مطالعه پارامتری توزیع فشار بر روی گوه به هنگام ورود به آب به روش تست مدل

حمید زراعتگر[۱*]، احسان حسنی چالکسرا[۲]، رضا یوسف نژاد[۳]، محمد جواد جواهریان[۲]

۱- استادیار، دانشکده مهندسی دریا، دانشگاه صنعتی امیرکبیر
۲- دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی دریا، دانشگاه صنعتی امیرکبیر
۳- دانشجوی دکتری، دانشکده مهندسی دریا، دانشگاه صنعتی امیرکبیر

چکیده

آنالیز ورود گوه به آب یک مسئله پایه‌ای است که کاربرد متنوعی دارد. استفاده از روش تست آزمایشگاهی یک ابزار قدرتمند است که در این مقاله با تکیه بر آن، ورود گوه با زوایای دددرایز ۲۰، ۳۰ و ۴۰ درجه به سطح آب بررسی شده وتوزیع فشار روی بدنه‌ی گوه ثبت گردید. تست انجام شده به روش سقوط آزاد و برای حالت متقارن می‌باشد. سپس مطالعه‌ای پارامتری بر روی تاثیرات سرعت ورود به آب و زاویه دددرایز بر روی ضریب فشار صورت گرفت. همچنین پارامتر عمق نفوذ بدون بعد (Z) که ترکیبی از دو پارامتر زمان و مکان می‌باشد بعنوان پارامتر مستقل برای توزیع فشار بر روی گوه مورد ارزیابی قرارگرفت. نهایتا نتایج حاصل از این آزمایش‌ها با برخی کارهای عددی موجود مقایسه گردید. نوع بررسی پارامتری انجام شده در اینجا به کمک نتایج تست از نقاط قوت تحقیق حاضر می‌باشد.

کلمات کلیدی: گوه، سرعت برخورد، زاویه دددرایز، توزیع فشار، ضریب فشار

Parametric Investigation of Pressure Distribution on Wedge Water Entry by Experiment

H. Zeraatgar[1], E. Hassani Chalaksara[2], R.Yousefnejad[3], M. J. Javaherian[2]

1-Assistant professor, Faculty of Marine Technology, Amirkabir University of Technology.
2-MSc student, Faculty of Marine Technology, Amirkabir University of Technology.
3-PhD student, Faculty of Marine Technology, Amirkabir University of Technology.

Abstract

Analysis of wedge water entry as a basic problem has wide application. Model testing is a powerful means to deal with the said problem. In this study, a set of water entry tests on wedges of 20, 30 and 40 degrees deadrise angles has been conducted and the pressure distributions are recorded. Free falling method in symmetry conditions are considered in this research. A parametric study on pressure coefficients due to velocity and deadrise angles has been carried out on the wedge. Furthermore, Z-parameter as a non-dimensional factor defined for two individual parameters, time and depth of entry, has been evaluated. Finally, some comparison with numerical methods is presented. The kind of parametric study by means of model test may be regarded as the outcome of this study.

Keywords: Wedge, Impact Velocity, Deadrise Angle, Pressure Distribution, Pressure Coefficient

* نویسنده مسئول مقاله: hamidz@aut.ac.ir

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-06]
[DOR: 20.1001.1.17357608.1391.8.15.8.9]

۱- مقدمه

شناورهای تندرو عمدتا به عنوان شناورهای خدماتی، شناورهای ماهیگیری، قایق‌های گشتی، آمبولانس‌های دریایی، شناورهای تفریحی و یا در رقابت‌های ورزشی مورد استفاده قرار می‌گیرند. تلاش در جهت افزایش کارآیی عملیاتی شناورهای تندرو از موضوعات تحقیقاتی روز دنیا است. پیچیدگی‌های بسیاری در رفتار شناورهای تندرو در آب راکد و امواج وجود دارد. بخش اعظمی از این پیچیدگی‌ها ناشی از وجود سطح آزاد در ماهیت اینگونه مسائل است. به همین نسبت روش‌های محاسباتی موجود در این مقوله نیز مشکل و پیچیده گشته و مستلزم فرضیات زیادی برای مدلسازی پدیده می‌گردد. لذا معمولا جواب‌های تولید شده با تقریب‌های زیادی همراه هستند. اسلمینگ (کوبش) به برخورد یک جسم به سطح آزاد اطلاق می‌گردد که از پدیده‌های غیر خطی بوده و از ماهیت ضربه برخوردار است. تحلیل بسیاری از پدیده‌های فیزیکی از جمله حرکت کشتی‌ها و خصوصا شناورهای پروازی در آب راکد و موج، منجر به حل یک مسئله پایه‌ای می‌گردد که همانا ورود یک گوه به آب است. ورود گوه به آب پدیده‌ای با ماهیت اسلمینگ است. روش‌های تحلیلی، عددی و آزمایشگاهی مختلفی برای تحلیل مسئله‌ی ورود گوه به آب وجود دارد. بنا به ماهیت این مقاله، تمرکز بیشتر بر روی معرفی پیشینه‌ی آزمایشگاهی کارهای انجام شده خواهد بود.

