

سنجش کیفیت ماهی با استفاده از ماشین بینایی (مطالعه‌ی موردی: قزل آلاهی رنگین کمان *Oncorhynchus mykiss*)

حسن صفی‌یاری^{۱*}، محمد حسن گرامی^۲، عبدالعباس جعفری^۳، مرضیه موسوی نسب^۴

۱- دانشجوی دکتری، گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز

۲- دانشجوی دکتری، باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان، واحد شیراز، دانشگاه آزاد اسلامی، شیراز، ایران

۳- استادیار، گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز

۴- دانشیار، گروه علوم غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز

تاریخ پذیرش: ۹۴/۱/۱۶

تاریخ دریافت: ۹۳/۷/۱۳

*نویسنده مسئول مقاله: safiyari.hasan@gmail.com

چکیده

رابطه بین خصوصیات ظاهری و شیمیایی ماهی قزل‌آلا به‌منظور سنجش کیفیت آن با عکس‌برداری از ۷۵ عدد ماهی بررسی شد. برای بخش‌بندی و پردازش تصاویر از نرم افزار MATLAB استفاده شد. الگوریتم طراحی شده خصوصیات ظاهری ماهی، از جمله طول، ارتفاع، مساحت، محیط، قطر معادل، بزرگترین قطر و کوچکترین قطر استخراج شد. سپس خصوصیات شیمیایی ماهی، شامل pH، آب‌چک، پروتئین، چربی و محتوای رطوبتی، توسط روش‌های آزمایشگاهی اندازه‌گیری شد. سپس فاکتورهای یاد شده توسط معادله‌های رگرسیونی خطی، لگاریتمی، نمایی و توانی مورد آنالیز قرار گرفتند. نتایج نشان داد که در معادله‌ی درجه دوم، پروتئین و چربی با طول آبزی و رطوبت با محیط آبزی رابطه‌ی مستقیمی دارند (به ترتیب، $R^2 = 0.993, 0.991, 0.991, 0.998, 0.992$). در نهایت پژوهش حاضر نشان داد که این روش به‌خوبی می‌تواند در مزارع پرورشی به سنجش زنده‌ی کیفیت آبزیان پردازد.

کلید واژگان: پردازش تصاویر، آنالیز شیمیایی، قزل آلا، نرم افزار متلب

مقدمه

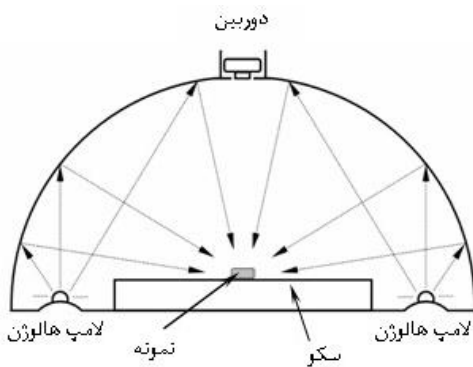
امروزه علم ماشین بینایی به عنوان ابزاری جدید به خوبی پیشرفت کرده است و در سنجش خودکار کیفیت، استفاده می‌گردد (Baxes, 1994; A. Luzuriaga et al., 1997). به‌طور کلی، ویژگی‌های ظاهری در آبزیان از اهمیت به‌سزایی برخوردار است و تغییرات کیفیت در آبزیان به‌خوبی در تغییرات ظاهری نمود پیدا می‌کند (Gümüş et al., 2011). ماشین‌های بینایی روش‌های غیرتخریبی هستند که می‌توانند با دقت بالا و بودن دستکاری به‌صورت زنده به سنجش کیفیت انواع مواد غذایی مبادرت ورزند (Gunasekaran, 1996; Brosnan and Sun, 2002). ماشین‌های بینایی، ویژگی‌های فیزیکی آبزیان نظیر اندازه، شکل و یا رنگ را به‌طور مستقیم و ویژگی‌های شیمیایی را به‌طور غیرمستقیم ارزیابی می‌کنند (Korel and Balaban, 2010). نحوه عملکرد این ماشین‌ها مانند چشم انسان به میزان و کیفیت نور برخواسته از نمونه بستگی دارد (Dowlati et al., 2012).

ماشین‌های بینایی از سوی بسیاری از محققان در مناطق مختلف ارزیابی شده است. Borderías و همکاران (۱۹۹۹) درصد چربی ماهی آزاد آتلانتیک (*Salmo salar*) را به‌وسیله پردازش تصاویر دیجیتالی تخمین زدند. Stien و همکاران (۲۰۰۷) میزان چربی فیله ماهی سالمون را هم از طریق روش‌های آزمایشگاهی و هم با استفاده از ماشین بینایی به‌دست آوردند. نتایج آنها نشان داد که یک رابطه قوی بین میزان چربی به‌دست آمده در دو روش وجود داشت (Mohebbi, R=0.84) و همکاران (۲۰۰۹) روشی را ابداع کردند که با استفاده از ماشین بینایی و سطوح مختلف کم شدن آب بدن و تغییر رنگ، به سنجش کیفیت میگو می‌پردازد.

1. Machine Vision

عوامل بسیارمانند فیزیکی، شیمیایی و یا میکروبی در تازگی و کیفیت ماهی تأثیرگذارند. آب‌چک، pH، پروتئین، چربی و رطوبت از عوامل مهمی هستند که در سنجش کیفیت آبزیان ارزیابی می‌شوند (Huss, 1995). تغییر در این عوامل می‌تواند بر ظاهر، طعم، مزه و بافت ماهی به‌طور مستقیم تأثیرگذار باشد. اولین مرحله در سنجش کیفیت آبزیان، ظاهر آن ارزیابی است (Alasalvar et al., 2011; Sun, 2008). روش‌های آزمایشگاهی مورد استفاده در سنجش کیفیت همگی وقت‌گیر و هزینه‌بر است و همچنین اگر از سوی افراد غیرمتخصص انجام شود، در صحت و دقت آنها شک و تردید وجود دارد. در مقام مقایسه، ماشین‌های بینایی روشی غیرتخریبی، کم‌هزینه و با دقت بالا هستند که برای همه افراد قابل استفاده است (Brosnan and Sun, 2002). روابط متفاوت ویژگی‌های شیمیایی با ویژگی‌های ظاهری در سایر آبزیان نیز گزارش شده است. Stien و همکاران (۲۰۰۶) اظهار داشتند که میزان چربی موجود در بافت‌های کتلت با میزان سنجش شده به‌وسیله اشعه مادون قرمز در مورد مساحت کتلت‌ها رابطه مستقیم دارد. همچنین Marty-Mahé و همکاران (۲۰۰۴) بیان داشتند که مساحت میزوپترها در گوشت ماهی *Salmo trutta* می‌تواند به‌عنوان عاملی برای تعیین میزان چربی گوشت در مدل‌های آنالیز تصاویر قرار گیرد. همچنین Mohebbi و همکاران گزارش دادند که تغییرات رنگ نمونه‌های میگو که با ماشین بینایی ثبت شده است با تغییرات رطوبتی همبستگی بالایی دارد ($R^2 = 0.80$). Zheng و همکاران (۲۰۰۶) مدلی را ارائه کردند که در آن تغییر رنگ نمونه و میزان رطوبت با یکدیگر همبستگی بالایی داشتند. آنها بیان داشتند که ضریب همبستگی رگرسیون و مربع حداقل خطا در مدل شبکه‌های عصبی به‌دست آمده به ترتیب برابر با ۰/۵۶ و ۰/۷۵ است.

