

حرکت

شماره ۱۹ - ص ص : ۶۱ - ۴۱

تاریخ دریافت : ۸۲/۱۱/۰۵

تاریخ تصویب : ۸۳/۰۱/۲۸

مدل‌های ریاضی پیشنهادی برای اندازه‌گیری غیرمستقیم نیروی مقاوم آب

دکتر مرتضی شهبازی مقدم^۱

دانشیار دانشگاه تهران

چکیده

در این مقاله، روش جدید ریاضی برای مطالعه نیروی هیدرودینامیکی شناگران ارائه می‌شود. هدف از این مطالعه، ارائه روشی ساده، ارزان، آسان و قابل اعتماد بوده است. برای اثبات مدل پیشنهادی، از ۵ شناگر حرفه‌ای با میانگین سن ۲۵ - ۲۰ سال و وزن ۸۲ - ۷۱ کیلوگرم استفاده شد. از شناگران خواسته شد با آخرین سرعت مسافت ۱۰ متر را شنا کنند. آزمودنی‌ها این آزمون را ۳ تا ۵ بار با استراحت کافی بین آزمون‌ها تکرار کردند و بعد از اتمام شنا با صدای سوت داور دست از شنا کشیده، روی آب سر می‌خوردند تا از حرکت بایستند. زمان ۱۰ متر شنا و مسافت سر خوردن به ترتیب با دقت ۰/۰۱ ثانیه و ۰/۰۱ متر اندازه‌گیری شد. از یک شناگر حرفه‌ای خواسته شد شنا را با سرعت‌های مختلف انجام دهد تا منحنی مشخصات مختلف برای مدل‌های ارائه شده به دست آید. اطلاعات جمع‌آوری شده در فرمول‌های پیشنهادی برای آزمودنی‌های مختلف قرار داده شد تا سرعت، شتاب، نیروی پیش‌برنده (نیروی مقاوم هیدرودینامیکی) برای آن‌ها به دست آید. نتایج به دست آمده کاملاً با نتایجی که محققان دیگر، با روش‌های پیچیده و گران قیمت به دست آورده بودند، همخوانی داشت.

واژه‌های کلیدی

مدل ریاضی، روش غیرمستقیم، سرعت، شتاب و نیروی مقاوم شناگران.

مقدمه

از آنجا که بدن انسان مانند کشتی بین دو سطح مرزی آب و هوا قرار می‌گیرد، از این رو تغییرات در جریان آب موجب تغییراتی در سطح لایه مرزی می‌شود (تشکیل موج). به بیان دیگر، وقتی بدن در دو سطح مرزی حرکت می‌کند، مشکلات خیلی پیچیده‌تر از زمانی است که در یک سطح حرکت کند. وقتی اندازه‌گیری مستقیم نیروی پیش‌برنده‌ای که بدن تحت تأثیر آن است، به این مشکلات اضافه شود، مشکلات پایان‌ناپذیر می‌شوند. تا به حال نیروی مقاوم و نیروی پیش‌برنده که بدن انسان تحمل کرده یا تولید می‌کند، مستقیماً اندازه‌گیری می‌شدند. نیروی مقاوم از نیروی پیش‌برنده گرفته می‌شود و برعکس، هر دو تابعی از سرعت هستند و نیروی حرکت هیدرودینامیکی انسان توسط آنالیز ریاضی شکل بدن و حرکت آن توضیح داده شده است (۱۸، ۸، ۲۵ و ۳۲).

روش‌های پیچیده‌ارائه شده در این مطالعات، روش‌های اندازه‌گیری غیرمستقیم نیرو که مورد نظر ماست، نبوده و تمامی آن‌ها به روش مستقیم اندازه‌گیری شده‌اند. نتایج به دست آمده نیز به صورت فرضیه‌اند و با نیروهای هیدرودینامیکی واقعی تأیید نشده‌اند. اندازه‌گیری‌های اولیه شامل محاسبات غیرمستقیم نیروی تمام فعال با نیروی مقاوم، اضافه شده به شناگر بوده است (۳، ۷، ۲۸ و ۲۹).

در بحث نیروی مقاوم هیدرودینامیکی حرکت انسان در آب دو نوع نیروی مقاوم مورد توجه قرار می‌گیرد:

۱- نیروی مقاوم غیرفعال که مقدار مقاومت آب زمانی که بدن به حالت ثابت و غیرقابل تغییر قرار گیرد و توسط جریان آب بدون حرکت کشیده شود و یا هنگامی که بدون حرکت فقط در آب سر بخورد.

۲- نیروی مقاوم فعال نیروی مقاومت آب که توسط حرکت شناگر ایجاد می‌شود.

روش تحقیق

مطالعات برای تعیین نیروی پیش‌برنده جسم متحرک در آب در چهار راهبرد متفاوت تقسیم شده است که در زیر شرح داده می‌شود:

راهبرد اول: ثبت نیروی پیش‌برنده به دست آمده از حرکت بدن در یک نقطه (سرعت صفر) که به آن شنای تن هرد^۱ می‌گویند. هوسی (۱۷) در مورد نیروی پیش‌برنده ۵ فرد تمرین نکرده مطالعه کرد. وی در این حالت، وزن را از وصل کردن طناب متصل به یک سیستم قرقره زیاد می‌کرد. افراد، شنا می‌کردند تا جایی که وزن اضافی، آن‌ها را از حرکت و پیشروی باز دارد. اساس این روش به ماکزیمم نیروی ثبت شده در سرعت صفر برمی‌گردد و برای اندازه‌گیری نیروی حرکت دست یا پا به صورت جداگانه و توأم استفاده می‌شود. یک سیستم دینامومتر فردار می‌تواند جایگزین سیستم وزنی شود. در این حالت باید از یک موج‌نگار و پتانسیومتر نیز استفاده کرد (۲۶).

راهبرد دوم: برای ارزیابی مقدار نیروی پیش‌برنده می‌توان انرژی مصرفی در حین حرکت را اندازه‌گیری کرد. این روش می‌تواند با ثبت کردن نیروی پیش‌برنده مانند روش قبلی یا به روش آسان ثبت زمان و مسافت انجام شود (بدون ثبت نیروی پیش‌برنده) (۱، ۲، ۶، ۱۱، ۱۲، ۱۳، ۱۴، ۱۵، ۳۰، ۳۹ و ۴۰).

راهبرد سوم: سیستم اندازه‌گیری نیروی مقاوم فعال (*MAD*) (۳۷ و ۳۸). اساس سیستم *MAD*، به گونه‌ای است که اندازه‌گیری میانگین نیروی پیش‌برنده فعال را فقط در شنای کراال سینه به دست می‌دهد. در این حالت لوله‌ای در فاصله ۰/۸ متری از سطح آب قرار دارد. شناگر به سکوهایی که به این لوله وصل است، فشار وارد می‌سازد. لوله به مبدل نیرو وصل است. بنابراین نیرویی که شناگر به وسیله فشار به سکو وارد می‌آورد، توسط این مبدل ثبت می‌شود. این سیستم متوسط نیروی پیش‌برنده (*FP*) را که برابر با متوسط نیروی مقاوم (*ADF*) است، اندازه‌گیری می‌کند. محققان متوسط نیروی پیش‌برنده شناگران را در سرعت ۱/۴۸ متر بر ثانیه $53/2 \pm 5/8$ نیوتن پیدا کرده‌اند که این مقدار با نیروی مقاوم غیرفعال گزارش شده بر روی شناگران مطابقت دارد.