شروع تئوری ورود به آب را می‌توان به فون کارمن[۱] منتسب نمود [۱]. جاییکه وی در سال ۱۹۲۹ با استفاده از تئوری مومنتوم و جرم اضافه، اولین مدل ریاضی را برای محاسبه‌ی بیشینه‌ی فشار وارد بر کف هواپیماهای دریایی سطح نشین ارائه کرد. در سال ۱۹۳۲ واگنر[۲] اثر بالا آمدگی سطح آب را نیز به مسئله اضافه کرد و مدل ریاضی دقیق‌تری را بر پایه‌ی روابط تحلیلی بدست آورد که منشأ فعالیت‌های دیگر دانشمندان شد [۲]. اولین کار آزمایشگاهی انجام شده بر روی گوه را شاید بتوان تست‌های بیسپلینگهف[۳] در سال ۱۹۵۰ دانست [۳]. وی یک تئوری برای محاسبه تغییرشکل سطح آزاد بر پایه تئوری واگنر ارائه کرد. سپس در آزمایش‌های خود از یک دوربین سرعت بالا برای ثبت تغییرات سطح آزاد استفاده کرد. مقایسه‌ی نتایج این آزمایش‌ها با نتایج تئوری حاکی از آن بود که تئوری واگنر میزان بالا آمدگی سطح آزاد را بیش از حد واقعی آن محاسبه می‌کند. در سال ۱۹۶۶چانگ[۴] آزمایش‌هایی را بر روی گوه‌هایی با زوایای ددرایز کم انجام داد و پیک فشار بر روی مدل‌ها را ثبت کرد [۴]. این آزمایش‌ها منتج به کشف برخی روابط تجربی و رسم نمودارهایی برای پیش‌بینی پیک فشار وارد بر گوه شد. گرینهو و لین[۵] نیز در سال ۱۹۸۳ اقداماتی را برای ثبت جریان در آزمایش ورود به آب چند گوه انجام دادند [۵]. آن‌ها مدل‌های مختلفی با ابعاد کوچک را در یک تانک انداخته و با استفاده از یک دوربین تغییرات سطح آزاد اطراف آنها را ثبت کردند. در سال۱۹۹۴ لین و هو[۶] نتایج عددی و آزمایشگاهی برای ضربه گوه دو بعدی در آب راکد در ارتفاع‌های مختلف ارائه دادند [۶]. مدل عددی آن‌ها مبتنی بر روش المان مرزی با شرایط مرزی غیر خطی برای سطح آزاد بود. این آزمایش‌ها در آب کم عمق انجام شده و نتایج آن با حالات مشابه در آب عمیق مقایسه شد. تحلیل نتایج نشان می‌داد که پیک فشار ضربه در آب کم عمق بیشتر از فشار مشابه آن در آب عمیق است. ژائو و همکاران[۷] در سال ۱۹۹۷ دو روش تئوری برای تحلیل مسئله‌ی ورود به آب ارائه کردند[۷]. یک روش مبتنی بر شبیه سازی غیرخطی از حل معادله‌ی لاپلاس و روش دیگر برگرفته از رابطه‌ی تحلیلی واگنر بود. آن‌ها برای صحت سنجی این دو روش، آزمایش‌هایی را بر روی یک گوه ۳۰ درجه انجام دادند. چگونگی تغییرات سطح آزاد، ضریب فشار، نیروی اسلمینگ و سرعت برخورد از نتایج این آزمایش‌ها بود. همچنین وو و همکارانش[۸] در سال ۲۰۰۴ تست‌هایی را برای گوه‌هایی با زوایای ددرایز۲۰ و ۴۵ درجه انجام دادند [۸]. آن‌ها همچنین حلی را از ترکیب روابط تحلیلی و المان مرزی ارائه کرده و نتایج حاصل از آزمایش را با آن مقایسه کردند. المهدی و همکاران[۹] نیز در سال ۲۰۰۵ آزمایش‌هایی را برای سقوط آزاد گوه جهت بدست آوردن توزیع فشار ترتیب دادند [۹]. آن‌ها نتایج این آزمایش‌ها را با مدل‌هایی مقایسه کردند که در

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-06]
[DOR: 20.1001.1.17357608.1391.8.15.8.9]

آن سرعت گوه در هنگام ورود به آب ثابت فرض شده بود. این مقایسه‌ها نشان می‌داد که جرم گوه و ارتفاع سقوط برروی ضریب فشار تاثیر بسیار کمی دارد در حالی که زاویه ددرایز گوه، پارامتری مهم در تعیین مقدار و توزیع ضریب فشار بر روی آن است. تنویر و همکاران[10] در سال ۲۰۱۰ نیروهای اسلیمنگ وارد بر یک گوه ۱۰ درجه را مورد آزمایش قرار دادند [۱۰]. بدین منظور مدل‌هایی با وزن‌های متفاوت از دو ارتفاع مختلف به درون آب انداخته شده و تغییرات سرعت و فشار برای آن‌ها در هنگام برخورد ثبت گردید. مقایسه مقادیر ثبت شده برای فشار با روش پیش‌بینی چانگ نشان از هم‌خوانی خوب نتایج آزمایشگاهی آن‌ها با این روش داشت.

