

بررسی جریان حول هیدروفویل دو المانی به همراه اثر زمین با روش پانل

علی جعفریان^۱، مسعود مسعودی فرید^۲، احمد صداقت^۳

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی اصفهان، دانشکده مکانیک، ajafarian@me.iut.ac.ir

^۲ دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی اصفهان، دانشکده مکانیک، m_masoudifarid@me.iut.ac.ir

^۳ استادیار، دانشگاه صنعتی اصفهان، دانشکده مکانیک، sedaghat@cc.iut.ac.ir

چکیده

روش‌های مختلفی که پیچیدگی توزیع توابع تکین در آن متفاوت می‌باشد ارائه شد. نیشیاما [۲]، یاماگوچی [۳]، گلدن [۴]، از توزیع توابع منفرد (چاه، چشمه، دابلت و گردابه) استفاده نمودند. ماراتنز [۱] با استفاده از توزیع نقطه‌ای گردابه به مدل‌سازی پره توربین پرداخت. هاس و اسمیت [۵] و بریستو و گیسینگ [۱] از توزیع ثابت دابلت استفاده نمودند. میناسیان از توزیع گردابه ثابت و پیوسته به منظور مدل کردن جریان تراکم‌پذیر حول ایرفویل جفت استفاده کرد. مک فارلن [۱] روش پانل را در جریان‌های سه‌بعدی تراکم‌پذیر به کار برد. لازم به ذکر است روش‌های فوق پانل‌ها را به صورت خط راست فرض می‌کنند.

در این مقاله به حل جریان حول هیدروفویل دو المانی در نزدیکی سطح زمین با استفاده از توزیع خطی گردابه پرداخته شده است. و اثر زاویه حمله، فاصله دو المان، زاویه المان دوم و نیز اثر تعداد پانل بررسی شده است. همچنین نمودارهای توزیع فشار در طول هیدروفویل آورده شده است و نیز تغییرات ایجاد شده در توزیع فشار در اثر تغییر در پارامترهای مختلف آورده شده است. تغییرات ایجاد شده در مقدار نیروی لیفت در اثر تغییر در پارامترهای مختلف نیز بررسی شده است.

مدلسازی عددی

روش پانل:

روش پانل روشی است عددی مبتنی بر اصل برهم‌نهی توابع منفرد. در این روش سطح جسم به قسمتهای کوچکی به نام پانل تقسیم شده و بر روی هر قسمت تابع منفردی (چاه، چشمه، گردابه یا دابلت) در نظر گرفته می‌شود. این توابع می‌توانند به صورت نقطه‌ای، ثابت و یا خطی و یا ترکیبی از آنها باشند. (شکل ۱، ۲، ۳، ۴). در مرحله بعد می‌بایست اثر تابع پتانسیل تک تک پانلها بر روی بقیه نقاط جریان از جمله پانلهای دیگر بدست بیاید (شکل ۱)، سپس با استفاده از اصل برهم‌نهی تابع پتانسیل و توزیع فشار در کل جریان بدست می‌آید. در پروژه حاضر از توزیع خطی گردابه مطابق شکل ۱ برای حل جریان حول هیدروفویل دو المانی در نزدیکی سطح زمین استفاده شده است. با توجه به مراجع [۶] و [۷] خواهیم داشت:

$$\phi = \phi_{\infty} + \phi_v \quad (1)$$

$$\phi_{\infty} = U_{\infty} x \cos(\alpha) + U_{\infty} y \sin(\alpha) \quad (2)$$

$$\phi_v = -\frac{\gamma_1}{2\pi} \int_{x_1}^{x_2} x_0 \tan^{-1} \frac{y}{x-x_0} dx_0 \quad (3)$$

جریان حول هیدرو فویل دو المانی در نزدیکی سطح زمین مدل سازی شده است. به منظور حل جریان و بدست آوردن توزیع فشار از روش پانل استفاده شده است. اثر عوامل مختلف نظیر اثر تغییرات زاویه حمله، زاویه المان دوم، فاصله دو المان و همچنین تعداد پانل‌ها مورد بررسی قرار گرفته است. با افزایش زاویه حمله شاهد افزایش ضریب لیفت بوده‌ایم و این تغییرات تا زاویه حمله ۳۰ درجه به صورت خطی می‌باشد. افزایش زاویه المان دوم موجب افزایش لیفت گردیده به نحوی که افزایش ضریب لیفت بر روی المان دوم ملموس‌تر می‌باشد. با افزایش فاصله دو المان مقدار لیفت کاهش می‌یابد و با افزایش تعداد پانل، شاهد دقیق‌تر شدن مقدار لیفت هستیم.

