

## تحلیل ورود اریب گوه به آب و مطالعه پارامتری توزیع فشار

سید کاظم ساداتی\*، دکتر حمید زراعتگر

مهندسی دریا، دانشگاه صنعتی امیر کبیر، تهران

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۷/۱۲

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۷/۱۸

شناسه دیجیتال (DOI): [10.22113/jmst.2017.50975](https://doi.org/10.22113/jmst.2017.50975)

### چکیده

تئوری‌های دو بعدی به روش عددی، تحلیلی و آزمایشگاهی سهم بسیاری در مطالعات دریامانی و مانور شناورها داشته‌اند. آنالیز ورود گوه به آب یک مساله پایه‌ای است که کاربرد متنوعی دارد. تا به حال تحقیقات فراوانی به روش‌های مختلف بر روی ورود متقارن و نامتقارن گوه به آب انجام شده است. تست آزمایشگاهی ابزاری قدرتمند است که در این مقاله با تکیه به آن ورود گوه به آب به صورت اریب (با سرعت عرضی) مورد بررسی قرار گرفته است. بدین منظور دستگاهی برای ورود اریب گوه با زاویه ددرایز ۴۰ درجه به آب به صورت سقوط آزاد طراحی و ساخته شده است و توزیع فشار روی گوه حین ورود به آب ثبت گردید. تست ورود اریب گوه به آب برای سرعت‌های عمودی و عرضی مختلف انجام شده است. ورود اریب گوه به آب باعث شکل‌گیری توزیع نامتقارن فشار روی جداره‌های گوه می‌شود. توزیع نامتقارن فشار بر روی جداره‌های گوه علاوه بر وارد شدن نیروی عمودی به گوه باعث وارد شدن نیروی عرضی نیز خواهد شد. نتایج بدست آمده اهمیت سرعت عرضی بر توزیع نامتقارن فشار روی جداره‌های گوه را نشان می‌دهد؛ با افزایش سرعت عرضی اختلاف فشار وارد شده به جداره‌های گوه افزایش می‌یابد و در نتیجه نیروی عرضی وارده به گوه افزایش و نیروی عمودی کاهش خواهد یافت.

**واژگان کلیدی:** گوه، ورود اریب، سرعت عرضی، سرعت عمودی، توزیع فشار

\* نویسنده مسئول، پست الکترونیک: s.kazemsadati@aut.ac.ir

## ۱. مقدمه

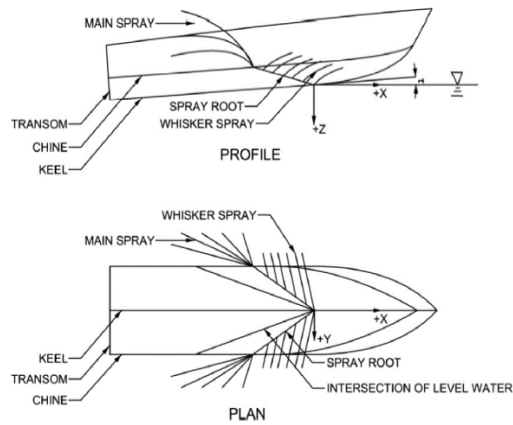
شناورهای تندرو عمدتاً به عنوان شناورهای خدماتی، شناورهای ماهیگیری، آمبولانس‌های دریایی و شناورهای تفریحی و یا ورزشی مورد استفاده قرار می‌گیرند. تلاش در جهت افزایش کارایی عملیاتی شناورهای تندرو از موضوعات تحقیقاتی مهم روز دنیا می‌باشد. پیچیدگی‌های بسیاری در رفتار شناورهای پروازی در آب راکد و امواج وجود دارد. بخش بزرگی از این پیچیدگی‌ها ناشی از وجود سطح آزاد در ماهیت اینگونه مسائل است. به همین نسبت روش‌های محاسباتی موجود در این مقوله نیز مشکلات و پیچیدگی‌های فراوانی دارند. تحلیل بسیاری از پدیده‌های فیزیکی از جمله حرکت کشتی‌ها و خصوصاً شناورهای پروازی در آب راکد و موج، منجر به حل یک مسئله‌ی پایه‌ای می‌گردد که همانا ورود یک گوه به آب است. ورود گوه به آب پدیده‌ای با ماهیت اسلمینگ<sup>۱</sup> می‌باشد که روش‌های مختلف تحلیلی، عددی و آزمایشگاهی برای بررسی آن بکار گرفته می‌شود. تست ورود متقارن گوه به آب با رهائش گوه از ارتفاعی مشخص نسبت به سطح آب (متناسب با سرعت عمودی برخوردی به آب) انجام می‌شود. ولی به هنگام حرکت شناور پروازی در موج یا انجام مانوری مثل دور زدن، مقاطع شناور پروازی به صورت متقارن وارد آب نخواهند شد در نتیجه بایستی برای شناخت بهتر رفتار شناور پروازی در این گونه شرایط مسئله ورود گوه به آب به صورت نامتقارن نیز بررسی شود. ورود نامتقارن به آب را می‌توان ترکیبی از سرعت عمودی و زاویه رول (ورود با زاویه رول) یا ترکیبی از سرعت عمودی و سرعت عرضی (ورود اریب) تعریف کرد.

در پانزده سال گذشته در زمینه ورود گوه دوبعدی به آب پیشرفت‌های شایانی مشاهده شده است. بیشترین این پیشرفت‌ها و مطالعات در زمینه ورود متقارن، نامتقارن (با زاویه رول) به آب می‌باشد. برای مثال در مطالعات انجام شده توسط جادج<sup>۲</sup> و همکارانش (Judge, 2004) به اهمیت ورود گوه با زاویه رول در شکل‌گیری اسپری و توسط گو<sup>۳</sup> و همکارانش (Gu, 2014) در تخمین فشار اسلمینگ سازه‌های فراساحلی پرداخته شده است.

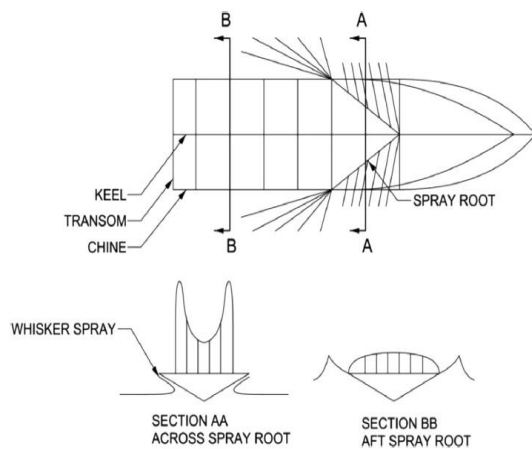
شکل ۱ هندسه یک شناور پروازی معمولی را با عرض  $b$ ، طول کیل خیس شده ( $L_k$ ) و زاویه ددرایز<sup>۴</sup> ( $\beta$ ) که با زاویه تریم<sup>۵</sup> ( $\tau$ ) در حرکت می‌باشد نشان می‌دهد. همانطور که در اشکال ۱ تا ۳ مشاهده می‌شود هر مقطع از شناور پروازی یک گوه دو بعدی با عرض و زاویه ددرایز ثابت می‌باشد. برای تحلیل چگونگی رفتار دو بعدی شناورهای پروازی می‌توان یکی از مقاطع در ناحیه اسپری و مقطعی در نزدیکی پاشنه شناور را مورد بررسی قرار داد (شکل ۲). همچنین در شکل ۲ فشار شکل گرفته روی مقطع عرضی در ناحیه اسپری (AA) و مقطع عرضی در نزدیکی پاشنه (BB) به نمایش در آمده است، همانطور که مشاهده می‌شود در مقطع عرضی نزدیک پاشنه فشار نسبت به مقطع در ناحیه اسپری کاهش یافته است، این دیدگاه با تئوری واگنر<sup>۶</sup> مطابقت دارد (Wagner, 1932).

