

:

حیدر صادقی*، حمید رضا امینی**، حسن خلجی***

* دانشیار دانشکده تربیت بدنی و علوم ورزشی دانشگاه تربیت معلم تهران
 ** کارشناس ارشد تربیت بدنی و علوم ورزشی، دانشگاه پیام نور اراک، شعبه شاه زند
 *** استادیار گروه تربیت بدنی و علوم ورزشی دانشگاه اراک

تاریخ دریافت مقاله: ۸۶/۷ تاریخ پذیرش مقاله: ۸۶/۱۱

موفقیت در اجرای مهارت‌های شنا علاوه بر داشتن ویژگی‌های مناسب بدنی مستلزم آگاهی از عوامل بیومکانیکی اثرگذاری چون نیروی جلوبرنده، نیروی مقاوم و کارایی نیروی جلوبرنده می‌باشد (۱). هدف از انجام این تحقیق بررسی اثر حرکت چرخشی اندام فوقانی بر رفتار دینامیکی آب (جهت جریان و سرعت) در شنای کرال سینه بود. سه شناگر نخبه جوان به عنوان آزمودنی در این تحقیق شرکت نمودند. دو دوربین که با سرعت آزمودنی حرکت می‌کردند حرکت رشته‌های متصل به ساعد و دست شناگران را ثبت کرده، و جهت حرکت رشته‌ها جهت جریان آب را نشان داد. فشار وارده به قسمت‌های مختلف اندام با سنسور FSR^۱ اندازه‌گیری شد. با استفاده از روش پلنومیال مرتبه سوم در نرم افزار excel اطلاعات مربوط به فشار فیلتر شد. نتایج نشان داد که حرکت چرخشی اندام فوقانی، در انتهای مرحله حرکت به داخل و مرحله حرکت به خارج باعث ایجاد شیب فشار در طول اندام شده که جهت آن از سمت شانه به سمت دست بود. شیب فشاری موجود، جریان محوری در طول اندام فوقانی را موجب شد که جهت آن از شانه به طرف دست بود. ایجاد جریان محوری بر اساس قانون برنولی می‌باشد. با توجه به قانون برنولی شیب فشار برعکس سرعت حرکت می‌باشد و با عنایت به اینکه در اندام فوقانی شناگران سرعت حرکت دست از شانه بیشتر است، جایی که سرعت حرکت بیشتر است فشار کمتر بوده و جایی که سرعت حرکت کمتر است فشار بیشتر است. نتایج تحقیق حاضر نشان داد باند ورتکس در بین آزمودنی‌ها وجود ندارد و سرعت و جهت جریان در طول حرکت اندام فوقانی در آب ثابت نمی‌باشد. نتایج حاصل از این تحقیق فرض اندازه‌گیری نیروی جلو برنده با روش آنالیز حرکت در مسیر خاص را مورد تردید قرار داد.

واژه‌های کلیدی: رفتار دینامیکی آب، جریان محوری، حرکت چرخشی اندام فوقانی، شنای کرال سینه، شیب فشار.

موفقیت در اجرای مهارت‌های شنا علاوه بر داشتن ویژگی‌های مناسب بدنی مستلزم آگاهی از عوامل بیومکانیکی اثرگذاری چون نیروی جلوبرنده، نیروی مقاوم و کارایی نیروی جلوبرنده می‌باشد (۱). از بین عوامل مذکور، نیروی جلوبرنده که در اثر حرکت دست و توسط دو نیروی بالا برنده^۱، که عمود بر جهت حرکت بر جسم سیال وارد می‌شود، و نیروی کشش^۲، که مخالف جهت حرکت جسم بر آن وارد می‌شود (۲)، تولید می‌شود، از تعیین کننده ترین پارامترها در بررسی کیفیت عملکرد شناگران در شنای رقابتی محسوب می‌شود.