کلمات کلیدی: هیدروفویل، جریان پتانسیل، روش پانل

مقدمه

از آنجا که حل جریان پتانسیل در اطراف هندسه‌های پیچیده نیازمند ساده سازی‌های بسیار می‌باشد، استفاده از روش‌های عددی برای بدست آوردن جواب‌های دقیق‌تر با ساده‌سازی‌های کمتر ضروری می‌نماید. استفاده از روش‌های عددی این امکان را می‌دهد، تا رفتار جریان حول هندسه‌های واقعی با شرایط مرزی مناسب، مورد بررسی قرار گیرد.

یکی از روش‌های عددی، روش پانل می‌باشد که از توزیع توابع تکین بر روی سطح جسم به منظور بدست آوردن مشخصات جریان استفاده می‌کند. از آنجا که حل عددی به روش پانل محدود به بدست آوردن قدرت توابع تکین می‌شود، این روش از نظر هزینه محاسباتی، نسبت به روش‌های CFD از قبیل FVM و FDM بسیار اقتصادی‌تر می‌باشد. درحالی‌که روش‌های عددی از قبیل FDM ذاتاً برای حل کل میدان جریان به کار گرفته می‌شوند.

روش پانل امکان مطالعه جریان‌های مختلف را با استفاده از اصل برهم‌نهی المان‌های تکین فراهم می‌کند. این المان‌های تکین شامل چاه، چشمه، گردابه و دابلت می‌باشد که در نقاط مشخصی روی سطح جسم چیده می‌شوند.

کرن [۱] با استفاده از این اصل پیشنهاد حل جریان حول جسم با استفاده از چشمه و دابلت را ارائه کرد. کلاگ و پراگر [۱] از توزیع خطی گردابه برای حل جریان حول جسم استفاده کردند. بعد از آن

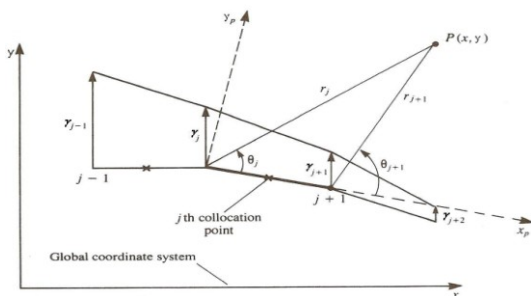
$$w_p = -\frac{\gamma_0}{4\pi} \ln \frac{(x-x_1)^2 + y^2}{(x-x_2)^2 + y^2} - \frac{\gamma_1}{2\pi} \left[\frac{x}{2} \ln \frac{(x-x_1)^2 + y^2}{(x-x_2)^2 + y^2} + (x_1 - x_2) + y \left(\tan^{-1} \frac{y}{x-x_2} - \tan^{-1} \frac{y}{x-x_1} \right) \right] \quad (6)$$

که مختصات به کار رفته در معادلات فوق، مختصات محلی می باشد و از آنجا که مختصات نقاط هیدروفویل در دستگاه مختصات اصل می باشد، برای تبدیل آن به مختصات محلی، از تبدیل زیر استفاده می شود:

$$\begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix}_p = \begin{pmatrix} \cos \alpha_i & -\sin \alpha_i \\ \sin \alpha_i & \cos \alpha_i \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x - x_0 \\ y - y_0 \end{pmatrix} \quad (7)$$

و پس از محاسبه سرعتها در مختصات محلی، توسط تبدیل زیر، سرعتها در مختصات اصلی به دست می آید. که از این سرعتها برای به دست آوردن ماتریس ضرایب استفاده می شود.

$$\begin{pmatrix} u \\ w \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \alpha_i & \sin \alpha_i \\ -\sin \alpha_i & \cos \alpha_i \end{pmatrix} \begin{pmatrix} u_p \\ w_p \end{pmatrix} \quad (8)$$



