

طراحی، ساخت، روایی و پایایی سنجی دستگاه اندازه‌گیری هم‌زمان کینماتیک حرکت و توزیع فشار آب در شنا

*دکتر حیدر صادقی^۱، محمد حیدری^۲

پژوهشکده تربیت بدنی و علوم ورزشی وزارت علوم، تحقیقات و فناوری

تاریخ پذیرش مقاله: ۸۹/۱۲/۱۷

تاریخ دریافت مقاله: ۸۹/۷/۴

چکیده

شنا از رشته‌های ورزشی است که پیشرفت در اجرای مهارت‌های آن به آگاهی درباره نیروی جلوبرنده، نیروی مقاوم و کارآیی نیروی جلوبرنده بستگی دارد. با توجه به فقدان روشی دقیق برای اندازه‌گیری نیروی جلوبرنده در شنا، هدف از انجام این پژوهش، طراحی، ساخت، روایی و پایایی سنجی دستگاه اندازه‌گیری هم‌زمان کینماتیک حرکت و توزیع فشار آب در حین حرکت شناگران بود. دستگاه‌های اصلی اندازه‌گیری مورد استفاده در این تحقیق که طراحی و ساخته شده است به دو بخش سخت‌افزاری و نرم‌افزاری تقسیم شد که بخش سخت‌افزاری به دو جزء الف) بخش کینماتیک حرکت (دستگاه کانوایر نگهدارنده و حرکت‌دهنده دوربین) و ب) بخش کینتیک (سیستم اندازه‌گیری و مانیتور نیرو و شتاب در قسمت‌های مختلف بدن به صورت بی‌سیم برای اندازه‌گیری توزیع فشار) و بخش نرم‌افزاری نیز به الف) نرم‌افزار هوشمند تعقیب شناگر و ب) نرم‌افزار پردازش اطلاعات به دست آمده از دوربین و ذخیره داده‌های مربوط به حرکت‌های کینماتیک شناگر تقسیم می‌شد. شناگران با حداکثر سرعت سه بار مسافت ۲۵ متری استخر را شنا کردند. اطلاعات ویدیویی (کینماتیک) و توزیع فشار (کینتیک) با روش پردازش تصویر به صورت هم‌زمان جمع‌آوری شد. بعد از جمع‌آوری اطلاعات، از فیلترهای دورانداز برای حذف داده‌های با خطای بالا و خارج از خط رگرسیون استفاده شد. از شاخص‌های گرایش به مرکز، پراکندگی و رسم نمودارها برای توصیف اطلاعات و برای انجام آزمون‌های فرضیه و روش‌های روایی سنجی^۳ و پایایی سنجی^۴ (آزمون و آزمون مجدد) استفاده شد. برای

E-mail: sadeghih@yahoo.com

۱. استاد دانشگاه تربیت معلم تهران

۲. کارشناس الکترونیک

3. Validity

4. Reliability

سنجش روایی کاناویر، اندازه‌گیری سرعت حرکت ریل‌ها با دوربین و غیردوربین، در آب و بیرون آب، با موج و بدون موج با وسیله دیگری انجام شد که با سرعت ثابت در حال حرکت بود. پایایی سنجی کاناویر، آزمون و آزمون مجدد در آب و بیرون آب، با موج و بدون موج انجام شد. برای تعیین روایی حسگرهای شتاب‌سنج، نتایج با مقدار ثابت ۹/۸ متر بر مجذور ثانیه (شتاب جاذبه زمین) در هر سه محور مقایسه شد و در بررسی پایایی و ثبات هماهنگی، آزمون آزمون و آزمون مجدد مورد ارزیابی قرار گرفت. اعداد به‌دست آمده از دستگاه بسیار نزدیک به سرعت واقعی آزمودنی یعنی ۱/۷ متر بر ثانیه بود. نتایج، همبستگی بالایی نشان داد که ماکزیمم خطا در حالت بیرون از آب ۰/۰۴۸ متر بر ثانیه، درون آب بدون موج ۰/۰۹۶ متر بر ثانیه و درون آب با موج ۰/۱۴۸ متر بر ثانیه است. در تعیین روایی حسگرهای شتاب‌سنج، مقایسه نتایج با مقدار ثابت ۹/۸ متر بر مجذور ثانیه (شتاب جاذبه زمین) در هر سه محور، مؤید روایی دستگاه ساخته شده بود. نتایج تحقیق مؤید امکان‌پذیری اندازه‌گیری هم‌زمانی کینماتیک (حرکت شناگر) و کینتیک (توزیع فشار در حین حرکت شناگر) را فراهم نمود که از پایایی و اعتباری مناسب برخوردار بود.

کلیدواژه‌های فارسی: شناگر، دستگاه اندازه‌گیری هم‌زمان و مستقیم، کینماتیک، توزیع فشار، روایی، پایایی.

