



بررسی سه بعدی پارامترهای موثر بر طراحی سکان عمودی شناورهای تندرو

محمدحسن جوارشکیان^۱، علی اسماعیلی^۲، هادی معروف^۳

^۱ دانشیار دانشگاه فردوسی مشهد، دانشکده مهندسی، گروه مکانیک، javareshekeyan@ferdowsi.um.ac.ir

^۲ دانشگاه فردوسی مشهد، دانشکده مهندسی، گروه مکانیک، aliesmaeli30316@yahoo.com

^۳ دانشگاه فردوسی مشهد، دانشکده مهندسی، گروه مکانیک، Hadi.marroof@yahoo.com

چکیده

هدف از این تحقیق شبیه سازی سه بعدی سکان عمودی شناورهای تندرو و مطالعه اثر ضخامت هیدروفویل، زاویه حمله و سرعت حرکت آن با استفاده از یک نرم افزار عددی است. روش عددی استفاده شده برای حل معادلات ناویراستوکس، بر اساس الگوریتم فشار مینا می باشد. جریان دوفازی، آشفته، تراکم ناپذیر و پایا بوده و از ایده درصد سیال برای شبیه سازی دو فاز آب و هوا استفاده می شود. ابتدا بخشی از نتایج حاصل از حل عددی با نتایج تجربی مقایسه شده و انطباق خوب بین آن ها، بیان کننده صحت حل عددی کنونی می باشد. نتایج نشان دادند که سکان های ضخیم تر عملکردی بسیار نامناسبی دارند و هر چه سکان ضخیم تر می شود، نیروهای برآ کاهش چشمگیری داشته و از یک جای به بعد جهت اعمال نیرو عوض می شود.

واژه های کلیدی: سکان سه بعدی - درصد سیال - نیروی هیدرودینامیکی.

مقدمه

سکان یکی از اجزای حیاتی شناورهای تندرو می باشد که برای افزایش توانایی مانورپذیری آن ها نقش بسیار پر رنگ تری در مقایسه با دیگر اجزا دارد. گرچه تغییرات زیادی در راستای تکامل سکان ها رخ داده است اما برای دست یابی به عملکرد بالاتر، امروزه نیز باید این سیر تکامل ادامه پیدا کند. در ۳۰ سال اخیر تلاش های بسیاری در طراحی و ساخت سکان ها توسط دو روش سرعت سنجی تصویر ذرات و سرعت سنجی دوپلر لیزر انجام شده است و امروزه نیز از روش نوین دینامیک سیالات عددی استفاده می شود. در طی سال های اخیر تحقیقات زیادی در مورد طراحی سکان ها صورت پذیرفته است [۶-۱]. از جمله می توان به تحقیقات پوجوزیلسکی (Pogozelski) و همکاران اشاره کرد. آن ها به صورت آزمایشگاهی اثرات جدایش القایی بر روی سطح آزاد را مطالعه کردند [۱]. همچنین متکالف (Metcalfe) اثر شیار روی سطح هیدروفویل NACA0024 را در یک تحقیقات تجربی بررسی کرد [۲]. بلاسی (Blasi) و همکاران (۲۰۰۰) به مطالعه تجربی بر روی شکست امواج پشت هیدروفویل های غرق شده با استفاده از LDV پرداختند. آنها نشان دادند که در اثر شکست جریان، دنباله جریان بیشتر می شود [۳]. داسکوسکی (Daskovsky) نیز اثرات نزدیکی سطح بر روی نیروی برا تولیدی توسط هیدروفویل را به صورت تجربی و تئوری مورد بررسی قرار داد. نتایج حاکی از این است که کاهش نیروی برا در عمق های کمتر از دو برابر طول وتر هیدروفویل نسبت به عمق های بیشتر محسوس تر است [۴]. در سال ۲۰۰۱ فلیپو (Filippov) نیز جریان پایا عبوری از یک هیدروفویل را به صورت تحلیلی و با استفاده از روش اغتشاشات (Perturbation) حل کرد [۵]. در سال ۲۰۰۳، ریهی (Rhee) و همکاران به آنالیز یک هیدروفویل که دارای بالچه می باشد، متمرکز شدند. داده های اندازه گیری شده آنها نشان از قابلیت بکارگیری چنین وسیله ای

