test error

*** و ** و ns به ترتیب معنی‌داری در سطح ۵ درصد، ۱ درصد و عدم معنی‌داری را نشان می‌دهد.
*، ** and ns significant at the level of 1 and 5 percent and non-significant, respectively

جدول (۳) نتایج آنالیز آماری ویژگی‌های رنگی چشم و آبشش
Table 3 Duncan multiple range test of eye and gill color characteristic

میانگین									
b*	a*	L*	V	S	H	B	G	R	روز (چشم) (Day(eye)
-4.579 ^a	1.788 ^b	44.021 ^a	0.452 ^a	0.126 ^a	0.0511 ^c	112.356 ^a	103.828 ^a	103.26 ^a	1
-3.453 ^a	2.533 ^b	6.191 ^b	0.366 ^b	0.1068 ^a	0.596 ^c	90.908 ^b	84.320 ^b	86.28 ^b	3
-3.286 ^a	2.2290 ^b	36.223 ^b	0.366 ^b	0.136 ^a	0.660 ^{abc}	90.531 ^b	84.330 ^b	85.75 ^b	5
-1.624 ^a	3.0247 ^b	32.448 ^{bc}	0.325 ^{bc}	0.097 ^a	0.797 ^a	79.428 ^{bc}	75.27 ^{bc}	80.15 ^{bc}	7
-1.736 ^a	5.081 ^a	28.677 ^c	0.297 ^c	0.157 ^a	0.755 ^{ab}	70.752 ^c	65.271 ^c	74.005 ^c	9
روز (آبشش) (Day(gill))									
-1.1267 ^a	22.8429 ^a	31.5116 ^a	0.42187 ^a	0.4406 ^a	0.938 ^a	77.421 ^a	60.543 ^a	10.578 ^a	1
-1.3645 ^a	15.7756 ^b	23.3153 ^{bc}	0.30279 ^b	0.38659 ^a	0.931 ^a	58.311 ^{bc}	46.683 ^{bc}	77.213 ^b	3
-0.30309 ^a	14.4787 ^b	23.2606 ^{cd}	0.31600 ^b	0.4406 ^a	0.94435 ^a	56.7151 ^{bc}	44.806 ^c	80.580 ^b	5
-0.51057 ^a	14.4385 ^b	21.9930 ^d	0.29132 ^b	0.39978 ^a	0.94292 ^a	54.3092 ^c	44.136 ^c	74.287 ^b	7
-1.7096 ^a	14.1336 ^b	27.8160 ^{ab}	0.34564 ^b	0.38356 ^a	0.80372 ^a	68.827 ^{ab}	56.150 ^{ab}	88.062 ^b	9

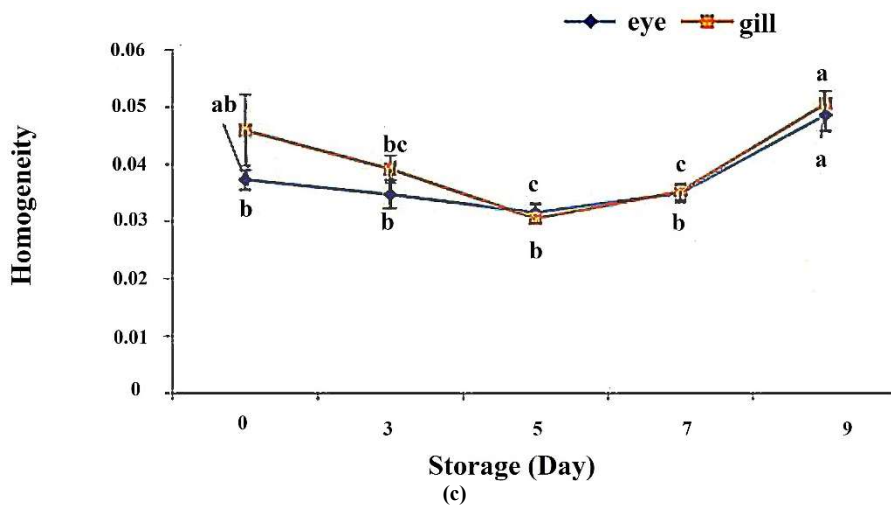
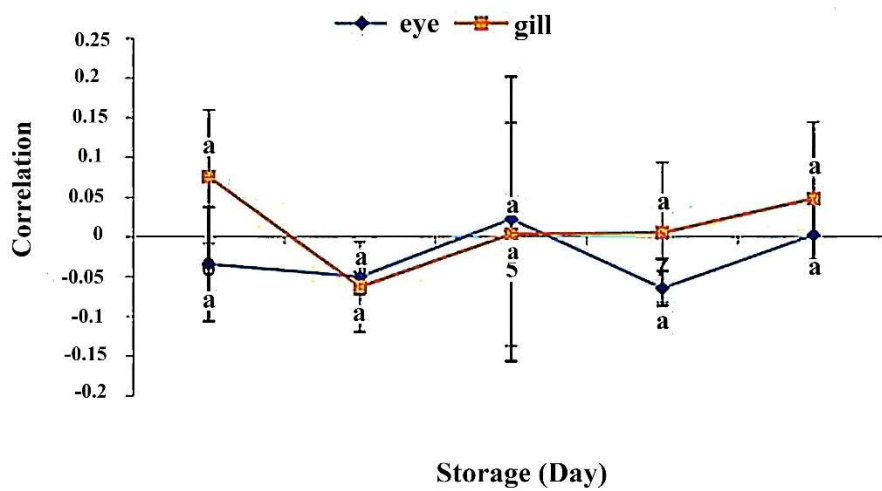
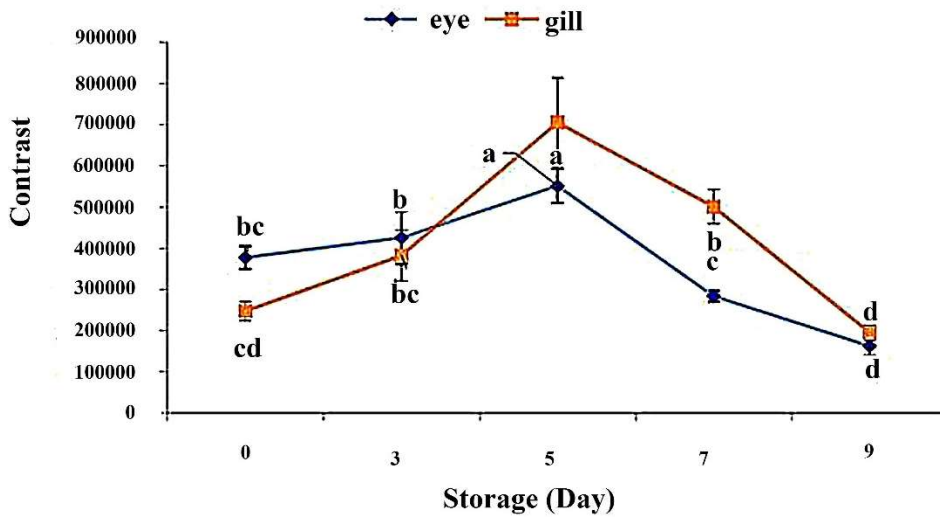
در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌دار ندارند.
Mean in each column followed by similar letter (s) are not significant at 5% probability level using Duncan

L^* و a^* تمایل به کاهش رنگ قرمز و قهوه‌ای شدن در نمونه‌ها را نشان می‌دهد. پارامتر b^* مولفه زرد-آبی را بیان می‌کند که زرد برای مقادیر مثبت و آبی برای مقادیر منفی است. مقدار این کانال برای چشم و آبشش و چشم در طول دوره انبارمانی روند ثابت صعودی را داشت. در پژوهشی که توسط کوئندو و همکاران [۳۲] بر روی قهوه‌ای شدن آنزیمی برش‌های سیب صورت گرفت، مشخص گردید که کانال L از دو کانال دیگر (a^* و b^*) زوال را بهتر تشخیص داد.

