

شیلات، مجله منابع طبیعی ایران
دوره ۶۸، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۴

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۳/۲۰

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۹/۱۶

ص ۲۶۷-۲۸۶

امکان رقم‌بندی ماهی‌های شوریده (*Otolithes ruber*) و حلواسفید (*Pampus argenteus*) به کمک فناوری ماشین

بینایی

- ❖ حسن صفی‌یاری*: کارشناسی ارشد بخش مکانیک ماشین‌های کشاورزی دانشگاه شیراز
- ❖ عبدالعباس جعفری: استادیار بخش مکانیک ماشین‌های کشاورزی دانشگاه شیراز
- ❖ محمدحسین رئوفت: استاد بخش مکانیک ماشین‌های کشاورزی دانشگاه شیراز
- ❖ سیدمهدی نصیری: استادیار بخش مکانیک ماشین‌های کشاورزی دانشگاه شیراز

چکیده

امروزه علم درجه‌بندی و تجهیزات مربوط به آن برای انواع محصولات دریایی در جوامع پیشرفته به سرعت در حال رشد است به طوری که، در اکثر واحدهای بزرگ شیلاتی یا در مجاورت آن‌ها انواع تجهیزات درجه‌بندی یافت می‌شود. ماشین بینایی دارای توانایی بالقوه‌ای است که می‌تواند به‌منزله روشی دقیق برای تشخیص و ارزیابی خصوصیات ظاهری استفاده شود. در تحقیق حاضر رقم‌بندی ماهی بر اساس گونه، اندازه و وزن به کمک فناوری ماشین بینایی بررسی شد. برای این تحقیق، ماهی‌های شوریده و حلواسفید انتخاب شدند. نخست، هر یک از نمونه ماهی‌ها وزن شد سپس، از همان ماهی درون اتاقک نورپردازی عکس گرفته شد. برای بخش‌بندی تصاویر و عملیات پردازش تصویر از محیط برنامه‌نویسی Matlab استفاده شد. برای تخمین وزن ماهی از روابط رگرسیون خطی و غیر خطی استفاده شد. این معادلات به کمک هفت متغیر مستخرج از پردازش تصویر (طول، ارتفاع، مساحت، محیط، قطر معادل، بزرگ‌ترین قطر و کوچک‌ترین قطر ماهی) و با استفاده از چهار روش ریاضی (خطی، لگاریتمی، نمایی و توانی) ایجاد شدند. ضرایب تبیین روابط تخمین وزن ماهی‌های شوریده و حلواسفید به ترتیب ۹۵/۴ و ۹۴ درصد به دست آمد. نتایج نشان داد که بین وزن واقعی و وزن تخمین‌زده شده اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد وجود ندارد. همچنین، بر اساس واسنجی که روی سامانه ماشین بینایی به منظور تخمین طول انجام گرفت مشخص شد که این سامانه می‌تواند در محدوده طول ماهی‌های اندازه‌گیری‌شده با دقت بالا طول ماهی را اندازه‌گیری کند. این الگوریتم توانست گونه‌های شوریده و حلواسفید را با دقت ۱۰۰ درصد از یکدیگر تفکیک کند.

واژگان کلیدی: رقم‌بندی، ماشین بینایی، ماهی شوریده (*Otolithes ruber*)، حلواسفید (*Pampus argenteus*).

۱. مقدمه

گوشت انواع ماهی، به لحاظ دارابودن پروتئین و چربی، با کیفیت بالا و فراوانی انواع مواد معدنی و ویتامین‌ها غذایی کامل محسوب می‌شود. در حال حاضر، حدود ۲۰ درصد از سهم پروتئین حیوانی کل جهان از طریق آبزیان تأمین می‌شود و آمارهای جهانی نشان می‌دهد که مصرف سرانه آبزیان در سال ۲۰۱۱ به بالاترین سطح خود (۱۷/۸ کیلوگرم در سال) رسیده است که نشان‌دهنده اهمیت بالای این بخش در ایجاد درآمد و امنیت غذایی برای میلیون‌ها انسان است (Anonymous, 2008). رقم‌بندی محصولات شیلاتی یکی از فرایندهای این بخش است که کارشناسان و متخصصان امر آن را نیاز اصلی فعالیت‌های شیلاتی می‌دانند. اگر سیستم‌های سنتی عمل‌آوری فرآورده‌های غذایی دریایی را، که فعلاً در ایران مرسوم است، با فناوری روز هماهنگ کنیم، زمینه سودآوری و ارزآوری زیادی برای صادرکنندگان محصولات دریایی فراهم خواهد شد.

ماشین بینایی^۱ ابزاری است که می‌تواند در تشخیص خصوصیات ظاهری دقیق عمل کند. استفاده از این فناوری در همه زمینه‌ها در حال گسترش است و هر روز کاربرد جدیدی برای آن یافت می‌شود. از جمله کاربردهای این فناوری در کشاورزی و شیلات می‌توان به مواردی از جمله: ۱. کنترل کیفی و درجه‌بندی محصولات کشاورزی (Kondo et al., 2003); ۲. هدایت خودکار ماشین‌های کشاورزی (Brandon and Searcy, 1995); ۳. اندازه‌گیری

طول و درجه‌بندی ماهی‌ها (White Strachan, 1994; et al., 2006) و ۴. جداکردن گونه‌های مختلف ماهی از یکدیگر (Zion et al., 1999) اشاره کرد. در فناوری ماشین بینایی، شاخص‌های مختلفی برای انجام دادن یک عملیات معرفی می‌شوند. این شاخص‌ها از طریق آزمایش مشخص می‌شوند سپس، عملکرد آن‌ها بررسی و از لحاظ آماری تجزیه و تحلیل می‌شود تا دامنه عملکرد آن‌ها مشخص شود. شاخص‌هایی چون رنگ، خصوصیات فیزیکی و ظاهری از جمله آن‌ها هستند (Heydari, 2009).

در سال ۲۰۰۴، پژوهش‌گران با استفاده از پردازش تصویر فرایندهای مختلف خشک‌کردن ماهی را مقایسه کردند. آن‌ها از مقادیر میانگین و انحراف معیار مقادیر رنگی در فضای رنگی L^*a^*b و آنالیز تشخیصی برای مقایسه استفاده کردند و اختلاف مشخصه‌های رنگی را یگانه راه جداسازی آماری (با آنالیز واریانس) نمونه‌ها بر اساس تکنیک خشک‌کردن معرفی و این روش را در مقایسه با آنالیز حسی روشی قابل اطمینان و مؤثر اعلام کردند (Louka et al., 2001).

محققان روشی را بر اساس سیستم بینایی رایانه (CVS) برای تخمین میزان رطوبت میگو طی فرایند آبردایی با استفاده از آنالیز رنگ ارائه کردند. فرایند آبردایی تحت دماهای مختلف انجام شد و عکس‌ها در فواصل زمانی مختلف گرفته شدند. در این تحقیق تجزیه و تحلیل داده‌ها از طریق طرح بلوک کاملاً تصادفی انجام شد و میانگین‌ها با آزمون چنددامنه‌ای دانکن مقایسه شدند. از رگرسیون چندمتغیره و شبکه عصبی مصنوعی برای به‌دست‌آوردن رابطه بین رنگ

در سال ۲۰۰۶ تحقیقی برای تشخیص هفت گونه ماهی و اندازه‌گیری خودکار طول آن‌ها روی نقاله‌های انتقال‌دهنده با استفاده از ماشین بینایی انجام شد. از هر گونه به تعداد ۱۰۰ عدد ماهی تجزیه و تحلیل شدند. از میان ماهی‌های مورد آزمون ۵ ماهی از یک گونه به اشتباه جزء گونه دیگر دسته‌بندی شد و در همه این هفت گونه ماهی، حداقل یک ماهی و حداکثر ۱۲ ماهی درون هیچ‌یک از گونه‌های دسته‌بندی قرار نگرفت. آن‌ها بیان کردند که این سیستم توانست هفت گونه ماهی را با راندمان ۹۹/۸ درصد و با ظرفیت ۳۰۰۰۰ ماهی در ساعت از یکدیگر جدا کند. این سامانه طول ماهی‌های صیدشده را با ضریب تغییر ۰/۲ درصد اندازه‌گیری کرد (White, 2006).

تحقیقی که درباره ۲۱ نوع ماهی ساحلی در منطقه آژورس^۳ انجام گرفت نشان داد که وزن و طول ماهی در ۲۰ گونه مختلف آن رابطه معنی‌داری داشته است (Morato et al., 2001). همچنین در تحقیقی که درباره ارتباط بین طول و وزن ۳۳ گونه ماهی در سال^۴ واقع در مجمع‌الجزایر آژورس انجام گرفت وزن ماهی‌ها (W) بر اساس طول (L) آن‌ها به صورت معادله $W=aL^b$ به دست آمد و برای هر یک از گونه‌ها ضرایب a و b تعیین شدند (Rosa et al., 2006). در تحقیقی مشابه با استفاده از فناوری پردازش تصویر ارتباط بین طول و وزن ماهی در سواحل آگاور^۵ مطالعه شد. این بررسی نشان داد که رابطه بین طول و وزن در همه سال ثابت نیست و به عواملی چون نرخ تغذیه، غذای موجود و تولیدمثل

و محتوای رطوبتی میگو در فرایند خشک‌شدن استفاده شد. مدل‌های به‌دست‌آمده در این تحقیق به ترتیب دارای ضرایب همبستگی ۰/۸ و ۰/۸۶ بودند و در $P < ۰/۰۵$ اختلاف معنی‌داری بین دو روش مدل‌سازی رگرسیون چندمتغیره و شبکه عصبی مصنوعی مشاهده نشد (Mohebbi et al., 2009).