راهبرد چهارم: روش سرعت، تلاطم (۲۱). در این روش از تغییرات سرعت ماکزیمم شناگران که در اثر نیروی مقاوم اضافی حاصل از شکل هیدرودینامیکی بدن به وجود می‌آید،

استفاده شده است. شناگران مسافت ۳۰ متر را با دو سرعت ماکزیمم شنا می کنند. این دو سرعت ماکزیمم، یکی با جسم هیدرودینامیکی و دیگری بدون جسم هیدرودینامیکی است. جسم هیدرودینامیکی از جسمی که از ماده پلاستیکی ساخته شده و به سیلندر هیدرودینامیکی (ساخته شده از فلز) که برای جلوگیری از تلاطم به کار می رود، متصل است. این جسم هیدرودینامیکی در فاصله بجرانی $4/5 - 3/5$ قد شناگر قرار می گیرد. سرعت شناگر و نیروی مقاوم در هر دو حالت اندازه گیری می شود، محققان فرض کردند که انرژی تولید شده در هر دو زمان، با جسم هیدرودینامیک و بدون آن برابر است. در این حالت F_b نیروی مقاوم اضافی است که با جسم هیدرودینامیک به وجود می آید و V_1 و V_2 نیز میانگین سرعت های شناگر در ۳۰ متر شناست که اولی بدون جسم هیدرودینامیک و دومی با جسم هیدرودینامیک است.

$$F_D = F_b V_1 V_2^2 (V_1^3 - V_2^3) \quad (1)$$

روش اندازه گیری غیرمستقیم پیشنهادی

سرعت متوسط شناگران در محدوده ۱ تا ۲/۲ متر بر ثانیه است. شهبازی و ساندرز (۳۶) توانستند در این محدوده سرعت سه مدل ریاضی را تعریف کنند که از این مدل ها می توان نیروی پیش برنده که همان نیروی مقاوم هیدرودینامیک است و نیز ضریب مقاومت آب را معلوم کرد.

۱- نیروی مقاوم آب متناسب با سرعت شناگر است

معادله حرکت شناگر به صورت زیر است:

$$F_p - c_1 V = M \frac{dV}{dt} \quad (2)$$

که در آن F_p نیروی پیش برنده، c_1 ضریب هیدرودینامیکی، V سرعت و M جرم شناگر است. شناگر بعد از مدت کوتاهی به سرعت حد خود (ماکزیمم سرعت) V_L می رسد که در آن شتاب dV/dt صفر است.

$$F_p - C_1 V_L = 0 \quad (3)$$

از این رو می توان نیروی پیش برنده را به صورت زیر نشان داد:

$$F_p - C_1 V_L \quad (4)$$

اگر رابطه ۴ را در رابطه ۲ قرار داده و انتگرال بگیریم، شهبازی و همکار (۳۶)، بعد از محاسبات لازم سرعت لحظه‌ای شناگر به صورت زیر در می‌آید:

$$V = V_L (1 - \text{EXP} - (C_1 t / M)) \quad (5)$$

از رابطه ۵ می‌توان سرعت حد را به صورت زیر معلوم کرد:

$$V_L = V (1 + \text{EXP} - (C_1 t / M)) \quad (6)$$

و از آنجا نیروی پیش‌برنده به صورت زیر در می‌آید:

$$F_P = C_1 V (1 + \text{EXP} - (C_1 t / M)) \quad (7)$$

اگر V را سرعت متوسط شناگر و t را زمانی قرار دهیم که ۱۰ متر را در آن مدت شنا کرده، در این صورت مقدار متوسط F_P به دست می‌آید.

برای تعیین ضریب هیدرودینامیک C_1 ، از شناگران خواسته شد در پایان ۱۰ متر و با سوت داور دست از شنا کردن کشیده و روی آب بدون حرکت سر بخورند. چون نیرویی اعمال نمی‌کنند، از این رو نیروی F_P صفر است و معادله ۲ به صورت زیر در می‌آید:

$$-C_1 V = M \frac{dV}{dt} \quad (8)$$

انتگرال‌گیری از رابطه ۸ و محاسبات لازم، شهبازی و ساندرز (۳۶) تغییرات سرعت سرخوردن بر حسب سرعت حد V_L به صورت زیر در می‌آید:

$$V = V_L \text{EXP} - (C_1 t / M) \quad (9)$$

از رابطه ۹ می‌توان مسافت سر خورده را معلوم کرد. در صورتی که به جای V ، dx/dt قرار داده و انتگرال‌گیری کنیم:

$$X = (V_L M / C_1) (1 - \text{EXP} - (C_1 t / M)) \quad (10)$$

برای زمان‌های بزرگ جمله نهایی به سمت صفر میل می‌کند و از آنجا می‌توان از رابطه ۱۰ مقدار C_1 را حساب کرد:

$$C_1 = V_L M / X \quad (11)$$

اگر مقدار V_1 را در رابطه ۱۱ قرار دهیم، خواهیم داشت:

$$C_1 = (V M / X) (1 + \text{EXP} - (C_1 t / M)) \quad (12)$$

با بسط جمله نهایی و محاسبات لازم، برای C_1 رابطه زیر به دست می‌آید:

$$C_1 = 2VM / (X + Vt) \quad (13)$$

جمله (Vt) چیزی جز مسافت ۱۰ متری شنای انجام شده توسط شناگر نیست. از این رو می توان برای C_1 در نهایت رابطه زیر را به دست آورد:

$$C_1 = VM / (X + 10) \quad (14)$$

۲- نیروی مقاوم آب متناسب با درجه دوم سرعت شناگر است

معادله حرکت شناگر به صورت زیر نوشته می شود:

$$F_P - C_2V^2 = M \frac{dV}{dt} \quad (15)$$

در سرعت حد شناگر شتاب صفر و نیروی پیش برنده به صورت زیر است:

$$F_P = C_2V_L^2 \quad (16)$$

که C_2 ضریب هیدرودینامیک در این حالت است. روش محاسبه نظیر حالت قبل است و در نهایت سرعت حد با رابطه زیر داده می شود (شهبازی و ساندرز) (۳۶):

$$V_L = 0.5(V + (V^2 + 4MV/C_2t)^{1/2}) \quad (17)$$

تعیین ضریب هیدرودینامیکی C_2

مانند حالت قبل، بعد از ۱۰ متر شنا کردن، شناگر با سوت داور دست از شنا برمی دارد، از این رو نیرو صفر و معادله حرکت به صورت زیر است:

$$-C_2V^2 = M \frac{dV}{dt} \quad (18)$$

که بعد از انتگرال گیری برای سرعت لحظه ای سر خوردن خواهیم داشت:

$$V = V_L M / (C_2 V_L t + M) \quad (19)$$

با قرار دادن dX/dt به جای V و انتگرال گیری خواهیم داشت:

$$X = (M/C_2) \ln(1 + (C_2 V_L t / M)) \quad (20)$$

با تقریبی مناسب، می توان برای ضریب هیدرودینامیکی C_2 مقدار زیر را به دست آورد:

$$C_2 = M/X \quad (21)$$

۳- نیروی مقاوم آب متناسب با $C_1V + C_2V^2$

معادله حرکت به صورت زیر در می‌آید:

$$F_P - C_1 V - C_2 V^2 = M \frac{dV}{dt} \quad (22)$$

$$F_P = C_1 V_L + C_2 V_L^2 \quad \text{در سرعت حد:}$$

با انجام محاسباتی نظیر حالت‌های قبل، سرعت لحظه‌ای با رابطه زیر داده می‌شود (شهبازی

و ساندرز) (۳۶):

$$V = V_L (1 - \exp(-(C_1 + C_2 V_L) t/M)) \quad (23)$$

سرعت حد از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$V_L = 0.5(C_1/C_2) + (C_1/C_2)^2 + (4MV/C_2 t)^{1/2} \quad (24)$$

C_1, C_2 را از روابط ۱۴ و ۲۱ به دست می‌آوریم. t زمان مربوط به ۱۰ متر شنای انجام شده

توسط شناگر است. هرگاه از روابط مربوط به سرعت‌های لحظه‌ای در هر سه حالت مشتق

بگیریم، روابط مربوط به شتاب‌ها به صورت زیر به دست می‌آید:

$$a_1 = (C_1 V_{L1}/M) \exp(-C_1 t/M) \quad (25)$$

$$a_2 = (4C_2 V_{L2}/M) \exp(-2C_2 V_{L2} t/M) \quad (26)$$

$$a_3 = ((C_1 V_{L3} + C_2 V_{L3}^2)/M) \exp(-(C_1 + C_2 V_{L3}) t/M) \quad (27)$$

زمان سنجش توسط دو متخصص انجام گرفت و دستگاه زمان‌سنج کرومتر الکترونیکی با

دقت ۰/۰۱ ثانیه بود.

بحث و نتیجه‌گیری

مدل ریاضی به ما امکان ارائه روابطی را داد که توانستیم با کمک آن‌ها نه تنها ویژگی‌های

سینماتیکی یک شناگر را به دست آوریم، بلکه به نیروی پیش‌برنده و ضریب هیدرودینامیکی

نیز دست پیدا کنیم. در این روش، با اندازه‌گیری ساده‌ی زمان ۱۰ متر شنا و مسافت سر خوردن

شناگر بعد از آن و قرار دادن این مقادیر در روابط به دست آمده، توانستیم تغییرات سرعت و

شتاب را به دست آورده و نیروی پیش‌برنده شناگر را نتیجه بگیریم.

در جدول ۱، شناگر شماره ۱ سبک‌ترین شناگر در این تحقیق است. اما بیشترین سرعت را در

حالت‌های اول و دوم دارد و سرعت او در حالت سوم نیز چشمگیر است. نیروی پیش‌برنده او

نیز در هر سه مدل چشمگیر است. شناگر شماره ۵ که ۱۰ کیلوگرم از او سنگین تر است، سرعت متوسط، ماکزیمم و نیروی پیش برنده کمتری از خود نشان داده است. این نشان می دهد که جرم شناگر می تواند در محاسبه شاخص هیدرودینامیکی نقش مهمی ایفا کند. هیچ کدام از محققان از تأثیر جرم در تخمین نیروهای هیدرودینامیکی اعلام شده، سخنی به میان نیاورده اند.

در جدول ۲، مشخصات یک شناگر نخبه در سرعت های مختلف آورده شده است. از او خواسته شد که ۱۰ متر را یک بار با دست تنها، یک بار با پای تنها و یک بار نیز با هر دو شنا کند. برای تحقق بخشیدن به مدل ریاضی پیشنهادی برای آنکه بتوانیم از یک مورد سرعت های مختلف به دست آوریم، از شناگر خواسته شد در مراحل ذکر شده، یک بار از فین و تخته دست استفاده کند و یک بار نیز بدون آن ها شنا کند. شایان ذکر است که هر مرحله از شنا، سه تا پنج بار با استراحت کافی بین هر بار جهت تعیین میانگین و انحراف معیار، صورت گرفته است. با این ترتیب شناگر توانسته گستره خوبی از سرعت شنا را از ۰/۸ تا ۱/۸۵ متر بر ثانیه، ارائه دهد. از جدول پیداست که در هر سه مدل هرچه سرعت بیشتر باشد، نیروی پیش برنده و ضریب هیدرودینامیکی C_1 بیشتر است. برعکس، مقادیر مربوط به C_2 وقتی سرعت افزایش پیدا می کند، کاهش می یابد.

شکل ۱، تغییرات سرعت را در سه مدل برای مقایسه نشان می دهد. چنانچه دیده می شود، سرعت در مدل اول بعد از ۱۷ ثانیه به سرعت ماکزیمم خود می رسد و حاکی از آن است که شناگر در ۱۰ متر هیچگاه به حداکثر سرعت خود نمی رسد که با واقعیت همخوانی ندارد.

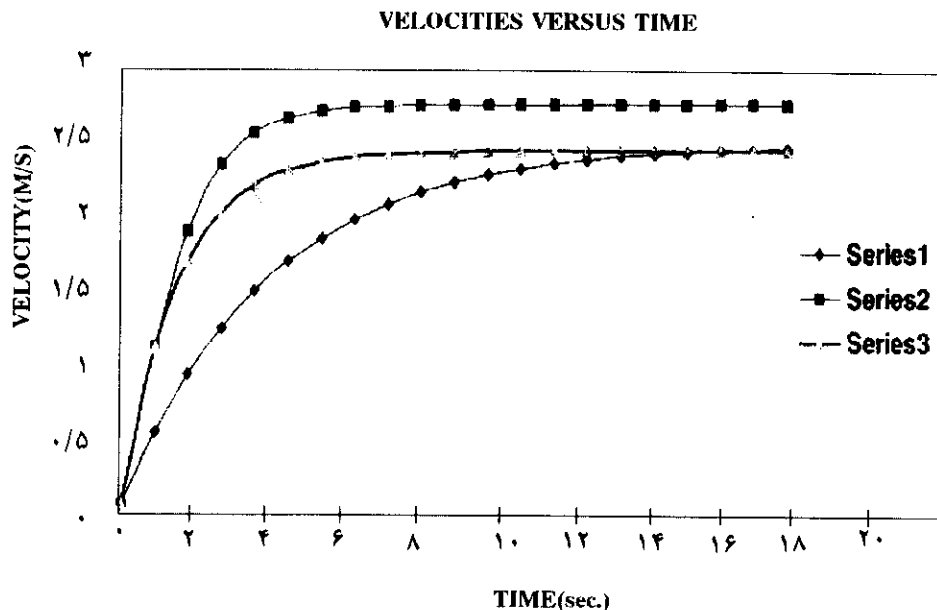
در مدل دوم، شناگر بعد از ۶ ثانیه، به سرعت حداکثر خود می رسد، اما سرعت به دست آمده از سرعت های معمول شناخته شده، بیشتر است و منحنی های سرعت مربوط به مدل های اول و دوم هیچگاه به یکدیگر نمی رسند. برعکس در مدل سوم، سرعت حداکثر معقول است. در ضمن منحنی های سرعت این مدل با مدل اول به یکدیگر می رسند که می تواند تأییدی برای صحت مدل سوم باشد.