شکل a-۶ نمودار تغییرات درجه تباین را برای چشم و آبشش در خلال انبارمانی نشان می‌دهد. این ویژگی برای چشم در روز سوم بیش‌ترین مقدار خود ($\text{Contrast}=551269/5$) را داشت و بین روزهای اول و دوم اختلاف معنی‌داری دیده نشد ($p>0/05$). بعد از روز سوم مقدار درجه تباین با شیب تندی کاهش یافت و بین روزهای سوم، چهارم و پنجم در سطح احتمال ۵٪ اختلاف مشاهده شده معنی‌دار گردید. مقدار درجه تباین برای آبشش از روز اول تا سوم روند صعودی و همانند چشم در روز سوم بیش‌ترین مقدار خود ($\text{Contrast}=704875$) را داشت؛ اما از روز سوم تا پنجم این پارامتر دارای روند نزولی بود و بین روزهای چهارم و دوم هم‌چنین روزهای اول و پنجم اختلاف معنی‌داری دیده نشد ($p>0/05$). با توجه به شکل d-۶ مقادیر انرژی برای چشم و آبشش به‌صورت معنی‌داری کاهش می‌یابند. بعد از روز پنجم مقدار انرژی روند صعودی از خود نشان داد به بیش‌ترین مقدار خود در روز نهم ($\text{Energy}=0/01047$) رسید که با روزهای قبل اختلاف معنی‌داری داشت ($p<0/05$). این ویژگی برای آبشش، تغییرات محسوسی نداشت؛ علاوه بر کاهش از روز اول تا دوم ولی اختلاف معنی‌داری میان این روزها وجود نداشت ($p>0/05$)؛ این روند نزولی ادامه یافت تا به کم‌ترین مقدار خود در روز سوم رسید. سپس مجدد روندی افزایش را طی نمود و بیش‌ترین مقدار آن در روز پنجم با میانگین $0/0373$ مشاهده شد. در پژوهشی کوئندو و همکاران [۳۳] به تعیین قهوه‌ای شدن آنزیمی در تکه‌های آوکادو و با استفاده از تحلیل بافت تصویر پرداختند. در این پژوهش انرژی استخراج شده از تصاویر دارای روندی مشابهی با پژوهش حاضر بود و به‌علاوه به‌عنوان مؤثرترین ویژگی بافتی در تعیین زوال تیکه‌های آوکادو معرفی گردید. همانطور که در شکل e-۶ مشاهده می‌شود مقدار آنتروپی برای چشم از روز اول تا سوم روند افزایشی داشت و در روز سوم با

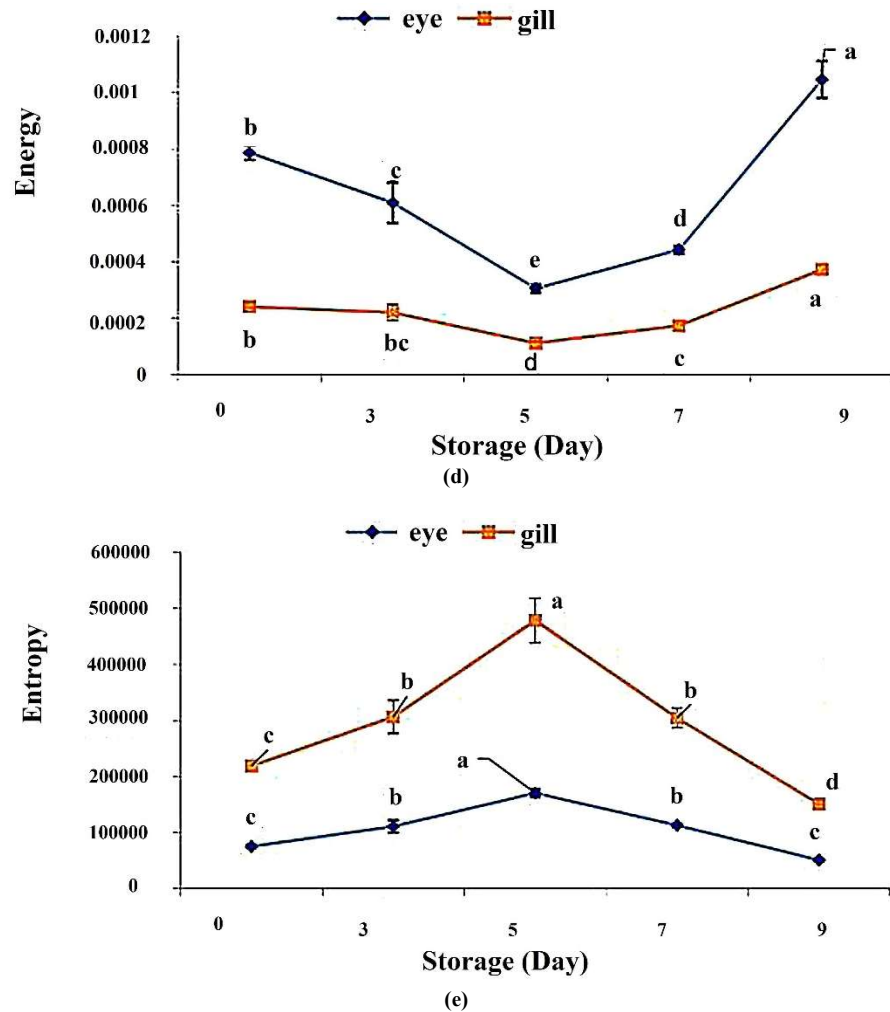
مطابق با آنالیز چند دامنه‌ای دانکن مقدار پارامتر R ، G و B برای چشم روندی نزولی داشتند و کم‌ترین مقدار آن در روز نهم اتفاق افتاد. در حالی که مقدار پارامتر R برای آبشش در روز سوم آزمایش کاهش یافت و تا روز نهم روند تقریباً ثابتی مشاهده گردید و بین روزهای نگهداری تفاوت معنی‌داری مشاهده نگردید ($p>0/05$). کاهش کانال R در آبشش نشان‌دهنده قهوه‌ای شدن آن در خلال انبارمانی است که با مشاهدات آزمایشگاهی هم‌خوانی دارد. تغییرات کانال‌های G و B از روز سوم تا هفتم روند نزولی داشتند و بین روز اول و نهم اختلاف معنی‌داری دیده نشد. در فضای رنگی HSV در چشم، الگوی افزایشی در کانال H مشاهده شد و کم‌ترین مقدار این ویژگی در روز اول ($H=0/512$) و بیش‌ترین مقدار آن در روز هفتم ($H=0/798$) اتفاق افتاد. مقادیر کانال H برای آبشش هم‌چنین کانال S برای چشم و آبشش در تمام دوره نگهداری روندی ثابت داشت و بین روزهای نگهداری تفاوت معنی‌داری وجود نداشت ($p>0/05$). مقدار کانال V برای چشم روند نزولی داشت و کم‌ترین مقدار در روز نهم ($V=0/298615$) اتفاق افتاد، مقدار این کانال برای آبشش در روز سوم کاهش یافت و بعد از آن تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۵٪ در روزهای نگهداری مشاهده نشد.