اندازه‌گیری و تعیین مشخصات و عوامل موثر در نیروی جلوبرنده که به عنوان یکی از پارامترهای اصلی در اجرای بهینه تکنیک‌های مختلف شنا شناخته می‌شود، از موضوعات مورد توجه محققان علوم ورزشی است. پژوهشگران از روش‌های متفاوتی برای اندازه‌گیری و بررسی نیروی جلوبرنده در شنا استفاده کرده‌اند. شهبازی مقدم و همکاران (۳) برای بررسی اثر اندازه‌های آنتروپومتریک بر نیروی مقاوم آب در شنای پروانه از روش غیر مستقیم اندازه‌گیری نیروی مقاوم (IMAD)^۳ استفاده کردند. ابزار اندازه‌گیری در این روش شامل یک متر نواری، یک کرنومتر با دقت صدم ثانیه و فرمول‌های پیشنهادی شهبازی مقدم و سنדרز می‌باشد. در این پژوهش، آزمودنی‌ها پس از آن که با کمک فرد دیگری بر روی آب طوری شناور می‌شدند که نوک انگشتان دستشان پشت خط شروع قرارگیرد و با صدای سوت، مسیر ۱۰ متری را با حداکثر سرعت شنا و بعد از آن بر روی آب سر می‌خوردند تا به حالت سکون برسند. با ثبت زمان و استفاده از فرمولهای ذیل،

$$C_2 = M / X$$

$$V_L = 0.5[C_1 / C_2 + \sqrt{(C_1 / C_2)^2 + (4Mv / tC_2)}]$$

$$F_P = C_1 V_L + C_2 V_L^2$$

که در آن M (جرم شناگر)، V (سرعت شناگر)، X (مسافت سر خوردن)، C_۱ (ضریب مقاومت (۱)، C_۲ (ضریب مقاومت (۲)، V_L (سرعت حدی)، F_P (نیروی جلوبرنده)، نیروی مقاوم شناگران شرکت کننده در تحقیق را محاسبه نمودند. توساینن و همکاران (۴)، نیروی مقاوم فعال را در شش شناگر نخبه با اندازه‌گیری نیروی فشار^۴ دست به صورت مستقیم با استفاده از سیستم اندازه‌گیری نیروی مقاوم فعال (MAD)^۵ و روش اختلالی سرعت (VPM)^۶ که در آن نیروی مقاوم بر اساس تفاوت سرعت شناگر طی دو مرحله شنا کردن با حداکثر تلاش محاسبه می‌شد (با فرض یکسان بودن توان خروجی و فرض رابطه‌ی مجذور نیروی مقاوم - سرعت) اندازه‌گیری و مورد مقایسه قرار دادند. آزمودنی‌ها، یک بار به صورت آزاد و یک بار توسط وسیله هیدرو دینامیکی متصل شده به بدن که نیروی مقاوم اضافی شناخته شده‌ای را تولید می‌کند، شنا می‌کردند. محاسبه نیروی جلوبرنده با روش آنالیز حرکت در مسیر خاص (روش فیلمبرداری و استفاده از فرمول) برای اولین بار توسط شلی هوف (۱۹۷۹) مورد استفاده قرار گرفت.

۱. lift

۲. drag

۳. Indirect Measurement of Active Drag (IMAD)

۴. Push-off

۵. Measurement of Active Drag (MAD)

۶. Velocity Perturbation Method

شلی هوف^۱ ویژگی‌های دست شناگر را به عنوان یک هیدروفویل^۲ در کانال جریان آب^۳، تحت شرایطی که زاویه حمل^۴ و سرعت جریان ثابت بود مورد بررسی قرار داد (۵) و از فرمولهای زیر را به ترتیب برای محاسبه نیروهای بالابر و کشش که برای حرکت هر فویلی در جسم سیال وجود دارد، استفاده و نیروی جلوبرنده را تعیین نمود.

$$L = 1/2 \cdot \rho \cdot U^2 \cdot C_L \cdot S$$

$$D = 1/2 \cdot \rho \cdot U^2 \cdot C_D \cdot S$$

که 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) می باشند. شلی هوف در کار خود مقادیر C_L و C_D را با به دست آوردن سرعت حرکت دست و آب به ترتیب حداکثر ۱ و ۱/۲ محاسبه نمود و بر اساس نتایج بدست آمده مدعی شد که با داشتن ضرایب ثابت مذکور و اطلاعات سرعت دست شناگر می توان از طریق فرمولها نیروی جلوبرنده را محاسبه کرد (۶ و ۷).

