



محاسبه توزیع فشار زیر بدنه‌ی یک شناور پرنده در هنگام فرود

محمدرضا خسروی^۱

شیراز - بلوار دکتر چمران، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، پژوهشکده هیدروآیرودینامیک

khosravimr@yahoo.com

چکیده

شناورهای پرنده از لحاظ دسته بندی جزء دسته شناورهای اثر سطحی هستند. این شناور به علت پرواز در نزدیکی سطح همیشه در معرض برخورد با سطح آب است. بنابراین طراحی سازه این نوع شناور علاوه بر بارهای معمول و متداول که متاثر از ظرفیت آنها و نیز نحوه استفاده از آنها است، شامل بارهای ناشی از برخورد شناور به سطح آب و اثرات متقابل سازه و آب در اثر بارهای دینامیکی ایجاد شده، می‌باشد. در این مقاله نیروهای وارد بر کف شناور و توزیع فشار ناشی از برخورد شناور به سطح آب در هنگام فرود محاسبه شده است. با توجه به پیچیدگی پدیده فیزیکی فوق از تئوری ون کارمن و تئوری هواپیمای آب‌نشین استفاده شده، و روش جدید و ساده‌ای برای محاسبه نیروهای اسلمینگ و فشار وارده بر کف شناور، پیشنهاد شده است. مقایسه نتایج این روش با استاندارد بارگذاری هیدروآیرودینامیکی و روشهای عددی، دقت مناسب و مفید بودن این روش را در حل این گونه مسائل مورد تأیید قرار داده است.

کلمات کلیدی: نیروی اسلمینگ - شناور پرنده - هواپیمای آب‌نشین - تئوری ون کارمن

۱- عضو هیات علمی دانشگاه صنعتی مالک اشتر - پژوهشکده هیدروآیرودینامیک

۱- مقدمه

شناور WIG از عبارت Wing In Ground Effect گرفته شده و عموماً نام شناورهای پرنده می‌باشد که روسها بدان اکرانوپلن (Ekranoplan) می‌گویند. اکرانوپلن از دو کلمه اکرانو به معنی مسطح و صفحه‌ای (Screen)، و پلن به معنی هواپیما تشکیل شده است. این شناور وسیله‌ای بین هاورکرافت و هواپیما است که اندکی بالای سطح (معمولاً سطح آب) پرواز می‌کند شکل (۱). شناور پرنده بر روی بالشتکی از هوا حرکت می‌کند. این بالشتک هوای آیرودینامیکی حاصل از هندسه شناور می‌باشد. لذا بالشتک هوا زمانی ایجاد می‌گردد که شناور از سرعت کافی برخوردار بوده و نیروی برآی (Lift) ایجاد شده توانایی جداسازی شناور را از سطح آب داشته باشد. WIG ها برای بهره‌بری از مزیت اثر سطح (Ground Effect) طراحی شده‌اند و بدین علت همیشه در نزدیکی سطح پرواز می‌کنند و در این شرایط پرواز، این شناور در معرض برخورد با امواج سطحی آب قرار خواهد گرفت [۱]. ضربات امواج آب یکی از بحرانی‌ترین نیروها در طراحی سازه‌های هوایی- دریایی هستند. بارهای وارده بر چنین سازه‌هایی، علاوه بر بارهای معمول و متداول که متأثر از ظرفیت آنها و نیز نحوه استفاده از آنها است، شامل بارهای ناشی از اثرات جریانهای روآبی و زیرآب، اثرات موج، اثرات متقابل سازه و آب در اثر بارهای دینامیکی ایجاد شده، اثر باد و حتی اثرات انفجار زیر سطح می‌باشد. از مهمترین نیروهایی که به سازه‌های دریایی وارد میشود، نیروی حاصل از ضربه هیدرودینامیکی است. نیروی اسلمینگ (Slamming) در شناورها و ضربه امواج به سکوها نمونه‌های متداول این پدیده هستند. ضربه هیدرودینامیکی اولین بار توسط Von Karman در سال ۱۹۲۹ مورد مطالعه قرار گرفت. کارمن روشی تحلیلی با استفاده از تئوری مومنتم برای پیش‌بینی ضربه وارد به هواپیمای آب‌نشین (Sea Plane) ارائه کرد [۲]. بنابراین محاسبه دقیق مقدار ضربه هیدرودینامیکی اعمال به بدنه از اهمیت خاصی برخوردار است. لذا روند نشست و برخاست شناور پرنده و چگونگی شرایط ضربه را باید از طریق تئوری ضربه جسم سخت مدل کرد. بررسی رفتار شناور پرنده در هنگام برخورد به سطح آب هم به صورت تئوری و هم به صورت آزمایشگاهی به علت پیچیدگی‌های خاص این رفتار با دشواری‌های زیادی همراه است. در این مقاله نیروهای حاصل از ضربه هیدرودینامیکی و فشار زیر بدنه با استفاده از تئوری هواپیمای آب‌نشین و تئوری ون کارمن محاسبه شده و با نتایج حل عددی و استاندارد بارگذاری هیدرودینامیکی مقایسه شده است، و سپس برای طراحی سازه زیر بدنه شناور پرنده توزیع فشار مناسبی پیشنهاد شده است.