طرف بر روی نمونه تابیده می‌شود، هیچ سایه‌ای در اطراف نمونه تشکیل نمی‌گردد. این نحوه نورپردازی به‌طور خاص برای پردازش شکل نمونه‌ها ضروری است. برای اخذ تصاویر رنگی از دوربین دیجیتال CCD مدل Canon IXUS 960IS با وضوح ۱۲ مگاپیکسل (۳۰۰۰×۴۰۰۰ پیکسل) استفاده شد که در ارتفاع ۴۵ سانتی‌متری در بالای ماهی‌های مورد آزمایش قرار داده شد. تنظیم دوربین به صورت دستی بوده و ISO آن خودکار بود (Korel and Babalan, 2010). عکس‌های گرفته شده به یک لپ‌تاپ (CPU core 2 duo 2.53GH, 4GB RAM) منتقل و با استفاده از نرم‌افزار (Matrix Laboratory) MATLAB نسخه R2009a الگوریتم‌های مورد نیاز طراحی شد.



شکل ۱ اتاقک نورپردازی و عکس‌برداری از نمونه‌های ماهی

ابتدا هریک از ماهی‌ها وزن شد و سپس همان ماهی درون اتاقک نورپردازی قرار گرفت و از آن عکس گرفته شد.

طراحی الگوریتم‌های پردازش تصویر

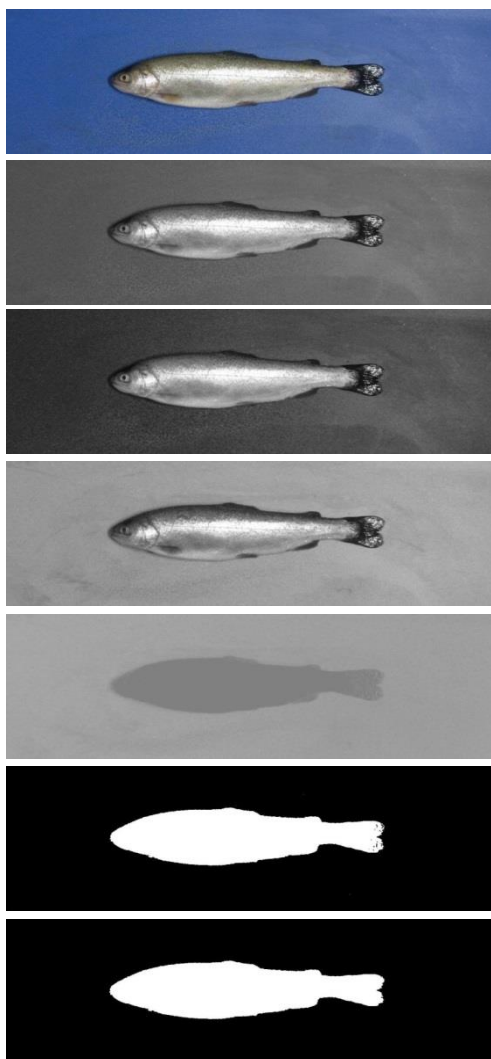
اولین قدم در استخراج داده‌های مورد نظر در هر طرح ماشین بینایی پردازش آن تصاویر است. عملیات گوناگونی در این مرحله انجام می‌شود که به تصویر و ویژگی‌های آن و همچنین به داده‌هایی که برای استخراج از آن تصویر مدنظر است، بستگی دارد (شکل ۲). در شکل ۲ در مرحله

با توجه به مطالعات انجام شده، کمبود یک مطالعه جامع درباره امکان سنجش کیفیت آبزیان فراوری نشده با ماشین بینایی احساس می‌شود. هدف این پژوهش دستیابی به بهترین عوامل تأثیرگذار در رابطه بین ویژگی‌های ظاهری و شیمیایی ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان است. بر اساس نتایج این تحقیق می‌توان اظهار داشت که کدام یک از ویژگی‌های ظاهری ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان بیشترین دقت را در تخمین ویژگی‌های شیمیایی این آبری دارد تا بر اساس آن، رابطه بین ویژگی‌های شیمیایی و فیزیکی این آبری را مدل‌سازی کرد.

مواد و روش‌ها

تهیه نمونه‌ها برای آنالیز

برای انجام این تحقیق، ابتدا ۷۵ عدد ماهی قزل‌آلای رنگین‌شکم پرکمان با میانگین وزن $127/85 \pm 186/24$ گرم و میانگین طول $23/91 \pm 6/47$ سانتی‌متر از مرکز پرورش ماهی در استان فارس صید و در ظرف حاوی پودر یخبه‌سرعت به آزمایشگاه منتقل شدند. در اولین قدم تک‌تک ماهی‌ها وزن گردیدند. برای توزین از یک ترازوی دقیق با دقت ۱ گرم استفاده شد. برای تهیه عکس‌ها از اتاقک نورپردازی با تابش غیرمستقیم که به اصطلاح آسمان ابری نامیده می‌شود، استفاده گردید (شکل ۱). این اتاقک از یک گنبد به قطر ۹۰ سانتی‌متر با سطح داخلی صیقلی و سفید رنگ تشکیل می‌شود که نمونه‌های مورد عکس‌برداری در زیر آن قرار می‌گیرند. از ۴ لامپ هالوژن ۶ وات ۴۸۰ لوکس برای نوردهی استفاده شد. در این نورپردازی، لامپ‌ها در محیط اطراف سکوی عکس‌برداری قرار گرفتند به شکلی که نور مستقیم از لامپ‌ها به ماهی نمی‌رسید. پرتو لامپ‌ها پس از برخورد به سطح داخلی گنبد منعکس و بر روی نمونه تابیده می‌شود. از آنجا که پرتوهای بازتابش شده از همه



شکل ۲ به ترتیب: شکل اصلی رنگی، مؤلفه‌های R، G و B تصویر و اعمال فیلتر میانه به روش تک رنگ، مؤلفه C_b تصویر، تصویر سیاه و سفید، حذف نوفه‌های زمینه تصویر

استخراج ویژگی‌های شکل

در بحث ویژگی‌های شکلی تصاویر، برنامه طراحی شده هفت ویژگی مختلف را از تصاویر استخراج کرد. این خصوصیات عبارت بودند از:

۱- طول^۲

۲- ارتفاع^۳

اول از فیلتر میانه برای حذف نویز استفاده شده است. این بهینه‌سازی و فیلتر باعث حذف انواع نوفه‌های موجود در یک تصویر تا حد قابل قبول شد تا تصویری شفاف تر در اختیار قرارگیرد. روش حذف نوفه در این فیلتر به اینصورت بود که با حرکت یک عنصر بر روی تصویر و مقایسه همسایگی‌های یک پیکسل، مقدار میانگین را به دست می‌آورد. بیشترین رنگ درون تصویر، رنگ اصلی تصویر است و نوفه همیشه کمترین میزان رنگ را در یک تصویر به خود اختصاص داده است. به همین دلیل رنگ پیکسل‌هایی که بارنگ میانگین به دست آمده دربخشی از تصویر فاصله زیادی داشته، همان رنگ نوفه بود و نرم‌افزار آنها را به رنگ میانگین تغییرمی‌داد. از آنجا که تصویر فراخوانی شده در فضای رنگی RGB بود، از فیلتر میانه به روش تکرنگ استفاده گردید. در این روش، سه رنگ اصلی از هم جدا شده و پس از اعمال تابع بر روی هر کدام، سه تصویر به یکدیگر متصل شد. با اینکار سه رنگ اصلی هر کدام جداگانه بررسی گردید و عملیات مورد نظر بر روی آنها اجرا شد. سپس در مرحله بعدی به منظور جدا کردن ماهی از زمینه، ابتدا از فضای رنگی RGB استفاده گردید و مؤلفه‌های R، G و B عکس‌ها بررسی شد. از آنجا که این مؤلفه‌ها اختلاف محسوسی را بین ماهی و پیش زمینه به دست نمی‌داد و با توجه به اینکه شرایط روشنایی مربوط به عکس‌ها یکسان نبود، فضای رنگی $YCbCr$ جایگزین فضای رنگی RGB گردید. سپس تصاویر به تصاویر باینری یعنی اینکه تنها دارای دو رنگ سیاه و سفید هستند و در ماتریس آنها تنها اعداد ۰ و ۱ قرار گرفته است، تبدیل شدند.