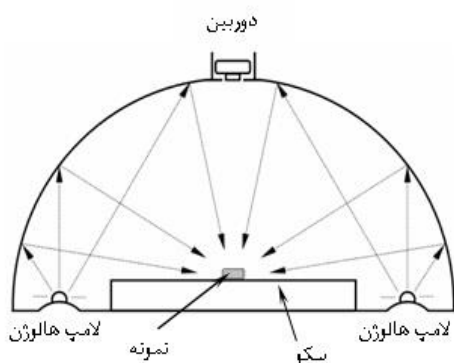
فناوری پردازش تصویر در تحقیقات مربوط به ماهی توانسته است طول آن را به صورت مکانیزه در هنگام درجه‌بندی اندازه‌گیری کند (Strachan, 1994; White et al., 2006). این فناوری توانایی خود را در جداسازی گونه‌های مختلف ماهی از یکدیگر نیز نشان داد (Zion et al., 1999; Strachan, 1994). به نحوی که، چندین گونه ماهی از جمله سه نمونه ماهی پهن^۱ و ۱۲ نمونه ماهی گرد^۲ با دقت بالای ۹۹ درصد از یکدیگر تفکیک شدند (Strachan, 1994).

در سال ۱۹۹۹ از دو الگوریتم مختلف برای جداسازی دو گروه ماهی استفاده شد به نحوی که در هر یک از گروه‌ها سه نوع ماهی وجود داشت. تفاوت الگوریتم‌ها در استفاده از ویژگی‌های استخراج‌شده برای تشخیص سر و بدن بود. آن‌ها برای عکس‌برداری دقیق محفظه‌ای ساختند که در آن مکان قرارگیری دوربین، محل قرارگیری ماهی و محل قرارگیری لامپ‌های مورد نیاز در نظر گرفته شد. این الگوریتم‌ها توانست سه نوع ماهی گروه اول را با دقت ۱۰۰، ۹۴ و ۸۶ درصد و سه نوع ماهی گروه دوم را با دقت ۹۸، ۹۶ و ۱۰۰ درصد از یکدیگر تمیز دهند (Zion et al., 1999).

3. Azores
4. Demersal
5. Algavre

1. Flatfish
2. Roundfish

۹۰ سانتی متر با سطح داخلی صیقلی و سفیدرنگ تشکیل شده که نمونه‌های مورد عکس برداری در زیر آن قرار می‌گیرند. در این نورپردازی، لامپ‌ها در محیط اطراف سکوی عکس برداری قرار گرفته‌اند به شکلی که نور مستقیم از لامپ‌ها به نمونه نمی‌رسد. پرتو لامپ‌ها پس از برخورد به سطح داخلی گنبد منعکس و روی نمونه تابیده می‌شود. از آنجا که پرتوهای بازتابش شده از همه طرف روی نمونه تابیده می‌شود هیچ سایه‌ای در اطراف نمونه تشکیل نمی‌شود. این نحوه نورپردازی به طور خاص برای پردازش شکل نمونه‌ها ضروری است. به منظور اخذ تصاویر رنگی از دوربین دیجیتال (CDC) مدل Canon IXUS 960IS استفاده شد که درست در ارتفاع ۴۵ سانتی متری در بالای نمونه‌های مورد آزمایش قرار داده شد (شکل ۱). تصاویر دیجیتال اخذ شده از ماهی‌ها با وضوح ۱۲ مگاپیکسل (۳۰۰۰×۴۰۰۰ پیکسل) دریافت شد. پس از آن، تصاویر به منظور پردازش با نرم‌افزار مطلب به کامپیوتر انتقال داده شد.



(ب)

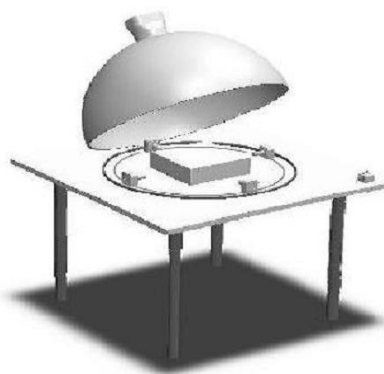
شکل ۱. الف) سکوی عکس برداری و ب) اتاقک نورپردازی و عکس برداری از ماهی‌ها

بستگی دارد (Santos et al., 2001). با توجه به جست‌وجو در مطالب علمی، مشخص شد که تاکنون هیچ‌گونه فعالیت علمی درباره تخمین وزن ماهی به کمک خصوصیات مستخرج از پردازش تصویر و روش‌های مختلف ریاضی (خطی، لگاریتمی، نمایی و توانی) در قالب رگرسیون‌های تک‌متغیره و چندمتغیره انجام نگرفته است. هدف از این تحقیق بررسی رابطه بین خصوصیات ظاهری قابل استخراج ماشین بینایی با وزن ماهی و ارائه الگوریتم مناسب به منظور جداسازی ماهی بر اساس گونه، اندازه و وزن است.

۲. مواد و روش‌ها

به منظور انجام دادن این تحقیق، ۳۵ عدد ماهی شوریده و ۳۵ عدد ماهی حلواسفید انتخاب شدند. نخست، هر یک از ماهی‌ها با ترازویی با دقت ۱ گرم وزن شد سپس، همان ماهی درون اتاقک نورپردازی قرار گرفت و از آن عکس گرفته شد.

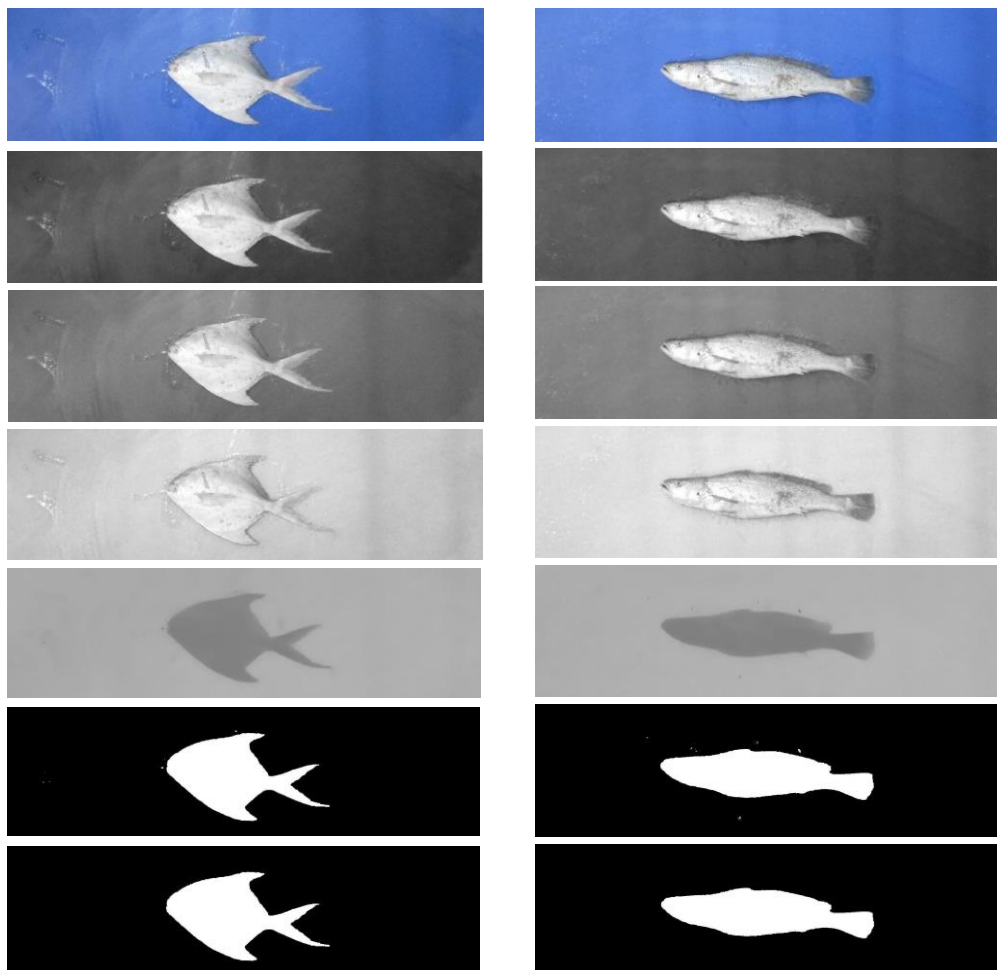
برای تهیه عکس‌ها از اتاقک نورپردازی با تابش غیر مستقیم، که اصطلاحاً آسمان ابری نامیده می‌شود، استفاده شد (شکل ۱). این اتاقک از گنبدی به قطر



(الف)

عکس‌ها را فراخوانی کند و پردازش‌های مورد نظر را روی آن‌ها انجام دهد و داده‌های پردازش همه تصاویر را در فایل‌های اکسل ذخیره کند. پس از فراخوانی تصویر، نوبت به حذف نوفه از تصویر رسید. برای حذف نقاطی از تصویر که به صورت اتفاقی به وجود آمده‌اند (نوفه‌های احتمالی اولیه) از فیلتر میانه استفاده شد. این بهینه‌سازی و فیلتر باعث شد که انواع نوفه‌های یک تصویر تا حد قابل قبول حذف شود و تصویری شفاف‌تر در اختیار ما قرار گیرد.