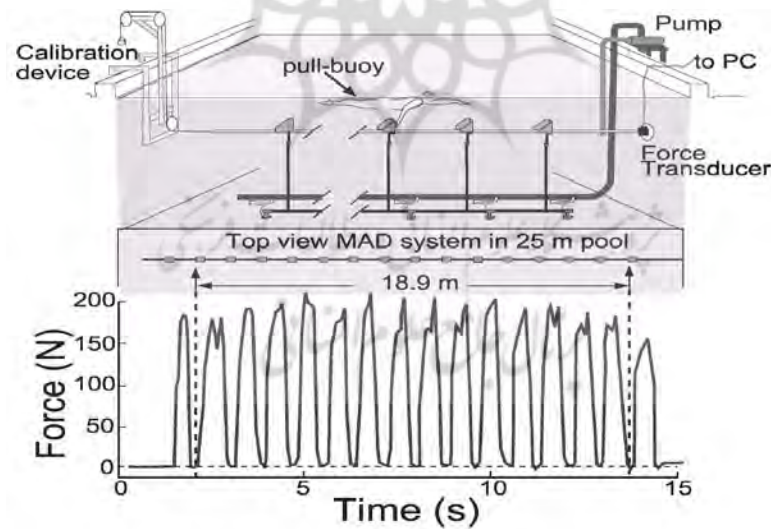
مقدمه

شنا از جمله رشته‌های ورزشی است که پیشرفت در اجرای مهارت‌های آن به آگاهی از علم سیالات و اثر آن بر بدن مرتبط می‌باشد. در شنا هدف اصلی ورزشکار دستیابی به کمترین زمان ممکن برای پیمودن مسافتی معین (رکورد) می‌باشد که در دستیابی به این زمان عواملی گوناگون تأثیرگذارند. توسلینت و ترگنیس (۲۰۰۵) معتقدند که موفقیت در اجرای مهارت‌های شنا علاوه بر داشتن ویژگی‌های مناسب بدنی، مستلزم آگاهی از عوامل بیومکانیکی اثرگذار مانند نیروی جلوبرنده، نیروی مقاوم و کارایی نیروی جلوبرنده می‌باشد (۱). امروز پذیرفته شده است که سه عامل بیومکانیکی نیروی جلوبرنده که توسط دو نیروی بالابرنده (نیروی که در جهت عمود بر جهت حرکت بر جسم سیال وارد می‌شود)، نیروی مقاوم (کشش شکلی، موجی و اصطکاکی) و کارایی نیروی جلو برنده^۱، کیفیت شنا انسان را تعیین می‌کنند (۲، ۳). در بین عوامل مذکور، نیروی جلوبرنده و نیروی کشش^۱ (نیروی که در جهت مخالف حرکت جسم بر آن وارد می‌شود) در اثر حرکت

1. propulsion efficiency
2. Drag

دست‌ها و پاها در آب تولید و از تعیین‌کننده‌ترین پارامترها در بررسی کیفیت عمل کرد شناگران در شنای رقابتی محسوب می‌شود.

برای اندازه‌گیری نیروی جلوبرنده در شنا روش‌های گوناگونی مانند روش فیلم‌برداری و استفاده از فرمول، روش اندازه‌گیری نیروی مقاوم فعال توسط دستگاه^۱، روش غیرمستقیم اندازه‌گیری نیروی مقاوم (MAD) و روش تغییرات سرعت^۲ وجود دارد. با مرور مقالات مختلف درمی‌یابیم که رایج‌ترین روش اندازه‌گیری نیروی جلوبرنده در شنا روش فیلم‌برداری و استفاده از فرمول و روش اندازه‌گیری نیروی مقاوم فعال توسط دستگاه MAD می‌باشد (۲). سیستم MAD به شناگر امکان می‌دهد که در هر ضربه دست، به پدهای ثابت که در یک مسیر ۲۲ متری قابل تنظیم (به‌طور معمول ۱/۳۵ متر) در عمق ۰/۸ متر قرار می‌گیرد فشار وارد کند. پدها به انتقال‌دهنده نیرو متصل هستند که می‌تواند نیروی شناگر را به‌طور مستقیم اندازه‌گیری کند. هنگام اندازه‌گیری نیروی مقاوم فعال، شناگر تنها از دست استفاده می‌کند و پاها او با شناور کوچک به‌صورت شناور روی آب می‌ماند. چون در هر سرعت ثابتی مجموع نیروهای مقاوم برابر نیروی جلوبرنده است (۴)، در حقیقت با اندازه‌گیری نیروی مقاوم، نیروی جلو برنده نیز اندازه‌گیری می‌شود.



شکل ۱. شکل شماتیک دستگاه MAD (دستگاه اندازه‌گیری نیروی مقاوم فعال)

1. Measurement of Active Drag (MAD)
2. Velocity Perturbation Method (VPM)

از مزایای این روش می‌توان به اندازه‌گیری نیرو در سرعت‌های مختلف و اندازه‌گیری نیرو به صورت مستقیم و بدون نیاز به تجزیه و تحلیل برای محاسبه آن اشاره کرد. با وجود این، این روش نقص‌هایی دارد که از جمله می‌توان به عدم اجازه اندازه‌گیری نیروی جلوبرنده کل (مجموع نیروی جلوبرنده دست‌ها و پاها فراهم نیست) اشاره کرد. در ضمن، پدها در عمق $0/8$ متر قرار دارند و حرکت دست تا این عمق مستلزم اعمال نیرو است که سیستم آن را اندازه‌گیری نمی‌کند. در روش فیلم‌برداری و استفاده از فرمول، شناگر در کانال جریان آب در حالی شنا می‌کند که آب با سرعت و جهت جریان ثابت در حرکت است و دوربین‌هایی از مهارت شنای او فیلم‌برداری می‌کنند (۲، ۴). به این روش، آنالیز حرکت در مسیر خاص^۱ می‌گویند (۴). بعد از فیلم‌برداری، نیروی جلوبرنده و مقاوم با تجزیه و تحلیل اطلاعات و با استفاده از فرمول‌ها محاسبه می‌شود. نیروی بالابر بر اساس قانون برنولی (۱، ۲) و نیروهای بالابرنده و کشش با استفاده از فرمول‌های زیر محاسبه می‌شوند.

$$L = 1/2 \cdot \rho \cdot U^2 \cdot C_l \cdot S \quad (1)$$

$$D = 1/2 \cdot \rho \cdot U^2 \cdot C_d \cdot S \quad (2)$$

که در آن L (نیروی بالابر)، ρ (چگالی آب)، U (سرعت دست نسبت به آب)، D (نیروی کشش)، C_l (ضریب ثابت بالابر)، C_d (ضریب ثابت کشش) و S (مساحت دست) می‌باشند. شلی‌هوف^۲ ویژگی‌های دست شناگر را به‌عنوان یک هیدروفویل^۳ در کانال جریان آب، تحت شرایطی که زاویه حمله^۴ و سرعت جریان ثابت بود بررسی و مقادیر C_l و C_d را محاسبه و نیروی بالابر را عاملی مهم در تولید نیروی جلوبرنده (۳) معرفی نموده است. با به دست آوردن اطلاعات مربوط به سرعت دست که با تجزیه و تحلیل فیلم حرکت دست حاصل می‌شود و استفاده از فرمول‌های ذکر شده، مقادیر C_l و C_d محاسبه شده و می‌توان بزرگی و جهت نیروی جلوبرنده نهایی را محاسبه نمود (۴). این رویکرد که به‌عنوان آنالیز حرکت در مسیر خاص شناخته شده به این فرض وابسته است که جریان تحت شرایط بررسی با جریان در طول ضربه واقعی در استخر شنا قابل مقایسه می‌باشد (۱)، در حالی که مشخص شده که سرعت و جهت حرکت جریان آب نسبت به دست در ضربه واقعی شنا مدام در حال تغییر است. این امر محاسبه نیروی جلوبرنده را با این روش مورد تردید قرار می‌دهد؛ زیرا در این روش، سرعت و جهت جریان آب نسبت به دست، ثابت فرض شده است (۲، ۴).