در شکل ۳ تئوری 2D+T برای شناورهای پروازی به نمایش در آمده است که اولین بار توسط ون کارمن<sup>۷</sup> در سال ۱۹۲۹ ارائه شد (Von Karman, 1929). ون

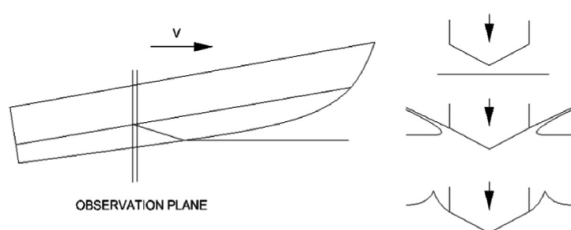
<sup>2</sup> Judje<sup>3</sup> Gu<sup>4</sup> Deadrise<sup>5</sup> Trim<sup>6</sup> wagner<sup>7</sup> von karman<sup>1</sup> Slamming



شکل ۱: شماتیک شناور پروازی حین حرکت در خط راست و نمایش اسپری



شکل ۲: نمایش فشارهای شکل گرفته روی مقطعی در قسمت اسپری و مقطع در پاشنه



شکل ۳: شماتیک تئوری 2D+T

در این مقاله ورود گوه دو بعدی به آب به صورت آزمایشگاهی مورد مطالعه قرار گرفته است. در این آزمایش‌ها ورود یک گوه با زاویه ددرایز ۴۰ درجه به صورت اریب مورد بررسی قرار گرفته است. این آزمایش‌ها در سرعت‌های عمودی و عرضی مختلف انجام شده است و در هر مرحله توزیع فشار بر روی گوه ثبت شده است.

کارمن برای اولین بار تئوری برخورد گوه به آب را با در نظر گرفتن جرم افزوده مورد مطالعه قرار داد. در سال ۱۹۳۲ واگنر بالا آمدگی آب در محل تقاطع آب با بدنه را ارائه کرده است که باعث افزایش عرض خیس مقطع در آب آرام می‌شود که در اصطلاح به آن موج بالا آمده<sup>۱</sup> گفته می‌شود (Wagner, 1932). ساوندرا<sup>۲</sup> در سال ۲۰۰۲ از تئوری 2D+T جهت محاسبه مقاومت در آب آرام استفاده کرده است (Savander, 2002). مایو<sup>۳</sup> در سال ۱۹۴۵ (Mayo, 1945) و میلیوزکی<sup>۴</sup> در سال ۱۹۴۸ (Milwitzky, 1948) در راستای برخورد اکرانوپلان‌ها<sup>۵</sup> بر سطح آب هنگام فرود تحقیقاتی انجام داده‌اند. تحقیقات گسترده‌ای توسط زارنیک<sup>۶</sup> در سال ۱۹۷۸ روی حرکات صفحه عمودی شناورهای پروازی در امواج منظم انجام شده است (Zarnick, 1978) که بعد از آن در سال ۲۰۰۸ مطالعات گسترده‌ای بر روی اثرات جاذبه، حرکات در امواج منظم و رول توسط سباستیانی<sup>۷</sup> صورت گرفته است (Sebastiani, 2008). دقت و صحت مسئله متعارف برخورد گوه به آب با استفاده از روش‌های عددی و تئوری در طی سال‌های اخیر پیشرفت فراوانی داشته است. از جمله این تحقیقات می‌توان به تحقیقات انجام شده توسط فرلی<sup>۸</sup> و تویتنس<sup>۹</sup> و همکارانش در سال ۲۰۰۸ پرداخت (Fairlie-Clarke, 2008)، در این تحقیقات به اثرات جاذبه پرداخته شده است که از تئوری 2D+T در سرعت‌های پایین استفاده شده است.

<sup>1</sup> wave-rise

<sup>2</sup> savander

<sup>3</sup> mayo

<sup>4</sup> milwitzky

<sup>5</sup> seaplanes

<sup>6</sup> zarnik

<sup>7</sup> sebastiani

<sup>8</sup> fairlie

<sup>9</sup> tvitnes

## ۲. مواد و روشها

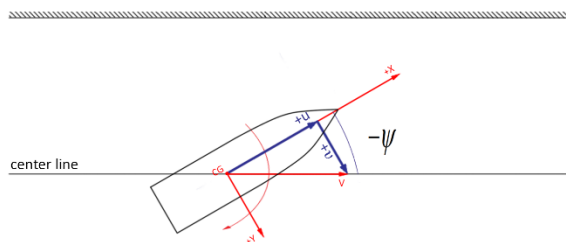
اهداف و مکانیزم طرح

در مدل ریاضی مانور شناورهای پروازی نیروها و گشتاورهای ناشی از سرعت عرضی از جمله ترمهای مهم در محاسبات مانور می‌باشند، از این رو در سالهای اخیر مطالعات و تحقیقات فراوانی به روشهای عددی و آزمایشگاهی برای محاسبه دقیق نیروها و گشتاورهای ناشی از سرعت عرضی انجام شده است. از جمله روشهای محاسبه نیرو و گشتاورهای ناشی از سرعت عرضی استفاده از تست خط راست در حوضچه کشش می‌باشد. در این تست مدل شناور پروازی را در یک حوضچه کشش همانند شکل ۴ به ارابه بسته و با سرعت پیشروی مدل به حرکت درآورده می‌شود. در زاویه‌های یاو<sup>۱</sup> مختلف، متناسب با سرعت پیشروی مدل، دارای سرعت در محور  $y$  می‌گردد. با توجه به جهت مدل، مولفه عرضی سرعت ( $v$ ) در راستای محور  $y$  به صورت زیر بدست می‌آید:

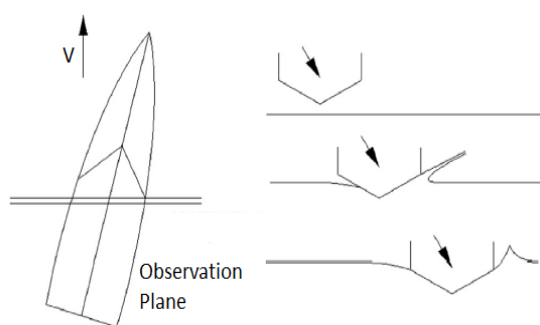
$$v = -V \sin(\psi) \quad (1)$$

علامت منفی با توجه به محور مختصات ظاهر گردیده است.

