



بررسی تأثیر پارامترهای سوراخهای خروجی هوا بروی فرم و شدت تغییر شکل بالشتک بسته (Close) در هاورکرافتها

کاووس زارع^۱

شیراز- بلوار شهید چمران- پژوهشکده هوا دریا - دفتر طرحهای هیدروآیرواستاتیک

kavoos_zare@yahoo.com

چکیده

در این تحقیق تأثیر پارامترهای سوراخهای خروجی هوا بروی فرم و شدت تغییر شکل بالشتک لاستیکی هاورکرافتها مورد بررسی قرار گرفته است. برای این منظور ابتدا معادلات هندسی و تعادل برای بالشتک یک طبقه بسته (Close)، نوشته شده است. بدلیل آنکه دستگاه معادلات بدست آمده غیر خطی بوده، از روش عددی نیوتن-رافسون برای حل دستگاه استفاده شده است. برای اینکه نتایج بصورت جامع باشند، از متغیرهای بی بعد استفاده شده است. نتایج برنامه به صورت منحنیهای گسترده ای در آورده شده، که در طراحی این نوع بالشتک می توان از آنها استفاده نمود. نمونه هایی از این نمودارها در پایان آورده شده است.

کلمات کلیدی: هاورکرافت - بالشتک - لوپ یک طبقه - نیوتن-رافسون

۱- کارشناس ارشد تبدیل انرژی- عضو هیات علمی دانشگاه مالک اشتر



مقدمه

توسعه هواناو (Hovercraft) بطور جدی و عملی در انگلستان زمانی آغاز شد، که Cristopher Cockerell در سال ۱۹۵۵ شروع به انجام آزمایشهایی بر روی ایده هواناو یعنی استفاده از یک بالشتک هوا (Air Cushion) به عنوان تکیه‌گاه و کاهنده نیروی پسا (Drag) نمود. این سازه انعطاف پذیر به عنوان بخش جدید به این وسیله آئرو استاتیک اضافه شد و نسل جدیدی از شناورهای دریایی با نام Air Cushion Vehicle-ACV بوجود آمد، [۱]. برخی مزایای استفاده از هواناو به شرح زیر می‌باشند: 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 غوطه‌ور 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 می‌کند، در صنایع نظامی و حمل و نقل در برخی مناطق صعب‌العبور مورد توجه می‌باشد.

هواناو بر روی لایه‌ای از هوا که توسط فن به زیر آن فرستاده می‌شود قرار می‌گیرد. این لایه هوا به وسیله بالشتک (Skirt) در بر گرفته می‌شود و جریان هوا از زیر بالشتک از طریق فاصله یا گپ هوا برقرار می‌گردد (شکل ۱) [۲]. در حقیقت به کار بردن بالشتکهای انعطاف‌پذیر باعث به وجود آمدن هواناوها شده است. نقش بالشتک در هواناو عبارت است از :

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 می‌باشد که سازه را در بر گرفته است.

ج) با ساخت بالشتکهایی که قابلیت تغییر شکل هندسی زیادی دارند میتوان تغییرات فشار ودبی جریان هوای بالابری هواناو (Hovercraft Lift Air Flow) را کنترل کرد. این نوع بالشتکها را بالشتکهای واکنشی مینامند [۳].



د) بالشتکها با قابلیت جابجایی رو به بالا و پائین (به کمک زنجیرهای متصل به آنها) علاوه بر نگه داشتن 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. به طور قطع بالشتک و فرم هندسی آن و مسایل مربوط به انتخاب جنس و شکل ترکیبی آن منحصر به شناورهای بالشتک هوایی بوده و در هیچ وسیله دیگری نظیر آن وجود ندارد و همین مساله توجه بیش از پیش طراحان و محققان شناورهای کلاس آئرواستاتیک را به این مهم معطوف میدارد و لزوم بازنگری در طرحهای پیشین و نتایج آزمایشگاهی و بهینه سازی روشهای قدیمی امری اجتناب ناپذیر در توسعه دانش طراحی این شناورها میباشد .