مقایسه ی مقادیر نیروی جلوبرنده ی اندازه گیری شده توسط دو روش MAD و آنالیز حرکت در مسیر خاص^۵ و نیز در نظر گرفتن برخی ملاحظات نظری برای روش آنالیز حرکت در مسیر خاص، مفروضات محاسبه نیروی جلوبرنده با این روش را مورد تردید قرار می دهد. برگر^۶ و همکاران (۱۹۹۹) در مقایسه ی روشهای اندازه گیری، مقدار نیروی جلوبرنده ی اندازه گیری شده بوسیله ی سیستم اندازه گیری نیروی مقاوم فعال (MAD) را ۱۷٪ بیشتر از روش آنالیز حرکت در مسیر خاص بدست آوردند (۸). چند سال بعد ون در میر و نایت^۷ (۲۰۰۳) نیروی جلوبرنده محاسبه شده توسط فرمولها در کانال یعنی به صورت آنالیز حرکت در مسیر خاص را با مقادیر اندازه گیری شده توسط سیستم MAD مقایسه و گزارش نمودند که مقادیر بدست آمده بوسیله آنالیز حرکت در مسیر خاص به طور قابل توجهی (۶۰٪) کمتر از نیروهای جلوبرنده اندازه گیری شده بوسیله سیستم MAD می باشد (۹). با توجه به اینکه در روش اندازه گیری نیروی مقاوم فعال توسط سیستم MAD، نیروی شناگر به صورت مستقیم اندازه گیری می شود، به نظر می رسد اختلافهای نیروی جلوبرنده ی محاسبه شده با روش در مطالعات ذکر شده ناشی از روش آنالیز حرکت در مسیر خاص باشد. از طرفی در روش آنالیز حرکت در مسیر خاص سرعت و جهت جریان آب ثابت در نظر گرفته می شود، در حالی که بررسی حرکت دست در زیر آب مشخص کرده که حرکت دست بیشتر چرخشی است تا انتقالی (۱۰، ۱۱، ۱۳). از آنجایی که ترکیب حرکات چرخشی و انتقالی دست باعث ناپایداری در سرعت و جهت جریان آب می شود (۱)، بنابر این باید در محاسبه نیروی جلوبرنده اثرات این بی ثباتی در سرعت و جهت حرکت مورد توجه قرار گیرد که به نظر می رسد بررسی جریان آب اطراف دست به این مسأله کمک نماید. جریان اطراف دست (یا هر هیدروفویل دیگر) به دو جزء جریان چرخشی اطراف دست با سرعت v و جریان عبوری اطراف دست با سرعت u تجزیه می شود که به آن جریان چرخشی، جریان گردابی محدود^۸ می گویند (۱). طبق اثر ونگر^۹ وقتی که هیدروفویل به صورت آبی افزایش

۱. Schleichauf
 ۲. Hydrofoil
 ۳. Flow Channel
 ۴. Angle of attack
 ۵. Quasi-steady analysis
 ۶. Berger
 ۷. Van der Meer & Nite
 ۸. Bound vortex
 ۹. Wanger effect

سرعت می‌یابد، جریان گردابی محدود برای رسیدن به مقدار حداکثر آن در سرعت یکنواخت قبلی نیاز به زمان دارد. این جریان اطراف هیدروفویل مسنول تولید نیروی بالابر می‌باشد و با هر تغییر سرعت و جهت حرکت هیدروفویل تقریباً بعد از طی مسافتی برابر $0/6$ متر به مقدار 90 درصد قدرت خود در مرحله با ثبات حرکتی می‌رسد (۱، ۱۲). با توجه به اینکه دست در زیر آب دائم در حال تغییر مسیر و سرعت حرکت می‌باشد و این مساله باعث کاهش نیروی بالابر می‌شود و در نهایت نیروی جلوبرنده کاهش می‌یابد، احتمالاً باید مکانیزم ناشناخته‌ای مسنول تولید نیروی جلوبرنده در شنای کرال سینه باشد. در زمینه شناسایی این مکانیزم توسایننت^۱، ون دن برگ^۲ و ویروجی، بیك^۳ (۲۰۰۲) مطالعه‌ای انجام داده‌اند و جریان اطراف اندام فوقانی را به صورت جریان محوری^۴ (جریانی به موازات محور طولی اندام فوقانی) توصیف کرده‌اند (۱). آنها این جریان محوری را مسنول وجود مکانیزم متفاوت در تولید نیروی جلوبرنده در شنای کرال سینه معرفی کرده‌اند. عمده چالش ما در این تحقیق، شناسایی بیشتر جریان آب اطراف اندام فوقانی و اثر چرخش اندام فوقانی بر این جریان در شنای کرال سینه بود.