برای کاربردهای دریایی را بیان کرد [۶]. در همین سال بوروگیان (Bourgoyne) در طی یک کار آزمایشگاهی جریان دو بعدی حول یک هیدروفویل را تست کرد و عملکرد آن را از جنبه نیرو های برا و پسا و نیز ورتکس هایی ایجاد شده در پشت هیدروفویل را مورد بررسی قرار داد [۷]. کارکتیرا (Carcatera) و همکاران به صورت تحلیلی جریان حول یک هیدروفویل نوسانی را حل کردند [۸]. نکته دیگری که در وسایل نقلیه دریایی باید در نظر داشت، سیستم کنترلی می باشد. سیستم کنترلی وسایل مجهز به هیدروفویل که در زیر آب حرکت می کنند، به صورت دستی می باشد و انتخاب بهینه ترین حالت عملکردی آن به مهارت شخصی بستگی دارد که معیار این مهارت بر اساس مشاهده امواج می باشد. در حالی که اگر تخمینی از امواج موجود باشد می توان بهترین عملکرد سیستم را به خوبی تخمین زد. همین امر ضرورت مطالعه بر روی هیدروفویل ها را نشان می دهد. کیم و یاماتو (Kim and Yamato) سعی کردند که امواج تولیدی توسط وسایل دریایی دارای هیدروفویل را تخمین زده و در سیستم کنترلی استفاده کنند [۹]. اکی و وسالوس (Xie and Vassalos) با استفاده از روش پتانسیل هیدروفویل سه بعدی را مورد بررسی قرار دادند [۱۰]. در سال ۲۰۰۸، صادق حسینی و همکاران سطح آزاد امواج و شکست آنها و نیز جدایش ناشی از امواج را به صورت عددی شبیه سازی کردند و در پایان نشان دادند که در عددهای فرود بالا، امواج سطح آزاد تابعی از شکل جسم نبوده بلکه تابعی از عدد فرود هستند [۱۱]. در سال ۲۰۰۹، دیوکین (Ducoin) و همکاران به بررسی به تحقیقات عددی و تجربی بر جریان روی هیدروفویل پرداختند و پدیده لایه مرزی، جدایش جریان، تبدیل جریان از آرام به آشفته و نیز پدیده واماندگی را تحلیل کردند [۱۲]. در سال ۲۰۱۰، مونچ (Munch) و همکاران به بررسی اثر متقابل سیال و سازه یک هیدروفویل نوسانی کاملاً غرق شده در آب پرداختند [۱۳]. همچنین زانت (Zanette) و همکاران اثر جریان عبوری از پره های توربین آبی را مورد بررسی قرار دادند [۱۴].

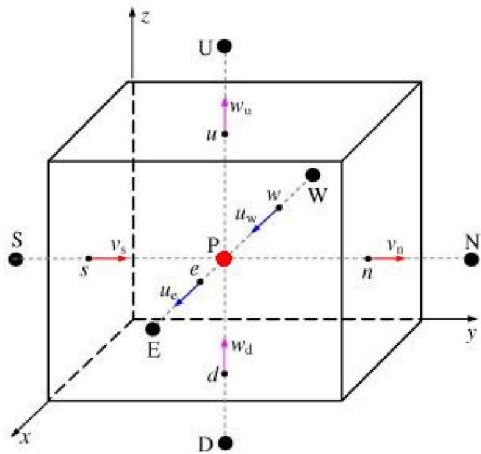
اما بیشتر مطالعات در حالت دو بعدی سکان را بررسی کردند و یا اینکه سکان کاملاً فرو رفته در آب را مورد مطالعه قرار دادند. با توجه با اهمیت بررسی سه بعدی پارامترهای موثر در طراحی سکان عمودی قایق های تندرو، در این تحقیق برخی از این پارامترها مد نظر قرار گرفته است. ضخامت سکان از پارامترهای بسیار موثر بر عملکرد آن ها می باشد، لذا این اثر به ازای مقادیر مختلف شبیه سازی شده و با یکدیگر مقایسه گردیده اند. همچنین اثر سرعت حرکت مورد توجه قرار گرفته و اثرپذیری سکان و جریان سیال اطراف از این تغییرات مطالعه شده است. از آنجایی که زاویه حمله سکان نقش بسزایی در مانورپذیری شناورها دارد، تغییرات آن هم بررسی شد. اثرات این پارامترها بر ضرایب هیدرودینامیکی (نیروی پسا و نیروی عرضی) و امواج پشت سکان تحقیق شده و نقش هر کدام از آن ها