در این مقاله ورود یک گوه دو بعدی به آب به روش آزمایشگاهی بررسی می‌گردد. این آزمایش‌ها بصورت گسترده روی مقاطع گوه‌ای شکل برای سه زاویه ددرایز مختلف و در سرعتهای برخورد مختلف در حالت متقارن انجام پذیرفته است. نتایج آزمایش‌ها در قالب تغییرات فشار نسبت به زمان و همچنین نمودارهای بی‌بعد ضریب فشار ارائه شده‌اند. نتایج این آزمایش با دیگر کارهای انجام شده توسط محققین مقایسه شده است. همچنین مطالعه پارامتری بر روی اثر زاویه ددرایز و سرعت برخورد گوه به آب، روی مقدار و موقعیت پیک فشار انجام گرفته است. اگرچه ماهیت این آزمایش‌ها همانند آزمایش‌های دیگر محققین می‌باشد ولی مطالعه پارامتری صورت گرفته بر روی موقعیت پیک فشار در لحظات مختلف، در نوع خود جدید می‌باشد. همچنین سنسورهای اندازه‌گیری بکار گرفته شده جهت ثبت فشار، دارای حساسیت بالایی هستند. در عین حال، قابلیت نمونه‌برداری بسیار زیاد این سنسورها در هر ثانیه عاملی است تا بتوان تغییرات فشار بر روی گوه را دقیق‌تر ثبت کرد.

۲- تجهیزات آزمایشگاهی

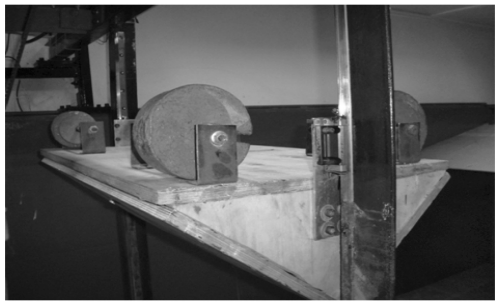
در این بخش تجهیزات مربوط به آزمایشگاه معرفی شده است.

۲-۱- مشخصات آزمایشگاه

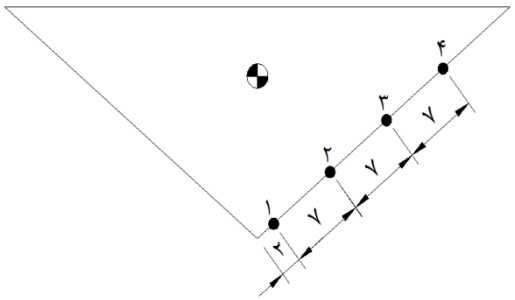
این آزمایش‌ها درآزمایشگاه هیدرودینامیک دانشکده مهندسی دریا، واقع در دانشگاه صنعتی امیرکبیر صورت گرفته است.

۲-۲- مشخصات مدل

مدل ها همگی به عرض ۵۰ سانتی‌متر و طول ۹۰ سانتی‌متر بوده و دارای مقطع مثلثی می باشند که از جنس چوب با ضخامت ۱۸ میلی‌متر ساخته شده‌اند. شکل۱ نمونه ای از مدل با زاویه ددرایز ۴۰درجه را نشان می‌دهد. مطابق شکل ۲ بر روی هر مدل چهار فشارسنج با فواصل یکسان ۷ سانتی‌متر تعبیه شده به نحوی که فشار سنج اول ۲ سانتی‌متر از لبه گوه فاصله دارد. ترتیب شماره‌گذاری فشارسنج ها از لبه گوه به بالا می‌باشد. مهمترین عامل در انتخاب محل نصب سنسورها، امکان پوشش حداکثری ثبت فشار بر روی وجه گوه و نزدیک شدن به محل لبه ورودی گوه می‌باشد. البته محدودیت‌های ساخت و نصب نیز لحاظ شده است. با اضافه کردن وزنه‌ی اضافه، وزن مدل‌ها ۳۸ کیلوگرم می باشد.



شکل ۱ - تصویرمدل ۴۰ درجه

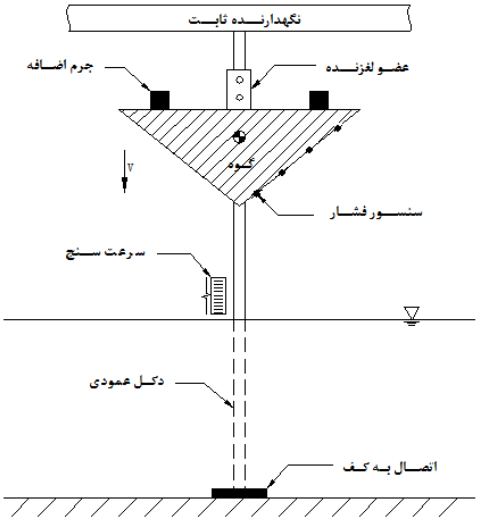


شکل ۲ - فاصله و جانمایی سنسور ها(ابعاد به سانتی‌متر)

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-06]
[DOR: 20.1001.1.17357608.1391.8.15.8.9]

۲-۳- تجهیزات آزمایش و سنسور اندازه‌گیری

در حوضچه‌ی آزمایشگاه، سیستمی برای انجام آزمایش ورود به آب طراحی گردیده که امکان سقوط آزاد گوه را بدون حرکت جانبی (یک درجه آزادی) فراهم می‌سازد. شکل ۳ شماتیک سیستم ورود گوه به آب به روش سقوط آزاد را نشان می‌دهد.