در فضای رنگی Lab، کانال L^* برای چشم روند کاهشی نشان می‌دهد. میانگین کانال L^* از $44/022$ (روز صفر) به $28/677$ (روز نهم) کاهش یافت که کم‌ترین مقدار آن نیز در روز نهم بود که میان روزهای نگهداری با تیمار شاهد اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵٪ وجود دارد؛ این کاهش نشان می‌دهد نمونه‌ها در طی روند نگهداری تمایل به تیره‌شدن دارند. مقدار کانال L^* برای آبشش در روز سوم به‌صورت معنی‌داری کاهش یافت ($p<0/05$) و کم‌ترین مقدار در روز هفتم ($L^*=21/99308$) مشاهده گردید. طی پژوهشی که آبدانان مهدی زاده و همکاران [۳۰] بر روی تغییرات رنگ آبمیوه در طول فرآیند انبارمانی انجام دادند، مشخص گردید که تغییرات L^* زوال در آب میوه‌ها نسبت به دیگر کانال‌های رنگی بهتر نشان می‌دهد. کانال a^* مولفه قرمز-سبز را نشان می‌دهد که قرمز برای مقادیر مثبت و سبز برای مقادیر منفی است [۳۱]. مقدار این کانال برای چشم از روز صفر تا هفتم روند ثابتی داشت و روز نهم مقدار آن افزایش یافت. برای آبشش مقدار کانال a^* در روز اول بیش‌ترین مقدار خود را داشت و از روز سوم تا نهم روندی کاهشی دیده شد. کاهش مقادیر



شکل (۶) نمودار تغییرات ویژگی‌های بافتی چشم و آبشش در طول ذخیره سازی (a) درجه تباین، (b) همبستگی، (c) همگنی، (d) انرژی، (e) آنتروپی

Fig . 6 Variation of textural characteristics of eye and gill during the storage a) contrast, b) correlation, c) homogeneity, d) energy, e) entropy



ادامه شکل (۶) نمودار تغییرات ویژگی‌های بافتی چشم و آبشش در طول ذخیره سازی (a) درجه تباین، (b) همبستگی، (c) همگنی، (d) انرژی، (e) آنترپی

Fig. 6 Variation of textural characteristics of eye and gill during the storage a) contrast, b) correlation, c) homogeneity, d) energy, e) entropy

دو متغیر را نشان می‌دهد. بر اساس آنالیز همبستگی و ضرایب به‌دست آمده مشخص گردید که pH چشم و کانال‌های رنگی H و L و pH آبشش و کانال رنگی H همبستگی معنی‌داری در سطح احتمال ۱٪ دارند. کانال H برای چشم ارتباط مستقیم و برای آبشش ارتباط غیر مستقیم وجود دارد، یعنی با افزایش این کانال مقدار pH کاهش می‌یابد. هم‌چنین pH چشم با کانال‌های G, R و B به ترتیب با ضریب همبستگی ۰/۷۳، ۰/۸ و ۰/۶۶ ارتباط معنی‌داری در سطح احتمال ۵٪ وجود دارد. بین TVBN چشم و ویژگی بافتی همگنی، همبستگی معنی‌داری در سطح احتمال ۱٪ ($R=0.85$) و با ویژگی تباین در سطح احتمال ۵٪ وجود دارد ($R=0.69$). هم‌چنین بین TVBN و کانال رنگی H (آبشش)

مقدار ۱۷۰۴۰۷/۷ با روزهای دیگر دارای اختلاف معنی‌داری بود ($p < 0.05$). بعد از روز سوم این روند به‌صورت نزولی تغییر پیدا کرد و بین روزهای دوم و چهارم هم‌چنین روزهای اول و پنجم اختلاف معنی‌داری مشاهده نگردید ($p > 0.05$). روند تغییرات آنترپی برای آبشش مشابه تغییرات چشم بود.

روش الگوریتم

فیشر و هم‌چنین تعیین ارتباط معنی‌دار میان ویژگی‌های مخرب، غیرمخرب و ویژگی‌های حسی آنالیز همبستگی میان ویژگی‌های استخراج شده از تصاویر (ویژگی‌های غیرمخرب) و پارامترهای شیمیایی (ویژگی‌های مخرب) و ویژگی‌های حسی صورت پذیرفت (جدول ۴ و ۵). آنالیز همبستگی، نوع و میزان رابطه بین

جدول (۴) آنالیز همبستگی بین پارامترهای مخرب (ویژگی‌های شیمیایی) و غیرمخرب (ویژگی‌های استخراج شده از تصویر(چشم)) و ویژگی‌های حسی.

Table 4 Correlation analysis between the destructive parameter (chemical features) and non- the destructive parameter (features extracted from the image(eye)) and sensory features.