که F_e نشان دهنده ترم جابه جا شده در واحد سطح سلول و Φ_e نیز مقدار خاصیت در سطح سلول است و مقدار آن را از طریق روشهای مختلفی می توان بدست آورد. در این تحقیق از روش تفاضلی بالا دست مرتبه دوم برای بدست آوردن ترم های جابه جایی استفاده شده است.

با قرار دادن ترم نفوذ و جابه جایی در معادله گسسته شده، نتایج معادلات گسسته شده برای هر تقریبی به فرم زیر است:

$$A_p \cdot \Phi_p = \sum_{m=E,W,N,S} A_m \cdot \Phi_m + S'_p \quad (9)$$

به طوری که a شامل ضرایب نفوذ و جابه جایی می باشد.



شکل ۱- حجم کنترل یک سلول و وجوه آن

حال با گسسته سازی معادلات حاکم می توان جریان حاکم را حل نمود. در این تحقیق، معادلات حاکم طبق دستورالعمل فوق گسسته سازی می شود. سپس بر اساس روش فشار مبنا و بر پایه الگوریتم SIMPLE جریان حول بالواره حل می شود.

مدل توربولانسی که در این تحقیق در نظر گرفته شده $k - \epsilon$ می باشد که معادلات حاکم بر آن به صورت زیر است:

$$\frac{\delta}{\delta t}(\rho k) + \frac{\delta}{\delta x_j}(\rho u_j k - \Gamma_k \frac{\delta k}{\delta x_j}) = G - \rho \epsilon \quad (10)$$

$$\frac{\delta}{\delta t}(\rho \epsilon) + \frac{\delta}{\delta x_j}(\rho u_j \epsilon - \Gamma_\epsilon \frac{\delta \epsilon}{\delta x_j}) = C_1 \frac{\epsilon}{k} G - C_2 \rho \frac{\epsilon^2}{k} \quad (11)$$

لزجت توربولانسی و ترم پخش معادلات فوق از رابطه زیر بدست می آید:

$$\mu_t = C_\mu \rho \frac{k^2}{\epsilon} \quad (12)$$

$$\Gamma_\phi^t = \left(\frac{\mu_t}{\sigma_\phi^t} \right) \quad (13)$$

برای مدل سازی جریان دو فازی نیز از روش درصد سیال (Volume of Fluid (VOF)) استفاده شده است. در روش VOF، در محل تماس دو فاز، معادله پیوستگی درصد حجمی (Volume Fraction) برای یک فاز یا هر دو فاز حل می شود. اگر تعداد فازها q باشد این معادله عبارتند از:

$$\frac{\delta v}{\delta t} [(\rho \phi)_p^{n+1} - (\rho \phi)_p^n] + I_e - I_w + I_n - I_s + I_u - \quad (14)$$

