

ارائه الگوریتم مناسب جهت تعیین نقطه بهینه جداسازی سر ماهی بر اساس خصوصیات مستخرج از پردازش تصویر

حسن صفی یاری^{1*}، عبدالعباس جعفری²، محمد حسین رئوفت³

1- دانشجوی کارشناسی ارشد گروه مکانیک ماشین های کشاورزی دانشگاه شیراز، شیراز، ایران

2- استادیار گروه مکانیک ماشین های کشاورزی دانشگاه شیراز، شیراز، ایران

3- استاد گروه مکانیک ماشین های کشاورزی دانشگاه شیراز، شیراز، ایران

تاریخ پذیرش: 1392/8/19

تاریخ دریافت: 1391/11/27

چکیده

یکی از مشکلاتی که در مکانیزاسیون شیلات در ارتباط با جداسازی سر ماهی وجود دارد، خارج شدن مقداری از گوشت ماهی به عنوان ضایعات می باشد. لذا طراحی دستگاهی که بتواند ضایعات سر زنی ماهی را کم کند ضروری می باشد. در جهت حصول این هدف لازم بود مطالعات مقدماتی صورت گیرد. لذا ابتدا با عکسبرداری اشعه ایکس از 75 عدد ماهی قزل آلا، بافت داخلی ماهی به همراه امعا و احشاء و اسکلت ماهی مشخص گردید. سپس مناسب ترین منطقه جهت جداسازی سر ماهی که کمترین اتلاف گوشت را داشته باشد (در پشت برانشی) شناسایی شد. در ادامه توسط برنامه ای که در نرم افزار MATLAB 2009 تهیه شد فاصله نقطه بهینه برش تا نوک ماهی محاسبه گردید. سپس فاصله بهینه برش بر اساس خصوصیات مستخرج از پردازش تصویر (طول، ارتفاع، قطر معادل، قطر بزرگ بیضی، قطر کوچک بیضی، مساحت و محیط ماهی) در قالب مدلهای خطی رگرسیونی با روش گام به گام برآورد شد. نتایج نشان داد که ضرایب تبیین جهت تخمین فاصله بهینه برش توسط خصوصیات مستخرج از پردازش تصویر همگی قابل قبول بودند. بهترین مدل جهت پیش بینی شعاع برش بر اساس قطر معادل $R = 1.5679ED + 3.248$ با ضریب تبیین $R^2 = 93.21$ و $RMSE = 1.33$ به دست آمد.

واژه های کلیدی: نقطه بهینه برش، جداسازی سر، ماهی قزل آلا، پردازش تصویر.

* مسوول مکاتبات : safiyari.hasan@gmail.com

1- مقدمه

یکی از منابع مهم و حیاتی در عرصه مواد غذایی برای انسان، شیلات و فرآورده های وابسته به آن می باشد. نگرانی روز افزون انسان به تولید هرچه بیشتر برای مقابله با آینده ای نه چندان دور اهمیت آن را بالا می برد و از طرف دیگر موجب شده که تحقیقات و بررسی های ویژه ای در جهت مصرف هر چه بهتر این منابع ارزشمند و قابل دسترس و کاهش ضایعات موجود در این عرصه انجام پذیرد (3).

همانطور که گفته شد، یکی از معضلات موجود در زمینه ی شیلات و کارگاه های فرآوری آنها، تولید ضایعات قابل توجه و با ارزشی است که با ارائه ی راهکار مناسب می توان این میزان را به حداقل رساند. آن چه از تحقیقات پیشین بر می آید، از کل تولید 461 هزار تن شیلات، 40 درصد آن به طرق مختلف از جمله پوست، امعاء و احشاء، سر و بال ها و دم دور ریخته می شود که از نظر مقدار بالغ بر صد و هفتاد و شش هزار تن می شود که ارزشی معادل با 12701 میلیارد ریال و یا به عبارتی زبانی حدود 207 میلیارد تومان به همراه خواهد داشت (1).

