

بررسی تاثیر هیدروالاستیسیته در مدل سازی عددی کوبش

محمد سعید سیف^{۱*}، سیروس زمانی راد^۲

استاد، قطب علمی هیدرودینامیک و دینامیک متحرکهای دریایی، دانشگاه صنعتی شریف؛ seif@sharif.edu
 آکارشناسی ارشد سازه کشتی، قطب علمی هیدرودینامیک و دینامیک متحرکهای دریایی، دانشگاه صنعتی شریف؛ zamanirad1@yahoo.com

چکیده

در تحقیق حاضر پدیده کوبش جهت بررسی تاثیر هیدروالاستیسیته در حین برخورد به صورت عددی شبیه سازی شده است. کوبش با دو دیدگاه سازه صلب و الاستیک (اثر هیدروالاستیسیته) مورد بررسی قرار گرفته است. با توجه به سرعت بالای برخورد شناور با سطح آب در هنگام وقوع پدیده کوبش، اثرات اینرسی و سینماتیکی ورق حین برخورد کاملاً مشهود است. با بررسی نتایج ملاحظه شد که در تحلیل کوبش منظور کردن اثر هیدروالاستیسیته به خصوص در سرعت های بالا موجب کاهش تغییر شکل ها و تنش های محاسبه شده در سازه در مقایسه با تحلیل شبه استاتیکی می شود. تاثیر هیدروالاستیسیته در مدل سازی کوبش با بررسی شرایط مختلف از جمله مشخصات ورق، زاویه گوه با سطح آب، شرایط مرزی و سرعت برخورد مورد بررسی قرار گرفت. مقایسه نتایج برای ورق فولادی و آلومینیومی نشان داد که چگالی ورق و جرم افزوده در تحلیل هیدروالاستیک تاثیر به سزایی دارند. در نهایت تاثیر هیدروالاستیسیته در طراحی یک شناور تندرو نمونه مورد بررسی قرار گرفت و مشاهده شد اعمال هیدروالاستیسیته در طراحی مستقیم، موجب کاهش ضخامت ورق کف می شود.

اطلاعات مقاله

تاریخچه مقاله:

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۲/۰۳/۱۲

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۲/۰۷/۱۶

تاریخ انتشار مقاله: ۱۳۹۲/۰۷/۳۰

کلمات کلیدی:

کوبش

هیدروالاستیسیته

بهینه سازی سازه

اندرکنش سازه و سیال

سازه کشتی

The effect of hydroelasticity in numerical modeling of slamming

Mohammad saeid seif^{1*}, Sirus zamani rad²

¹Professor, Center of Excellence in Hydrodynamic and Dynamic of Marine Vehicles; seif@sharif.edu

²MSC Ship Structure, Center of Excellence in Hydrodynamic and Dynamic of Marine Vehicles; zamanirad1@yahoo.com

ARTICLE INFO

Article History:

Received: 2 Jun. 2013

Accepted: 8 Oct. 2013

Available online: 22 Oct. 2013

Keywords:

Slamming

Hydroelasticity

Structural optimization

Fluid solid interaction

Ship structure

ABSTRACT

In the present study the slamming problem is simulated by numerical methods for investigating the hydroelastic effect during the slamming process. Slamming with two viewpoints of rigid and elastic structures (hydroelastic effect) had been modeled. Due to high impact speed of slamming, inertial and kinematic effects are quite evident in hydroelastic model. The results showed that considering hydroelastic effect especially in high impact speeds reduces the structural deformations and stresses in comparison with statically analysis. The effect of hydroelasticity is studied as a function of different parameters such as boundary condition, plate properties, wedge dead rise angle and impact velocity. Comparison of results for aluminum and steel plate showed that plate density and added mass has a determinant role in hydroelasticity. Finally hydroelasticity effect investigated for one high speed craft and observed that in direct design hydroelasticity effect reduces the plate thickness.