-
1. quasi- steady
 2. Schleihau
 3. Hydrofoil
 4. Angle of attack

آنالیز حرکت در مسیر خاص بیشتر به دلیل سادگی آن مورد استفاده قرار می‌گیرد. در ضمن، این روش گذر از نظریه نیروی جلوبرنده پارویی اولیه می‌باشد. برگر و همکاران (۱۹۹۹) در اقدامی مشابه با فعالیت شلی هوف، C_1 و C_2 را محاسبه نموده و مقادیر مشابه با مقادیر شلی هوف را به دست آوردند، ولی زمانی که مقدار u را بر اساس پیشنهاد شلی هوف (۱۹۸۳) برابر سرعت میانه کف دست قرار دادند، مقدار نیروی جلوبرنده را ۱۷٪ کمتر از نیروی مقاوم اندازه‌گیری شده به وسیله سیستم اندازه‌گیری نیروی مقاوم فعال (MAD) گزارش دادند (۵). ون در میر و نایت در سال ۲۰۰۳ نیروی جلوبرنده محاسبه‌شده توسط فرمول‌ها در کانال یعنی به صورت حرکت در مسیر خاص را با مقادیر اندازه‌گیری شده توسط سیستم MAD مقایسه کردند. این روش آشکار نمود که مقادیر به دست آمده توسط آنالیز حرکت در مسیر خاص به طور قابل توجهی (۶۰٪) کمتر از نیروهای جلوبرنده اندازه‌گیری شده توسط سیستم MAD است (۶).

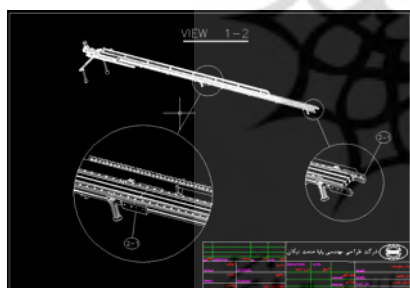
با توجه به توضیحات فوق مشاهده می‌شود که روش دقیقی برای اندازه‌گیری نیروی جلوبرنده در شنا وجود ندارد و هر یک از روش‌های موجود ایرادهایی دارند. بر این اساس، به نظر می‌آید یکی از چالش‌ها، یافتن روش دقیق برای اندازه‌گیری نیروهای جلوبرنده است. سؤال مهم این است که آیا امکان طراحی و ساخت دستگاه اندازه‌گیری هم‌زمان کینماتیک حرکت و توزیع فشار آب در حین حرکت شناگران که از روایی و پایایی مناسب برخوردار باشد، وجود دارد؟ برای پاسخ به این سؤال باید پذیرفت که شناخت مکانیسم حاکم بر تولید نیروی جلوبرنده مستلزم آن است که برای شناخت این مکانیسم باید چگونگی تغییرات وضعیتی حرکت شناگران و توزیع فشارهای وارده به اندام‌ها را مشخص کرد و با استفاده از قوانین سیالات اثر جریان را بر نیروی جلوبرنده دریافت. این تحقیق به اعتباریابی و پایایی سنجی دستگاه محقق‌ساخته اختصاص دارد که قابلیت اندازه‌گیری هم‌زمان وضعیت حرکت ورزشکار در آب (کینماتیک) و توزیع فشارهای وارده (کینتیک) را داراست. امید می‌رود با ساخت این دستگاه گامی مؤثر برای شناسایی عوامل بیومکانیکی تأثیرگذار (کینماتیکی و کینتیکی) در اجرای مهارت‌های شنا برداشته شود و از این طریق مقدمه بررسی دقیق‌تر عوامل مؤثر و در نتیجه بهبود بخشیدن به کیفیت عمل‌کرد شناگران به‌ویژه در سطح قهرمانی فراهم شود. به‌طور مشخص هدف اصلی تحقیق، طراحی، ساخت، روایی و پایایی سنجی دستگاه اندازه‌گیری هم‌زمان کینماتیک حرکت و توزیع فشار آب در حین حرکت شناگران بود.

روش‌شناسی پژوهش

این پژوهش با توجه به اهداف آن، تحقیقی کاربردی است. دستگاه‌های اصلی مورد استفاده در

این تحقیق که طراحی و ساخته شده قابل تقسیم ردر دو بخش است. بخش اول) سخت‌افزاری که خود شامل دو جزء است: الف) بخش کینماتیک حرکت (دستگاه کانوایر نگهدارنده و حرکت‌دهنده دوربین- تصویر) و ب) بخش کینماتیک (سیستم اندازه‌گیری و مانیتور نیرو و شتاب در قسمت‌های مختلف بدن به صورت بی‌سیم برای اندازه‌گیری توزیع فشار - تصویر). بخش دوم) نرم‌افزارها شامل الف) نرم‌افزار هوشمند تعقیب شناگر که با هدف پردازش تصاویر به دست آمده از دوربین طراحی شده است. این بخش از نرم‌افزار سرعت بخش مکانیکی، سیستم را طوری تنظیم می‌کند که سیستم همواره شناگر را تعقیب نماید و ب) نرم‌افزار پردازش اطلاعات به دست آمده از دوربین و ذخیره داده‌های مربوط به حرکت‌های کینماتیک شناگر. این نرم‌افزار اطلاعات را برای بررسی‌های آماری پردازش می‌کند.

کانوایر از سه قسمت کلی تشکیل شده است: ۱. فیکسچر نگهدارنده پایه دوربین، موتور گیربکس، نگهدارنده محافظ سیم و قرقره تسمه‌تایم است. ۲. رابط بین ریل اول و ریل سوم بوده که شامل نگهدارنده سیم جمع‌کن است. ۳. نگهدارنده قرقره تسمه‌تایم و فریم‌های نگهدارنده تسمه‌تایم (تصویر ۲ الف تا د).



