

## الگوبرداری از هیدرومکانیک آبزیان در طراحی شناورهای زیرسطحی

عطا... قره‌چاهی<sup>۱</sup>، محمد مزیدی<sup>۲</sup>، محمد رضا نگهداری<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup>عضو هیئت علمی دانشگاه دریانوردی و علوم دریایی چابهار

<sup>۲</sup>کارشناس کشتی‌سازی؛ دانشگاه دریانوردی و علوم دریایی چابهار

<sup>۳</sup>عضو هیئت علمی دانشگاه دریانوردی و علوم دریایی چابهار

### چکیده

با توجه به پیشرفت ساختاری و بالا رفتن کاربردهای شناورها در عرصه تکنولوژی، جهت بهینه کردن و صرفه‌جویی در هزینه‌های ساخت و بالا بردن بازدهی عملی در شناورها به خصوص شناورهای زیرسطحی، بکرترین و غنی‌ترین منبع مورد استفاده، آبزیان و موجودات دریایی می‌باشد. از آنجایی که موجودات دریایی و ماهیان، طی سالیان طولانی به حیات خود در دنیای نزار برای بقا، ادامه دادند؛ این محث مطرح خواهد بود که این موجودات با توجه به امکانات و فاکتورهای مخصوص به خود، چگونه بازدهی خود را افزایش و مصرف انرژی را به حداقل می‌رسانند. در این مقاله به برخی از تحقیقات انجام شده و مقالات ارائه شده درباره‌ی هیدرودینامیک آبزیان می‌پردازیم هم‌چنین فاکتورهای بررسی شده در تحقیقات انجام شده را با فاکتورهای طراحی شناورهای زیرسطحی جهت بهینه‌سازی هیدرودینامیکی شناورها تطبیق داده تا بتوان صورت عملی به نتایج تحقیقات داد؛ البته این مهم مستلزم تحقیقات و شبیه‌سازی‌های سه بُعدی در سطح گسترده‌تری می‌باشد. امید است با طرح موضوع در محافل علمی داخلی زمینه‌های پژوهش در داخل کشور نیز میسر شود.

**واژه‌های کلیدی:** شناورهای زیرسطحی، آبزیان، مورفولوژی- بیولوژی- آزمایشات هیدرودینامیکی- سطوح کنترلی باله‌ای

### ۱- مقدمه

انسان از دیرباز به فکر استفاده از طبیعت برای کشف رازهای آن بوده است. کاوش در دریا به منظور استفاده از منابع آن از جمله بهره‌برداری از نفت و تغذیه از آبزیان، علل عمده‌ی علاقه‌ی انسان به آب‌های اقیانوس به شمار می‌رود. از آنجا که بشر به این نتیجه رسیده است که برای کشف حقایق علم، نیازمند همگام شدن با قوانین طبیعت است، لذا در این زمینه طبیعت را بهترین الگو و آموزگار دانسته است و شاخه‌ی جدیدی در علم به نام بیونیک را گسترانیده است. به عنوان مثال با نگاه و بررسی حرکت پرندگان در هوا در پی ساخت سریع‌ترین هواپیما برآمده است. همین علم در زمینه‌ی علوم دریایی نیز - که به تازگی رشد کرده است- انسان را به ساخت سریع‌ترین وسیله در زیر آب واداشته و وی را به بررسی و استفاده از نحوه‌ی حرکت ماهیان گماشته است. هم‌چنین کپی‌برداری از حیوانات به وسیله‌ی علم شیمی حیاتی برگرفته از موجودات زنده<sup>۱</sup>، در جستجوی راه حل‌های عمومی برگرفته از مهندسی و بیولوژی به منظور افزایش بازده و اختصاصی کردن (تخصیص) ویژگی‌های آنهاست.