شکل ۳ - شماتیک سیستم ورود گوه به آب

فشارسنج‌ها از شرکت پی‌سی‌بی پیزوترونیکس[11] تهیه شده و قابلیت اندازه‌گیری فشار تا ۱۰۰۰psi با دقت ۰/۰۰۱psi را دارد. برد ثبت دیتا با فرمان سرور نمونه برداری را آغاز کرده و اطلاعات را از چهار کانال دریافت و در حافظه ذخیره می‌نماید. سنسورها در هر ثانیه ۲۵۰۰۰ بار نمونه‌برداری می‌کنند. همچنین به کمک نرم‌افزار متلب، برنامه‌ای جهت پردازش و نمایش دیتای ثبت شده تدوین گردیده که نقش ثبت داده، فیلتر و نمایش آنها را برعهده دارد.

۳- شرایط و نتایج آزمایش ها

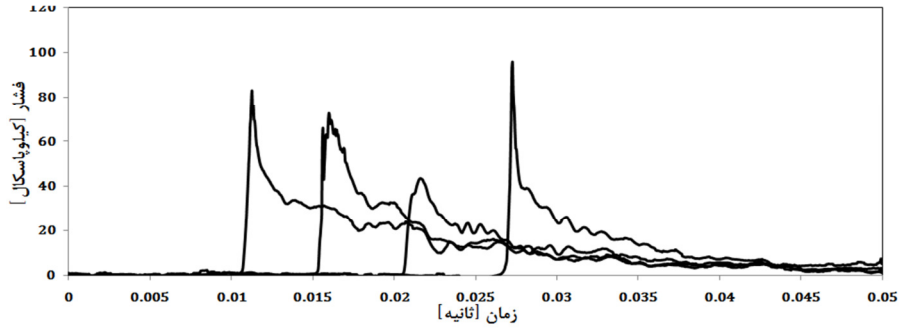
بطور کلی آزمایش‌ها برای مدل‌هایی با زوایای ددرایز مختلف انجام شده است. مطابق جدول ۱ آزمایش برای هر مدل به صورت سقوط آزاد از ارتفاع‌های مختلف صورت گرفته است. مدل‌ها تحت تاثیر وزن خود و با استفاده از سیستم هدایت کننده از ارتفاع مورد نظر رها می‌شوند. هنگام برخورد با آب، سنسورهای تعبیه شده بر روی مدل تغییرات فشار را ثبت می‌کنند. با داشتن مقادیر و نحوه‌ی توزیع فشار بر روی مدل می‌توان ضریب فشار را محاسبه‌کرد. نتایج از نظر اعتبارسنجی قبلا ارائه شده است [۱۱,۱۲].

جدول ۱- شرایط آزمایش برای مدل‌ها

زاویه ددرایز مدل	ارتفاع سقوط $[m]$		
۲۰ درجه	۰/۲	۰/۵	۱
۳۰ درجه	۰/۲	۰/۵	۱
۴۰ درجه	۰/۲	۰/۵	۱

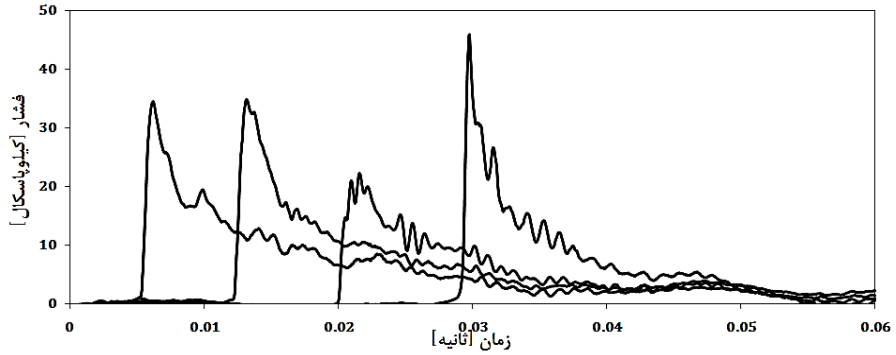
۳-۱- اثر سرعت بر توزیع فشار روی مدل ۳۰ درجه

شکل ۴ توزیع فشار بر روی گوه ۳۰ درجه را در چهار نقطه با سرعت ورود به آب ۴/۴ متر بر ثانیه نشان می‌دهد. نمودارهای رسم شده در شکل از چپ به راست به ترتیب مربوط به سنسورهای شماره یک تا چهار هستند. در این تست پیک فشار در فشارسنج چهارم بیشتر از فشارسنج‌های دیگر می‌باشد. شکل‌های ۵ و ۶ نیز به ترتیب توزیع فشار را بر روی گوه در سرعت‌های ۳/۱ و ۱/۹ متر بر ثانیه نشان می‌دهد.