در طراحی یک شناور از روش های نیمه تجربی طراحی نظیر دستورات ارائه شده توسط موسسات رده بندی استفاده می شود، در روش های ارائه شده توسط موسسات رده بندی برای طراحی سازه از بارهای طراحی استاتیکی و گسترده استفاده می شود. به این روش ها، روش های غیرمستقیم طراحی اطلاق می شود. هرچند این روش ها هزینه و زمان طراحی را کاهش می دهند، اما سازه طراحی شده بهینه نیست. لذا در سالهای اخیر تلاش های بسیار زیادی در زمینه گسترش روشهای طراحی مستقیم ارائه شده است. پدیده کوبش^۱ نیز که یکی از مهمترین فاکتورهای طراحی شناور می باشد در کانون این تحقیقات قرار دارد. اعمال اثرات هیدروالاستیسیته در تحلیل کوبش از جمله نکاتی است که هنوز به شکل دقیق بررسی نشده است. با توجه به این نکات نیاز است تا تحقیق جامعی در زمینه تاثیرات هیدروالاستیسیته در حل و تفاوت های آن با حل استاتیکی با نگرش کاربردی در طراحی انجام گیرد.

فالتینسن با انجام آزمایش برخورد ورق آلومینیومی و فولادی با سطح آب اثرات هیدروالاستیسیته^۲ را مورد بررسی قرار داد [۱]، وی در سال ۲۰۰۰ نیز با بررسی هیدروالاستیسیته به روش تحلیلی و تجربی بیان نمود که در فشارهای بزرگ کوبش نمی توان از مقدار حداکثر فشار برای محاسبه توزیع تنش روی سازه استفاده نمود و باید تاثیر هیدروالاستیسیته در حل منظور شود. همچنین تاثیر هیدروالاستیسیته با کاهش زاویه برخورد، افزایش سرعت برخورد و افزایش بالاترین دوره طبیعی محلی سازه افزایش می یابد [۲]. برژنیتسکی در سال ۲۰۰۱ در آزمایشگاه سازه کشتی در دانشگاه دلف برخورد تیر با سطح آب را در شرایط مختلف مدل سازی کرد. و با توجه به نسبت دوره طبیعی سازه به دوره بار نواحی ملزم به تحلیل هیدروالاستیک را ارائه نمود [۳]. بین سال های ۲۰۰۶ تا ۲۰۱۰ تحقیقات جامعی روی اندرکنش سازه و سیال توسط استینیوس و همکارانش در موسسه ی تحقیقاتی رویال انجام گرفت [۴]، [۵]، [۶]. کین و باترا تاثیر هیدروالاستیسیته در کوبش پانل های ساندوچی را مورد بررسی قرار داد و بیان نمود که هیدروالاستیسیته تاثیر قابل ملاحظه ای در تغییر شکل ورق و نیروهای هیدرودینامیکی دارد [۷]. کوین برخورد گوه با سطح آب و تاثیر هیدروالاستیسیته در محاسبه مودهای طبیعی سازه را بررسی نمود. وی نتیجه گرفت که با افزایش ضخامت ورق و زاویه برخورد تاثیر هیدروالاستیسیته کاهش می یابد. در این تحقیق نتایج با حل تئوری و تجربی نیز مقایسه شده است [۸]. پانکیرولی و همکاران نیز برخورد ورق آلومینیومی و کامپوزیتی با سطح آب را به روش عددی با استفاده از کوپل اف.ای.ام^۳ و اس.پی.اچ^۴ مدل سازی نمود و نشان داده شد که بیش از یک مد طبیعی در تغییر شکل سازه مدل

هیدروالاستیک تاثیرگذار است. در این تحقیق نتایج عددی با نتایج تجربی نیز مقایسه شد [۹]. هنبینگ لودر سال ۲۰۱۲ برخورد یک بخش از بدنه شناور با سطح آب را به روش عددی و تجربی مورد بررسی قرار داد در مدل سازی عددی وی تاثیر تغییر شکل سازه در تغییرات فشار اعمال نشد اما با این وجود انطباق مناسبی بین نتایج حل تجربی و عددی حاصل شد [۱۰].