اولین قدم در استخراج داده‌های مورد نظر در هر پروژه ماشین بینایی پردازش آن تصاویر است. عملیات گوناگونی در این مرحله انجام می‌شود که به تصویر و ویژگی‌های آن همچنین به داده‌هایی بستگی دارد که برای استخراج از آن تصویر مدنظر است. در مرحله نخست همه الگوریتم‌های پردازش تصویر لازم است که هر یک از تصاویر اخذشده با دوربین فراخوانی و به‌منزله ماتریسی رقمی در برنامه نگهداری شود. در عین حال، الگوریتم‌ها به گونه‌ای طراحی شد که به طور خودکار و جداگانه هر یک از



شکل ۲. به ترتیب: شکل اصلی رنگی، مؤلفه‌های G و B تصویر و اعمال فیلتر میانه به روش تک‌رنگ، مؤلفه Cb تصویر، تصویر سیاه و سفید، حذف نوفه‌های زمینه تصویر برای ماهی شوریده و حلواسفید

ناخواسته احتمالی از تصویر سیاه و سفید حذف شد. پس از آن قسمت‌هایی در داخل محدوده نمونه‌ها، که در تصویر عنوان زمینه تشخیص داده شده و سیاه‌رنگ شده بود، پر شد و به رنگ سفید درآمد (شکل ۲). تصاویر، با انجام دادن این مراحل پردازش، آماده استخراج ویژگی‌های مورد نیاز از آن‌ها شدند.

به منظور استحصال ویژگی‌های حقیقی مورد نیاز از تصاویر می‌بایست ماهی‌ها را در حالت افقی قرار داد. بدین منظور نخست با استفاده از دستور Orientation گرایش زاویه‌ای (مقدار دوران) هر ماهی مشخص شد. بدین صورت که نرم‌افزار خط فرضی میانی ماهی را در نظر می‌گرفت و در مقایسه با خط افقی مرجع، مشخص می‌کرد که ماهی چند درجه به طرفین چرخیده است. سپس، با استفاده از دستور imrotate تصویر ماهی به اندازه زاویه دوران یافته، چرخیده و به حالت افقی قرار می‌گرفت (شکل ۳).

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

۱. طول کل ماهی (Total Length)
۲. ارتفاع ماهی (Height)
۳. مساحت سطح نمونه‌ها (Area)
۴. محیط نمونه‌ها (Perimeter)
۵. قطر معادل بیضی نمونه‌ها (D_{eq})
۶. بزرگ‌ترین قطر نمونه‌ها (D_{max})
۷. کوچک‌ترین قطر نمونه‌ها (D_{min})

پس از فراخوانی تصاویر و حذف نوفه‌های احتمالی اولیه، به منظور جداکردن ماهی از زمینه، نخست از فضای رنگی RGB استفاده شد و مؤلفه‌های R، G و B عکس‌ها بررسی شدند، از آنجا که این مؤلفه‌ها اختلاف محسوسی را بین ماهی و پیش‌زمینه به دست نمی‌داد و با توجه به این که شرایط روشنایی مربوط به عکس‌ها یکسان نبود، فضای رنگی $YCbCr$ جایگزین فضای رنگی RGB شد. از جمله ویژگی‌های فضای رنگی $YCbCr$ این است که رنگ و روشنایی به طور مجزا معرفی می‌شوند. اطلاعات مربوط به روشنایی^۱ در قالب Y و اطلاعات رنگی در قالب دو جزء C_b و C_r ذخیره می‌شوند. C_b مبین تفاوت بین جزء آبی با مقدار مرجع و مقدار C_r مبین تفاوت بین جزء قرمز با مقدار مرجع است (Poyton, 1996). بنابراین، با توجه به این که پس‌زمینه عکس‌ها آبی بود از مؤلفه C_b تصاویر استفاده شد. مؤلفه‌های RGB به وسیله روابط زیر به مؤلفه‌های $YCbCr$ تبدیل پذیرند (Mitchell, 1994):

$$Y = 0.6G + 0.3R + 0.1B \quad (1)$$

$$C_b = 128 + (B - Y) / 2 \quad (2)$$

سپس، تصاویر به تصاویر باینری^۲ تبدیل شد؛ یعنی تصاویری که فقط دو رنگ سیاه و سفید دارند و در ماتریس آن‌ها تنها اعداد ۰ و ۱ قرار گرفته‌اند.

پس از تبدیل تصاویر رنگی به سیاه و سفید، برای حذف اشیای ناخواسته از دستور Bwareaopen (picture, x) استفاده شد. این تابع به صورت فیلتری برای حذف اشیایی که مساحت آن‌ها کوچک‌تر از مقدار x باشد عمل می‌کند. به این وسیله همه اشیای

1. Luminance

2. Binary



شکل ۳. چرخش ماهی

مقادیر قطر بیشینه و قطر کمینه نمونه به ترتیب برابر است با طول بزرگ‌ترین محور و طول کوچک‌ترین محور نمونه. به عبارت دیگر، راستاهایی را که شیء مورد نظر در تصویر سیاه و سفید به ترتیب دارای بیشترین و کمترین تعداد پیکسل سفیدرنگ در آن راستاها باشد قطر بیشینه و قطر کمینه گوئیم. طبق تعریف، قطر معادل یا قطر مساحت یک شکل برابر با قطر بیضی است که مساحتی برابر با مساحت شکل مورد نظر دارد. بنابراین، قطر معادل نمونه‌ها با استفاده از فرمول زیر محاسبه شد:

$$D_{eq} = 1/55A^{0.625} / P^{0.2} \quad (3)$$

داده‌های استخراج‌شده 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. برای مدل‌سازی رابطه بین مشخصات ظاهری ماهی با وزن آن از تکنیک رگرسیون خطی تک‌متغیره استفاده شد. این معادلات به کمک هفت متغیر طول، ارتفاع، مساحت، محیط، قطر معادل، بزرگ‌ترین قطر و کوچک‌ترین قطر با استفاده از چهار روش ریاضی خطی، لگاریتمی، نمایی و توانی بررسی شدند. به دلیل زیادبودن متغیرها از تحلیل عاملی در نرم‌افزار SPSS برای دسته‌بندی متغیرها و حذف معادلات اضافی استفاده شد. ۷۰ درصد داده‌ها برای

برای محاسبه طول کل ماهی، می‌بایست فاصله افقی بین نوک پوزه تا انتهای باله دم اندازه‌گیری می‌شد. پس از اصلاح چرخش و دوران سر و باله دم ماهی، اولین پیکسل سفیدرنگ از هر دو انتهای تصویر بیان‌گر نوک پوزه و انتهای باله دم ماهی است که اختلاف طولی این دو نقطه بیان‌گر طول کل ماهی است. بنابراین، الگوریتم به شکلی نوشته شد که از ابتدای تصویر به ترتیب تک‌تک ستون‌ها را بررسی کرد و اولین ستونی که پیکسل سفیدرنگ (یک) داشت به‌منزله نوک پوزه ماهی مشخص شد. به همین ترتیب، آخرین ستونی که پیکسل سفیدرنگ (یک) داشت و ستون پس از آن تماماً دارای پیکسل‌های سیاه‌رنگ (صفر) بود به‌منزله انتهای باله دم مشخص شد.

ارتفاع ماهی عبارت است از فاصله عمودی جلوی باله پشتی تا زیر شکم. بنابراین، با شمارش تعداد پیکسل‌های سفیدرنگ (یک) در ستون جلوی باله پشتی ارتفاع ماهی به دست آمد.

برای محاسبه مساحت نمونه‌ها، تصویر سیاه و سفید حاصل از قسمت قطعه‌بندی فراخوانی شد 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 مجموعه پیکسل‌هایی است که در مرزهای هر ناحیه وجود دارد.

ارزیابی شد و درصد خطای وزن ماهی تخمین زده شده با استفاده از رابطه ۶ محاسبه شد:

$$E = \frac{|Y_{pred} - Y_{exp}|}{Y_{pred}} \times 100 \quad (6)$$

همچنین، نمودار وزن ماهی پیش‌بینی شده بر حسب وزن واقعی برای ۳۰ درصد داده‌های آزمون رسم شد و معادله رگرسیون آن به دست آمد و با معادله $y=x$ که بیان‌گر رگرسیون نمودار وزن واقعی ماهی بر حسب وزن واقعی ماهی است مقایسه شد و معنی‌دار بودن این دو معادله از آزمون F و با استفاده از نرم‌افزار Graphpad prism 5 بررسی شد (Anonymous, 2008). همچنین، به منظور مقایسه طول کل و وزن به دست آمده از پردازش تصویر با طول کل و وزن واقعی از آزمون t-test استفاده شد.

۳. نتایج

جدول ۱ مقایسه ویژگی‌های ظاهری مستخرج از پردازش تصویر بین ماهی‌های شوریده و حلوا را نشان می‌دهد.