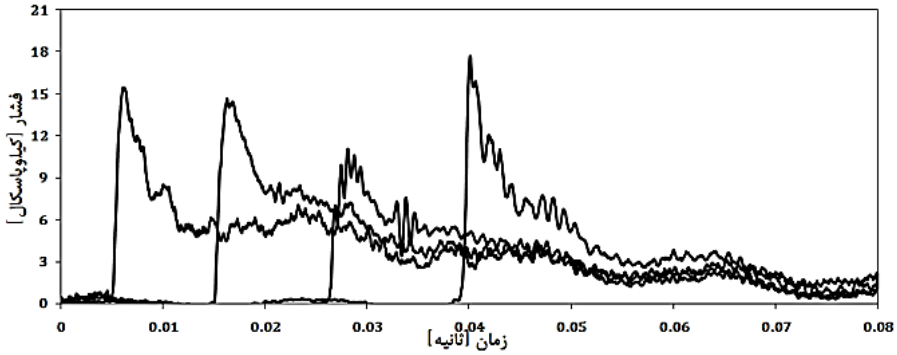


شکل ۴ - توزیع فشار برای مدل ۳۰ درجه با ارتفاع سقوط ۱ متر(سرعت برخورد ۴/۴ متربرثانیه)

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-06]
[DOR: 20.1001.1.17357608.1391.8.15.8.9]



شکل ۵ - توزیع فشار برای مدل ۳۰ درجه با ارتفاع سقوط ۰/۵ متر(سرعت برخورد ۳/۱ متربرثانیه)



شکل ۶ - توزیع فشار برای مدل ۳۰ درجه با ارتفاع سقوط ۰/۲ متر(سرعت برخورد ۱/۹ متربرثانیه)

از مقایسه شکل‌های ۴، ۵ و ۶ می‌توان گفت که اصولا توزیع فشار بر روی گوه ۳۰ درجه ناشی از برخورد آن با سرعت‌های مختلف به سطح آب، دارای رفتار یکسانی خواهد بود. به نحوی که در هر سه تست، سنسور چهارم بیشترین پیک فشار را نشان می‌دهد. پس از آن به ترتیب سنسورهای اول، دوم و سوم بیشترین پیک فشار را دارند. جدول ۲ مقادیر پیک فشار و ضریب فشار را بصورت مقایسه‌ای نشان می‌دهد. در این جدول ضریب فشار از رابطه (۱) محاسبه می‌شود:

$$C_p = \frac{P}{0.5\,\rho V^2} \qquad (۱)$$

که در آن P فشار روی گوه، ρ چگالی آب و V سرعت برخورد گوه به سطح آب می‌باشد.

جدول۲ - پیک فشار برای گوه ۳۰ درجه در سرعتهای مختلف

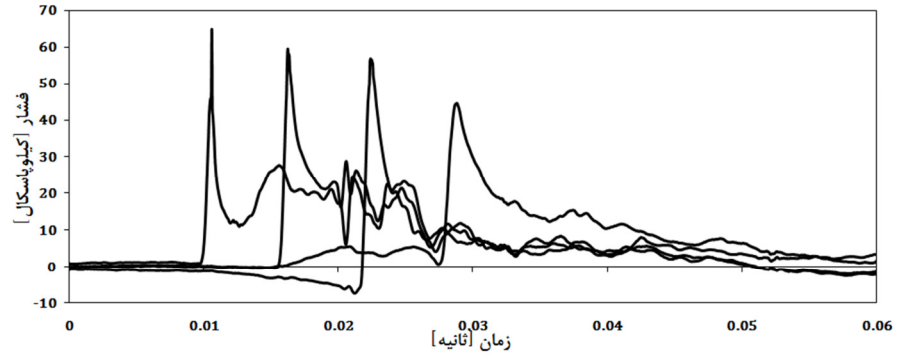
			پیک فشار $[psi]$ **[ضریب فشار]**			
ردیف	ارتفاع سقوط $[m]$	سرعت برخورد $[m/s]$	فشارسنج شماره۱	فشارسنج شماره۲	فشارسنج شماره۳	فشارسنج شماره۴
۱	۱/۰	۴/۴	۱۲/۰ [۸/۵۴۷]	۱۰/۴ [۷/۴۰۸]	۶/۲ [۴/۴۱۶]	۱۴ [۹/۹۷۲]
۲	۰/۵	۳/۱	۵/۲ [۷/۶۰]	۵/۰ [۷/۱۷]	۳/۴۰ [۴/۸۸]	۶/۹۰ [۱۰/۰۴]
۳	۰/۲	۱/۹	۲/۲۵ [۸/۵۹۴]	۲/۰۵ [۷/۸۳۱]	۱/۵۵ [۵/۹۲۱]	۲/۶ [۹/۹۳۲]

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-06]
[DOR: 20.1001.1.17357608.1391.8.15.8.9]

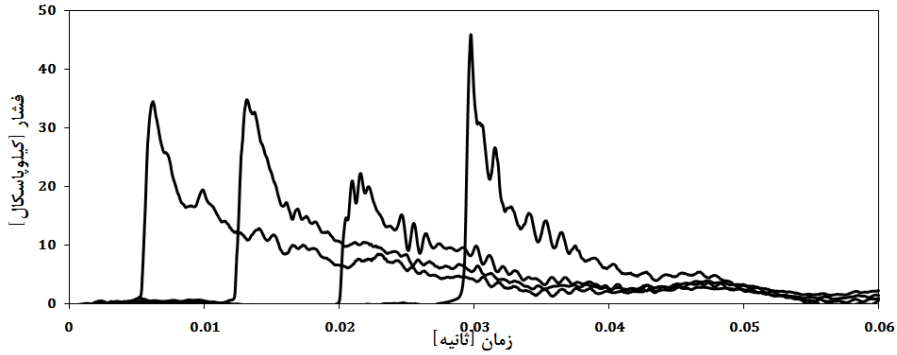
بررسی جدول ۲ نشان می‌دهد که ضریب فشار در سه سرعت مختلف به هم نزدیک است ولی مقادیر یکسانی ندارد. البته تفاوت موجود بین ضریب فشارها در سرعت‌های مختلف ورود به آب از یک نظم خاصی برخوردار نیست. شاید بتوان گفت که سرعت ورود به آب اگرچه تاثیراتی جزئی بر روی ضریب فشار دارد ولی به دلیل ماهیت ضربه‌ای مسئله ورود به آب یک گوه قابل طرح نمی‌باشد.