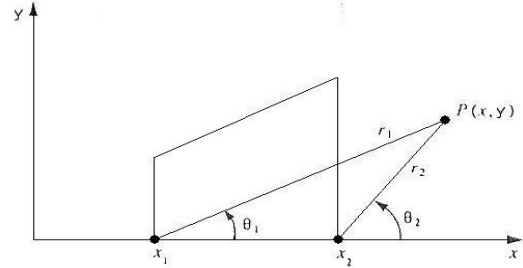
شکل ۳: مختصات محلی و کلی

تقریب سطح هیدروفویل با پانل های مسطح، توسط N پانل در شکل ۴ ملاحظه می شود. باتوجه به فرم خطی معادله (۴) در هر پانل ۲ مجهول برای قدرت گردابه در ابتدا و انتهای پانل وجود دارد، بنابراین باتوجه به وجود N پانل، N+1 مجهول و معادله برای هیدروفویل وجود دارد که یک معادله با استفاده از شرط کوتاه که در انتهای هیدروفویل ارضاء می شود بدست می آید. شرط کوتاه بیان می کند که در دو پانل بالا و پایین انتهای لبه فرار می بایست جمع سرعت های مماسی صفر باشد. (شکل ۵) که به شرط زیر برای توزیع خطی گردابه منتهی می شود:

$$\gamma_{N+1} + \gamma_1 = 0 \quad (9)$$

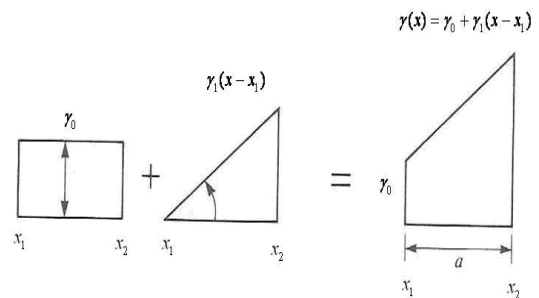
شرط کوتاه در ماتریس ضرایب اعمال می شود:

ϕ_∞ پتانسیل جریان یکنواخت آزاد می باشد و همانطور که در شکل (۱) مشاهده می شود P نقطه فرضی در جریان می باشد که دارای مختصات (x, y) است. همچنین x1 و x2 مختصات ابتدا و انتهای پانل می باشد.



شکل ۱: پارامترهای مربوط به تحلیل به روش پانل برای یک هیدروفویل

باتوجه به شکل ۲ یک پانل با توزیع خطی در راستای محور x در نظر بگیرید (x1 < x < x2) قدرت گردابه به صورت زیر می باشد.



شکل ۲: بر هم نهی گردابه ثابت و خطی

$$\gamma(x) = \gamma_0 + \gamma_1(x - x_1) \quad (4)$$

براساس اصل بر هم نهی می توان قدرت گردابه را به دو قسمت ثابت و خطی $\gamma(x) = \gamma_1 x$ تقسیم کرد.

معادلات سرعت در مختصات محلی مستقر بر روی هر پانل به صورت زیر می باشد:

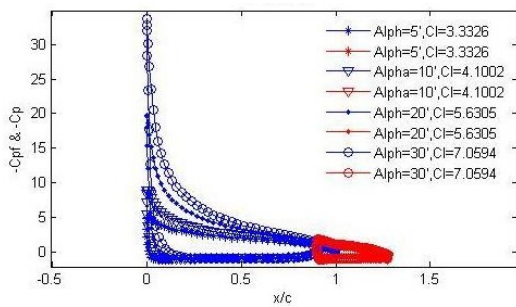
$$u_p = \frac{\gamma_0}{2\pi} \left[\tan^{-1} \frac{y}{x-x_2} - \tan^{-1} \frac{y}{x-x_1} \right] + \frac{\gamma_1}{4\pi} \left[y \ln \frac{(x-x_1)^2 + y^2}{(x-x_2)^2 + y^2} + 2x \left(\tan^{-1} \frac{y}{x-x_2} - \tan^{-1} \frac{y}{x-x_1} \right) \right] \quad (5)$$

به مدلسازی خصوصیات جریان واقعی از جمله لزجت، گردابه ها و اثرات بوجود آمده در لبه بالها نمی باشد.