در ادامه پدیده کوبش به دو روش مختلف در نرم افزار انسیس^۵ شبیه سازی می شود و سازه ی شناور تحت این نیروها مورد ارزیابی قرار می گیرد. در روش اول یا روش شبه استاتیکی فشار کوبش با روش دینامیک سیالات محاسباتی، روی سازه صلب محاسبه می شود و به صورت استاتیکی در زمان های مختلف برخورد به سازه اعمال می شود. در این روش علاوه بر نادیده گرفتن ماهیت دینامیکی پدیده کوبش تاثیر تغییر شکل سازه روی توزیع فشار نیز منظور نمی شود. در روش دوم پدیده کوبش با در نظر گرفتن تاثیر هیدروالاستیسیته مدل سازی می شود. در نهایت تنش ها و تغییر شکل های سازه ی شناور در این دو روش با هم مقایسه و مورد ارزیابی قرار می گیرد. در تحلیل های عددی فرضیات از اهمیت بالایی برخوردار می باشند که حساسیت این مساله با پیچیده تر شدن مدل افزایش می یابد. سطح آزاد آب، اثرات توربولانسی، جت آب اطراف بدنه و در کنار این موارد تغییر شکل لحظه به لحظه سازه بر پیچیده تر شدن مساله می افزاید. دمپینگ از مهمترین فرضیات در مدل سازی هیدروالاستیسیته است که در کارهای مشابه پیشین بررسی نشده و در تحقیق حاضر مورد بررسی قرار گرفته است. سعی بر این است تا با انجام این تحلیل ها بتوان تاثیر هیدروالاستیسیته در پدیده کوبش را به شکل کامل بررسی نمود.

۲. شبیه سازی کوبش با در نظر گرفتن اثر هیدروالاستیسیته

از نکات حائز اهمیت در بحث هیدروالاستیسیته اثر میرایی سازه می باشد، بدین منظور پیش از بیان شبیه سازی برخورد گوه الاستیک با سطح آب لازم است تا مقدمه ای درباره ی این موضوع بیان شود. به طور کلی انرژی ارتعاشی در یک حجم از ماده زمانی که به صورت دوره ای تغییر شکل یابد تلف می شود [۱۱، ۱۲]. طیف وسیعی از مکانیسم های مرتبط با بازسازی داخلی میکرو و یا ماکروساختارها اعم از اثرات شبکه کریستالی به مقیاس مولکولی وجود دارد که باعث میرایی می شوند [۱۳]. در کار حاضر میرایی با استفاده از مدل رایلی^۶ که در رابطه (۱) بیان شده است شبیه سازی شده است [۱۴].

$$c = \alpha[M] + \beta[K] \quad (1)$$

در این رابطه M ماتریس جرم و K ماتریس سختی می باشد، به همین ترتیب α دمپینگ جرم و β دمپینگ سختی یا سازه