در زمینه‌ی اختصاصی سازی مورفولوژی در حیوانات، می‌توان به تحقیقات گسترده‌ی آقای جان لان، زیست شناس کالج واستار رجوع کرد. طبق نتایج تحقیقاتش: «سیر تکامل جانداران تماماً یک هدف را دنبال می‌کنند و آن بقا و ادامه‌ی حیات می‌باشد. اکثر جانداران و آبزیان برای بقای خود عامل «سرعت» را چه برای شکار و چه برای طعمه قرار گرفتن، بسیار حیاتی دانستند و سیر تکاملی آنها تأکید بر این نکته است که برای به دست آوردن غذا باید سرعت بیشتری داشته باشند تا شکار کنند و برای حفظ نسل و جان خود باید با استفاده از سرعت، از طعمه قرار گرفتن به چالاکي بگریزند». در همین راستا برای درک هرچه بهتر اختصاصی سازی مورفولوژی حیوانات ملزم به شرح و بسط عامل سرعت در سیر تکاملی جانداران هستیم. به نقل از دکتر لان: «چیتا، شاهین و شمشیرماهی پُر سرعت‌ترین موجودات در قلمروی خاکی، هوایی و آبی کره‌ی زمین هستند. اما راز سرعت آنها در مهره‌دار بودن آنهاست؛ بطوریکه شمشیرماهی و چیتا برای سرعت و مانور بهتر دارای مهره‌های قوی‌تر و بزرگی بوده که سرعت آنها طی سیر تکاملی در طول میلیون‌ها سال به حداکثر رسانده شده است. در قیاس میان ستون فقرات مارماهی و شمشیرماهی، می‌بینیم که مارماهی دارای بیش از یکصد مهره در پشت خود بوده در حالیکه شمشیرماهی تنها دارای سی مهره‌ی بزرگ و بسیار سخت می‌باشد. در واقع مهره‌های پشت، عامل سرعت هستند، اما به تنهایی نمی‌تواند این کار را انجام دهد؛ عضلات و بدن بیولوژیکی هم مُمدّ این هدف خواهد بود (مهره‌ها، فرم بدن، دُم قوی)». در زمینه‌ی دریایی، از نظر توانایی، حیوانات آبی در مقایسه با تکنولوژی‌های تولید شده به وسیله‌ی مهندسان دریایی به عنوان «مافوق توانایی» در نظر گرفته می‌شوند. موجودات آبی به واسطه‌ی حرکت نوسانی و هماهنگ بدن، باله و دُم در آب رانش به وجود می‌آورند؛ و بدین وسیله نوع متفاوتی از سیستم رانش را نسبت به سیستم‌های استفاده شده در وسایل ساخته‌ی بشر، ارائه می‌دهند.

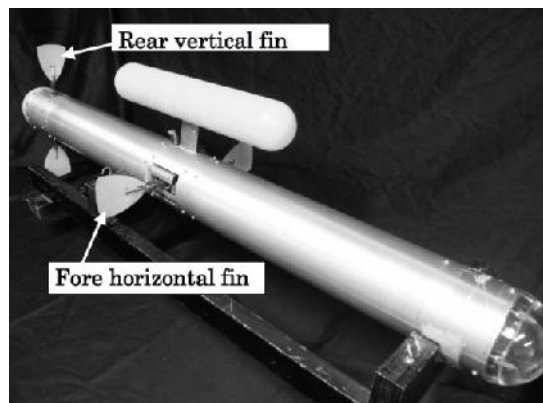
بر اساس مطالعات انجام شده غیردائمی بودن جریان ناشی از نوع حرکت ماهی‌ها در آب، از جهات گوناگون برای آنان سودمند است. به عنوان مثال این امر باعث می‌شود که آنها بتوانند در بازه‌های زمانی کوتاه، نیروهای بزرگ و مؤثری تولید کنند. ایده‌های رانشی جدید بر اساس کنترل جریان

غیردائم، به عنوان یک پیشرفت در علم روباتیک پدیدار شده‌اند. رانش‌دهنده‌های غیردائمی و وسایلی که روش شنا کردن ماهیان را تقلید می‌کنند، اخیراً برای کاربردهای تکنولوژی توسعه یافته‌اند. در ادامه اشاره کوتاهی به برخی تحقیقات و آزمایشات انجام گرفته در زمینه هیدرودینامیک آبزیان و الگوبرداری از آن در طراحی شناورهای زیرسطحی داریم.

## ۲- عملکرد حرکتی ماهیان و سیستم رانش زیردریایی‌ها

برای رانش و پیشروی در زیردریایی‌ها از یک پروانه که به موتور متصل است، استفاده می‌شود. با مطالعات و تحقیقات انجام گرفته، مشخص شده است که این پروانه‌ها به طور بهینه عمل نمی‌کنند و نیروی تراست مفید برای پیشرانش فراهم نمی‌آورد. هم‌چنین زیردریایی‌ها به دلیل وجود فرکانس منتشر شده از چرخش پروانه و نیز تشکیل حباب‌های هوا ناشی از کاویتاسیون که حاصل برخورد پروانه با آب در سرعت‌های بالا است، شناسایی می‌شود. به عنوان راه حل، استفاده از سیستم‌های پیشرانشی که ماهی‌ها برای حرکت و مانوردهی از آن بهره می‌برند، مفید به نظر می‌رسد. در همین راستا و برای شناخت دقیق و در دست داشتن اطلاعات صحیح از نحوه حرکت ماهی‌ها، مطالعاتی پایه‌ای روی عملکرد حرکتی ماهیان انجام گرفته است. در واقع تأثیر اندازه‌ی باله‌ها، شکل باله، نوع پوشش، محل قرارگیری باله‌ها و تقابلات بین بدن ماهی و سیال اطراف آن - که محیط اصلی مانور یک ماهی است- بررسی می‌شود.