سه شناگر نخبه مرد جوان به عنوان آزمودنی در این تحقیق شرکت نمودند. برای مشاهده ی چگونگی جریان آب، بر اساس پروتکل توسایننت و همکاران (۲۰۰۲) رشته‌های پشمی به رنگ مشکی (برای وضوح بیشتر در آب) به طول هشت سانتیمتر را به اندام فوقانی شناگر (ده رشته در بالای آرنج، ده رشته وسط ساعد، هشت رشته مچ دست و شش رشته پشت دست و به هر یک از انگشتان میانی، شصت و کوچک یک رشته واحد) متصل شد. برای چسباندن رشته‌ها از چسب پانسمان پارچه‌ای با مارک مهکو نووا^۵ استفاده شد. برای دیدن حرکت رشته‌ها از دوربین HPK-804BA که بوسیله دو بازو یک عدد در جلو و یک عدد در کنار شناگر حرکت می‌کردند، استفاده شد. بازو‌های نگه‌دارنده دوربین‌ها به یک موتور AC کوچک متصل بود که در بیرون از آب بر روی ریلی که برای مسیر ده متری ساخته شده بود، حرکت می‌کرد. برای اندازه‌گیری فشار وارده به قسمت‌های مختلف اندام فوقانی از سنسورهای تعدیل‌شده فشاری از نوع FSR^۱ که قادر به اندازه‌گیری فشار بین 3000 - تا 10000 + هزار پاسکال بودند، استفاده گردید. سنسورها در امتداد انتهای تحتانی عضله دالی، جانب خارجی مفصل آرنج، پشت دست و کف دست متصل شدند.

برای جمع‌آوری اطلاعات از شناگران خواسته شد در دو سرعت $1/1 \text{ m.s}^{-1}$ و $1/7 \text{ m.s}^{-1}$ و در هر سرعت سه بار در مسیر مستقیم به موازات مسیری که ریلی که دوربین‌ها روی آن تعبیه شده بود، شنا کنند. برای جمع‌آوری اطلاعات مربوط به چگونگی جریان آب و همچنین فشار وارده بر قسمت‌های مختلف اندام فوقانی، ابزارهای اندازه‌گیری در محدوده‌ی ده متری لبه‌ی عرضی استخر قرار داده شدند. ریل از فاصله‌ی هشت متری لبه‌ی طولی استخر آغاز می‌شد و به

۱. Toussaint
۲. Van Den Berg
۳. Wiero J. Beek
۴. Axial Flow
۵. Meheco Nova

۶. Force Sensing Resistor

موازات لبه ی عرضی در محدوده ی ده متری قرار می گرفت. اطلاعات سنسورها توسط رسیوری که به شناگر متصل بود، ذخیره می شد.

اطلاعات فشار ثبت و با استفاده از نرم افزار excel و بهره گیری از مدل پلی نومیال درجه سوم فیلتر و برای تجزیه و تحلیل بعدی مورد استفاده قرار گرفت. از آزمون آماری t، وابسته جهت مقایسه میانگین فشارهای وارده به قسمتهای مختلف اندام فوقانی در دو سرعت بالا و پایین استفاده شد.