به وسیله یک دینامومتر که در وسط شناور پروازی قرار داده شده است مقادیر نیروی  $Y$  و گشتاور  $N$  که توسط مدل ایجاد شده در هر زاویه یاو ( $\psi$ ) اندازه گرفته می‌شود. این مقادیر به صورت منحنی و تابعی از  $v$  ترسیم می‌گردد. شیب منحنی بدست آمده در  $v = 0$  مقادیر ضرایب  $Y_v, N_v$  مدل می‌باشد.



شکل ۴: شماتیک تست خط راست در حوضچه کشش در این مقاله جهت بررسی تاثیر سرعت عرضی بر نیروها و گشتاورها از تست سقوط آزاد گوه دو بعدی به آب استفاده شده است. همانطور که در شکل ۵ نشان داده شده است مقاطع شناور پروازی در حال حرکت با سرعت عرضی در تست خط راست در حوضچه کشش به صورت اریب وارد آب می‌شوند. در این حالت یک مقطع از شناور پروازی هم سرعت عمودی و هم سرعت عرضی دارد. بدین منظور در این مقاله دستگاه تست سقوط آزاد به گونه‌ای طراحی و ساخته شده است که گوه (مقطعی از شناور پروازی) به صورت اریب (دارای سرعت عمودی و عرضی) وارد آب شود.



شکل ۵: شماتیک حرکت شناور با زاویه یاو و نمایش مقاطع

با ورود اریب گوه به آب فشار وارده به جداره‌ای از گوه که زودتر به آب برخورد می‌کند (جداره راست گوه در شکل ۶) بیشتر از جداره دیگر گوه (جداره چپ گوه در

<sup>1</sup> yaw



شکل ۷: نمای جانبی دستگاه ساخته شده



شکل ۸: نمای روبرو دستگاه ساخته شده

محاسبه مولفه‌های سرعت

همانطور که در شکل ۹ نشان داده شده است برای یک گوه که دارای سرعت عرضی و عمودی می‌باشد مولفه‌های سرعت به شکل زیر تعریف می‌شود:

$$\begin{aligned} u &= 0 \\ v &= U \sin \psi = w \tan \psi = U \tan \tau * \tan \psi \quad (2) \\ w &= U \tan \tau \end{aligned}$$

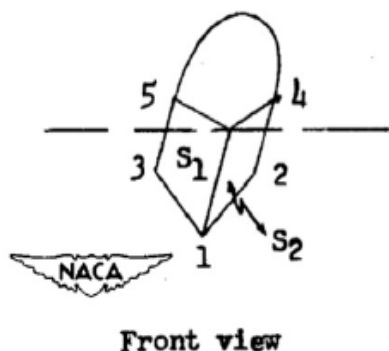
در روابط بالا  $u$  مولفه سرعت در راستای محور  $x$ ،  $v$  مولفه عرضی سرعت (در راستای محور  $y$ ) و  $w$  مولفه عمودی سرعت (در راستای محور  $z$ ) می‌باشد. همچنین

شکل ۶) می‌باشد. این اختلاف فشار باعث ایجاد نیروی عرضی در سرعت عرضی مد نظر می‌شود.



شکل ۶: نمایش شماتیک سطح آب حین ورود اریب

در شکل ۷ و ۸ دستگاه ساخته شده برای اجرای تست ورود اریب گوه با آب به همراه گوه با زاویه ددرایز ۴۰ درجه نشان داده شده است. از این دستگاه می‌توان برای تست‌های ورود متقارن، ورود با زاویه رول (نامتقارن) و ورود اریب (با زاویه یاو یا سرعت عرضی) همانطور که در بالا توضیح داده شده است استفاده کرد، اما در این مقاله فقط تحلیل ورود اریب گوه به آب مورد بحث می‌باشد. هرچه زاویه ددرایز گوه افزایش یابد، نمایش توزیع فشار شکل گرفته روی جداره‌های گوه حین ورود به آب بهتر می‌باشد و آزمایش از تکرار پذیری برخوردار خواهد بود و در نتیجه بروز خطا در آزمایش کاهش می‌یابد. هدف اصلی مقاله تست سقوط آزاد با سرعت عرضی می‌باشد که کنترل اصطکاک بین چرخ‌ها و ریل برای کاهش خطا بسیار دشوار می‌باشد (شکل ۷)، پس از گوه‌ای با زاویه ددرایز ۴۰ درجه برای نمایش بهتر توزیع فشار بر روی جداره‌ها استفاده شده است. قابل ذکر است که در مقاطع جلوتر از مرکز ثقل یک شناور پروازی زاویه ددرایز به ۴۰ درجه هم خواهد رسید.



شکل ۱۰: نمایش گوه در حال ورود اریب به آب (Smiley, 1952)

در رابطه ۴،  $\beta$  زاویه ددرایز بدنه می‌باشد. با توجه به شکل ۱۰ و رابطه ۳ مولفه نیروی عمودی وارد بر گوه را می‌توان به صورت زیر بیان کرد:

$$Z = (F_1 + F_2) \cos \beta = \left(F_1 + \frac{F_1 S_2}{S_1}\right) \cos \beta = \frac{F_1}{S_1} (S_1 + S_2) \cos \beta \quad (5)$$

با ترکیب روابط ۴ و ۵ نسبت نیروی عرضی به نیروی عمودی برابر می‌شود با:

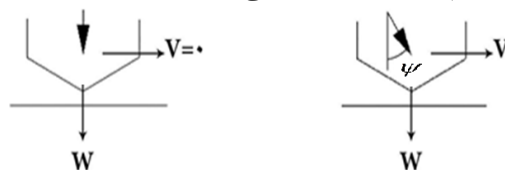
$$\frac{Y}{Z} = \frac{C_Y}{C_Z} = \frac{S_1 - S_2}{S_1 + S_2} \tan \beta \quad (6)$$

$C_Y$  ضریب نیروی عرضی و  $C_Z$  ضریب نیروی عمودی می‌باشد. در حالت ورود اریب گوه به آب می‌توان بین سطح تصویر شده جداره‌های گوه و زوایای ددرایز گوه ( $\beta$ )، تریم ( $\tau$ ) و یاو ( $\psi$ ) رابطه‌ی زیر را نوشت:

$$\frac{S_1 - S_2}{S_1 + S_2} = \frac{\tan \psi \tan \beta}{\sin \tau} \quad (7)$$

بنابراین نسبت نیروی عرضی به نیروی عمودی در هر دو حالت چاین خشک و چاین خیس را می‌توان به صورت زیر نوشت:

$U$  سرعت پیشروی شناور،  $\psi$  زاویه یاو (شکل ۴) و  $\tau$  زاویه تریم (شکل ۱) شناور می‌باشد.



شکل ۹: شماتیک سرعت هنگام ورود اریب و متقارن گوه به آب

بدین منظور در تست واتر نتری گوه، با تنظیم ارتفاع (h) سقوط گوه به سرعت عمودی  $w = \sqrt{2gh}$  می‌توان دست یافت و سرعت عرضی مد نظر برابر با  $v = w \tan \psi$  می‌باشد. لازم به ذکر است که ارتفاع h از لبه تیز گوه تا سطح آب اندازه‌گیری خواهد شد.