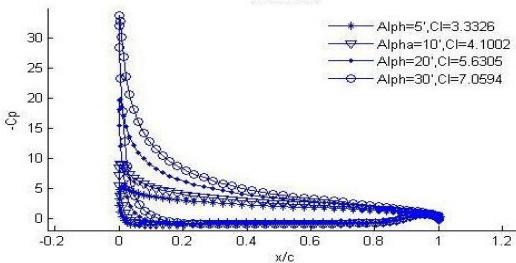
اثر تغییرات زاویه حمله

با ثابت نگه داشتن سایر پارامترها به بررسی اثر تغییرات زاویه حمله پرداخته شده است. باتوجه به شکل های ۷ تا ۹ ملاحظه می شود که با افزایش زاویه حمله، ضریب لیفت افزایش پیدا کرده و اختلاف فشار بین سطوح بالایی و پایینی هیدروفویل افزایش یافته است که با افزایش زاویه حمله از ۵ تا ۳۰ درجه شاهد افزایش ۱۱۱/۸ درصدی ضریب لیفت می باشیم.

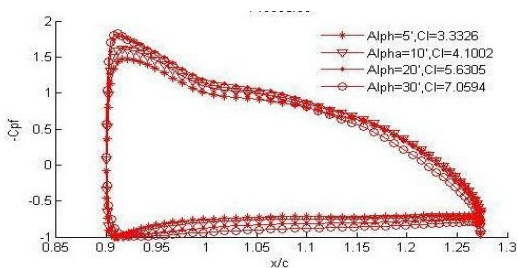
نکته قابل توجه آنکه، با توجه به شکل ۷، میزان رشد نمودار Cp بر روی المان اول بسیار چشمگیرتر از المان دوم بوده وهمانطور که در نمودار Cp المان دوم پس از اندکی افزایش در زاویه حمله ثابت می شود.



شکل ۷: اثر تغییرات زاویه حمله بر روی نمودار توزیع ضریب فشار و مقدار ضریب لیفت (Cl)



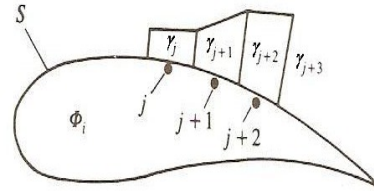
شکل ۸: اثر تغییرات زاویه حمله بر روی نمودار توزیع ضریب فشار المان اول



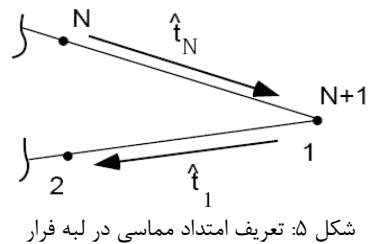
شکل ۹: اثر تغییرات زاویه حمله بر روی نمودار توزیع ضریب فشار المان دوم

باتوجه به شکل های ۱۰ تا ۱۲ در زوایای حمله منفی مقدار لیفت کاهش یافته و حتی برای زوایای منفی بزرگتر شاهد مقادیر لیفت منفی بوده و علت آن افزایش فشار در سطح فوقانی هیدروفویل و کاهش فشار در زیر هیدروفویل می باشد که با کاهش زاویه

$$\begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1N} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2N} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{N-1,1} & a_{N-1,2} & \dots & a_{N-1,N} \\ 1 & 0 & 0 & \dots & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \gamma_1 \\ \gamma_2 \\ \dots \\ \gamma_N \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \text{RHS}_1 \\ \text{RHS}_2 \\ \dots \\ \text{RHS}_{N-1} \\ 0 \end{pmatrix}$$



شکل ۴: تقریب سطح هیدروفویل با پانل های مسطح

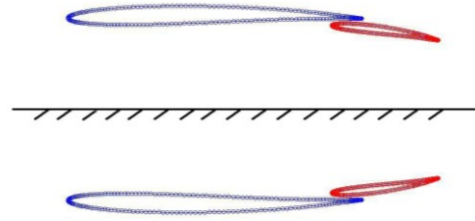


شکل ۵: تعریف امتداد مماسی در لبه فرار

مدلسازی اثر زمین

در این مقاله به منظور مدلسازی اثر زمین از روش آینه ای استفاده شده است، بدین ترتیب که باتوجه به فاصله هیدروفویل تا زمین، یک هیدروفویل مجازی به صورت قرینه در زیر محور مختصات در نظر گرفته شده است.

از آنجا که هدف این مقاله، بررسی عوامل مختلف بر روی یک ایرفول دوآلمانی میباشد، همانطور که در شکل ۶ ملاحظه می شود، به منظور مدلسازی اثر زمین نیاز به حل معادلات برای چهار المان بوده و بنابراین شرط کوتاه می باید در انتهای هر چهار المان ارضا گردد.