نتایج

مقایسه فشارهای ثبت شده در یک آزمودنی دو سرعت $1/1 \text{ m.s}^{-1}$ و $1/7 \text{ m.s}^{-1}$ در جدول نشان داده شده است. تنها در مرحله سر خوردن اندام فوقانی در آب در قسمت شانه ($\text{sig} = 0/002$)، ($p < 0/05$)، و پشت دست ($\text{sig} = 0/010$, $p < 0/05$)، و در مرحله حرکت به خارج در قسمتهای شانه ($\text{sig} = 0/011$, $p < 0/05$) و پشت دست ($\text{sig} = 0/030$, $p < 0/05$) بین میانگین فشارهای وارده به اندام فوقانی یک آزمودنی در ۲ سرعت $1/1 \text{ m.s}^{-1}$ و $1/7 \text{ m.s}^{-1}$ تفاوت معنی داری وجود دارد و سایر تفاوتها معنی دار نبودند.

بررسی روند تغییرات فشار وارده به قسمتهای مختلف اندام فوقانی نشان داد که در مرحله سر خوردن فشارهای وارده روند افزایشی دارند. در ابتدای مرحله حرکت به داخل نیز فشارها روند افزایشی داشته سپس به نقطه ی اوج رسیده و در انتهای مرحله شروع به کاهش می کنند. روند تغییرات فشارها در مرحله ی حرکت به خارج نیز کاهش می باشد.

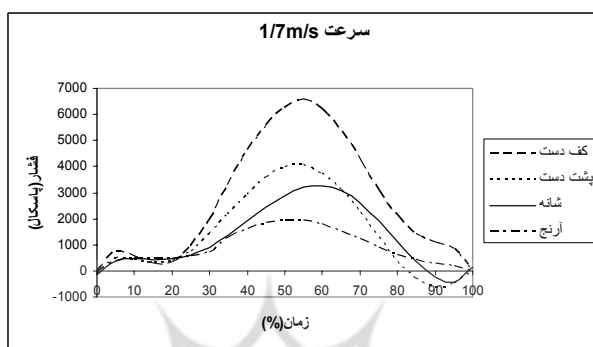
جدول ۱: مقایسه ی فشارهای ثبت شده در یک آزمودنی در ۲ سرعت $1/7 \text{ m.s}^{-1}$ و $1/1 \text{ m.s}^{-1}$ در قسمت پشت دست و شانه

سطح معناداری	t	اختلاف			مرحله ی حرکت دست	اندام
		میانگین	انحراف استاندارد	خطای میانگین استاندارد		
					کامل	
					سر خوردن	
					حرکت به داخل	
					حرکت به خارج	
					کامل	شانه
					سر خوردن	
					حرکت به داخل	
					حرکت به خارج	

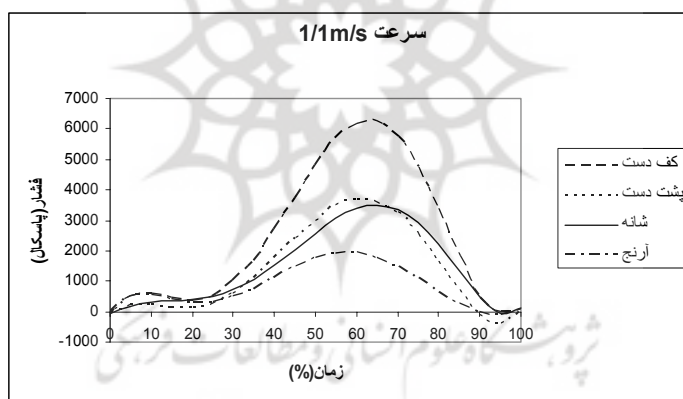
† معنی دار بودن اختلاف میانگینها

با در نظر گرفتن پشت دست و شانه به عنوان نقاطی برای مشخص کردن جهت شیب فشار در طول اندام فوقانی، مشاهده می شود که در هر دو سرعت $1/7 \text{ m.s}^{-1}$ و $1/1 \text{ m.s}^{-1}$ در مرحله ی سر خوردن اندام فوقانی در آب فشار وارده به پشت دست بیشتر از فشار وارده به شانه می باشد و جهت شیب فشار از سمت پشت دست به سمت شانه می باشد. در مرحله حرکت به داخل و در ابتدای این مرحله همچنان فشارهای وارده به پشت دست بیشتر از فشار وارده به شانه می باشد و جهت شیب فشار از سمت پشت دست به سمت شانه می باشد. در ادامه ی مرحله حرکت به داخل و بعد از به اوج رسیدن فشارها، سرعت کاهش فشار وارده به پشت دست بیشتر از سرعت کاهش فشار وارده به شانه بوده و باعث می شود تا در انتهای این مرحله فشار وارده به