$$I_d = S_{\alpha q} \delta v$$

به طوری که \dot{m}_{pq} دبی جرمی انتقال یافته از فاز p به فاز q و \dot{m}_{qp} دبی جرمی انتقال یافته از فاز q به فاز p می باشد. $S_{\alpha q}$ نیز ترم چشمه می باشد که در این مسئله مقدار آن صفر است. α بیانگر درصد حجمی در یک سلول از فاز q می باشد. معادله درصد حجمی (Volume Fraction) برای فاز اولیه قابل حل نخواهد بود. لذا درصد حجمی فاز اولیه بر اساس رابطه زیر بدست می آید:

$$\sum_{q=1}^n \alpha_q = 1 \quad (15)$$

تحلیل گردیده است. از طرف دیگر، سکان در اکثر مواقع به صورت نیمه غوطه‌ور در آب قرار دارد، به همین دلیل در این تحقیق به شبیه‌سازی سکان عمودی که به صورت نیمه غوطه‌ور در آب قرار دارد، پرداخته شده و اثرات حرکت سکان بر امواج سطحی آب مورد مطالعه قرار گرفته است.

معادلات

معادلات اساسی که بقای جرم، ممنتوم و اسکالر را بیان می کند، در حالت برداری و مستقل از سیستم مختصات به صورت زیر بیان می شوند:

$$\frac{\delta \rho}{\delta t} + \text{div}(\rho \vec{V}) = S_m \quad (1)$$

$$\frac{\delta(\rho \vec{V})}{\delta t} + \text{div}(\rho \vec{V} \otimes \vec{V} - \vec{T}) = \vec{S}_v \quad (2)$$

$$\frac{\delta(\rho \phi)}{\delta t} + \text{div}(\rho \vec{V} \phi - \vec{q}) = \vec{S}_\phi \quad (3)$$

\vec{T} تانسور تنش و \vec{q} بردار شار (Scalar Flux) بر اساس متغیرهای وابسته بیان می شوند. تانسور تنش برای سیال نیوتنی به فرم زیر است:

$$\vec{T} = -P\vec{I} \quad (4)$$

به طوری که ρ چگالی، \vec{V} بردار سرعت و ϕ به عنوان یک متغیر مستقل اساسی (انرژی) است. \vec{q} بردار شار اسکالر است و از قانون فوریه بدست می آید:

$$\vec{q} = \Gamma_\phi \text{grad} \phi \quad (5)$$

معادلات (1)، (2) و (3) توسط روش حجم محدود گسسته شده، توسط الگوریتم فشار مبنا به روش ضمنی حل می شوند.

طبیعت معادلات اساسی به گونه ای است که می توان با انتگرال گیری کلی روی حجم کنترل ها، مجهولات مسئله را بدست آورد و به تحلیل جریان پرداخت. از آنجایی که در اغلب موارد این انتگرال گیری به صورت تحلیلی مشکل می باشد لذا از روش عددی استفاده می شود. برای حل عددی نیاز به گسسته سازی معادلات وجود دارد که با استفاده از روش حجم محدود انجام می شود. ابتدا محوطه حل، به تعدادی حجم گسسته شده یا سلول تقسیم شده، به طوری که همه متغیرها در مرکز سلول ها ذخیره می شوند.

حال این معادلات برای همه حجم کنترل ها بر اساس تئوری گوسی بکار گرفته می شود. برای هر متغیر ϕ (که می تواند مولفه های سرعت باشد) شکل کلی معادلات به فرم زیر می باشد:

$$\frac{\delta v}{\delta t} [(\rho \phi)_p^{n+1} - (\rho \phi)_p^n] + I_e - I_w + I_n - I_s + I_u - I_d = S_\phi \delta v \quad (6)$$

به طوری که I ترکیبی از ترم جابه جایی (Convection- I^c) و ترم نفوذ (I^D) می باشد. شار نفوذ به وسیله تفاضل مرکزی بیان می شود و می توان آن را برای سطح سلول مثل e در شکل (1) به صورت زیر بیان کرد:

$$I_e^D = D_e(\phi_p - \phi_e) - S_e^D \quad (7)$$

گسسته سازی شار جابه جایی به توجه خاصی نیاز دارد و همین امر است که موضوع توسعه طرحهای تفاضلی مختلف شده است. در مسائلی که دارای ترم جابه جایی می باشند لازم است که خاصیت مورد بررسی را در روی سطح سلول بدست آید. اما محل ذخیره کمیت ها در روی سطح سلول ها نمی باشند و در مرکز سلول ذخیره می شوند. به همین خاطر روش های مختلفی برای بدست آوردن مقدار خاصیت در سطح سلول وجود دارد.