بالشتک یک طبقه بسته

شکل ۱ نمای کلی بالشتک یک طبقه بسته (Close) را نشان می دهد که تشکیل شده از : لوپ و فینگر هوایی که از فن بوسیله کانالهای هوا به لوپ انتقال یافته از سوراخهای لوپ به فینگرها و زیر هاورکرافت منتقل شده و هاورکرافت را به صورت معلق در می آورد. هوا از فاصله ای که بین سطح زیرین شناور و انتهای فینگرها ایجاد میشود، خارج شده و بعد از اینکه جریان به حالت پایدار رسید فشار زیر هاورکرافت به مقدار ثابتی خواهد رسید. این فاصله که اصطلاحاً گپ بالشتک گفته می شود به ارتفاع بالشتک بستگی دارد و چون ارتفاع بالشتک خود تابعی از شکل لوپ بالشتک می باشد، در نهایت گپ بالشتک بستگی به شکل لوپ بالشتک خواهد داشت.

شکل لوپ بالشتک به پارامترهای زیر بستگی دارد :



۱- فشار داخل لوپ ۲- فشار زیر هاورکرافت ۳- طول کمان لوپ ۴- نقاط اتصال لوپ بالشتک با سازه شناور ۴- محل سوراخ لوپ ۵- ابعاد سوراخ لوپ

در ادامه این تحقیق ما تاثیرات ابعاد سوراخ را (یک بار به صورت طولی و یک بار به صورت عرضی) بر روی شدت تغییر شکل و وضعیت لوپ یک طبقه بالشتک مورد بررسی قرار داده ایم. برای این منظور ابتدا مدل ریاضی لوپ بالشتک یک طبقه بسته بررسی شده و چون دستگاه معادلات نهایی به صورت غیر خطی بوده، از روش محاسباتی نیوتن-رافسون در نرم افزار Mathcad دستگاه معادلات حل شده و نتایج به صورت نمودارهای بی بعد آورده شده است.

مدل ریاضی بالشتک یک طبقه بسته

جداره لوپ بطور مرحله‌ای تحت فشار هوا قرار می‌گیرد و ماده مورد استفاده این جداره از جنس ایزوترپ غیر قابل انبساط و انعطاف‌پذیر است. شکل ۲ مقطع عرضی لوپ را نشان می‌دهد، به علت اینکه در جهت طولی لوپ بالشتک متقارن بوده بنابراین جهت بررسی می‌توان بخش ویژه‌ای از آنرا مانند خط تراز $A''A'''D'''D''$ یا $AA'E'M'S'D'DSME$ انتخاب نمود [۴].

پارامترهای فرم و شکل لوپ شامل موارد زیر است :

p_p : فشار هوا در لوپ، واحد پاسکال

p_n : فشار هوا در زیر هاورکرافت، واحد پاسکال

در خط تراز $AA'E'M'ME$ فشار p_p عمل می‌نماید و در خط تراز $MM'S'D'DS$ فشار $p_p - p_n$ عمل می‌نماید.

بجز فشار که در داده‌های اولیه است موارد زیر نیز مورد استفاده قرار می‌گیرند :

L : طول مقطع عرضی لوپ انعطاف‌پذیر به متر

D : فاصله بین نقاط اتصال لوپ به متر



$$f = b_{OTB} / b_{II} \text{ : عرض نسبی سوراخ}$$

$$b_{OTB} \text{ : عرض سوراخ به متر}$$

$$b_{II} \text{ : حداکثر عرض بخش ویژه گسترده لوپ به متر}$$

$$c_3 = L_3 / L = L_4 / L \text{ : طول نسبی سوراخ}$$

$$c = L_1 / L_2 \text{ : تناسب طول بخش داخلی و خارجی مقطع عرضی لوپ بدون احتساب نواحی}$$

سوراخ‌دار.

$$\delta \text{ : زاویه بین بریدگیهای } AD, ND$$

$$L_1, L_2, L_3, L_4 \text{ : طول کمانی بخش مقطع عرضی لوپ انعطاف پذیر به متر}$$

تناسب هندسی برای لوپ توسط معادلات زیر تعیین می‌گردد :

$$D \cos \delta = A_1 \sin \alpha + A_4 \sin \gamma_2 + A_3 \sin \gamma_1 - A_2 \sin \zeta_1 \quad (1)$$

$$D \sin \delta = A_2 \cos \zeta_1 + A_3 \cos \gamma_1 - A_4 \cos \gamma_2 - A_1 \cos \alpha \quad (2)$$