اندازه‌گیری ویژگی‌های شیمیایی

ویژگی‌های شیمیایی نظیر پروتئین خام به روش کلدال (AOAC, 1984)، چربی خام به روش سوکسله (Bligh and Dyer, 1959) و رطوبت به روش سوزاندن (Ludorff and Meyer, 1973) اندازه‌گیری شدند. pH نمونه‌ها با دستگاه دیجیتال pH سنج (Testo 206, pH Germany) از عضلات بخش پشتی ماهیان اندازه‌گیری شد که پیش از هر تست با نمونه بافر کالیبره می‌شد. برای اندازه‌گیری آب‌چک، ماهی‌ها با ترازوی دیجیتال وزن شده، در فویل آلومینیومی پیچیده و در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند. پس از ۹۶ ساعت نگهداری، فویل‌ها باز شده و فیله مجدداً توزین شد. درصد آب‌چک با محاسبه اختلاف وزن فیله پیش و پس از نگهداری در یخچال بخش بر وزن اولیه فیله پس از نگهداری در یخچال ضرب در ۱۰۰، محاسبه گردید.

تجزیه و تحلیل داده‌ها

داده‌های استخراج شده از تصاویر با نوشتن برنامه‌ای به نرم‌افزار Excel فرستاده شدند تا در مراحل بعدی در این نرم‌افزار و نرم‌افزارهای آماری MINITAB و SPSS تحلیل و بررسی شوند. ضریب همبستگی پیرسون برای بررسی میزان همبستگی بین تغییر در ویژگی‌های ظاهری و شیمیایی از رابطه‌ی زیر استفاده شد (Rodgers and Nicewander, 1998):

$$r(i, k) = \frac{\sum y_i y_k}{\sqrt{\sum y_i^2 \sum y_k^2}}$$

که در آن y و k عوامل بررسی شده هستند. همچنین عوامل با استفاده از χ^2 روش ریاضی خطی، لگاریتمی، نمایی و توانی بررسی شدند.

نتایج و بحث

۳- مساحت^۴

۴- محیط^۵

۵- قطر معادل^۶

۶- قطر بزرگ^۷

۷- قطر کوچک^۸

برای محاسبه مساحت نمونه‌ها، تصویر سیاه و سفید فراخوانی شده و با شمارش تعداد پیکسل‌هایی که دارای مقدار سیاه و سفید معادل یک بودند، مقدار مساحت محاسبه شد. محیط در یک تصویر سیاه و سفید برابر با مجموع پیکسل‌هایی است که در مرزهای هر ناحیه وجود دارد. طبق تعریف، قطر معادل یا قطر مساحت یک شکل برابر با قطر دایره‌ای است که مساحتی برابر با مساحت شکل مورد نظر دارد. بنابراین قطر معادل نمونه‌ها با استفاده از رابطه زیر محاسبه شد:

$$\text{Equivalent Diameter} = \sqrt{\frac{4 \times \text{Area}}{\pi}}$$

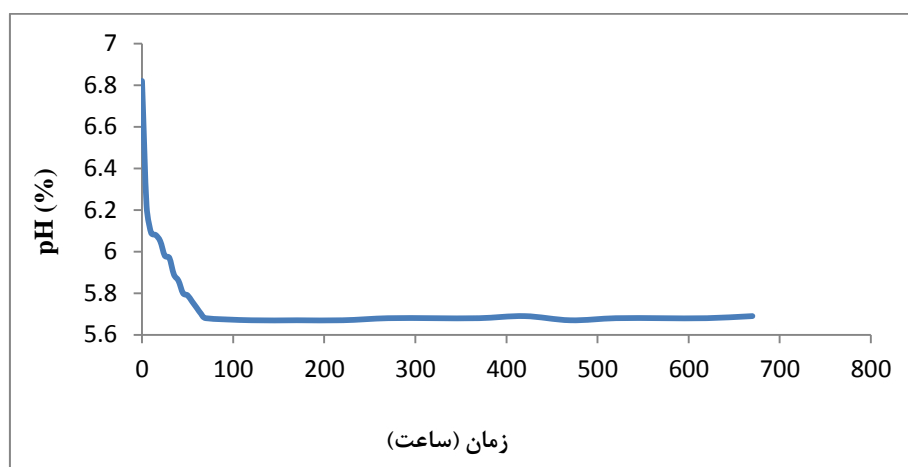
قطر بزرگ و قطر کوچک بیضی به ترتیب برابر است با طول بزرگ‌ترین و کوچک‌ترین محور بیضی محیط شده بر ماهی‌ها.

برای تبدیل واحد از پیکسل یا پیکسل مربع به سانتی‌متر یا سانتی‌متر مربع با قراردادن یک خط‌کش در تصویر، تعداد پیکسل‌های معادل ۱ سانتی‌متر از تصویر، شمارش شده و تبدیل واحدها براساس آنان جام گردید. داده‌های استخراج شده به واحدهای سانتی‌متر مربع برای مساحت و سانتی‌متر برای ویژگی‌ها تبدیل شدند.

3. Height
4. Area
5. Perimeter
6. Equivalent Diameter
7. Major Axis Length
8. Minor Axis Length

افزایش اتواکسیداسیون و متیل اکسیداسیون نیز رخ می‌دهد (Bochi et al., 2008). در مجموع میزان پروتئین، چربی و رطوبت پس از ۱۰۰ ساعت از صید ماهی به ترتیب ۱۸/۵، ۲/۷۸ و ۷۳/۲۵ درصد کاهش یافته است. این نتایج با گزارش Taskaya و همکاران (۲۰۰۳) مطابقت دارد.

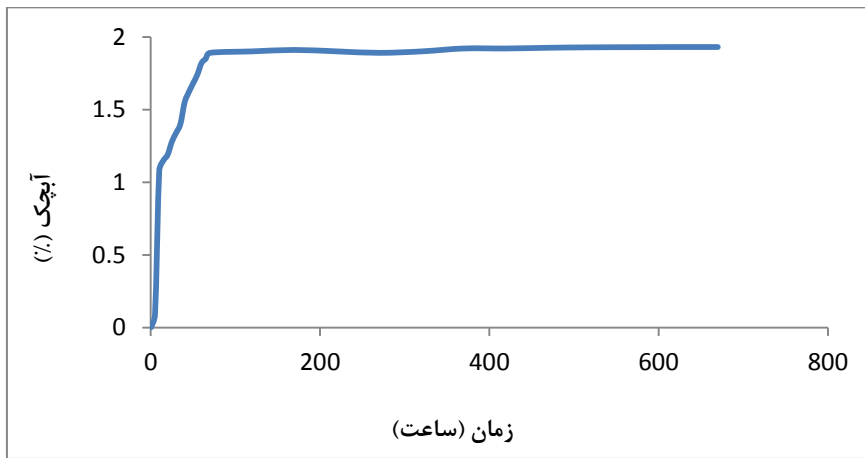
شکل ۳ تا ۷ نشان‌دهنده روند تغییرات کاهشی در میزان pH، پروتئین، چربی، رطوبت و افزایش آبچک در طول آزمایش است. از سوی دیگر میزان پروتئین با افزایش زمان نگهداری به علت اثر آنزیم‌های پروتئولیز کننده کاهش می‌یابد. این اثر کاهشی در مورد روغن ماهی به علت



شکل ۳ تغییرات در میزان pH در طول دوره آزمایش

جزئی اسیدهای چرب آزاد است که پس از صید ماهی اتفاق می‌افتد (Bita et al., 2010). مطالعات نشان می‌دهد که رابطه معناداری بین زمان و pH وجود دارد. به نحوی که با افزایش زمان، میزان pH گوشت آیزی رو به کاهش می‌رود (Chytiri et al., 2004).