زیردریایی‌های موجود که حرکاتشان توسط پره و پیشرانه کنترل می‌شود، عملکرد ضعیفی در چرخش و شناوری در سطوح افقی یا عمودی در جریان‌های قوی بستر اقیانوس‌ها دارند. مطالعه‌ی حرکات نقل و انتقالی جانوران می‌تواند بینش‌های جدیدی درباره‌ی قابلیت مانور و متعادل‌سازی زیردریایی‌ها ارائه دهد. این به عنوان منبعی برای توسعه‌ی سیستمی جدید برای مانور زیردریایی‌ها، مبتنی بر تقلید زیستی جانوران آبزی می‌باشد. تعداد زیادی از بررسی‌ها بر باله‌های ماهی‌ها و حرکات آنها به عنوان مدلی برای نوسانات محوری و باله‌ای به منظور رانش، انجام شده است. اما دلیل استفاده‌ی رایج از پیشرانه‌های نوع پیچی، دشواری در کاربرد نوسانات محوری و باله‌ای به عنوان پیشرانه‌های اصلی برای زیردریایی‌هاست. یک اشکال عمده‌ی این نوع پیشرانه‌های پیچی، تولید ناگهانی نیروی فشار در هنگام شناوری زیردریایی‌هاست که باعث کنترل نادرست موقعیت زیردریایی و بازوهای مکانیکی آن می‌شود؛ چون انواع زیادی از ماهی‌ها از باله‌های سینه‌ای برای مانور در سرعت‌های پایین شنا استفاده می‌کنند، احتمالاً استفاده از حرکات باله‌ی سینه‌ای می‌تواند بر اشکال پیشرانه‌های پیچی غلبه کند. چنین مشاهداتی باعث توسعه‌ی زیردریایی‌هایی با سطوح نازک ضربه‌ای<sup>۱</sup> و سایر دستگاه‌هایی که متصل به سیلندرهای سخت هستند، می‌شود. شکل (۱) [۷].

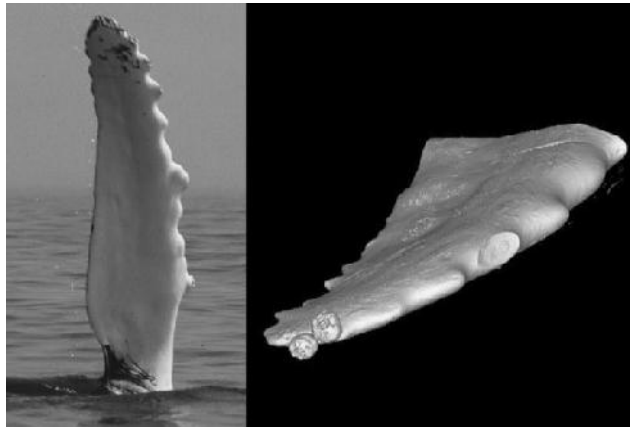


شکل ۱: مدل آزمایشی پلاتینیوس

## ۳- کنترل جریان هیدرودینامیکی در پستانداران دریایی

توانایی کنترل جریان آب اطراف بدن باعث شده است تا عملکرد پستانداران دریایی در محیط آبی بهتر باشد. دسته‌های مورفولوژی پستانداران دریایی، مکانیسم‌هایی را برای کنترل جریان در آب فراهم ساخته است. در کنار طرح بدن ماهی که کاهش فشار را به همراه دارد، مورفولوژی ظاهری اندام ماهی مزایا و منفعت‌های هیدرودینامیکی زیادی از نظر نیروی درگ و لیفت، ضربه‌ی باله‌ها و ایستایی ماهی دارد. باله‌های شکمی دارای زاویه‌های هندسی با قابلیت انعطاف‌پذیری می‌باشد که موجب افزایش ایجاد ضربه برای شنای بهتر می‌گردد. باله‌های شکمی در شنا کردن ماهی باعث لیفت و صعود ماهی از لحاظ هیدرودینامیکی است. برای طراحی باله‌ها در شناوری باید عملکرد ایستایی ماهی تحت فشار مورد بررسی قرار گیرد؛ هم‌چنین تأخیر در حرکت ماهی با توجه به تطابق لبه‌ی باله‌ی شنای اصلی می‌باشد. چنین طراحی با برجستگی‌های روی لبه‌ی بالچه‌های شنای نهنگ (وال)

گوژپشت قرار دارد. (شکل ۲) این گونه ساختارها باعث متلاطم شدن جریان لایه‌ی مرزی در بالچه‌ها شده و جریان گردابه‌ها را از هم جدا کرده و به تعویق می‌اندازد؛ البته با توجه به بخش‌های تغییرپذیر جریان یعنی پروفیل سرعت متفاوت در هر نقطه از بالچه، جریان دارای سرعت‌های مختلفی خواهد بود. تأخیر سرعت حرکت، اجازه‌ی عملکرد چرخشی (مانورپذیری) را با توجه به چالاکی و قابلیت مانور ماهی مشخص می‌کند. ویژگی‌های مورفولوژی پستانداران دریایی برای کنترل جریان می‌تواند در طراحی ساختاری مهندسی توان افزایش یافته و کارایی بهتر را به همراه داشته باشد [۲].