۲- هواپیمای آب‌نشین

پس از برخورد لبه پله (Step) هواپیمای آب‌نشین با سطح آب، قسمت زیر هواپیمای آب‌نشین به داخل آب فرو رفته، سرعت به تدریج کاهش یافته و مقداری از جرم آب به حرکت در می‌آید. چنانچه به داخل آب فرو رفتن قسمت کف بدنه سریع انجام بگیرد، نیروی عکس‌العمل آب عمدتاً به کمک نیروهای اینرسی مشخص می‌گردد. مقدار نیروی ضربه به طور کلی به چند عامل بستگی دارد که عبارتند از: وزن هواپیمای آب‌نشین، ابعاد و شکل کف، مقدار و جهت سرعت، جهت حرکت هواپیمای آب‌نشین در لحظه برخورد با سطح آب، میزان ارتجاع پذیری سازه و وضعیت سطح دریا.

۱-۲ جرم وابسته

جرم وابسته به جرم مجازی و ساختگی اطلاق می‌گردد که وابسته به جرم جسم متحرک در مایع بوده و می‌تواند به جای اینرسی محیط مایع اطراف جسم استفاده گردد. چنانچه در هنگام حرکت، مایع از سطح جسم جدا نشود، در آن صورت جرم وابسته فقط به دانسیته مایع و شکل جسم بستگی خواهد داشت. از آنجایی که به صورت کلی ماهیت و ویژگی حرکت مایع در جهات مختلف حرکت متفاوت می‌باشد. پس مقدار جرم وابسته نیز در جهات مختلف فرق می‌کند. مجموع تمام جرمهای وابسته، اینرسی وابسته سیستم را تعیین می‌کند. جرم وابسته برای صفحه‌ای به عرض $2C$ که بر روی سطح مایع شناور می‌ماند شکل (۲)، بر واحد طول برابر است با:

$$m_y = \frac{1}{2} \rho \pi C^2 \quad (1)$$

۲-۲ ضربه اجسام به آب

در هنگام فرود هواپیمای آب‌نشین بر روی آب بدنه خیلی سریع به داخل آب فرو می‌رود. برای بررسی نحوی فرود از تئوری ضربه جسم به آب استفاده می‌گردد. در این تئوری جسم سختی بر روی سطح مایع شناور است، جسم و مایع با اعمال یک ضربه ناگهانی به حرکت در می‌آیند. در این حالت چنانچه مقدار اینرسی وابسته را بدانیم ضربه مایع به جسم به کمک روابط زیر به دست می‌آید.

$$K_x = m_x V_x + m_{xy} V_y + m_{x\omega} \omega \quad (2)$$

$$K_y = m_y V_y + m_{xy} V_x + m_{y\omega} \omega \quad (3)$$

هنگامی که جسم دارای هندسه متقارن بوده و دارای حرکت بالا و پایین باشد (در جهت محور y)، مقدار ضربه اعمالی به جسم برابر است با :

$$K = m_y V_y \quad (4)$$

در این رابطه، V_y سرعت جسم پس از وارد شدن ضربه و V_0 سرعت جسم قبل از اعمال ضربه و m_0 جرم جسم است.

$$K = \frac{m_0 m_y}{m_0 + m_y} V_0 \quad (5)$$

معادله حرکت برای سیستم جسم - مایع و با در نظر گرفتن جرم مجازی m و عمق فرورفتن جسم در آب h ، معادله حرکت به صورت زیر نوشته می‌شود .