شانه بیشتر از فشار وارده به پشت دست شود و شیب فشار تغییر جهت داده، از سمت شانه به سمت دست باشد. در ادامه ی حرکت و در مرحله ی حرکت به خارج و از ابتدا تا انتهای حرکت فشار وارده به شانه بیشتر از فشار وارده به پشت دست بوده و جهت شیب فشاری از سمت شانه به سمت دست می باشد.

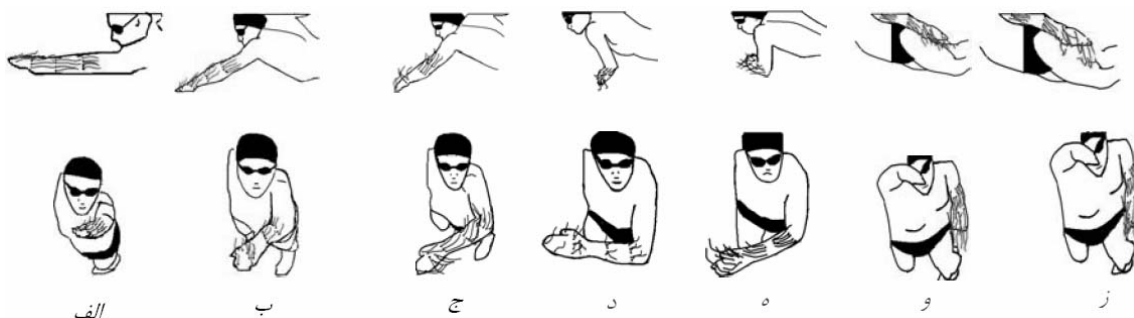


نمودار ۱: نمودار فشار اندازه گیری شده در سرعت $1/7 m.s^{-1}$



نمودار ۲: نمودار فشار اندازه گیری شده در سرعت $1/1 m.s^{-1}$

جریان آب اطراف اندام فوقانی شناگران در هر دو سرعت $1/7 m.s^{-1}$ و $1/1 m.s^{-1}$ در طول کل حرکت اندام فوقانی در آب (شکل ۱) سه وضعیت کلی را نشان داد. در مرحله ی سر خوردن و ابتدای مرحله ی حرکت به داخل جهت جریان از سمت پشت دست به سمت شانه بود. در اوسط مرحله حرکت به داخل، جهت انتهای آزاد رشته‌ها نامنظم بوده و هر رشته سمت و سوی خاصی دارد که نشان می دهد جریان آب در این مرحله نامنظم بود. در انتهای مرحله حرکت به داخل و کل مرحله حرکت به خارج، جهت جریان با توجه به انتهای آزاد رشته‌ها به صورت جریان محوری و در موازات محور طولی اندام فوقانی، از سمت شانه به سمت دست بود.



تصویر ۱: شکل شماتیک شناگر در مراحل مختلف حرکت اندام فوقانی در آب. در مرحله سر خوردن و ابتدای مرحله حرکت دست به داخل (الف، ب و ج) جهت جریان آب از سمت دست به سمت شانه می باشد. در اواسط مرحله حرکت دست به داخل جریان آب حالتی نامنظم دارد (د). در انتهای مرحله حرکت به داخل و کل مرحله حرکت به خارج (ه، و، ز) جهت جریان آب با وجود حرکت اندام فوقانی به بالا و عقب از سمت شانه به سمت دست و به صورت محوری می باشد. همانطور که مشاهده می شود در انتهای مرحله حرکت به خارج در قسمت پشت دست جهت جریان در سرعت $1/7 \text{ m.s}^{-1}$ (و) رو به بالا می باشد که در سرعت $1/1 \text{ m.s}^{-1}$ (ز) چنین نمی باشد.