جدول ۱- مقادیر پارامترهای آزمودنی \pm انحراف معیار

نیروی ۲ (N)	نیروی ۱ (N)	C2	C1	سرعت (m/s)	سرعت (m/s)	سرعت (m/s)	سرعت متوسط (m/s)	مسافت سرخورده (M)	زمان ده متر شنا تاییه	جرم کیلوگرم	شماره آزمودنی
۷۴/۵	۲۹/۹۲	۱۲/۳۱	۱۴/۴۷	۱/۹۴	۲/۲۶	۲/۰۵	۱/۶	۵/۷۹	۶/۲۴	۷۱	۱
۰/۴۳	۲/۲	۰/۷	۰/۳۳	۰/۴۸	۰/۰۳	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۳۴	۰/۰۳		
۷۵/۵	۶۴/۱۵	۱۲/۶۳	۱۴/۷۵	۱/۹۳	۲/۲۵	۲/۰۵	۱/۶	۵/۷۴	۶/۲۵	۷۳	۲
۱/۷۴	۲/۲۵	۰/۸	۰/۳۳	۰/۴۲	۰/۰۴	۰/۰۳	۰/۰۲	۰/۳۶	۰/۰۶		
۷۵/۵۷	۶۱/۱	۱۲/۱۴	۱۴/۵۲	۱/۹۷	۲/۲۵	۲/۰۲	۱/۵۷	۶/۶	۶/۳۷	۷۵	۳
۲/۵۷	۱/۱۸	۰/۵۵	۰/۱۷	۰/۳	۰/۰۵	۰/۰۴	۰/۰۲	۰/۲۸	۰/۱		
۷۱/۵۸	۵۹/۱	۱۳/۲	۱۴/۱۷	۱/۸۴	۲/۱۲	۱/۹۲	۱/۴۹	۵/۹۸	۶/۷۲	۷۹	۴
۵/۹۸	۲/۱۲	۰/۹۴	۰/۱۷	۰/۱۴	۰/۱۱	۰/۰۸	۰/۰۵	۰/۴۴	۰/۲۴		
۷۳/۱۷	۶۲/۱۷	۱۴/۲۵	۱۵/۴۲	۱/۷۹	۲/۰۹	۱/۹	۱/۴۸	۵/۷۴	۶/۷۴	۸۲	۵
۳/۱۶	۰/۳۳	۰/۹	۰/۲۸	۰/۰۶	۰/۰۵	۰/۰۴	۰/۰۳	۰/۳۶	۰/۱۴		

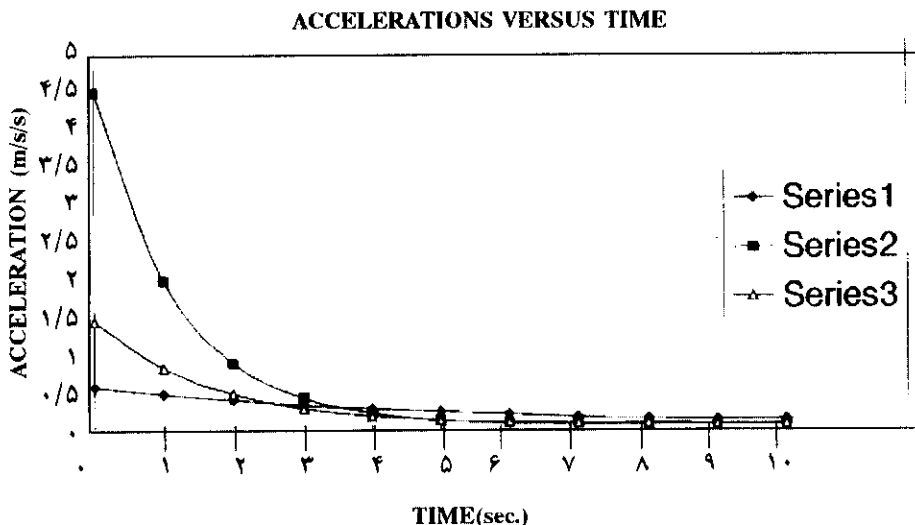
جدول ۲- مشخصات مربوط به آزمودنی منتخب + انحراف معیار