شکل ۲: بالچه‌های نهنگ گوژپست

#### ۴- تفاوت سرعت در گونه‌های مختلف ماهی‌ها

اما سؤالی که در مورد انواع ماهیان برای زیست‌شناسان و مهندسان مطرح است اینست که چرا برخی از ماهیان دارای توانایی شنا کردن با سرعت بالاتری نسبت به دیگر ماهیان می‌باشد و پاسخ به این پرسش باید از منظر هیدرودینامیکی بررسی شود. آقایان دریاکر<sup>۱</sup> و لایدر<sup>۲</sup> در سال ۲۰۰۰ میلادی مقاله‌ای تحت عنوان «آنالیز هیدرودینامیکی سرعت ماهیان (با نگرش بر ساختار ویک‌های ایجاد شده)» به بررسی و پاسخ‌گویی به این پرسش پرداختند [۱]. برای این کار از دو نوع ماهی به عنوان سوژه‌ی مورد تحقیق استفاده کردند: خورشیدماهی<sup>۳</sup> و سارفیچ سیاه<sup>۴</sup>. شنا کردن در سرعت‌های پایین در این دو گونه ماهی، فقط با استفاده از باله‌های سینه‌ای انجام می‌شود و در سرعت‌های بالاتر این ماهی‌ها از باله‌های سینه‌ای و باله‌ی دومی استفاده می‌کنند. با افزایش مومنتوم ویک و هم‌چنین با قرار دادن این مومنتوم در جهت مستقیم، برای نیروی تراست (رانش) مناسب‌تر از نیروی جانبی است. سارفیچ سیاه قادر به شنای تقریباً دو برابر سرعت شنای خورشیدماهی می‌باشد که با استفاده از باله‌های سینه‌ای است. این در حالی است که خورشیدماهی مانورپذیرتر می‌باشد؛ زیرا توانایی آنها در تولید نیروی بزرگ نامتقارن (میان-جانبی) بین باله‌های چپ و راست می‌باشد. خورشیدماهی (بدون ایجاد جریان بازگشتی یا ویک) نیروی خروجی ماهیچه‌های باله‌های سینه‌ای خود را افزایش داده و این تأثیر اندکی در سرعت ماکزیمم حرکتی آن دارد. در این مقاله به معرفی دو فرضیه (نظریه) پایداری حرکتی، مانورپذیری و ساختار جریان بازگشتی، پرداخته شده است:

- ۱) در سرعت‌های پایین، که نیروهای بزرگ در دو گونه‌ی نام‌برده نشان داده شده می‌شود که ممکن است در پایداری اهمیت داشته باشند؛
- ۲) مبادله‌ی هیدرودینامیک پتانسیل مابین سرعت و مانورپذیری را نشان می‌دهد که حاصل نتیجه‌ی هندسی جریان بازگشتی (vortex) توسط باله‌های سینه‌ای است.

ایجاد نیروهای جهت‌دار جانبی توسط خورشیدماهیان و سارفیچ سیاه در سرعت‌های پایین و هم‌چنین حفظ این نیرو در خورشیدماهی هنگام داشتن سرعت‌های بالا قابل توجه می‌باشد؛ به طوری که نتایج غیر قابل انتظار از تحلیل گرداب ویک را به همراه دارند. نیروهای جانبی مستقیم تقریباً به طور مساوی باعث افزایش توان می‌شود. این دو نظریه در رابطه با پایداری و قابلیت مانور ماهی در هنگام حرکت باله‌ی شکمی در این گونه‌ها می‌باشد. ابتدا نیروهای وارد شونده‌ی جانبی بزرگ می‌توانند برای پایداری حرکتی مهم باشند؛ در خورشید ماهی مرکز بویانسی (شناوری) نزدیک به مرکز جرم می‌باشد. نیروهای جهت‌دار جانبی ممکن است برای ثابت کردن بدن در حین شنای افقی نیازمند باشند؛ هم‌چنین با قابلیت مانور ممکن است رابطه‌ی مستقیم داشته باشد. توانایی یک ماهی برای تغییر مسیرش توسط نیروهای تعادلی مابین باله‌های سمت راست و چپ صورت می‌گیرد. این نظریه