شار جابه جایی برای سطح سلول e به فرم زیر است:

$$I_e^c = (\rho \cdot V \cdot A)_e \phi_e = F_e \phi_e \quad (8)$$

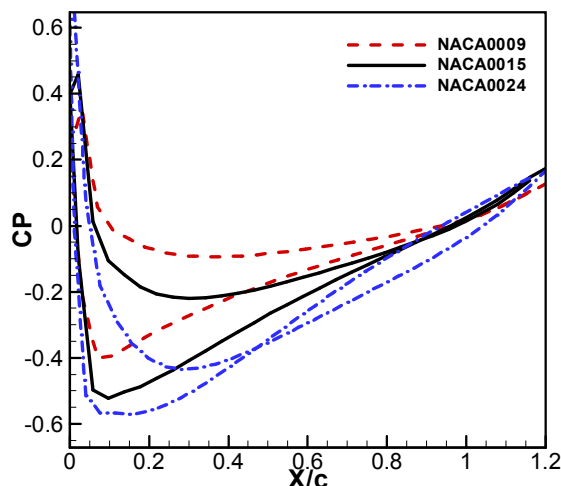


سطح سکان با نتایج آزمایشگاهی مقایسه شده است. این مقایسه نشان می دهد که حل عددی حاضر از دقت بسیار مناسبی برخوردار است، به طوری که نتایج حاصله با نتایج آزمایشگاهی تطابق بسیار خوبی دارد.

حال با اطمینان از صحت حل عددی می توان عوامل موثر بر سکان عمودی را بررسی کرد. در این تحقیق اثر ضخامت هیدروفویل، سرعت حرکت و تغییرات زاویه حمله مورد بررسی قرار گرفته است. شکل (۴) تاثیر ضخامت سکان بر توزیع ضریب فشار روی سطح سکان را نشان می دهد. در جدول (۱) نیروهای برآ و پسای تولیدی ناشی از حرکت سکان آورده شده است. نکته جالبی که جدول (۱) نشان می دهد این است که اگر ضخامت سکان افزایش یابد جهت نیروی اعمالی به سکان تغییر می کند. علت این رفتار را می توان در شکل (۴) جستجو کرد. این شکل تغییرات ضریب فشار روی سطح سکان را به ازای ضخامت های متفاوت در عدد فرود $Fr=9.57$ و زاویه حمله $AOA=5^\circ$ نشان می دهد. همانطور که در شکل دیده می شود، با افزایش ضخامت سکان فشار بر روی سطوح سکان کاهش می یابد. به طوری که در سکان NACA0024 خطوط فشار همدیگر را قطع می کنند که نشان دهنده تغییر جهت نیروی برآ است. به عبارت دیگر سکان ضخیم تر عملکرد نامناسبی دارد و سبب کاهش نسبت برآ به پسا شده و مانورپذیری قایق تندرو را کاهش می دهد.