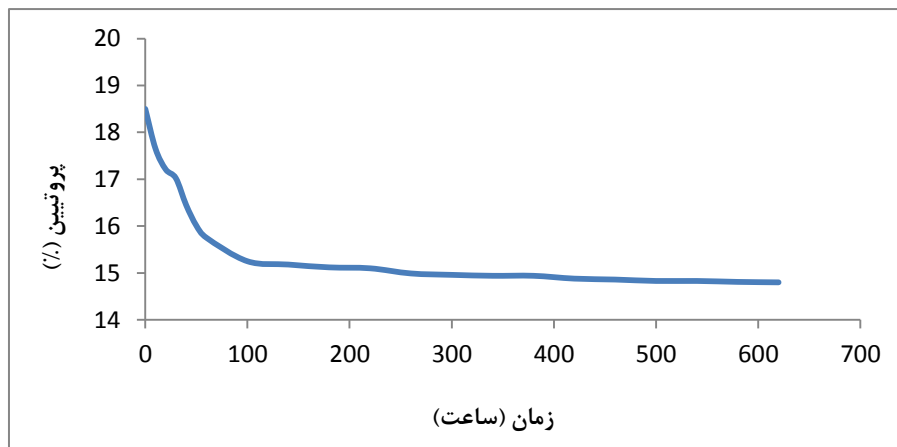
همانگونه که در نمودار مشخص است، با افزایش زمان ماندگاری pH روند کاهشی را طی می‌کند. روند کاهشی pH تا ۵/۷۰ محسوس بوده و پس از ۱۰۰ ساعت از صید این روند کاهش ثابت می‌شود. علت کاهش pH، تجمع اسیدلاکتیک در اثر تجزیه گلیکوژن و آزاد شدن



شکل ۴ تغییرات در میزان آبچک در طول دوره آزمایش

ماهی قزل‌آلا پس از صید به سرعت منجمد و بسته‌بندی نشود، درصد زیادی آبچک خواهد داشت که این موضوع بر روی بازار پسندی و وزن ماهی تأثیر معناداری خواهد داشت.

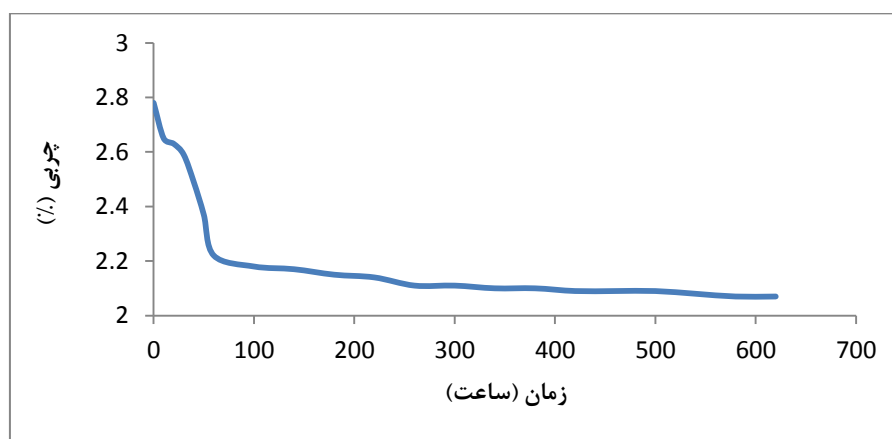
با گذشت زمان میزان افت در ماهی بیشتر شده زیرا درصد آبچک در زمان نگهداری افزایش می‌یابد. دلیل آبچک زیاد نمونه‌ها نوع بسته‌بندی و منجمد نشدن بود. Turan و همکاران (۲۰۰۳) اظهار داشتند در صورتی‌که



شکل ۵ تغییرات در میزان پروتئین در طول دوره آزمایش

مجموع میزان پروتئین، چربی و رطوبت پس از ۱۰۰ ساعت از صید ماهی به ترتیب ۱۸/۵، ۲/۷۸ و ۷۳/۲۵ درصد کاهش یافته است. این نتایج با نتایج Taskaya و همکاران (۲۰۰۳) مطابقت دارد.

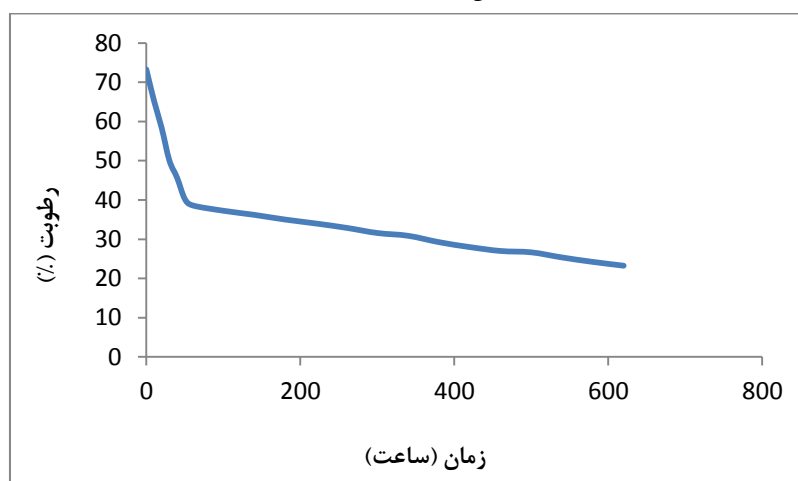
میزان پروتئین با افزایش زمان نگهداری به‌علت اثر آنزیم‌های پروتئولیزکننده کاهش می‌یابد. این اثر کاهشی در مورد روغن ماهی به‌علت افزایش اتواکسیداسیون و متیل اکسیداسیون نیز رخ می‌دهد (Bochi et al., 2008).



شکل ۶ تغییرات در میزان چربی در طول دوره‌ی آزمایش

دلیل با افزایش زمان نگهداری و به‌ویژه در شرایط غیرمنجمد چربی فیله کاهش می‌یابد.

قرل‌آلای رنگین کمان به دلیل غنی بودن از اسیدهای چرب تک غیراشباع، نسبت به اکسیداسیون چربی حساسیت بالایی دارد (Andersen et al., 1997). به همین



شکل ۷ تغییرات در میزان رطوبت در طول دوره‌ی آزمایش

درواقع، ضریب همبستگی شاخصی است که میزان رابطه بین متغیرها را نشان می‌دهد. هرچه این ضریب به یک نزدیک‌تر باشد، میزان وابستگی دو متغیر بیشتر است. به همین دلیل مواردی که در هر ستون بالاترین ضریب همبستگی را دارا بودند با ستاره نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود همبستگی بالایی بین شاخص‌های ذکر شده و ویژگی‌های شیمیایی وجود دارد.