پذیرش کلی General acceptance	بو smell	رنگ color	TVBN	pH	آنترپی entropy	همگنی homogeneity	انرژی energy	همبستگی Correlation	تباين contrast	B	a	L	V	S	H	B	C	R	
																		1	R
																	1	0.95 ^{ns}	G
															1	0.95 ^{ns}	0.85 ^{ns}	0.85 ^{ns}	B
														1	-0.59*	-0.72**	-0.81 ^{ns}	-0.81 ^{ns}	H
													1	0.11 ^{ns}	-0.39 ^{ns}	-0.44 ^{ns}	-0.27**	-0.27**	S
												1	-0.22 ^{ns}	-0.73**	0.95 ^{ns}	0.97 ^{ns}	0.95 ^{ns}	0.95 ^{ns}	V
											1	0.97 ^{ns}	-0.42 ^{ns}	-0.73**	0.95 ^{ns}	0.99 ^{ns}	0.96 ^{ns}	0.96 ^{ns}	L
										1	-0.68 ^{sp}	-0.55*	0.87 ^{ns}	0.33 ^{ns}	-0.67**	-0.70**	-0.52*	-0.52*	A
										1	0.06 ^{ns}	0.08 ^{ns}	0.02 ^{ns}	0.01 ^{ns}	-0.41 ^{ns}	-0.22 ^{ns}	0.07 ^{nc}	0.29 ^{ns}	B
									1	-0.30 ^{ns}	-0.18 ^{ns}	0.35 ^{ns}	0.34 ^{ns}	-0.19 ^{ns}	-0.10 ^{ns}	0.43 ^{ns}	0.34 ^{ns}	0.29 ^{ns}	تباين contrast
								1	-0.24 ^{ns}	0.15 ^{ns}	-0.12 ^{ns}	0.03 ^{ns}	0.06 ^{ns}	0.08 ^{ns}	-0.15 ^{ns}	-0.005 ^{ns}	0.050 ^{ns}	0.03 ^{ns}	همبستگی Correlation
							1	0.33 ^{ns}	-0.61*	0.12 ^{ns}	0.21 ^{ns}	-0.07 ^{ns}	-0.001 ^{ns}	0.35 ^{ns}	-0.02 ^{ns}	-0.09 ^{ns}	-0.07 ^{ns}	-0.01 ^{ns}	انرژی energy
						1	0.70**	0.01 ^{ns}	-0.87 ^{ns}	0.23 ^{ns}	0.12 ^{ns}	-0.26 ^{ns}	-0.28 ^{ns}	0.05 ^{ns}	0.15 ^{ns}	-0.33 ^{ns}	-0.25 ^{ns}	-0.22 ^{ns}	همگنی Homogeneity
					1	-0.61*	-0.94 ^{ns}	-0.48 ^{ns}	0.64*	-0.13 ^{ns}	-0.14 ^{ns}	0.11 ^{ns}	0.03 ^{ns}	-0.34 ^{ns}	-0.006 ^{ns}	0.13 ^{ns}	0.10 ^{ns}	0.07 ^{ns}	آنترپی entropy
				1	-0.024 ^{ns}	-0.38 ^{ns}	-0.02 ^{ns}	0.26 ^{ns}	0.23 ^{ns}	0.10 ^{ns}	-0.23 ^{ns}	0.79 ^{sp}	0.86**	0.08 ^{ns}	-0.81**	0.66*	0.79*	0.72*	pH
			1	-0.68**	-0.09 ^{ns}	0.84**	0.19 ^{ns}	-0.15 ^{ns}	-0.69*	0.68 ^{ns}	0.10 ^{ns}	-0.21 ^{ns}	-0.30 ^{ns}	-0.12 ^{ns}	0.24 ^{ns}	-0.33 ^{ns}	-0.22 ^{ns}	-0.15 ^{ns}	TVBN
		1	-0.53*	0.82**	0.18 ^{ns}	-0.37 ^{ns}	-0.01 ^{ns}	-0.07 ^{ns}	0.34 ^{ns}	-0.07 ^{ns}	-0.40 ^{ns}	0.78**	0.82**	-0.13 ^{ns}	-0.80**	0.79**	0.77**	0.76**	رنگ color
	1	0.98**	-0.70*	0.85**	0.13 ^{ns}	-0.36 ^{ns}	-0.11 ^{ns}	-0.01 ^{ns}	0.32 ^{ns}	-0.02 ^{ns}	-0.37 ^{ns}	0.73**	0.78**	-0.08 ^{ns}	-0.79**	0.73**	0.73**	0.72**	بو smell
1	0.99**	0.98**	-0.60*	0.85**	0.13 ^{ns}	-0.38 ^{ns}	-0.11 ^{ns}	-0.01 ^{ns}	0.36 ^{ns}	-0.02 ^{ns}	-0.37 ^{ns}	0.75**	0.80**	-0.08 ^{ns}	-0.80**	0.75**	0.75**	0.74**	پذیرش کلی General acceptance

*،** و ^{ns} به ترتیب معنی‌داری در سطح ۵ درصد، ۱ درصد و عدم معنی‌داری را نشان می‌دهد.

*،** and ^{ns} significant at the level of 1 and 5 percent and non-significant, respectively.

جدول (۵) آنالیز همبستگی بین پارامترهای مخرب (ویژگی‌های شیمیایی) و غیرمخرب (ویژگی‌های استخراج شده از تصویر(آبشش)) و ویژگی‌های حسی.

Table 5 Correlation analysis between the destructive parameter(chemical features) and non- the destructive parameter(features extracted from the image(gill)) and sensory.