شکل ۶: روش آینه ای برای مدل سازی اثر زمین

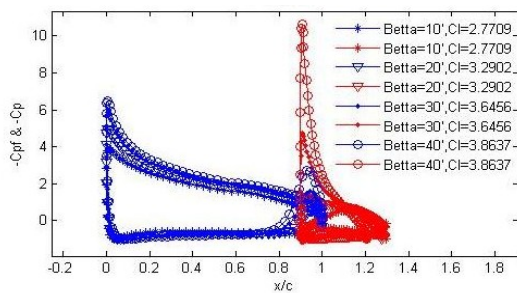
نتایج

در این مقاله به بررسی عوامل مختلف نظیر اثر فاصله زمین تا هیدروفویل، اثر تغییرات زاویه حمله، اثر تغییر زاویه المان دوم، اثر تعداد پانل و همچنین اثر فاصله دو المان از یکدیگر بر روی هیدروفویل NACA5620 پرداخته شده است. لازم به ذکر است که روش پانل دو بعدی استاندارد به علت استفاده از توابع پتانسیل، قادر

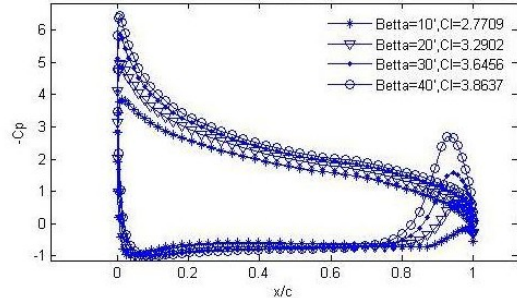
شکل ۱۳: تغییرات خطی ضریب لیفت با افزایش زاویه حمله تا ۱۵ درجه

اثر تغییرات زاویه المان دوم

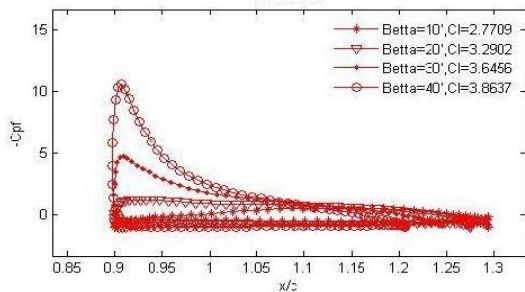
با ثابت نگه داشتن سایر پارامترها به بررسی اثر تغییرات زاویه المان دوم پرداخته شده است. همانطور که در شکل های ۱۴ تا ۱۷ مشاهده می شود، با افزایش زاویه المان دوم شاهد افزایش لیفت بوده که این افزایش، بیشتر ناشی از افزایش لیفت در المان دوم بوده و همانطور که در شکل ۱۴ ملاحظه می شود برای زوایای بزرگتر از ۳۵ درجه، نمودار توزیع فشار مربوط به المان دوم بزرگتر از نمودار توزیع فشار المان اول می باشد و با افزایش زاویه المان دوم از ۱۰ تا ۴۰ درجه شاهد افزایش ۳۹/۴ درصدی ضریب لیفت می باشیم.



شکل ۱۴: اثر تغییرات زاویه المان دوم بر روی نمودار توزیع ضریب فشار و مقدار ضریب لیفت (Cl)



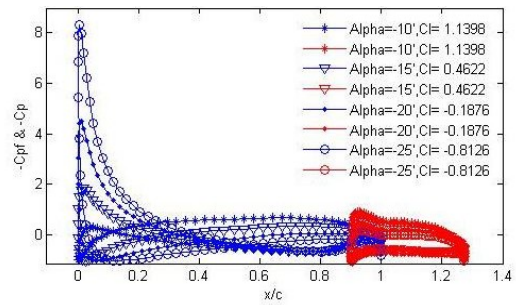
شکل ۱۵: اثر تغییرات زاویه المان دوم بر روی نمودار توزیع ضریب فشار المان اول



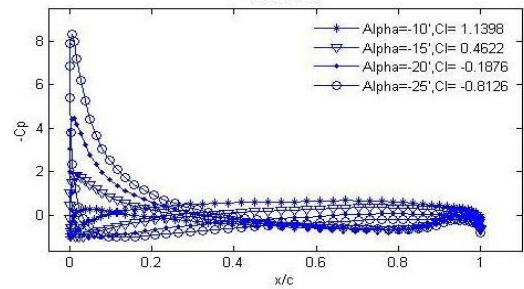
شکل ۱۶: اثر تغییرات زاویه المان دوم بر روی نمودار توزیع ضریب فشار المان دوم

در شکل ۱۷ شاهد روند افزایش ضریب لیفت با افزایش زاویه المان دوم می باشیم.