رطوبت ارتباط تنگاتنگی با آبچک دارد. Turan و همکاران (۲۰۰۳) گزارش دادند که پس از صید، کاهش وزن آبزی (آبچک) با کاهش رطوبت آبزی همراه است. بدین صورت که عمده دلیل آبچک در ماهی قزل‌آلا به دلیل کاهش آب بدن آبزی است. جدول ۱ نشان‌دهنده میزان ضریب همبستگی هرکدام از ویژگی‌های شیمیایی با ویژگی‌های ظاهری آبزی است.

جدول ۱ ضریب همبستگی بین ویژگی‌های شیمیایی و ویژگی‌های ظاهری

ویژگی‌ها	pH	آبچک (%)	پروتئین (%)	چربی (%)	رطوبت (%)
طول	*۰/۸۴۹	*-۰/۸۵۹	*۰/۸۷۳	*۰/۸۷۳	*۰/۹۲۷
ارتفاع	۰/۶۵۹	-۰/۶۷۶	۰/۶۹۵	۰/۷۰۱	۰/۷۷۵
مساحت	۰/۶۲۴	-۰/۶۴۱	۰/۶۶۱	۰/۶۶۶	۰/۷۴۶
محیط	۰/۸۰۹	-۰/۸۲۲	۰/۸۳۷	۰/۸۴۰	۰/۸۹۹
قطر معادل	۰/۶۱۷	-۰/۶۳۵	۰/۶۵۵	۰/۶۶۰	۰/۷۴۱
قطر بزرگ	۰/۷۸۱	-۰/۷۹۳	۰/۸۰۹	۰/۸۱۰	۰/۸۷۵
قطر کوچک	۰/۵۸۵	-۰/۶۰۴	۰/۶۲۴	۰/۶۳۰	۰/۷۱۰

* نشان هنده بالاترین ضریب همبستگی می باشد.

رابطه به دست آمده را نشان می‌دهند. نقاط نشان داده شده در این شکل‌ها برابر با میانگین محاسبه شده درباره هر یک از شاخص‌ها در زمان‌های ۰، ۱۰، ۲۰ و ۳۰ روز پس از صید آبی هستند. در واقع این نقاط میانگین تغییرات در پیکسل ثبت شده با دوربین در زمان‌های مذکور است.

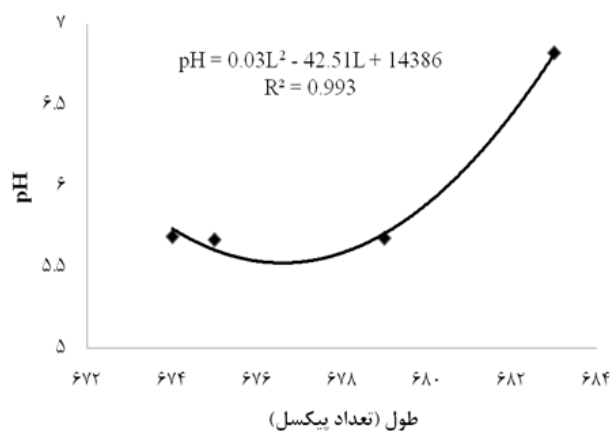
همان‌طور که مشاهده می‌شود طول ماهی با pH ماهی بهترین ارتباط را در مدت زمان نگهداری دارد. همچنین در بین الگوهای مختلف ریاضی، معادله درجه دوم با ضریب تبیین ۰/۹۹۳ به عنوان بهترین الگو به منظور تخمین pH ماهی انتخاب گردید. نمودار pH بر حسب طول ماهی در مدت زمان نگهداری در شکل ۸ آورده شده است.

بر این اساس مشخص گردید که قطر کوچک در مقایسه با دیگر ویژگی‌های ظاهری کمترین تأثیر را در تعیین ویژگی‌های شیمیایی داشته است. علاوه بر روابط ساده بین هر کدام از ویژگی‌های شکلی و شیمیایی، الگوهای مختلف روابط بین ویژگی‌های شیمیایی و ویژگی‌های یاد شده مانند روش‌های نمایی، خطی، لگاریتمی، درجه دوم و توانی بررسی شدند. نتایج نشان داد روابط با ضریب تبیین بالاتر برای هر کدام از ویژگی‌های یاد شده در رابطه‌های درجه دوم بین ویژگی‌های شیمیایی و شکلی به دست آمدند. ضرایب تبیین این خطوط رگرسیونی در جداول ۲ تا ۶ آورده شده است. همچنین شکل‌های ۸ تا ۱۲

جدول ۲ ضریب تبیین بین pH و ویژگی‌های ظاهری در الگوهای مختلف ریاضی

نمایی	خطی	لگاریتمی	درجه دوم	توانی
طول	۰/۷۲۲	۰/۷۲۰	*۰/۹۹۳	۰/۷۲۰
ارتفاع	۰/۴۳۴	۰/۴۲۲	۰/۹۱۶	۰/۴۲۱
مساحت	۰/۳۸۹	۰/۳۷۳	۰/۸۶۰	۰/۳۷۲
محیط	۰/۶۵۵	۰/۶۴۵	۰/۹۷۳	۰/۶۴۴
قطر معادل	۰/۳۸۱	۰/۳۷۳	۰/۸۵۶	۰/۳۷۲
قطر بزرگ	۰/۶۱۱	۰/۶۰۸	۰/۹۷۴	۰/۶۰۸
قطر کوچک	۰/۳۴۳	۰/۳۲۸	۰/۸۷۱	۰/۳۲۷

* نشان هنده بالاترین ضریب همبستگی می باشد.



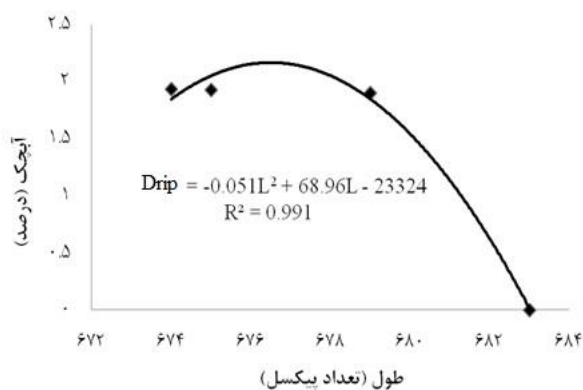
شکل ۸ نمودار pH بر حسب طول در مدت زمان نگهداری

در ادامه مشاهده می‌شود که طول ماهی با آبچک ماهی تبیین ۰/۹۹۱ به‌عنوان بهترین الگو به‌منظور تخمین آبچک بهترین ارتباط را در مدت زمان نگهداری دارد. همچنین در بین الگوهای مختلف ریاضی، معادله درجه دوم با ضریب

جدول ۳ ضریب تبیین بین آبچک و ویژگی‌های ظاهری در الگوهای مختلف ریاضی

درجه دوم	لگاریتمی	خطی	
۰/۹۹۱*	۰/۷۳۷	۰/۷۳۸	طول
۰/۹۲۰	۰/۴۴۵	۰/۴۵۷	ارتفاع
۰/۸۶۵	۰/۳۹۶	۰/۴۱۱	مساحت
۰/۹۷۴	۰/۶۶۶	۰/۶۷۶	محیط
۰/۸۶۱	۰/۳۹۶	۰/۴۰۳	قطر معادل
۰/۹۷۱	۰/۶۲۶	۰/۶۲۹	قطر بزرگ
۰/۸۷۶	۰/۳۵۰	۰/۳۶۵	قطر کوچک

* نشان‌دهنده بالاترین ضریب همبستگی می‌باشد.



