

بررسی اثرات پارامترهای هندسی هیدروفویل روی ضرایب هیدرودینامیکی با استفاده از روش المان مرزی

حسن قاسمی	ستار سهرابی	حمید فاضلی
دانشکده مهندسی کشتی سازی و صنایع دریایی	دانشگاه صنعتی مالک اشتر	دانشکده مهندسی دریایی
تهران		
hamidfaz2000@yahoo.com	satar_sohrabi@yahoo.com	gasemi@cic.aut.ac.ir

چکیده

در این مقاله با کمک روش المان مرزی و با استفاده از شرایط مرزی کاتا، ثابت بودن سیرکولاسیون از تئوری کلوین و شرط مرزی جنبشی به تحلیل اثرات پارامترهای هندسی روی ضرایب هیدرودینامیکی و جریان اطراف هیدروفویل می پردازیم [۱]. در این مقاله هیدروفویل با شکل، ضریب منطری و زاویه سوئپ مختلف مقایسه می شود و با رسم توزیع فشار و محاسبه نیروهای لیکت و درگ اثرات این کمیت های هندسی را روی ضرایب هیدرودینامیکی و جریان اطراف هیدروفویل را بررسی می شود.

کلمات کلیدی: هیدروفویل، ضریب شکل، زاویه سوئپ، ضرایب هیدرودینامیکی

مقدمه:

۱- روش المان مرزی:

امروزه یکی از روشهای بررسی پدیده های سیالات مثلاً بدست آوردن نیروهای وارد بر اجسام غوطه ور دریک سیال روشهای محاسباتی (CFD) است.

روش مش مرزی، قویترین و مناسبترین روش برای تحلیل هیدرودینامیکی اجسام بالابرنده و یا پیش برنده، تحلیل مقاومت موج سازی کشتیها، تحلیل سازه های شناور در امواج دریا، و... می باشد. استفاده از تئوری گرین، پتانسیل سرعت می تواند به صورت معادله انتگرال خطی در کل مرز بیان شود و سپس برای هر نقطه میدان، این روش قادر است تا جریان حول هر شکل دلخواه را تحلیل کند. کارهای اصلی این روش، ایجاد شبکه (تولید

مش)، محاسبه ضرائب تأثیر سینگولاریتی^۱ در هر مش، حل معادلات همزمان برای مقاومتهای سینگولاریتی مجهول و تعیین سرعتهای محلی، فشارها، نیروها و گشتاورهای کل می‌باشد [۱].

هدف در این بخش بدست آوردن نیروهای بالابر مربوط به هیدروفویل مغروق و بدست آوردن ضرایب هیدرودینامیکی در شرایط مختلف می‌باشد. برای این منظور سطح جسم را به تعداد پانل های چهار گوش تقسیم بندی می‌کنیم و سپس توزیع مجهول در اجزایی از قبیل دوقطبی و چشمه و چاه در نظر می‌گیریم. یک سری ساده سازی و اعمال شرایط مرزی حاکم بر مسئله جریان پتانسیل را بدست می‌آوریم. داشتن پتانسیل جریان به راحتی می‌توان نیروهای وارد بر جسم را بدست آورد. به طور کلی مزایایی این روش عبارتند از:

- تولید المان در این روش ساده‌تر است بدلیل اینکه فقط در سطح جسم در مرز آن، المان و یا شبکه نیاز است.
 - روش المان مرزی برای محاسبه کردن تابع میدان و مشتقات تابع میدان موثر است.
 - روش المان مرزی نیاز به حل عددی توابع انتگرالی، توابع اینتریپولاسیون و حل دستگاه سیستم معادلات دارد. برای مسائل خطی و سهمی این روش خیلی نتایج دقیق و راندمان بالائی دارد. [۱].
- لازم به ذکر می‌باشد که اساس این روش استفاده از جریان پتانسیل است لذا فرضیات خاصی را در مسئله لحاظ کرد که از آن جمله می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

۱. غیر قابل تراکم بودن سیال

۲. غیر لزج بودن سیال

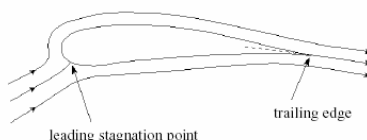
۳. غیر چرخشی بودن سیال

اصولاً نیروی برآ یک هیدروفویل ناشی از فشار سطوح است و لزجت اثر ناچیزی بر روی نیروی برآ میگذارد. بنابراین این نتیجه اکثراً برای ضرایب برآ اندازه گیری شده صادق است. محاسبات بر پایه سیال غیر لزج به طور معقول دقیق است با توجه به این مسئله زمانی که جریان را بصورت غیر لزج در نظر می‌گیریم خطوط جریان در

¹ Singularity

انتهای سطوح بالابر به شکل معقولی نمی‌باشد و به همین دلیل در قسمت انتهایی هیدروفویل می‌بایستی شرط کاتا ارضا شود [۲].