محاسبه نیروهای عمودی و عرضی (Smiley, 1952) شکل ۱۰ ورود اریب (با زاویه یاو) گوه به آب را نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌شود سطح تصویر شده جداره چپ گوه در شکل ۱۰ ( $S_1$ ) به سبب زاویه یاو، بزرگتر از سطح تصویر شده جداره راست گوه در شکل ۱۰ ( $S_2$ ) می‌باشد. با فرض دقیقی می‌توان نیروی عمودی وارده به هر جداره را با سطح خیس تصویر شده همان جداره از گوه متناسب دانست. از این رو می‌توان رابطه زیر را نوشت:

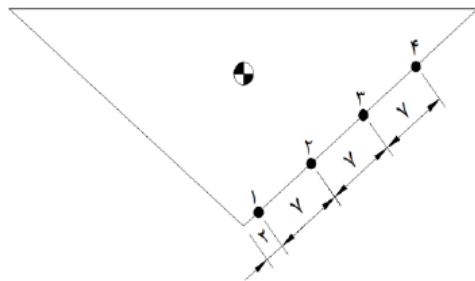
$$\frac{F_1}{F_2} \approx \frac{S_1}{S_2} \quad (3)$$

$F_1$  نیروی وارده به سطح  $S_1$  و  $F_2$  نیروی وارده به سطح  $S_2$  می‌باشد. بنابراین مولفه عرضی نیروی وارده بر گوه را می‌توان به صورت زیر نوشت:

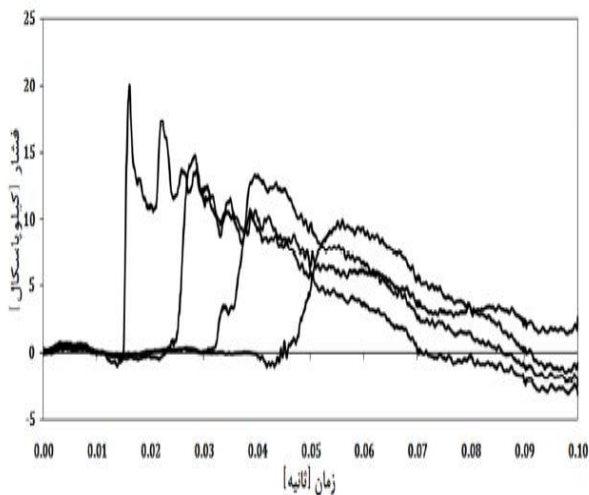
$$Y = (F_1 - F_2) \sin \beta = \left(F_1 - \frac{F_1 F_2}{S_1}\right) \sin \beta = \frac{F_1}{S_1} (S_1 - S_2) \sin \beta \quad (4)$$

نشان دهنده صحت و درستی کارکرد دستگاه ساخته شده برای تست سقوط آزاد به آب می‌باشد (شکل ۱۲ و ۱۳).

توجه شود که در تمامی نمودارهای ارائه شده در نتایج، نمودار با رنگ قرمز نشان دهنده تغییرات فشار نزدیک-ترین فشارسنج به کف می‌باشد که در شکل ۱۱ با شماره ۱ نمایش داده شده است. نمودار با رنگ سبز مربوط به فشار سنج شماره ۲، نمودار با رنگ آبی مربوط به فشارسنج شماره ۳ و نمودار با رنگ مشکی نمایانگر فشارسنج ۴ می‌باشد.



شکل ۱۱: نمایش فشارسنج‌ها روی بدنه گوه



شکل ۱۲: توزیع فشار برای گوه ۴۰ درجه با ارتفاع سقوط ۰٫۵ متر در تست انجام شده توسط دکتر زراعتگر و همکاران (زراعتگر و همکاران، ۱۳۹۱)

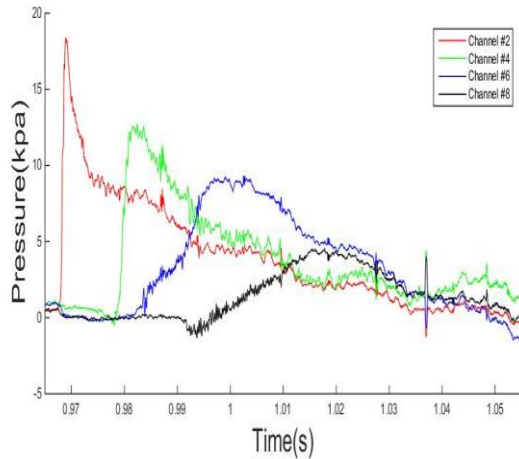
(۸)

$$\frac{Y}{Z} = \frac{C_y}{C_z} = \frac{\tan \psi \tan^2 \beta}{\sin \tau}$$

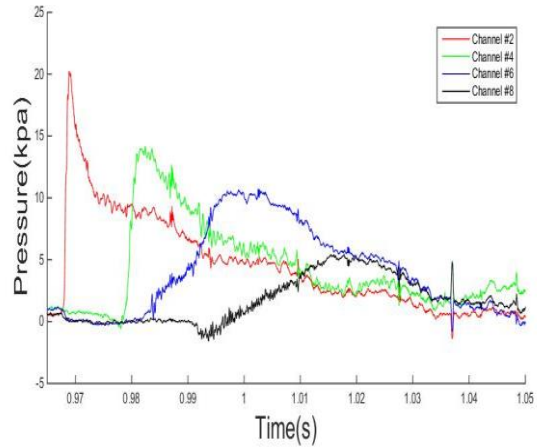
صحت سنجی و معتبرسازی آزمایش

جهت بررسی صحت و درستی دستگاه ساخته شده از تست سقوط آزاد انجام شده در آزمایشگاه هیدرودینامیک دانشگاه صنعتی امیر کبیر در سال ۱۳۹۱ استفاده شده است. تست سقوط آزاد انجام شده توسط زراعتگر و همکارانشان در حالت متقارن برای گوه‌های ددرایز متفاوت انجام شده است (زراعتگر و همکاران، ۱۳۹۱). یکی از تست‌های انجام شده توسط زراعتگر و همکارانش ورود متقارن گوه با زاویه ددرایز ۴۰ درجه در ارتفاع سقوط ۰٫۵ متر معادل سرعت عمودی ۳٫۱ متر بر ثانیه می‌باشد. جهت صحت سنجی ایده‌ی تشریح شده در این مقاله، گوه‌ای با زاویه ددرایز ۴۰ درجه با مشخصاتی همانند گوه‌ی تست شده توسط زراعتگر و همکاران تهیه شده است. تست ورود متقارن گوه به آب در این مقاله نیز با سرعت عمودی ۳٫۱ متر بر ثانیه همانند تست زراعتگر و همکاران انجام شده است.