تصویر ۲-ب. نمای قسمت میانی کانوایر
(ریل دوم)



تصویر ۲-الف. نمای قسمت آغازین کانوایر
(ریل اول)



تصویر ۲-د. تصویری از محل اتصال و قرارگیری
تسمه‌ها روی کانوایر



تصویر ۲-ج. نمای قسمت انتهایی کانوایر
(ریل سوم)

ب) بخش کینتیک: برای اندازه‌گیری توزیع فشار، به‌منظور آنالیز عمل‌کرد ورزشکاران شناگر در آب و تحلیل حرکت‌های ورزشی، سیستم الکترونیکی اندازه‌گیری شتاب مجهز به پنج عدد حسگر شتاب‌سنج سه‌محوره طراحی شد. سیستم به همراه باتری که تأمین‌کننده انرژی است در قسمت‌هایی نصب می‌شود که باید از نظر نیرو آنالیز شوند. سیستم الکترونیکی جمع‌آوری اطلاعات، داده‌های شتاب را از هر حسگر قرائت و آنها را به‌صورت بی‌سیم ارسال می‌کند. داده‌های ارسال شده، توسط سیستم گیرنده مخصوصی توسط کامپیوتر دریافت و توسط نرم‌افزاری ویژه که طراحی شده، روی کامپیوتر نشان داده و آنالیز می‌شوند (تصویر ۳ الف تا د).



د

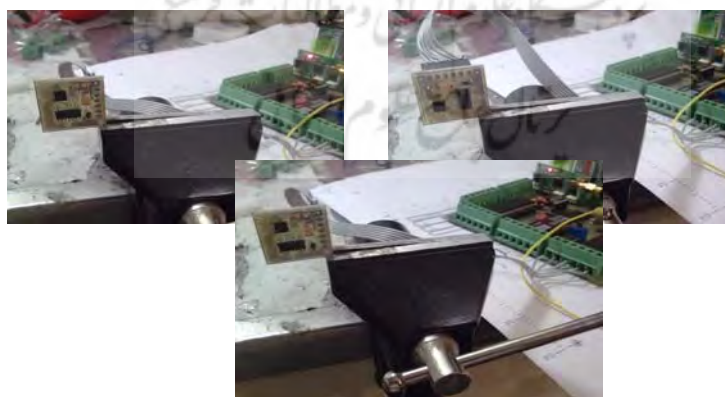
ج

ب

الف

تصویر ۳. نمای مقایسه‌ای از اندازه برد حسگر شتاب‌سنج از رو (الف) و پشت (ب)، نمایی از برد جمع‌آوری و ارسال داده (ج) و برد سیستم دریافت‌کننده داده‌های ارسالی و متصل به کامپیوتر (د)

برای کالیبره کردن، هر یک از محورهای حسگر در جهت و خلاف جاذبه زمین قرار گرفت و ولتاژهای خروجی در هر حالت ثبت و تحلیل شد. حالت‌های مختلف قرار گرفتن حسگر به‌منظور کالیبره شدن را در تصویر ۴ مشاهده می‌کنید.

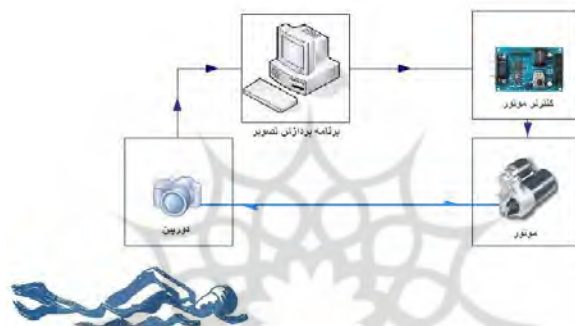


تصویر ۴. حالت‌های مختلف قرارگیری حسگرها برای کالیبره کردن در سه محور

شرح عملکرد سیستم جمع‌آوری داده‌ها: این بخش یک مدار مبدل آنالوگ به دیجیتال است که توانایی قرائت ۳۰ ورودی را دارد. مبدل مورد استفاده در این سیستم AD676 است که یک مبدل آنالوگ به دیجیتال 16BIT است. ۳۰ ورودی آنالوگ توسط آی‌سی‌های مالتی‌پلکسر به ورودی مبدل آنالوگ به دیجیتال متصل می‌شود و تبدیل آن انجام می‌شود. در هر سیکل عملکرد مدار، ابتدا ۳۰ ورودی مدار که به حسگرهای شتاب متصل است، جارو می‌شود و سپس، داده‌های اندازه‌گیری شده توسط یک فرستنده-گیرنده FSK ارسال می‌شود که در فرکانس 915MHz کار می‌کند.

بخش ۲) نرم افزاری: (ج) نرم افزار هوشمند تعقیب شناگر. صفحه‌ای متحرک که همراه شناگر حرکت کند و ضمن تعقیب شناگر، دو تصویر از کنار و جلوی شناگر تهیه و به‌صورت جداگانه ذخیره می‌کند. برای انجام این کار به سیستمی نیاز بود تا سرعت حرکت شناگر را اندازه‌گیری و سرعت خود را با آن هماهنگ کند. حسگری که حرکت شناگر را حس کند به‌عنوان فیدبک مدار حلقه بسته تعقیب در نظر گرفته شد. نرم‌افزار طراحی شده این قابلیت را دارد که تصاویر هر دو دوربین را دریافت می‌کند، مکان شناگر را می‌بیند، دستورات لازم برای تعقیب شناگر را صادر و هم‌زمان تصاویر تهیه شده از دوربین‌ها را ذخیره می‌کند. برای طراحی این نرم‌افزار از حسگرهای متعدد و متنوعی مانند حسگرهای آلتراسونیک (Sonar، حسگر IR)، حسگرهای لیزری و ... می‌توان استفاده کرد، اما سیستم بینایی ماشین دارای امتیازاتی است (هزینه پایین، بی‌نیازی از واسط سخت‌افزاری، بی‌نیازی از نگهداری، فناوری جدید) که آن را از حسگرهای دیگر متمایز می‌سازد. در این مطالعه از یک کارت گرافیک برای دریافت تصویر از دوربین استفاده شد. از این کارت به‌عنوان نوعی Frame Grabber استفاده شد. این نرم‌افزار با زبان Visual C++ نوشته شد. برای پردازش رشته داده‌های تصویری دریافت‌شده از Frame Grabber، از سیستم فیلتر گرافیک‌های 9.0c مشاهده‌گر مستقیم استفاده شد. مشاهده‌گر مستقیم بخشی از نرم‌افزار قدرت‌مند DirectX است که توسط کمپانی مایکروسافت منتشر شده و مدام (تقریباً در هر ماه) به‌روز می‌شود. مشاهده‌گر مستقیم این امکان را فراهم می‌کند که داده‌های تصویری را قبل از نمایش بر روی صفحه و در زمانی که حافظه تصویری قرار دارند، پردازش کند. این موضوع قابلیت‌های فراهم می‌کند تا تصاویر دریافتی را با سرعت بسیار بالا پردازش کرد. برای بخش پردازش تصویر این نرم‌افزار از متد قسمت رنگی استفاده شد. تصویر گرفته شده از سیستم RGB به سیستم HSV منتقل می‌شود تا تشخیص رنگ‌ها با خطای کمتری انجام شود. این نرم‌افزار شناگر را به‌واسطه رنگ بدن و اختلاف آن با رنگ پس‌زمینه (آب) تشخیص می‌دهد. این نرم‌افزار به‌گونه‌ای طراحی شده است که در تغییر شرایط نوری