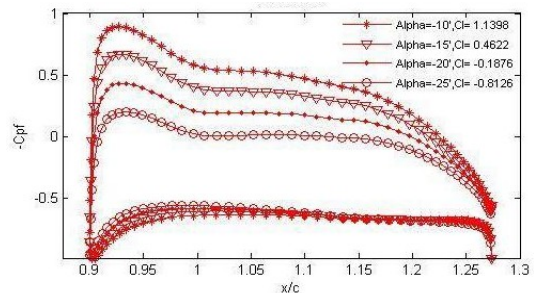
حمله از ۱۰- تا ۲۰- درجه شاهد کاهش ۱۷۱/۲ درصدی ضریب لیفت می باشیم.



شکل ۱۰: اثر تغییرات زاویه حمله (زوایای منفی) بر روی نمودار توزیع ضریب فشار و مقدار ضریب لیفت (Cl)



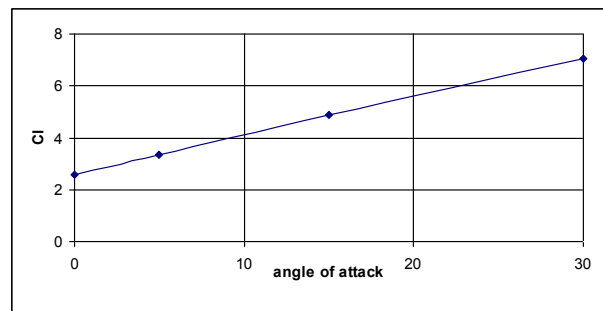
شکل ۱۱: اثر تغییرات زاویه حمله (زوایای منفی) بر روی نمودار توزیع ضریب فشار المان اول



شکل ۱۲: اثر تغییرات زاویه حمله (زوایای منفی) بر روی نمودار توزیع ضریب فشار المان دوم

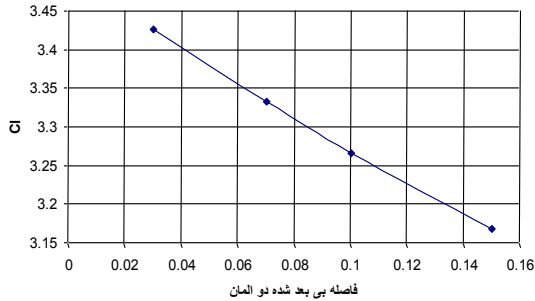
لازم به ذکر است که روند فوق برای فواصل مختلف هیدروفویل تا زمین صادق می باشد.

باتوجه به شکل ۱۳ ملاحظه می شود که مقدار ضریب لیفت با افزایش زاویه حمله تا ۳۰ درجه به صورت خطی تغییر میکند و همچنین مشاهده میگردد که مقادیر ضرایب لیفت مربوط به $H/C=12/5$ و بدون اثر زمین کاملاً بر یکدیگر منطبق هستند.



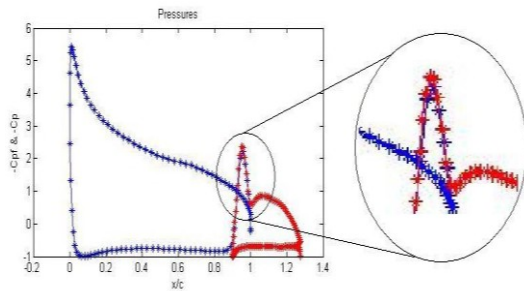
شکل ۲۰: اثر فاصله المان دوم تا المان اول بر روی نمودار توزیع ضریب فشار المان دوم

در شکل ۲۱ شاهد روند کاهش ضریب لیفت با افزایش فاصله دو المان می باشیم.



شکل ۲۱: اثر تغییرات فاصله دو المان بر روی ضریب لیفت

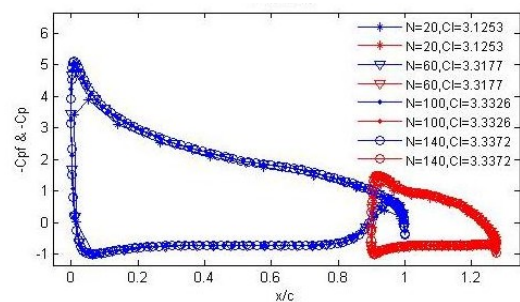
نکته قابل توجه این است که در فواصل کم باتوجه به هم پوشانی مناسب دو المان شاهد توزیع فشارهای کاملا یکسان در ناحیه هم پوشانی می باشیم. این پدیده در شکل ۲۲ نشان داده شده است.



