

آنالیز شکل هندسی و تنش بالشتک سه طبقه نوع بسته در شناورهای ACV

کاووس زارع^۱، بهادر سرانجام^۲، سید مجتبی رضوی^۳

^۱کارشناس ارشد مهندسی مکانیک، دانشگاه مالک اشتر؛ kavooszare@yahoo.com

^۲دکترای مهندسی مکانیک، دانشگاه مالک اشتر؛ saranjam@mut.ac.ir

^۳کارشناس ارشد مهندسی مکانیک، دانشگاه مالک اشتر؛ smojtabarazavi@yahoo.com

چکیده

در این تحقیق، معادلات هندسی و تعادل نیروها برای بالشتک سه طبقه بسته، نوشته شده است. با توجه به غیرخطی بودن دستگاه معادلات بالشتک، در برنامه نوشته شده از روش عددی نیوتن-رافسون برای حل دستگاه معادلات استفاده شده است. به منظور استفاده جامع از نتایج، متغیرها به صورت بی بعد در نظر گرفته شده است. در انتها نمودار کشش در لوپها و دیافراگمهای بالشتک بر حسب ضریب افت فشار بدست آمده است. با توجه به ماکزیمم کشش حاصل و در نظر گرفتن ضریب اطمینان مناسب، جنس بالشتک انتخاب می گردد.

کلمات کلیدی: هواناو، آئرواستاتیک، بالشتک، لوپ سه طبقه

مقدمه

توسعه هواناو بطور جدی و عملی در انگلستان زمانی آغاز شد که کریستفر ککرل^۱ در سال ۱۹۵۵ شروع به انجام آزمایشهایی بر روی ایده هواناو یعنی استفاده از یک بالشتک هوا به عنوان تکیه گاه و کاهنده نیروی پسا نمود. این سازه انعطاف پذیر به عنوان بخش جدید به این وسیله آئرواستاتیک اضافه شد و نسل جدیدی از شناورهای دریایی با نام ACV^۲ بوجود آمد [۱].

برخی مزایای استفاده از هواناو به شرح زیر می باشد: حرکت بر روی آب و سطح زمین اعم از هموار و ناهموار، گل آلود یا پوشیده از برف، نیروی پسای کمتر در حرکت بر روی آب به دلیل غوطه ور نبودن وسیله در آب، فرسایش کمتر وسیله و افزایش عمر آن در آب. از آنجا که این وسیله هم روی خشکی و هم روی آب در شرایط مختلف حرکت می کند، در صنایع نظامی و حمل و نقل در برخی مناطق صعب العبور مورد توجه می باشد. هواناو بر روی لایه ای از هوا که توسط فن به زیر آن فرستاده می شود قرار می گیرد. این لایه هوا به وسیله بالشتک^۳ در بر گرفته می شود و جریان هوا از زیر بالشتک از طریق فاصله یا گپ هوا برقرار می گردد (شکل ۱) [۲]. در حقیقت به کار بردن بالشتکهای انعطاف پذیر باعث به وجود آمدن هواناوها شده است. نقش بالشتک در هواناو عبارت است از [۳]:

(الف) ایجاد لایه هوا و بلند کردن سازه سخت هواناو.

(ب) در موقع حرکت از روی امواج و موانع مانند یک ماده با سختی کم می باشد که سازه را در بر گرفته است.

(ج) با ساخت بالشتکهایی که قابلیت تغییر شکل هندسی زیادی دارند میتوان تغییرات فشار و دبی جریان هوای هواناو^۴ را کنترل کرد. این نوع بالشتکها را بالشتکهای واکنشی می نامند.

(د) بالشتکها با قابلیت جابجایی رو به بالا و پائین (به کمک زنجیرهای متصل به آنها) علاوه بر نگهداشتن هوا قابلیت زیادی برای کنترل هواناو ایجاد می کنند.

(ه) با تقسیم بندی هوا به وسیله بالشتک، کنترل حرکت هواناوهای سنگین میسر می شود.

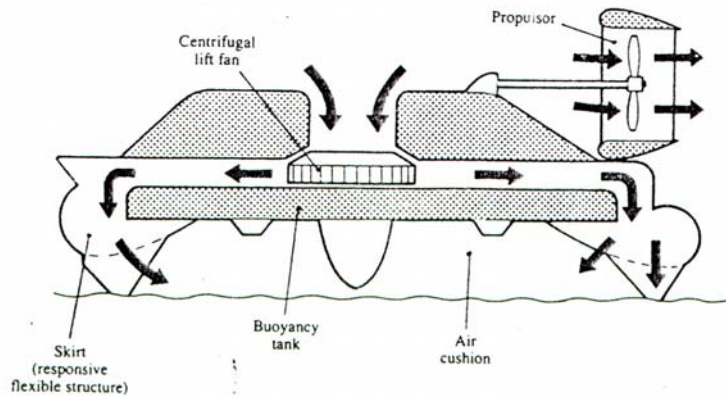
بررسی کارشناسی نشان می دهد که تاکنون طیف گسترده ای از مدل های بالشتک مورد آزمون قرار گرفته است و علاوه بر تغییر فرم بالشتک، ترکیب جدید چیدمانی و کنترل هوای خروجی به زیر انگشتی ها نیز صورت پذیرفته است [۴ و ۵]. به طور قطع بالشتک، فرم هندسی آن و مسائل مربوط به انتخاب جنس و شکل ترکیبی آن اهمیت زیادی در کارایی شناورهای دارای بالشتک هوایی دارند و همین مساله توجه بیش از پیش طراحان و محققان شناورهای کلاس آئرواستاتیک را به این مهم معطوف می دارد. بنابراین لزوم بازنگری در طرحهای پیشین و نتایج آزمایشگاهی و بهینه سازی روشهای قدیمی امری اجتناب ناپذیر در توسعه دانش طراحی این شناورها میباشد.