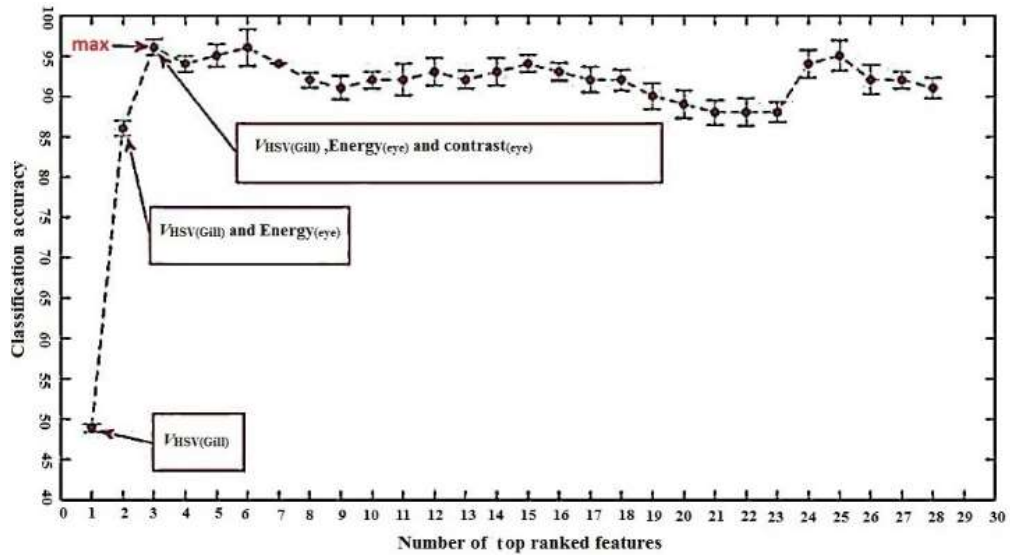
پذیرش کلی General acceptance	بو smell	رنگ color	TVBN	pH	آنترپی entropy	همگنی homogeneity	انرژی energy	همبستگی Correlation	تباين contrast	B	a	L	V	S	H	B	G	R		
																		1	R	
																		1	0.88 ^{ns}	G
																1	0.93 ^{ns}	0.95 ^{ns}	B	
															1	0.06 ^{ns}	-0.10 ^{ns}	0.11 ^{ns}	H	
														1	0.48 ^{ns}	0.04 ^{ns}	-0.09 ^{ns}	0.27 ^{ns}	S	
													1	0.28 ^{ns}	0.11 ^{ns}	0.95 ^{ns}	0.88 ^{ns}	1 ^{ns}	V	
											1	0.96 ^{ns}	0.05 ^{ns}	-0.09 ^{ns}	0.96 ^{ns}	0.93 ^{ns}	0.96 ^{ns}		L	
										1	0.58 [*]	0.77 ^{**}	0.73 ^{**}	0.59 [*]	0.64 ^{**}	0.46 ^{ns}	0.77 ^{**}		A	
										1	-0.33 ^{ns}	-0.04 ^{ns}	-0.10 ^{ns}	0.04 ^{ns}	-0.61 [*]	-0.28 ^{ns}	-0.09 ^{ns}	-0.10 ^{ns}	B	
									1	0.17 ^{ns}	-0.004 ^{ns}	-0.29 ^{ns}	-0.22 ^{ns}	0.27 ^{ns}	0.20 ^{ns}	-0.32 ^{ns}	-0.32 ^{ns}	-0.22 ^{ns}	تباين contrast	
								1	0.01 ^{ns}	0.05 ^{ns}	0.01 ^{ns}	0.03 ^{ns}	0.02 ^{ns}	0.01 ^{ns}	-0.15 ^{ns}	0.009 ^{ns}	0.008 ^{ns}	0.02 ^{ns}	همبستگی Correlation	
							1	0.30 ^{ns}	-0.54 [*]	0.17 ^{ns}	-0.04 ^{ns}	0.25 ^{ns}	0.17 ^{ns}	-0.09 ^{ns}	-0.48 ^{ns}	0.18 ^{ns}	0.23 ^{ns}	0.17 ^{ns}	انرژی energy	
						1	0.88 ^{ns}	0.07 ^{ns}	-0.70 ^{**}	0.07 ^{ns}	0.02 ^{ns}	0.43 ^{ns}	0.33 ^{ns}	-0.17 ^{ns}	-0.46 ^{ns}	0.38 ^{ns}	0.40 ^{ns}	0.33 ^{ns}	همگنی Homogeneity	
					1	-0.69 ^{**}	-0.85 ^{ns}	-0.30 ^{ns}	0.51 ^{ns}	-0.18 ^{ns}	-0.23 ^{ns}	-0.28 ^{ns}	-0.30 ^{ns}	-0.28 ^{ns}	0.25 ^{ns}	-0.23 ^{ns}	-0.22 ^{ns}	-0.30 ^{ns}	آنترپی entropy	
				1	-0.07 ^{ns}	-0.22 ^{ns}	-0.09 ^{ns}	-0.45 ^{ns}	-0.06 ^{ns}	0.14 ^{ns}	-0.26 ^{ns}	-0.40 ^{ns}	-0.37 ^{ns}	-0.02 ^{ns}	0.82 ^{**}	-0.40 ^{ns}	-0.36 ^{ns}	-0.37 ^{ns}	pH	
			1	-0.1 ^{ns}	-0.09 ^{ns}	0.40 ^{ns}	0.17 ^{ns}	-0.10 ^{ns}	-0.22 ^{ns}	-0.08 ^{ns}	0.020 ^{ns}	0.29 ^{ns}	0.86 ^{**}	-0.17 ^{ns}	-0.69 [*]	0.284 ^{ns}	0.26 ^{ns}	0.21 ^{ns}	TVBN	
		1	-0.53 [*]	0.82 ^{**}	0.89 ^{**}	-0.35 ^{ns}	-0.35 ^{ns}	0.008 ^{ns}	-0.08 ^{ns}	-0.16 ^{ns}	0.39 ^{ns}	0.65 [*]	0.33 ^{ns}	0.11 ^{ns}	0.42 ^{ns}	0.29 ^{ns}	0.30 ^{ns}	0.33 ^{ns}	رنگ color	
	1	0.94 ^{**}	-0.70 [*]	0.85 ^{**}	0.15 ^{ns}	-0.29 ^{ns}	-0.55 [*]	0.08 ^{ns}	-0.03 ^{ns}	-0.09 ^{ns}	0.30 ^{ns}	0.81 ^{**}	0.27 ^{ns}	0.11 ^{ns}	0.32 ^{ns}	0.23 ^{ns}	0.27 ^{ns}	0.27 ^{ns}	بو smell	
1	0.98 ^{**}	0.98 [*]	-0.60 [*]	0.85 ^{**}	-0.18 ^{ns}	-0.32 ^{ns}	-0.33 ^{ns}	0.04 ^{ns}	-0.01 ^{ns}	-0.12 ^{ns}	0.39 ^{ns}	0.76 [*]	0.34 ^{ns}	0.19 ^{ns}	0.39 ^{ns}	0.29 ^{ns}	0.29 ^{ns}	0.34 ^{ns}	پذیرش کلی General acceptance	

*،**،* و ^{ns} به ترتیب معنی‌داری در سطح ۵ درصد، ۱ درصد و عدم معنی‌داری را نشان می‌دهد.
*،**and ^{ns} significant at the level of 1 and 5 percent and non-significant, respectively.

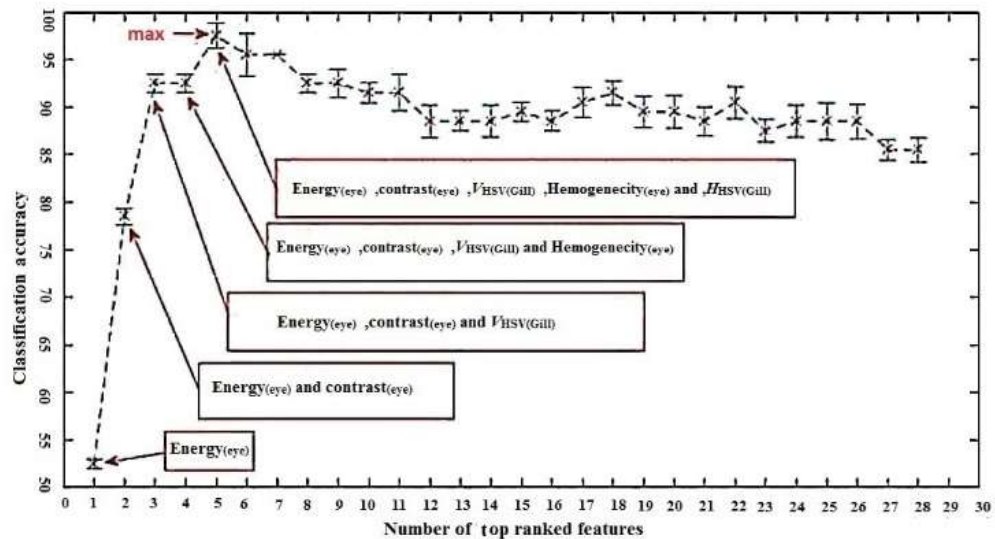
در ۱۰۰ تکرار محاسبه گردید. اولین ویژگی ورودی به طبقه‌بند QDA کانال V از فضای رنگی HSV استخراج شده از آبشش ماهی بود که با ورود این ویژگی دقت طبقه‌بند ۰/۴۹ گردید. با اضافه شدن دو ویژگی انرژی و تباین استخراج شده از چشم ماهی، دقت طبقه‌بند به ترتیب به ۸۶ و ۹۶٪ رسید. با توجه به اضافه شدن دیگر ویژگی‌ها دقت طبقه‌بند مطابق شکل ۷-a نشان به صورت جزئی کاهش می‌یابد. همان‌طور که در شکل ۷-a نشان داده شده بیشترین دقت طبقه‌بند (۰/۹۶) با دریافت سه ویژگی اول بود؛ هر چند این مقدار با ورود سه ویژگی آنتروپی که از چشم استخراج شده، V_HSV و H_HSV استخراج شده از آبشش، به بردار ویژگی تکرار می‌شود، اما به منظور افزایش سرعت محاسباتی و کاهش هزینه زمانی سه ویژگی اول (V_HSV استخراج شده از آبشش، انرژی و تباین استخراج شده از چشم ماهی، به‌عنوان بهترین و تأثیر گذارترین ویژگی‌ها به منظور طبقه‌بندی در طبقه‌بند QDA انتخاب گردیدند. شکل ۷-b نمودار دقت طبقه‌بند LDA را با توجه به ویژگی‌های ورودی به طبقه‌بند نشان می‌دهد. مطابق شکل ۷-b دقت طبقه‌بند با دریافت پنج ویژگی انرژی استخراجی از چشم، تباین استخراجی از چشم، V_HSV استخراجی از آبشش، یکنواختی استخراجی از چشم و H_HSV استخراجی از آبشش روند افزایش داشته و به ماکزیمم مقدار خود رسید (۰/۹۷/۵). دقت طبقه‌بند به ترتیب با اضافه شدن این پنج ویژگی ۵/۵۲، ۷۸، ۹۲، ۹۲ و ۰/۹۷/۵ شد. پس از آن با ورود دیگر ویژگی‌ها دقت طبقه‌بند بهبود نمی‌یابد. بنابراین این پنج ویژگی تأثیر گذارترین ویژگی‌های ورودی به طبقه‌بند می‌باشند و به‌عنوان بهترین ویژگی‌ها برای طبقه‌بندی با طبقه‌بند LDA انتخاب گردیدند. در پژوهشی دیگر دولتی و همکاران [۳۷] پیشنهاد کردند با استفاده از ترکیب مدل رگرسیونی و هوش مصنوعی از طریق چشم و رنگ آبشش، می‌توان تازگی را تشخیص داد. نتایج نشان داد، برای ارزیابی تازگی ماهی، پارامترهای رنگی آبشش تا حدودی بهتر از چشم است. این نتیجه با توجه به اینکه در پژوهش حاضر و روش انتخاب ویژگی تنها پارامتر رنگی موجود V_HSV و H_HSV استخراج شده از آبشش می‌باشند و هیچ کانال رنگی از چشم توسط روش فیشر در الویت انتخاب قرار نداشت در یک راستا می‌باشد.