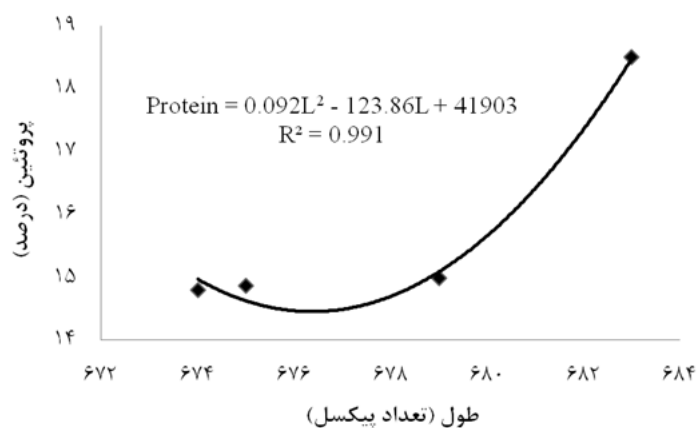
شکل ۹ نمودار آبچک بر حسب طول در مدت زمان نگهداری

همچنین طول ماهی با پروتئین ماهی بهترین ارتباط را در مدت زمان نگهداری دارد. همچنین در بین الگوهای مختلف ریاضی، معادله درجه دوم با ضریب تبیین ۰/۹۹۱ به عنوان بهترین الگو به منظور تخمین پروتئین ماهی انتخاب گردید. نمودار پروتئین بر حسب طول ماهی در مدت زمان نگهداری در شکل ۱۰ آورده شده است.

جدول ۴ ضریب تبیین بین پروتئین و ویژگی‌های ظاهری در الگوهای مختلف ریاضی

نمایی	خطی	لگاریتمی	درجه دوم	توانی
طول	۰/۷۶۲	۰/۷۶۱	*۰/۹۹۱	۰/۷۶۵
ارتفاع	۰/۴۸۳	۰/۴۷۱	۰/۹۲۹	۰/۴۷۵
مساحت	۰/۴۳۷	۰/۴۲۱	۰/۸۷۷	۰/۴۲۶
محیط	۰/۷۰۱	۰/۶۹۲	۰/۹۷۸	۰/۶۹۶
قطر معادل	۰/۴۲۹	۰/۴۲۱	۰/۸۷۳	۰/۴۲۶
قطر بزرگ	۰/۶۵۶	۰/۶۵۲	۰/۹۷۱	۰/۶۵۷
قطر کوچک	۰/۳۸۹	۰/۳۷۴	۰/۸۸۸	۰/۳۷۹

* نشان دهنده بالاترین ضریب همبستگی می باشد



شکل ۱۰ نمودار پروتئین بر حسب طول در مدت زمان نگهداری

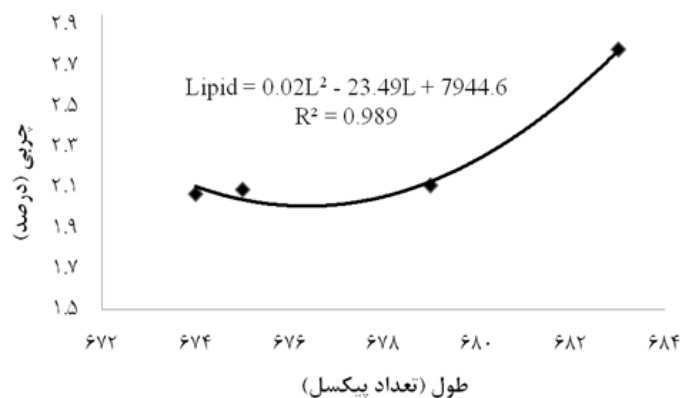
نتایج نشان داد که طول ماهی با چربی ماهی بهترین ارتباط را در مدت زمان نگهداری دارد. همچنین در بین الگوهای مختلف ریاضی، معادله درجه دوم با ضریب تبیین ۰/۹۸۹ به عنوان بهترین الگو به منظور تخمین چربی ماهی انتخاب گردید. نمودار چربی بر حسب طول ماهی در مدت زمان نگهداری در شکل ۱۱ آورده شده است.

جدول ۵ ضریب تبیین بین چربی و ویژگی‌های ظاهری در الگوهای مختلف ریاضی

نمایی	خطی	لگاریتمی	درجه دوم	توانی
طول	۰/۷۶۳	۰/۷۶۲	*۰/۹۸۹	۰/۷۶۷
ارتفاع	۰/۴۸۹	۰/۴۷۷	۰/۹۲۶	۰/۴۸۵
مساحت	۰/۴۴۴	۰/۴۲۸	۰/۸۷۴	۰/۴۳۵
محیط	۰/۷۰۶	۰/۶۹۷	۰/۹۷۶	۰/۷۰۴
قطر معادل	۰/۴۳۶	۰/۴۲۸	۰/۸۷۰	۰/۴۳۵

۰/۶۶۰	۰/۹۶۸	۰/۶۵۳	۰/۶۵۵	۰/۶۶۲	قطر بزرگ
۰/۳۸۸	۰/۸۸۵	۰/۳۸۱	۰/۳۹۶	۰/۴۰۳	قطر کوچک

* نشان هنده بالاترین ضریب همبستگی می باشد



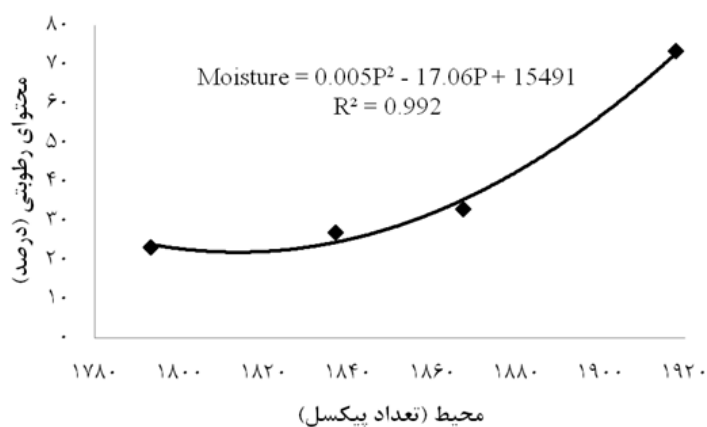
شکل ۱۱ نمودار چربی بر حسب طول در مدت نگهداری

همانطور که مشاهده می شود محیط ماهی با محتوای رطوبتی ماهی بهترین ارتباط را در مدت نگهداری دارد. همچنین در بین الگوهای مختلف ریاضی، معادله درجه دوم با ضریب تبیین ۰/۹۹۲ به عنوان بهترین الگو به منظور تخمین محتوای رطوبتی ماهی انتخاب گردید. نمودار محتوای رطوبتی بر حسب محیط ماهی در مدت زمان نگهداری در شکل ۱۲ آورده شده است.