$$F = \frac{m_0 V_0^2}{(1+\zeta)^3} \frac{d\zeta}{dh} = \frac{V_0^2}{(1+\zeta)^3} \frac{dm}{dh} \quad (8)$$

m_0 جرم جسم، m جرم مجازی و V_0 سرعت به داخل آب رفتن جسم، h عمق فرو رفتن جسم در آب و $\zeta = m/m_0$ نسبت جرم مجازی به جرم جسم است. فرض می‌شود که جرم مجازی جسمی که دارای هندسه منشوری است، هنگامی که در آب قرار می‌گیرد در هر لحظه از زمان برابر با جرم مجازی صفحه تخت دارای عرضی برابر با عرض سطح خیس کف می‌باشد. به عبارت دیگر به جای در آب قرار گرفتن جسم منشوری می‌توان از جریان یک صفحه تخت که به صورت پیوسته در آب فرو می‌رود، استفاده کرد. در این مدل سرعت جریان روی صفحه و سرعت حرکت صفحه در داخل آب با سرعت جریان حول جسم منشوری و سرعت فرورفتن جسم در آب برابر است.

به این ترتیب با استفاده از نتایج جریان روی صفحه، مقدار نیروی ضربه و فشار اعمالی به جسم منشوری محاسبه می‌شود. البته هرچه زاویه کیل (keel) جسم منشوری کمتر باشد، نتایج این مدل سازی بهتر است. در زوایای کیل کم باید اثر حرکت مایع روبرو که موجب افزایش سطح خیس گردیده و سرعت گسترش سطح ضربه را تغییر می‌دهد را، در نظر گرفت. برای در نظر گرفتن حرکت روبروی آب کافی است تا، مقدار نسبت سرعت‌های زیر را بدست آوریم.

$$u = V/(dc/dt) = dh/dc \quad (9)$$

در این رابطه V سرعت واقعی حرکت جسم در هر لحظه، C نصف عرض سطح ضربه h مقدار عمق فرو رفتن جسم در آب است.

هنگامی که شکل کف جسم منشوری و به صورت $y(x)$ است، (شکل ۳)، تابع $y(x)$ به صورت زیر تعریف می‌شود.

$$y(x) = \beta_0 x + \beta_1 x^2 + \beta_2 x^3 + \dots \quad (10)$$

در این حالت تابع $u(c)$ و تابع k_n به صورت زیر تعریف می‌شوند.



$$u(c) = k_0 \beta_0 + k_1 \beta_1 C + k_2 \beta_2 C^2 + \dots \quad (11)$$

$$k_n = \frac{1.0}{\int_0^{\pi/2} \sin^n(\alpha) d\alpha} \quad (12)$$

۴-۱ نیرو و فشار ضربه

نسبت جرم مجازی برای صفحه‌ای به عرض $2C$ و طول L ، به جرم جسم برابر است با:

$$\zeta = \frac{1}{2m_0} \rho \pi C^2 L \quad (13)$$

با جایگزین مقادیر فوق در رابطه‌های (۸) و (۹) مقدار نیروی ضربه به صورت زیر قابل محاسبه است.

$$F = \frac{\pi V_0^2}{(1+\zeta)^3} \frac{\rho C L}{u} = \frac{2m_0 V_0^2}{(1+\zeta)^3} \frac{\zeta}{uC} \quad (14)$$

فشار در نقطه x از کف در صورتی که عرض سطح ضربه $2C$ باشد، به کمک فرمول زیر بدست می‌آید.

$$p(x, C) = \frac{V_0^2}{(1+\zeta)^2} \frac{\rho}{u} \left[\frac{1.0}{\sqrt{1+u^2 - \frac{x^2}{C^2}}} - \frac{2\zeta}{1+\zeta} \sqrt{1+u^2 - \frac{x^2}{C^2}} + \frac{Cu}{\sqrt{1+u^2 - \frac{x^2}{C^2}}} \frac{du}{dc} - \frac{1}{2} \frac{u}{\frac{C^2}{x^2} (1+u^2) - 1} \right] \quad (15)$$

روابط فوق برای کف‌های دارای زاویه کیل کم (ماکزیمم ۱۵ درجه) و فرودهایی که طول سطح ضربه آنها چندین برابر عرض باشد،

صادق است. در اینجا منظور از طول سطح ضربه، طول سطح خیس در راستای طول بدنه و یا اسکی از پله به سمت دماغه می‌باشد.