1-Cristopher Cockerell

2- Air Cushion Vehicle

3- Skirt

4 - Hovercraft Lift Air Flow



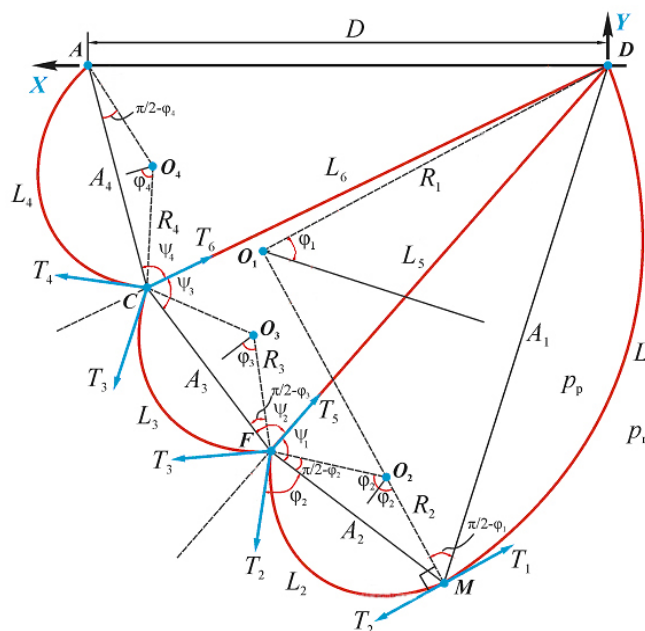
شکل ۱ - نمای عمومی از یک هواناو [۲]

لوپ سه طبقه بسته

بالشتکهای اولیه یک نازل از سازه صلب بوده که خاصیت انعطاف پذیری نداشته است. مشکل این نوع بالشتک این بوده که جهت عبور از موانع ناهموار مناسب نبوده است نسل بعدی بالشتک، نوع باز بوده که از نظر فاصله کپ که هوا از زیر بالشتک خارج می شود مشابه همان بالشتکهای اولیه بوده و فقط در این نوع بالشتک مشکل صلبیت و عبور از موانع را حل شده است. بالشتک های نوع سوم از نوع بسته بوده که فاصله کپ خروج هوا از زیر بالشتک در این نوع افزایش یافته و همینطور خاصیت ارتجاعی آن نسبت به بالشتک باز بیشتر می باشد. در نهایت بالشتک چند طبقه نوع بسته طراحی شد که نسبت به نوع یک طبقه دارای خاصیت ارتجاعی بالاتر بوده و در صورت آسیب دیدگی یک طبقه لوپ بالشتک به طور کامل کارایی خود را از دست نداده و شناور تا رسیدن به ساحل می تواند به حرکت خود ادامه دهد. جهت تقسیم لوپ به چند طبقه از دیافراگم استفاده می شود. دیافراگم مقدار صلبیت را بالا می برد ولی محدوده حرکتی بالشتک کمتر می شود. این نوع لوپ معمولاً در پهلوها و سر عقب هاورکرافتهای بزرگ و بالشتک عقب شناور SES استفاده می شود.

شکل ۲ مقطع عرضی بالشتک سه طبقه بسته را نشان می دهد. این نوع لوپ معمولاً در پهلوها و سر عقب استفاده می شود. لوپ سه طبقه دارای دو دیافراگم می باشد که در شکل با L_5 و L_6 مشخص شده اند. استفاده از دیافراگم مقدار صلبیت را بالا می برد. شکل لوپ سه طبقه بالشتک به پارامترهای زیر بستگی دارد:

- ۱- فشار داخل لوپ ۲- فشار زیر بالشتک ۳- طول کمان لوپها ۴- نقاط اتصال لوپ با سازه شناور ۵- طول دیافراگم ها



شکل ۲- مقطع عرضی لوپ سه طبقه

مدل ریاضی لوپ سه طبقه بسته

مطابق شکل ۲، به علت کم بودن ضخامت بالشتک نسبت به شعاع می توان از تنش برشی در جهت شعاع صرفه نظر کرد بنابراین T_1 در طول L_1 و همچنین T_2 ، T_3 و T_4 در طولهای L_2 ، L_3 و L_4 ثابت است در نتیجه خواهیم داشت:

$$R_1 = \frac{T_1}{P_P - P_{\Pi}} \quad (1)$$

$$R_2 = \frac{T_2}{P_P} \quad (2)$$

$$R_3 = \frac{T_3}{P_P} \quad (3)$$

$$R_4 = \frac{T_4}{P_P} \quad (4)$$

با در نظر گرفتن روابط هندسی نیز خواهیم داشت:

$$L = L_1 + L_2 + L_3 + L_4 \quad (5)$$

$$C = \frac{L_1}{L_2} \quad (6)$$

$$R_i = \frac{L_i}{2\Phi_i} \quad (7)$$

$$A_i = \frac{L_i}{\varphi_i} \times \sin \varphi \quad (8)$$

ضریب افت فشار به صورت زیر تعریف می شود:

$$\varepsilon = \frac{P_P - P_{B\Pi}}{P_P} = \frac{K_P - 1}{K_P} \quad (9)$$

$$K_P = \frac{P_P}{P_{B\Pi}} \quad (10)$$

این ضریب به شرایط توزیع هوا دهی به بالشتک و لوپ بستگی دارد. (از یک فن برای هر دو استفاده شود یا از دو فن جدا استفاده شود) با نوشتن معادلات تعادل در نقاط M، F و C روابط زیر بدست می آیند:

$$T_1 = T_2 \quad (11)$$

$$T_3 \sin(\varphi_3 + \psi_2) = T_2 \sin(\varphi_2 + \psi_1) \quad (12)$$

$$T_4 \sin(\varphi_4 + \psi_4) = T_3 \sin(\varphi_3 + \psi_3) \quad (13)$$

از روابط هندسی در مثلث های DAC، DCF و DFM معادلات زیر بدست می آیند:

$$L_5^2 = A_1^2 + A_2^2 + 2A_1A_2 \cos(180 - (\varphi_1 + \varphi_2)) \quad (14)$$

$$L_6^2 = A_3^2 + L_5^2 + 2A_3L_5 \cos(\psi_2) \quad (15)$$

$$D^2 = L_6^2 + A_4^2 + 2L_6A_4 \cos(\psi_4) \quad (16)$$

$$\frac{L_6}{\sin(\psi_2)} = \frac{L_5}{\sin(\psi_3)} \quad (17)$$

$$\frac{L_5}{\sin(180 - (\varphi_1 + \varphi_2))} = \frac{A_1}{\sin(\psi_1)} \quad (18)$$

به منظور استفاده جامع از نتایج و کم کردن حجم محاسبات، متغیرها به صورت بی بعد در نظر گرفته شده اند. بدین منظور متغیرهای بی بعد زیر تعریف می شوند:

$$\begin{aligned} \Delta P &= (P_p - P_r) / P_p && \text{ضریب افت فشار} \\ d &= D / L && \text{فاصله بی بعد بین نقاط اتصال لوپ} \\ a_i &= A_i / L && \text{طول بی بعد وتر بخش های لوپ} \\ r_i &= R_i / L && \text{شعاع بی بعد انحنای بخش های لوپ} \\ l_i &= L_i / L && \text{طول بی بعد کمان بخش های لوپ} \\ t_i &= T_i / (P_p L) && \text{کشش بی بعد} \end{aligned}$$

با بی بعد کردن متغیرها در روابط ۱۱ تا ۱۸ معادلات بی بعد لوپ بالشتک سه طبقه بسته بصورت زیر بدست می آیند:

$$\varphi_1 = \varepsilon \cdot C \cdot \varphi_2 \quad (19)$$

$$\frac{l_2}{\varphi_2} \cdot \sin(\varphi_2 + \psi_1) = \frac{l_3}{\varphi_3} \cdot \sin(\varphi_3 + \psi_2) \quad (20)$$

$$\frac{l_3}{\varphi_3} \cdot \sin(\varphi_3 + \psi_3) = \frac{l_4}{\varphi_4} \cdot \sin(\varphi_4 + \psi_4) \quad (21)$$

$$(\sin(\varepsilon \cdot C \cdot \varphi_2))^2 + \varepsilon^2 \cdot (\sin(\varphi_2))^2 + 2 \cdot \varepsilon \cdot \sin(\varepsilon \cdot C \cdot \varphi_2) \cdot \sin(\varphi_2) \cdot \cos(\varepsilon \cdot C \cdot \varphi_2 + \varphi_2) - \frac{l_5^2 \cdot \varepsilon^2 \cdot \varphi_2^2}{l_2^2} = 0 \quad (22)$$

$$2 \cdot l_5 \cdot l_3 \cdot \varphi_3 \cdot \sin(\varphi_3) \cdot \cos(\psi_2) = \varphi_3^2 \cdot (l_5^2 - l_6^2) + l_3^2 \cdot (\sin(\varphi_3))^2 \quad (23)$$

$$2 \cdot l_6 \cdot l_4 \cdot \varphi_4 \cdot \sin(\varphi_4) \cdot \cos(\psi_4) = \varphi_4^2 \cdot (l_6^2 - d^2) + l_4^2 \cdot (\sin(\varphi_4))^2 \quad (24)$$