شرط کاتا، می‌توان شکل جریان ایده‌آل را تولید نمود به شرطی که نقطه سکون عقبی را به اجبار در لبه فرار هیدروفویل قرار دهیم. این ایده به عنوان شرط کاتا نامیده می‌شود در شکل (۱-۱) نشان داده شده است.



شکل (۱-۱) برقراری شرط کاتا در قسمت لبه فرار فویل در جریان پایا

۲- معادلات ریاضی و شرایط مرزی :

ناحیه بسته V با مرز S و بردار واحد \vec{n} عمود بر S شکل (۲-۴) را در نظر بگیرید. مرز S ناحیه جریان شامل سطح جسم S_B ، سطح جسم S_W و سطح کنترل بیرونی S_∞ که سطح جسم و ویک را احاطه کرده است می‌باشد.

با این فرض که سیال در V غیر قابل تراکم، غیر ویسکوز و غیر چرخشی است، V در معرض سرعت جریان ورودی یکنواخت \vec{v}_∞ در بالادست جریان قرار می‌گیرد. این فرضیات، میدان جریان حول جسم با پتانسیل سرعت مغشوش ϕ مشخص می‌شود که معادله لاپلاس را ارضا می‌کند :

$$\nabla^2 \phi = 0 \quad (1-2)$$

مسأله مقدار مرزی با مشخص کردن شرایط مرزی روی مرز S به صورت زیر ساخته می‌شود :

(i) شرط مماس روی سطح خیس شده :

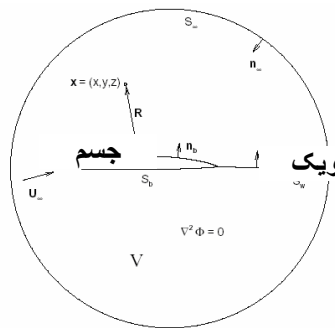
شرط مرزی جنبشی اینست که سرعت عمود بر سطح جسم S_B باید صفر باشد.

$$\frac{\partial \phi}{\partial n} = 0 \quad (2-2)$$

$$\frac{\partial \phi}{\partial n} = -\vec{V}_l \cdot \vec{n} \quad (3-2)$$

که \vec{n} بردار واحد عمود به سمت خارج مرز است.

(ii) شرایط سینماتیکی و دینامیکی در ویک :



شکل (۲-۲)-محدوده جریان پتانسیل برای سطوح بالابر سه بعدی به همراه ویک آن

$$(\Delta P)_{onS_w} = P^U - P^L = 0 \quad (4-2)$$

$$\left(\Delta \frac{\partial \phi}{\partial n}\right) = \left(\frac{\partial \phi}{\partial n}\right)^U - \left(\frac{\partial \phi}{\partial n}\right)^L = 0 \quad (5-2)$$

U و L سطوح بالایی و پایینی را به ترتیب نشان می‌دهند.

(iii) ثابت بودن سیرکولاسیون از تئوری کلونین :

برای مسأله لیفت یکنواخت، تغییر پتانسیل در سطح ویک برابر با سیرکولاسیون Γ حول جسم است و در جهت جریان روی S_w ثابت است.

$$(\Delta \phi)_{onS_w} = \phi^U - \phi^L = \Gamma \quad (6-2)$$

(iv) شرط سکون در بینهایت :

در سطح کنترل بیرونی S_∞ ، سرعت مغشوش مربوط به جسم باید در جاییکه این سطح در فاصله بینهایت از جسم قرار دارد صفر باشد.

$$\nabla \phi \rightarrow 0 \quad \text{as} \quad S_\infty \rightarrow 0 \quad (7-2)$$

(v) شرط کاتا در لبه عقبی^۱ :

شرط کاتا [۷]

در لبه عقبی لازم است تا سیرکولاسیون را مشخص کند. معمولترین شکل ، این شرط بیان می کند که سرعت سیال در لبه عقبی ثابت می ماند یعنی :

$$0 \quad [8] \quad (2)$$

-

(۸)