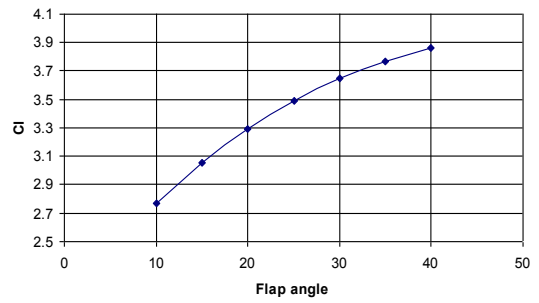
شکل ۲۲: توزیع یکسان فشار در ناحیه هم پوشانی دو المان در فواصل اندک

اثر تعداد پانل

در این مقاله به بررسی تعداد پانل از ۱۰ تا ۲۰۰ پانل بر روی هر المان و اثر آن بر روی نمودارهای C_p و ضرایب لیفت پرداخته شده است. همانطور که در شکل های ۲۳ تا ۲۵ مشاهده می شود برای تعداد پانلهای کم مقدار لیفت محاسبه شده کمتر از مقدار واقعی بوده و این مقدار با افزایش تعداد پانل تا ۱۰۰ پانل روی هر المان افزایش یافته و برای تعداد پانلهای بزرگتر از ۱۰۰ تقریباً شاهد ثابت شدن ضریب لیفت و نمودارهای C_p هستیم.



شکل ۲۳: اثر تعداد پانل بر روی نمودار توزیع ضریب فشار و مقدار ضریب لیفت (C_L)

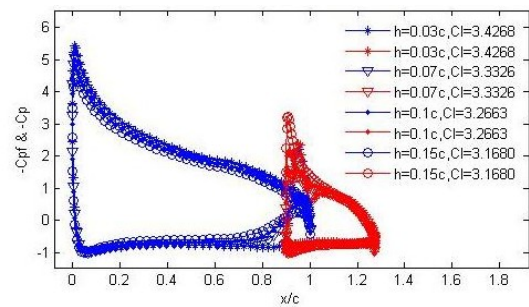


شکل ۱۷: اثر تغییرات زاویه المان دوم بر روی ضریب لیفت

لازم به ذکر است که روند فوق برای فواصل مختلف هیدروفویل تا زمین صادق می باشد.

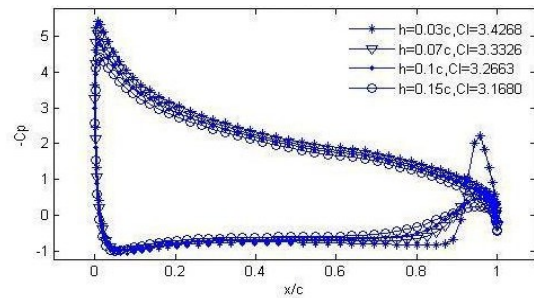
اثر فاصله المان دوم تا المان اول

باتوجه به شکل های ۱۸ تا ۲۱ ملاحظه می شود که با افزایش فاصله دو المان از یکدیگر مقدار لیفت کاهش می یابد که علت آن افزایش جریان عبوری از بین دو المان و در نتیجه کاهش فشار در زیر هیدروفویل می باشد. با افزایش فاصله دو المان از 0.03C تا 0.15C شاهد کاهش ۷/۵۵ درصدی ضریب لیفت می باشیم.



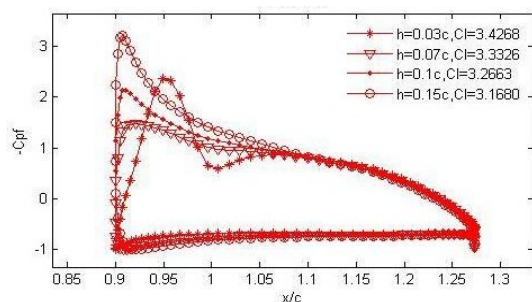
شکل ۱۸: اثر فاصله المان دوم تا المان اول بر روی نمودار

توزیع ضریب فشار و مقدار ضریب لیفت (C_L)



شکل ۱۹: اثر فاصله المان دوم تا المان اول بر روی نمودار توزیع ضریب

فشار المان اول



[1]-T. Belamri, F.Bakir, S.Kouidri, and R.Rey, "Vortex surface method: some numerical problems of the potential calculation, Int. J. Numer. Meth. Fluids", Vol. 36, pp. 867-884, 2001.

