

## رهیافتی برای به‌دست آوردن پارامترهای زیست‌سنجی و نکاشت منحنی رشد ماهی قزل‌آلا به‌وسیله آنالیز تصویر دیجیتال تحت شرایط آزمایشگاهی

بهزاد بهزادی‌مکوندی<sup>۱</sup>، علی محمد برقی<sup>۲\*</sup>، ارژنگ جوادی<sup>۳</sup>، سعید مینایی<sup>۴</sup> و مرتضی الماسی<sup>۵</sup>

۱، ۲، ۴ و ۵- به‌ترتیب: دانشجوی دکتری مکانیک ماشین آلات کشاورزی؛ و اساتید گروه مهندسی سیستم‌های کشاورزی، دانشکده کشاورزی و صنایع غذایی، دانشگاه آزاد واحد علوم تحقیقات، تهران، ایران  
۳- استاد مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران  
تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۸/۶، تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۲/۲۵

### چکیده

مطالعه روی پارامترهای زیستی ماهی قزل‌آلا با روش سنتی (متکی بر عوامل انسانی و غیر اتوماتیک)، به‌دلیل مشکلات جدی مانند انتقال بیماری، مرگ بر اثر استرس، بی‌دقتی‌ها، زمان‌بر بودن و ... کارایی پایینی دارد. در این پژوهش، به‌کارگیری یک سامانه بینایی ماشین، مبتنی بر ویدیونگاری شامل محفظه تصویربرداری و نورپردازی، برای غلبه بر مشکلات روش سنتی پیشنهاد شده است. شیوه عمل برای اندازه‌گیری پارامترهای زیست‌سنجی ماهی، ویدیونگاری از حرکت ماهی حین عبور از اتاقک تاریک است. تصویرهای منتخب از ویدیوی گرفته شده، پردازش شد. در این روش، طول، سطح رویه، وزن، میزان غذای مصرفی ویژه و فاکتور رشد ماهیان قزل‌آلا در شرایط کاملاً کنترل شده اندازه‌گیری و به‌عنوان ملاک مقایسه (کنترل یا شاهد) به‌کار گرفته شده است. برای تخمین وزن ماهی از طریق پارامترهای اندازه‌گیری شده، شش مدل ریاضی به‌کارگیری شد و از این میان از مدل توانی وزن- طول به‌عنوان بهترین مدل برای تخمین وزن ماهی استفاده شده است. دقت سیستم در تخمین فاکتورهای زیست‌سنجی ماهی بزرگتر از ۹۰ درصد و قابلیت سامانه در تخمین غذای مورد نیاز ماهی در فرایند رشد برابر با ۹۸ درصد به‌دست آمده است.

### واژه‌های کلیدی

بینایی ماشین، ویدیونگاری، فاکتور رشد

### مقدمه

می‌دهد (Andrew et al., 2004)، تغذیه مناسب

ماهی موجب کاهش هزینه تولید و افزایش سود می‌شود.

در روش‌های متداول، پارامترهای زیست‌سنجی ماهی را با گرفتن ماهی از آب و اندازه‌گیری ابعاد و وزن آن با وسایل ابتدایی مرسوم به‌دست می‌آورند. این روش سبب بروز یک سری مشکلات جدی می‌شود؛ بخشی از مشکلات از این قرارند: ایجاد

برای برنامه‌ریزی مرتبط با دسته‌بندی، تغذیه و برداشت ماهی، جمع‌آوری اطلاعات درباره طول بدن، وزن، فاکتور رشد و توزیع وزنی آن در حوضچه ضروری است. پایش و کمی کردن فعالیت ماهی، می‌تواند غذادهی بهینه را متناسب با منحنی رشد آن به‌دست دهد. از آن‌جا که حدود ۵۰ تا ۶۰ درصد هزینه تولید ماهی قزل‌آلا را خوراک آن تشکیل

مختلف است. مقدار  $b$  کمتر از ۳، به معنای منفی بودن نرخ رشد، بزرگتر از ۳ نشان‌دهنده مثبت بودن رشد، و برابر بودن با ۳ به مفهوم یکنواخت بودن رشد ماهی است (Norma & Khairenizam, 2002). از جمله روابط مؤثر دیگر، رابطه سطح رویه - وزن است که بر اساس مدل‌های ریاضی خطی، نمایی، توانی و درجه دوم تعیین می‌شود (Balaban *et al.*, 2010a). فاکتور رشد ( $K$ ) را محققان در مطالعات ماهی‌شناسی به‌طور گسترده به‌کار می‌برند. این فاکتور از رابطه ۲ محاسبه می‌شود (Sarkar *et al.*, 2013).

$$K = \frac{100 \times W}{L^3} \quad (2)$$

مقادیر متفاوت فاکتور رشد بیانگر مراحل جنسی، میزان غذای مصرفی ماهی، سن و در برخی موارد جنس ماهی است (Anibeze, 2000).

اولین استفاده از فناوری پردازش تصویر در زمینه زیست‌سنجی آبزیان مربوط به تخمین پارامترهای زیست‌سنجی کوسه است (Klimley & Brown, 1983). شی و پترل (Shieh & Petrell, 1998) با بررسی ابعاد ماهی سالمون با استفاده از روش پردازش تصویر در حوضچه پرورش ماهی به این نتیجه رسیدند که بین مقادیر میانگین داده‌های حاصله از پردازش تصویر با نتایج به‌دست آمده از روش‌های رایج (اندازه‌گیری سنتی) همبستگی بالایی وجود دارد. زیون و همکاران (Zion *et al.*, 2012) یک الگوریتم را به‌منظور فرایند پردازش تصویر برای تخمین میانگین وزن ماهیان زینتی ارائه دادند و از میان مدل‌های ریاضی به‌کار گرفته‌شده، مدل توانی وزن - مساحت رویه ماهی با ضریب تعیین بالاتر از ۰/۹۵۶، به‌عنوان رابطه ریاضی برای تخمین وزن

استرس شدید در ماهی، انتقال بیماری از طریق تماس مستقیم، بالا بودن مدت زمان اندازه‌گیری‌ها، بالا بودن هزینه مصرفی، دقیق نبودن اندازه‌گیری‌ها، تکرار در اندازه‌گیری‌ها و وابستگی به نیروی انسانی (Shafry *et al.*, 2012; Fabic *et al.*, 2013).

پرورش‌دهندگان ماهی نیز در برابر خارج کردن فیزیکی ماهی از حوضچه برای جمع‌آوری داده مقاومت می‌کنند. اما اهمیت جمع‌آوری داده‌های بادقت بالا از طول و وزن ماهی، بدون نیاز به جابه‌جایی فیزیکی ماهی زنده، به نیاز حیاتی برای شیلات و مدیریت آبزیان تبدیل شده است (Sarkar *et al.*, 2013). با به‌کارگیری فناوری بینایی ماشین، علاوه بر رفع مشکلات موجود، پارامترهای زیست‌سنجی ماهی با دقت بالایی بررسی و در نتیجه تغذیه ماهی مناسب‌تر و دقیق‌تر می‌شود، مدیریت زمان در پرورش ماهی شامل عرضه به موقع ماهی به بازار بهبود می‌یابد و سود نیز بیشتر خواهد شد.