نیروی ۳ (N)	نیروی ۲ N	نیروی ۱ (N)	C2	C1	سرعت (m/s)	سرعت حد ۳ (m/s)	سرعت حد ۲ (m/s)	سرعت حد ۱ (m/s)	سرعت متوسط (m/s)	مسافت سرخورده (M)	زمان ده متر شنا تاییه	جرم کتورم	نوع شنا
۲۵/۶	۲۵/۹	۱۱/۳	۱۷/۳۶	۹/۹	۰/۹۶	۱/۲۲	۱/۱۴	۰/۹۱	۴/۵۵	۱۰/۹۷	۷۹	۱- فقط پاهما	
۰/۴۳	۲/۲	۰/۵۸	۰/۷	۰/۳۳	۰/۲۸	۰/۰۳	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۳۴	۰/۰۳	۷۹	۲- پا + فین	
۳۸/۸	۳۱/۹	۱۹/۸	۱۵/۳۲	۱۱/۱	۱/۳	۱/۴۴	۱/۳۲	۱/۱	۵/۱	۹/۹۰	۷۹	۳- نسفط دست‌ها	
۱/۷۴	۲/۲۵	۰/۶۷	۰/۸	۰/۳۳	۰/۴۲	۰/۰۴	۰/۰۳	۰/۰۲	۰/۳۶	۰/۰۶	۷۹	۳- نسفط دست‌ها	
۵۱/۸۷	۴۴/۲۵	۲۰/۸۲	۱۳/۴۸	۱۲/۷۹	۱/۵۳	۱/۷۹	۱/۶۳	۱/۲۷	۵/۷۱	۷/۸۶	۷۹	۳- نسفط دست‌ها	
۲/۵۷	۱/۱۸	۰/۶۴	۰/۵۵	۰/۱۷	۰/۳	۰/۰۵	۰/۰۴	۰/۰۲	۰/۲۸	۰/۱	۷۹	۳- نسفط دست‌ها	
۶۲/۴۶	۴۸/۲۵	۲۳/۷۳	۱۲/۲۵	۱۳/۰۲	۱/۸۲	۲/۰۳	۱/۸۱	۱/۳۸	۶/۲۵	۷/۲	۷۹	۳- نسفط دست‌ها	
۵/۹۸	۲/۱۲	۱/۵	۰/۹۴	۰/۱۷	۰/۱۴	۰/۱۱	۰/۰۸	۰/۰۵	۰/۴۴	۰/۲۴	۷۹	۳- نسفط دست‌ها	
۷۱/۵۸	۵۹/۱	۲۸/۲	۱۳/۲	۱۴/۷۲	۱/۸۷	۲/۱۲	۲/۹۱	۱/۴۸	۶/۱۵	۶/۷۲	۷۹	۳- نسفط دست‌ها	
۳/۱۶	۳/۳۳	۱/۳۲	۰/۹	۰/۴۸	۰/۰۶	۰/۰۵	۰/۰۴	۰/۰۳	۰/۳۶	۰/۱۴	۷۹	۳- نسفط دست‌ها	
۱۰۳/۹	۸۱/۳۵	۳۹/۶	۱۲/۲	۱۷/۱۱	۲/۳	۲/۵۸	۲/۳۱	۱/۷۸	۶/۴۸	۵/۶	۷۹	۳- نسفط دست‌ها	
۵/۹۸	۲/۱۲	۱/۵	۰/۹۴	۰/۱۷	۰/۱۴	۰/۱۱	۰/۰۸	۰/۰۵	۰/۴۴	۰/۲۴	۷۹	۳- نسفط دست‌ها	
۱۱۰/۴	۸۷/۸۹	۴۵/۵۲	۱۲/۵	۱۷/۸۴	۲/۳۴	۲/۶۵	۲/۳۸	۱/۸۴	۶/۳۴	۵/۳۲	۷۹	۳- نسفط دست‌ها	
۳/۱۶	۳/۳۳	۱/۳۲	۰/۹	۰/۴۸	۰/۰۶	۰/۰۵	۰/۰۴	۰/۰۳	۰/۳۶	۰/۱۴	۷۹	۳- نسفط دست‌ها	



شکل ۱- تغییر سرعت‌های مربوط به روش‌های مختلف با زمان

شکل ۲، منحنی‌های مربوط به شتاب‌ها آورده شده است. چنانچه دیده می‌شود، شتاب‌ها در آغاز حداکثرند و سپس کاهش می‌یابند. در زمانی که شناگر با سرعت حداکثر خود شنا می‌کند، شتاب صفر است و نیروی پیش‌برنده با نیروی مقاوم آب برابر است. بنابراین مدل اول از نظر اینکه شناگر بتواند به حداکثر سرعت خود برسد، زمان زیادی لازم دارد که از واقعیت به دور است و مدل دوم به دلیل اینکه نیروی استارت فوق‌العاده‌ای را نشان می‌دهد که از توان شناگران خارج است ($4/5 \times 79 = 355/5$ نیوتن)، نمی‌تواند مورد قبول باشد. در صورتی که در مدل سوم نیروی استارت در حدود $118/5 - 1/5 \times 79$ نیوتن است که معقول بوده و می‌تواند به عنوان نیروی انفجاری شناگر به حساب آید.



شکل ۲- تغییر شتاب‌های مربوط به ورزش‌های مختلف با زمان

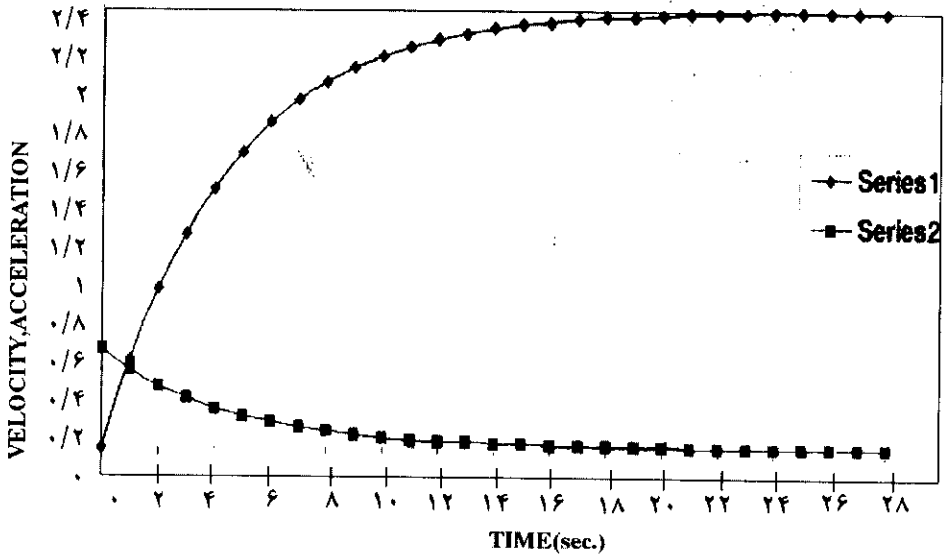
در شکل‌های ۳، ۴ و ۵ تغییرات سرعت و شتاب در هر مدل نسبت به زمان، آورده شده است. همان‌طور که دیده می‌شود، وقتی شناگر به سرعت حد خود می‌رسد، شتاب صفر می‌شود و مجموع نیروهای وارد به شناگر صفر است.

شکل ۶، تغییرات نیروی مقاوم را برحسب سرعت متوسط به دست می‌دهد. این شکل نشان می‌دهد که هرچه سرعت بیشتر باشد، نیروی مقاوم بیشتر است.

شکل ۷، تغییرات نیرو را در سه مدل نسبت به زمان نشان می‌دهد. منحنی بالایی مربوط به مدل دوم است که نشان‌دهنده این است که شناگر باید نیروی فوق‌العاده برای شروع شنا از خود بروز دهد تا به سرعت متوسط $1/84$ متر بر ثانیه دست یابد که با واقعیت همخوانی ندارد.