جدول ۶ ضریب تبیین بین محتوای رطوبتی و ویژگی های ظاهری در الگوهای مختلف ریاضی

توانی	درجه دوم	لگاریتمی	خطی	نمایی	
۰/۹۱۸	۰/۹۸۹	۰/۸۵۷	۰/۸۵۷	۰/۹۱۹	طول
۰/۶۸۶	۰/۹۶۴	۰/۵۸۸	۰/۶۰۱	۰/۶۹۸	ارتفاع
۰/۶۴۱	۰/۹۲۷	۰/۵۴۰	۰/۵۵۶	۰/۶۵۷	مساحت
۰/۸۷۸	*۰/۹۹۲	۰/۸۰۱	۰/۸۰۸	۰/۸۸۵	محیط
۰/۶۴۱	۰/۹۲۴	۰/۵۴۰	۰/۵۴۸	۰/۶۴۹	قطر معادل
۰/۸۴۲	۰/۹۷۰	۰/۷۶۴	۰/۷۶۶	۰/۸۴۳	قطر بزرگ
۰/۵۸۸	۰/۹۳۶	۰/۴۸۸	۰/۵۰۴	۰/۶۰۴	قطر کوچک

* نشان هنده بالاترین ضریب همبستگی می باشد



شکل ۱۲ نمودار محتوای رطوبتی بر حسب محیط در مدت زمان نگهداری

مثال، Stien و همکاران (۲۰۰۶) برای تخمین میزان چربی فیله‌های قزل‌آلای رنگین‌کمان مساحت را بهترین عامل معرفی کردند. آنها اظهار داشتند که در محیط RGB ضریب تبیین برای رابطه بین محتوای چربی و مساحت فیله ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان ۰/۶۹ است. همچنین Marty-Mahé و همکاران (۲۰۰۴) ضریب تبیین را برای ماهی *Salmo trutta* به ۰/۷۲ به دست آوردند. اگرچه در پژوهش حاضر طول به عنوان بهترین عامل برای تخمین چربی در ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان انتخاب شد ($R^2 = 0.989$), اما با این حال مساحت نیز از ضریب تبیین مناسبی برخوردار بود (Wold, $R^2 = 0.874$) و همکاران (۲۰۰۶) با ضریب تبیین ۰/۹۲ و روش تصویربرداری مادون قرمز نزدیک، رطوبت را بر اساس محیط ماهی‌های نمک سوده شده *Pollachiu virens* با ۷۰ درصد صحت، تخمین زدند. مطالعات مقایسه‌ای نشان از تأیید این موضوع دارد که پیش‌بینی یا تخمین ویژگی‌های شیمیایی از طریق ویژگی‌های فیزیکی ماهی قزل‌آلا در پژوهش حاضر به خوبی عمل کرده است. پژوهشگران بیشتر از روش توانی برای تخمین و پیش‌بینی ویژگی‌های ماهی استفاده می‌کنند (Odone et al., 1998; Rosa et al., 2006; Gerami et al., 2013

بر اساس نتایج به دست آمده، آنالیزها نشان داد که پردازش تصاویر روشی مطمئن، سریع، غیرمخرب و کم‌هزینه برای سنجش کیفیت ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان است. از عوامل مهم رشد و تغییر اندازه در آبزی، پروتئین، چربی و محتوای رطوبتی هستند (Khodabux et al., 2007). در واقع تغییرات در میزان و ترکیب ویژگی‌های شیمیایی، باعث تغییر در ویژگی‌های فیزیکی آبزی نظیر طول و یا وزن می‌شود. پژوهش حاضر نیز نشان داد که تغییرات pH، آبجک، چربی و پروتئین رابطه بسیار نزدیکی با تغییرات طولی، و رطوبت رابطه بسیار نزدیکی با تغییرات در محیط آبزی دارد (ضریب تبیین در جداول ۲ تا ۶). ضرایب تبیین ارائه شده نشان می‌دهند که آنالیز خودکار کیفیت ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان با ماشین بینایی به دلیل ارتباط بالای بین این ویژگی‌ها، به خوبی عمل کرده است. در واقع ماشین بینایی با تجزیه و تحلیل پیکسل‌های تصاویر گرفته شده با دوربین با دقت بالا، کوچک‌ترین تغییر در میزان عددی پیکسل‌های ثبت شده را شناسایی و تغییرات را ثبت می‌کند. استفاده از ویژگی‌های فیزیکی برای تخمین ویژگی‌های شیمیایی با روش‌های غیرآزمایشگاهی در ماهیان، از سوی محققان بسیاری آزمایش شده است. برای

استفاده از سیستم پردازش تصاویر برای سنجش کیفیت ماهی قزل‌آلا را توصیه می‌کند.

منابع

Alasalvar, C., Shahidi, F., Miyashita, K. and Wanasundara, U. 2011. Handbook of Seafood Quality, Safety and Health Applications, Wiley Blackwell, Oxford, UK.

Andersen, U. B., Thomassen, M. S. and Benze Rørå, A. M. 1997. Texture Properties of Farmed Rainbow Trout (*Oncorhynchus mykiss*): Effects of Diet, Muscle Fat Content and Time of Storage on Ice. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 47(3): 347-353.

AOAC, 1984. Official Methods of Analysis (14thed). Association of Official Analytical Chemists, Washington, DC, USA.

Baxes, G. A. 1994. Digital Image Processing Principles and Applications. Wiley, New York, USA.

Bitá, S., Najafzadeh Varzi, H., Kochanian, P., Fazlára, A., Mohammadian, T. and Hosseini, A. 2010. Changes in pH as Quality Indices in Orange-spotted grouper, *Epinephelus coioides* during ice storage and Relation between Bacterial Count. *Journal of Aquatic Sciences*, 1(2): 52-61.

Bligh, E. G. and Dyer, W. J. 1959. A Rapid Method of Total Lipid Extraction and Purification. *Can. J. Biochem. Phys.*, 37: 911-917.

Bochi, V. C., Weber, J., Ribeiro, C. P., Victório, A.M. and Emanuelli, F. 2008. Fishburgers with silver catfish (*Rhamdia quelen*) filleting residue. *Bioresource Technology*, 99: 8844-8849.

Borderías, A. J., Gomez-Guillen, M. C. and Hurtado, O. 1999. Use of image analysis to determine fat and connective tissue in salmon muscle. *European Food Research Technology*, 209: 104-107.

Brosnan, T. and Sun, D-W. 2002. Inspection and grading of agricultural and food products by computer vision systems-a review. *Computers and Electronics in Agriculture*, 36: 193-213.

Chytiri, S., Chouliara, I., Savvaidis, I. N. and Kontominas, M. G. 2004. Microbiological, chemical and sensory assessment of iced whole and filleted aquacultured rainbow trout. *Food Microbiology*, 21: 157-165.

مثال در پیش‌بینی وزن ماهی‌ها بر اساس طول به اینصورت عمل می‌کنند که وزن ماهی‌ها (W) بر اساس طول (L) آنها به صورت معادله $aL^b = W$ به دست می‌آید و برای هر یک از گونه‌ها ضرایب a و b تعیین می‌شوند، اما در پژوهش حاضر، برای حصول اطمینان بیشتر ودقت بالاتر، از چهار روش خطی، لگاریتمی، نمایی و توانی در قالب رگرسیون‌های تک متغیره و چند متغیره برای پیش‌بینی ویژگی‌های شیمیایی ماهی‌ها استفاده شده و باتوجه به ضریب‌های تبیین مختلف، بهترین ضریب تبیین در میان چهار روش انتخاب شده است.