به دست آوردن مدل و ۳۰ درصد دیگر داده‌ها برای ارزیابی معادلات استفاده شدند. در قسمت مدل‌سازی، برای تعیین بهترین مدل از پس‌آزمون‌های ضروری مانند ضریب همبستگی (R)، ضریب تبیین (R^2)، ضریب تبیین تنظیمی (R^2_{adj})، خطای استاندارد (SEE) و F test استفاده شد. معادلاتی که بیشترین ضریب همبستگی و ضریب تبیین و کمترین خطای استاندارد و مجذور میانگین مربعات خطا را داشتند به منزله بهترین مدل مشخص شدند.

$$R^2 = \left[1 - \frac{\sum_{i=1}^N (Y_{exp,i} - Y_{pred,i})^2}{\sum_{i=1}^N (Y_{exp,i})^2} \right] \times 100 \quad (4)$$

$$SEE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (Y_{exp,i} - Y_{pred,i})^2}{N - 2}} \quad (5)$$

Y_{exp} = وزن واقعی ماهی؛

Y_{pred} = وزن پیش‌بینی شده به وسیله رابطه

رگرسیون؛

N = تعداد نمونه.

سپس بهترین روابط به دست آمده از آزمون و

جدول ۱. مقایسه خصوصیات فیزیکی ماهی‌های شوریده و حلوا

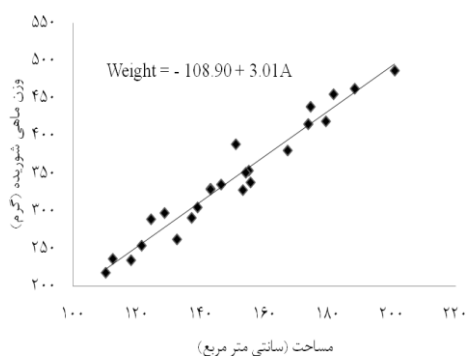
حلوا	شوریده	خصوصیات فیزیکی
$\pm 1/83^b 22/44$	$\pm 2/91^a 32/49$	طول کل (سانتی‌متر)
$\pm 1/16^a 13/55$	$\pm 0/78^b 7/01$	ارتفاع (سانتی‌متر)
$\pm 19/09^a 150/12$	$\pm 24/42^a 153/71$	مساحت (سانتی‌متر مربع)
$\pm 8/21^a 93/10$	$\pm 9/72^a 93/20$	محیط (سانتی‌متر)
$\pm 0/89^a 13/79$	$\pm 1/11^a 13/94$	قطر معادل (سانتی‌متر)
$\pm 1/32^b 18/50$	$\pm 2/40^a 32/34$	بزرگ‌ترین قطر (سانتی‌متر)
$\pm 0/91^a 12/25$	$\pm 0/62^b 6/42$	کوچک‌ترین قطر (سانتی‌متر)
$\pm 0/04^a 0/61$	$\pm 0/02^b 0/21$	ضریب رعنائی

*حروف متفاوت در سطرها نشان‌دهنده تفاوت آماری بین میانگین‌ها در سطح ۱ درصد است.

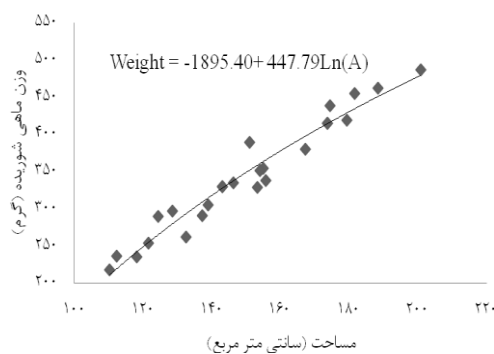
طول کل و ارتفاع ماهی شوریده به ترتیب در فاصله ۲۷/۷۴ تا ۴۳/۳۷ و ۵/۴۷ تا ۸/۵۳ سانتی‌متر به دست آمد. میانگین و انحراف معیار مساحت و محیط به ترتیب برابر بود با $۹۳/۲۰ \pm ۲۴/۴۲$ سانتی‌متر مربع و $۹۳/۲۰ \pm ۹/۷۲$ سانتی‌متر. قطر معادل، بزرگ‌ترین و کوچک‌ترین قطر ماهی در فاصله بین ۱۱/۹۴ تا ۱۵/۴۵، ۱۶/۱۵ تا ۲۰/۹۷ و ۱۰/۱۹ تا ۱۳/۹۹ سانتی‌متر قرار داشت. ضریب رعنائی دارای میانگین ۰/۶۱ با انحراف معیار ۰/۰۴ بود.

برای پیدا کردن نحوه تأثیر پارامترها (متغیرهای طول، ارتفاع، مساحت، محیط، قطر معادل، بزرگ‌ترین قطر و کوچک‌ترین قطر ماهی و چهار روش ریاضی خطی، لگاریتمی، نمایی و توانی) و میزان تأثیر آن‌ها در وزن، شکل‌های ۴ و ۵ رسم شد که به ترتیب بیان‌گر وزن ماهی‌های شوریده و حلواسفید بر حسب مساحت است.

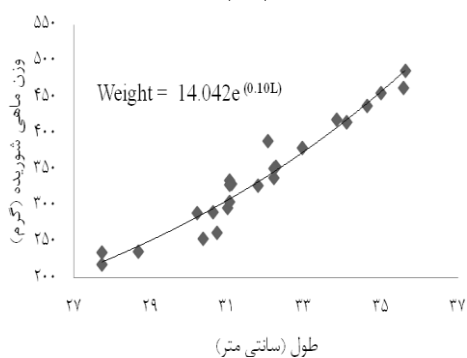
طول کل و ارتفاع ماهی شوریده به ترتیب در فاصله ۲۷/۷۴ تا ۴۳/۳۷ و ۵/۴۷ تا ۸/۵۳ سانتی‌متر به دست آمد. میانگین و انحراف معیار مساحت و محیط به ترتیب برابر بود با $۹۳/۲۰ \pm ۲۴/۴۲$ سانتی‌متر مربع و $۹۳/۲۰ \pm ۹/۷۲$ سانتی‌متر. قطر معادل، بزرگ‌ترین و کوچک‌ترین قطر ماهی شوریده در فاصله بین ۱۱/۸۴ تا ۱۶/۳۶، ۲۷/۰۴ تا ۳۹/۲۱ و ۵/۲۶ تا ۷/۸۱ سانتی‌متر قرار داشت. ضریب رعنائی دارای میانگین ۰/۲۱ با انحراف معیار ۰/۰۲ بود. این در حالی است که طول کل و ارتفاع ماهی حلوا به ترتیب در فاصله ۱۸/۸۹ تا ۲۶/۰۵ و ۱۱/۰۱ تا ۱۵/۷۹ سانتی‌متر به دست آمد. میانگین و انحراف معیار مساحت و محیط به ترتیب برابر بود با $۱۹/۰۹ \pm$



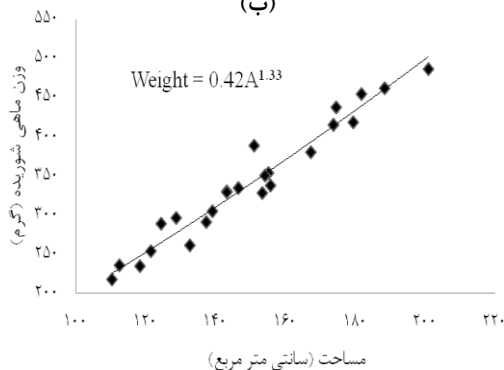
(الف)



(ب)

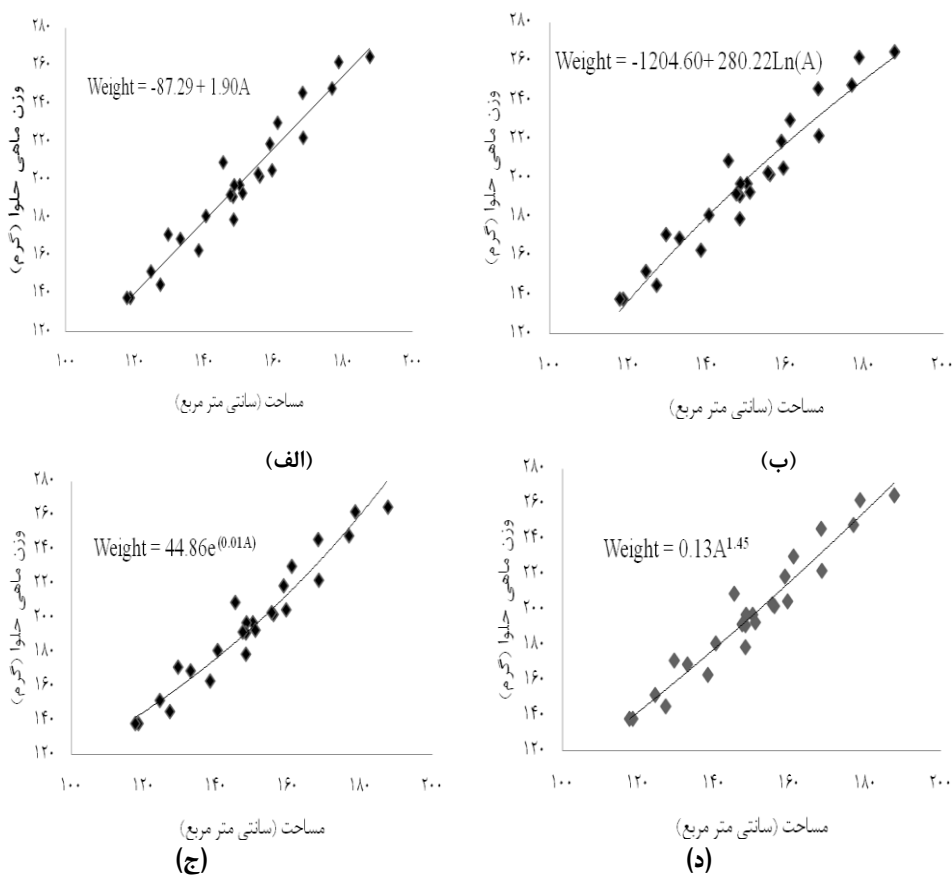


(ج)