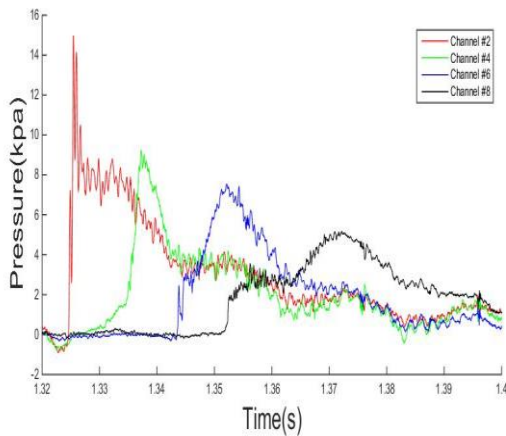
در این تست از فشارسنج جهت ثبت داده استفاده شده است که محل نصب فشارسنج‌ها با محل نصب فشار سنج بر روی گوه تست شده زراعتگر و همکاران همخوانی دارد. در شکل ۱۱ محل نصب فشار سنج‌ها روی بدنه چوبی گوه آب بند نشان داده شده است که فشار وارده در اثر ضربه حین ورود گوه به آب را ثبت می‌کنند (فواصل نشان داده شده روی گوه جهت نصب فشارسنج‌ها بر حسب سانتی متر می‌باشد). مقایسه نمودارهای فشار بر حسب زمان ناشی از ضربه وارده به گوه در اثر ورود متقارن گوه به آب زراعتگر و همکارانش و تست انجام شده با دستگاه ساخته شده در این مقاله



شکل ۱۴: توزیع فشار برای ارتفاع سقوط ۰,۴۵ متر، سرعت عمودی ۲,۹۷ متر بر ثانیه، حالت متقارن ورود به آب (سرعت عرضی ۰,۰)



شکل ۱۳: توزیع فشار روی گوه ۴۰ درجه با ارتفاع سقوط ۰,۵ متر با دستگاه ساخته شده در حالت متقارن



شکل ۱۵: توزیع فشار برای ارتفاع سقوط ۰,۴۵ متر، سرعت عمودی ۲,۹۷ متر بر ثانیه، سرعت عرضی ۰,۲۵۹ متر بر ثانیه، جداره فشار کم گوه

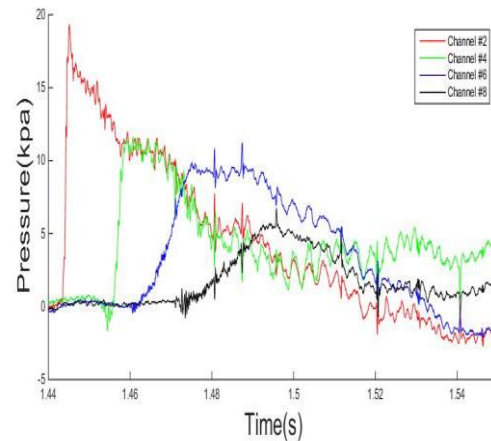
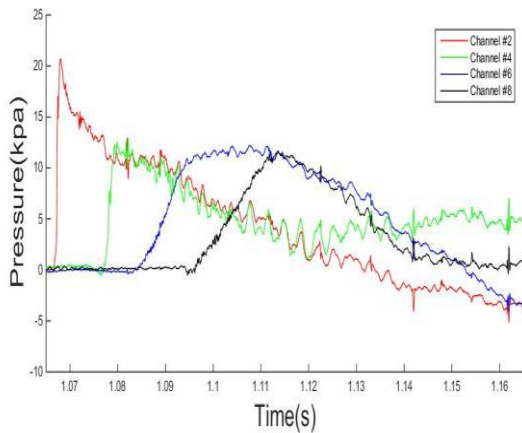
### ۳. نتایج و بحث

با توجه به تشریح روند انجام تست ورود اریب گوه به آب در این بخش نتایج تست‌های انجام شده با دستگاه ساخته شده برای گوه با زاویه ددرایز ۴۰ درجه ارائه شده است. ابتدا تست ورود متقارن گوه به آب انجام شده است، تست ورود متقارن گوه برای ارتفاع ۰,۴۵ متر معادل با سرعت عمودی ۲,۹۷ متر بر ثانیه و ارتفاع ۰,۶ متر معادل با سرعت عمودی ۳,۴۲ متر بر ثانیه انجام شده است.

در مرحله بعدی انجام تست‌ها، دستگاه طوری تنظیم شده است که گوه در زاویه یاو ۵ درجه قرار گرفته است. این تست برای دو ارتفاع ۰,۴۵ متر و ۰,۶ متر انجام شده است. در ارتفاع ۰,۴۵ متر، سرعت عمودی ۲,۹۷ متر بر ثانیه و سرعت عرضی ۰,۲۵۹ متر بر ثانیه (با توجه به زاویه یاو ۵ درجه و معادله ۲) و در ارتفاع ۰,۶ متر، سرعت عمودی ۳,۴۲ متر بر ثانیه و سرعت عرضی ۰,۲۹۹ متر بر ثانیه (با توجه به زاویه یاو ۵ درجه و معادله ۲) می‌باشد. نتایج حاصل از تست برای جداره فشار کم و فشار زیاد گوه در هر تست آورده شده است.

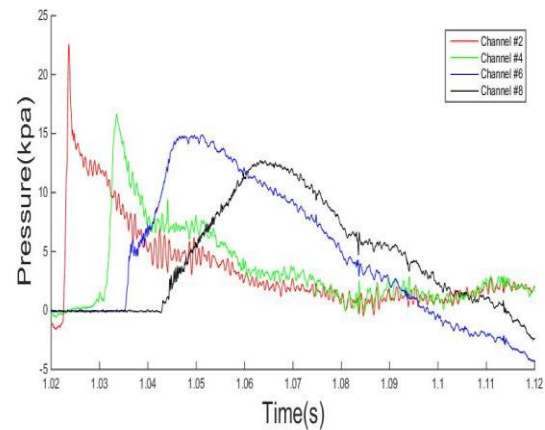


سرعت عمودی ۳,۴۲ متر بر ثانیه، سرعت عرضی  
۰,۲۹۹ متر بر ثانیه، جداره فشار کم گوه



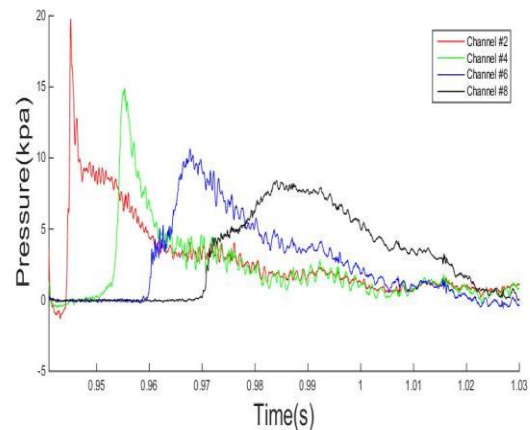
شکل ۱۶: توزیع فشار برای ارتفاع سقوط ۰,۴۵ متر،  
سرعت عمودی ۲,۹۷ متر بر ثانیه، سرعت عرضی  
۰,۲۵۹ متر بر ثانیه، جداره فشار زیاد گوه

شکل ۱۹: توزیع فشار برای ارتفاع سقوط ۰,۶ متر،  
سرعت عمودی ۳,۴۲ متر بر ثانیه، سرعت عرضی  
۰,۲۹۹ متر بر ثانیه، جداره فشار زیاد گوه



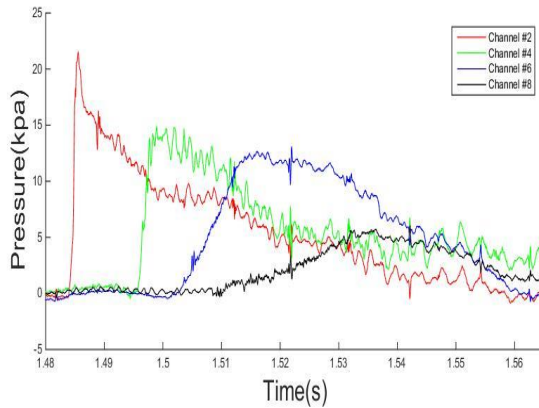
شکل ۱۷: توزیع فشار برای ارتفاع سقوط ۰,۶ متر،  
سرعت عمودی ۳,۴۲ متر بر ثانیه، حالت متقارن ورود  
به آب (سرعت عرضی ۰,۰)