چنانچه زاویه کیل بیشتر از ۱۵ درجه باشد، برای تعیین نیروی ضربه در فرمول (۱۴) ضریب زیر را اعمال می‌کنیم، به این ترتیب مقدار

نیرو ضربه به این نسبت کاهش می‌یابد. (β زاویه شیب کف در کناره‌های سطح ضربه است)

$$\eta = 1 - \frac{\beta}{\pi} - 0.15 \frac{u}{\pi} - \frac{u}{\pi} \ln\left(\frac{1}{u}\right) \quad (16)$$

۴-۲ سرعت برخورد

در هنگام فرود و تماس با زمین ضربه‌ای به وسیله نقلیه هوایی وارد می‌شود، ضربه گیرها و لاستیک‌های ارابه فرود با کج شدن انرژی

جنبشی فرود را جذب کرده به انرژی حرارتی تبدیل می‌کنند. به عبارت دیگر انرژی جنبشی توسط ارابه فرود (ضربه گیرها، لاستیک

ها و چرخها) جذب می‌شود. در شناورها و شناورهای پرنده ارابه فرود وجود ندارد و نیروی ضربه هیدرودینامیکی مستقیماً به بدنه و

اسکی شناور پرنده اعمال می‌شود. این نیرو مقدار آن بسیار زیاد است و در زمان کوتاهی به بدنه وارد می‌شود. در طراحی سازه شناور

پرنده از استاندارد FAR استفاده می‌شود. مبنای محاسبه نیرو در این استانداردها حداکثر وزن شناور پرنده است، بنابراین باید در هنگام

محاسبه سرعت برخورد شناور پرنده به سطح آب از حداکثر وزن شناور استفاده شود. سرعت قائم یک هواپیمای غیر نظامی هنگام تماس با زمین از مقدار $3/05 \text{ m/s}$ تجاوز نخواهد کرد و این مقدار در اکثر هواپیمای نظامی برابر با $3/7 \text{ m/s}$ خواهد بود. سرعت عمودی شناور پرنده از رابطه زیر قابل محاسبه است [۳].

$$V = 0.61[Mg/S]^{0.25} \quad (SI \text{ Unit}) \quad (17)$$

در این رابطه M: حداکثر جرم شناور پرنده، g: شتاب جاذبه و S: تصویر سطح بال است. در این مقاله شناور پرنده‌ای با جرم 700 kg که 15 m^2 تصویر سطح بال آن است، مدل شده است.

$$V = 2.82 \text{ m/s} \quad (18)$$

۲-۵ محاسبه نیرو و فشار ضربه فرود

برای محاسبه نیروی حاصل از ضربه فرود شناور پرنده از تئوری فوق که برای هواپیمای آب‌نشین ارائه شده، استفاده می‌شود. زاویه Deadrise بدنه $22/5$ درجه، جرم شناور پرنده 700 کیلوگرم، عرض پله $0/7$ متر و سرعت برخورد شناور پرنده به سطح آب $2/82$ متر بر ثانیه است. محورهای مختصات بر حسب B عرض شناور پرنده در مقطع پله بی بعد شده‌اند ($\bar{x} = \frac{2x}{B}$). نسبت جرم مجازی به جرم شناور پرنده بر حسب عرض بی بعد $\bar{C} = \frac{2C}{B}$ با استفاده از رابطه (۱۳) محاسبه می‌شود.

$$\zeta = 0.3343\bar{C}^2 \quad (19)$$

با محاسبه مقدار β_0 از رابطه (۱۰) و مقدار k_0 از رابطه (۱۲) تابع $u(\bar{C})$ بدست می‌آید:

$$u(\bar{C}) = \beta_0 k_0 = 0.264 \quad (20)$$

مقدار نیروی ضربه فرود از رابطه (۱۴) محاسبه می‌شود، ضریب تصحیح نیروی ضربه از رابطه (۱۶) بدست می‌آید. بنابراین مقدار نیروی ضربه در هر مقطع برابر است با:

$$F = \frac{27415}{(1+0.3343\bar{C}^2)^3} \bar{C} \quad (21)$$

تغییرات فشار در زیر بدنه شناور پرنده در هر مقطع از رابطه (۱۵) محاسبه می‌شود.