(د)

شکل ۴. نمودار وزن ماهی شوریده بر حسب مساحت (الف): خطی (ب): لگاریتمی (ج): نمایی و (د): توانی



شکل ۵. نمودار وزن ماهی حلوا بر حسب مساحت (الف): خطی (ب): لگاریتمی (ج): نمایی و (د): توانی

نتایج نشان داد که تنها در معادله ۴ (جدول ۴)، بین روابط ارزیابی و خط $y=x$ اختلاف معنی‌داری از لحاظ شیب (ضریب زاویه) وجود دارد. بنابراین، معادله ۴ حذف می‌شود. در مابقی معادلات هیچ اختلاف معنی‌داری از لحاظ شیب (ضریب زاویه) وجود ندارد. درصد خطا برای معادلات مذکور نیز در این جدول آورده شده است.

پس از حذف معادله ۴ در جدول ۴ تعداد معادلات به ۷ معادله کاهش یافت. اکنون نوبت به ارزیابی عرض از مبدأ معادلات باقی‌مانده است. معادلات جدول ۵ از لحاظ شیب با خط $y=x$ اختلاف معنی‌داری ندارند، اما در معادلات ۴ و ۶ (جدول ۵) بین روابط ارزیابی و خط $y=x$ طبق روش چاو از

جدول ۲ و ۳ به ترتیب روابط رگرسیون تک‌متغیره به منظور تخمین وزن ماهی‌های شوریده و حلواسفید را بر اساس خصوصیات فیزیکی مستخرج از پردازش تصویر نشان می‌دهند. معادلات ۳، ۱۰، ۱۵ و ۲۴ به‌منزله بهترین معادلات به منظور تخمین وزن ماهی شوریده و معادلات ۳، ۱۰، ۱۷ و ۲۴ به‌منزله بهترین معادلات برای تخمین وزن ماهی حلواسفید در هر دسته تعیین شدند. در جدول ۲ معادلات ۳، ۱۰ و ۲۴ و در جدول ۳، معادلات ۳، ۱۰، ۱۷ و ۲۴ به ترتیب رابطه بین مساحت با وزن را نشان می‌دهند. معادله ۱۵ نیز رابطه بین طول با وزن ماهی شوریده را در دسته سوم (نمایی) نشان می‌دهد. همچنین، همه معادلات در آزمون F دارای اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۹۹٪ بودند.

لحاظ عرض از مبدأ اختلاف معنی‌داری وجود دارد و کامل دارند، اما وزن ماهی حلواسفید را بیشتر یا کمتر این بدین معنی است که معادلات انتخابی جامعیت از مقدار واقعی تخمین می‌زنند.

جدول ۲. روابط تخمین وزن ماهی شوریده با استفاده از رگرسیون تک‌متغیره و تحلیل‌های آماری

دسته	شماره	مدل	R	R ²	SEE	RMSE	F
دسته اول: خطی	۱	weight = -726.01 + 33.547 L	0.970	0.941	18.881	18.110	366.98***
	۲	weight = -194.32 + 77.714H	0.798	0.638	46.797	44.886	40.48***
	۳	weight = -108.9 + 3.0095A	0.976	0.954	16.746	16.062	472.75***
	۴	weight = -289.41 + 6.9123 P	0.886	0.785	36.066	34.594	83.87***
	۵	weight = -557.06 + 65.335 ED	0.976	0.952	17.040	16.344	455.77***
	۶	weight = -649.33 + 31.171 MAAL	0.940	0.884	26.430	25.350	176.02***
	۷	weight = -324.57 + 104.97 MIAL	0.886	0.786	35.979	34.510	84.39***
دسته دوم: لگاریتمی	۸	weight = -3319.4 + 1058.7Ln(L)	0.966	0.933	20.183	19.361	318.26***
	۹	weight = -682.63 + 532.15Ln(H)	0.797	0.636	46.902	44.987	40.20***
	۱۰	weight = -1895.4 + 447.79Ln(A)	0.973	0.947	17.911	17.180	410.35***
	۱۱	weight = -2432.8 + 615.4Ln(P)	0.877	0.770	37.293	35.770	76.96***
	۱۲	weight = -2002.1 + 895.18Ln(ED)	0.973	0.947	17.918	17.187	409.99***
	۱۳	weight = -3041.9 + 978.86Ln(MAAL)	0.934	0.873	27.676	26.546	158.50***
	۱۴	weight = -871.46 + 658.26Ln(MIAL)	0.881	0.775	36.830	35.326	79.49***
دسته سوم: نمایی	۱۵	weight = 14.042e ^(0.0995L)	0.972	0.945	18.176	17.479	397.81***
	۱۶	weight = 68.365e ^(0.2298H)	0.789	0.623	47.744	45.925	37.99***
	۱۷	weight = 88.213e ^(0.0089A)	0.970	0.940	18.995	18.257	362.29***
	۱۸	weight = 50.918e ^(0.0206P)	0.888	0.789	35.687	34.258	86.16***
	۱۹	weight = 23.21e ^(0.193/ED)	0.970	0.940	18.994	18.256	364.28***
	۲۰	weight = 17.719e ^(0.0923MAAL)	0.947	0.897	24.937	23.945	200.56***
	۲۱	weight = 46.572e ^(0.3102MIAL)	0.886	0.785	36.021	34.613	84.14***
دسته چهارم: توانی	۲۲	weight = 0.0061L ^{3.1551}	0.973	0.947	17.803	17.076	415.62***
	۲۳	weight = 15.856H ^{1.3825}	0.797	0.635	46.971	45.150	40.01***
	۲۴	weight = 0.4253A ^{1.5341}	0.976	0.953	16.899	16.228	463.82***
	۲۵	weight = 0.0818P ^{1.8439}	0.889	0.791	35.572	34.195	86.86***
	۲۶	weight = 0.3095ED ^{2.6669}	0.976	0.953	16.902	16.232	463.60***
	۲۷	weight = 0.0142(MAAL) ^{2.9121}	0.946	0.896	24.937	24.082	200.56***
	۲۸	weight = 9.0989(MIAL) ^{1.9242}	0.889	0.790	35.651	34.250	86.38***

جدول ۳. روابط تخمین وزن ماهی حلواسفید با استفاده از رگرسیون تک‌متغیره و تحلیل‌های آماری

دسته	شماره	مدل	R	R ²	R ² _{adj}	SEE	RMSE	F
دسته اول: خطی	۱	weight = -159.59 + 15.955 L	0.747	0.558	0.539	24.501	23.501	29.10 ^{***}
	۲	weight = -133.12+ 24.227H	0.810	0.657	0.642	21.610	20.727	43.98 ^{***}
	۳	weight = -87.293 + 1.898A	0.969	0.940	0.937	9.035	8.666	360.21 ^{***}
	۴	weight = -138.15 + 3.5851P	0.775	0.601	0.584	23.291	22.340	34.66 ^{***}
	۵	weight = -367.67 + 40.994 ED	0.968	0.940	0.934	9.259	8.881	341.86 ^{***}
	۶	weight = -258.12 + 24.626 MAAL	0.863	0.744	0.733	18.644	17.883	66.99 ^{***}
	۷	weight = -215.61 + 33.655 MIAL	0.853	0.728	0.717	19.216	18.432	61.71 ^{***}
دسته دوم: لگاریتمی	۸	weight = -911.87+ 357.23Ln(L)	0.750	0.562	0.543	24.408	23.412	29.50 ^{***}
	۹	weight = -648.52+ 324.18Ln(H)	0.806	0.649	0.634	21.846	20.954	42.54 ^{***}
	۱۰	weight = -1204.6+ 280.22Ln(A)	0.965	0.932	0.929	9.632	9.238	314.17 ^{***}
	۱۱	weight = -1290.3+ 328.01Ln(P)	0.772	0.596	0.578	23.448	22.491	33.89 ^{***}
	۱۲	weight = -1270.9+ 560.05Ln(ED)	0.965	0.932	0.929	9.642	9.248	313.43 ^{***}
	۱۳	weight = -1129.8+ 455.23Ln(MAAL)	0.863	0.745	0.734	18.614	17.854	67.27 ^{***}
	۱۴	weight = -818.49+ 405.61Ln(MIAL)	0.847	0.717	0.704	19.626	18.825	58.21 ^{***}
دسته سوم: نمایی	۱۵	weight = 30.338e ^(0.083L)	0.737	0.543	0.523	24.923	23.970	27.37 ^{***}
	۱۶	weight = 35.905e ^(0.1237H)	0.813	0.661	0.647	21.462	20.623	44.90 ^{***}
	۱۷	weight = 44.861e ^(0.0098A)	0.966	0.934	0.931	9.489	9.206	324.37 ^{***}
	۱۸	weight = 33.876e ^(0.0187P)	0.778	0.606	0.589	23.151	22.211	35.36 ^{***}
	۱۹	weight = 10.484e ^(0.2118ED)	0.969	0.938	0.936	9.152	8.792	350.43 ^{***}
	۲۰	weight = 18.512e ^(0.1271MAAL)	0.858	0.735	0.724	18.964	18.224	63.97 ^{***}
	۲۱	weight = 23.498e ^(0.1721MIAL)	0.860	0.740	0.729	18.787	18.043	65.62 ^{***}
دسته چهارم: توانی	۲۲	weight = 0.5929L ^{1.8651}	0.744	0.553	0.534	24.654	23.699	28.46 ^{***}
	۲۳	weight = 2.53H ^{1.6635}	0.812	0.660	0.645	21.516	20.679	44.57 ^{***}
	۲۴	weight = 0.1345A ^{1.4528}	0.970	0.940	0.938	8.998	8.632	363.36 ^{***}
	۲۵	weight = 0.0817P ^{1.7139}	0.777	0.604	0.586	23.217	22.308	35.03 ^{***}
	۲۶	weight = 0.096ED ^{2.9037}	0.970	0.940	0.938	9.004	8.638	362.80 ^{***}
	۲۷	weight = 0.2011(MAAL) ^{2.3574}	0.860	0.740	0.729	18.792	18.051	65.58 ^{***}
	۲۸	weight = 1.0539(MIAL) ^{2.0827}	0.859	0.737	0.725	18.919	18.184	64.39 ^{***}