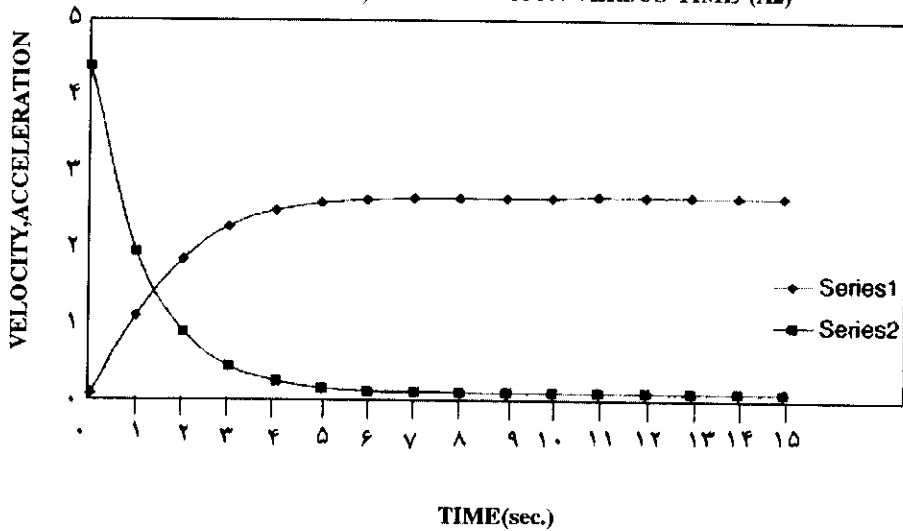
شکل‌های ۸ و ۹ تغییرات C_1 ، C_2 را به دست می‌دهند. در سرعت $0/9$ متر بر ثانیه، نتیجه به دست آمده با نتیجه‌ای که هولمر (۱۳ و ۱۴) به دست آورده و در سرعت $1/5$ متر بر ثانیه، نتیجه تحقیق حاضر با نتیجه به دست آمده توسط یسکوت و کلاریس (۱۹) کاملاً همخوانی دارد. اما با مقدار به دست آمده توسط توسن و همکاران (۳۸ و ۳۹) همخوانی ندارد. نتایج این تحقیق، نتایج به دست آمده توسط کلموگروف و همکاران (۲۱) را تأیید نمی‌کند.

VELOCITIES VERSUS TIME



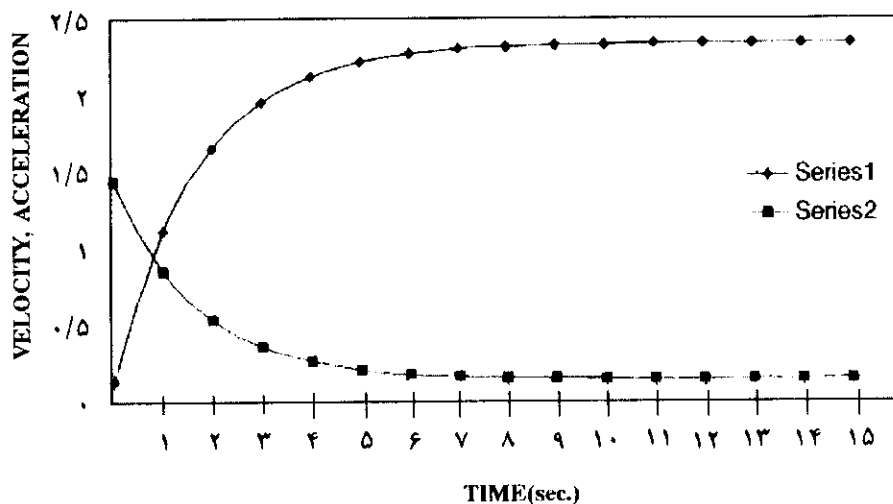
شکل ۳- تغییر سرعت و شتاب در روش اول با زمان

VELOCITIES, ACCELERATION VERSUS TIME (A2)



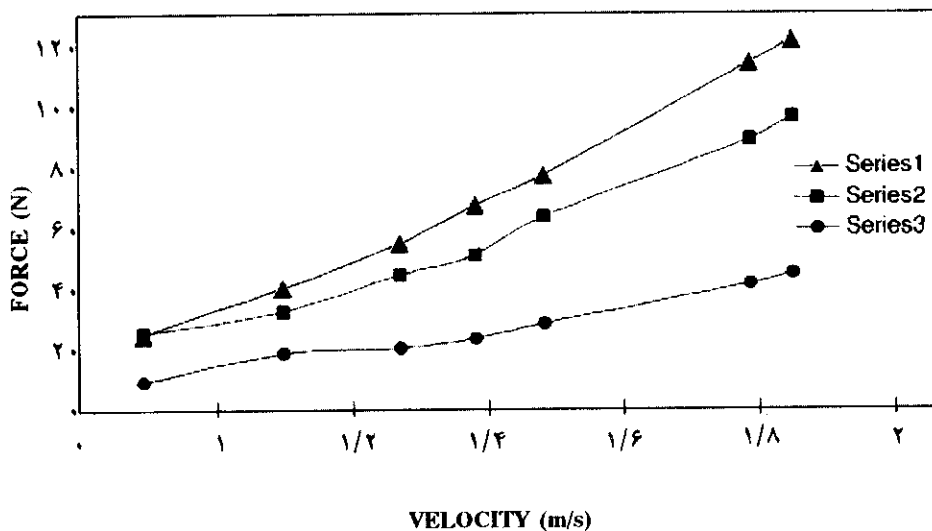
شکل ۴- تغییر سرعت و شتاب در روش دوم با زمان

VELOCITIES , ACCELERATON VERSUS TIME(A3)