$$p(\bar{x}, \bar{C}) = \frac{30123}{(1+0.3343\bar{C}^2)^2} \left[\frac{1.0}{\sqrt{1.0697 - \frac{\bar{x}^2}{\bar{C}^2}}} - \frac{0.6686\bar{C}^2}{1+0.3343\bar{C}^2} \sqrt{1.0697 - \frac{\bar{x}^2}{\bar{C}^2}} - \frac{0.132}{1.0697 \frac{\bar{C}^2}{\bar{x}^2} - 1} \right] \quad (22)$$

در شکل (۳) محورهای مختصات متناسب با هندسه منشور انتخاب شده است و مقدار نیروی حاصل از ضربه هیدرودینامیکی در زمانهای مختلف محاسبه شده، و در شکل (۴) تغییرات نیروی اسلمینگ بر حسب عرض بی بعد بدنه شناور پرنده نشان داده شده است. به عبارت دیگر، مقدار نیرو بر اساس میزان فرو رفتن بدنه در آب محاسبه و به صورت بی بعد ارائه شده است. توزیع فشار در مقطعهای مختلف بدنه در شکل (۵) ترسیم شده است. در هر مقطع بیشترین مقدار فشار در لبه مقطع اتفاق می افتد و در طراحی سازه بدنه شناور پرنده از بیشترین مقدار فشار استفاده می شود. بنابراین منحنی بیشترین مقدار فشار در هر مقطع از بدنه شناور پرنده مورد نیاز است. در شکل (۶) تغییرات بیشترین مقدار فشار در عرض بدنه شناور پرنده نشان داده شده است. برای بررسی تاثیر زاویه Deadrise روی نیروی ضربه هیدرودینامیکی با ثابت نگه داشتن عرض بدنه، ضریب بیشترین مقدار فشار $C_{pMax} = \frac{P_{Max}}{1/2\rho V^2}$ در عرض بی بعد بدنه شناور پرنده در شکل (۷) ترسیم شده است. همانگونه که مشاهده می شود با کاهش زاویه Deadrise مقدار نیروی اسلمینگ و فشار به شدت افزایش می یابد.

<sp>:Deleted

۳- تئوری ون کارمن Von Karman

در این روش فرض شده که جسمی به شکل گوشه wedge به طول واحد به سطح آب برخورد می کند. با به کارگیری تئوری مومنتم مقدار نیروی ضربه اعمالی محاسبه می شود. مومنتم اولیه جسم در هر لحظه بین جسم و آب توزیع می شود. قسمتی از مومنتم که به آب انتقال می یابد در لحظه t به X بستگی دارد. مقدار X به این ترتیب محاسبه می شود. چنانچه صفحه ای به عرض 2x و به طول بی نهایت در داخل آب شتاب بگیرد، اینرسی آن به اندازه $(\rho x^2 \pi)$ افزایش می یابد. (ρ دانسیته آب است) به عبارت دیگر، افزایش جرم صفحه برابر جرم آبی است که در داخل یک استوانه فرضی قرار دارد. قطر این استوانه برابر عرض صفحه و طول آن واحد است [۲]. شناورها روی سطح آب قرار دارند، بنابراین نصف حجم استوانه فرضی را آب و نصف حجم را هوا در نظر می گیرند. تاثیر جرم هوا در مقابل جرم آب قابل صرف نظر است. بنابراین در محاسبات جرم مجازی، جرم آب داخل استوانه فرضی را فقط مدنظر قرار می دهند. برای بدنه شناور پرنده که به شکل گوشه است این فرض (صرف نظر کردن از جرم هوا) به واقعیت نزدیکتر است. با توجه به فرضیات انجام شده، کل مومنتم اولیه جسم، برابر مومنتم جسم و مومنتم جرم مجازی است.

$$mV_0 = mV + \frac{1}{2} x^2 \rho \pi V \quad (23)$$

m جرم جسم، V_0 سرعت برخورد جسم به سطح آب، V سرعت فرو رفتن جسم در آب است. نیروی شناوری باعث کاهش مومنتم می‌شود. ولی برای اجسامی که سطح زیر بدنه آنها دارای انحنای زیادی نیستند، با تقریبی خوبی می‌توان از اثر نیروی شناوری صرف‌نظر کرد. با توجه به شکل (۳) سرعت حرکت گوشه در آب برابر است با :

$$V = dy/dt = \tan(\alpha) dx/dt \quad (24)$$

با جایگزینی سرعت فرورفتن جسم در آب، در رابطه (۲۶) و ساده سازی، معادله مومنتم به صورت زیر در می‌آید.