همبستگی معنی‌داری در سطح احتمال ۵٪ ($R=0/69$) و با کانال V (آبشش) در سطح احتمال ۱٪ وجود دارد ($R=0/85$) این مساله نشان از صحت انتخاب این ویژگی‌ها توسط الگوریتم فیشر می‌باشد. هم‌چنین مشخص شد که ویژگی‌های حسی رنگ، بو و پذیرش کلی چشم و کانال‌های رنگی R، G، B، H، V و L همبستگی معنی‌داری در سطح احتمال ۱٪ دارند. در پژوهشی که جرارد و همکاران [۳۴] برای تعیین رنگ گوشت با کمک پردازش تصویر انجام دادند به این نتیجه رسیدند که ویژگی حسی رنگ با کانال‌های R و G همبستگی معنی‌داری دارد ($R=0/86$). هم‌چنین تان [۳۵] ویژگی‌های کیفی گوشت را به کمک بینایی ماشین محاسبه کرد و به این نتیجه رسید که بین ویژگی حسی رنگ و کانال‌های R و G ارتباط معنی‌داری با مقدار $R=0/86$ وجود دارد. بین سه ویژگی حسی (رنگ، بو و پذیرش کلی) و pH و TVBN نیز همبستگی معنی‌داری به ترتیب در سطح احتمال ۱٪ وجود دارد. ویژگی‌های حسی آبشش تنها با کانال رنگی L همبستگی معنی‌داری در سطح احتمال ۱٪ دارند. بین رنگ آبشش و ویژگی بافتی آنتروپی هم‌چنین بین بو و ویژگی بافتی انرژی همبستگی نیز به ترتیب با $R=0/89$ و $R=0/85$ معنی‌داری مشاهده شد ($p<0/01$). در پژوهشی وانگ فنگ و همکاران [۱۳] از رابطه بین انرژی تصویر و مقادیر pH و VTBN با مدل رگرسیونی برای تعیین تازگی استفاده کردند. با توجه به نمودار و ضریب رگرسیون، مشخص شد که سه متغیر در توضیح معادله رگرسیون نقش حیاتی دارند و ویژگی انرژی در تعیین pH تأثیر گذارتر است. به‌علاوه مشخص شد که به کمک انرژی تصاویر چشم ماهی به سرعت و با دقت بیش‌تر تازگی تشخیص داده شد و نیاز به اندازه‌گیری‌های سخت و وقت‌گیر pH و VTBN نیست. کاسترو و همکاران [۳۶] تأثیر شرایط ذخیره‌سازی مختلف ماهی را بر سطوح TVBN بررسی کردند و مشاهده کردند که تفاوت معنی‌داری بین مقادیر TVBN نمونه‌های تازه و ذخیره‌شده در دمای 4°C برای ۷ روز وجود ندارد.

به‌منظور طبقه‌بندی داده‌ها به نمودارهایی که روند نوسانی دارند و بین این نوسانات اختلاف معنی‌داری وجود دارد نیاز می‌باشد. بعد از تعیین ضریب فیشر و مرتب‌سازی ویژگی‌ها به‌منظور انتخاب مناسب‌ترین و تأثیر گذارترین آن‌ها، ویژگی‌ها بر اساس بزرگی ضریب فیشر وارد طبقه‌بندها شده و دقت کلی طبقه‌بندها



(a)



(b)

شکل (۷) نمودار دقت طبقه‌بندی QDA(a) و LDA(b) بر اساس تعداد ویژگی‌های انتخاب شده
 Fig.7. Classification results of QDA(a) and LDA(b) based on the number of selected features

جدول (۶) نتیجه طبقه‌بندی گروه‌ها بر اساس ویژگی‌های چشم و آبشش با طبقه‌بند QDA.

Table 6 The result of classification of groups based on eye and gill characteristics with QDA.

True group	1	100%	0	0	0	0	100%	0%
	2	0	80%	20%	0	0	80%	20%
	3	0	0	90%	10%	0	90%	10%
	4	0	0	5%	95%	0	95%	5%
	5	0	0	0	0	100%	100%	0%
		1	2	3	4	5	TPR	FNR
		Forecasted group						

جدول (۷) نتیجه طبقه‌بندی گروه‌ها براساس ویژگی‌های چشم و آبشش با طبقه‌بند LDA.
Table 7 The result of classification of groups based on eye and gill characteristics with LDA.

True group	1	100%	0	0	0	0	100%	0%
	2	0	85%	15%	0	0	85%	15%
	3	0	0	95%	5%	0	95%	5%
	4	0	0	0	100%	0	100%	0%
	5	0	0	0	0	100%	100%	0%
		1	2	3	4	5	TPR	FNR
		Forecasted group						

خروجی تشخیص دادند. هم‌چنین دوتا و همکاران [۱۷] از پردازش تصویر و روش مبتنی بر تبدیل موجک برای تعیین تفاوت کیفی بین ماهی‌های بدون سپرمتین و ماهی‌های با سپرمتین استفاده کردند. بر اساس نتایج بافت آبشش به‌عنوان بافت کانونی برای پردازش تصویر انتخاب و دقت طبقه‌بند ماشین بردار پشتیبان در گروه‌بندی دقت ۹۵ تا ۱۰۰٪ گزارش گردید. با توجه به پژوهش‌های یاد شده روش پیشنهادی در این مطالعه با ترکیب ویژگی‌های رنگی و بافتی دقت بالاتری در طبقه‌بندی ماهی و تشخیص تازگی آن داشته است. در پژوهشی دافور و همکاران [۳۹] از یک روش سریع مبتنی بر طیف سنجی فلوئورسانس برای بررسی تازگی ماهی استفاده کردند. نتایج دقت طبقه‌بندی برای طیف‌های AAA+NA و Trip در کالیبراسیون و اعتبارسنجی به ترتیب ۹۳ و ۷۴، ۸۸/۵ و ۵۶٪ مشاهده شد. در پژوهشی دیگر خجسته نژاد و همکاران [۴۰] تصویربرداری فراطیفی نزدیک مادون قرمز قابل مشاهده و موج کوتاه مادون قرمز را برای ارزیابی تازگی ماهی را در چهار زمان انبارمانی ۱، ۳، ۵ و ۷ روز مقایسه کردند. بر اساس نتایج، دقت طبقه‌بندی به ترتیب ۱۰۰ و ۷۵٪ را برای VIS-NIR و SWIR به‌دست آمد.