جدول ۴. روابط تخمین وزن ماهی شوریده و حلوا بر اساس خصوصیات به‌دست‌آمده از پردازش تصویر

ماهی	شماره	رابطه	درصد خطا	مقدار F ضریب زاویه
شوریده	۱	$\text{weight} = -108.9 + 3.0095A$	۲/۴۶۸	۲/۵۵۸ ^{ns}
	۲	$\text{weight} = -1895.4 + 447.79\text{Ln}(A)$	۲/۱۹۰	۰/۹۵۸ ^{ns}
	۳	$\text{weight} = 14.042.e^{(0.0995L)}$	۷/۹۹۳	۲/۶۰۲ ^{ns}
	۴	$\text{weight} = 0.4253A^{1.3341}$	۲/۷۰۳	۶/۱۸۲ ^{**}
حلواسفید	۵	$\text{weight} = -87.293 + 1.898A$	۴/۰۹۸	۰/۱۰۸ ^{ns}
	۶	$\text{weight} = -1204.6 + 280.22\text{Ln}(A)$	۴/۱۲۳	۰/۰۳۲ ^{ns}
	۷	$\text{weight} = 44.861.\exp^{(0.0098A)}$	۵/۳۲۰	۰/۹۷۶ ^{ns}
	۸	$\text{weight} = 0.1345A^{1.4528}$	۴/۰۳۳	۰/۴۶۰ ^{ns}

جدول ۵. روابط نهایی تخمین وزن ماهی شوریده و حلوا بر اساس خصوصیات به‌دست‌آمده از تصاویر

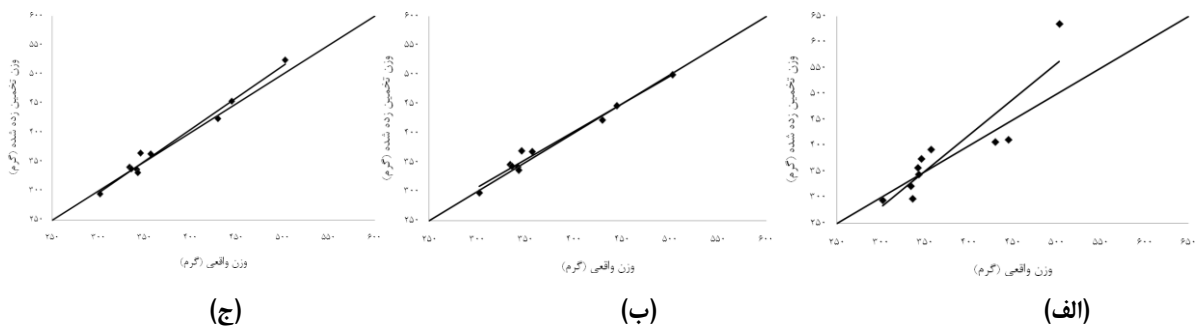
ماهی	شماره	معادله رگرسیونی	درصد خطا	مقدار F ضریب زاویه	مقدار F عرض از مبدأ
شوریده	۱	$\text{weight} = -108.9 + 3.0095A$	۲/۴۶۸	۲/۵۵۸ ^{ns}	۰/۸۰۶ ^{ns}
	۲	$\text{weight} = -1895.4 + 447.79\text{Ln}(A)$	۲/۱۹۰	۰/۹۵۸ ^{ns}	۱/۲۲۲ ^{ns}
	۳	$\text{weight} = 14.042.e^{(0.0995L)}$	۷/۹۹۳	۲/۶۰۲ ^{ns}	۰/۴۲۱ ^{ns}
حلواسفید	۴	$\text{weight} = -87.293 + 1.898A$	۴/۰۹۸	۰/۱۰۸ ^{ns}	۳/۵۹۵ [*]
	۵	$\text{weight} = -1204.6 + 280.22\text{Ln}(A)$	۴/۱۲۳	۰/۰۳۲ ^{ns}	۲/۲۶۹ ^{ns}
	۶	$\text{weight} = 44.861.\exp^{(0.0098A)}$	۵/۳۲۰	۰/۹۷۶ ^{ns}	۶/۱۳۷ ^{**}
	۷	$\text{weight} = 0.1345A^{1.4528}$	۴/۰۳۳	۰/۴۶۰ ^{ns}	۲/۴۹۶ ^{ns}

جدول ۶. روابط نهایی تخمین وزن ماهی شوریده و حلوا بر اساس خصوصیات به‌دست‌آمده از تصاویر

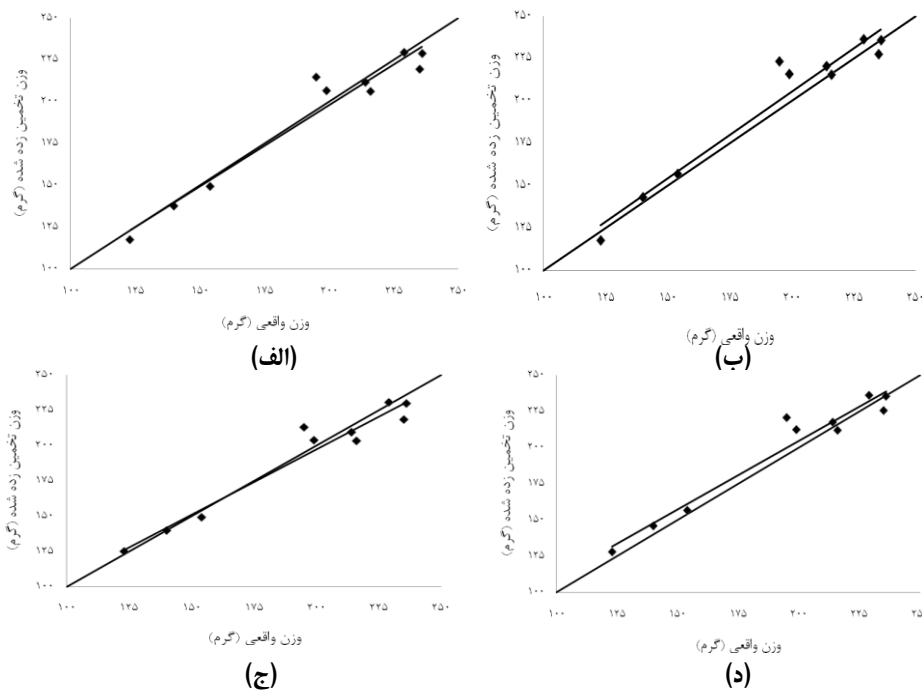
ماهی	شماره	معادله رگرسیونی	درصد خطا	مقدار F ضریب زاویه	مقدار F عرض از مبدأ
شوریده	۱	$\text{weight} = -108.9 + 3.0095A$	۲/۴۶۸	۲/۵۵۸ ^{ns}	۰/۸۰۶ ^{ns}
	۲	$\text{weight} = -1895.4 + 447.79\text{Ln}(A)$	۲/۱۹۰	۰/۹۵۸ ^{ns}	۱/۲۲۲ ^{ns}
	۳	$\text{weight} = 14.042.e^{(0.0995L)}$	۷/۹۹۳	۲/۶۰۲ ^{ns}	۰/۴۲۱ ^{ns}
حلواسفید	۴	$\text{weight} = -95.202 + 1.898A$	۳/۸۴۸	۰/۱۰۸ ^{ns}	۰/۳۵۵ ^{ns}
	۵	$\text{weight} = -1204.6 + 280.22\text{Ln}(A)$	۴/۱۲۳	۰/۰۳۲ ^{ns}	۲/۲۶۹ ^{ns}
	۶	$\text{weight} = -9.652 + 44.861.\exp^{(0.0098A)}$	۳/۵۱۰	۰/۹۷۶ ^{ns}	۰/۴۷۲ ^{ns}
	۷	$\text{weight} = 0.1345A^{1.4528}$	۴/۰۳۳	۰/۴۶۰ ^{ns}	۲/۴۹۶ ^{ns}

مقایسه وزن واقعی و وزن تخمین زده شده ماهی های شوریده و حلواسفید به ترتیب در شکل های ۶ و ۷ آورده شده است.