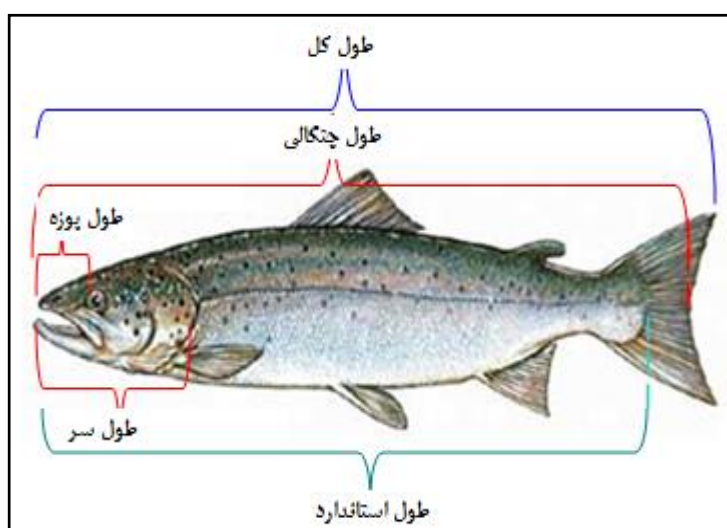
تحقیقات نشان می‌دهد که اندازه‌گیری طول ماهی (از نوک پوزه تا ابتدای باله دم) در مقایسه با سن آن، برای تحلیل فرایند رشد ماهی کارایی بالاتری دارد (Forese *et al.*, 2006; Man *et al.*, 2010). رابطه طول-وزن ماهی یکی از مهم‌ترین روابط موجود در زمینه ماهی‌شناسی است که در حالت کلی به‌صورت رابطه ۱ بیان می‌شود (Chu *et al.*, 2012).

$$W = a L^b \quad (1)$$

که در آن،  $W$  = وزن ماهی (گرم)؛  $L$  = طول ماهی (سانتی‌متر)؛ و  $a$  و  $b$  = مقادیر ثابت. تغییرات ثابت  $b$  در واقع نشان‌دهنده چگونگی رشد ماهی تحت شرایط

بدو و همکاران (Beddow *et al.*, 1996) با استفاده از یک سیستم استریو-ویدئو، وزن ماهی قزل‌آلا را تخمین زدند؛ این محققان گزارش کردند که با به‌کارگیری طول چنگالی (شکل ۱) و ضخامت ماهی می‌توان با دقت ۹۶/۵ درصد، وزن ماهی قزل‌آلا را تخمین زد.

گروهی ماهیان زینتی گزارش دادند. جیونگ و همکاران (Jeong *et al.*, 2013) با به‌کارگیری یک سیستم اتوماتیک پردازش تصویر، به اندازه‌گیری پارامترهای مورفومتریک (شکل ظاهری) شامل طول کل، وزن، ضخامت و عرض ماهی تخت را اندازه‌گیری و حداکثر خطای اندازه‌گیری پارامترهای مورد نظر را ۲ درصد بیان کردند.



شکل ۱- پارامترهای بیومتری طول ماهی قزل‌آلا  
Fig. 1- Biometric parameters of trout length

(Tsikliras, 2009) می‌گویند دقت نتایج به‌دست آمده از پردازش تصویر برای طول ماهی به عواملی مانند کیفیت دوربین و تعیین موقعیت دوربین از هدف بستگی دارد؛ با این همه، خطای ذکر شده در این تحقیق برای ابعاد مختلف به‌دست آمده از پردازش تصویر ماهی و اندازه‌گیری‌های دستی کمتر از ۵ درصد گفته شده است. بالابان و همکاران (Balaban *et al.*, 2010b) در مطالعه‌ای، وزن گونه‌های مختلف ماهی قزل‌آلا را بر اساس مساحت رویه ماهی با استفاده از روش پردازش تصویر تخمین زدند. نتایج به‌دست آمده نشان‌دهنده دقت بالای این روش

هاروی و همکاران (Harvey *et al.*, 2003) در تحقیقی پارامترهای زیست‌سنجی ماهی تون و همچنین شمارش تعداد آنها را با استفاده از سامانه تصویربرداری ویدیویی بررسی کردند و به این نتیجه دست یافتند که خطای سامانه تصویربرداری برای محاسبه طول چنگالی ماهی برابر با ۱/۲۷ میلی‌متر است. توریساوا و همکاران (Torisawa *et al.*, 2011) با استفاده از سیستم استریو-ویدئو، به اندازه‌گیری طول ماهی تون را در عمق‌های ۲، ۴، ۶، ۸، ۱۰ و ۱۲ اندازه‌گیری و گزارش کردند که دقت سیستم پردازش تصویر برای عمق‌های کمتر از ۵/۵ متر برابر ۵ درصد است. کارپوف و همکاران (Karpov &

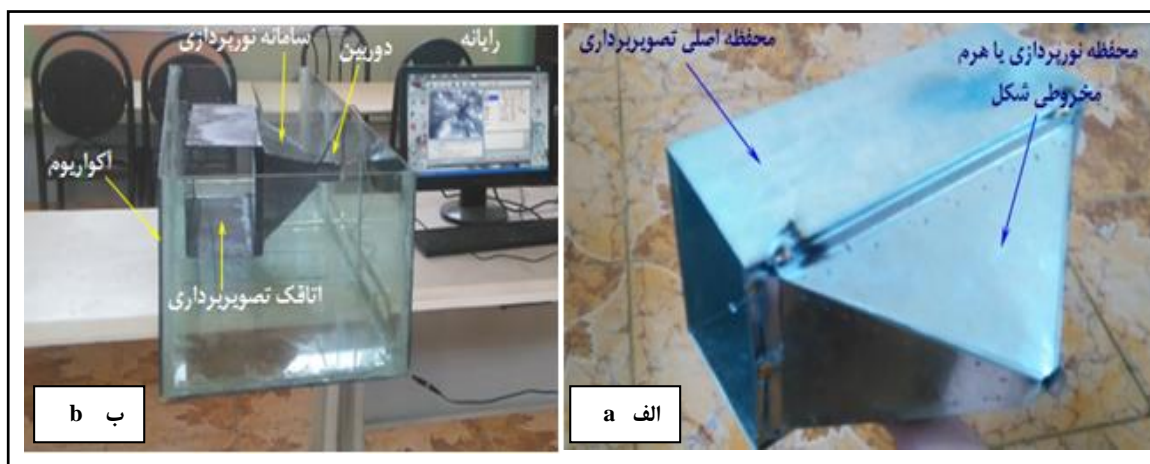
به‌صورت پیوسته برای به‌دست آوردن میزان تغذیه ماهیان صورت نگرفته است. از این رو، هدف اصلی از این تحقیق ساخت سامانه ای بر خط برای تعیین پارامترهای زیست‌سنجی ماهی قزل‌آلا از جمله وزن، میزان غذای مصرفی و فاکتور رشد این ماهی است.

### مواد و روش‌ها

در این پژوهش سامانه بینایی ماشین شامل اجزای آکواریوم، محفظه تصویربرداری، بخش نورپردازی، دوربین، رایانه و برنامه نرم افزاری نوشته شده است (شکل ۲).

(بیش از ۹۴ درصد)، در تخمین وزن ماهی قزل‌آلا بوده است.