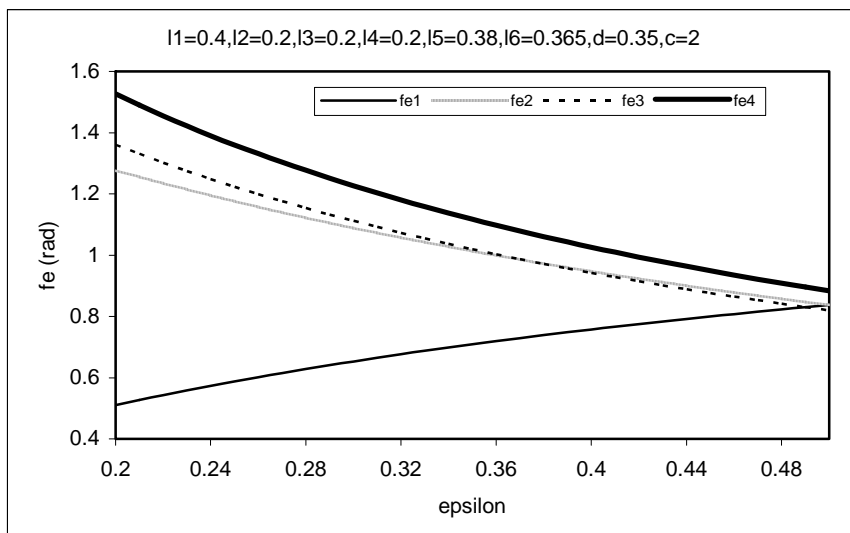
$$\sin(\psi_3) = \left(\frac{l_5}{l_6} \right) \cdot \sin(\psi_2) \quad (25)$$

$$\sin(\psi_1) = \frac{l_1 \cdot \sin(\varepsilon \cdot C \cdot \varphi_2) \cdot \sin(\varepsilon \cdot C \cdot \varphi_2 + \varphi_2)}{\varepsilon \cdot C \cdot l_5 \cdot \varphi_2} \quad (26)$$

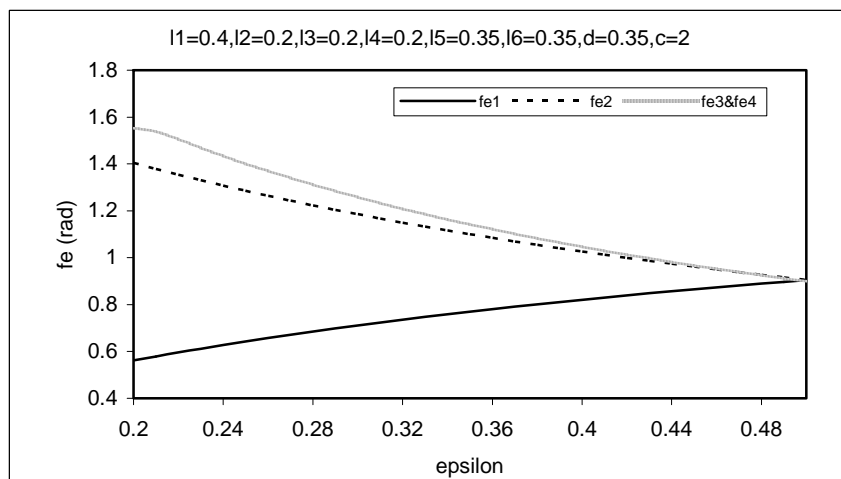
نتایج

با حل دستگاه معادلات غیر خطی ۱۹ تا ۲۶ با روش نیوتن-رافسون در نرم افزار Mathcad مجهولات φ_i و ψ_i بدست آمده و سپس از معادله ۷ مجهولات r_i و از معادلات ۱ تا ۴ مجهولات t_i محاسبه می شوند. در این تحقیق معادلات برای سه حالت زیر و با تغییر ضریب افت فشار از ۰٫۲ تا ۰٫۵ حل شده اند.

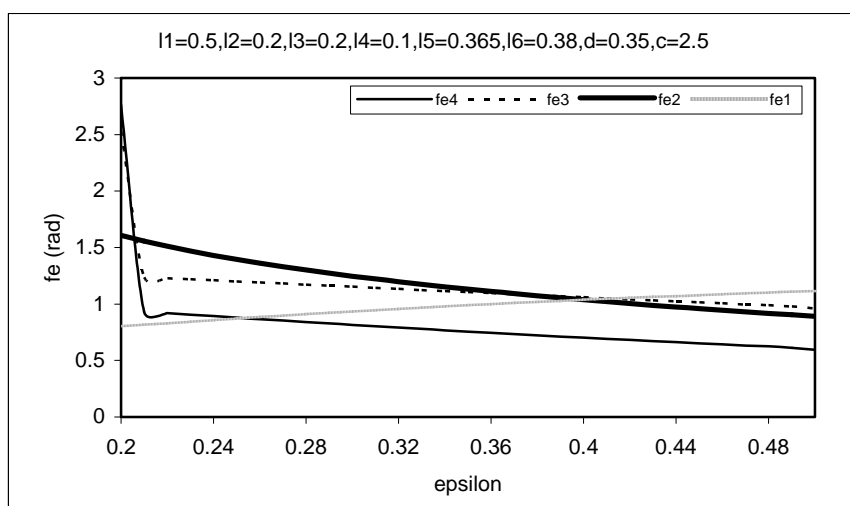
$$\begin{aligned} 1- \quad & l_1 = 0.4, l_2 = l_3 = l_4 = 0.2, l_5 = 0.38, l_6 = 0.365, d = 0.35, c = 2 \\ 2- \quad & l_1 = 0.4, l_2 = l_3 = l_4 = 0.2, l_5 = 0.35, l_6 = 0.35, d = 0.35, c = 2 \\ 3- \quad & l_1 = 0.5, l_2 = l_3 = 0.2, l_4 = 0.1, l_5 = 0.365, l_6 = 0.38, d = 0.35, c = 2 \end{aligned}$$