محیط یا هر تغییر رنگی دیگر می‌توان آن را برای تعقیب رنگ جدید آموزش داد. این کار به راحتی فقط با یک کلیک روی رنگ مورد نظر انجام می‌شود. این نرم‌افزار با Enum کردن دستگاه‌های متصل به کامپیوتر، لیستی از منابع متصل به کامپیوتر را به کاربر نمایش می‌دهد که می‌توان از آن‌ها تصویر دریافت کرد تا کاربر به دلخواه یکی از آن‌ها را به‌عنوان ورودی انتخاب کند. در نهایت، این نرم‌افزار قادر است به‌صورت هم‌زمان تصاویر ورودی و خروجی (پردازش‌شده) را در فایل‌های جداگانه با قالب AVI ذخیره کند. بلوک دیاگرام سامانه تعقیب را در تصویر ۵ مشاهده می‌کنید.



تصویر ۵. بلوک دیاگرام سامانه تعقیب

د) بخش پردازش تصویر: برنامه پردازش تصویر هم‌زمان با کنترل سرعت سیستم مکانیک برای تعقیب، اطلاعات مربوط به حرکت و جابجایی دیگر نشانه‌های رنگی متصل بر روی مفاصل شناگر را تشخیص داده و این اطلاعات را هم‌زمان در فایل‌های مختلف ذخیره می‌کند تا پس از پایان حرکت، برای تحلیل حرکت از آن استفاده شود.

روش جمع‌آوری اطلاعات: ۱۰ شناگر جوان دانشجوی تربیت بدنی و علوم ورزشی که از نظر مهارتی در سطح نیمه‌مبتدی بودند به‌عنوان آزمودنی در این تحقیق شرکت کردند. حسگرها به ترتیب در کف دست (وسط استخوان‌های کف دست)، پشت دست (پشت استخوان‌های کف دست)، آرنج (قسمت میانی مفصل آرنج در حالت پرونیشن)، در قسمت خارجی ترقوه (نزدیک به مفصل شانه) با چسب‌های نواری دوطرفه به آزمودنی نصب شد. شناگران مسافت ۲۵ متری استخر (دانشگاه تربیت دبیر- شهید رجایی) با حداکثر سرعت سه بار شنا کردند. اطلاعات ویدیویی (کینماتیک) و توزیع فشار (کینتیک) با روش پردازش تصویر به‌صورت هم‌زمان جمع‌آوری شد. اطلاعات جمع‌آوری شده با قابلیت انتقال به نرم‌افزار اکسل، به‌منظور تجزیه و تحلیل بعدی اطلاعات ثبت شد.

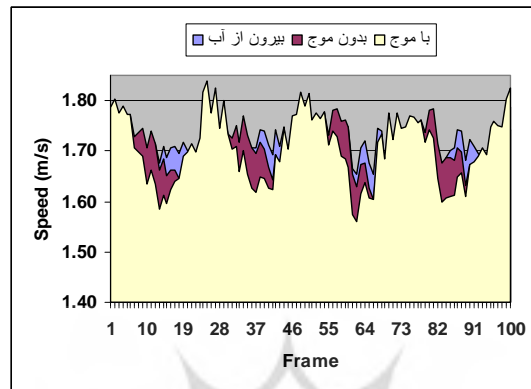
کانوایر حمل‌کننده دوربین در محدوده ۱۰ متری لبه طولی استخر قرار داده شد. حسگرها به نحوی به بدن آزمودنی متصل شد که خللی در حرکت شناگر ایجاد نمی‌کردند. شناگر از داخل آب از لبه استخر با حالت سر خوردن شروع به حرکت می‌کرد و در مسافت ۸ متری سرعت خود را به حداکثر می‌رساند. هنگام رسیدن شناگر به محدوده ریل و موتور، ربات سرعت خود را از طریق سیستم کنترلی با سرعت شناگر هماهنگ و با سرعت شناگر شروع به حرکت می‌کرد. در این هنگام حسگرها نیز بر اساس برنامه شروع به ثبت اطلاعات می‌کردند. تمام اطلاعات در زمان شنا کردن شناگر در محدوده ۱۰ متری ریل دریافت و ثبت می‌شد. از شناگران خواستیم تا بعد از مسیر ۱۰ متری ریل تا فاصله ۵ متری از محدوده ریل به شنا کردن ادامه دهند.

بعد از جمع‌آوری اطلاعات، از فیلترهای دورانداز برای حذف داده‌های با خطای بالا و خارج از خط رگرسیون استفاده شد. سپس داده‌های کینماتیک شناگر که در فایل‌های اکسل ذخیره شده بود به صورت نمودار و شبیه‌سازی گرافیکی بررسی شد که با تئوری حرکت شناگر و شکل کلی حرکت ناهماهنگ نبود. از شاخص‌های گرایش به مرکز، پراکندگی و رسم نمودارها برای توصیف اطلاعات و از روش‌های روایی و پایایی سنجی (آزمون و آزمون مجدد) برای آزمون فرضیه‌ها استفاده شد. برای سنجش روایی کانوایر، اندازه‌گیری سرعت حرکت ریل‌ها با دوربین و غیردوربین، در آب و بیرون آب، با موج و بدون موج انجام شد. به علاوه، با وسیله دیگری که با سرعت ثابت در حال حرکت است پایایی سنجی کانوایر، آزمون و آزمون مجدد در آب و بیرون آب، با موج و بدون موج انجام شد. برای تعیین روایی حسگرهای شتاب‌سنج نتایج را با مقدار ثابت ۹/۸ متر بر مجذور ثانیه (شتاب جاذبه زمین) در هر سه محور مقایسه شد و در بررسی پایایی و ثبات هماهنگی، آزمون و آزمون مجدد مورد ارزیابی قرار گرفت.