بنابراین بررسی ضایعات محصولات شیلات و راههای جلوگیری از آن اهمیت ویژه ای دارد. تقریباً 85 درصد از ماهیان صید شده به صورت تازه خوری مصرف شده و توسط بخش شهری و شهروندان تمیز و پاک شده و این میزان 40 درصد ضایعات تولیدی است که پس از پاک شدن به عنوان زباله یا پسماند وارد سیستم جمع آوری زباله های شهری می شود. حدود 15 درصد باقیمانده توسط کارگاههای صنعتی عمل آوری شود (2) که ارائه یک سیستم دقیق و الگوریتم مناسب در زمان تمیز کردن آنها (برای ماهی، جدا کردن سر و دم) موجب کاهش چشمگیر ضایعات و استفاده ی بهینه از مواد غذایی موجود خواهد شد.

ونزل (1974) توانست با ثبت اختراعی تحت عنوان دستگاه برش دهنده ماهی مکانیزمی برای پاک کردن ماهی ارائه کند (7) این دستگاه از چند گیره متحرک بر روی تسمه نقاله ای تشکیل شده بود. همچنین یک تیغه برشی مدور برای جداسازی سر و دم ماهی مورد استفاده قرار می گرفت. مشکل اساسی این دستگاه عدم برش سالم و دقیق در محل های مورد نظر بود و به دلیل اصابت با ستون فقرات، منجر به برش کج و ناقص می شد. سپس شخصی به نام هیکس (1994) با ارائه طرحی توانست مدل قبلی را تا حدودی بهبود بخشد (6). وی در طرح پیشنهادی خود از یک

تسمه نقاله ی اصلی جهت انتقال ماهی به قسمت برش که از دو چاقوی عمودی تشکیل شده بود، استفاده کرد. نوآوری طرح هیکس در استفاده از یک تسمه نقاله کمکی در بالای نقاله اصلی جهت محکم نگهداشتن ماهی و هدایت آن به محل برش بود، چرا که در مدل های قبلی به دلیل قابلیت سرش بالا در زمان برش از تکیه گاه اصلی منحرف شده و عمل برش را با مشکل رو برو می ساخت. این دستگاه نیز دارای معایب خاصی از جمله نیازمندی بالا به تنظیم مداوم تیغه ها جهت برش سایزهای مختلف و در نتیجه توقف پی در پی در زمان انجام عمل می شود، که این امر موجب شل شدن زود هنگام مهره ها و اتصالات دستگاه می شود. از طرفی به دلیل اینرسی بالای دستگاه و توقف های مداوم، قسمت های حساس مانند تیغه های برش دچار سایش زود تر از موعد خواهند بود. بنابراین، این ضرورت احساس می شود که بتوان با ارائه یک طرح مناسب و دقیق به کمک دستگاههای ماشین بینایی و فرمان های الکتریکی تمام معایب فوق را پوشش داد.

امروزه با توسعه سریع فناوری پردازش رایانه ای و ایجاد نرم افزارهای مربوطه، از مزایای فناوری هوش مصنوعی برای حل مسائل مربوط به مدل سازی سیستم ها و پیش بینی فرآیندها استفاده می شود. تاکنون تحقیقاتی در زمینه پردازش تصویر در ارتباط با آبیان و به خصوص ماهی صورت گرفته است. زیون و همکاران (1999) الگوریتم پردازش تصویر را جهت تفکیک 3 گونه ماهی گسترش دادند. از هر کدام از گونه ها در شرایط مختلف نوری و در زوایای مختلف در محفظه روشنائی عکس برداری شد. در این تحقیق جداسازی گونه ها با دقت بالای 80 درصد انجام شد (11). لوکا و همکاران (2004) با استفاده از پردازش تصویر، فرایند های مختلف خشک کردن ماهی را مورد مقایسه قرار دادند. آنها از مقادیر میانگین و انحراف معیار مقادیر رنگی در فضای رنگی L^*a^*b و آنالیز تشخیصی برای مقایسه استفاده کردند. آنها اختلاف مشخصه های رنگی را تنها راه جداسازی آماری (توسط آنالیز واریانس) نمونه ها بر اساس تکنیک خشک کردن معرفی کرده و این روش را در مقایسه با آنالیز حسی روشی قابل اطمینان و موثر اعلام نمودند (8).