$$\gamma_2 = \varphi_4 + \varphi_1 + \alpha \quad \gamma_1 = \pi - \varphi_3 - 2\varphi_4 - \varphi_1 - \alpha \quad (3)$$

$$\zeta_1 = -\pi + 2\varphi_3 + 2\varphi_4 + \varphi_1 + \alpha + \varphi_2 \quad (4)$$

$$A_4 = 2R_4 \sin \varphi_4; \quad A_3 = 2R_3 \sin \varphi_3; \quad A_2 = 2R_2 \sin \varphi_2; \quad A_1 = 2R_1 \sin \varphi_1 \quad (5)$$

$$L_4 = R_4 2\varphi_4; \quad L_3 = R_3 2\varphi_3; \quad L_2 = R_2 2\varphi_2; \quad L_1 = R_1 2\varphi_1 \quad (6)$$

$$L = L_1 + L_2 + L_3 + L_4; \quad L_4 = L_3; \quad L_1 = cL_2; \quad L_3 = c_3L \quad (7)$$

در اینجا :

$$R_1, R_2, R_3, R_4 \text{ : شعاعهای بخشهای منحنی مقطع عرضی لوپ قابل انعطاف هستند، به متر}$$

$$A_1, A_2, A_3, A_4 \text{ : طول وترهای قوسهای بخش مقطع عرضی لوپ قابل انعطاف هستند، به متر}$$

$$\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3, \varphi_4 \text{ : زوایای مرکزی قوسهایی از بخش مقاطع عرضی لوپ قابل انعطاف هستند.}$$

معادلات تعادل نیروهای لوپ :



$$\Sigma T_4 = \Sigma T_1; \Sigma T_3 = \Sigma T_4; \Sigma T_2 = \Sigma T_3 \quad (8)$$

$$\Sigma T_4 = R_4 \Sigma P_4; \Sigma T_3 = R_3 \Sigma P_3; \Sigma T_2 = R_2 \Sigma P_2; \Sigma T_1 = R_1 \Sigma P_1 \quad (9)$$

$$\Sigma T_4 = T_4 b_n (1-f); \Sigma T_3 = T_3 b_n (1-f); \Sigma T_2 = T_2 b_n; \Sigma T_1 = T_1 b_n \quad (10)$$

$$\Sigma P_2 = p_p b_n; \Sigma P_1 = (p_p - p_n) b_n \quad (11)$$

$$\Sigma P_4 = (p_p - p_n) b_n (1-f); \Sigma P_3 = p_p b_n (1-f) \quad (12)$$

در اینجا :

$\Sigma T_4, \Sigma T_3, \Sigma T_2, \Sigma T_1$: مجموع نیرو و کشش در انطباق با مقاطع :

مقطع SS' از سمت راست بریدگی، در مقطع EE' از سمت چپ بریدگی، در مقطع MM' از سمت چپ مقطع، در مقطع MM' از سمت راست مقطع.

$\Sigma P_4, \Sigma P_3, \Sigma P_2, \Sigma P_1$: توزیع باری که بر واحد طول از بخش مقطع عرضی لوپ انعطاف‌پذیر

تأثیر می‌گذارد با واحد نیوتن بر متر

جهت محاسبات بعدی مقادیر بدون بعد را وارد می‌کنیم که توسط حروف کوچک مشخص شده‌اند :

$$\Delta_p = (p_p - p_n) / p_p \quad \text{ضریب افت فشار}$$

$$d = D/L \quad \text{فاصله بدون بعد بین نقاط اتصال لوپ}$$

طول وترهای بدون بعد بخش مقطع عرضی لوپ قابل انعطاف :

$$a_4 = A_4/L, a_3 = A_3/L, a_2 = A_2/L, a_1 = A_1/L$$

شعاعهای بدون بعد قوس‌های بخش مقطع عرضی لوپ قابل انعطاف :

$$r_1 = R_1/L; r_2 = R_2/L; r_3 = R_3/L; r_4 = R_4/L$$

طول‌های بدون بعد کمانی بخش مقطع عرضی لوپ قابل انعطاف :

$$l_4 = L_4/L, l_3 = L_3/L, l_2 = L_2/L, l_1 = L_1/L$$

کشش‌های حلقوی بدون بعد :



$$t_4 = T_4 / (p_p L), t_3 = T_3 / (p_p L), t_2 = T_2 / (p_p L), t_1 = T_1 / (p_p L)$$