$$dx/dt = V_0 \cotan(\alpha) / [1 + (\rho \pi x^2) / 2m] \quad (25)$$

برای محاسبه نیروی حاصل از ضربه، به شتاب حرکت نیاز است. بنابراین با مشتق گیری از عبارت (۲۴) و جایگزینی شتاب جسم در قانون دوم نیوتون نیروی ضربه به دست می‌آید.

$$F = m \frac{d^2 y}{dt^2} = \rho \pi x V_0^2 \cotan(\alpha) / \left[1 + \frac{\rho \pi}{2m} x^2 \right]^3 \quad (26)$$

با تقسیم نیروی فوق به سطح خیس ($2x$) رابطه‌ای برای محاسبه مقدار فشار متوسط به دست می‌آید.

$$P = \frac{\rho \pi}{2} V_0^2 \cotan(\alpha) / \left[1 + \frac{\rho \pi}{2m} x^2 \right]^3 \quad (27)$$

همانگونه که تابع فشار متوسط نشان می‌دهد، در وسط گوشه ($x = 0$) بیشترین مقدار متوسط فشار اعمال می‌شود.

۳-۱ محاسبه نیرو و فشار ضربه فرود

در شناور پرنده زاویه Deadrise $22/5$ درجه، سرعت برخورد $2/82$ متر بر ثانیه و جرم شناور پرنده 700 کیلوگرم است. بنابراین نیرو و فشار حاصل از ضربه فرود با استفاده از عبارت زیر محاسبه می‌شود.

$$F = \frac{23282.X}{(1. + 0.3343X^2)^3}, \quad P = \frac{30157.}{(1. + 0.3343X^2)^3} \quad (28)$$

تغییرات ضریب نیروی اسلمینگ بر حسب عرض بی بعد بدنه برای زاویه های مختلف Deadrise در شکل (۸) ترسیم شده است.

۴- نتایج

توزیع فشار در مقطعهای مختلف بدنه شناور پرنده، با استفاده از تئوری هواپیمای آب‌نشین در شکل (۵) ترسیم شده‌است. مشاهده می‌شود که ماکزیمم مقدار فشار در هر مقطع در کناره بدنه اتفاق می‌افتد، و به تدریج که بدنه شناور پرنده در آب فرود می‌رود مقدار



ماکزیمم فشار کاهش می‌یابد و توزیع فشار در کل مقطع به سمت یکنواخت شدن میل می‌کند. برای طراحی سازه بدنه شناور پرنده، باید بیشترین مقدار فشار در هر مقطع محاسبه شود بنابراین بیشترین مقدار فشار در هر مقطع در شکل (۶) نشان داده شده است. ضریب بار هیدرودینامیکی بی‌بعد به صورت نسبت نیروی اسلمینگ به وزن شناور $n=F/W$ تعریف می‌شود، نیروی اسلمینگ وارد بر بدنه شناور پرنده با استفاده از تئوری هواپیمای آب‌نشین، تئوری ون کارمن، روشهای عددی CFD [۴] و استاندارد بارگذاری [۳] محاسبه شده، و در شکل (۹) و ضریب بارگذاری هیدرودینامیکی برحسب عرض بی‌بعد ترسیم شده است. در استاندارد بارگذاری مقدار ضریب نیروی اسلمینگ را در کل مقطع مقدار ثابتی در نظر می‌گیرند و همانگونه که مشاهده می‌شود این ضریب سه روش دیگر توزیع خاصی را پیش‌بینی می‌کنند. به عبارت دیگر نیاز نیست که تمام سازه زیر بدنه، شناور پرنده به یک نسبت تقویت شود. معمولاً بیشترین ضربه همیشه نزدیک ناحیه مرکز ثقل بدنه شناور پرنده اعمال می‌گردد، مقدار نیروی اعمالی ضربه‌هایی که به خارج از مرکز ثقل اعمال می‌گردند کمتر است. اما موجب چرخش شناور پرنده می‌گردند، این چرخش تاثیر کمی بر روی مقدار و توزیع ضریب بارگذاشته ولی مقدار تریم و سرعت عمودی شناور پرنده را به شدت تغییر می‌دهد که در نتیجه می‌توان شرایط را برای اعمال ضربه‌های بعدی بویژه در هنگام فرود بروی امواج را بدتر نماید. از آنجایی که فشار اعمالی بروی قسمت کف که در حقیقت همان نیروی عکس‌العمل آب در برابر حرکت جسم به سمت پایین می‌باشد، حداکثر فشار در اطراف و لبه‌های سطح ضربه بروز می‌نماید. در قسمت میانی کف، آب دارای سرعتی رو به پایین می‌باشد.