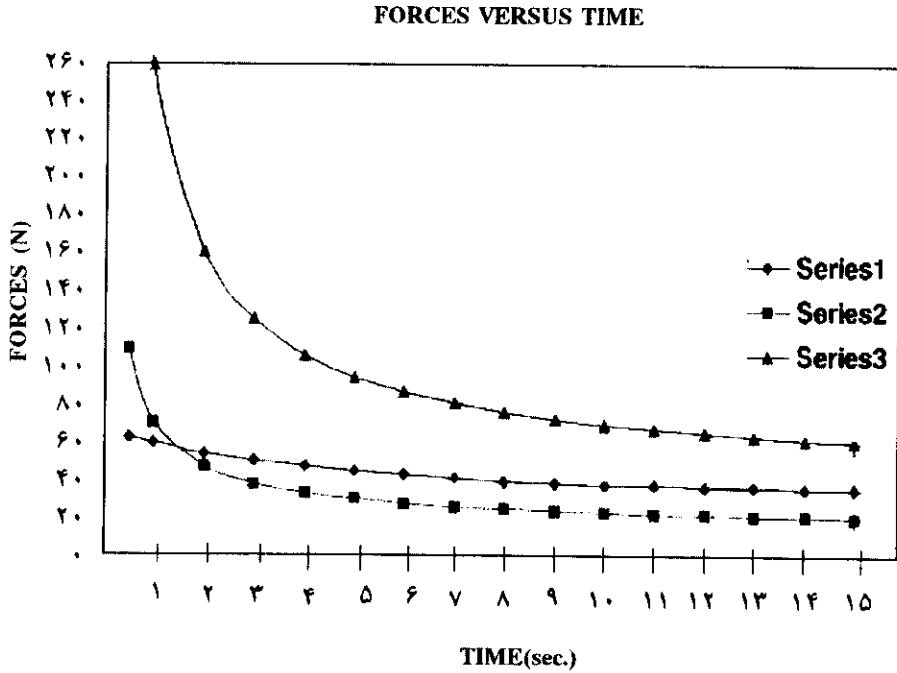


شکل ۵- تغییر سرعت و شتاب در روش سوم با زمان

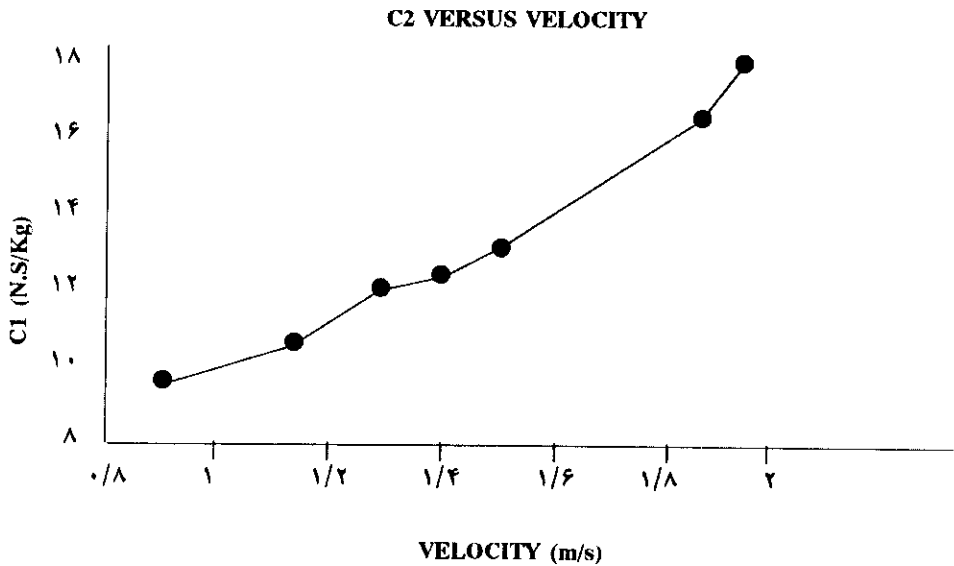
FORCES VERSUS VELOCITY



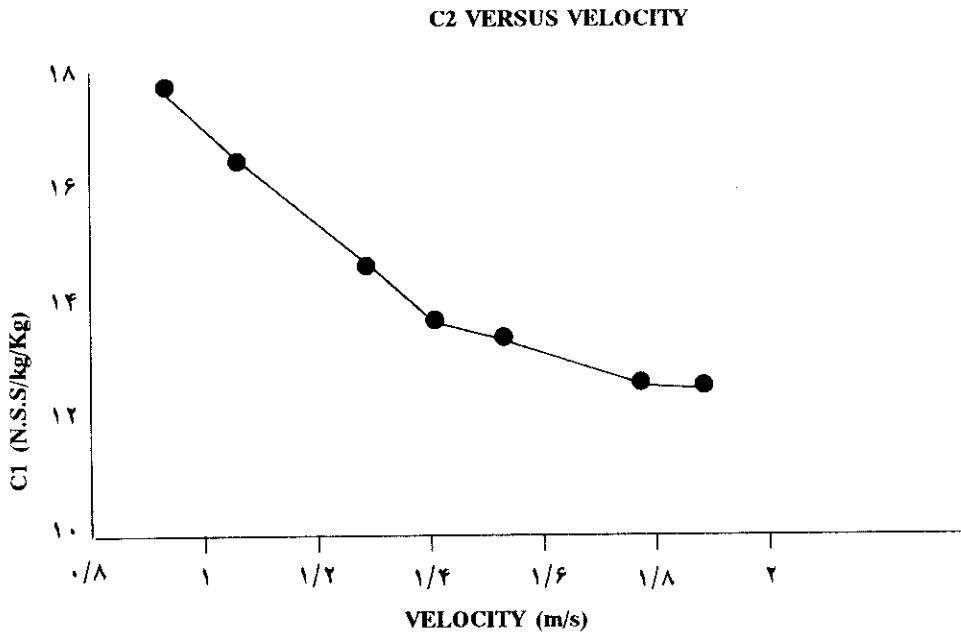
شکل ۶- تغییر نیروهای مقاوم آب در روش های سه گانه با سرعت



شکل ۷- تغییر نیروهای مقاوم آب در روش‌های مختلف با زمان



شکل ۸- تغییر ضریب هیدرودینامیکی C_1 با سرعت



شکل ۹- تغییر ضریب هیدرودینامیکی C_1 با سرعت

نتیجه گیری

نتایج به دست آمده از سه مدل پیشنهادی نشان داد که نیروهای هیدرودینامیکی ماکزیمم، با سرعت متوسط بیشتر به دست می آید. اختلاف سرعت های حد بین مدل های اول و سوم قابل صرف نظر کردن است و استفاده از مدل سوم را تأیید می کند و ما را برای استفاده از آن به منظور تعیین مشخصات شناگران ترغیب می کند. اگرچه منحنی مشخصات مدل های دوم و سوم از نظر کلی شبیه اند، با وجود این، اختلاف زیادی بین آنها وجود دارد. سرعت متوسط اندازه گیری شده تأثیر بسزایی در تعیین نیروی مقاوم و ضریب آن دارد. البته انجام تحقیقات دقیق دیگری برای تأیید روش پیشنهادی ضروری به نظر می رسد. یک اندازه گیری سه بعدی می تواند برای اندازه گیری سرعت شناگر در زیر آب کافی باشد تا با منحنی های حاصل از مدل های پیشنهادی مقایسه شود و مدل مورد نظر را تأیید کند. به هر صورت شواهد تجربی موجود نشان می دهد

مدل سوم برای تعیین نیروی هیدرودینامیک، سرعت، شتاب و ضریب نیروی هیدرودینامیک از اعتبار مطلوبی برخوردار است و می‌تواند با نتایج به دست آمده توسط دیگر محققان مقایسه شود.

قدردانی

در خاتمه از پروفیسور راس ساندرز، رئیس کرسی علوم ورزشی دانشگاه ادین به سبب فراهم آوردن همه امکانات در دوران فرصت مطالعاتی اینجانب تشکر و قدردانی می‌نمایم.

منابع و مأخذ

- 1- Adrian, M.J., Singh, M., Karpovich, "Energy costs of leg kick, armstroke and whole crawl stroke". *J. Appl. Phys* 1966, 21, PP: 1763-1766.
- 2- Anderson, K.L. "Energy cost of swimming *Acta, Chirur*". *Scand. suppl.* 1960, 253, PP: 169-174.)
- 3- Claris, J.P. "Human morphology and hydrodynamic in swimming III" (eds. J. Terauds and E.W. Bedingfield), *University Park Press, Baltimore*. 1979, 3, 34.
- 4- Clarys, J.P. Jiskoot, J. Rijken, H. and Brouwer, "Total resistance in water and its relationship to body form". In R.C. Nelson and C.A. Morehouse (eds) *Biomechanics IV*, 1974, PP: 187-196.
- 5- Clarys, J.P. "Relationship of human body form to passive and active hydrodynamic drag". In E. Asmussen and K. Jorgensen (eds), *Biomechanics VI-B*. *Baltimore University Park Press*. 1978, PP: 120-125.
- 6- Costil, D.L. "Use of a swimming ergometer in physiological research *Res*". *Q.* 1966, 37, PP: 564-567.
- 7- Di Prampero, P.E. Pendergast, D.R. Wilson, D.W. and Rennine, D.W. "Energetics of swimming in man", *J. of Appl. Physio*, 1974, 37, PP: 1-5.
- 8- Francis, P. and Dean, N. "A biomechanical model for swimming

performances", In; J.P. Clarys and Lewillie (eds), *Swimming II*, Univ. Park Press, Baltimore. 1974, PP: 118-124.