با استفاده از تئوری گرین^۲ ، پتانسیل سرعت مغشوش در هر نقطه میدان می تواند به صورت معادله انتگرال بر حسب توزیع چشمه و دیپول نرمال^۳ نوشته شود. بنابراین برای نقطه میدان P در V داریم

$$4 \pi E \phi (P) = \iint_{s_s} \left\{ \phi (q) \frac{\partial}{\partial n_q} \frac{1}{R(p, q)} ds - \frac{1}{R(p, q)} \right\} ds + \iint_{s_w} \Delta \phi (q) \frac{\partial}{\partial n_q} \frac{1}{R(p, q)} ds \quad (8-2)$$

که :

² Green's Theorem

¹ Kutta Condition on Trailing Edge

³ Source and Normal Dipole (Doublet)

$$E = \begin{cases} 0 & \text{for the point } P \text{ inside } S, \\ 1/2 & \text{for the point } P \text{ on } S, \\ 1 & \text{for the point } P \text{ outside } S, \end{cases}$$

پتانسیل سرعت جزئی در V : $\phi(p)$

نقطه میدان در جایگاه پتانسیل القایی محاسبه شده: $p(x,y,z)$

نقطه چشمه در جایگاه سینگولاریتی قرار دارد: $q(\xi, \eta, \zeta)$

مشتق نرمال نسبت به سطح مرزی در نقطه q : $\frac{\partial}{\partial n_q}$

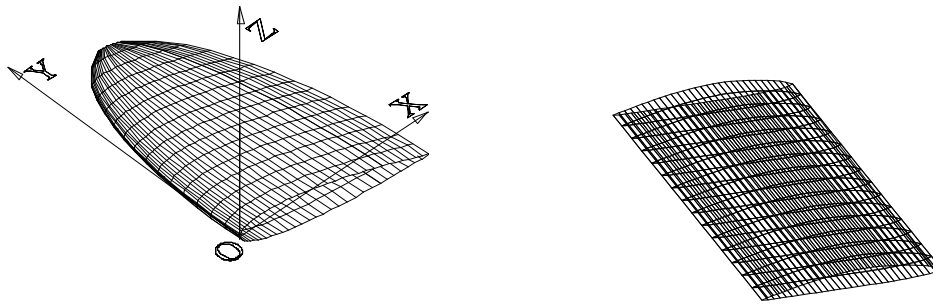
فاصله بین نقطه میدان p و نقطه مرزی q : $R(p;q)$

این معادله می‌تواند به عنوان نمایش پتانسیل سرعت بر حسب توزیع دیپول نرمال از مقاومت ϕ روی سطح جسم S_B ، توزیع مقاومت چشمه $\frac{\partial \phi}{\partial n}$ روی S_B و توزیع دیپول نرمال از مقاومت $\Delta \phi$ روی سطح ویک S_W در نظر گرفته شود [۲].

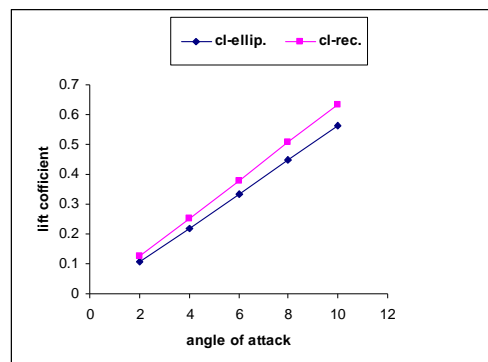
۳- روش المان مرزی برای محاسبه ضرایب هیدرودینامیکی

در این قسمت دو هیدروفویل با مقطع (NACA 0015) و به شکل مستطیلی و بیضوی در نظر گرفته می‌شود. طول کورد ماکزیمم برابر با یک متر می‌باشد، طول اسپن حدوداً ۱،۲ متر می‌باشد و ضریب منطری تقریباً ۳ می‌باشد. ضرایب هیدرو دینامیکی را برای هر دو هیدرو فویل در سرعت 1 m/s و در زوایای حمله مختلف بدست آورده و با هم مقایسه می‌شود.

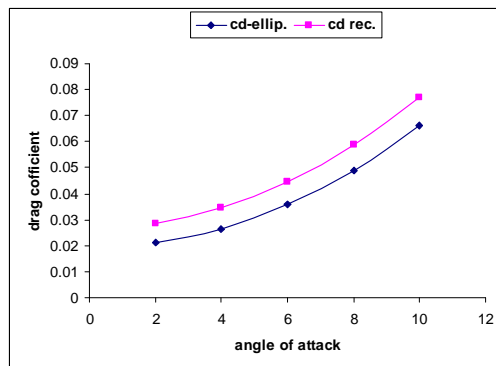
همچنین توزیع فشار را در مقاطع مختلف رسم کرده و اثرات شکل هیدرو فویل را بر روی ضرایب هیدرو دینامیکی دیده می‌شود.