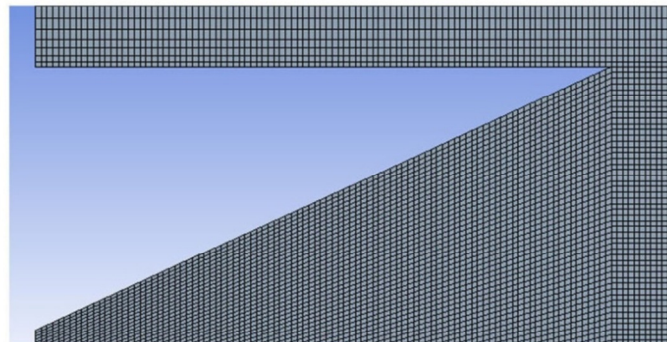
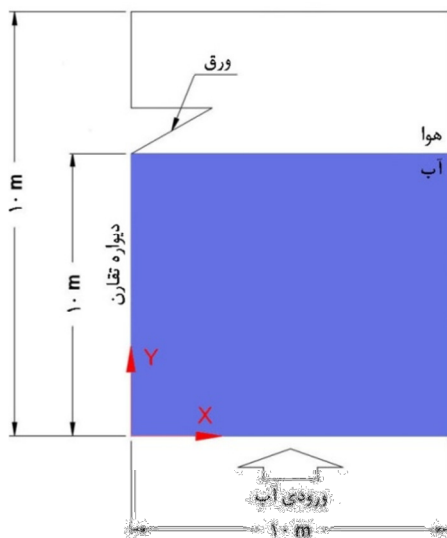
تا ۸۰۰ برابر بیشتر است [۱۹]. مقادیر ۰/۰۱۶ و ۰/۰۱۸ توسط کلارکسن و فورد [۲۰] و ۰/۰۱۷ توسط مید [۱۸] برای ضریب اتلاف آلومینوم ارائه شد. برای مدل سازی ورق های آلومینومی بدنه هواپیما مقدار ضریب اتلاف ۲ تا ۳۶۰ مرتبه از این مقادیر بزرگتر است [۱۳]. در کار حاضر مقدار ضریب اتلاف ۰/۰۸ در نظر گرفته شده است این مقدار بعد از انجام تست های مختلف به روش سعی و خطا انتخاب شده است. مقادیر کوچکتر از ضریب اتلاف انتخابی موجب متوقف شدن حل با خطا شد، مقادیر بزرگتر نیز موجب کاهش تغییر شکل ها شد. واضح که این مقدار از ضریب اتلاف طبیعی آلومینوم بیشتر است که علت این مساله تاثیر بالای جرم افزوده آب در مسائل اندرکنش سازه و آب می باشد. با توجه به شرایط پیچیده تحلیل هیدرواستاتیک لازم است تا مدل حاضر با نتایج منبعی معتبر اعتبارسنجی شود. برای این منظور از نتایج ارائه شده توسط استنیوس استفاده می شود [۶]. در این مقاله برخورد گوه با فرض اثر هیدرواستاتیسیته در نرم افزار ال.اس.دایناس^۸ انجام شده. با توجه به اینکه در اینجا اثرات محلی کوبش مورد بررسی قرار می گیرد، مساله به صورت دو بعدی (پلین استرین^۹) مدل سازی می شود. جهت مدل سازی سیال یک حجم آب به ابعاد ۱۰×۱۰ متر در زیر گوه و یک حجم هوا به ابعاد ۱۰×۵ در بالای گوه در نظر گرفته شده. از نکات بسیار مهم در مورد مدل عدم تاثیر دیواره های حوزه حل روی گوه می باشد برای خنثی کردن تاثیر دیواره ها در حل باید این دیواره ها از دیواره های گوه به اندازه کافی دور باشند. نسبت بیان شده جهت محقق شدن این منظور ۸ برابر نیم عرض مدل می باشد که در مدل سازی حاضر رعایت شده است [۲۱].

می باشد. مقادیر α و β عموماً به طور مستقیم مشخص نیست. اما با استفاده از فاکتور دمپینگ ξ_{mr} به شکل رابطه ۲ قابل محاسبه می باشد. فاکتور دمپینگ در واقع نسبت میرایی واقعی به میرایی بحرانی برای حالت خاصی از ارتعاش است [۱۴].