وایت و همکاران (2006) مکانیزمی را جهت تشخیص اتوماتیک 7 گونه ماهی بر حسب گونه و طول به کمک ماشین بینایی پیشنهاد دادند. الگوریتم پردازش تصویر آنها قادر به تشخیص

2-2- عکس برداری

برای تهیه عکس‌ها از اتاقک نورپردازی با تابش غیرمستقیم که اصطلاحاً آسمان ابری نامیده می‌شود استفاده گردید (شکل 2-ب). این اتاقک از یک گنبد به قطر 90 سانتیمتر با سطح داخلی صیقلی و سفید رنگ تشکیل شده که نمونه‌های مورد عکسبرداری در زیر آن قرار می‌گیرند. در این نورپردازی، لامپ‌ها در محیط اطراف سکوی عکسبرداری قرار گرفته‌اند به شکلی که نور مستقیم از لامپ‌ها به نمونه نمی‌رسد. پرتو لامپ‌ها پس از برخورد به سطح داخلی گنبد منعکس شده و بر روی نمونه تابیده می‌شوند. از آنجا که پرتوهای بازتابش شده از همه طرف بر روی نمونه تابیده می‌شود هیچ سایه‌ای در اطراف نمونه تشکیل نمی‌شود. این نحوه نورپردازی بطور خاص برای پردازش شکل نمونه‌ها ضروری می‌باشد.

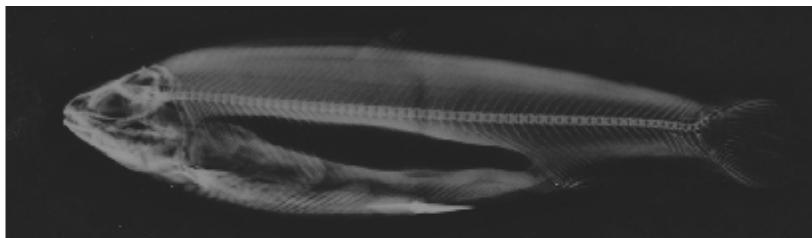
اثر فلیکر لامپهای فلورسنت موجب می‌شود که بسته به زمان بسته شدن شاتر دوربین، تغییرات زیادی در شدت سطوح خاکستری¹ تصاویر ایجاد شود. تغییر شدت نور تاثیر زیادی بر دیگر مولفه‌های تصویر مانند مولفه‌های بافت تصاویر دارد. به همین دلیل شدت نور فضای عکسبرداری بایستی تا حد امکان ثابت و در یک مقدار کنترل شده برای کلیه عکسها نگه داشته شود. برای حصول این هدف فضای عکس برداری با فضای بیرون در ارتباط نبوده و دیگر اینکه از لامپهای هالوژن با منبع تغذیه جریان مستقیم استفاده شد که نور پیوسته تولید می‌کنند. جهت اخذ تصاویر رنگی از دوربین دیجیتال (CC) مدل Canon IXUS 960IS استفاده شد که در ارتفاع 45 سانتی متری در بالای نمونه‌های مورد آزمایش قرار داده شد (شکل 2). تصاویر دیجیتال اخذ شده از ماهی‌ها که با وضوح 12 مگاپیکسل (4000×3000 پیکسل) تهیه شده بود جهت پردازش توسط نرم افزار متلب، به کامپیوتر انتقال داده شد.

مقدار چرخش ماهی به کمک روش گشتاور ثابت می‌باشد. همچنین این الگوریتم قادر به تشخیص گونه‌های مختلف تخت و پهن ماهی با دقت 100 درصد و تشخیص طول ماهی با انحراف معیار 1/2 میلیمتر می‌باشد (10). برمجی و همکاران (2007) از تکنیک پردازش تصویر جهت تشخیص سن ماهی استفاده نمودند. یکی از راه‌های تشخیص سن ماهی‌ها توجه به اتولیت می‌باشد که در درون آبشش آن‌ها قرار دارد. گرچه عوامل مختلفی روی شکل و رنگ اتولیت موثرند، اما برمجی و همکاران موفق به دسته‌بندی ماهی‌ها بر حسب سن به کمک تصویر برداری از اتولیت شدند (5). اما تحقیقی در ارتباط با تعیین نقطه بهینه جداسازی سر ماهی به کمک ماشین بینایی یافت نشد. آن‌چه در این پژوهش مورد مطالعه قرار گرفته، ارائه یک الگوریتم مناسب به منظور جدا سازی سر ماهی با استفاده از فن آوری ماشین بینایی می‌باشد. این پژوهش که موضوعی نوین دارد در راستای پژوهش‌های پیشین در ارتباط با دستگاه‌های جداساز سر و دم ماهی می‌باشد که به دلیل وجود معایب و ایرادهای اساسی در آنها و به منظور اصلاح آنها انجام شده است.