شکل (۱-۳) - شبکه بندی سطح دو هیدروفویل به روش المان مرزی



شکل (۲-۳) - مقایسه بین ضریب لیفت هیدروفویل بیضوی و مستطیلی در زوایای حمله مختلف



شکل (۳-۳) - مقایسه بین ضریب درگ هیدروفویل بیضوی و مستطیلی در زوایای حمله مختلف

با مقایسه ضرایب لیفت مشخص می شود که در سرعت ثابت و زاویه حمله ثابت ضرایب لیفت هیدروفویل مستطیلی بیشتر از هیدروفویل بیضوی است .

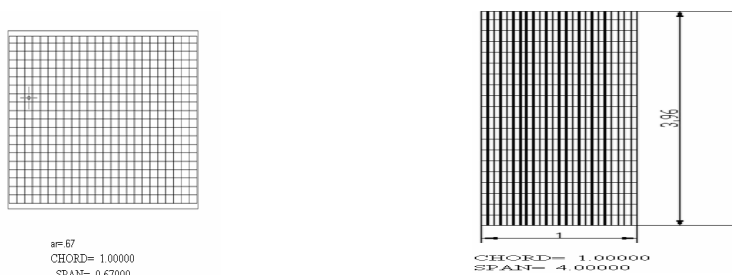
و مقایسه ضرایب درگ برای هر دو هیدروفویل در سرعت وزاویه حمله ثابت ضریب درگ در هیدروفویل با شکل مستطیل بزرگتر است .

۴- اثرات ضریب منظری بر روی ضرایب هیدرو دینامیکی

طبق تعریف ضریب منظری^{۵۵} یک هیدروفویل برابر است با $(AR = \frac{b^2}{S})$ که در این رابطه b برابر است با طول

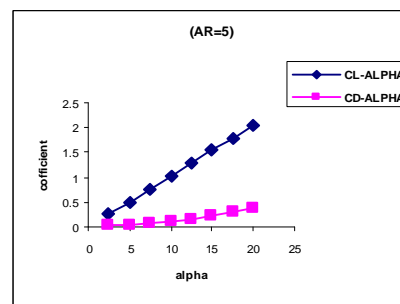
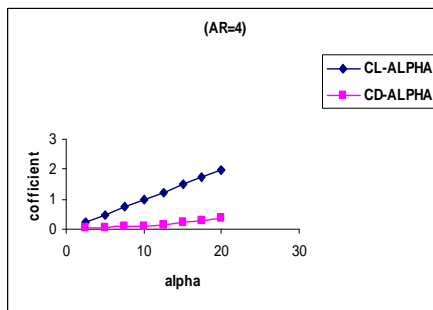
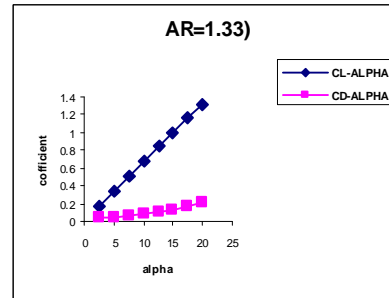
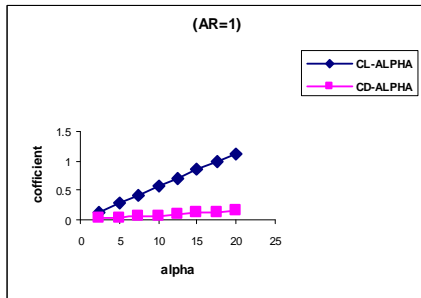
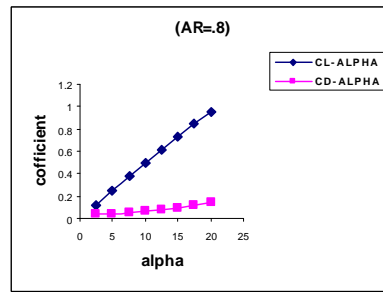
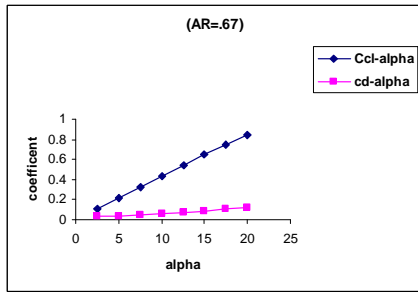
اسپن فویل و S برابر است با طول مساحت هیدروفویل.