جدول ۱- بررسی ضریب پسا و ضریب برآ در ضخامت های مختلف در عدد فرود $Fr=9.57$ و زاویه حمله ثابت $AOA=0$

Hydrofoil Type	C_L	C_D	
NACA 0024	-3.6202e-2	7.8527e-2	0.4610
NACA 0015	6.7013e-7	3.9790e-2	0.1684e-4
NACA 0009	3.4278e-6	2.0862e-2	0.1643e-3



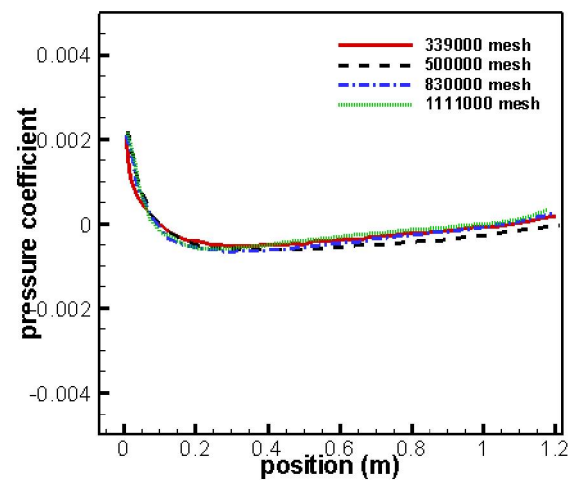
شکل ۴- نمودار ضریب فشار به ازای ضخامت های مختلف در یک عدد فرود $Fr=9.57$ و زاویه حمله $AOA=5^\circ$.

پارامتر موثر دیگر بر عملکرد سکان زاویه حمله می باشد. جدول (۲) تغییرات ضرایب برآ و پسا حول سکان با مقطع NACA0024 را به ازای زاویه حمله مختلف نشان می دهد. همانطور که این جدول نشان می دهد با افزایش زاویه حمله ضریب برآ سکان افزایش و ضریب پسا برآ آن کاهش می یابد و در نتیجه سبب افزایش نسبت برآ به پسا می شود.

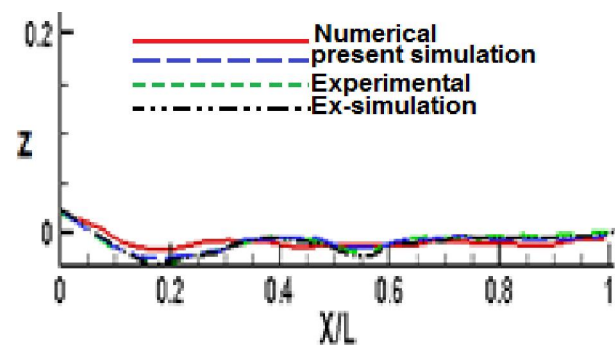
معادله درصد حجمی می تواند به هر دو روش ضمنی و صریح حل شود که در این تحقیق به روش ضمنی حل شده است.

نتایج

در این تحقیق سکان عمودی که نیمی از آن در داخل آب و نیمی دیگر در هوای آزاد قرار دارد، شبیه سازی شده و اثرات ضخامت، زاویه حمله و سرعت حرکت بررسی شده است. در اولین گام، لازم است که استقلال از شبکه بررسی شود. زیرا به ازای شبکه با تعداد سلول های متفاوت جواب های مختلفی بدست می آید. در نتیجه باید تعداد سلول ها را آنقدر تغییر داد که جواب حاصله از حل عددی، مستقل از تعداد سلول ها شود. به همین دلیل جریان حول یک سکان عمودی به ازای تعداد سلول های مختلف حل شده تا استقلال از شبکه بدست آید. شکل (۲) ضریب فشار حول هیدروفویل NACA0024 را در زاویه حمله صفر درجه ($AOA=0^\circ$) نشان می دهد. این شکل نشان داده اند که به ازای تعداد شبکه 830000 شبیه سازی مستقل از شبکه می شود، به طوری که با تغییر بیشتر در تعداد سلول ها جواب حاصله تغییر چندانی نمی کند که این نشان دهنده عدم وابستگی جواب به شبکه می باشد.