۳-۲- اثر زاویه ددرایز بر روی فشار وارده بر گوه

شکل‌های ۷، ۸ و ۹ توزیع فشار را به‌ترتیب بر روی گوه ۲۰، ۳۰ و ۴۰ درجه نشان می‌دهد. جدول ۳ نیز مقادیر پیک فشار و ضریب فشار را بصورت مقایسه‌ای در سرعت ۳/۱ متر برثانیه نشان می‌دهد. همانطورکه انتظار می‌رفت مقدار پیک فشار و ضریب فشار گوه ۲۰ درجه (۱۳/۹) بیشتر از گوه ۳۰ درجه (۱۰/۰) و گوه ۳۰ درجه بیشتر از گوه ۴۰ درجه (۴/۰) است. در گوه‌های ۲۰ و ۳۰ درجه شیب منحنی فشار برای فشارسنج‌ها به‌مراتب بیشتر از شیب منحنی فشار گوه ۴۰ درجه می‌باشد. از طرف دیگر روند تغییرات موقعیت پیک در فشارسنج‌ها در گوه ۳۰ درجه متفاوت با گوه‌های ۲۰ و ۴۰ درجه می‌باشد. بدین مفهوم که در گوه‌های ۲۰ و ۴۰ درجه پیک فشار در موقعیت فشارسنج اول اتفاق می‌افتد و فشارسنج‌های بعدی به ترتیب مقدار پیک کمتری را ثبت می‌کنند. حال آنکه در گوه ۳۰ درجه اگرچه فشارسنج اول تا سوم همان رفتار مشابه گوه‌های ۲۰ و ۴۰ درجه را دارند ولی فشارسنج چهارم بیشترین پیک فشار را ثبت می‌کند. با اینکه این نوع توزیع فشار کمتر در کار دیگر محققین دیده شده است ولی نتایج آزمایش‌های تنویر و همکاران نیز رفتاری مشابه را برای یک گوه ۱۰ درجه نشان می‌دهد [۱۰].

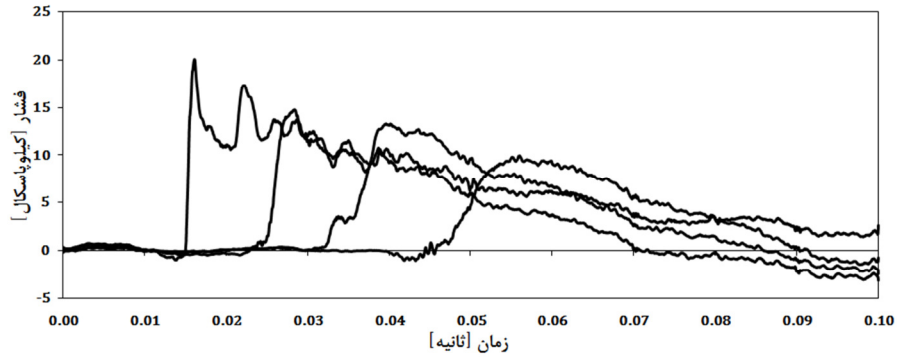


شکل۷ - توزیع فشار برای مدل ۲۰ درجه با ارتفاع سقوط ۰/۵ متر (سرعت برخورد ۳/۱ متربرثانیه)



شکل۸ - توزیع فشار برای گوه ۳۰ درجه با ارتفاع سقوط ۰/۵ متر (سرعت برخورد ۳/۱ متربرثانیه)

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-06]
[DOR: 20.1001.1.17357608.1391.8.15.8.9]



شکل ۹ - توزیع فشار برای گوه ۴۰ درجه با ارتفاع سقوط ۰/۵ متر (سرعت برخورد ۳/۱ متربرثانیه)

جدول ۳ - پیک فشار و ضریب فشار برای گوه‌های ۲۰، ۳۰ و ۴۰ درجه از ارتفاع سقوط ۰/۵ متر

			پیک فشار $[psi]$ [ضریب فشار]			
ردیف	زاویه ددرایز	سرعت برخورد $[m/s]$	فشارسنج شماره ۱	فشارسنج شماره ۲	فشارسنج شماره ۳	فشارسنج شماره ۴
۱	۲۰	۳/۱	۹/۶۷ [۱۳/۸۷۶]	۸/۸۲ [۱۲/۶۵۶]	۸/۲۲ [۱۱/۷۹۵]	۶/۸۱ [۹/۷۷۲]
۲	۳۰	۳/۱	۵/۲ [۷/۶۰]	۵/۰ [۷/۱۷]	۳/۴۰ [۴/۸۸]	۶/۹۰ [۱۰/۰۴]
۳	۴۰	۳/۱	۲/۸۲ [۴/۰۴۶]	۱/۷۸ [۲/۵۵۴]	۱/۶۲ [۲/۳۲۵]	۱/۱۸ [۱/۶۹۳]