با توجه به هزینه بالای تولید محصولات آبی (به‌ویژه هزینه تغذیه آنها) و همچنین نیاز روزافزون این صنعت به تکنولوژی‌های جدید برای افزایش راندمان پرورش محصولات آبی، نیاز به سیستمی است که به‌صورت پیوسته قادر به تعیین چگونگی رشد ماهیان طی فرآیند پرورش باشد تا در صورت نامناسب بودن فرآیند رشد تدابیر مناسبی اتخاذ شود. بررسی‌ها نشان می‌دهد تا کنون تحقیق کاملی در ایران در خصوص اندازه‌گیری پارامترهای زیست‌سنجی ماهی قزل‌آلا در فرآیند رشد و



شکل ۲- الف) محفظه تصویربرداری و ب) قسمت‌های مختلف بینایی ماشین ساخته شده

Fig. 2- a: imaging chamber; b: different parts of the machine vision

به‌دلیل تغییر میزان نور تابشی خورشید در طول روز، وجود نورپردازی مصنوعی شامل ۱۲ عدد لامپ ال‌ای‌دی به‌منظور جلوگیری از تداخل حاصل از نور محیط (مانند ایجاد سایه به‌هنگام تابش روی جسم) ضروری است. از فیلتر پلکسی در مقابل سیستم نورپردازی برای یکنواخت کردن نور تابشی استفاده شد. در این پژوهش، از یک دوربین دیجیتال فول اچ‌دی 4TECH مدل PK910H با کیفیت

محفظه تصویربرداری از جنس ورق فولادی ضد زنگ شامل دو قسمت است. قسمت اول یا اتاقک اصلی به طول ۴۰، عرض ۱۲ و ارتفاع ۳۰ سانتی‌متر که محل عبور ماهی است و بخش دوم که محل قرارگیری دوربین و بخش نورپردازی است، به شکل هرم ناقص به طول ۲۰ سانتی‌متر ساخته شده است. این دو قسمت با یک شیشه نازک شفاف از همدیگر جدا و آب‌بندی شده‌اند.

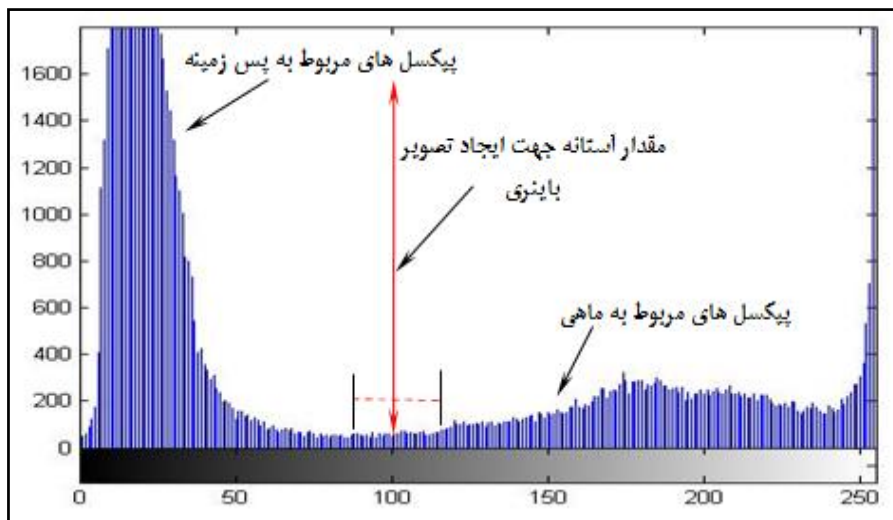
هم‌بندهاست. بهسازی تصویر برای بالا بردن کیفیت تصویر، حذف اغتشاشات و حفره‌های ناخواسته درون مرز تصویر است. در بخش سوم، با به‌کارگیری یک الگوریتم لبه تصویر استخراج می‌شود.

برای تعیین آستانه، از هیستوگرام تصاویر استفاده شد. از میان هیستوگرام‌ها، بهترین آستانه برای استخراج سطح کامل تصویر ماهی قزل‌آلا، از هیستوگرام مؤلفه قرمز بدست آمد (شکل ۳). زیرا در این مؤلفه، بیشترین تمایز بین زمینه و ماهی وجود دارد و فراوانی نقاط با روشنایی بین زمینه و ماهی در مؤلفه قرمز دارای کمترین مقدار است. با آستانه‌گیری از مؤلفه قرمز به‌جای تصویر سه رنگ و مقداردهی تمام پیکسل‌های مؤلفه قرمز با شدت رنگ کوچکتر یا مساوی آستانه، به صفر و بیشتر از این مقدار به یک، تصویر رنگی به دو سطحی تبدیل و به تمامی هم‌بندها برچسب داده شد.

تصویر شانزده مگاپیکسل، سرعت تصویربرداری ۳۰ فریم در ثانیه و قابلیت چرخش ۳۶۰ درجه بهره‌گیری شد. شیوه عمل برای اندازه‌گیری پارامترهای زیست‌سنجی ماهی، ویدئونگاری از حرکت ماهی حین عبور از اتاقک تاریک است. تصاویر منتخب از ویدئوی گرفته شده پردازش شد. دوربین مورد استفاده در سامانه بینایی ماشین از نظر رنگ (با طراحی تعدادی کاغذ رنگی با مشخصات رنگی متفاوت) و مکان (با تعیین ضریب بزرگ‌نمایی به میزان ۰/۸۶) کالیبره شد تا رنگ و اندازه واقعی را نشان دهد.

### پردازش تصویر

پردازش تصویر ماهی شامل ۳ عمل است: بخش‌بندی، بهسازی و استخراج مشخصه‌های تصویر. بخش‌بندی نیز دربرگیرنده آستانه‌گیری، تبدیل تصویر رنگی به دو سطحی و برچسب‌زنی به



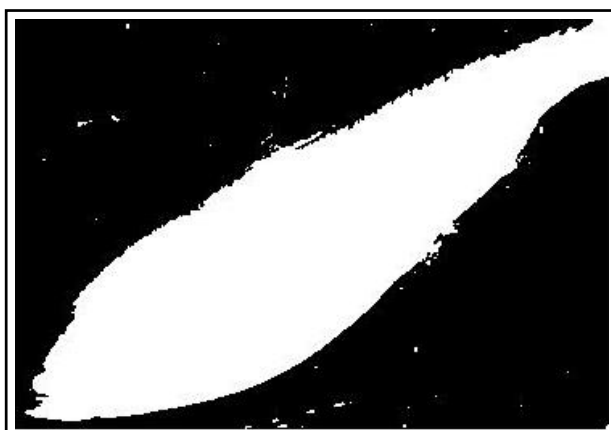
شکل ۳- نمایش هیستوگرام مؤلفه قرمز تصویر ماهی قزل‌آلا

Fig. 3- Histogram of the red component of trout image

تصویر و دیگری وجود حفره درون مرز تصویر ماهی. برای رفع اغتشاش در تصاویر گرفته شده از ماهی در

در تصویر تشکیل شده دو نوع عامل ناخواسته وجود داشت، یکی اغتشاشات اضافی در اطراف

حال حرکت (شکل ۴)، ابتدا پس از مطالعه تعداد زیادی از آنها، این نتیجه به دست آمد که مساحت سطح تصویر نمونه‌ها حداقل ۱۰۰۰۰ پیکسل است. برای حذف اغتشاش‌ها، از یک الگوریتم استفاده شد که در آن اگر هم‌بند مساحتی کمتر از ۱۰۰۰۰ پیکسل داشته باشد، اغتشاش محسوب می‌شود و با تخصیص مقدار صفر، آن هم‌بند حذف و یا به عبارت دیگر به زمینه تبدیل می‌شود.



شکل ۴- اغتشاش‌های تصاویر گرفته شده از ماهی قزل آلا در حین حرکت  
Fig. 4- Noise in trout image while moving

پس از حذف اغتشاش‌ها، درون مرز برخی از تصویرها، حفره‌هایی باقی مانده بود که باعث ایجاد خطا در اندازه‌گیری ابعاد می‌شد. حفره‌ها در یک تصویر، ناحیه‌هایی با مقدار صفر هستند که درون تصویر اصلی قرار دارند. با طراحی الگوریتمی تصویر بدون حفره تشکیل و در نهایت از عمل مورفولوژیکی سایش برای هموارسازی مرز تصویر استفاده شد (شکل ۵).