مجهولات برای سیستم معادلات (۱) - (۱۲) بشرح زیر است :

$$L_1, L_2, L_3, L_4, \quad \varphi_1, \varphi_2, \varphi_3, \varphi_4, \quad R_1, R_2, R_3, R_4, \quad A_1, A_2, A_3, A_4$$

$$\cdot \zeta_1, \gamma_1, \gamma_2, \alpha, T_3, T_4, T_1, T_2, \Sigma P_1, \Sigma P_2, \Sigma P_3, \Sigma P_4, \Sigma T_1, \Sigma T_2, \Sigma T_3, \Sigma T_4$$

پس از تغییر و تبدیل سیستم معادلات (۱) - (۱۲) به معادلات بدون بعد، حالات زیرین را مورد

استفاده قرار می‌دهیم :

$$d \cos \delta = a_1 \sin \alpha + a_4 \sin \gamma_2 + a_3 \sin \gamma_1 - a_2 \sin \zeta_1 \quad (۱۳)$$

$$d \sin \delta = a_2 \cos \zeta_1 + a_3 \cos \gamma_1 - a_4 \cos \gamma_2 - a_1 \cos \alpha \quad (۱۴)$$

$$\gamma_1 = \pi - \varphi_3 - 2\varphi_4 - \varphi_1 - \alpha; \quad \gamma_2 = \varphi_4 + \varphi_1 + \alpha \quad (۱۵)$$

$$\zeta_1 = -\pi + 2\varphi_3 + 2\varphi_4 + \varphi_1 + \alpha + \varphi_2 \quad (۱۶)$$

$$a_4 = 2r_4 \sin \varphi_4; \quad a_3 = 2r_3 \sin \varphi_3; \quad a_2 = 2r_2 \sin \varphi_2; \quad a_1 = 2r_1 \sin \varphi_1 \quad (۱۷)$$

$$l_4 = r_4 2\varphi_4; \quad l_3 = r_3 2\varphi_3; \quad l_2 = r_2 2\varphi_2; \quad l_1 = r_1 2\varphi_1 \quad (۱۸)$$

$$l_1 + l_2 + l_3 + l_4 = 1, \quad l_4 = l_3; \quad l_1 = cl_2; \quad l_3 = c_3 \quad (۱۹)$$

$$t_4 = \Delta_p r_4; \quad t_3 = r_3; \quad t_2 = r_2; \quad t_1 = \Delta_p r_1 \quad (۲۰)$$

$$t_4(1-f) = t_1; \quad t_3 = t_4; \quad t_2 = t_3(1-f) \quad (۲۱)$$

در سیستم معادلات (۱۳) - (۲۱) موارد مطلوب و مورد نظر شامل :

$$t_3, t_4, t_1, t_2, l_1, l_2, l_3, l_4, \varphi_1, \varphi_2, \varphi_3, \varphi_4, r_1, r_2, r_3, r_4, a_3, a_4, a_1, a_2$$

$\alpha, \zeta_1, \gamma_2, \gamma_1$ می‌باشد.

تغییر معادلات (۱۳) - (۲۱) بما اجازه می‌دهد که به حل سیستم دو معادله‌ای با دو مجهول α, φ_2

تبدیل نمائیم.

$$d \cos \delta = a_1 \sin \alpha + a_4 \sin(\varphi_2 \omega_2 + \alpha) + a_3 \sin(\varphi_2 \omega_3 + \alpha) + a_2 \sin(\varphi_2 \omega_4 + \alpha) \quad (۲۲)$$

$$d \sin \delta = -a_2 \cos(\varphi_2 \omega_4 + \alpha) - a_3 \cos(\varphi_2 \omega_3 + \alpha) - a_4 \cos(\varphi_2 \omega_2 + \alpha) - a_1 \cos \alpha \quad (۲۳)$$