شکل ۲- نمودار استقلال شبکه برای هیدروفویل NACA0024



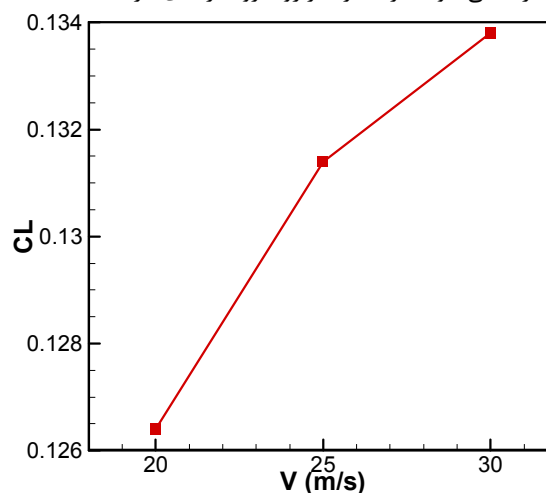
شکل ۳- نمودار اعتبار سنجی هیدروفویل NACA0024

گام بعدی در شبیه سازی های عددی اعتبارسنجی نتایج حاصله است. به همین دلیل بخشی از نتایج بدست آمده از حل عددی با نتایج تجربی منتشر شده [۴] مقایسه گردیده است (شکل ۳). در این شکل امواج آب روی

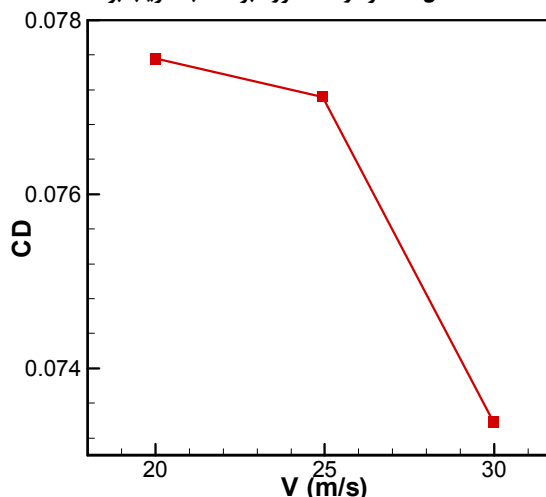
جدول ۲- بررسی ضریب پسا و ضریب برآ هیدروفویل NACA0024 در

زوایای حمله مختلف و عدد فرود $Fr=6.38$			
AOA(deg)	C_L	C_D	
0	-3.5150e-2	8.2676e-2	-0.4251
5	4.4895e-2	8.2597e-2	0.5435
10	1.2643e-1	7.7520e-2	1.6309

پارامتر تاثیرگذار دیگری که در این تحقیق بررسی شده، اثر عدد فرود می باشد. شکل (۵) تغییرات ضریب برآ را بر حسب سرعت های مختلف (عدد فرود) را نشان می دهد. این شکل نشان می دهد که هر چه عدد فرود (سرعت) زیاد می شود، ضریب برآ نیز روند رو به رشدی دارد.



شکل ۵- نمودار عدد فرود بر حسب ضریب برآ



شکل ۶- نمودار عدد فرود بر حسب ضریب پسا

از طرفی با افزایش عدد فرود ضریب پسا سکان روند کاهشی دارد، به طوری که در شکل (۶) تغییرات عدد فرود بر حسب ضریب پسا حول سکان عمودی با مقطع NACA0024 نشان می دهد. همچنین نتایج نشان داده است که با افزایش سرعت حرکت ضریب پسا سکان روند کاهشی دارد، در حالی که ضریب برآ روند رو به رشدی خواهد داشت.