شکل ۵- سمت چپ: نمایش اولیه تصویر، وسط: حفره‌های روی تصویر سمت راست: تصویر اصلی با حفره‌های پر شده و رفع ناهمواری‌های روی مرز

Fig. 5- left: initial display of the image; center: holes on the image; right: holes were filled and uneven borders were removed

به منظور اندازه‌گیری دستی طول چنگالی ماهی قزل‌آلا، از یک خط‌کش دیجیتالی با دقت ۰/۰۱ میلی‌متر استفاده شد. تمامی اندازه‌گیری‌ها برای هر یک از نمونه‌ها دو بار تکرار شد (در مجموع ۶۰

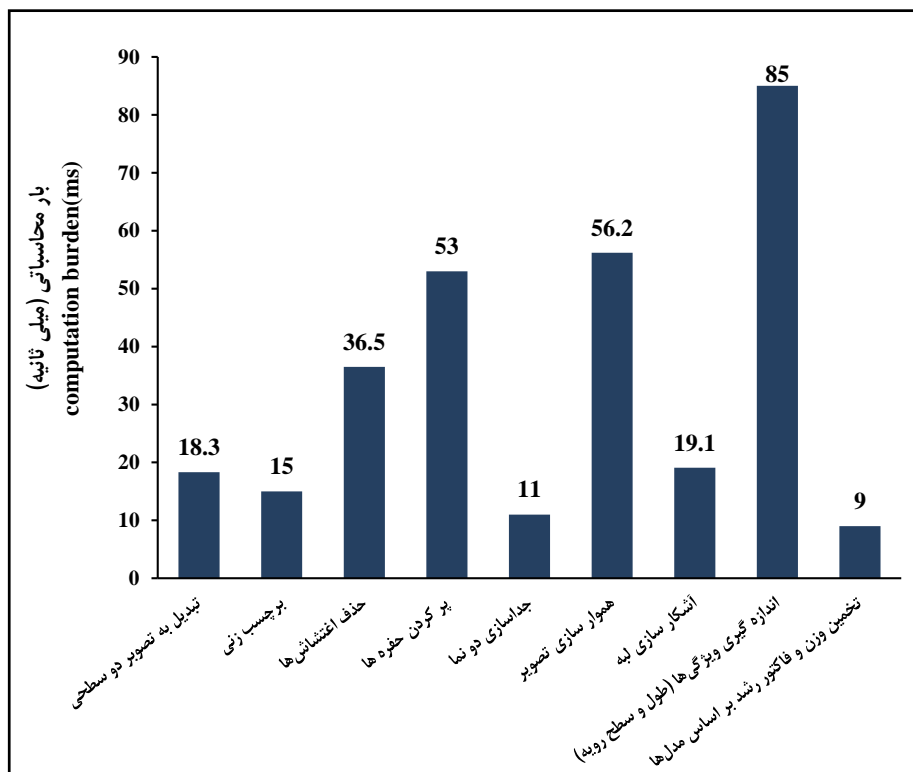
**نتایج و بحث**

برای بررسی بار محاسباتی الگوریتم‌های پردازش، زمان محاسبه هر قسمت به‌عنوان معیار بار محاسباتی ثبت می‌شود. مطابق نمودار شکل ۶، متوسط کل زمان لازم برای پردازش هر یک از تصویرهای گرفته شده از نمونه‌های ماهی قزل‌آلا برابر با ۳۰۳/۱ میلی ثانیه است، به‌گونه‌ای که بیشترین زمان عملیات برای اندازه‌گیری پارامترهای ظاهری ماهی (طول و سطح رویه) برابر با ۸۵ میلی ثانیه و کمترین مقدار آن برابر با ۹ میلی ثانیه برای تخمین وزن ماهی و فاکتور رشد است.

تکرار) و میانگین آنها به‌عنوان طول ماهی ملاک محاسبه قرار گرفت.

**تحلیل آماری**

به‌منظور به‌دست آوردن ملاک‌های مقایسه، ۳۰ عدد ماهی در قالب طرح کاملاً تصادفی انتخاب و ارزیابی شدند. میانگین و انحراف معیار داده‌ها محاسبه گردید و برای مقایسه مقادیر اندازه‌گیری شده توسط اپراتور و مقادیر پیش‌بینی شده توسط مدل‌های ریاضی ارائه شده، علاوه بر ضریب تعیین، مربع کای و ریشه میانگین مربع خطاها، آزمون T نیز به‌منظور بررسی معنی‌دار بودن نتایج به‌کار گرفته شد.



شکل ۶- بار محاسباتی الگوریتم‌های پردازش و اندازه‌گیری ویژگی‌های ظاهری

Fig. 6- Computational burden of processing algorithms and measurement of apparent properties

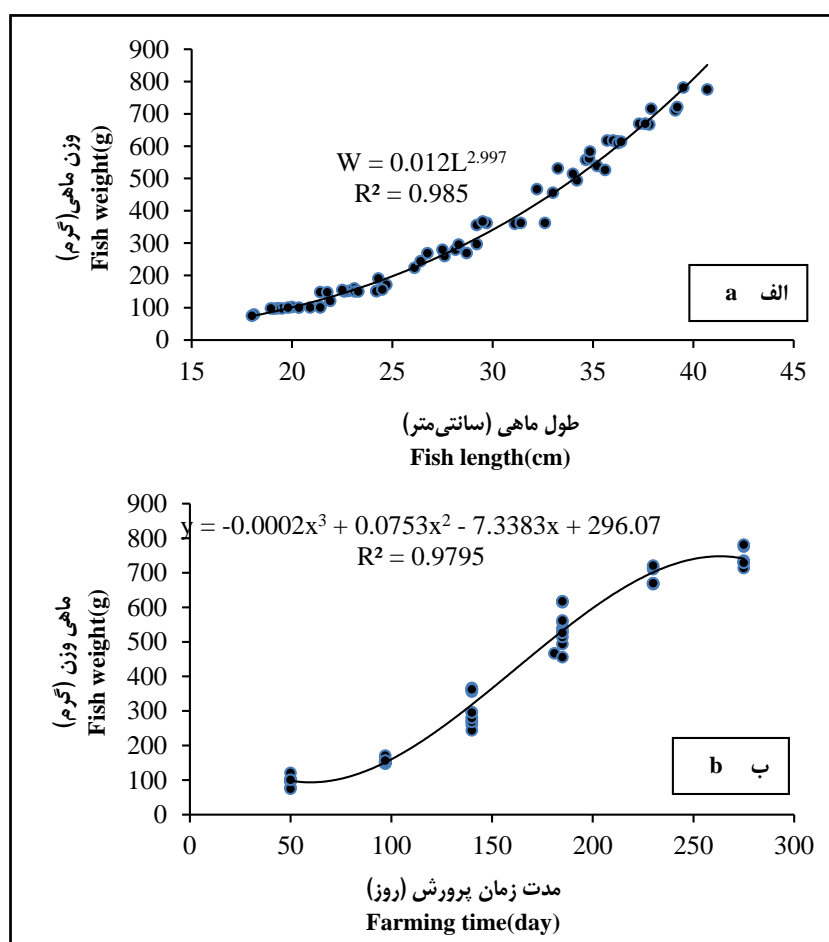
است. نتایج به‌دست آمده از برآزش مدل ریاضی رابطه‌های ۱ و ۲ بر روند این تغییرات نشان‌دهنده آن است که ضریب b برای ماهی قزل‌آلا برابر با

استخراج بهترین مدل برای تخمین وزن ماهی چگونگی تغییرات وزن ماهی بر حسب طول آن در فرآیند پرورش در شکل ۷- الف نشان داده شده



وزن ماهی در فرایند رشد بر حسب مدت‌زمان پرورش در شکل ۷-ب نشان داده شده است. برابر این شکل، در ماه‌های ابتدای فرایند پرورش، سرعت رشد با شیب مناسب رو به افزایش است اما پس از گذشت زمان ۲۳۰ روز، سرعت رشد ماهی به‌طور معنی‌داری کاهش یافته است ( $P < 0.05$ ).