این تحقیق با هدف شناخت چگونگی جریان آب اطراف اندام فوقانی و اثر حرکت چرخشی اندام فوقانی بر جریان آب اطراف اندام فوقانی در شنای کرال سینه انجام گرفت. بررسی نشان داد که حرکت چرخشی اندام فوقانی احتمالاً می تواند بر تغییرات فشار وارده به اندام فوقانی اثر داشته و تغییرات فشار وارده به اندام فوقانی بر رفتار دینامیکی آب در شنای کرال سینه موثر باشد. در اثر حرکت چرخشی اندام فوقانی در سرعت و جریان آب حالتی ناپایدار ایجاد می شود. حرکت چرخشی اندام فوقانی باعث ایجاد شیب فشاری در طول اندام فوقانی می شود، به طوری که در مرحله سر خوردن و اوایل مرحله حرکت به داخل فشار پشت دست نسبت به فشار شانه بیشتر است. نتیجه این شیب فشاری حرکت آب به صورت جریان محوری در موازات محور طولی اندام فوقانی از قسمت پرفشار (دست) به قسمت کم فشار (شانه) می باشد. در انتهای مرحله حرکت اندام فوقانی به داخل شیب فشاری تغییر جهت داده و از سمت شانه به سمت دست می شود. در این مرحله جریان آب نیز تغییر جهت داده و از قسمت پر فشار یعنی شانه به قسمت کم فشار یعنی دست حرکت می کند. باز هم در این مرحله جریان به صورت محوری می باشد و تا انتهای حرکت اندام فوقانی به خارج ادامه می یابد. شیب فشار مشاهده شده در طول اندام را می توان بر اساس قانون برنولی (تناسب عکس فشار با سرعت) توضیح داد. فاصله دست از مرکز چرخش اندام فوقانی نسبت به فاصله شانه از مرکز چرخش اندام فوقانی بیشتر می باشد که این امر باعث سرعت بیشتر حرکت دست نسبت به شانه شده و بر طبق قانون برنولی شیب فشار برعکس سرعت می باشد و جایی که سرعت حرکت بیشتر است (پشت دست) فشار کمتر بوده و جایی که سرعت حرکت کمتر است (شانه) فشار بیشتر است. همانطور که گفته شد در قسمت پشت دست در مرحله حرکت به خارج بین میانگین فشارهای وارده به اندام فوقانی در 2 m.s^{-1} سرعت $1/1$ و $1/7 \text{ m.s}^{-1}$ تفاوت معنی داری وجود داشت. همچنین در مرحله حرکت به خارج جهت انتهای آزاد رشته ها در سرعت بالا (در بین هر سه آزمودنی) و در قسمت پشت دست بر عکس جهت بقیه قسمت‌های رشته ها بود. این تفاوت در سرعت $1/1 \text{ m.s}^{-1}$ مشاهده نشد. احتمالاً در مرحله حرکت به خارج سرعت شنا بر جهت جریان آب موثر است.

تمامی موارد مشاهده شده در باره جهت جریان در تحقیق حاضر در پژوهش توساینیت و همکاران (۵) نیز مشاهده شده است. تنها تفاوتی که بین مطالعه حاضر و مطالعه توساینیت و همکاران می توان ذکر کرد این است که در مطالعه حاضر سرعت بالا در حدود $1/7 \text{ m.s}^{-1}$ در نظر گرفته شده است، در حالی که توساینیت و همکاران سرعت بالایی خود را معادل حداکثر سرعت نهایی^۱ شناگر

(حدود 2 m.s^{-1}) قرار دادند. با این وجود تفاوت جریان و روند تغییرات فشارهای مشاهده شده در سرعت بالای مطالعه حاضر با سرعت حداکثر مطالعه توسانیت و همکاران مشابه است. توسانیت و همکاران در مطالعه خود در مرحله حرکت به داخل جریان چرخشی (جریان گردابی محدود) ضعیفی را اطراف دست مشاهده کردند که در مطالعه حاضر مشاهده نشد. یکی از پیش فرضهای محاسبه نیروی جلوبرنده با روش آنالیز حرکت در مسیر خاص وجود جریان گردابی محدود می باشد. با مطالعه جریان اطراف اندام فوقانی، جریان گردابی محدود مشاهده نشد، بلکه جریان اطراف اندام به موازات محور طولی اندام بود. از طرف دیگر در مطالعه حاضر مشاهده شد جریان آب در اطراف اندام فوقانی مدام در حال تغییر جهت بوده، در حالی که ثابت بودن جهت جریان آب در اطراف اندام فوقانی یکی از مفروضات محاسبه نیروی جلوبرنده با روش آنالیز حرکت در مسیر خاص می باشد.