<sp>:Deleted

¶

Deleted: ¶
<sp>¶

۵- منابع و مراجع

[۱] راد، م. - جعفر کاظمی، م.ف "بررسی انواع شناورهای تندرو و ارائه طرحی برای یک وسیله اثر سطحی جدید" هفتمین کنفرانس

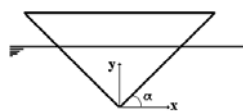
انجمن مهندسان مکانیک ایران، جلد اول، صفحه ۵۱۷-۵۰۱ فروردین ماه ۱۳۷۸

[2] Von Karman, T. "The Impact on Seaplane Float During Landing", NACA, TN 321, 1929

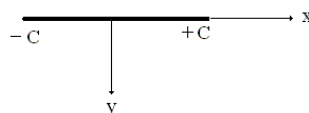
[3] Federal Aviation Requirements, (FAR), Part 23-473, 2001

خسروی، م.ر. نیک سرشت، ا.ح. "حل عددی ضربه هیدرودینامیکی یک شناور WIG" دوازدهمین کنفرانس سالانه (بین المللی)

مهندسی مکانیک، تهران، ۱۳۸۳



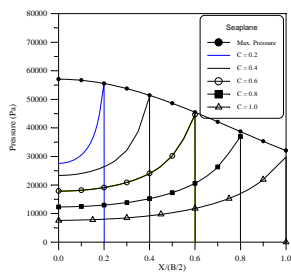
شکل ۳- جسم منشوری



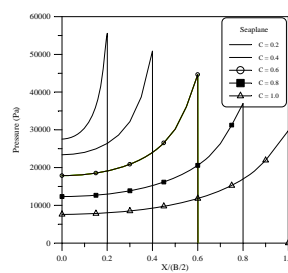
شکل ۲- صفحه‌ای به عرض 2C



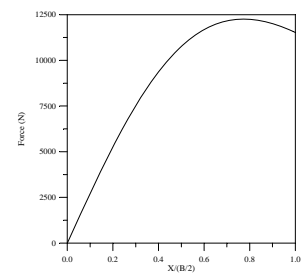
شکل ۱- شناور پرنده



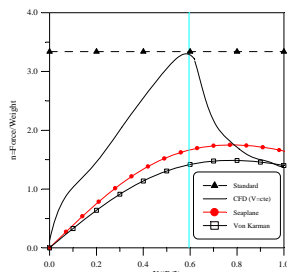
شکل ۶- تغییرات بیشترین مقدار فشار در عرض بدنه شناور پرنده



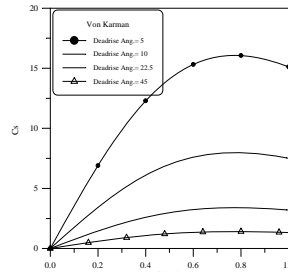
شکل ۵- نمودار توزیع فشار در مقاطع مختلف بدنه شناور پرنده



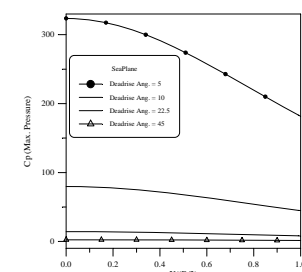
شکل ۴- تغییرات نیروی اسلمینگ بر حسب عرض بی بعد



شکل ۹- نمودار ضریب بار هیدرودینامیکی بر حسب عرض بی بعد



شکل ۸- تغییرات ضریب نیروی اسلمینگ بر حسب عرض بی بعد بدنه



شکل ۷- نمودار ضریب بیشترین مقدار فشار بر حسب عرض بی بعد بدنه