۲/۹۹۷ است. برابر این نتیجه می‌توان گفت که سرعت رشد ماهیان قزل‌آلای مورد بررسی روند کاهشی دارد ولی تغییرات فصلی و شرایط آب و هوایی تأثیر اندکی بر روند رشد ماهی قزل‌آلای در این تحقیق داشته است. این نتیجه‌گیری با گزارش‌های (Chu et al., 2012) همخوانی بالایی دارد. تغییرات



شکل ۷- الف) تغییرات وزن ماهی قزل‌آلای بر حسب طول آن طی فرایند رشد و ب) تغییرات وزن ماهی قزل‌آلای بر حسب مدت زمان پرورش

Fig.7- a) changes in trout weight in terms of length during the growth process; b) changes in trout weight in terms of farming time

قزل‌آلای از حدود ۴۹ گرم تا حدود ۳۳۸ گرم برای هر ماهی متغیر است، در صورتی‌که میزان غذای مصرفی برای دوره آخر اندازه‌گیری تنها ۱۰٪ افزایش یافته

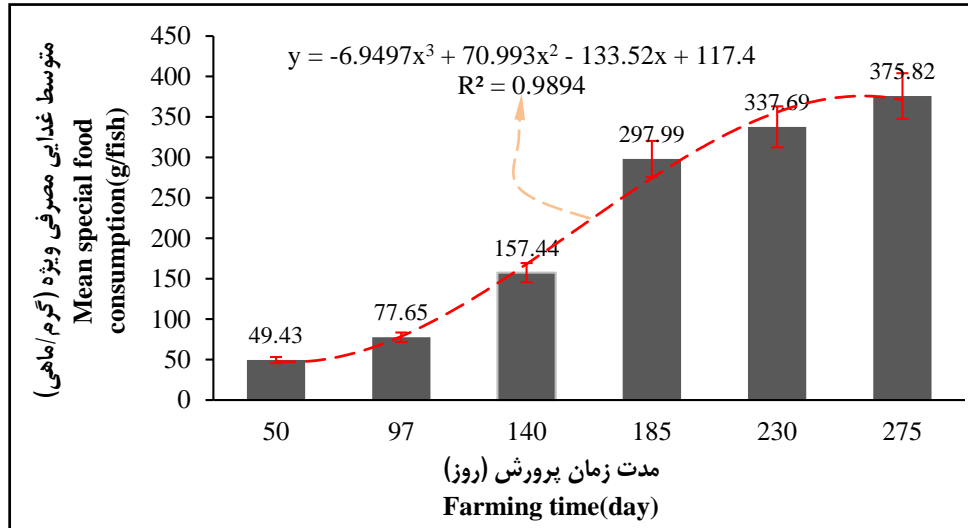
تغییرات متوسط غذای مصرفی ویژه در شکل ۸ نشان داده شده است. این نمودار نشان می‌دهد با افزایش سرعت رشد، میزان غذای مصرفی ویژه ماهی



رهیافتی برای به دست آوردن پارامترهای زیست‌سنجی و نگاشت...

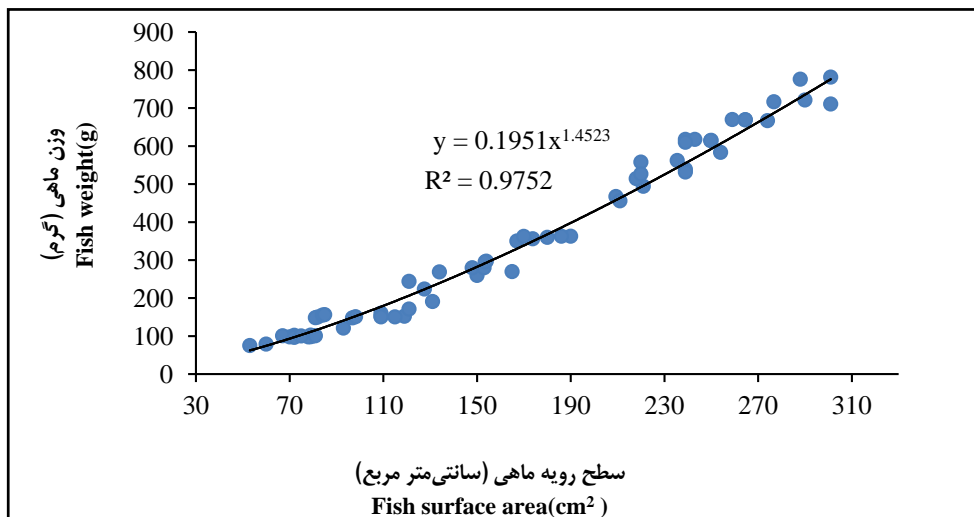
ماهی (سطحی مقابل دوربین) است. مطابق این شکل، تغییرات وزن ماهی قزل‌آلا دارای یک رابطه غیر خطی با مساحت رویه ماهی است.

است. شکل ۹ نشان‌دهنده چگونگی تغییرات وزن نمونه ماهی قزل‌آلا بر حسب مساحت سطح رویه



شکل ۸- تغییرات متوسط غذای مصرفی

Fig. 8- Mean changes in food consumption



شکل ۹- تغییرات وزن نمونه ماهی قزل‌آلا بر حسب مساحت سطح رویه ماهی

Fig. 9- Changes in trout weight in terms of fish surface area

$(\chi^2=720/57)$  و ریشه میانگین مربع خطاها  $(RMSE=24/43)$  به‌عنوان بهترین مدل، برای تخمین وزن ماهی قزل‌آلا و دیگر فاکتورهای مورد مطالعه (فاکتور رشد، میزان غذایی مصرفی ...)

نتایج آماری به دست آمده از برازش مدل‌های ریاضی ارائه شده، در جدول ۱ نشان داده شده است. مدل توانی وزن-طول با بیشترین مقدار ضریب تبیین یعنی  $R^2=0/986$  و کمترین مربع کای

به‌کار برده شد. با این‌حال، از میان مدل‌های وزن- سطح رویه ماهی قزل‌آلا، مدل توانی بعد از مدل وزن- طول بهترین مدل برای پیش‌بینی وزن ماهی قزل‌آلا بر اساس اندازه‌گیری مساحت سطح رویه ماهی قزل‌آلا است.