شکل ۳- نمودار زوایای لوپ φ_i (رادیان) بر حسب ضریب افت فشار \mathcal{E}

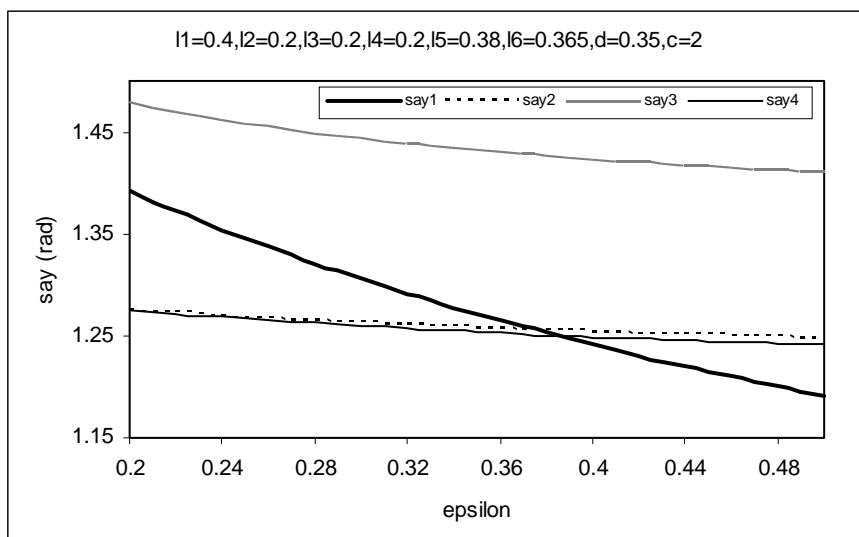


شکل ۴- نمودار زوایای لوپ φ_i (رادیان) بر حسب ضریب افت فشار \mathcal{E}

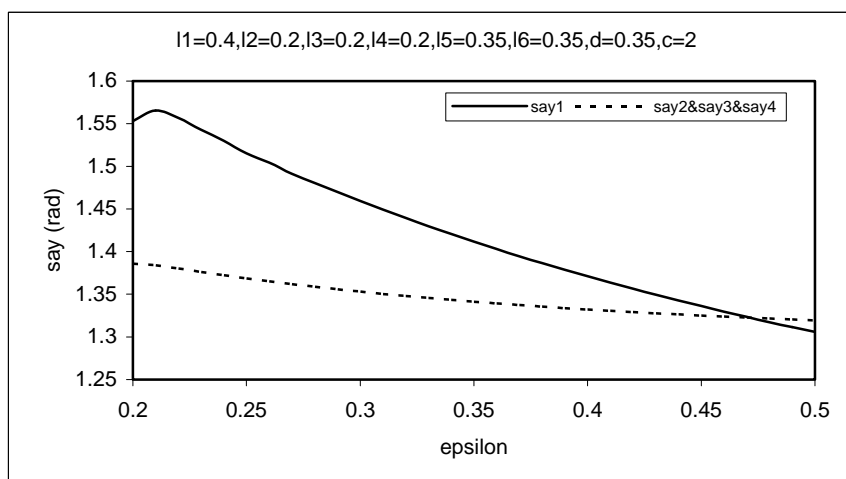


شکل ۵- نمودار زوایای لوپ φ_i (رادیان) بر حسب ضریب افت فشار \mathcal{E}

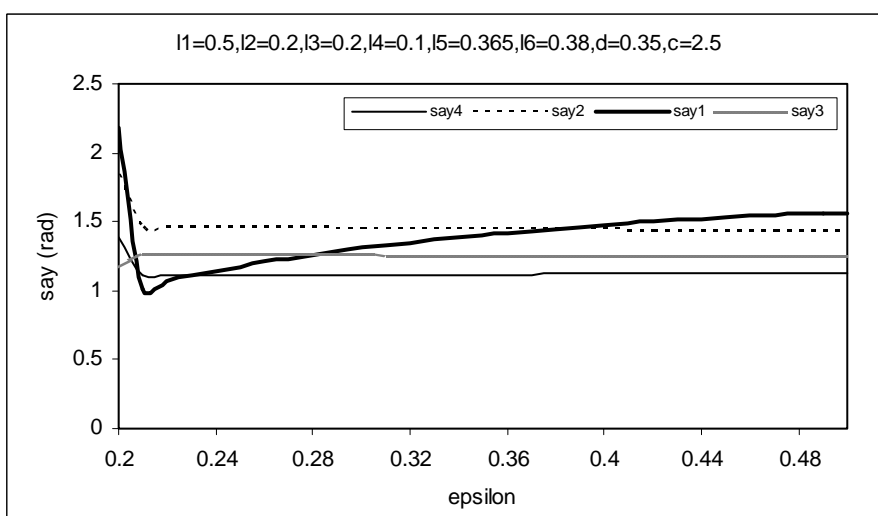
در شکلهای ۳ و ۴ و ۵ نمودار زاویه لوپ ها بر حسب ضریب افت فشار آورده شده است که هر ضریب فشار یک حالت تعادلی شکل لوپ را نشان می دهد. شکل ۳ برای فرضیات حالت اول، شکل ۴ برای فرضیات حالت دوم و شکل ۵ برای فرضیات حالت سوم می باشند.