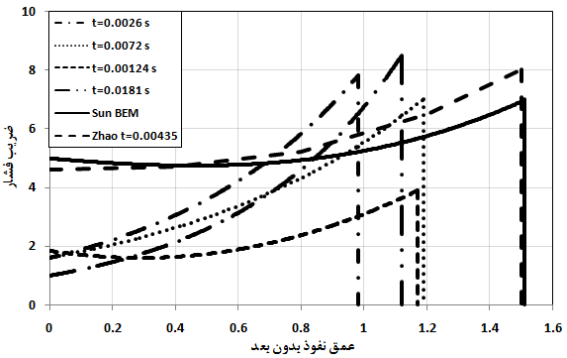
۳-۳- آنالیز پارامتر مستقل عمق نفوذ بدون‌بعد[۱۲] (Z)

برای درک بهتر رفتار هیدرودینامیکی گوه در برخورد به سطح آب از نمودارهای بدون بعد استفاده می شود. بدین منظور پارامتر مستقل عمق نفوذ بدون بعد مطابق رابطه (۲) معرفی می‌گردد.

$$Z = \frac{h}{V.t} \qquad (۲)$$

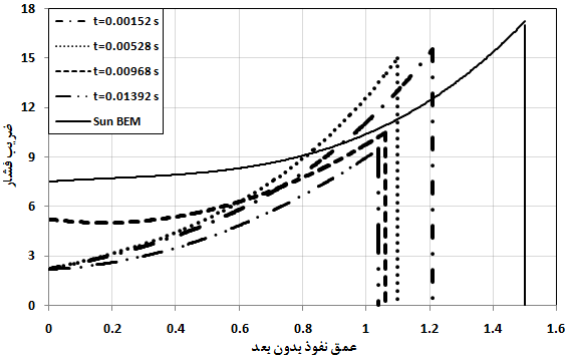
که در آن h فاصله‌ی هر نقطه‌ی دلخواه روی گوه از لبه گوه، t متغیر زمان و V سرعت برخورد می‌باشد. معمولا در روشهای محاسباتی که بر پایه تئوری‌های فون‌کارمن و واگنر بنا شده است فرض بر آن است که دو متغیر مکانی h و متغیر زمانی t را می‌توان در یک متغیر مستقل Z خلاصه نمود. در این حالت توزیع فشار بی‌بعد به دست آمده از رابطه (۱) بر حسب متغیر Z در لحظات مختلف می‌بایست فرم یکسانی داشته باشد. شکل ۱۰ ضریب فشار بر حسب Z برای مدل با ددرایز ۳۰ درجه را در لحظات مختلف نشان می‌دهد. این نتایج با نتایج حاصل از روش المان مرزی ژائو و همکاران مقایسه شده است. می‌توان دید که پیک ضریب فشار ارائه شده توسط آن‌ها تقریبا با نتایج مقاله‌ی حاضر یکسان می‌باشد [۷]. تفاوت موجود میان این دو کار، موقعیت پیک ضریب فشار است. از طرفی نتایج حاصل از روش المان مرزی سان[۱۳] نیز در این شکل ارائه شده و مورد مقایسه قرار گرفته است [۳۱]. اگرچه نتایج سان از نظر توزیع منحنی و موقعیت پیک ضریب فشار همخوانی خوبی با نتایج ژائو و همکارانش دارد، ولی مقدار پیک ضریب فشار ارائه شده توسط وی مقداری کمتر از پیک ضریب فشار نتایج ژائو و مقاله‌ی حاضر دارد.

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-06]
[DOR: 20.1001.1.17357608.1391.8.15.8.9]



شکل ۱۰ - مقایسه ضریب فشار بر حسب Z برای مدل با ددرایز ۳۰ درجه در لحظات مختلف

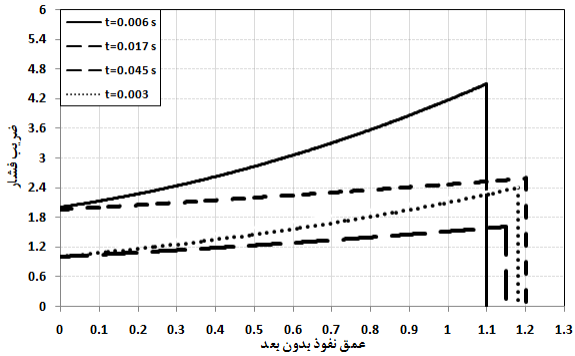
سان همچنین برای مدل ۲۰ درجه نیز ضریب فشار در عمق نفوذ بدون بعد را استخراج کرده است. شکل ۱۱ نشان دهنده مقایسه‌ی نتایج حل عددی سان و نتایج مقاله‌ی حاضر می‌باشد. در نتایج سان مقدار بیشینه‌ی ضریب فشار حدود ۱۷ و در مکان بدون بعد ۱/۵ است. در حالیکه طبق نتایج مقاله حاضر مقدار بیشینه‌ی ضریب فشار برابر ۱۵/۲۵ است. شاید دلیل این اختلاف را بتوان در فرض سرعت ثابت گوه در هنگام ورود به آب جستجو نمود.



شکل ۱۱ - مقایسه ضریب فشار بر حسب Z برای مدل با ددرایز ۲۰ درجه در لحظات مختلف

در شکل۱۲ مقدار ضریب فشار برحسب پارامتر مستقل Z برای مدلی با ددرایز ۴۰ درجه و در لحظات مختلف ترسیم شده است. با افزایش زمان، مقدار ضریب بدون بعد فشار رو به کاهش است. در تمامی زمان‌ها بیشترین مقدار ضریب فشار در مکان بدون بعد ۰/۷۵ تا ۱/۶ بوده است.