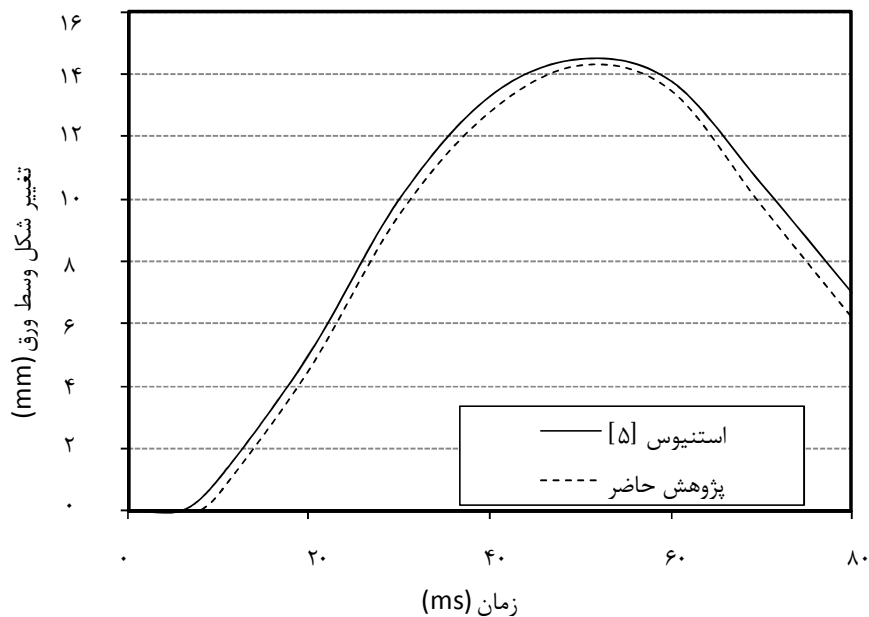
$$\xi_{mr} = \frac{\alpha}{2\omega_r} + \frac{\beta\omega_r}{2} \quad (2)$$

در این رابطه ω_r فرکانس طبیعی چرخشی سازه می باشد. در بسیاری از مسائل عملی مقدار α (یا دمپینگ جرم) که میرایی اصطکاکی را نشان می دهد در نظر گرفته نمی شود ($\alpha=0$). در نتیجه فاکتور β از رابطه ۲ با داشتن مقدار ξ_{mr} و ω_r قابل محاسبه می باشد. باید توجه داشت که تنها یک مقدار β در مدل قابل اعمال می باشد پس جهت محاسبه هرچه دقیق تر β باید از فرکانس غالب استفاده نمود، بنابراین فرکانس طبیعی ورق در محاسبات منظور شده است. در ادامه به تاریخچه ای از کارهای انجام شده در زمینه دمپینگ آلومینوم اشاره می شود.

زای و همکاران در سال ۱۹۹۸ به روش تجربی ضریب اتلاف^۷ را برای سه سری مختلف آلومینوم در محدوده 3×10^{-3} تا 1×10^{-2} محاسبه نمود و بیان کرد که اطلاعات کمی درباره میرایی سری های تجاری آلومینوم وجود دارد. [۱۵]. وایت والکر نیز محدوده 5×10^{-5} تا 3×10^{-7} را برای ضریب اتلاف آلومینوم ارائه نمود [۱۶]. مقدار دقیق 4×10^{-4} نیز توسط برانک محاسبه شد [۱۷]. میرایی کل برای یک سازه به طور قابل توجهی از میرایی ماده تشکیل دهنده سازه بزرگتر می باشد [۱۷ و ۱۸]. ناشیف و همکاران مقدار دمپینگ ورق نازک آلومینومی را با تکیه بر نتایج تجربی ۰/۰۰۴ و برای ورق بال هواپیما ۰/۰۴ محاسبه نمود واضح است که این مقادیر از میرایی ذاتی آلومینوم ۵



شکل ۱. شبکه بندی اطراف گوه (سمت راست)، حوزه حل مدل (سمت چپ)



شکل ۲- تغییر شکل وسط ورق در جهت خارج صفحه بر حسب زمان (سرعت برخورد گوه با سطح آب ۶ متر بر ثانیه، زاویه گوه ۳۰ درجه)