در اینجا :

$$, \omega_1 = \frac{l_3}{l_2} (1-f), a_4 = \frac{l_2 \sin(\varphi_2 \Delta_p \omega_1)}{\varphi_2 \Delta_p (1-f)}, a_3 = \frac{l_2 \sin(\varphi_2 \omega_1)}{\varphi_2 (1-f)}, a_2 = \frac{l_2 \sin \varphi_2}{\varphi_2}, a_1 = \frac{l_2 \sin(\Delta_p c \varphi_2)}{\Delta_p \varphi_2}$$

$$l_3 = c_3, \omega_4 = 2\omega_1 (1 + \Delta_p) + \Delta_p c + 1, \omega_3 = \omega_1 + 2\Delta_p \omega_1 + \Delta_p c, l_2 = \frac{1-2c_3}{c+1}, \omega_2 = \Delta_p (\omega_1 + c)$$

مجهولات باقی مانده از روابط زیر بدست می آید :

$$\zeta_1 = -\pi + \varphi_2 \omega_4 + \alpha, \gamma_1 = \pi - \varphi_2 \omega_3 - \alpha, \gamma_2 = \varphi_2 \omega_2 + \alpha \quad (24)$$

$$\varphi_4 = \Delta_p \varphi_3, \varphi_3 = \varphi_2 \omega_1, \varphi_1 = \Delta_p c \varphi_2, l_4 = l_3 \quad (25)$$

$$r_4 = \frac{c_3}{2\varphi_4}, r_3 = \frac{c_3}{2\varphi_3}, r_2 = \frac{l_2}{2\varphi_2}, r_1 = \frac{l_2 c}{2\varphi_1} \quad (26)$$

$$t_4 = \Delta_p r_4, t_3 = r_3, t_2 = r_2, t_1 = \Delta_p r_1 \quad (27)$$

مختصات نقاط $O_4, O_3, O_2, O_1, E, M, S$:

$$Y_S = -A_1 \cos \alpha, X_S = b - A_1 \sin \alpha \quad (28)$$

$$Y_M = Y_S - A_4 \cos \gamma_2, X_M = X_S - A_4 \sin \gamma_2 \quad (29)$$

$$Y_E = Y_M + A_3 \cos \gamma_1, X_E = X_M - A_3 \sin \gamma_1$$

$$Y_{01} = R_1 \sin(\alpha - \varphi_1), X_{01} = b - R_1 \cos(\alpha - \varphi_1) \quad (30)$$

$$Y_{02} = Y_E + R_2 \sin(\gamma_1 - \varphi_3), X_{02} = X_E + R_2 \cos(\gamma_1 - \varphi_3) \quad (31)$$

$$Y_{03} = Y_E + R_3 \sin(\gamma_1 - \varphi_3), X_{03} = X_E + R_3 \cos(\gamma_1 - \varphi_3) \quad (32)$$

$$Y_{04} = Y_S + R_4 \sin(\varphi_1 + \alpha), X_{04} = X_S - R_4 \cos(\varphi_1 + \alpha) \quad (33)$$

در اینجا : $b = D \cos \delta$



نتیجه گیری :

ساخت مدل ریاضی لوپ انعطاف پذیر این امکان را به ما می دهد تا تأثیر پارامترهای سوراخها را بروی شکل نمونه و شدت وضعیت آن را بررسی نموده و ویژگیهای بدون بعد این امکان را به ما می دهد که در مورد نتایج بدست آمده تجزیه و تحلیل داشته باشیم.

در مثال حل شده دادههای اولیه به صورت زیر می باشند :

$$c = 1,1; \delta = 0,16 \text{ rad}; d = 0,469; \Delta_p = 0,231$$

نتایج حل سیستم معادلات (۲۲) – (۲۳) و عبارات (۲۴) – (۳۳) در نمودارهای ۴ تا ۷ آورده شده است که این نمودارها تأثیر پارامترهای سوراخها بروی کششهای حلقوی بدون بعد t_2 و شعاع قوس r_1 را نشان می دهند.

بروی شکل ۳ خطوط نقطه چین منطقه سوراخها را نشان می دهد، نقاطی که حاشیه و وسط سوراخها را علامت گذاری نموده است. از شکل ۳ مشخص است که افزایش بدون بعد طولهای یا عرضهای سوراخها به کاهش ارتفاع لوپ انعطاف پذیر منتهی شده و متعاقباً منجر به کاهش قابلیت دریانوردی شناور می گردد. ضمناً افزایش بدون بعد طولی سوراخ تأثیر بیشتری نسبت به افزایش بدون بعد عرضی آن بر کاهش ارتفاع لوپ نشان می دهد.