برای رفع این مشکل میزان خارج از خط بودن هر یک از معادلات محاسبه و پس از اصلاح عرض از مبدأ، معادلات نهایی در جدول ۶ آورده شده است. در این جدول بین روابط ارزیابی و خط $y=x$ هیچ اختلاف معنی داری از لحاظ شیب (ضریب زاویه) و عرض از مبدأ وجود ندارد.



شکل ۶. نمودارهای ارزیابی و خط $y=x$ به منظور ارزیابی روابط تخمین وزن ماهی شوریده



شکل ۷. نمودارهای ارزیابی و خط $y=x$ به منظور ارزیابی روابط تخمین وزن ماهی حلوا

اندازه گیری شده و تخمین زده شده با پردازش تصویر آورده شده است. نتایج مربوط به آزمون t-test و درصد خطا نیز در این جدول آمده است.

جدول ۷ تفکیک ماهی های شوریده و حلواسفید را بر اساس گونه نشان می دهد. در جدول ۸ مقادیر میانگین، کمینه و بیشینه طول

جدول ۷. تفکیک بر اساس گونه

ماهی شوریده	ماهی حلواسفید	
۳۵	۳۵	تعداد ماهی
۳۵	۳۵	تعداد ماهی صحیح تفکیک شده
۱۰۰	۱۰۰	درصد

جدول ۸. مقادیر میانگین، کمینه و بیشینه طول اندازه‌گیری شده و تخمین زده شده با پردازش تصویر

ماهی شوریده		ماهی حلوا		
اندازه‌گیری	پردازش تصویر	اندازه‌گیری	پردازش تصویر	
۳۲/۶۴	۳۲/۴۸	۲۳/۳۹	۲۲/۸۴	میانگین (سانتی‌متر)
۲۷/۸۴	۲۷/۷۴	۱۸/۹۰	۱۸/۸۹	کمترین طول (سانتی‌متر)
۴۳/۴۷	۴۳/۳۷	۲۶/۰۹	۲۶/۰۵	بیشترین طول (سانتی‌متر)
۰/۱۶		۰/۵۵		تفاوت میانگین طول‌ها
۰/۴۹		۱/۸۸		درصد خطا
۰/۸۲۶		۰/۱۵۷		t-test

۲۴ سانتی‌متر تقسیم‌بندی شد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، در تمامی دسته‌ها ماهی‌های شوریده و حلواسفید به صورت ۱۰۰ درصد صحیح تفکیک شده‌اند.

جدول ۹ تفکیک ماهی‌ها بر اساس اندازه را نشان می‌دهد. ماهی شوریده از لحاظ طول کل به سه دسته ۳۲ - ۳۸، ۳۲ و ۴۴ - ۳۸ سانتی‌متر و ماهی حلواسفید نیز به سه دسته ۲۱ - ۱۸، ۲۴ - ۲۱ و ۲۷ سانتی‌متر

جدول ۹. تفکیک طولی ماهی

۳۲ - ۳۸ سانتی‌متر		۳۲ - ۳۸ سانتی‌متر		۳۸ - ۴۴ سانتی‌متر		
۱۶	۱۸	۱				تعداد ماهی
۱۶	۱۸	۱				تعداد ماهی صحیح تفکیک شده
۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰				درصد
۱۸ - ۲۱ سانتی‌متر		۲۱ - ۲۴ سانتی‌متر		۲۴ - ۲۷ سانتی‌متر		
۷	۱۷	۱۱				تعداد ماهی
۷	۱۷	۱۱				تعداد ماهی صحیح تفکیک شده
۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰				درصد

و تخمین زده شده با پردازش تصویر برای دو گونه شوریده و حلواسفید آورده شده است. نتایج مربوط به آزمون t-test و درصد خطا نیز در این جدول آورده شده است. همان طور که مشاهده می شود، هیچ اختلاف معنی داری بین مقادیر به دست آمده از اندازه گیری و پردازش تصویر وجود ندارد. همچنین، درصد خطای وزن ماهی های شوریده و حلواسفید به ترتیب ۳/۳۹ و ۳/۶۰ است که کمتر از ۴ است. یکی از دلایل این تخمین وزن خوب دقت بالای پردازش تصویر در تعیین مساحت ماهی هاست.

جدول ۱۱ تفکیک ماهی ها بر اساس وزن را نشان می دهد. ماهی شوریده از لحاظ وزن به سه دسته ۳۱۳ - ۲۱۸، ۴۰۸ - ۳۱۳ و ۵۰۳ - ۴۰۸ گرم و ماهی حلواسفید نیز از لحاظ وزن به سه دسته ۱۷۴ - ۱۲۲، ۲۲۶ - ۱۷۴ و ۲۷۸ - ۲۲۶ گرم تقسیم بندی شد.

در بین معادلات رگرسیونی تک متغیره تخمین وزن ماهی شوریده، معادله $weight = -108.9 + 3.0095A$ از دسته اول (خطی) با بیشترین ضریب همبستگی ($R = 0.976$) و ضریب تبیین ($R^2 = 0.954$) و کمترین خطای استاندارد ($SEE = 16/746$) و مجذور میانگین مربعات خطا ($RMSE = 16/062$) به منزله مناسب ترین مدل مشخص شد. همچنین، در بین معادلات رگرسیونی تک متغیره تخمین وزن ماهی حلواسفید، معادله $weight = 0.1345A^{1.4528}$ از دسته چهارم (توانی) با بیشترین ضریب همبستگی ($R = 0.970$) و ضریب تبیین ($R^2 = 0.940$) و کمترین خطای استاندارد ($SEE = 8/998$) و مجذور میانگین مربعات خطا ($RMSE = 8/632$) به منزله مناسب ترین مدل مشخص شد.

در جدول ۱۰ مقادیر میانگین وزن اندازه گیری شده

جدول ۱۰. میانگین وزن اندازه گیری شده و تخمین زده شده با پردازش تصویر، تفاوت میانگین وزن ها و درصد خطا برای گونه های شوریده و حلواسفید

اندازه گیری	تخمین زده شده	تفاوت میانگین وزن ها	درصد خطا	t-test	
ماهی شوریده	۳۵۲/۸۳	۳۵۳/۷۰	-۰/۸۷	۳/۳۹	۰/۹۶۰
ماهی حلوا	۱۹۵/۹۴	۱۹۶/۳۰	-۰/۹	۳/۶۰	۰/۹۶۷

جدول ۱۱. تفکیک وزنی ماهی

تعداد ماهی	تعداد ماهی صحیح تفکیک شده	درصد	۲۱۸ - ۳۱۳ سانتی متر	۴۰۸ - ۳۱۳ سانتی متر	۵۰۳ - ۴۰۸ سانتی متر
۹	۱۰	۱۰۰	۱۶	۱۶	۹
۹	۱۰	۱۰۰	۱۶	۱۶	۹
۹	۱۱	۱۰۰	۱۵	۱۵	۹
۹	۱۱	۱۰۰	۱۵	۱۵	۹
۹	۱۱	۱۰۰	۱۵	۱۵	۹
۹	۱۱	۱۰۰	۱۵	۱۵	۹

۴. بحث و نتیجه‌گیری

از نیازهای مبرم عمل‌آوری و حراج آبزیان تفکیک ماهی‌هاست. در ایران نیز تاکنون این دسته‌بندی را نیروی کارگری انجام می‌داد که نه تنها کاری سخت و پرهزمت بود، بلکه مستلزم صرف وقت و هزینه زیاد نیز بود. همچنین، چون دسته‌بندی سنتی به صورت دستی و چشمی انجام می‌گرفته است از دقت کافی نیز برخوردار نبوده است. ماشین بینایی شاخه‌ای از هوش مصنوعی است که در آن بینایی انسان شبیه‌سازی می‌شود (Gonzalez and woods, 2002). بنابراین، می‌بایست به منظور تفکیک گونه‌های ماهی تفاوت‌های ظاهری آن‌ها شناسایی شود تا به کمک فناوری ماشین بینایی قابل تفکیک باشند. تحقیق حاضر نشان داد که بین ماهی شوریده و حلواسفید در طول کل، ارتفاع، بزرگ‌ترین قطر، کوچک‌ترین قطر و ضریب رعنایی اختلاف معنی‌داری در سطح ۱ درصد وجود دارد. از آن‌جا که ماهی شوریده نسبت به حلواسفید کشیده‌تر است، بنابراین از ضریب رعنایی کمتری نسبت به حلواسفید برخوردار بود. بنابراین در اولین قدم از پارامتر ضریب رعنایی به منظور تشخیص گونه‌ها استفاده شد. همان‌طور که مشاهده شد دو گونه به صورت ۱۰۰ درصد صحیح تفکیک شده‌اند که در مقایسه با تحقیقات وایت و همکاران (۲۰۰۶) و استراچان (۱۹۹۴) دقت بالاتری داشت. علت این امر استفاده از ویژگی‌های فیزیکی است که این دو گونه در قسمت ضریب رعنایی اختلاف‌های معنی‌داری داشتند. همچنین، می‌توان با استفاده از دیگر خصوصیات فیزیکی و رنگی ماهی‌ها اقدام به تفکیک دیگر گونه‌های ماهی نیز کرد، یعنی می‌توان

ماهی‌هایی را نیز که در یک خانواده قرار دارند و از نظر ظاهری شباهت زیادی به هم دارند، به کمک خصوصیات مورفولوژیکی، با دقت بالا از هم تفکیک کرد.