<sup>۱</sup> Drucker

<sup>۲</sup> Lauder

<sup>۳</sup> bluegill

<sup>۴</sup> Black surfperch

عملکرد هیدرودینامیکی بین سرعت و قابلیت مانور را از نظر جهت هندسی حلقه‌های گرداب که توسط باله‌های ماهی شکل می‌گیرد، بیان می‌کند. زمانیکه ویک جهت خود را می‌گیرد، سرعت مورد نیاز ماهی محدود شده ولی مانورپذیری آن افزایش می‌یابد. توانایی ماهیان برای ایجاد چرخه‌ی گرداب و ویک بستگی به جهت و انعطاف باله‌ها دارد که باید توانایی ماهی در تغییر حلقه‌ی گرداب به داخل ویک را کاهش دهد. رابطه‌ی میان جهت باله‌ی شکمی و تطبیق‌پذیری آن با سینماتیک و ساختار ویک کاملاً شناخته نشده است که مستلزم طبقه‌بندی هیدرودینامیک مورفولوژی باله‌ی شکمی در ماهیان می‌باشد [۱].

## ۵- شتاب لایه‌ی مرزی

ورود آب به داخل لایه‌های مرزی سطح پوست ماهی که با سیستم مکش تولید می‌شود، در کاهش انتقال و جداسازی ماهی از جریان‌ها مؤثر می‌باشد. این جریان در لایه‌های مرزی باعث انتقال و ایجاد انرژی شده و باعث افزایش تلاطم در آب می‌گردد. مکان قرار گرفتن آبشش نیز جریان تنفسی آن را نسبت به وجود حفره روی سطح بدن ماهی بیشتر افزایش می‌دهد. پوشش‌های دهانی و آبششی باز مانده تا جریان بدون مکش و عمل پمپاژ بتواند از آبشش‌ها عبور کند. حرکت پیوسته‌ی ماهی این جریان را حفظ می‌کند. اما بخش‌های تیغه‌ای، لایه‌ی مرزی روی بدن ماهی را ۱۰۰-۱۳٪ افزایش می‌دهد. محاسبه‌ی فشار دینامیکی ایجاد شده به هنگام فعالیت دلفین، در واقع میزان فشار افزایش یافته را در بدن آن نشان می‌دهد. این مکانیسم برای ماهی بسیار مهم به نظر می‌رسد.

## ۶- نتیجه‌گیری و پیشنهادات

تحقیقات بررسی شده به ما نشان دادند که برای واکاوی یک پارامتر و یا در مراحل بالاتر، الگوبرداری از یک پارامتر طبیعی در مصنوعات نیازمند یک سلسله مراتبی از علوم مختلف و بررسی‌ها و آزمایشات دقیق و منسجم می‌باشد. البته شایان ذکر است که در محبت الگوبرداری از طبیعت و الهام از آن مستلزم کپی کردن مو به مو یا تقلید کامل از صورت جاندار آن نخواهیم بود. لازم به ذکر است که استفاده از حرکت موج‌سان ماهی در زیردریایی و روبات شناگر باعث می‌شود تا وسیله‌ی شناگر به حداقل تولید نویز و صدای قابل ردیابی دست پیدا کند. اما پیشنهادات گسترده‌ای در این راستا می‌توان برشمرد که بسته به نوع هدفی که از ساخت روبات یا زیردریایی خواهیم داشت، متنوع خواهد بود.

اگر به زیردریایی یا روباتی جهت کاوشگری و جستجوگری در بستر دریا نیاز داشته باشیم، مهم‌ترین و برجسته‌ترین فاکتور مدّ نظر سرعت نسبتاً پایین و مانورپذیری بسیار بالای آن در کف دریا می‌باشد. بستر دریا هم دارای پستی و بلندی‌های خاص خود می‌باشد. به اجمال می‌توان گفت بهترین گزینه برای الگوبرداری در حوزه‌ی بحثمان، گروه ماهیان کفزی می‌باشد. پیشنهاد بعدی مربوط به نحوه‌ی رانش همین نوع زیردریایی یا روبات می‌باشد؛ از آنجایی که سرعت جزء فاکتورهای رتبه‌ی دوم از لحاظ اهمیت می‌باشد، لذا می‌توان از سطوح کنترلی شبه باله‌ای استفاده نمود [۴]. مرور کلی بر مورفولوژی و آزمایشات هیدرودینامیکی در سطوح کنترلی باله‌ی ماهیان، پیشنهاد دهنده‌ی برخی الزامات طراحی زیردریایی‌ها (به‌ویژه بالک‌ها) بوده؛ گرچه ممکن است جنبه‌های عملی و متداول در طراحی زیردریایی‌ها، ردکننده‌ی این پیشنهادات باشد.