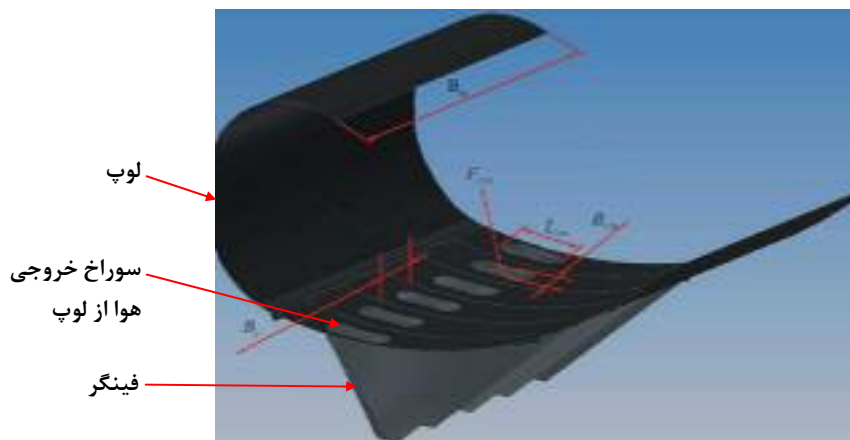
بررسی تأثیر پارامترهای سوراخ بر روی t_1, t_3, t_4 و r_2, r_3, r_4 با احتساب اینکه $t_1 = t_2$

$$\text{و } r_3 = \Delta_p r_4, r_4 = \frac{r_1}{1-f}, r_2 = \Delta_p r_1, t_4 = t_3, t_3 = \frac{t_1}{1-f} \text{ امکان پذیر می باشد.}$$

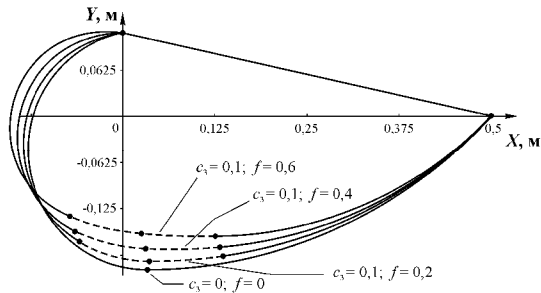


مراجع :

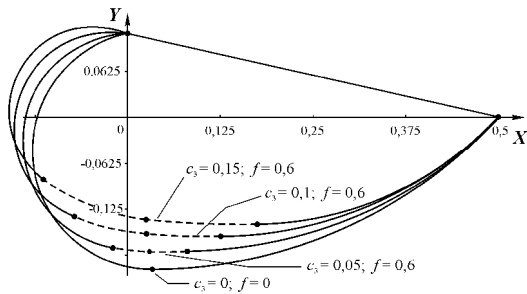
1. L. Yun & A. Bliault, *Theory and Design of Air Cushion Craft*, Copublished in North, Central and South America, New York, 2000.
2. Ian Cross., "Introduction to Hovercraft", Pitman publishing, The University of Leeds, 1975.
3. B. A. Kolyzayev., "Speravochnik(hand book of hovercraft)", pirove publication, 2 Edition, Leningrad, 1980(in Russian).
۴. و، زایتسف، "گزارش طراحی بالشتک"، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، پژوهشکده هوادریا، ۱۳۸۳.