محققان از روش توانی برای تخمین وزن ماهی استفاده می‌کنند (Rosa et al., Odone et al., 1998; 2006)؛ به این صورت که وزن ماهی‌ها (w) بر اساس طول (L) آن‌ها به صورت معادله $W = aL^b$ به دست می‌آید و برای هر یک از گونه‌ها ضرایب a و b تعیین می‌شوند، اما در این تحقیق، به منظور حصول دقت بالاتر، از چهار روش خطی، لگاریتمی، نمایی و توانی در قالب رگرسیون‌های تک‌متغیره و چندمتغیره برای تخمین وزن ماهی‌ها استفاده شد و با توجه به آماره‌ها، مناسب‌ترین مدل‌ها انتخاب شده‌اند؛ به طوری که در ماهی شوریده روش خطی و در ماهی حلواسفید روش توانی به‌منزله معادلات مناسب برای تخمین وزن ماهی‌ها انتخاب شده‌اند. شایان ذکر است که در هر دو گونه، تخمین وزن ماهی با استفاده از مساحت دارای خطای کمتری نسبت به تخمین وزن با استفاده از طول کل ماهی است و این از محاسن استفاده از ماشین بینایی به منظور تعیین مساحت ماهی‌هاست.

مطالعه حاضر نشان داد مدل‌های به‌دست‌آمده برای تخمین وزن ماهی‌های شوریده و حلوا با دقت قابل توجهی نسبت به روش‌های معمول عمل کرده است. در تحقیقات انجام‌شده، به دلیل این‌که محققان از روش‌های سنتی اندازه‌گیری استفاده می‌کردند، از رابطه بین طول و وزن برای تخمین وزن ماهی استفاده می‌شد (Morato et al., 2001; Rosa Santos et al., 2001)؛ اما در تحقیق حاضر، تخمین وزن این دو گونه ماهی با استفاده از مساحت انجام گرفته

به منظور رقم‌بندی، بهبود کیفیت محصولات تولیدشده، گردآوری اطلاعات برای تصمیم‌گیری در کنترل ماشین‌آلات، یا فرایندهای افزایش بهره‌وری تولید است. سیستم ماشین‌بینایی می‌تواند اطلاعات پیوسته و قابل اعتمادی درباره وضعیت فرایند تولید فراهم کند. این سیستم توانایی فراهم کردن و به‌روزر کردن داده‌های آماری مربوط به پارامترهای کنترلی را دارد و می‌تواند این اطلاعات را به صورت نمایشی روی نمایش‌گر ارائه کند، به عمل‌گر بفرستد یا اطلاعات را به صورت پیوسته به رایانه مرکزی ارسال کند (Zabihi, 2014). به دلیل سرعت و دقت بالای این فناوری، کاربرد آن روزبه‌روز در حال افزایش است. با توجه به این‌که در تحقیق حاضر استفاده از پردازش تصویر از دقت بالایی نسبت به روش‌های سنتی برخوردار است، می‌توان سیستم‌های ماشین‌بینایی را در طراحی سیستم‌های سورتینگ به شکلی مورد استفاده قرار داد که به طور پیوسته و بلادرنگ گونه، اندازه و وزن ماهی را تشخیص دهند. بر این اساس، می‌توان چرخه سیستم سورتینگ اتوماتیک آبیان را تکمیل کرد. با توجه به این‌که استفاده از این فناوری از نظر اقتصادی نیز مقرون به صرفه است، بنابراین پیشنهاد می‌شود این پژوهش درباره گونه‌های دیگر ماهی نیز اجرا و خطای تخمین استخراج شود. با این حال، پژوهش حاضر نشان داد که فناوری ماشین‌بینایی برای رقم‌بندی ماهی قابل استفاده و توصیه است.

است؛ ذکر این نکته قابل توجه است که به دلیل این‌که باله‌های دمی، پشتی، مخرجی و شکمی وزن دارند و در محاسبه مساحت، باله‌ها نیز حساب می‌شوند تخمین وزن ماهی به کمک مساحت از دقت بالاتری نسبت به دیگر خصوصیات فیزیکی برخوردار است. به همین دلیل است که در جداسازی بر اساس وزن، در تمامی گونه‌ها و دسته‌ها، ماهی‌ها به صورت ۱۰۰ درصد صحیح تفکیک شده‌اند.

همچنین نتایج نشان داد که هیچ اختلاف معنی‌داری بین مقادیر به‌دست‌آمده طول ماهی با اندازه‌گیری دستی و استفاده از پردازش تصویر وجود ندارد. همچنین درصد خطای ماهی شوریده ۰/۴۹ است که کمتر از ۰/۵ سانتی‌متر است و در مقایسه با تحقیقات استراچان (۱۹۹۴) خطای کمتری دارد. ماهی حلواسفید نیز به دلیل دارا بودن باله‌های دمی باریک و بلند درصد خطای بیشتری نسبت به ماهی شوریده داشت، اما این خطا کمتر از ۲ سانتی‌متر است. همان‌طور که مشاهده می‌شود تمامی گونه‌ها در تمامی دسته‌ها به صورت ۱۰۰ درصد صحیح تفکیک شده‌اند و این دقت بالای پردازش تصویر را می‌رساند که توانسته خصوصیات فیزیکی را با دقت بالا استخراج کند. نکته قابل توجه این است که جداسازی انجام‌گرفته در این تحقیق بر اساس طول کل ماهی است و اگر ما از مساحت (مستخرج از پردازش تصویر) استفاده می‌کردیم دقت بسیار بالاتری نیز داشتیم.

کاربردهای ماشین‌بینایی برای اتوماسیون کارخانه‌ها شامل عملیاتی همچون بازرسی خودکار

References

- [1]. Anonymous, 2008. Master of applied statistics. <http://statmaster.sdu.dk/courses>. Accessed Feb. 2012.
- [2]. Blasco, J., Aleixos, N., Molto, E., 2003. Machine vision system for automatic quality grading of fruit. *Biosystems Engineering* 85, 415-423.
- [3]. Brandon, J.R., Searcy, S.W., 1992. Vision assisted tractor guidance for agricultural vehicles. American Society of Automotive Engineers. Report number: 921650, p.
- [4]. Fehr, B.W., Gerish, J.B., 1995. Vision-guided row crop follower. *Applied Engineering in Agriculture* 11, 613-620.
- [5]. Gonzalez, R., and Woods, R. 2002. *Digital Image Processing*. Addison-Wesley publishing Company, 2nd edition. pp. 716.
- [6]. Heydari, A. 2009. *Image processing in matlab*. 1th ed., Tehran: Beh-Avaran Publishers.
- [7]. Louka, N., F. Juhel, V. Fazilleau and P. Loonis., 2004. A novel colorimetry analysis used to compare different drying fish processes. *Food Control*. 15: 327-334.
- [8]. Kondo, N., Ahmad, U., Mitsuji, M., Haruhiko, M., 2000. Machine vision based quality evaluation of Iyokan orange using neural network. *Computers and Electronics in Agriculture* 29, 135-147.
- [9]. Mitchell, J. 1994. *MPEG: An Image Compression Standard*. Engle Wood Cliffs, N. J. Prentice Hall.
- [10]. Mohebbi M., M.R. Akbarzadeh, F. Shahidi, M. Moussavi, and Ghodduzi, H. B., 2009. Computer vision systems (CVS) for moisture content estimation in dehydrated shrimp. *Computers and Electronics in Agriculture*. 69, 128–134.
- [11]. Mohsenin, N. N. 1986. *Physical properties of plant and animal materials*. 2nd ed., New York: Gordon and Breach Science Publishers.
- [12]. Morato, T., Afonso, P., Lourinho, P., Barreiros, J.P., Santos, R.S., Nash, R.D.M., 2001. Length-weight relationships for 21 coastal fish species of the Azores, north-eastern Atlantic. *Fisheries Research* 50, 297-302.
- [13]. 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.
- [14]. Poyton, C. A. 1996. *Probability, Random variables, and random signal principles*. 3rd ed., McGraw-Hill, New York.
- [15]. Rosa, A., Menezes, G., Melo, O., Pinho, M.R., 2006. Weight-length relationships of 33 demersal fish species from Azores archipelago. *Fisheries Research* 80, 329-332.
- [16]. Santos, M.N., Gaspar, M.B., Vasconcelos, P., Monteiro, C.C., 2001. Weight-length relationships for 50 selected fish species of the Algarve coast (southern Portugal). *Fisheries research* 59, 289-295.
- [17]. Strachan, N.J.C., 1994. Sea trials of a computer vision based fish species sorting and size grading machine. *Mechatronics* 4, 773-783.
- [18]. White, D.J., Svellingen, C., Strachan, N. J. C, 2006. Automated measurement of species and length of fish by computer vision. *Fisheries Research* 80, 203-210.

- [19]. 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.
- [20]. Zion, B., Shklyar, A., Karplus, I., 1999. Sorting fish by computer vision. *Computers and Electronics in Agriculture* 23, 175-187.
- [21]. Zion, B., Shklyar, A., Karplus, I., 2000. In-vivo fish sorting by computer vision. *Aquacultural Engineering* 22, 165-179.