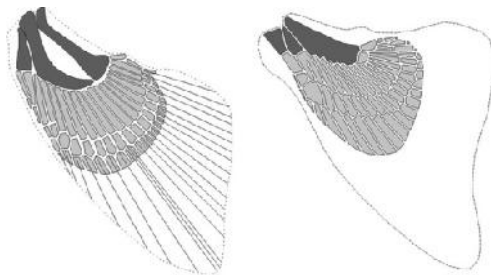
تکنولوژی پیشنهادی و نوین شامل سیستم محرک پلیمری ماهیچه‌ی مصنوعی بوده و ممکن است در آینده مواد جدید، بسیاری از محدودیت‌ها را در مانورپذیری وسیله‌ی مربوطه از بین ببرد. اما تاکنون، پیامد و نتیجه‌ی فراگیر برای تکوین مطالعات تجربی و آزمایشی روی سطوح کنترلی باله‌ی ماهیان این بوده است که ماهی به خودی خود ناپایدار بوده و به طور مداوم برای تولید نیروهای تعادلی و هم‌چنین نیروهای مخالف جهت حرکت رانشی خود، از باله‌ها بهره می‌گیرد. به عنوان مثال نخستین و ابتدایی‌ترین عملکرد باله‌ی پشتی ماهی قزل‌آلا، تولید نیروی جانبی برای کمک به بقیه‌ی باله‌ها که در رانش سهمی ندارند، بوده تا بدن ماهی در حالت اصلی و تعادلی خود قرار بگیرد.

اما اولین نتیجه از مطالعات تجربی (آزمایشی) روی باله‌های ماهی در طراحی زیردریایی، استفاده از سطوح چندگانه‌ی کنترلی (متغیر در اندازه و شکل) و توزیع آنها در اطراف مرکز جرم می‌باشد که ممد تولید نیروی نسبتاً مؤثری هستند. سطوح کنترلی چندگانه با توجه به نوع و نژاد ماهی و هم‌چنین توانایی‌اش در مانورپذیری و حفظ تعادل بدن در هنگام شنا، انتخاب می‌شود و این انتخاب مستلزم مطالعه‌ی روشکافانه و دقیق از کاربرد و نحوه‌ی رفتار حرکتی ماهیان در زیستگاه آنها، می‌باشد.

دومین نکته؛ افزایش درجه آزادی حرکت سطوح کنترلی است تا عملکرد حرکتی باله بیشتر شده و تغییر در اندازه و شکل آن ممکن باشد. سوم؛ در نظر گرفتن توانایی ماهی و باله‌ی ماهی در تلفیق عملکرد سطوح کنترلی باله‌ها برای تسهیل در حرکت، تنظیم و تعدیل کردن میزان تریم<sup>۱</sup> کل بدن و کنترل سرعت در مانور ماهی، بدون کوچکترین تغییری در جهت‌گیری می‌باشد [۵].

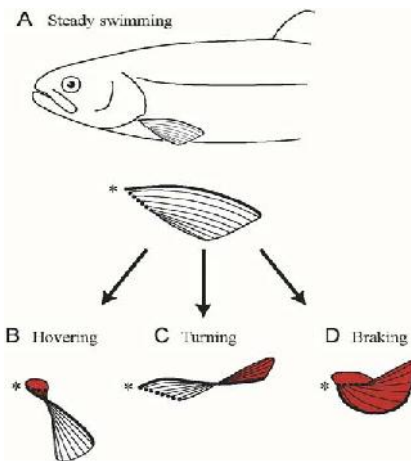
در اینجا بیان و تکرار این نکته ضروری است که باله‌ی ماهیان توسط ماهیچه‌های مجزا به وسیله‌ی شعاع‌های باله و به صورت پراکنده به بدن متصل شده‌اند و این ساختار باعث تنوع حرکتی و انعطاف باله شده است. (شکل ۳) باله می‌تواند به صورت موجی حرکت کند و لبه‌ی پشتی را بالا و پایین

برود، بدون متوسل شدن به سیستم‌هایی شبیه مفصل یا چرخ‌دنده مانند و... این نوع طراحی اجازه می‌دهد تا یک سطح خوبی از کنترل ایجاد شود که در صورت رایج شدن در تکنولوژی طراحی زیردریایی به موفقیت‌های زیادی نایل می‌شود. در این راستا یکی از ایده‌های مناسب و مساعد سیستم پلیمری ماهیچه‌ی مصنوعی است [۶].