شکل ۱- نمای کلی بالشتک یک طبقه بسته



a



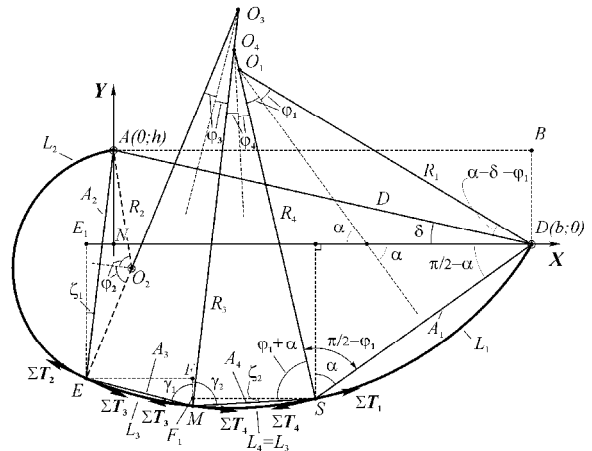
b

شکل ۳: تأثیر پارامترهای سوراخ‌ها بر فرم و شکل

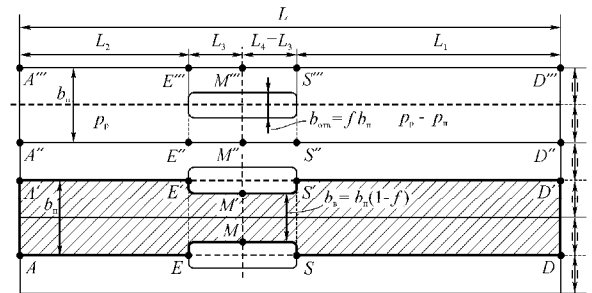
مقطع عرضی لوب قابل انعطاف :