۴. نتیجه‌گیری

در پژوهش حاضر به‌منظور تشخیص تازگی ماهی از رابطه بین رنگ و بافت چشم و آبشش به کمک سامانه بینایی ماشین در طول فرایند انبارمانی استفاده شد. ویژگی‌های استخراج شده شامل ویژگی‌های رنگی شامل میانگین تمامی کانال‌های فضاهای

نتایج طبقه‌بندی داده‌ها با دو طبقه‌بند LDA و QDA در جداول ۶ و ۷ آورده شده است. مطابق جدول (۶) دقت طبقه‌بند QDA در تشخیص روز اول یعنی تازه‌ترین نمونه، ۱۰۰٪ و در روز دوم دقت طبقه‌بند ۸۰٪ است که بیش‌ترین خطا هم مربوط به همین روز است؛ در روز سوم و چهارم با ۱۰ و ۵٪ خطا، دقت طبقه‌بند ۹۰ و ۹۵٪ به‌دست آمد و در نهایت در روز پنجم خطا مجدد صفر، معادل دقت ۱۰۰٪ گردید. با ترکیب ویژگی‌های چشم و آبشش دقت کلی طبقه‌بند به ۹۳٪ به‌دست آمد که نشان از توانایی بالای این طبقه‌بند در درجه‌بندی نمونه‌ها بر اساس روز بعد از انبارمانی می‌باشد. در طبقه‌بندی با طبقه‌بند LDA و شش ویژگی انتخاب شده همانطور که در جدول (۷) نشان داده شده، دقت طبقه‌بند در روز اول به بیش‌ترین حالت ممکن (۱۰۰٪) بود. میزان دقت طبقه‌بند در روز دوم با افزایش ۱۵ درصدی خطا به ۸۵٪ رسید که این میزان خطا در دوره دوم ۱۰٪ کاهش داشت و در روز چهارم و پنجم به صفر رسید. بنابراین همان‌طور که در جدول (۷) نشان داده شده است دقت تشخیص تازگی با استفاده از طبقه‌بند LDA در روزهای اول، چهارم و پنجم ۱۰۰٪ می‌باشد و دقت کلی طبقه‌بند LDA با ترکیب شش ویژگی آبشش و چشم ۹۶٪ بود. که نشان از توانایی و قدرت بسیار خوب در تشخیص تازگی ماهی کپور توسط الگوریتم‌های توسعه یافته می‌باشد و می‌توان از آن برای طبقه‌بندی تازگی ماهی کپور در تجارت این گونه ماهی استفاده نمود. در پژوهشی محمد و همکاران [۳۸] از شاخص‌های رنگی (RGB) استخراج شده از چشم و آبشش ماهی و تکنولوژی منطق فازی استفاده کردند و تازگی ماهی را با ۴۴٪ خطا در

LDA و QDA به ترتیب با دقت ۹۳ و ۹۶٪ عمل طبقه‌بندی داده‌ها را انجام دادند که این مساله نشان از توانایی بالای این دو طبقه‌بند می‌باشد.

تشکر و قدردانی

بدین وسیله نویسندگان از حمایت مالی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان قدردانی می‌نمایند.

رنگی RGB، lab و HSV و ویژگی‌های بافتی شامل: تباین، همبستگی، انرژی و همگنی بودند که از میان این ویژگی‌ها V_HSV استخراج شده از آبشش، انرژی و تباین استخراج شده از چشم ماهی در طبقه بند QDA و ویژگی‌های انرژی استخراجی از چشم، تباین استخراجی از چشم، V_HSV استخراجی از آبشش، یکنواختی استخراجی از چشم و H_HSV استخراجی از آبشش در طبقه بند LDA به‌عنوان مناسب‌ترین و تأثیر گذارترین ویژگی‌ها استفاده شدند. مطابق نتایج طبقه‌بندی، الگوریتم

منابع

- [10] Hassoun, A. and Karoui, R. (2015). Front-face fluorescence spectroscopy coupled with chemometric tools for monitoring fish freshness stored under different refrigerated conditions. *Food Control.*, 54, 240-249
- [11] Chung, W. Y., Le, G. T., Tran, T. V., Nguyen, N. H. (2017). Novel proximal fish freshness monitoring using batteryless smart sensor tag. *Sens. Actuators., B.*, 248, 910-916.
- [12] McCaig, T. N. (2002). Extending the use of visible/near-infrared reflectance spectrophotometers to measure colour of food and agricultural products. *Food Res. Int.*, 35(8), 731-736.
- [13] 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., 8761, 87610A.
- [14] Zion, B., Alchanatis, V., Ostrovsky, V., Barki, A., Karplus, I. (2007). Real-time underwater sorting of edible fish species. *Comput. Electron Agric.*, 56(1), 34-45.
- [15] Dutta, Malay Kishore, Singh, Anushikha, Ghosal, Sabari. (2015). A computer vision based technique for identification of acrylamide in potato chips. *Comput. Electron. Agric.*, 119, 40-50.
- [16] Camargo, A., Smith, J.S. (2009). An image-processing based algorithm to automatically identify plant disease visual symptoms. *Biosys. Eng.*, 102 (1), 9-21.
- [17] Dutta, Malay Kishore, Issac, Ashish, Minhas, Navroj, Sarkar, Biplab. (2016). Image processing based method to assess fish quality and freshness. *J. Food Eng.*, 177, 50-58.
- [18] Gowen, A.A., O'Donnell, C.P., Cullen, P.J., Downey, G., Frias, J.M. (2007). Hyperspectral imaging – an emerging process analytical tool for food quality and safety control. *Trends Food Sci. Technol.*, 18 (12), 590-598.
- [1] Hammond, J., Marquis, B., Michaels, R., Oickle, B., Segee, B., Vetelino, J., Bushway, A., Camire, M.E. and Davis-Dentici, K. (2002). A semiconducting metal-oxide array for monitoring fish freshness. *Sens. Actuators., B.*, 84(2-3), 113-122.
- [2] Zhai, X., Shi, J., Zou, X., Wang, S., Jiang, C., Zhang, J., Huang, X., Zhang, W., Holmes, M. (2017). Novel colorimetric films based on starch/polyvinyl alcohol incorporated with roselle anthocyanins for fish freshness monitoring. *Food Hydrocoll.*, 69, 308-317.
- [3] Goon, S., Bipasha, M., Islam, M. S., Hossain, M. B. (2014). Fish marketing status with formalin treatment in Bangladesh. *Int. J. Public Health Sci.*, 3(2), 95-100.
- [4] Issac, A., Dutta, M. K., Sarkar, B. (2017). Computer vision based method for quality and freshness check for fish from segmented gills. *Comput Electron Agric.*, 139, 10-21.
- [5] WHO. World Health Organization, 2005. Avoiding heart attacks and strokes: don't be a victim-protect yourself. World Health Organization. Available from: http://www.who.int/cardiovascular_diseases/resources/avoid_heart_attack_report/en/index.html. Accessed Aug 7, 2012.
- [6] Neale, E. P., NOLAN-CLARK, D., Probst, Y. C., Batterham, M. J., Tapsell, L. C. (2012). Comparing attitudes to fish consumption between clinical trial participants and non-trial individuals. *Nutr Diet.*, 69(2), 124-129.
- [7] Olsen, S. O. (2004). Antecedents of seafood consumption behavior: An overview. *J. Aquat Food Prod Technol.*, 13(3), 79-91.
- [8] Verbeke, W., Vackier, I. (2005). Individual determinants of fish consumption: application of the theory of planned behaviour. *Appetite.*, 44(1), 67-82.
- [9] Alasalvar, C., Miyashita, K., Shahidi, F., Wanasundara, U. (2011). (Eds.), Handbook of seafood quality, safety and health applications. John Wiley., Sons.