در مرحله بعدی انجام تست‌ها، دستگاه طوری تنظیم شده است که گوه در زاویه یا ۱۰ درجه قرار گرفته است. این تست برای دو ارتفاع ۰,۴۵ متر و ۰,۶ متر انجام شده است. در ارتفاع ۰,۴۵ متر، سرعت عمودی ۲,۹۷ متر بر ثانیه و سرعت عرضی ۰,۵۲ متر بر ثانیه (با توجه به زاویه یا ۱۰ درجه و معادله ۲) و در ارتفاع ۰,۶ متر، سرعت عمودی ۳,۴۲ متر بر ثانیه و سرعت عرضی ۰,۶ متر بر ثانیه (با توجه به زاویه یا ۱۰ درجه و معادله ۲) می‌باشد. نتایج حاصل از تست برای جداره فشار کم و فشار زیاد گوه در هر تست آورده شده است.



شکل ۱۸: توزیع فشار برای ارتفاع سقوط ۰,۶ متر،

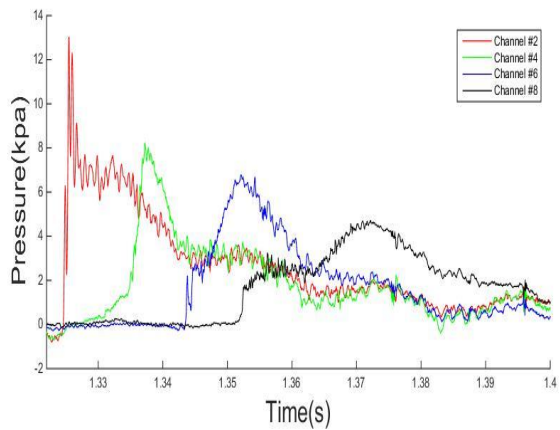
شکل ۲۲: توزیع فشار برای ارتفاع سقوط ۰,۶ متر،  
سرعت عمودی ۳,۴۲ متر بر ثانیه، سرعت عرضی ۰,۶  
متر بر ثانیه، جداره فشار کم گوه



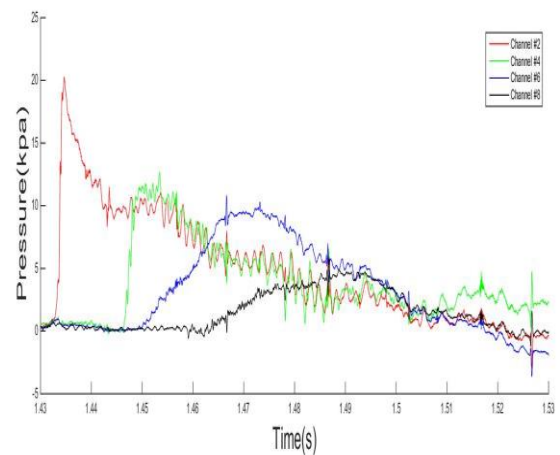
شکل ۲۳: توزیع فشار برای ارتفاع سقوط ۰,۶ متر،  
سرعت عمودی ۳,۴۲ متر بر ثانیه، سرعت عرضی ۰,۶  
متر بر ثانیه، جداره فشار زیاد گوه

همانگونه که مشاهده می‌شود به دلیل پایین بودن مقدار فشار بر روی این گوه، نسبت نویز به سیگنال افزایش چشمگیری دارد. لذا توزیع فشار ثبت شده توسط سنسورها دارای نوسانات زیادی می‌باشد. از منظر رفتار عمومی منحنی‌ها و محل وقوع پیک فشار، رفتار گوه با زاویه ددرایز ۴۰ درجه پیک فشار توسط سنسور اول ثبت می‌شود و سنسورهای بعدی نیز به ترتیب و به صورت نزولی پیک‌های فشار را ثبت می‌کنند. به عنوان مثال با توجه به شکل ۲۳ (ارتفاع سقوط ۰,۶ متر و سرعت عرضی ۰,۶ متر بر ثانیه)، سنسور اول پیک فشار ماکزیمم را با عدد ۲۱,۶ کیلو پاسکال آغاز می‌کند. پس از آن سنسور دوم با عدد ۱۴,۸۱ کیلو پاسکال، سنسور سوم ۱۲,۷۴ کیلو پاسکال و سنسور چهارم ۶,۱۳ کیلو پاسکال را برای پیک فشار ثبت می‌کنند که هر سه مقداری کوچکتر از پیک فشار سنسور اول دارند.

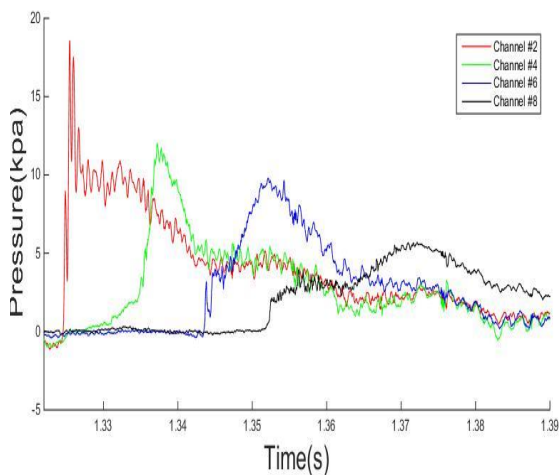
از منظر نرخ تغییرات فشار برای سنسورها نیز مشاهده می‌شود که عمدتاً این تغییرات برای این گوه با شیب



شکل ۲۰: توزیع فشار برای ارتفاع سقوط ۰,۴۵ متر،  
سرعت عمودی ۲,۹۷ متر بر ثانیه، سرعت عرضی ۰,۵۲  
متر بر ثانیه، جداره فشار کم گوه



شکل ۲۱: توزیع فشار برای ارتفاع سقوط ۰,۴۵ متر،  
سرعت عمودی ۲,۹۷ متر بر ثانیه، سرعت عرضی ۰,۵۲  
متر بر ثانیه، جداره فشار زیاد گوه