نتیجه گیری

در این تحقیق شبیه سازی سه بعدی سکان عمودی شناورهای تندرو انجام شده و اثرگذاری پارامترهای موثر بر طراحی سکان ها مورد بحث و بررسی قرار گرفته است. جریان دوفازی، آشفته، تراکم ناپذیر و پایا بوده و از ایده درصد سیال برای شبیه سازی دو فاز آب و هوا استفاده شده است. با توجه به نقش ضخامت سکان، عدد فرود و زاویه حمله در مانورپذیری، اثر این

پارامترها بررسی شده و اثرپذیری سکان و جریان سیال اطراف از این تغییرات مطالعه شده است. نتایج حاصله نشان می دهند که سکان های ضخیم تر عملکرد نامناسبی دارند و سبب کاهش مانورپذیری قایق تندرو و افزایش مصرف انرژی آن ها می شود. همچنین افزایش عدد فرود سبب زیاد شدن ضریب برآ و کاهش ضریب پسا می شود. زاویه حمله نیز در صورت افزایش یافتن سبب روند صعودی ضریب برآ و کاهش پسا می شود. در پایان می توان نتیجه گرفت که هر چه ضخامت سکان کم تر و عدد فرود و زاویه حمله بزرگ تر باشند، قایق تندرو عملکرد مناسب تری دارد.

مراجع

- [1]- Pogozelski E., Kata J. and Huang T., "The flow structure around a surface-piercing strut," Journal of physics of Fluids , Vol. 9, pp. 1387-1399, 1997.
- [2]- Metcalf B., "Experimental investigations of wave induced separation on a surface-piercing NACA0024 hydrofoil," Thesis , university of Iowa ,Iowa city ,IA ,USA, 2000.
- [3]- Blasi P. D., Romano G. P., Felice F. D., and Lalli F., "Experimental Study of Breaking Wave Flow Field Past a Submerged Hydrofoil by LDV," International Journal of Offshore and Polar Engineering, Vol. 10, No. 4, (ISSN 1053-5381), 2000.
- [4]- Daskovsky M., "The hydrofoil in surface proximity,theory and experiment," Ocean Engineering ,Vol. 27 , pp.1129-1159, 2000.
- [5]- Filippov S. I., "Flow Past a Submerged Hydrofoil," Journal of Fluid Dynamics, Vol. 36, No.3, pp.489-496, 2001.
- [6]- Rhee S. H., Kim S. E., Ahn H., Oh J., and Kim H., "Analysis of a jet-controlled high-lift hydrofoil With a flap," Journal of Ocean Engineering, Vol.30, pp. 2117-2136, 2003.
- [7]- Bourgoyne D. A., "Flow over a Hydrofoil with Trailing Edge Vortex Shedding at High Reynolds Number," Doctor of Philosophy (Mechanical Engineering) in The University of Michigan, 2003.
- [8]- Carcaterra A., Dessi D., and Mastroddi F., "Hydrofoil vibration induced by a random flow: A stochastic perturbation approach," Journal of Sound and Vibration, Vol. 283, pp. 401-432, 2005.
- [9]- Kim S. H., and Yamato H., "The estimation of wave elevation and wave disturbance caused by the wave orbital motion of a fully submerged hydrofoil craft," Journal of Marine Science Technology, Vol. 10, pp. 22-31, DOI 10.1007/s00773-004-0183-9, 2005.
- [10]- Xie N., and Vassalos D., "Performance analysis of 3D hydrofoil under free surface," Journal of Ocean Engineering, Vol. 34, pp. 1257-1264, 2007.
- [11]- Sadathosseini S. H., Mousaviraad S. M., Firoozabadi B. and Ahmadi G., "Numerical Simulation of Free-Surface Waves and Wave Induced Separation," Journal of Scientia Iranica, Vol.15, pp. 323, 2008.
- [12]- Ducoin A., Andre J., Astolfi A., Deniseta F., and Sigrist J. F., "Computational and experimental investigation of flow over a transient pitching hydrofoil," European Journal of Mechanics B/Fluids , Vol. 28, pp.728-743, 2009.
- [13]- Munch C., Ausoni P., Braun O., Farhat M., Avellan F., "Fluid-structure coupling for an oscillating hydrofoil," Journal of Fluid and Structure, Vol. 7, 2010.
- [14]- Zanette J., Imbault D. and Tourabi A., "A design methodology for cross flow water turbines", Journal of Renewable Energy, Vol. 35, pp. 997-1009, 2010.