نتیجه‌گیری

نتایج نشان داد که ماشین بینایی می‌تواند بر اساس خصوصیات ظاهری ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان، به سنجش کیفیت این آبزی پردازد. ماشین بینایی می‌تواند برای بازرسی خودکار در سنجش کیفیت آبزیان در کارخانجات فراوری استفاده شود. سیستم ماشین بینایی می‌تواند اطلاعات پیوسته وقابل اعتمادی درباره وضعیت فرایند تولید فراهم کند. این سیستم توانایی فراهم و به روز کردن داده‌های آماری مربوط به شاخص‌های کنترلی را دارد و می‌تواند این اطلاعات را به صورت نمایشی بر روی نمایشگر ارائه کند، به عملگر بفرستد و یا اطلاعات را به صورت پیوسته به رایانه مرکزی ارسال کند (Zabihi, 2014). به دلیل سرعت و دقت بالای این فناوری، کاربرد آن روز به روز در حال افزایش است. باتوجه به اینکه تحقیق حاضر نشان داد pH، پروتئین و چربی با طول آبزی و رطوبت با محیط آبزی رابطه مستقیمی در معادله درجه دوم وجود دارد (به ترتیب، $R^2 = 0.993, 0.991, 0.991, 0.989$ and 0.992)، پیشنهاد می‌شود این پژوهش بر روی گونه‌های دیگر آبزیان نیز اجرا شود. در مجموع این پژوهش

- content estimation in dehydrated shrimp. *Computers and Electronics in Agriculture*, 69: 128-134.
- Odone, F., Trucco, E., and Verri, A. 1998.** Visual learning of Weight from Shape using Support Vector Machines. British Machine Vision Conference, London. 469-477.
- Rodgers, J. L. and Nicewander, W. A. 1998.** Thirteen ways to look at the correlation coefficient. *The American Statistician*, 42(1): 59-66.
- Rosa, A., Menezes, G., Melo, O. and Pinho, M. R., 2006.** Weight-length relationships of 33 demersal fish species from Azores archipelago. *Fisheries Research*, 80: 329-332.
- Stien, L. H., Kiessling, A. and Manne, F. 2007.** Rapid estimation of fat content in salmon fillets by colour image analysis. *Journal of Food Composition and Analysis*, 20: 73-79.
- Stien, L. H., Manne, F., Ruohonen, K., Kause, A., Rungruangsak Torrisen, K. and Kiessling, A., 2006.** Automated image analysis as a tool to quantify the colour and composition of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss* W.) cutlets. *Aquaculture*, 261: 695-705.
- Sun, D-W. 2008.** Computer Vision Technology for Food Quality Evaluation, Academic Press, Elsevier, Amsterdam, The Netherlands, p. 188.
- Taşkaya, L., Çaklı, S., Kışla, D. and Kiliç, B. 2003.** Quality changes of fishburger from rainbow trout during refrigerated storage. *Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 20: 147-154.
- Turan, H., Kaya, Y. and Erkoyuncu, I. 2003.** Effects of Glazing, Packaging and Phosphate Treatments on Drip Loss in Rainbow Trout (*Oncorhynchus mykiss* W., 1792) During Frozen Storage. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 3: 105-109.
- Wu, D., Wang, S., Wang, N., Nie, P., He, Y., Sun, D.-W., and Yao, J. 2013.** Application of time series hyperspectral imaging (TS-HSI) for determining water distribution within beef and spectral kinetic analysis during dehydration. *Food and Bioprocess Technology*, 6(11): 2943-2985.
- Zabihi, J., Nassiri, S. M., Jafari, A. 2014.** Estimation of density of trout in fish farm using image processing technique. *Journal of Fisheries*, 67: 49-59.
- Dowlati, M., Mohtasebi, S. S. and de la Guardia, M. 2012.** Application of machine-vision techniques to fish-quality assessment. *Trends in Analytical Chemistry*, 40: 168-179.
- Gerami, M.H., Abdollahi, D., Patimar, R. and Abdollahi, M. 2013.** Length-weight relationship of two fish species from Cholvar River, western Iran: *Mastacembelus mastacembelus* (Banks & Solander, 1794) and *Glyptothorax silviae* Coad, 1981. *Journal of Applied Ichthyology*, 30(1): 214-215.
- Gümüş, B., Balaban, M. O. and Ünlüsayın, M. 2011.** Machine Vision Applications to Aquatic Foods: A Review. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 11: 171-181.
- Gunasekaran, S. 1996.** Computer vision technology for food quality assurance. *Trends in Food Science and Technology*, 7(8): 245-256.
- Huss, H.H. 1995.** Quality and Quality Changes in Fresh Fish. FAO Fisheries Technical Papers 348. Rome, Italy. 202 p.
- Khodabux, K., L'Omelette, M.S.S., Jhaumeer-Laulloo, S., Ramasami, P. and Rondeau, P. 2007.** Chemical and near-infrared determination of moisture, fat and protein in tuna fishes. *Food Chemistry*, 102(3): 669-675.
- Korel, F. and Balaban, M.O. 2010.** Quality assessment of aquatic foods by machine vision, electronic nose, and electronic tongue. In: C. Alasalvar, K. Miyashita, F. Shahidi, U. Wanasundara (Eds.), *Seafood quality, safety and health effects*, Blackwell Publishing, Oxford: 68-81
- Ludorff, W. and Meyer, V., 1973.** *Fische und Fischerzeugnisse*. Paul Parey Verlag, Hamburg-Berlin.
- Luzuriaga, D.A, Balaban, M. O. and Yeralan, S. 1997.** Analysis of Visual Quality Attributes of White Shrimp by Machine Vision. *Journal of Food Science*, 62 (1): 113-119.
- Marty-Mahé, P., Loisel, P., Fauconneau, B., Haffray, P., Brossard, and Davenel, A. D. 2004.** Quality traits of brown trout (*Salmo trutta*) cutlets described by automated color image analysis. *Aquaculture*, 232: 225-240.
- Mohebbi, M., Akbarzadeh-T, M-R., Shahidi, F., Moussavi, M. and Ghodusi, H-B. 2009.** Computer vision systems (CVS) for moisture

Zheng, C., Sun, D.-W. and Zheng, L. 2006.
Correlating colour to moisture content of large
cooked beef joints by computer vision. *Journal of
Food Engineering*, 77 (4): 858–863.



Chemical-morphological relationships of rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*, computed by machine vision

Hasan Safiyari^{1*}, Mohammad Hasan Gerami², Abdolabbas Jafari³, Marzieh Moosavi-Nasab⁴

1- Ph.D, Department of Biosystems Engineering, Collage of Agriculture, Shiraz University, Shiraz, Iran

2- Ph.D, Young Researchers and Elite Club, Shiraz Branch, Islamic Azad University, Shiraz, Iran

3- Assistante Professor, Department of Biosystems Engineering, Collage of Agriculture, Shiraz University, Shiraz, Iran

4- Associate Prof., Department of Food Science and Technology, Collage of Agriculture, Shiraz University, Shiraz, Iran

Received: 05.10.2014

Accepted: 05.04.2015

*Corresponding author: safiyari.hasan@gmail.com

Abstract

The chemical-morphological relationships in rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*, was assessed through photography in light room. The image data were transferred to a laptop and analyzed by MATLAB (Matrix Laboratory) version R2009a. The designated algorithm of 7 features, including length, height, area, perimeter, equivalent diameter, major and minor axis length were extracted from the images. Afterward, chemical compositions of the fish (including crude protein, crude fat, moisture content, pH value and leakage), were determined. Pearson's correlation coefficient was used to correlate visual and chemical properties. Factors were assayed with linear, logarithmic, exponential and power method. Results showed that pH, leakage, protein and fat had a good correlation with fish length, and moisture with fish perimeter, in Quadratic equation ($R^2 = 0.993, 0.991, 0.991, 0.989$ and 0.992 , respectively). In conclusion, this methodology can be applied for automated chemical analysis and on-line monitoring in fish farms.

Keywords: Image processing, Chemical analysis, Rainbow trout, MATLAB