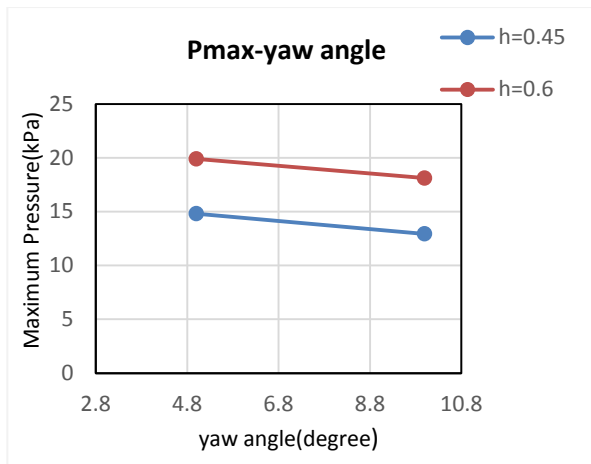
		زاویه یاو ۵ درجه- جداره فشار کم	
۱۸,۹۲	۰,۲۵۹-۲,۹۷	ارتفاع عمودی ۰,۴۵ متر- زاویه یاو ۵ درجه- جداره فشار زیاد	۴
۲۲,۳۴	۰-۳,۴۲	ارتفاع عمودی ۰,۶ متر(متقارن)	۵
۱۹,۹	۰,۲۹۹-۳,۴۲	ارتفاع عمودی ۰,۶ متر- زاویه یاو ۵ درجه- جداره فشار کم	۶
۲۰,۸۹	۰,۲۹۹-۳,۴۲	ارتفاع عمودی ۰,۶ متر- زاویه یاو ۵ درجه- جداره فشار زیاد	۷
۱۲,۹۳	۰,۵۲-۲,۹۷	ارتفاع عمودی ۰,۴۵ متر- زاویه یاو ۱۰ درجه- جداره فشار کم	۸
۲۰,۲۱	۰,۵۲-۲,۹۷	ارتفاع عمودی ۰,۴۵ متر- زاویه یاو ۱۰ درجه- جداره	۹

بسیار ملایم صورت می‌گیرد. می‌توان گفت که برای این ددرایز، تنها سنسور اول است که پس از زمان ثبت پیک، کاهش فشار آن دارای شیب تندی است.

نتایج بدست آمده اهمیت سرعت عرضی بر توزیع فشار روی مقطع گوه را نشان می‌دهد. بدین صورت که در اثر ورود اریب گوه به آب فشار ثبت شده در جداره چپ و راست گوه متقارن نیست و متفاوت می‌باشد؛ با افزایش سرعت عرضی اختلاف فشار وارد شده به دو طرف گوه افزایش می‌یابد و در نتیجه نیروی عرضی وارده به مقطع افزایش و نیروی عمودی کاهش خواهد یافت. جهت اندازه گیری مستقیم نیروها و گشتاورها بایستی از دینامومتر استفاده شود، با این حال استفاده از فشارسنج‌ها و ثبت توزیع فشار روی گوه دورنمایی از تغییرات نیرو و گشتاورها را نسبت به تغییر سرعت عرضی نشان می‌دهند. در جدول ۱ مقادیر ماکزیمم فشار برای تمامی تست‌ها استخراج شده است.

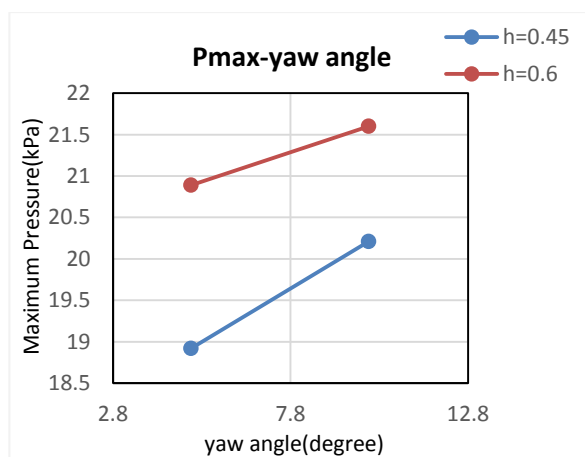
جدول ۱: ماکزیمم فشار ثبت در هر تست

ردیف	مشخصات تست	سرعت عمودی-سرعت عرضی(متر بر ثانیه)	ماکزیمم فشار(کیلو پاسکال)
۱	ارتفاع عمودی ۰,۵ متر(متقارن)	۰-۳,۱	۱۹,۹۷
۲	ارتفاع عمودی ۰,۴۵ متر(متقارن)	۰-۲,۹۷	۱۷,۸۹
۳	ارتفاع عمودی ۰,۴۵ متر-	۰,۲۵۹-۲,۹۷	۱۴,۸۱



شکل ۲۵: تغییرات فشار ماکزیمم با زاویه یابو در ارتفاع- های سقوط مختلف در جداره فشار کم

با توجه به شکل ۲۵ در حالت ورود اریب گوه، ماکزیمم فشار در جداره فشار کم گوه با افزایش زاویه یابو در ارتفاع سقوط ثابت کاهش می‌یابد.



شکل ۲۶: تغییرات فشار ماکزیمم با زاویه یابو در ارتفاع- های سقوط مختلف در جداره فشار زیاد

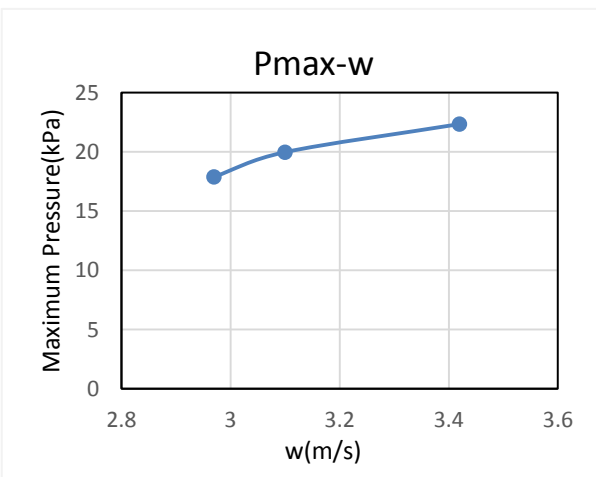
با توجه به شکل ۲۶ در حالت ورود اریب گوه، ماکزیمم فشار در جداره فشار زیاد گوه با افزایش زاویه یابو در ارتفاع سقوط ثابت افزایش می‌یابد.

### ۱. نتیجه‌گیری

همانطور که می‌دانیم از دیرباز تست مدل‌های دوبعدی یا سه بعدی یکی از روش‌های مهم و دقیق ثبت

		فشار زیاد	
۱۸,۱۲	۰,۶-۳,۴۲	ارتفاع عمودی ۰,۶ متر- زاویه یابو ۱۰ درجه- جداره فشار کم	۱۰
۲۱,۶	۰,۶-۳,۴۲	ارتفاع عمودی ۰,۶ متر- زاویه یابو ۱۰ درجه- جداره فشار زیاد	۱۱

در ادامه در اشکال ۲۴ تا ۲۶ تحلیل‌هایی از حالت‌های مختلف ورود گوه به آب به صورت متقارن و اریب با توجه به تست‌های انجام شده ارائه شده است.



شکل ۲۴: تغییرات ماکزیمم فشار با سرعت عمودی در حالت ورود متقارن گوه

همانطور که در شکل ۲۴ مشاهده می‌شود با افزایش سرعت عمودی که ناشی از افزایش ارتفاع می‌باشد در حالت ورود متقارن گوه به آب، ماکزیمم فشار وارده به گوه افزایش می‌یابد.

گشتاورها را نسبت به تغییر سرعت عرضی نشان می‌دهند.

#### منابع

Fairlie-Clarke, A., ۲۰۰۸ Momentum and gravity effects during the constant velocity water entry of wedge-shaped sections .