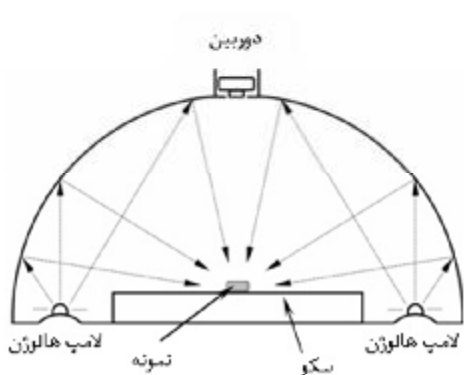
2- مواد و روش‌ها

1-1- آماده سازی نمونه‌ها

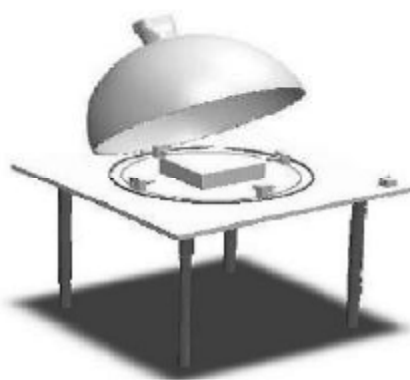
جهت انجام این تحقیق، ابتدا 75 عدد ماهی قزل آلائی رنگین کمان از منطقه تنگ تیزاب از توابع شهرستان سپیدان خریداری و توسط عکسبرداری اشعه ایکس از آن‌ها عکس گرفته شد تا بافت داخلی ماهی به همراه امعا و احشاء و اسکلت ماهی مشخص شود. سپس مناسب‌ترین منطقه جهت جداسازی سر ماهی که کمترین اتلاف گوشت را داشته باشد (درست در پشت برانشی) شناسایی شد. این منطقه حدوداً ابتدای ستون مهره‌های پشتی نیز می‌باشد (شکل 1).



شکل 1- عکس برداری اشعه ایکس از ماهی



(ب)

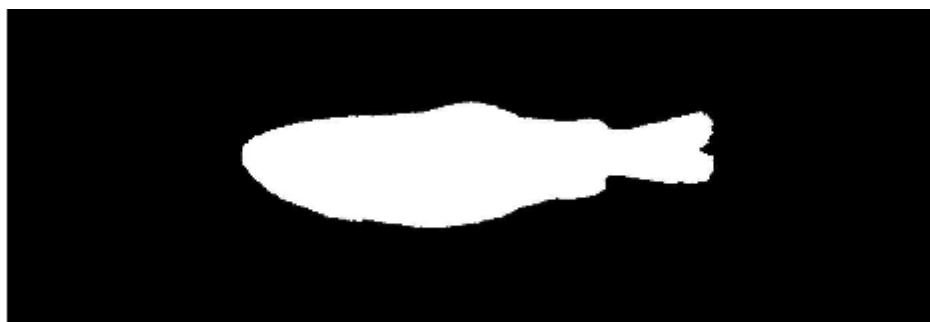


(الف)

شکل 2- الف: سکوی عکس برداری و ب: اتاقک نورپردازی و عکس برداری از ماهی ها



(الف)



(ب)

شکل 3- تصویر اصلی رنگی (الف)، تصویر باینری (ب)

3-2- پردازش تصویر

اولین قدم در استخراج داده های مورد نظر در هر پروژه ماشین بینایی، آنالیز تصاویر می باشد. عملیات گوناگونی در این مرحله انجام می شود که به تصویر، ویژگی های آن و همچنین به داده هایی که برای استخراج از آن تصویر مد نظر است، بستگی دارد. تصاویر ورودی در نرم افزار Matlab در ابتدا به صورت رنگی (RGB) بودند (شکل 3 الف) که برای استخراج خصوصیات شکل، می بایست ابتدا جداسازی شیء مورد نظر (ماهی) از زمینه

انجام می گرفت. بدین منظور با آستانگذاری بر روی مولفه آبی (B) تصاویر، ماهی از زمینه آبی رنگ جدا گردید. مطالعات اولیه نشان داد که تقابل رنگ ماهی با رنگ آبی بیش ازدو رنگ اصلی دیگر است و لذا رنگ زمینه آبی انتخاب شد. نتیجه عمل جداسازی ماهی از زمینه، تصاویر باینری به شکل صفر و یک بود (شکل 3 ب) که به ترتیب منسوب به زمینه و ماهی می باشد. بنابراین پس از جداسازی، ماهی به رنگ سفید و زمینه به رنگ سیاه نمایان گردید. تصاویر بایستی قبل از آنالیز شدن پیش

در معادله بالا Equivalent Diameter، قطر معادل و Area مساحت سطح ماهی می باشد.