یافته‌های پژوهش

برای سنجش روایی کانوایر، اندازه‌گیری سرعت حرکت ریل‌ها با دوربین و غیردوربین، در آب و بیرون آب، با موج و بدون موج با وسیله دیگری انجام شد که با سرعت ثابت در حال حرکت است. نتایج نشان داد که سرعت اندازه‌گیری شده توسط دستگاه، اختلاف قابل قبولی با سرعت جسم متحرک ندارد و دستگاه با خطای قابل چشم‌پوشی قادر به تعقیب جسم متحرک است. برای پایایی سنجی کانوایر از روش آزمون و آزمون مجدد حرکت ورزشکار در آب و بیرون آب، با موج و بدون موج انجام شد. نتایج به دست آمده در تصویر ۶ نشان داده شده است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود اعداد به دست آمده از دستگاه بسیار نزدیک به سرعت واقعی آزمودنی یعنی ۱/۷ متر بر ثانیه است. نتایج، همبستگی بالایی نشان داد که ماکزیمم خطا در حالت بیرون از

آب ۰/۰۴۸ متر بر ثانیه، درون آب بدون موج ۰/۰۹۶ متر بر ثانیه و درون آب با موج ۰/۱۴۸ متر بر ثانیه می‌باشد.



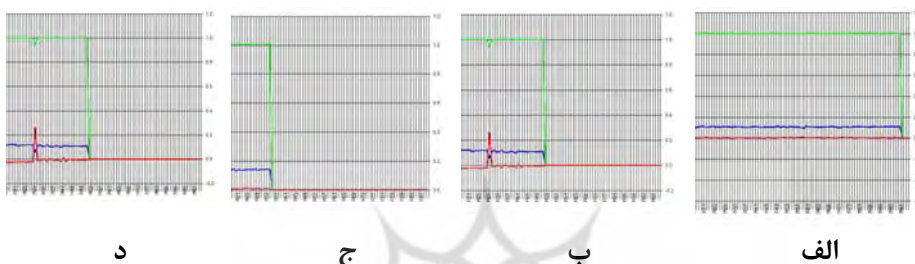
تصویر ۶. سرعت حرکت ریل‌ها با دوربین و غیردوربین، در آب و بیرون آب، با موج و بدون موج

جدول ۱ نتایج آماری مقایسه سرعت حرکت دوربین در سه وضعیت دوربین بیرون آب با درون آب با موج، بیرون آب با درون آب بدون موج، و درون آب بدون موج با موج را نشان می‌دهد. میانگین سرعت دوربین در وضعیت بیرون آب با درون آب با موج یکسان است. تفاوت یک‌صدمی در میانگین سرعت حرکت دوربین با شرایط موج آب مشاهده می‌شود. انحراف استاندارد بین بیرون آب با درون آب بدون موج نیز یک‌صدم است، ولی به نسبت شرایط درون آب با موج، با بیرون آب ۰/۴۳ و با بدون موج ۰/۰۳ است. نتایج بیان‌گر معنی‌دار نبودن تفاوت سرعت حرکت کانوایر با دوربین در موقعیت‌های مختلف است. این یافته به آن معناست که کانوایر حمل‌کننده دوربین در وضعیت‌های مختلف عمل‌کردی نسبتاً یکسان دارد.

جدول ۱. مقایسه آماری بررسی وضعیت‌های مختلف (سرعت متر بر ثانیه) حرکت دوربین ($p < 0/05$)

وضعیت	میانگین	انحراف استاندارد	تعداد فریم	تفاوت	ارزش تی	ارزش الفا
بیرون از آب	۱/۷۰	۳/۰۳	۱۰۰/۰۰	۰/۰۴	-۰/۳۲	۰/۷۴۷
بدون موج	۱/۷۰	۰/۰۴				
بیرون از آب	۱/۷۰	۰/۰۳	۱۰۰/۰۰	۰/۰۷	-۰/۵۲	۰/۶۰۲
با موج	۱/۷۱	۰/۰۷				
بدون موج	۱/۷۰	۰/۰۴	۱۰۰/۰۰	۰/۰۶	-۰/۴۲	۰/۶۷۳
با موج	۱/۷۱	۰/۰۷				

در تعیین روایی حسگرهای شتاب‌سنج، مقایسه نتایج با مقدار ثابت $9/8$ متر بر مجذور ثانیه (شتاب جاذبه زمین) در هر سه محور مؤید روایی دستگاه ساخته شده بود تصویر ۷ الف-د). همان‌گونه که مشاهده می‌شود با قرارگیری حسگر در محور مختصات مختلف به صورت عمودی، در همه موارد عدد کسب شده با میزان شتاب جاذبه زمین هم‌خوانی دارد که این موضوع تأییدی برای روایی دستگاه طراحی شده است.



تصویر ۷. روایی سنجی حسگرها در محورهای مختلف

بحث

هدف از انجام تحقیق حاضر، طراحی و ساخت دستگاه اندازه‌گیری کینماتیکی و کنتیکی فشار وارد بر اندامها در زمان حرکت شناگران و روایی و پایایی سنجی دستگاه مذکور بود. نیروی جلوبرنده در شنای کرال سینه بیشتر توسط دست تولید می‌شود که برای اندازه‌گیری این نیرو چندین روش متفاوت وجود دارد. یکی از روش‌های رایج برای اندازه‌گیری نیرو که در آن از فیلم‌برداری و فرمول استفاده می‌شود به نام آنالیز حرکت در مسیر خاص شناخته می‌شود. در این روش، جریان آب اطراف اندام فوقانی یکنواخت و جهت و سرعت حرکت آب اطراف اندام فوقانی در طول یک ضربه دست، ثابت در نظر گرفته می‌شود (۲). در آنالیز حرکت در مسیر خاص، شناگر در یک کانال جریان آب شنا می‌کند که آب با سرعت و زاویه ثابت در حال حرکت است (۱). این فرض ثابت بودن سرعت و جهت جریان آب در شنا با توجه به اینکه اندام فوقانی از مفصل شانه دارای حرکت چرخشی می‌باشد به نظر تحت شرایط واقعی شنا در استخر صحیح نمی‌باشد. از طرفی، مقایسه نیروی جلوبرنده محاسبه شده توسط سیستم MAD و روش آنالیز حرکت در مسیر خاص، وجود تفاوت‌های ۱۷ و ۶۰ درصدی بین مقادیر دو روش را نشان داد (۵، ۶). این امر می‌تواند درست بودن مفروضات روش آنالیز حرکت در مسیر خاص را مورد تردید قرار دهد. چون در سیستم MAD نیروی جلوبرنده به صورت مستقیم اندازه‌گیری می‌شود

به نظر می‌رسد که این روش قابل اعتماد و صحیح بوده، اختلاف مقادیر به علت درست نبودن روش محاسبه با فرمول باشد.