شکل ۳: نحوه‌ی قرارگیری استخوان در باله‌ی ماهی

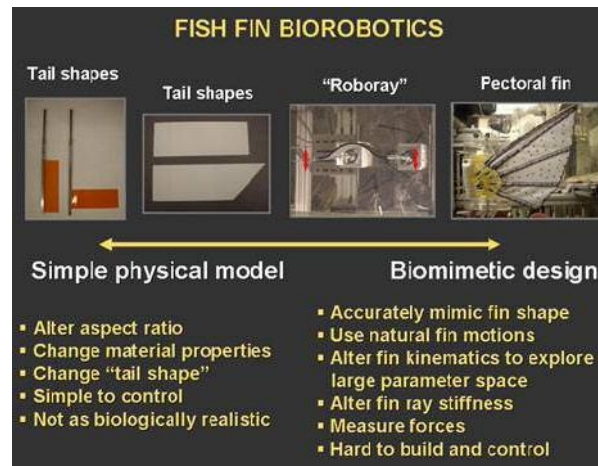
چهارم؛ ماهی‌ها به طور هم‌زمان (توأم) کاربرد چندگانه‌ای از سطوح کنترلی ایجاد می‌کنند و تغییر و تعدیل عملکرد رانشی خود را توسط قرار دادن باله‌ها در جریان ویک (که مخالف جریان و حرکت ماهی است)، کنترل می‌کند. این مهم با به کار بردن سطوح کنترلی مشابه در زیردریایی‌ها می‌تواند آنها را از نظر عملکردی، توانایی‌شان را در مانور و هم‌چنین در پیشرانش به طور تجربی و آزمایشی افزایش دهد. (شکل ۴)



شکل ۴: نحوه‌ی حرکت باله‌ها و آزادی عمل آن

ماهیان به طور شگفت‌انگیزی سیستم کنترلی پیشرفته‌ای برای باله‌هایشان دارند که از سنسورهای بدن مانند خط جانبی، گوش داخلی و... ورودی دریافت می‌کنند. هم‌چنین سطوح باله‌ها در دامنه‌ی حرکتی کمی قرار دارند تا موقعیت بدن ماهی را در فضای حرکتشان کنترل کند. توسعه‌ی یک سیستم شبه کنترلی برای زیردریایی‌ها نویدبخش یک چالش بزرگ و مبارزه‌طلبی خواهد بود؛ اما بالاخره و نهایتاً باید بر آن غلبه کرد و چیره شد تا بتوان به زیردریایی بیولوژیکی شبیه به سطح عملکردی ماهیان ناائل شد.

روبات‌های شناگر می‌توانند از محیط زیست تأثیر بگیرند و در راه‌های مفید و متنوعی به کار برده شوند. یکی از زمینه‌های مهم و کلیدی که روبات‌های شناگر مفید واقع هستند، جداسازی فاکتورهای تفکیک‌ناپذیر بوده که ممکن است نیروی رانش تولیدی را تحت تأثیر قرار دهد. به عنوان مثال آنالیز تطبیقی در حرکت ماهیان می‌باشد که با مشکل روبرو شده است؛ زیرا قسمت‌های مختلف ماهیان در رانش و حرکت دم و باله دخیل بوده و هم‌چنین قسمت‌های مختلف ماهیان با ویژگی‌های مکانیکی روبات‌ها متفاوت است. همانند تأثیر دم و نحوه‌ی استفاده و کاربرد آن در حرکت‌های متنوع ماهی (با نگاهی فیزیولوژیکی، سیالاتی، هیدرودینامیکی و...) مدل‌های روباتیکی مزیت خوبی در جداسازی مؤلفه‌های تفکیک‌ناپذیر طراحی دارند؛ این در حالیست که این مدل‌ها می‌توانند برای ساده‌سازی زیستی، هزینه‌بر باشند تا ویژگی کلیدی طراحی زیستی (مُلهم از طبیعت) توسعه یافته و ناکام رها نشود. و این کار را می‌توان با تقبل مطالعات دوره‌ای انجام داد؛ یعنی از مدل‌های فیزیکی ساده‌ی نیروی رانش زیر آب شروع و به سطح پیشرفته‌ای از روبات‌های بیومکانیکی رسید تا پاسخی به پرسش‌های اساسی درباره‌ی رانش، باشند [۶].



شکل ۵: دیاگرام پیشرفت مدل سازی روباتیکی حاصل از تحقیقات

یکی از خصوصیات بحرانی و حیاتی روبات های شناگر، پیشرانش خود بخودی<sup>۱</sup> می باشد یعنی توسط خودشان حرکت کنند که با آزمایش پلت فرم<sup>۲</sup> روبات ها صورت می گیرد. ماهیان نیروی رانشی را تولید و بر خلاف جریان، روی لایه ی نازکی از هوا با اصطکاک ناچیز شنا می کنند، به نحوی که می توان با تحقیقات استاندارد دینامیک سیالاتی و سینماتیکی صورت گرفته، نتایج بدست آمده را مشاهده نمود<sup>۳</sup>.

آزمایش پلت فرم روبات های شناگر، مزایای زیادی دارد:

- کنترل پارامترهای ساختاری ویژه مثل انعطاف پذیری
- کنترل دقیق و موشکافانه از حرکت
- اندازه گیری مستقیم نیروها
- بازیابی پارامترهای سه بُعدی حرکت، بیشتر از پارامترهای موجود وسایل روباتیکی

- هم چنین مطالعات سینماتیکی سه بُعدی را تسهیل و با آنالیزهای هیدرودینامیکی مرتبط می سازد؛ (که لازم و ملزوم یکدیگرند).