قطر بزرگ و قطر کوچک بیضی به ترتیب برابر است با طول بزرگ ترین و کوچک ترین محور بیضی محیط شده بر ماهی ها. به منظور به حداقل رساندن ضایعات در هنگام جداسازی سر ماهی، تیغه ای با طرح منحنی شکل که انحنا آن بزرگترین شعاع برانشی ماهی های متداول را شامل شود می بایست در نقطه تعیین شده اقدام به جداسازی سر ماهی نماید (شکل 4). انتهای سرپوش برانشی، نقطه بهینه برای برش سر ماهی می باشد. بنابراین فاصله بین نوک ماهی تا انتهای سرپوش برانشی را شعاع برش می نامیم.

به منظور ارزیابی عملکرد مدلها و تشخیص بهترین مدل از سه پارامتر ضریب تبیین⁸ (R^2)، خطای میانگین مربعات ریشه⁹ (RMSE) و میانگین اشتباهات¹⁰ (ME) بین مقادیر پیش بینی شده و محاسبه شده، استفاده شد (4). به طوریکه مدلی که بالاترین R^2 و کمترین RMSE را دارد، به عنوان بهترین مدل انتخاب گردید. ضریب تبیین، خطای میانگین مربعات ریشه و میانگین اشتباهات از روابط زیر به دست آمدند.

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

$$RMSE = \left[\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (Y_{pred,i} - Y_{exp,i})^2 \right]^{1/2} \quad (3)$$

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

که در این روابط:

$i = Y_{pred,i}$ امین فاصله بهینه برش پیش بینی شده بر اساس مدل مربوطه

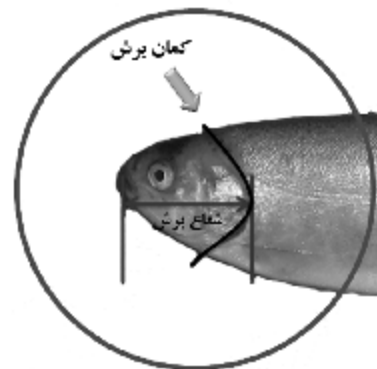
$i = Y_{exp,i}$ امین فاصله بهینه برش به دست آمده از آزمایش
N = تعداد مشاهدات

برای تعیین درصد بهبود یک مدل نسبت به یک مدل مبنا (مدلی با بالاترین خطای میانگین مربعات ریشه) پارامتر بهبود نسبی¹¹ (RI) بر حسب درصد به قرار زیر محاسبه گردید:

8- R squared
9- Root Mean Square Error
10- Mean of Error
11- Relative Improvement

پردازش شوند تا نویز از تصویر حذف شده و کنتراست افزایش یابد. برنامه طراحی شده شش ویژگی مختلف را از تصاویر استخراج می نمود. این خصوصیات عبارت بودند از:

- 1- طول¹
- 2- ارتفاع²
- 3- مساحت³
- 4- محیط⁴
- 5- قطر معادل⁵
- 6- قطر بزرگ⁶
- 7- قطر کوچک⁷



شکل 4- شعاع و کمان برش

برای محاسبه مساحت نمونه ها، تصویر سیاه و سفید فراخوانی شده و با شمارش تعداد پیکسل هایی که دارای مقدار سیاه و سفید معادل یک بودند، مقدار مساحت محاسبه شد. محیط در یک تصویر سیاه و سفید برابر با مجموعه پیکسل هایی است که در مرزهای هر ناحیه وجود دارد. طبق تعریف، قطر معادل یا قطر مساحت یک شکل برابر با قطر دایره ای است که مساحتی برابر با مساحت شکل مورد نظر دارد. بنابر این قطر معادل نمونه ها با استفاده از رابطه زیر محاسبه گردید (9).