کل ورق توزیع می‌شود. از این لحظه به بعد فشار وارده و در نتیجه تغییر شکل ورق کاهش می‌یابد. در این شرایط برخورد همچنان با همان سرعت ۶ متر بر ثانیه ادامه دارد اما با توجه به عبور سطح آزاد از گوه، فشار روی ورق کاهش می‌یابد. می‌دانیم فشار روی گوه در هر لحظه در محل برخورد سطح آزاد با بدنه اتفاق می‌افتد. در شکل ۳ توزیع تنش وون مایرز بر حسب پاسکال و وضعیت سطح آزاد آب در لحظات مختلف برخورد گوه نمایش داده شده است. معیار وون مایرز جهت نمایش هرچه بهتر حداکثر تنش های ناشی از برخورد در ورق انتخاب شده است. با توجه به اعمال شرایط گیردار به دو انتهای ورق، در طول برخورد حداکثر تنش در دو انتهای ورق اتفاق می‌افتد. توزیع تنش نیز تا لحظه ۵۲ میلی ثانیه افزایش می‌یابد اما بعد از این لحظه همانند تغییر شکل، کاهش می‌یابد.

۳. بررسی تاثیر هیدروالاستیسیتیه در کوبش

جهت بررسی تاثیر هیدروالاستیسیتیه در کوبش، نتایج برخورد یک گوه صلب و یک گوه الاستیک با هم مقایسه می‌شود. لازم است ابتدا روی فشارهای وارد به گوه در برخورد گوه صلب و الاستیک بحث شود. در شکل ۴ توزیع فشار در سه نقطه به فاصله مساوی روی گوه، برای گوه با زاویه ۳۰ درجه با سرعت برخورد ۶ متر بر ثانیه برای این دو حل نمایش داده شده است. با توجه به ثابت بودن سرعت در طول برخورد نقاط در فواصل زمانی مساوی وارد آب شده‌اند. نتایج مربوط به برخورد گوه صلب و گوه الاستیک به اختصار به ترتیب با عبارت صلب و هیدروالاستیک نمایش داده شده است.