در تحقیق حاضر، طراحی و ساخت دستگاهی مورد نظر قرار گرفت تا اطلاعات تغییرات موقعیت (حرکت) شناگران در دو صفحه ساجیتال و فرونتال مورد اندازه‌گیری قرار گیرد. ضمن اینکه هم‌زمان با اندازه‌گیری تغییرات موقعیت، توزیع فشار وارد بر اندام‌ها محاسبه شود. روایی و پایایی دستگاه طراحی شده نیز هدف دیگر این تحقیق بود. با توجه به ایده اولیه در خصوص ساخت دستگاه، طراحی اولیه انجام و بر اساس آن دستگاه ساخته شد. جزئیات طراحی و ساخت دستگاه اندازه‌گیری تغییر موقعیت در دو صفحه آناتومیکی ساجیتال و فرونتال در بخش روش‌شناسی به تفصیل بیان شد. در آن بخش گزارش شد که برای تعیین هم‌زمان با تعیین میزان فشار وارد بر اندام فوقانی در طول حرکت شناگر و نرم‌افزار مربوط برای پردازش و محاسبه اطلاعات جمع‌آوری شده، دستگاه‌های اصلی ساخته شده به دو بخش تقسیم شدند: اول) سخت‌افزاری که خود شامل دو جزء است. الف) بخش کینماتیک حرکت (دستگاه کانوایر نگهدارنده و حرکت‌دهنده دوربین)، ب) کینتیک (سیستم اندازه‌گیری و مانیتور نیرو و شتاب در قسمت‌های مختلف بدن به صورت بی‌سیم برای اندازه‌گیری توزیع فشار) و دوم) نرم‌افزاری که شامل ج) نرم‌افزار هوشمند تعقیب شناگر است که با هدف پردازش تصاویر به دست آمده از دوربین طراحی شد. این بخش از نرم‌افزار سرعت بخش مکانیکی، سیستم را طوری تنظیم می‌کند که سیستم همواره شناگر را تعقیب نماید و د) نرم‌افزار پردازش اطلاعات به دست آمده از دوربین و ذخیره داده‌های مربوط به حرکت‌های کینماتیک شناگر و آماده‌سازی آنها در فایل‌های مختلف برای آنالیز حرکت شناگر.

برای سنجش روایی کانوایر اندازه‌گیری سرعت حرکت ریل‌ها با دوربین و غیردوربین، در آب و بیرون آب، با موج و بدون موج با وسیله دیگری انجام شد که با سرعت ثابت در حال حرکت بود. نتایج نشان داد که سرعت اندازه‌گیری شده توسط دستگاه، اختلافی قابل قبول با سرعت جسم متحرک ندارد و دستگاه با خطای قابل چشم‌پوشی قادر به تعقیب جسم متحرک است. نتایج آزمون‌های انجام شده از عمل کرد دستگاه کانوایر (حمل‌کننده دوربین) که با مقایسه اندازه‌گیری سرعت حرکت کانوایر با کروномتر (اعتبار اندازه‌گیری) و در سه وضعیت قرارگیری در خشکی، در آب با موج و بدون موج، بیان‌گر بالا بودن اعتبار نتایج بود. اعداد به دست آمده از دستگاه بسیار نزدیک به سرعت واقعی آزمودنی یعنی $1/7$ متر بر ثانیه است. نتایج همبستگی بالایی نشان داد که ماکزیمم خطا در حالت بیرون از آب $0/048$ متر بر ثانیه، درون آب بدون موج $0/096$ متر بر ثانیه و درون آب با موج $0/148$ متر بر ثانیه می‌باشد.

برای پایایی سنجی کانوایر از روش آزمون و آزمون مجدد حرکت ورزشکار در آب و بیرون آب، با موج و بدون موج استفاده شد. پایایی نتایج در هر سه وضعیت با روش آزمون و آزمون مجدد نیز بالا بودن پایایی نتایج را تأیید نمود. نتایج اعتباریابی حسگرهای شتابسنج نیز با روش مقایسه اندازه‌های جمع‌آوری شده در شرایط قرارگیری مختلف حسگر در محور مختصات مختلف به صورت عمودی، با مقدار ثابت عددی شتاب جاذبه زمین (۹/۸ متر بر مجذور ثانیه) در هر سه محور، مؤید اعتبار دستگاه ساخته شده برای اندازه‌گیری شتاب بود.

نتایج تحقیق امکان‌پذیری اندازه‌گیری هم‌زمان کینماتیک (حرکت شناگر) و کینتیک (توزیع فشار در حین حرکت شناگر) را تأیید می‌کند و از پایایی و اعتبار مناسبی برخوردار است. با توجه به پتانسیل دستگاه طراحی شده برای اندازه‌گیری هم‌زمان اطلاعات کینماتیک و کینتیک حرکت شناگران، امید است بررسی عوامل مؤثر و مکانیزم عمل نیروهای جلوبرنده و مقاومت آب در زمان اجرای حرکت شناگران در دستور کار مربیان و تیم‌های ورزشی قرار گیرد. پیشنهاد می‌شود از دستگاه ساخته شده برای اندازه‌گیری هم‌زمان اطلاعات کینماتیکی و کینتیکی شناگران با هدف ارائه آموزش اصولی و مؤثر، اصلاح خطاها و تکنیک‌های شناگران، در برنامه‌های تمرینات تیم‌ها به‌ویژه برای ورزشکاران در سطح قهرمانی استفاده شود.