$$\text{Equivalent Diameter} = \sqrt{\frac{4 \times \text{Area}}{p}} \quad (1)$$

- 1 - Length
- 2 - Height
- 3 - Area
- 4 - Perimeter
- 5 - Equivalent Diameter
- 6 - Major Axis Length
- 7 - Minor Axis Length

(R²) بالای 89 درصد بودند که قابل قبول می باشد. مدل های شماره 1 و 6 به همراه ثابت های آن ها به ترتیب در معادلات (7) و (8) آورده شده است:

$$R = 0.7338L + 2.9945 \quad (7)$$

$$R = 0.7255x + 3.0013 \quad (8)$$

این دو مدل به دلیل آن که رابطه طول ماهی با شعاع برش را نشان می دهند و از آنجا که با افزایش طول ماهی، طول برانشی و استخوان سر نیز افزایش می یابد، دارای ضریب تبیین بالایی می باشند. خطای میانگین مربعات ریشه برای دو مدل یکسان بوده اما مدل شماره 1 دارای ضریب تبیین بالاتری نسبت به مدل شماره 6 می باشد (شکل های 5 و 6).

با توجه به نتایج به دست آمده، بهترین مدل برای پیش بینی شعاع برش، مدل شماره 5 می باشد که بالاترین ضریب تبیین $R^2 = 93.12$ و پایین ترین خطای میانگین مربعات ریشه $RMSE = 1.33$ را به دست داده است که در معادله (9) آورده شده است.

$$R = 1.5679(ED) + 3.248 \quad (9)$$

همانطور که فرمول شماره 1 نشان می دهد، قطر معادل از جذر مساحت ماهی به دست می آید. از آنجا که مساحت ماهی دارای ضریب تبیین بالای 90 درصد می باشد (شکل شماره 7)، عامل جذر نیز موجب کاهش خطا می گردد و به همین دلیل قطر معادل بهترین برازش داده ها را نشان می دهد. شکل شماره 8 نیز رابطه بین قطر معادل و شعاع برش را نشان می دهد.

$$RI = \frac{RMSE_{Mi} - RMSE_{Mj}}{RMSE_{Mi}} \times 100 \quad (5)$$

که در این فرمول:

$RMSE_{Mi}$ = بیشترین خطای میانگین مربعات ریشه مربوط به i امین مدل

$RMSE_{Mj}$ = خطای میانگین مربعات ریشه مربوط به j امین مدل
تمام مدل ها بر اساس معادله زیر به دست آمدند:

$$Y = K_1 X_1 + K_2 \quad (6)$$

که در این معادله Y = متغیر وابسته (در این تحقیق شعاع برش (فاصله بهینه برش از نوک ماهی))، X_1 = متغیرهای مستقل (طول، عرض، ضخامت، سطح تصویر عمود و ...)، K_1 = ضریب رگرسیون و K_2 = ثابت رگرسیون می باشد. برای پیش بینی مدل-ها از نرم افزار های اکسل و SPSS 16 استفاده شد. با استفاده از مدل های به دست آمده و با توجه به آماره های گفته شده، بهترین معادله برای پیش بینی شعاع بهینه برش سر ماهی مشخص می شود.

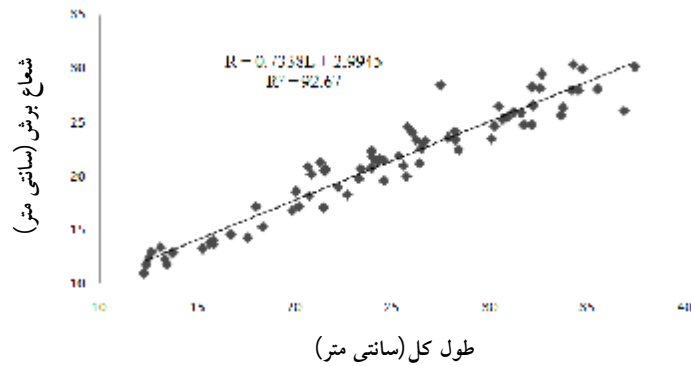
3- نتایج و بحث

نتایج به دست آمده جهت پیش بینی شعاع برش (فاصله بهینه برش از نوک ماهی) بر اساس برخی خصوصیات فیزیکی در جدول 1 آورده شده است.