با توجه به نتایج این تحقیق با توجه به اینکه اثر حرکت چرخشی اندام فوقانی تغییرات قابل توجهی در جریان آب اطراف اندام فوقانی ایجاد می کند، تیز به ارزیابی دقیقتر روشهای مرسوم اندازه گیری نیروی جلوبرنده، به ویژه روش آنالیز حرکت در مسیر خاص ضروری است.

- :
۱. Toussaint, H., Traignes M. (۲۰۰۵). Biomechanical aspects of performance in human swimming. *Animal Biology*. ۵۵(۱): ۱۷-۴۰.
 ۲. Counsilman, J.E. (۱۹۷۱). The application of Bernoulli's principle to human propulsion in water. In: *Swimming I*, L. Lewillie and J.P. Clarys. Brussels: Universite' Libre de Bruxelles, pp. ۵۹-۷۱.
 ۳. شهبازی مقدم، مرتضی صباغیان راد، صفورا، اثر اندازه‌های انترپومتریکی بر نیروی مقاوم آب در شنای پروانه، مجله حرکت، شماره ۲۴، ص ۲۴-۵، ۱۳۸۴.
 - ۴- Toussaint, H., Roos, P.E., Kolmogorova, S. (۲۰۰۴). *The determination of drag during front crawl swimming*. *J Biomech*. ۳۷(۲): ۱۶۵۵-۱۶۶۳.
 ۵. Schleihauf, R.E. (۱۹۷۹). *A hydrodynamic analysis of swimming propulsion*. In: *Swimming III*, J. Terauds and E. W. Bedingfield (Eds.). Baltimore: University Park Press: ۷۰-۱۰۹.
 ۶. Schleihauf, R.E. Higgins, J.R., Hinrichs, R. (۱۹۸۸). *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: ۵۳-۵۹.
 ۷. Schleihauf, R.E. (۱۹۸۶). *Swimming skill: A review of basic theory*. *J Swim Res*. ۲: ۱۱-۲۰.
 ۸. Berger, M.A.M., Hollander, A.P., De Groot, G. (۱۹۹۹). *Determining propulsive force in front crawl swimming: a comparison of two methods*. *J Sports Sci*. ۱۷: ۹۷-۱۰۵.
 ۹. Van der Meer, S., De Nite, M. (۲۰۰۳). *New propulsion mechanism in swimming*. *Human Movement science*, PP. ۱۵. Amsterdam, The Netherlands: Free University.
 ۱۰. Berger, M.A.M., Hollander, A.P., De Groot G. (۱۹۹۷). *Technique and energy losses in front crawl swimming*. *Med Sci Sports Exerc*. ۲۹: ۱۴۹۱-۱۴۹۸.
 ۱۱. Schleihauf, R.E., Gray, L., Deroose J. (۱۹۸۳). *Three-dimensional analysis of swimming propulsion in the sprint front crawl stroke*. In: *Biomechanics and Medicine in Swimming*, A. P. Hollander, P. A. Huijting, and G. De. Groot (Eds.). Champaign, IL: Human Kinetics, pp. ۱۷۳-۱۸۴.
 ۱۲. Toussaint, H., Van den Berg, C., Beek, W.J. (۲۰۰۲). *Pumped-up propulsion during front crawl swimming*. *Med Sci Sports Exerc*. ۳۴(۲): ۳۱۴-۳۱۹.

۱۳. Sanders, R. (۱۹۹۹). *Hydrodynamic characteristics of a swimmer's hand*. J Applied Biomech. ۱۵:۳-۲۶.



پروژه‌های علمی و مطالعات فرسنگی
پرتال جامع علوم انسانی