ضریب منظری روی ضریب درگ القایی تاثیر می گذارد و یکی از پارامتر های مهم بر روی درگ کل است . ضریب منظری با درگ القایی نسبت عکس دارد به اینصورت که هر چه ضریب منظری بزرگتر باشد ، درگ القایی کم و نتیجتاً درگ کل کم می شود . به همین منظور شش هیدروفویل مستطیلی با ضریب منظری ۰،۶۷ ، ۰،۸ ، ۱،۰ ، ۱،۳۳ ، ۴،۰ ، ۵،۰ را در نظر گرفته و با استفاده از روش المان مرزی نیروهای لیفت و درگ نیروها را ضرایب هیدرو دینامیکی را محاسبه کرده و اثر ضریب منظری را روی آنها بررسی می شود . در شکل زیر دو هیدروفویل مورد بحث با ضریب منظری مختلف نشان داده شده است .

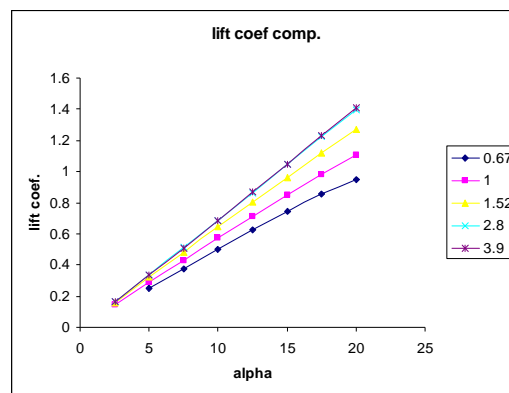


شکل (۴-۱) - هیدروفویل با ضریب منظری مختلف

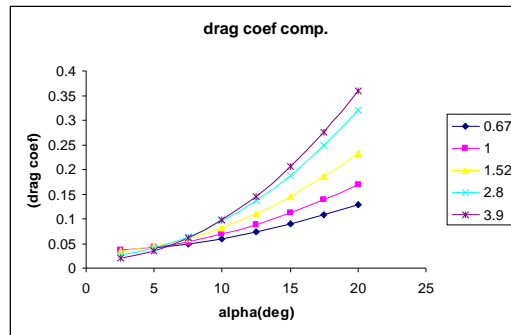
⁵⁵ Aspect ratio



شکل (۲-۴) - ضرایب لیفت و درگ در ضرایب منطری مختلف



شکل (۳-۴) - مقایسه ضرایب لیفت در ضرایب منطری مختلف



شکل (۴-۴) - مقایسه درگ فشاری در ضرایب منطری مختلف

بر طبق رابطه ای که توسط پرنتل ارائه شد {۱} :

$$\frac{dC_l}{d\alpha} = a = \frac{a_o}{1 + a_o / \pi AR}$$

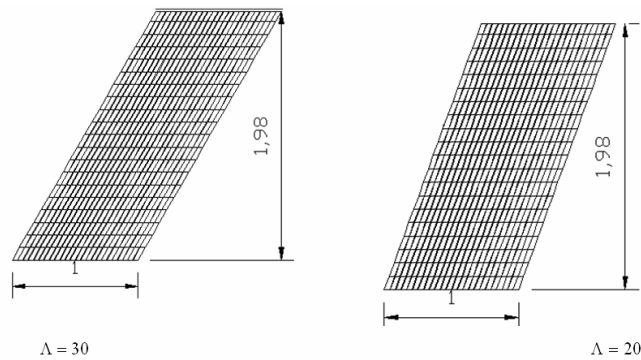
شیب ضریب لیفت نسبت به زاویه حمله با افزایش ضریب منطری افزایش می یابد . با توجه به شکل (۴-۳) مقایسه ضرایب لیفت این مطلب را نشان می دهد .

همانطور که قبلا گفته شد ضریب درگ القایی با مجذور ضریب لیفت نسبت مستقیم و ضریب منطری نسبت عکس دارد . در زوایای حمله کوچک ، چون ضریب لیفت کوچک است بنابراین هر چه ضریب منطری بزرگتر باشد ضریب درگ فشاری کوچکتر می شود ولی در زوایای حمله بزرگ اثر ضریب لیفت بر ضریب منطری غلبه کرده و ضریب درگ فویل با ضریب منطری بزرگتر ، بیشتر می شود . شکل (۴-۴) همین مطلب را نشان می دهد .