نتیجه مهمی که می‌توان گرفت اینست که در مدل آزمایشگاهی، استفاده از پارامتر مستقل Z برای تعریف ضریب فشار اگرچه شباهت‌هایی را در لحظات مختلف ایجاد می‌کند (چرا که رفتار عمومی منحنی توزیع فشار بی‌بعد یکسان است) ولی با یکدیگر اختلافاتی در لحظات مختلف دارند.



شکل ۱۲ - مقایسه ضریب فشار بر حسب Z برای مدل با ددرایز ۴۰ درجه در لحظات مختلف

۴- نتیجه‌گیری

در این تحقیق فشار ضربه‌ای وارد بر یک گوه به هنگام ورود به آب به روش آزمایشگاهی مورد بررسی قرار گرفت. این تحقیق بر روی سه زاویه ددرایز و سه سرعت مختلف برخورد به آب، بصورت سقوط آزاد انجام گرفته است. بر این اساس نتایج زیر حاصل شده است:

- بازاء یک سرعت برخورد یکسان، هرچه زاویه ددرایز افزایش می‌یابد مقدار فشار ماکزیمم کاهش می‌یابد
- با کاهش سرعت در گوه، محل وقوع بیشترین فشار تغییر محسوسی نمی‌کند، در عین حال مقدار بیشترین فشار کاهش می‌یابد.
- در لحظات مختلف ورود گوه به آب، توزیع فشار بی‌بعد بر حسب Z متفاوت است. این بدان مفهوم می‌باشد که از پارامتر بی‌بعد Z که بطور گسترده در روشهای محاسباتی استفاده می‌گردد، باید با احتیاط استفاده نمود.
- بطور کلی سرعت ورود به آب برای یک گوه‌ی مشخص تاثیر جدی بر روی توزیع ضریب فشار ندارد.

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-06]
[DOR: 20.1001.1.17357608.1391.8.15.8.9]

- با تغییر زاویه ددرایز، مقدار و مکان وقوع بیشترین فشار بر روی بدنه گوه تغییر می‌کند. توزیع فشار درگوه ۳۰ درجه متفاوت با گوه‌های۲۰ و ۴۰ درجه، ابتدا با پیک نسبی شروع شده و سپس کاهش می‌یابد. پس از آن فشارسنج چهارم بیشترین پیک را ثبت می‌نماید.

کلید واژگان

1-Von-Karman
2-Wagner
3-Bisplinghoff
4-Chuang
5-Greenhow and Lin
6-Lin and Ho
7-Zhao et al.
8-Wu et al.
9-Al-Mahdi Yettou et al.
10-Tanvir Mehedi Sayeed et al.
11-PCB Pizotronics
12-Non-dimensional entry depth
13-Sun

۵- مراجع

1-Von Karman, T., (1929), The impact on seaplane floats during landing, National Advisory Committee for Aeronautics: NACATN321. p. 2–8.
2-Wagner, H., (1932), Landing of sea planes, NACA Tech Memo.
3-Bisplinghoff, R.L. and Doherty, C.S., (1952), Some studies of the impact of vee wedges on a water surface. Journal of the Franklin Institute. Vol. 253(6): p. 547-561.
4-Chuang, S.L., (1967), Experiments on Slamming of Wedge-Shaped Bodies. Journal of Ship Research. Vol. 11(3): p. 190-198.
5-Greenhow, M. and Lin, W.-M., Nonlinear free surface effects. Theory and experiment.
6-Lin, M.C. and Ho, T.Y., (1994), Water-entry for a wedge in arbitrary water depth. Engineering Analysis with Boundary Elements. Vol. 14(2): p. 179-185.
7-Zhao, R., Faltinsen, O.M. and Aarsnes, J. (1996), Water entry of arbitrary two-dimensional sections with and without flow separation. in 21st Symposium on Naval Hydrodynamics. Trondheim, Norway: The National Academies Press.
8-Wu, G.X., Sun, H. and He, Y.S., (2004), Numerical simulation and experimental study of water entry of a wedge in free fall motion. Journal of Fluids and Structures. Vol. 19(3): p. 277-289.
9-Yettou, E.-M., Desrochers, A. and Champoux, Y., (2006), Experimental study on the water impact of a symmetrical wedge. Fluid Dynamics Research. Vol. 38(1): p. 47-66.
10-Sayeed, T.M., Peng, H. and Veitch, B., (2010), Experimental investigation of slamming loads on a wedge, in The International Conference on Marine Technology: Dhaka, Bangladesh.
11-Hassani Chalaksara, E., (1389), Experimental investigation into water entry impact of rigid body, M.Sc thesis, Amirkabir University of Technology. (In Persian)
12-Javaherian, M.J., Zeraatgar, H. and Hassani Chalaksara. E., (2012), Experimental investigation of asymmetric entry of a wedge shaped body, International Conference on Violent Flows: Nantes, France.
13-Sun, H., (2007), A boundary element method applied to strongly nonlinear wave-body interaction problems, Ph.D thesis, Norwegian University of Science and Technology, Trondheim.

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-06]
[DOR: 20.1001.1.17357608.1391.8.15.8.9]