شکل ۶- نمودار زوایای وترهای دو لوپ مجاور ψ_i بر حسب ضریب افت فشار \mathcal{E}

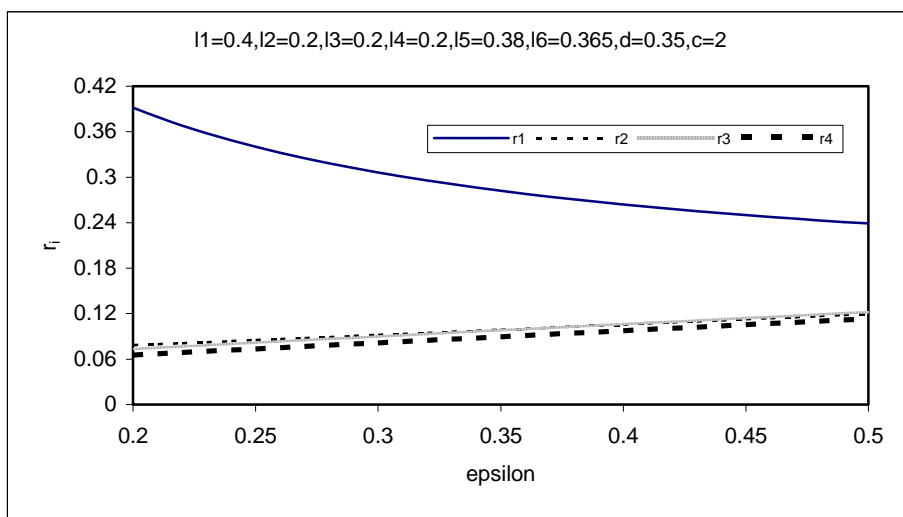


شکل ۷- نمودار زوایای وترهای دو لوپ مجاور ψ_i بر حسب ضریب افت فشار \mathcal{E}

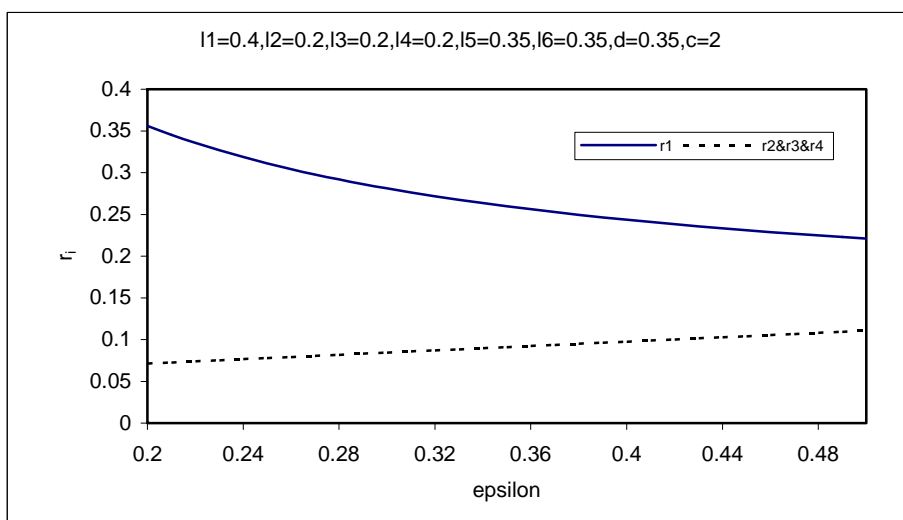


شکل ۸- نمودار زوایای وترهای دو لوپ مجاور ψ_i بر حسب ضریب افت فشار \mathcal{E}

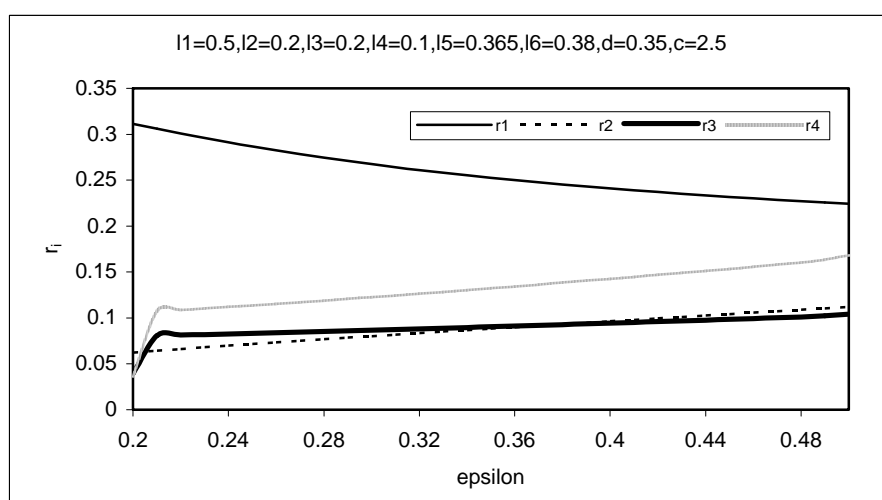
در شکلهای ۶ و ۷ و ۸ نمودار زوایای وترهای دو لوپ مجاور بر حسب ضریب افت فشار آورده شده است که هر ضریب فشار یک حالت تعادلی شکل لوپ را نشان می دهد. شکل ۶ برای فرضیات حالت اول، شکل ۷ برای فرضیات حالت دوم و شکل ۸ برای فرضیات حالت سوم می باشند.