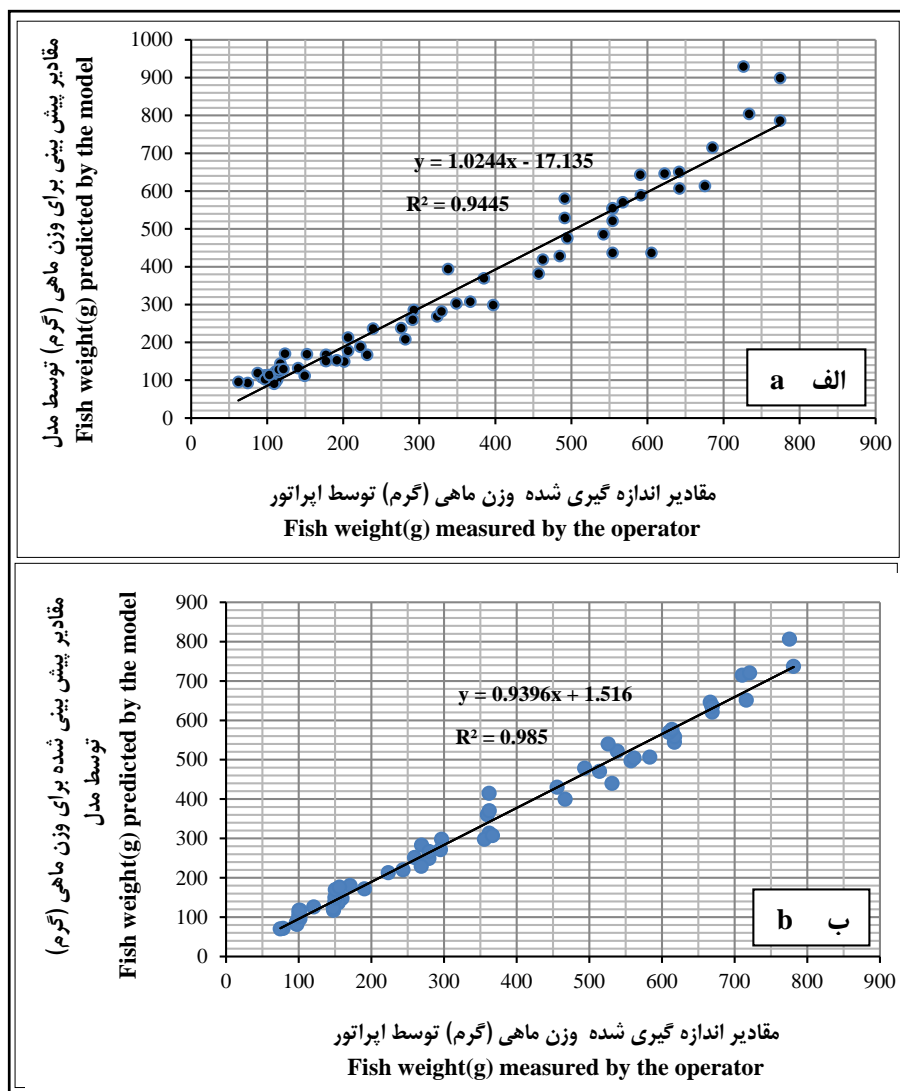
جدول ۱- نتایج آماری به‌دست آمده برای مدل‌های به‌کار گرفته شده برای پیش‌بینی وزن ماهی قزل‌آلا

Table 1. Statistical results obtained from models used to predict trout weight

ریشه میانگین مربع خطاها RMSE	مربع کای Chi-square	ضریب تبیین Determination coefficient	ضرایب و ثابت‌های مدل Model coefficients and constants	فرمول Formula	نام مدل Model name
26.43	720.57	0.986	a=0.012 b=2.997	$W = a L^b$	وزن- طول Weight-length
34.11	1200.45	0.970	P=-137.6 F=2.951	$W = P + FS$	وزن- سطح (خطی) Weight-surface area (linear)
29.03	869.13	0.984	P=0.195 F=1.452	$W = P + F \times \exp\left(\frac{S}{n}\right)$	وزن- سطح (توانی) Weight-surface area (power)
31.70	1053.75	0.983	F=1.454 P=-32.55	$W = P \times S^F$	وزن- سطح (درجه دوم) Weight-surface area (quadratic)
62.45	4088.64	0.956	F=85.08 n=125 P=0.0001	$W = P + FS + nS^2$	وزن- سطح (نمایی) (exponential)
60.20	3798.82	0.984	P=0.166 n=0.003 F=1.458	$W = P \times S^F + n$	وزن - سطح (توانی بهبود یافته) Weight-surface area (improved power)

در شکل ۱۰ تغییرات مقادیر وزن ماهی قزل‌آلا در مدل‌های وزن- طول و وزن- مساحت رویه (مدل توانی) در مقایسه با مقادیر اندازه‌گیری شده با اپراتور نشان داده شده است. آزمون مقایسه دو معادله نشان می‌دهد که هیچ‌گونه اختلاف معنی‌داری در ضریب زاویه و عرض از مبدأ بین مدل اعتبارسنجی و نمودار یک‌به‌یک وجود ندارد. این موضوع نشان‌دهنده دقت این مدل‌ها در پیش‌بینی تغییرات وزن ماهی قزل‌آلا در فرایند رشد آن است.

بالابان و همکاران (Balaban *et al.*, 2010a) در تحقیقی مشابه وزن گونه‌های مختلف ماهی قزل‌آلا را بر اساس مساحت رویه ماهی با استفاده از روش پردازش تصویر تخمین زدند. این محققان به‌منظور استخراج معادله کالیبراسیون وزن- مساحت رویه، سه مدل ریاضی (خطی، درجه دوم و توانی) بر مقادیر به‌دست آمده از وزن و مساحت رویه (اندازه‌گیری دستی) تطبیق دادند و مدل توانی را به‌عنوان بهترین مدل برای تخمین وزن ماهی قزل‌آلا به‌کار گرفتند.



شکل ۱۰- الف) مقایسه وزن ماهی قزل‌آلای اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی شده با مدل ریاضی  $W=PS^F$  و ب) مقایسه وزن ماهی قزل‌آلای

اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی شده با مدل ریاضی  $W=aL^b$

Fig. 10- a) comparison of trout weight measured and predicted by the mathematical model  $W=aL^b$ ;  
b) comparison of trout weight measured and predicted by the mathematical model  $W=PS^F$

ماهی قزل‌آلای به‌شدت به عوامل محیط زیست خود حساس است. تغییرات فاکتور رشد ماهی قزل‌آلای در شرایط کنترل شده (مبنای مقایسه داده‌ها در مرحله پردازش تصویر) را می‌توان این‌گونه بیان داشت که:

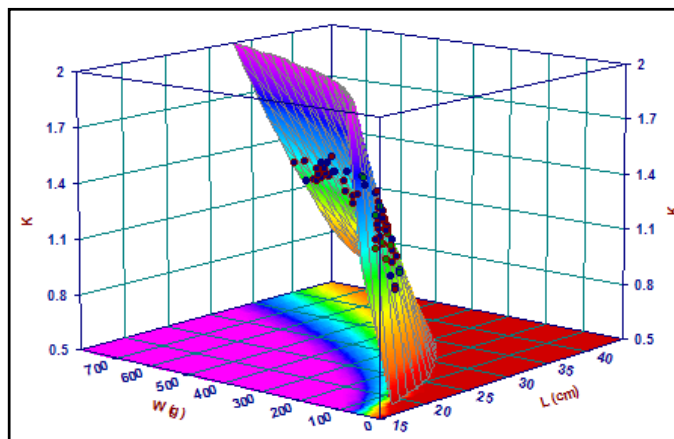
روند تغییرات فاکتور رشد ماهی قزل‌آلای در شکل ۱۱ نشان داده شده است. مطابق این شکل، فاکتور رشد برای ماهی قزل‌آلای در محدوده ۱/۰۲۹ تا ۱/۵۱۳ متغیر است. این مقادیر نشان می‌دهد که

$$k = 6.742 - 3.746 \times \ln(L) + 1.246 \times \ln(W) \quad R^2 = 0.9975 \quad (3)$$