در واقع می توان، موقعیت سطوح متحرک را به طور دقیق ساخت و مشخص نمود و اجزای تفکیک ناپذیر در یک حرکت طبیعی (مثل حرکت کردن با اندام ثانویه<sup>۴</sup> و بی حرکتی) می تواند به طور جداگانه و مجزا برنامه ریزی شوند که قطعاً و مشخصاً با توجه به سر و کار داشتن با موجودات زنده، دستیابی به این هدف دشوار می باشد. داده هایی که برای فهم و درک مکانیزم های هیدرودینامیکی و جریانات فیزیکی مهم هستند، عبارتست از: توزیع فشار سطحی؛ و متمرکز سازی مبدل ها (منظور از مبدل ها، سنسورهای روپوستی و درون اندامی ماهی بوده که دما، چگالی آب، شوری، جهت جریان، مسیر کم انرژی و... را تشخیص می دهد).

تحقیقات محاسباتی، بهترین راه برای ساده سازی ساختارهای بیولوژیکی و الگوهای حرکتی می باشند و مقایسه آنها با هم برای راه حل های مهندسی متعارف نظیر heaving, pitching foils مناسب می باشد. تطبیق و پیوند تحقیقات محاسباتی با تحلیل های آزمایشی (تجربی) موجودات زنده و وسایل روباتیکی، اجازه ی بازیابی گسترده ی وسیعی از پارامترهای سه بُعدی را داده و هم چنین باعث تغییراتی در الگوهای حرکتی می شود. برخی از مطالعات و محاسبات سیالاتی و آنالیزهای دینامیکی اخیر درباره ی تحرک آبیان در مورد تغییر شکل و دفرمینگ کل بدن ماهیان یا در مورد سطوح رانشی مثل باله های سینه ای ماهیان را در بر می گیرد. ما در مطالعات خود تحقیقی که هم حرکت باله ها و هم حرکت بدن ماهی را با هم مورد بررسی قرار داده باشد، نیافتیم؛ زیرا باله های ماهی توسط ماهیچه بندی درون اندامی دائماً و فعالانه حرکت می کند و جریان های ویک گردابی، ماهی را پوشش می دهند و این دو عامل پیچیدگی های فراوانی را در محاسبات و ملاحظات تحقیق به همراه دارد. پیشنهاد اینست که تحقیقات آینده می تواند (هم حرکت باله ها و هم حرکت بدن ماهی) به صورت یکپارچه توسعه یابد [۶]. تحقیقات محاسباتی آینده احتمالاً از نظر کیفی بهتر می شوند و این توسعه و بهبود به واسطه ی گسترش پیچیدگی و پیشرفت اندام داخلی مدل شده از موجودات شناگر می باشد. و سپس جفت سازی و اتصال آنها با مدل های دینامیک سیالاتی برای یک تحلیل مبسوط و جامع از اندام و سطوح کنترلی داخلی و خارجی در حین شنا کردن. به هر حال این احتمال برای تحقیقات امیدبخش است.

- 1- self-propelling
- 2- Platform
- 3- Lauder et al. 2007
- 4- Flapping appendage

#### ۷- منابع و مآخذ:

1. E. G. Drucker and G. V. Lauder, "A hydrodynamic analysis of Fish swimming speed: Wake Structure and Locomotor force in slow and fast Labriform swimmer", J Exp Biol. 2000 Aug; 203(Pt 16):2379-93.
2. Frank E. Fish, Laurens E. Howle and Mark M. Murray, "Hydrodynamic flow control in marine mammals", presented at the annual meeting of the Society for Integrative and Comparative Biology, January 2-6, 2007, at San Antonio, Texas.
3. Frank E. Fish, "Power output and propulsive efficiency of swimming bottlenose Dolphins", the journal of experimental biology, December 1, 1993, 179-193.
4. George V. Lauder/ Revised; "Swimming hydrodynamics: ten questions and the technical approaches needed to resolve them", Exp Fluids (2011) 51:23-35
5. George V. Lauder and Eliot G. Drucker, "Forces, fishes, and fluids, hydrodynamic mechanisms of aquatic locomotion", journal of News in physiological sciences ; Review Volume: 17, Publication Date: 2002 Dec
6. George V. Lauder and Eliot G. Drucker, "Morphology and Experimental Hydrodynamics of Fish Fin Control Surfaces", IEEE Journal Of Oceanic Engineering, vol. 29, No. 3, July 2004
7. Naomi Kato, Yoshito Ando, Toshihide Shigetomi, Tomohisa Katayama, "Biology-inspired Precision Maneuvering of Underwater Vehicles", International Journal of Offshore and Polar Engineering, Volume 16, Number 3, September, 2006.