شکل ۹- نمودار شعاع های بی بعد لوپ های بالشتک r_i بر حسب ضریب افت فشار \mathcal{E}

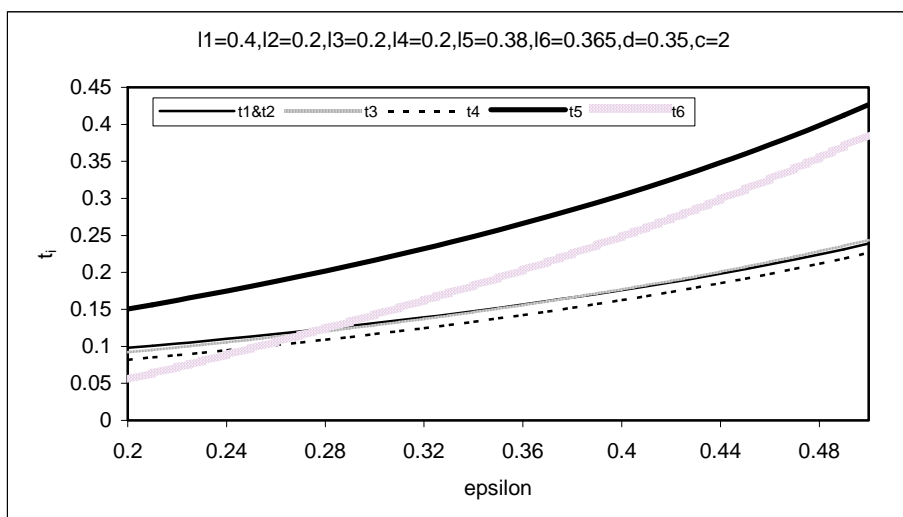


شکل ۱۰- نمودار شعاع های بی بعد لوپ های بالشتک r_i بر حسب ضریب افت فشار \mathcal{E}

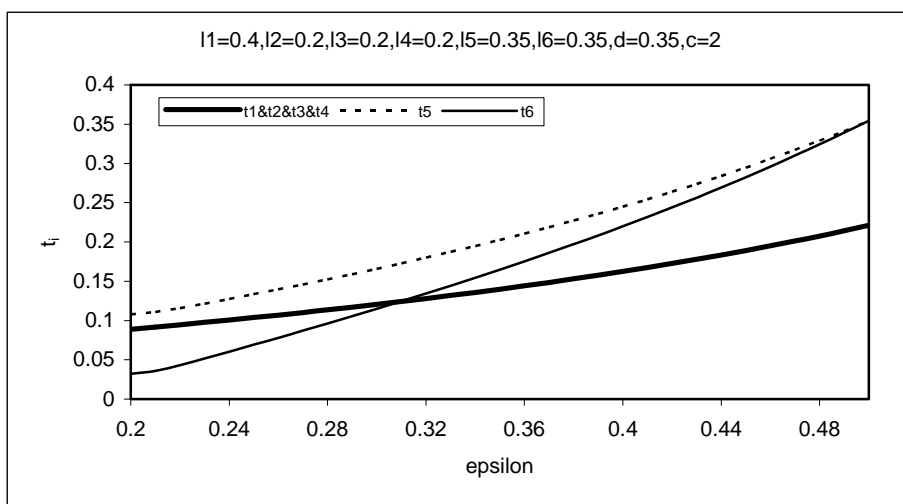


شکل ۱۱- نمودار شعاع های بی بعد لوپ های بالشتک r_i بر حسب ضریب افت فشار \mathcal{E}

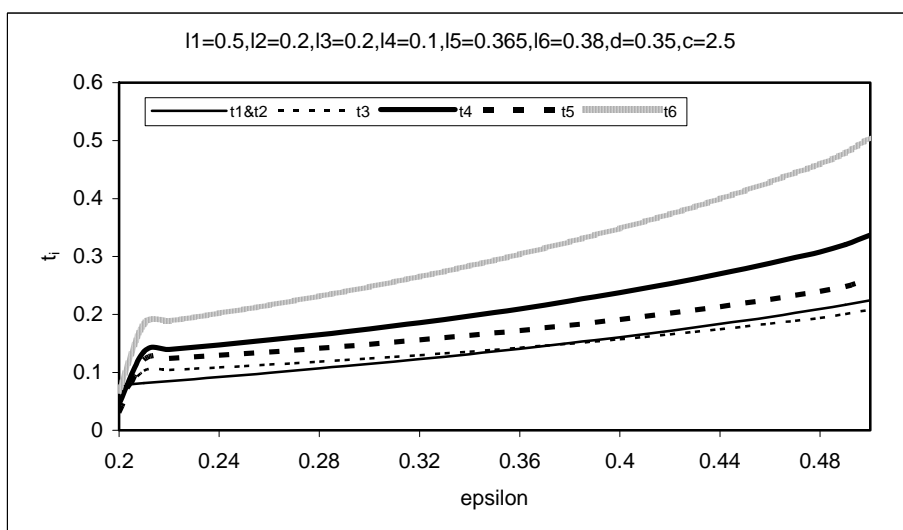
در شکل‌های ۹ و ۱۰ و ۱۱ نمودار شعاع های بی بعد لوپ های بالشتک بر حسب ضریب افت فشار آورده شده است که هر ضریب فشار یک حالت تعادلی شکل لوپ را نشان می دهد. شکل ۹ برای فرضیات حالت اول، شکل ۱۰ برای فرضیات حالت دوم و شکل ۱۱ برای فرضیات حالت سوم می باشند.