- مرکبات در خلال انبارمانی با کمک پردازش تصویر. پژوهش‌های علوم و صنایع غذایی ایران، پژوهش‌های علوم و صنایع غذایی ایران، جلد ۱۳، شماره ۲، ص ۲۷۲-۲۶۲.
- [31] Guzmán, E., Baeten, V., Fernández Pierna, J. A., García-Mesa, J. A. (2015) Determination of the Olive Maturity Index of Intact Fruits Using Image Analysis. *Food Sci. Technol.*, 52 (3), 1462-1470.
- [32] Quevedo, R., Jaramillo, M., Diaz, O., Pedreschi, F., Aguilera, J. M. (2009). Quantification of enzymatic browning in apple slices applying the fractal texture Fourier image. *J. Food Eng.*, 95(2), 285-290.
- [33] Quevedo, R., Valencia, E., Bastías, J. M., Cárdenas, S. (2013, October). Description of the enzymatic browning in avocado slice using GLCM image texture. In Pacific-Rim Symposium on Image and Video Technology pp 93-101. Springer, Berlin, Heidelberg.
- [34] Gerrard, D. E., Gao, X., Tan, J. (1996). Beef marbling and color score determination by image processing. *Food Sci.*, 61(1), 145-148.
- [35] Tan, J. (2004). Meat quality evaluation by computer vision. *J. Food Eng.*, 61(1), 27-35.
- [36] Castro, P., Millan, R., Penedo, J. C., Sanjuan, E., Santana, A., Caballero, M. J. (2012). Effect of storage conditions on total volatile base nitrogen determinations in fish muscle extracts. *J. Aquat Food Prod. Technol.*, 21(5), 519-523
- [37] 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. *J. Food Eng.*, 119(2), 277-287.
- [38] Muhamad, F., Hashim, H., Jarmin, R., Ahmad, A. (2009, December). Fish freshness classification based on image processing and fuzzy logic. In Proceedings of the 8th WSEAS International Conference on Circuits, Systems, Electronics, Control. 109-115.
- [39] Dufour, É, Frencia, J. P., Kane, E. (2003). Development of a rapid method based on front-face fluorescence spectroscopy for the monitoring of fish freshness. *Food Res. Int.*, 36(5), 415-423.
- [40] Khojastehnazhand, M., Khoshtaghaza, M. H., Mojaradi, B., Rezaei, M., Goodarzi, M., Saeys, W. (2014). Comparison of visible-near infrared and short wave infrared hyperspectral imaging for the evaluation of rainbow trout freshness. *Food Res. Int.*, 56, 25-34.
- [۱۹] نعمتی‌نیا، الف؛ آبدانان مهدی‌زاده، س؛ ناصحی، ب. (۱۳۹۶) اندازه‌گیری پارامترهای رنگ در اسپاگتی با استفاده از سیستم بینایی ماشین، *علوم و صنایع غذایی ایران*، جلد ۱۴، شماره ۷۳، ص ۸۱-۷۱.
- [۲۰] سلطانی کاظمی، م؛ آبدانان مهدی‌زاده، س. (۱۳۹۵) ساخت، توسعه و ارزیابی سامانه جداکننده توت فرنگی با استفاده از تکنولوژی بینایی، *نشریه پژوهش‌های مکانیک ماشین‌های کشاورزی*، جلد ۶، شماره ۱، ص ۶۹-۶۱.
- [21] Gosselin, P. H., Murray, N., Jégou, H., Perronnin, F. (2014). Revisiting the fisher vector for fine-grained classification. *Pattern Recognit. Let.*, 49, 92-98.
- [۲۲] آبدانان مهدی‌زاده، س، سلطانی کاظمی، م. (۱۳۹۵) ساخت و ارزیابی سامانه تشخیص تراکم توده زنبور درون کندو با استفاده از بینایی ماشین، *مهندسی بیوسیستم ایران*، جلد ۴۷، شماره ۱، ص ۲۹-۲۱.
- [23] Fedikow, M. A. F., Parbery, D., Ferreira, K. J. (1991). Geochemical target selection along the Agassiz Metalloctect utilizing stepwise discriminant function analysis. *Econ Geol.*, 86(3), 588-599.
- [24] Wu, W., Mallet, Y., Walczak, B., Penninckx, W., Massart, D. L., Heuerding, S., Erni, F. (1996). Comparison of regularized discriminant analysis linear discriminant analysis and quadratic discriminant analysis applied to NIR data. *Anal. Chim. Acta.*, 329(3), 257-265.
- [25] Qiao, M., Fletcher, D. L., Smith, D. P., Northcutt, J. K. (2001). The effect of broiler breast meat color on pH, moisture, water-holding capacity, and emulsification capacity. *Poult. Sci.*, 80(5), 676-680.
- [26] Wu, W., Mallet, Y., Walczak, B., Penninckx, W., Massart, D. L., Heuerding, S. Erni, F. (1996). Comparison of regularized discriminant analysis linear discriminant analysis and quadratic discriminant analysis applied to NIR data. *Anal. Chim. Acta.*, 329(3), 257-265.
- [27] Masniyom, P. (2011). Deterioration and shelf-life extension of fish and fishery products by modified atmosphere packaging. *J.Sci. Technol.*, 33 (2), 181-192.
- [28] Lie, O. (2001). Flesh quality-the role of nutrition. *Aquacult Res*, 32 (s1), 341-348.
- [29] Thanonkaew, A., Benjakul, S., Vissessanguan, W., Decker, E.A. (2006). The effect of metal ions on lipid oxidation, color and physicochemical properties of cuttlefish (*Sepia pharaonis*) subjected to multiple freeze-thaw cycles. *Food Chem.*, 95 (4), 591-599.
- [۳۰] آبدانان مهدی‌زاده، س، نوری، م، سلطانی کاظمی، م، امرایی، س. (۱۳۹۵). بررسی غیرمخرب فاکتورهای کیفی آبمیوه