J.OceanEng, (۲۰۰۸) ۳۵ جلد ,p. ۷۱۶-۷۰۶

Gu, H., ۲۰۱۴ Numerical simulation of water impact of solid bodies with vertical and oblique entries .Ocean Eng. ,۷۵pp. ۱۳۷-۱۲۸

Judge, C., ۲۰۰۴ Initial water impact of a wedge at vertical and oblique angles .Eng.Math ,pp. ۳۰۳-۲۷۹

Mayo, W., ۱۹۴۵ Analysis and modification of theory for impact of seaplanes on water, NACA Technical.

Milwitzky, B., ۱۹۴۸ A generalized theoretical and experimental investigation of the motions and hydrodynamic loads experienced by V-bottom seaplanes during step-landing impacts , NACA TN.۱۵۱۶

Savander, B., ۲۰۰۲ Steady hydrodynamic analysis of planing surfaces .J.ShipRes ,pp. ۷۱-۹۵

Sebastiani, L., ۲۰۰۸ A practical method for the prediction of planing craft motions in regular and irregular waves .Estoril, Portugal.

Smiley, R., ۱۹۵۲ A theoretical and experimental investigation of the effects of yaw on pressures, forces and moments during seaplane landings and planing ,National Advisory Committee For Aeronautics (NACA) Technical Note no. ۲۸۱۷

اطلاعات در حیطه شناورها از جمله شناورهای پروازی می‌باشد. از این رو با توجه به مطالعه دقیق سابقه تست-های ورود اجسام به آب در این مقاله به تست ورود اریب گوه به آب پرداخته شده است و دستگامی جهت انجام این تست در آزمایشگاه هیدرودینامیک مهندسی دریا دانشگاه صنعتی امیر کبیر طراحی و ساخته شده است. با توجه به تست‌های ورود متقارن و اریب گوه با زاویه دراز ۴۰ درجه به آب به جمع بندی و نتیجه گیری در قالب چند نکته پرداخته خواهد شد:

- روش تست مدل گوه دو بعدی همانند کارهای بزرگ انجام شده توسط محققان دیگر می‌تواند پایه و اساس کارهای بزرگ در زمینه مانور و دریامانی شناورهای پروازی باشد. با استفاده از این گونه تست‌ها و آنالیز بسیار دقیق تست‌ها می‌توان روابط و فرمول‌هایی را ارائه کرد.

- در تمامی تست‌های انجام شده به صورت متقارن و اریب پایین‌ترین فشارسنج (نزدیک به کف گوه) بیشترین فشار وارده به بدنه گوه را نشان می‌دهد و به ترتیب از کف گوه به بالا مقدار فشار وارده به گوه در اثر ضربه کم می‌شود.

- در تست‌های انجام شده با سرعت عرضی، در ارتفاع سقوط ثابت با افزایش زاویه (یا سرعت عرضی)، فشار در جداره فشار زیاد گوه افزایش می‌یابد و فشار در جداره فشار کم گوه کاهش می‌یابد.

- جهت اندازه‌گیری مستقیم نیروها و گشتاورها بایستی از دینامومتر استفاده شود. محاسبه نیروها و گشتاورها خود مستلزم کارهای بسیار بیشتری می‌باشد که می‌توان در آینده به این موضوع بیشتر از پیش پرداخت. با این حال استفاده از فشارسنج‌ها و ثبت توزیع فشار روی گوه دورنمایی از تغییرات نیرو و

Von Karman, T., .۱۹۲۹The impact on seaplane floats during landing ,NACATN.۳۲۱

Wagner, H., .۱۹۳۲Phenomena associated with impacts and sliding on liquid .Math.Mech ., .۲۳۵-۱۹۳ .(۴)۱۲pp.

Zarnick, E., .۱۹۷۸A Nonlinear Mathematical Model of Motions of a Planing Boat in Regular Waves ,Bethesda,MD: DTNSRDC Report •۳۲/۷۸.David W. Taylor Naval Ship Research and Development Center.

---

## Analysis of oblique water entry of wedge and parametric investigation of pressure distribution

---

Seyyed kazem sadati\*, Dr. hamid zeratgar

Department of marine Engineering, amir kabir University, Tehran, Iran

---

(DOI): [10.22113/jmst.2017.50975](https://doi.org/10.22113/jmst.2017.50975)

---

### Abstract

In past few years two-dimensional theories in numerical, analytical and experimental solution have contributed in seakeeping and maneuverability of vessels specially planing crafts. Analysis of wedge water entry as a basic problem has wide application. Till now much research in different methods has been done on the symmetric and asymmetric of wedge water entry. in this study wedge water entry with transverse velocity (or oblique water entry) will be studied. Model testing is a powerful means to deal with the said problem, in this study oblique water entry of wedge has been conducted. In this regard for oblique water entry of wedge a setup has been designed and fabricated. using by the fabricated setup a set of oblique water entry tests on wedge of 40 degree deadrise angle in different vertical and transverse velocity are examined and the pressure distribution on the plates of wedge due to impact of water are recorded. The results are illustrated the importance of transverse velocity on the pressure distribution and magnitude of vertical and transverse forces on the wedge. The pressure distribution due to oblique water entry on left and right side of the wedge are not symmetry; owing to increasing of transverse velocity the difference pressure on two sides of wedge is increased, so the transverse force is increased and the vertical force is decreased.

**Keywords:** Wedge, Oblique entry, Transverse velocity, Vertical velocity, Pressure distribution

---

### List of tables and figures

---

The title figures

Fig 1. Moving planning vessel in straight line and its spray zone

Fig 2. Pressure distribution on a section in spray zone and section in stern

Fig 3. Schematic of 2D+T theory

Fig 4. Oblique towing test

Fig 6. Water surface and applied pressure in oblique entry

Fig 7. Side view of the constructed set-up

Fig 8. Front view of the constructed set-up

Fig 9. Velocity components

Fig 10. Oblique entrance of wedge into water

Fig 11. Schematic of pressure gage location on the wedge body

Fig 12. Pressure distribution for symmetric water entry

Fig 13. Pressure distribution on 40 degree deadrise angle and free fall height of 0.5 m

Fig 14. Pressure distribution at height of 0.45 m and symmetric water entry

Fig 15. Pressure distribution at height of 0.45 m and yaw angle of 5 degree, Low pressure side

Fig 16. Pressure distribution at height of 0.45 m and yaw angle 5 degree, high pressure side

Fig 17. Pressure distribution at height of 0.6 m and symmetric water entry

---

\*Corresponding author, E-mail: s.kazemsadati@aut.ac.ir

- Fig 18. Pressure distribution at height of 0.6 m and yaw angle of 5 degree, low pressure side  
Fig 19. Pressure distribution at height of 0.6 m and yaw angle of 5 degree, high pressure side  
Fig 20. Pressure distribution at height of 0.45 m and yaw angle of 10 degree, low pressure side  
Fig 21. Pressure distribution at height of 0.45 m and yaw angle of 10 degree, high pressure side  
Fig 22. Pressure distribution at height of 0.6 m and yaw angle of 10 degree, low pressure side  
Fig 23. Pressure distribution at height of 0.6 m and yaw angle of 10 degree, high pressure side  
Fig 24. Variations of maximum pressure via vertical velocity in symmetry water entry  
Fig 25. Variations of maximum pressure via yaw degree at different fall height in low pressure side  
Fig 26. Variations of maximum pressure via yaw degree at different fall height in high pressure side  
Tab 1. Maximum pressure in each test