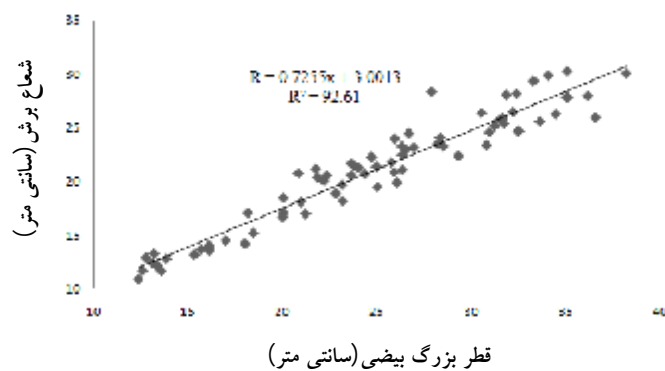
با توجه به نتایج به دست آمده، مدل شماره 4 با داشتن بالاترین $RMSE$ به عنوان یک مدل مبنا برای تعیین پارامتر بهبود نسبی (RI) مورد استفاده قرار گرفت. به جز معادله شماره 4 که دارای ضریب تبیین (R^2) 71/64 بود، تمام مدل ها دارای ضریب تبیین

جدول 1- مدل های به دست آمده برای پیش بینی فاصله بهینه برش بر اساس خصوصیات مستخرج از پردازش تصویر

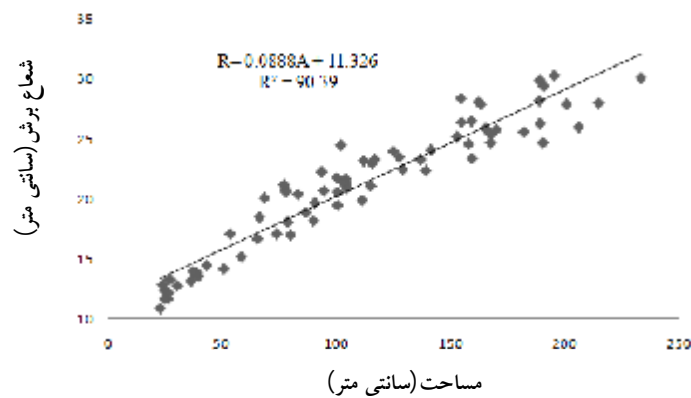
شماره مدل	مدل	R ²	RMSE	ME	RI
1	$R=K_1(L)+ K_2$	92/67	1/42	-0/00095	49/10
2	$R=K_1(H)+ K_2$	89/05	1/73	-0/00025	37/99
3	$R=K_1(S.A)+ K_2$	90/39	1/62	-0/00455	41/93
4	$R=K_1(P)+ K_2$	71/64	2/79	0/00139	0
5	$R=K_1(D_{eq})+ K_2$	93/12	1/33	-0/00007	52/32
6	$R=K_1(D_{major})+ K_2$	92/61	1/42	0/00098	49/10
7	$R=K_1(D_{minor})+ K_2$	90/29	1/63	0/00004	41/58



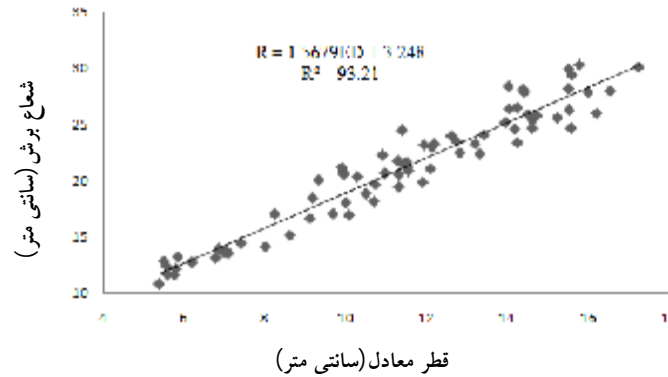
شکل 5- رابطه طول ماهی با شعاع برش



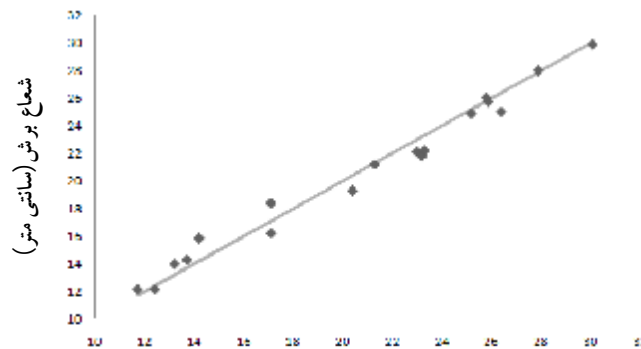
شکل 6- رابطه قطر بزرگ بیضی با شعاع برش



شکل 7- رابطه مساحت با شعاع برش



شکل ۸- رابطه قطر معادل با شعاع برش



شعاع برش اندازه گیری شده (سانتی متر)