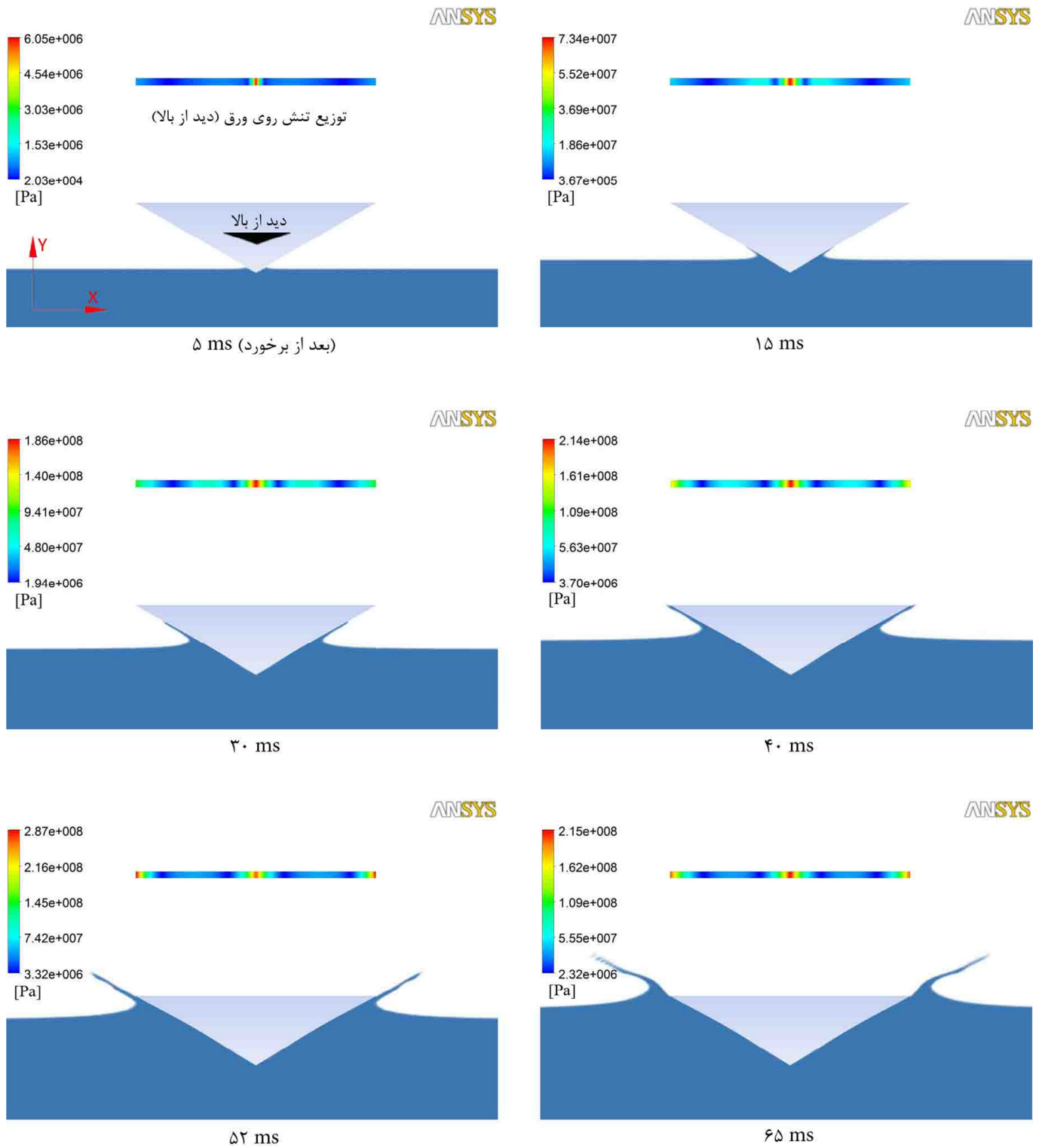
جهت کاهش حجم محاسبات مقطع عرضی گوه نسبت به محور عمودی متقارن فرض شده است. با ورود آب با سرعت ثابت از دیواره پایینی مدل، سطح آب با همان سرعت به سمت گوه حرکت می‌کند (شکل ۱). شبکه بندی از نوع سازمان یافته چهاروجهی انتخاب شده است که در اطراف گوه ریز و با دور شدن از آن به صورت یکنواخت بزرگ می‌شود در شکل ۱ نمایی از شبکه بندی نشان داده شد.

جهت مدل سازی سازه گوه از یک ردیف المان ورق در بعد سوم به طول ۰/۹۵۱ متر استفاده شده است. سختی خمشی ورق برابر با ۷۰۰۷ کیلونیوتن بر متر می‌باشد ورق از جنس آلومینیوم و با المان شل^{۱۰} شبیه سازی شده است. باید به این نکته اشاره نمود که در مدل سازی حاضر مصالح خطی فرض شده است. رابطه سختی خمشی ورق به شکل رابطه ۳ بیان می‌شود. در این رابطه E مدول الاستیسیتیه ورق، ν نسبت پواسون و t ضخامت ورق می‌باشد [۲].