9- Gordon, S.M. "Investigation of factor for the determination of maximum speed in free style swimming". *Theor. Prax. Korperkult.* 1969, 8, PP: 695-709.

10- Hollander, A.P., deGroot, G. "Measurement of active drag forces during swimming". *J. of Sport Science*, 1968, 4, PP: 21-30.

11- Holmer, I. "Oxygen uptake during swimming at different speeds in the aquatic swim mill". In; L.Lewillie and J.P. Clarys (eds), *Proceedings of the First International Symposium on Biomechanics in Swimmn.* Presse Universitaire de Bruxelles, Brussels. 1971, PP: 199-205.

12- Holmer, I. "Oxygen uptake during swimming in man". *J. Appl. Physiol.* 1972 , 33, PP: 502-509.

13- Holmer, I. "Physiology of swimming of man". *Acta Physio, Scand.* 1974a. (Suppl. 407).

14- Holmer, I. "Energy costs of arm stroke, leg kick and the whole stroke in competitive swimming styles". *Eur. J. of Appl. Physio.* 1974b, 33, PP: 105-118.

15- Holmer, I. "Propulsive efficiency of beaststroke and free style swimming". *Eur. J. of Appl. Physiol.* 1974, 33, PP: 95-103.

16- Holmer, I. "Efficiency of breaststroke and free style swimming". In; J.P. Clarys and L Lewillie (eds). *Swimming II.* University Park Press, Baltimore. 1975, PP: 130-136.

17- Houssay, R. "Forme, puissance et Stabilite' des poisson". *Hermann et fils*, Paris. 1912.

18- Jensen, R.K. and Blanksby, B. "A model for upper etremity forces during the under water phase of the frontcrawl". In: J.P. Clarys and L. Lewilie (eds),

Swimming II. Univer. Park Press, Baltimore. 1975, PP: 105-109.

19- Jiskoot, J. and Clarys J.P. "Body resistance on and under the water surface". In; J.P. Clarys and L. Lewillie (eds), *Swimming II. Univ. Park Press, Baltimore.1975, PP:105-109.*

20- Kemper, H.C., Verschuur, G."Efficienc in swimming of the frot crawl". In; P. Komi (ed), *Biomechanics V. Univ. Park Press, Baltimore. 1976, PP: 223-249.*

21- Kolmogorov, S.V. and Duplisheva, A."Active drag, useful mechanical power output and hydrodynamic force coefficient in different swimming strokes at maximal velocity". *J. of Biomechanics, 1992, 25,PP: 311-318.*

22- Kolmogorov, S.V., Gordon, B.J. and Caparet, J.M. "Hydrodynamic characterisitcs of competitive swimmers of different genders and performance levels". *J. of Appl. Biomechanics,1997,13,PP: 88-97.*

23- Magel, J.R. and McArdle, D.W. "Propelling force and metabolic and circulatory considerations in swimming". *Scholastic coach,1970, 40,PP: 58-67.*

24- Malzahn, K.D. and Stafenk, W."The effectiveness of different variations in breast and crawl stroke swimming". *Theor. Prax. Korperkult. 1973, 22, PP: 724-735.*

25- Miashita, M."Method of Calculating mechanical power in swimming the breast storke". *Res. Q. 1974, 45,PP: 128-137.*

26- Mosterd, Wl>l. "Analysis of the propelling force i swimming the breast stroke and the dolphin breast stroke". *Konikl. Akad. Wetenschap. Proce. C 1960, 63,PP: 394-399.*

27- Mosterd, W.L. and J. Jongbloed. "Analysis of the strke of highly trained swimmers". *Arbetsphysiol.1962, 20,PP: 288-293.*

28- Pendergast, D.R. and Rennie, D. "The influence of selected

biomechanical factors on the energy cost of swimming in"; B. Erikson and B. Fuberg (eds), *Swimming Medicine IV*, Univ. Park Press, Baltimore.1978, PP: 367-378.

29- Rennie, D.W., Prampero, P. and Pendergast, R."Energetics of swimming the crawl stroke. *Fed. Proc.*1972, 32, (Abstract), 1125.

30- Rennie, D.W., Pendergast, D.R. and diprampero, P.E."Energetics of swimming in man". In; J.P. Clarys and L. Lewillie (eds), *Swimming II*. Univ. park Press, Baltimore.1975, PP:97-104.

31- Safarian, I.G."Hydrodynamic characteristics of the crawl". *Theor. Pract. of Phys. Educ.* 1996, 11,PP: 18-21.

32- Seireg, A. and Baz, S."A mathematical model for swimming mechanics". In; L. Lewillie and J.P. Clarys (eds), *Proceedings of the First Intrnational Symposium on Biomechanics in Swimming*. Presse Universitaire de Bruxelles, Brussels. 1971, PP:81-84.

33- Schleihauf, R.E. "A hydrodynamic analysis of swimming propulsion". In; J. Terauds and E.W. Bedingfield (eds), *swimming III* . Univ. park press.1979, PP: 70-110.

34- Schleihauf, R.E., Gray, L. and deRose, J."Three dimentional analysis of hand propulsion in the sprint crawl stroke". In; A.P. Hollander P.A. Huijng and G. deGroot (eds), *Biomechanics and Medicine in Swimming*, Champaign. IL; Human Kinetics.1983, PP: 173-184

35- Schleihauf, R.E. "Research techniques for the determination of drag forces of swimming teachers". *Wiss. Z. Deutsch Hochschule Korperkufft, Leibzig*, 1958 and 1959, 1, PP: 161-180.

36- Shahbazi, M.M. and Sanders, R. "Kinematical approaches for

hydrodynamic force assessments". *Pak, J. of Appl. Sciences*.2002, 2(9),PP: 895-902.

37- Toussaint, H.M."Differences in propelling efficiency between competitive swimmers and triathlon swimmers". *Medicine and Scien. In Sports and Exercise*, 1990, 22, PP: 409-415.

38- Toussaint, H.M., deGroot, G., Schenau, I. "Active drag related to velocity in male and female swimmers". *J. of Biomechanics*,1988a, 21,PP: 435-438.

39- Zaciorsky, V.m. and Safarian, G."Research on factors related to maximal speed in free style swimming". *Theor. and Prax. Der Korpercult*.1972, 21, PP: 695-709.