$$\chi^2 = 3/0.7 \times 10^{-5}$$

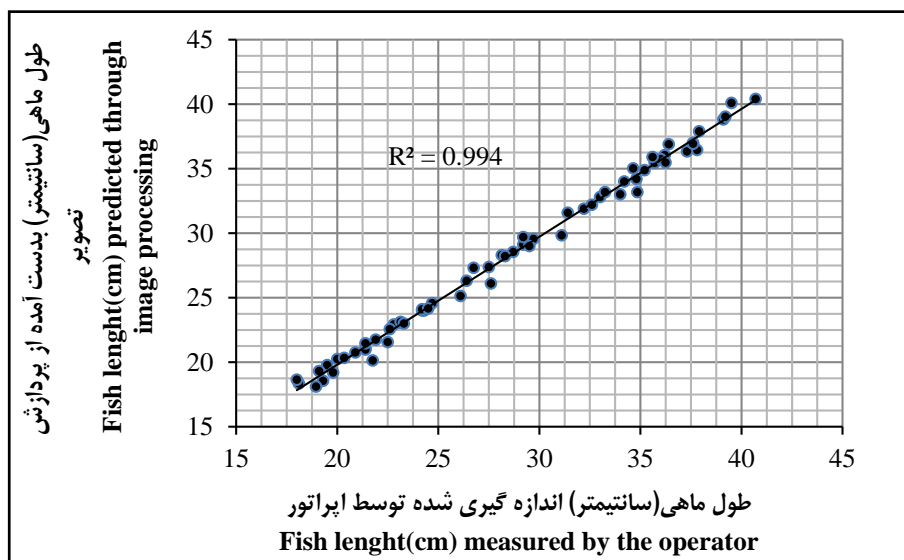
$$RMSE = 5/45 \times 10^{-3}$$

با توجه به مقدار بالای ضریب تبیین و مقادیر پایین مربع کای و میانگین ریشه میانگین مربع خطاها می‌توان گفت رابطه ۳ فوق در پیش‌بینی فاکتور رشد ماهی قزل‌آلا کارایی بسیار بالایی دارد.



شکل ۱۱- تغییرات فاکتور رشد برای ماهی قزل‌آلا در فرایند پرورش  
 Fig. 11- Growth rate changes of trout during the farming process

شکل ۱۲ نشان‌دهنده دقت نتایج به‌دست آمده از به‌کارگیری سامانه پردازش تصویر در تعیین طول ماهی است. مطابق این شکل، ضریب تبیین بسیار بالایی بین طول برآورد شده و طول واقعی مشاهده شد.

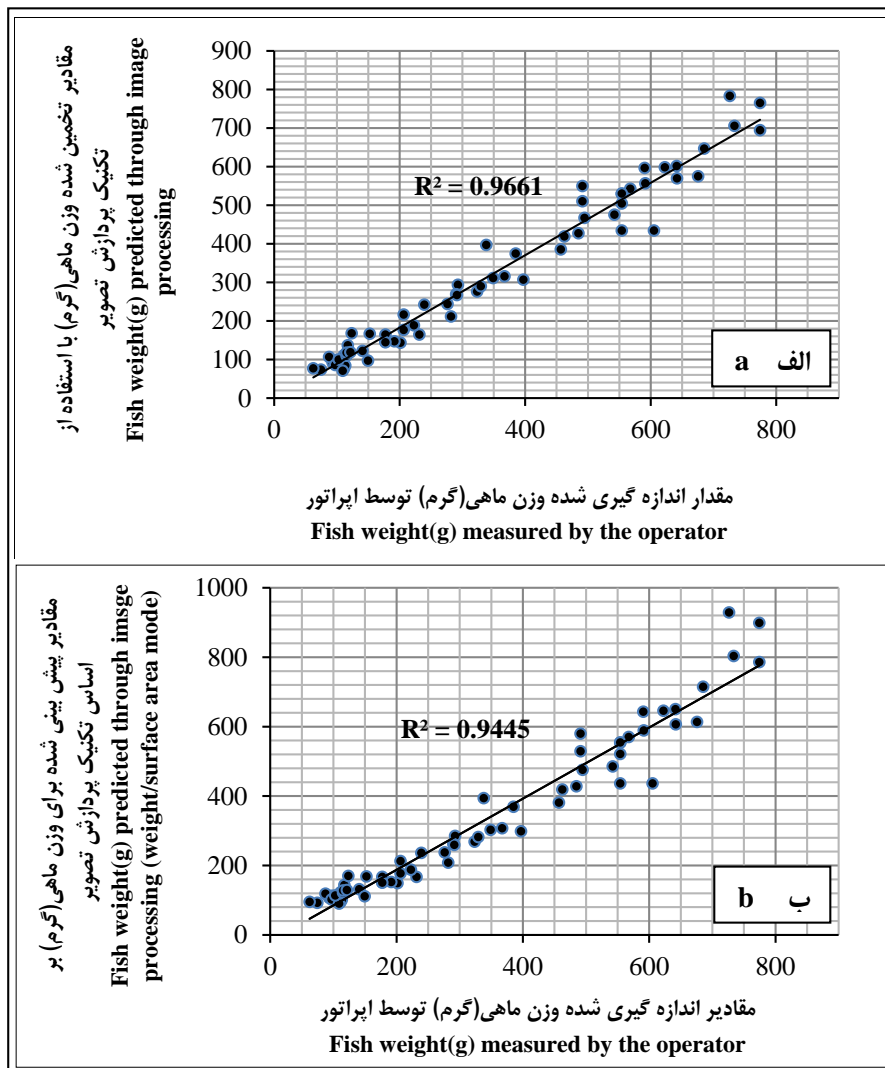


شکل ۱۲- مقایسه طول واقعی قزل‌آلا با طول اندازه‌گیری شده از پردازش تصویر  
 Fig. 12- Comparison of the real length of trout with the length measured through image processing

نتیجه این همبستگی، با حصول خطای بسیار کم آن تأیید شده است. به‌گونه‌ای که حداقل و حداکثر اختلاف میان مقادیر اندازه‌گیری شده به ترتیب برابر با ۰/۶۵ و ۱/۶۶ سانتی‌متر است. دلیل این امر را می‌توان در یک راستا قرار نگرفتن بدن ماهی در حین حرکت و با زاویه قرار گرفتن آن در

تغییرات وزن تخمین‌زده‌شده با روش بالا برای دو مدل ریاضی انتخاب شده (مدل توانی وزن-طول و مدل توانی وزن-مساحت رویه) در مقابل مقادیر اندازه‌گیری شده با اپراتور، در شکل ۱۳ نشان داده شده است.

جلو‌دوربین دانست. این انحراف یا حرکت بر اثر دیواره‌های محفظه تصویربرداری محدود شده است. با این‌همه، کاستا و همکاران (Costa *et al.*, 2006) دقت اندازه‌گیری طول ۱۰ گونه متفاوت ماهی را برابر با ۱/۱ درصد گزارش داده‌اند.



شکل ۱۳- الف) مقایسه وزن واقعی ماهی قزل‌آلا با وزن تخمین‌زده‌شده بر اساس پردازش تصویر (مدل  $W=aL^b$ ),

ب) مقایسه وزن واقعی ماهی قزل‌آلا با وزن تخمین‌زده‌شده بر اساس پردازش تصویر (مدل  $W=PS^F$ )

Fig. 13- a) comparison of the actual weight of trout with the estimated weight based on image processing ( $W=PS^F$  model); b) comparison of the actual weight of trout with the estimated weight based on image processing ( $W=aL^b$  model)

دارد. در این حالت، دقت مدل وزن-طول در تخمین وزن ماهی براساس روش پردازش تصویر از ۹۰

همان‌گونه که پیداست، مدل توانی وزن-طول کارایی بالاتری نسبت به مدل وزن-مساحت رویه

درصد است و مدل توانی وزن- مساحت رویه بعد از مدل توانی وزن- طول بهترین برآزش را از خود بر داده‌های آزمایشگاهی نشان داده است.

با این‌همه، پیشنهاد می‌شود برای تعیین دقیق‌تر پارامترهای ظاهری بهتر است از دو دوربین در داخل محفظه تصویربرداری استفاده شود. در این‌حالت به‌راحتی می‌توان تغییرات حرکتی بدن ماهی را در داخل محفظه تصویر مشخص کرد. همچنین پیشنهاد می‌شود سامانه به‌کارگیری شده در شرایط آزمایشگاهی (آکواریوم) به‌منظور اندازه‌گیری پارامترهای زیست‌سنجی در استخرهای پرورش ماهی توسعه یابد، به‌گونه‌ای که بتوان به‌صورت برخط و با به‌کارگیری تجهیزات مناسب (دوربین‌های مخصوص عکسبرداری و فیلمبرداری در زیر آب) و روش‌های عملی (از جمله نحوه عبور ماهیان از جلو محل تعبیه دوربین) میزان تغذیه مورد نیاز ماهی را در استخر پرورشی نیز تخمین زد.