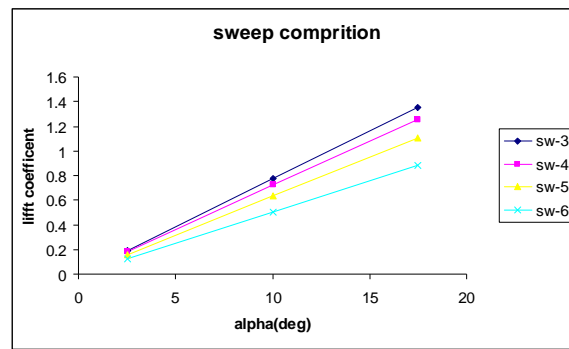
۵- اثر زاویه سوئپ بر روی ضرائب هیدرودینامیکی

یکی دیگر از پارامترهای هندسی که بر روی ضرایب هیدرو دینامیکی تاثیر گذار است زاویه سوئپ می باشد . برای این منظور هیدروفویل مختلف را با ضریب منطری ثابت در نظر می گیریم و در زوایای حمله مختلف ضریب برآ و پسای آنها را اندازه گیری نموده و بر حسب زاویه سوئپ مختلف محاسبه می شود.

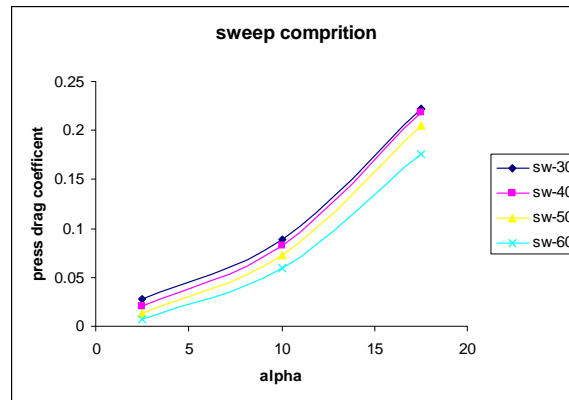
در شکل زیر دو نمونه از هیدروپلنها با زاویه سوئپ مختلف را نشان می دهد.



شکل (۵-۱) - هیدروفویل با ضریب منظری یکسان ($AR=2$) و زاویه سوئپ مختلف



شکل (۵-۲) - مقایسه بین ضرایب لیفت هیدروفویل با زوایای سوئپ مختلف



شکل (۵-۳) - مقایسه بین ضرایب درگ فشاری هیدروفویل با زوایای سوئپ مختلف

همانطور که از نمودارهای شکل (۵-۲) برای شیب نمودار برآ انتظار می‌رفت با توجه به زیاد شدن زاویه سوئپ

فویل شیب نمودار برآ نیز کاهش می‌یابد [۳]. از دلایل که می‌توان این نمودارها را توجیه نمود اینست که با

افزایش زاویه سوئیپ فویل باعث کاهش میزان سرعت نسبی بر روی هیدروفویل شده و باعث کاهش نیروی برآ می‌گردد. همچنین با افزایش زاویه سوئیپ، ترم سرعت عمود بر فویل نیز کاهش می‌یابد.

با مقایسه ضرایب لیفت در زوایای سوئیپ مختلف نتیجه میشود هر چه مقدار زاویه Λ (زاویه سوئیپ) زیاد شود مقدار $(C_{L-\alpha})$ هیدروفویل برای یک نسبت منظری ثابت کم می‌شود و همچنین هر چه مقدار زاویه Λ کمتر باشد میزان تغییرات $C_{L-\alpha}$ هیدروفویل با نسبت منظری a کمتر است .

در مورد ضریب درگ هر چه زاویه سوئیپ افزایش می‌یابد مقدار ضریب درگ کاهش یافته و در زوایای سوئیپ کوچک با زاویه حمله ثابت این ضرایب به هم نزدیک هستند .

منابع و مراجع :

- 1- H.Schlichting (1981) "Boundury- Layer Theory" ,Mc Graw-Hill,
- 2- Ghassemi , H., (2003) "Boundary Element Method Applied to the Cavitating Hydrofoil and Marine Propeller", J. of Int. Oceanic Engineering, Vol. 6.
- 3- Schlichting, H., (1979) "Aerodynamics of airplane, Mc-Graw-Hill international Book company , pp.143-161.