[2]- Nishiyama, T.and Miyamoto,M, "Lifting surface method for calculating the hydrodynamics characteristics of supercavitation hydrofoil operating near the free water", Tech.Rep,Tohoku University34, p 123.

[3]- Yamaguchi, H.and Kato, H., "A study on a supercavitation hydrofoil with rounded nose Naval Arch",Ocean Engng, Vol. 20, P. 52, 1982.

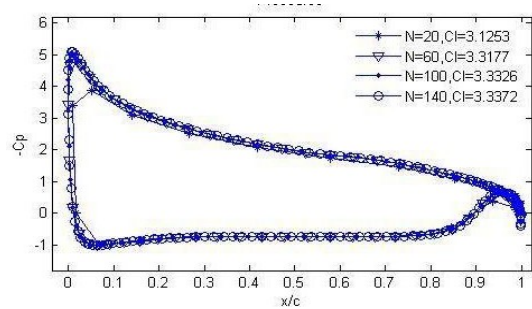
[4]- Golden D.w.(1975), "A numerical method for two-dimensional vavitation lifting flow", In MIT Department of Ocean Engineering,REP,81512-1.

[5]- Girardi RM, Bizarro AF. "Modification of the Hess and Smith method for calculating cascades and airfoils with cusped trailing edge". Report, Instituto Tecnológico de Aeronáutica-ITA, 12 228-900-Sa`o Jose` dos Campos, SP,Brazil.

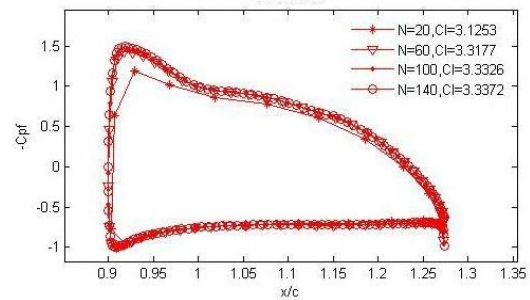
[6]- Katz, J., Plotkin, A., *Low speed aerodynamics*, 1991.

[۷]- مقدمه ای بر روشهای عددی در آیرودینامیک، تالیف: جک مورن،

ترجمه م.سعیدی



شکل ۲۴: اثر تعداد پانل بر روی نمودار توزیع ضریب فشار المان اول



شکل ۲۵: اثر تعداد پانل بر روی نمودار توزیع ضریب فشار المان دوم

نتیجه گیری

با توجه به تحلیل انجام شده و همچنین نتایج ارائه شده در جدول ۱ ملاحظه می شود که با افزایش زاویه حمله از ۰ تا ۳۰ درجه، شاهد افزایش ۱۲۱/۶ درصدی ضریب لیفت بوده ایم و این تغییرات تا زاویه حمله ۳۰ درجه به صورت خطی می باشد. افزایش زاویه المان دوم از ۱۰ تا ۳۰ درجه موجب ۳۴/۴ درصد افزایش لیفت گردیده به نحوی که افزایش ضریب لیفت بر روی المان دوم ملموس تر می باشد. با افزایش فاصله دو المان از ۰/۰۳ تا ۰/۱۵ طول وتر، مقدار لیفت به میزان ۶/۶ درصد کاهش می یابد و با افزایش تعداد پانل، مقدار لیفت به صورت دقیق تر محاسبه می شود. همانطور که ملاحظه شد میزان تأثیر تغییرات زاویه حمله و همچنین زاویه المان دوم بر ضریب لیفت بسیار بیشتر از تأثیرات فاصله دو المان می باشد.

جدول ۱: درصد تغییرات ضریب لیفت

تغییرات اعمال شده		درصد تغییرات Cl
H/C	0.5 ~ 1.4	9.8
	1.4 ~ 4	5.2
	4 ~ 100	2.39
alpha	0 ~ 10	59
	10 ~ 20	37.3
	20 ~ 30	25.3
beta	10 ~ 20	18.7
	20 ~ 30	10.8
	30 ~ 40	5.9
flap distance	0.03C ~ 0.07C	-2.7
	0.07C ~ 0.1C	-1.9
	0.1C ~ 0.15C	-3