درصد بیشتر است. با این‌همه، خطای ناشی از به‌کارگیری مدل توانی وزن- مساحت رویه در تخمین وزن ماهی قزل‌آلا در فرایند پرورش از ۳/۷۰ تا ۲۷/۳۰ درصد متغییر است. بالابان و همکاران (Balaban *et al.*, 2010b) در تحقیقی مشابه نشان دادند برای تخمین وزن ماهی قزل‌آلا، دقت پردازش مدل توانی وزن- مساحت رویه ماهی قزل‌آلا بالا، یعنی ۹۴ درصد است.

### نتیجه‌گیری

نتایج به‌دست آمده از پژوهش نشان می‌دهد سامانه برخط ساخته شده برای تعیین پارامترهای زیست‌سنجی ماهی قزل‌آلا با آنالیز تصویر دیجیتالی در شرایط آزمایشگاهی، کارایی بالایی دارد. ضریب‌های تبیین برای تخمین وزن ماهی و فاکتور رشد با به‌کارگیری مدل ریاضی وزن- طول (به‌عنوان مناسب‌ترین مدل) به‌ترتیب بزرگتر از ۹۸ و ۹۹

### مراجع

- Andrew, S. K., James, D. S., Geoffrey, T. G., Timothy, C. A., & Colin, H. (2004). A video-based movement analysis system to quantify behavioral stress responses of fish. *Water Research*, 38, pp. 3993-4001.
- Anibeze, C. I. P. (2000). Length-weight relationship and relative condition of *Heterobranchus longifilis* (Valenciennes) from Idodo River, Nigeria. *Naga: the ICLARM Quarterly*, 23, pp. 34-35.
- Balaban, M., Chombeau, M., Cırbán, D., & Gümüş, B. (2010a). Prediction of the weight of Alaskan pollock using image analysis. *Journal of Food Science*, 75(8): pp. 552-556.
- Balaban, M., Gulgun, F., Soriano, M., & Ruiz, E. G. (2010b). Using image analysis to predict the weight of Alaskan salmon of different species. *Journal of Food Science*, 75(3): pp. 157-162.
- Beddow, T. A., Ross, L.G., & Marchant, J. A. (1996). Predicting salmon biomass remotely using a digital stereo-imaging technique. *Aquaculture*, 146, pp. 189-203.
- Chu, W. S., Hou, Y. Y., Ueng, Y. T., & Wang, J. P. (2012). Correlation between the length and weight of *Arius maculatus* off the wouthwestern coast of Taiwan. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 55, pp. 705-708.

- Costa, C., Loy, A., Cataudella, S., Davis, D., & Scardi, M. (2006). Extracting fish size using dual underwater cameras. *Aquacultural Engineering*, 35(3): 218-227.
- Fabic, J. N., Turla, I. E., Capacillo, J. A., David, L. T., & Naval, P. C. (2013). *Fish population estimation and species classification from underwater video sequences using blob counting and shape analysis*. *International Underwater Technology Symposium (UT)*, March 5, Tokyo, Japan.
- Froese, R. (2006). Condition factor and weight-length relationships: history, meta-analysis and recommendations. *Journal of Applied Ichthyology*, 22, pp. 241-253.
- Harvey, E. S., Cappo, M., Shortis, M. R., Robson, S., Buchanan, J., & Speare, P. (2003). The accuracy and precision of underwater measurements of length and maximum body depth of southern bluefin tuna (*Thunnus maccoyii*) with a stereo-video camera system. *Fisheries Research*, 63, pp. 315-326.
- Jeong, S. J., Yang, Y. S., Lee, K., & Kang, J. G. and Lee, D. G. (2013). Vision-based automatic system for non-contact measurement of morphometric characteristics of flatfish. *Journal of Electrical Engineering and Technology*, 8(5): pp. 1194-1201
- Karpov, E. T., & Tsikliras, A. C. (2009). Length-weight relationships of fishes from three northern Aegean estuarine systems (Greece). *Journal of Applied Ichthyology*, 19, pp. 258-260.
- Khairenzam, M. Z., & Norma-Rashid, Y. (2002). Length-Weight relationship of mudskippers (Gobiidae: Oxudercinae) in the coastal areas of Sclangor, *Malaysia International Centre for living Aquatic Resources Management, World Fish Centre Quarterly*, 25, pp. 20-22.
- Klimley, A. P., & Brown, S. T. (1993). Stereo photography for the field biologist: measurement of lengths and three-dimensional positions of free-swimming sharks. *Marine Biology*, 74, pp. 175-185.
- Man, M., Zakaria, M. Z., & Zaki, F. A. M. (2010). A web based fish stock assessment tools for generating fish statistical population information using fish length method. OCEANS 2010 IEEE. May. 24-27 May, Sydney, Australia.
- Sarkar, U. K., Khan, G. E., Dabas, A., Pathak, A. K., Mir, J. I., Rebello, S. C., Pal, A., & Singh, S. P. (2013). Length weight relationship and condition factor of selected freshwater fish species found in river Ganga, Gomti and Rapti, India. *Journal of Environmental Biology*, 34, pp. 951-956.
- Shafry, M., Rehman, A., Kumoi, R., Abdullah, N., & Saba, T. (2012). FileDI framework for measuring fish length from digital images. *International Journal of Physical Sciences*, 7(4): pp. 607-618.
- Shieh, A. C. R., & Petrell, R. J. (1998). Measurement of fish size in Atlantic salmon (*salmo salar* L.) cages using stereographic video techniques. *Aquacultural Engineering*, 17(1): pp. 29-43.
- Torisawa, S., Kadota, M., Komeyama, K., Suzuki, K., & Takagi, T. (2011). A digital stereo-video camera system for three-dimensional monitoring of free-swimming Pacific bluefin tuna, *Thunnus orientalis*, cultured in a net cage. *Aquat. Living Resour.* 24, pp. 107-112.
- Zion, B., Ostrovsky, V., Karplus, I., Lidor, G., & Barki, A. (2012). *Ornamental Fish Mass Estimation by Image Processing*. Agricultural Research Organization, Bet Dagan.



## **Image Based Method to Identify Trout Fish Biometric Characteristics and Mapping Growth Curve Trout Fish by Digital Image Analysis under Laboratory Conditions**

**B. Behzadi, A. M. Borghei\*, A. Javadi, S. Minaei and M. Almassi**

\* Corresponding Author: Professor, Department of Agricultural Machinery, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran. Email: borghae@ut.ac.ir

Received: 28 October 018, 15 May 019

### **Abstract**

Study on biometric parameters of trout species in the traditional method (based on human and non-automatic factors) are low-efficient due to serious problems such as disease transmission, stress-induced death, inaccuracy, & time-consuming. To overcome the problems of traditional method, an image-based vision system, including imaging and lighting chambers, was developed in this research. The fish biometric parameters were measured using fish movement videography during passage from the dark chamber. Then the selected images from the video were processed. The length, surface area, weight, amount of food consumed, & growth rate of trout were measured under fully controlled conditions and used as comparison criteria (control). Six mathematical models were used to estimate fish weight through measured parameters and among them the weight/length model was used as the best model for estimating fish weight. The accuracy of the system in estimating fish biometric parameters was above than 90% and the system's capability to estimate the fish required food during the growth process was 98%.

**Keywords:** Image Processing, Videography, Growth Rate