شکل 9- نمودار مقدار تخمین زده شده شعاع برش به شعاع برش اندازه گیری شده و خط یک به یک

که مدل به دست آمده بر اساس قطر معادل دارای دقت کافی می باشد. با توجه به اینکه استفاده از روش پردازش تصویر به منظور پیش بینی شعاع برش دارای دقت کافی بوده و از نظر اقتصادی نیز مقرون به صرفه می باشد، می توان با تعیین شعاع برش، فاصله مناسب قرار گیری تیغه برش از نوک ماهی را مشخص نمود. استفاده از روش پردازش تصویر علاوه بر دقت بالا، دارای سرعت بالای پردازش بوده و از نظر اقتصادی نیز مقرون به صرفه می باشد.

5- منابع

- 1- آمارنامه سازمان شیلات. 1383. سالنامه آماری مرکز ایران. 87 صفحه.
- 2- شادان، ع. 1387. بررسی ابعاد اقتصادی ضایعات محصولات کشاورزی در ایران، موسسه پژوهشهای برنامه ریزی و اقتصاد کشاورزی

جهت ارزیابی معادله رگرسیون به دست آمده (تخمین شعاع برش به وسیله قطر معادل) از روش مقایسه با خط یک به یک استفاده شد (شکل 9). بدین منظور از نرم افزار Graph Pad 5 استفاده گردید. نتایج نشان داد که بین معادله مورد نظر و معادله خط یک به یک اختلاف معنی داری وجود ندارد و این نشان دهنده تخمین خوب این معادله می باشد.

4- نتیجه گیری

بهترین ویژگی تعیین کننده موقعیت نقطه جداسازی سر ماهی، قطر معادل ماهی می باشد. بر همین اساس مناسب ترین مدل جهت پیش بینی شعاع برش بر اساس قطر معادل به صورت $R = 1.5679ED + 3.248$ معرفی گردید که این رابطه دارای ضریب تبیین $R^2 = 93.21$ و $RMSE = 1.33$ می باشد. شعاع برش تخمین زده شده و شعاع برش اندازه گیری شده دارای ضریب تبیین 98/02 بوده و مقایسه با خط یک به یک نشان داد

3- نفیسی بهابادی، م.، 1385. راهنمای عملی تکثیر و پرورش ماهی قزل آلابی رنگین کمان. انتشارات دانشگاه هرمزگان. 288 صفحه.

- 4- Amini M, Abbaspour KC, Khademi H, Fathianpour N, Afyuni M, et al., 2005. Neural network models to predict cation exchange capacity in arid regions of Iran. *Soil Science Euro J* 56: 551-559.
- 5- Bermejio, S., B. Monegal and J. Cabestany. 2007. Fish Age Categorization from Otolith Images Using Multi-Class Support Vector Machines. *Fisheries Research*. 84. 247- 253.
- 6- Inventor: Timothy S.Hicks, Seattle, Wash – 17 oct 1994, Appl.No.324, 880 –*Patent* No.5, 480,347.
- 7- Inventor: Werner Wenzel, Lubeck, Germany-15 may 1972, Appl, No.252, 980-*Patent*, No.3, 843,998.
- 8- 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.
- 9- Mohsenin, N. N. 1986. Physical Properties of Plant and Animal Materials. 2nd ed., New York: Gordon and Breach Science Publishers.
- 10- White, D. J., C. Svellingen and N. J. C. Strachan. 2006. Automated Measurement of Species and Length of Fish by Computer Vision. *Fisheries Research*. 80. 203- 210.
- 11- Zion, B., A. Shklyar, and I. Karplus. 1999. Sorting Fish by Computer Vision. *Computers and Electronics in Agriculture*. 23. 175- 187.