a - تأثیر عرض‌های سوراخ‌ها

b - تأثیر طول‌های سوراخ‌ها

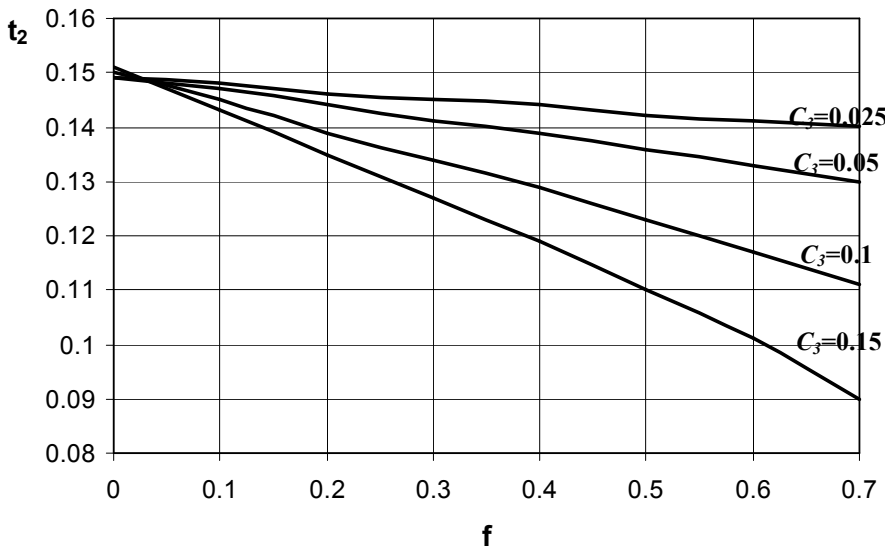


الف

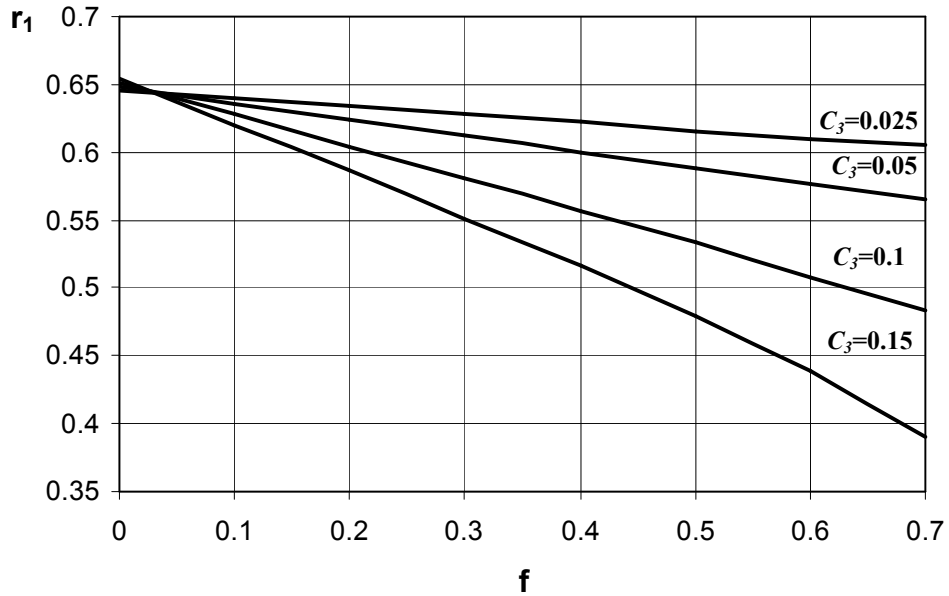
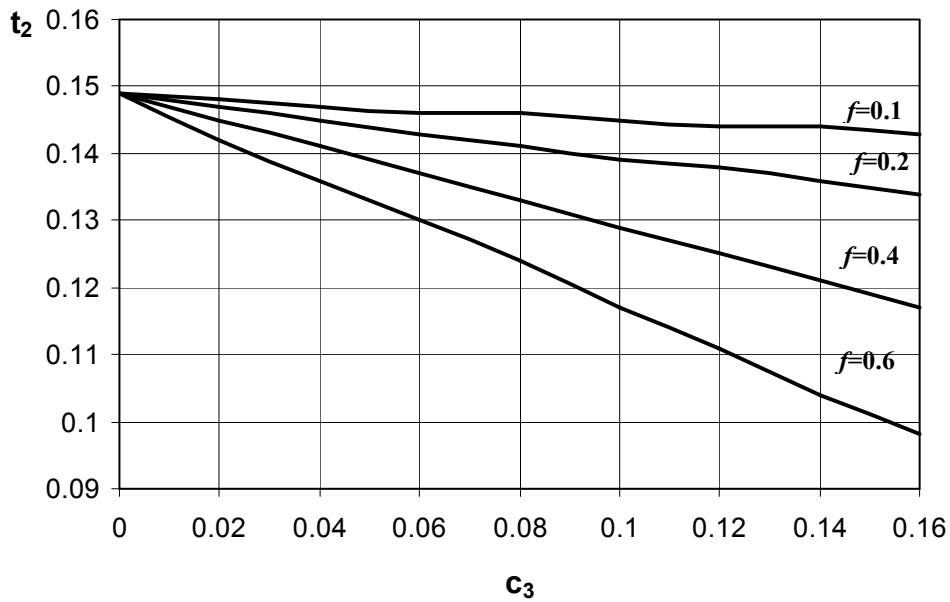


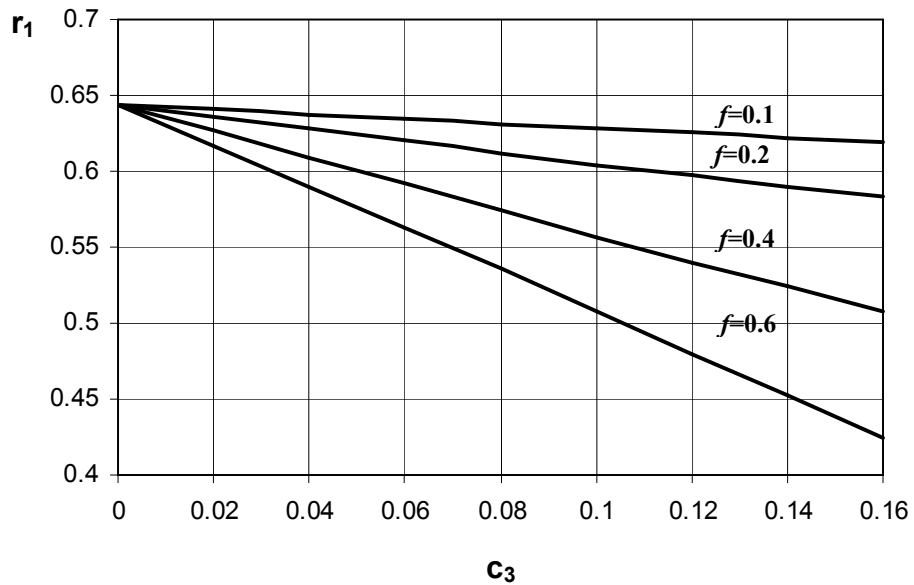
ب

شکل ۲: نقشه محاسبات (الف) مقاطع ، (ب) توزیع



شکل ۴ - ارتباط کشش‌های حلقوی t_2 به عرض‌های نسبی سوراخ‌ها f

شکل ۵ - ارتباط شعاع بدون بعد r_1 با عرض‌های نسبی سوراخ‌ها f شکل ۶ - ارتباط کشش‌های حلقوی t_2 به طول‌های نسبی سوراخ‌ها C_3



شکل ۷ - ارتباط شعاع بدون بعد r_1 به طول‌های نسبی سوراخ‌ها C_3