شکل ۱۲- نمودار کشش بی بعد لوپ ها t_i بر حسب ضریب افت فشار \mathcal{E}



شکل ۱۳- نمودار کشش بی بعد لوپ ها t_i بر حسب ضریب افت فشار \mathcal{E}



شکل ۱۴- نمودار کشش بی بعد لوپ ها t_i بر حسب ضریب افت فشار \mathcal{E}

در شکلهای ۱۲ و ۱۳ و ۱۴ نمودار کشش های بی بعد لوپ های بالشتک بر حسب ضریب افت فشار آورده شده است که هر ضریب افت فشار یک حالت تعادلی شکل لوپ را نشان می دهد. شکل ۱۲ برای فرضیات حالت اول، شکل ۱۳ برای فرضیات حالت دوم و شکل ۱۴ برای فرضیات حالت سوم می باشند.

نتیجه‌گیری و جمع‌بندی

در شکل‌های ۳ تا ۱۱ زوایای لوپ‌ها، زوایای وترهای دو لوپ مجاور و شعاع‌های لوپ‌ها بر حسب ضریب افت فشار آورده شده است که هر ضریب فشار یک حالت تعادلی شکل لوپ‌ها را نشان می‌دهد. با مشخص بودن شکل لوپ‌ها به ترتیب ارتفاع بالشتک، گپ بین انتهای بالشتک و سطح آب، و دبی هوای خروجی از زیر بالشتک محاسبه می‌شوند.

نتایج کشش لوپ‌ها در سه حالت در نظر گرفته شده، در شکل‌های ۱۲ تا ۱۴ آورده شده است. همانطور که دیده می‌شود در هر سه حالت با افزایش ضریب افت فشار، کشش در لوپ‌ها و دیافراگم‌ها افزایش یافته است. نتیجه‌ای که در این بخش گرفته می‌شود این است که شکل پایدار لوپ‌ها علاوه بر ضریب افت فشار به طول دیافراگم‌ها، طول کمان لوپ‌ها و نقاط اتصال لوپ با سازه نیز بستگی دارد.

ماکزیم کشش در حالت اول در دیافراگم l_6 رخ می‌دهد (شکل ۱۲) که علت آن نیز کوتاه تر بودن طول دیافراگم l_6 نسبت به دیافراگم l_5 می‌باشد.

در حالت دوم به علت برابر بودن طول دیافراگم‌ها، کشش در دو دیافراگم تقریباً برابر می‌باشد (شکل ۱۳) و این کشش نسبت به کشش در لوپ‌ها بیشتر می‌باشد.

در حالت سوم ماکزیم کشش در دیافراگم l_5 رخ می‌دهد (شکل ۱۴) که علت آن نیز کوتاه تر بودن طول دیافراگم l_5 نسبت به دیافراگم l_6 می‌باشد.

با توجه به اینکه بهتر است تنش‌های بوجود آمده در بالشتک یکنواخت باشد. بهینه‌ترین طرح بالشتک بسته سه طبقه، حالت دوم می‌باشد که طول کمان سه لوپ با هم برابر و دو دیافراگم نیز دارای طول یکسانی می‌باشند.

فهرست علائم

A_i	وترهای لوپ‌های بالشتک، m
C	تناسب طول بخش داخلی و خارجی مقطع عرضی لوپ
D	فاصله بین نقاط اتصال لوپ، m
L_i	طول مقاطع عرضی لوپ انعطاف‌پذیر، m
P_p	فشار هوا در لوپ، Pa
P_n	فشار هوا در زیر هاورکرافت، Pa
R_i	شعاع‌های لوپ‌های بالشتک، m
T_i	کشش در لوپ‌ها، N/m

علائم یونانی

ε	ضریب افت فشار
φ_i	زوایای لوپ، Rad
ψ_i	زوایای وترهای دو لوپ مجاور، Rad

زیرنویس

i	شماره بخش‌های بالشتک
-----	----------------------

مراجع

[1] L. Yun & A. Bliault, *Theory and Design of Air Cushion Craft*, Copublished in North, Central and South America, New York, 2000.

[2] Ian Cross., "Introduction to Hovercraft", Pitman publishing, The University of Leeds, 1975.

[3] B. A. Kolyzayev., "Speravochnik(hand book of hovercraft)", pirove publication, 2 Edition, Leningrad, 1980 (in Russian).

[۴] زارع، کاووس، و عالمپور، کامبیز، و دهقانیان، علی، "بررسی تأثیر پارامترهای سوراخ‌های خروجی هوا بروی فرم و شدت تغییر شکل بالشتک بسته در هاورکرافت‌ها"، مجموعه پانزدهمین کنفرانس سالانه (بین المللی) مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ۲۵-۲۷ اردیبهشت ۱۳۸۶، ص ۹۹.

[۵] زارع، کاووس، و فروزانی، حسن، و رضوی، سید مجتبی، "تأثیر پارامترهای لوپ یک طبقه بروی کشش دیافراگم در بالشتک نوع بسته شناورهای ACV"، نهمین کنفرانس انجمن هوافضای ایران، تهران، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، ۲۱-۱۹ بهمن ماه ۱۳۸۸.