منابع:

1. Toussaint H, Traignes M. (2005). Biomechanical aspects of performance in human swimming. *Animal Biology*. 55(1):17-40.
2. Toussaint H, Van der Berg, Beek WG. (2002). Pumped-up propulsion during front crawl swimming. *Med Sci Sports Exerc*. 34(2): 314-319.
3. Schleihauf, R.E.(1979). A hydrodynamic analysis of swimming propulsion. In: *Swimming III*, J. Terauds and E.W. Bedingfield (Eds.). Baltimore: University Park Press: 70-109.
4. Schleihauf, R.E., Higgins, J.R. Hinrichs, R., et al(1988). Propulsive techniques: front crawl stroke, butterfly, backstroke, and breaststroke. In: *Swimming Science V*, B. E. Ungerechts, K. Wilke, and K. Reischle (Eds.). Champaign, IL: Human Kinetics: 53-59.
5. Berger, M.A.M., Hollander, A.P., and DE Groot, G.. (1999). Determining propulsive force in front crawl swimming: a comparison of two methods. *J Sports Sci*. 17:97-105.
6. Van der Meer, S., de Nite, M. (2003). New propulsion mechanism in swimming. *Human Movement science*, PP.15. Amsterdam, The Netherlands: Free University.

۷. تندنویس، فریدون، "حرکت‌شناسی"، انتشارات دانشگاه تربیت معلم تهران، چاپ ششم، ۱۳۷۹.
۸. هدایت، پرویز، "شنا"، تهران، چاپ اول، ۱۳۶۱.
۹. نمازی زاده، مهدی، "بیومکانیک فنون ورزشی"، انتشارات دانشگاه تهران، چاپ چهارم، ۱۳۸۰.
10. Toussaint, H.M., Beek, P.J. (1992). Biomechanics of competitive front crawl swimming. *Sports Med.*, 13: 8-24.
11. Ellington, C.P. (1995). Unsteady aerodynamics of insect flight. In: *Biological Fluid Dynamics*, C. P. Ellington and T.J. Pedley (Eds.). Cambridge: Society for Experimental Biology : 626–630.
۱۲. صادقی، حیدر، "مقدمات بیومکانیک ورزشی"، انتشارات سمت، چاپ اول، ۱۳۸۴.
13. Sprigings, E.J., Kohler, J.A. (1994). The choice between Bernoulli's or Newton's model in predicting dynamic lift. *International J Sport Biomech*, 6: 235-245.
14. Rackam, G.W. (1975). An analysis of arm propulsion in swimming. In: J.P. Clarys & L. Lewillie (Eds), *Swimming II*, 174-179. Baltimore, USA: University Park Press.
15. Alexander, R.M. (1977). Swimming. In: R.M. Alexander & G. Goldspink (Eds.), *Mechanics and Energetics of Animal Locomotion*; 222-249. London: Chapman & Hall.
16. Berger, M.A.M., Holander, A. P., De Groot, G. (1997). Technique and energy losses in front crawl swimming. *Med Sci Sports Exerc.* 29:1491–1498.
17. Toussaint, H.M., Beelen, A., Rodenburg, A., et al. (1988). Propelling efficiency of front crawl swimming. *J Appl Physiol.* 65:2506–2512.
18. Toussaint, H.M., Janssen, T., Kluft, M. (1991). Effect of propelling surface size on the mechanics and energetics of front crawl swimming. *J Biomech.* 24: 205-211.
19. Schleihau, R.E. (1979). A hydrodynamic analysis of swimming propulsion. In: *Swimming III*, J. Terauds and E. W. Bedingfield (Eds.). Baltimore: University Park Press: 70–109.
20. Schleihau, R.E. (1986). Swimming skill: A review of basic theory. *J Swim Res.* 2;11-20.
۲۱. حضرتی‌وند، علی، "رابطه میان ویژگی‌های آنتوو پومتریکی شناگران زنده با زمانی شنای ۱۰۰ متر"، ۱۳۷۵، پایان نامه کارشناسی ارشد.

۲۲. لطف‌آبادی فاطمه، "رابطه میان ویژگی‌های آنترپومتریکی و درصد چربی بدن با یادگیری شنای کرال سینه و کرال پشت (رکورد نهایی) دانشجویان دختر رشته تربیت‌بدنی"، ۱۳۸۰، پایان‌نامه کارشناسی ارشد.

۲۳. احدیانی، فرشته، "رابطه میان ویژگی‌های آنترپومتریکی با زمان ۱۰۰ متر چهار شنای رقابتی دختران شناگر زبده ایرانی"، ۱۳۷۹، پایان‌نامه کارشناسی ارشد.

۲۴. زحمتکش، محمدرضا، "رابطه بین ویژگی‌های آنترپومتریکی با برخی از متغیرهای کینماتیکی مهارت‌های چهارگانه شنای شناگران مرد لیک برتر کشور"، ۱۳۸۵، پایان‌نامه کارشناسی ارشد.

۲۵. شهبازی مقدم، مرتضی صباغیان راد، صفورا، "اثر اندازه‌های آنترپومتریکی بر نیروی مقاوم آب در شنای پروانه"، مجله حرکت، شماره ۲۴، ص ۲۴-۵، ۱۳۸۴.

26. Shahbazi-Moghaddam M., Sanders., R.H. (2002). "Kinematical approaches for Hydrodynamic force assessments". Pakistan J ppl Sci.

۲۷. صباغیان راد، صفورا، "رابطه نیروی بیش‌برنده در شنای پروانه با برخی از اندازه‌های آنترپومتریکی شناگران زن باشگاهی تهران"، ۱۳۸۳، پایان‌نامه کارشناسی ارشد.

28. Councilman, J., Wasilak, J. (1982). The importance of hand speed and hand acceleration. In ousley. R.M. (ed) ASCA world clinch yearbook. Fort lauderate. Florida: 41-55.

29. Schleihauf , R.E. (1984). The biomechanical analysis of swimming propulsion. In J. Terauds and E.W. Bedingfield (Eds). Swimming III: 70-109. Baltimore, Mryland: University Park Press.

30. William, C.M., Troup, J.P. (2001). Competetiv Swimming Biomechanics: Freestyle. Int Sport Med J. 2(6):1-8. International Federation of Sports Medicine.

31. Toussaint, H.M. (1990). Differences in propelling efficiency between competitive and triathlon swimmers. Med Sci Sport Exerc. 22: 409-415.

32. Toussaint H, Roos PE, Kolomogorove S. (2004). The determination of drag during front crawl swimming. J.Biomech. 137(2): 1655-1663.

۳۳. سرمد، زهره و هم‌کاران، "روش‌های تحقیق در علوم رفتاری"، نشر آگه، چاپ نهم، ۱۳۸۳.