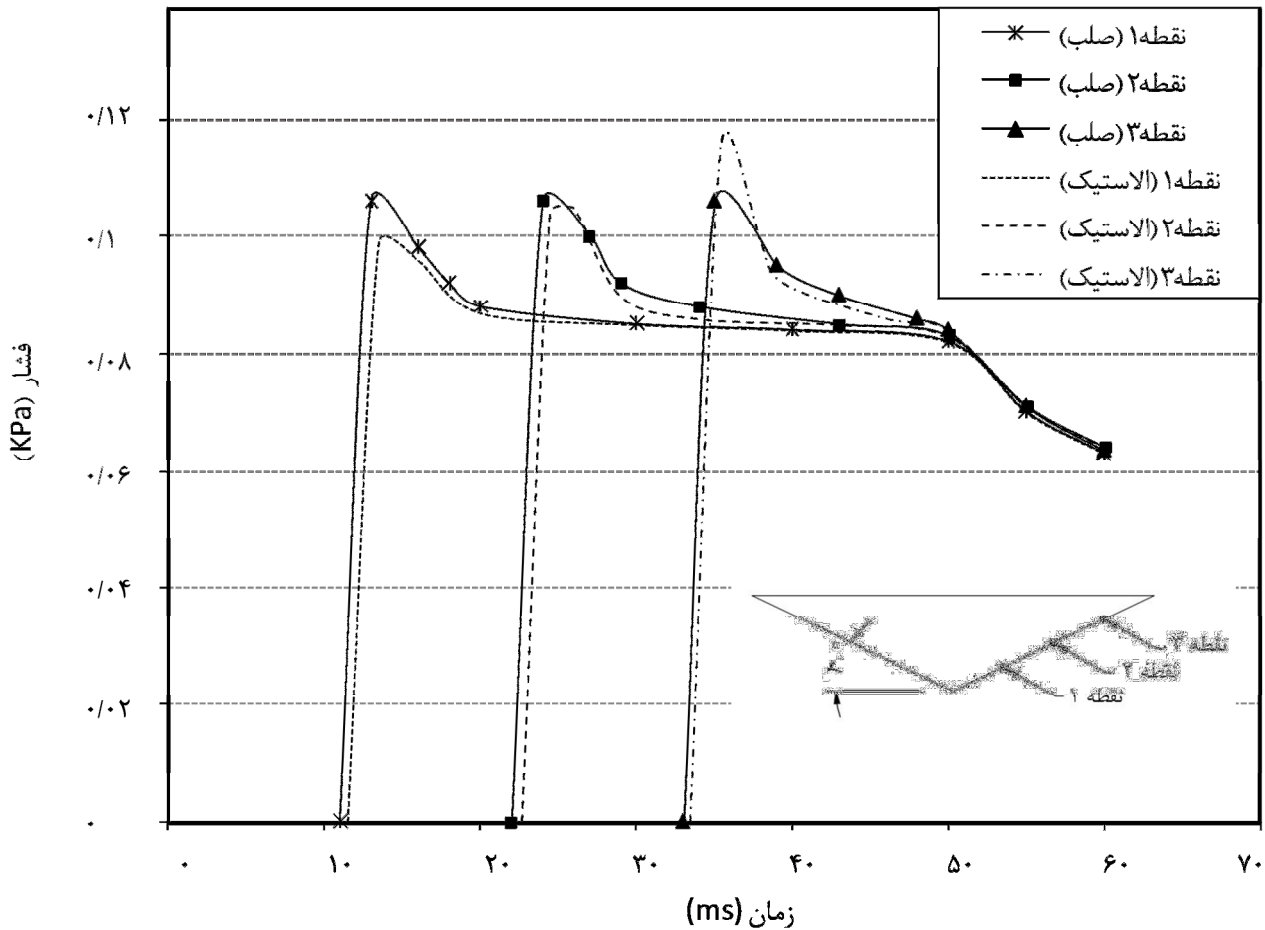
$$D = \frac{E \times t^3}{12 \times (1 - \nu^2)} \quad (3)$$

شرایط مرزی اعمال شده روی دو سر ورق از نوع گیردار می‌باشد. زاویه برخورد گوه با سطح آب ۳۰ درجه و سرعت برخورد گوه ثابت و برابر ۶ m/s می‌باشد. در شکل ۲ نمودار تغییر شکل وسط ورق بر حسب زمان نشان داده شده است و با نتایج استنیوس مقایسه شده است، که انطباق مناسبی بین نتایج مشاهده می‌شود. اختلاف ناچیز بین نتایج را می‌توان ناشی از نحوه مدل سازی دمپینگ دانست، که در کار استنیوس اشاره‌ای به آن نشده است.

مطابق شکل ۲ حداکثر تغییر شکل ورق در لحظه ۵۲ میلی ثانیه اتفاق می‌افتد، در این لحظه تمام ورق وارد آب شده و فشار روی



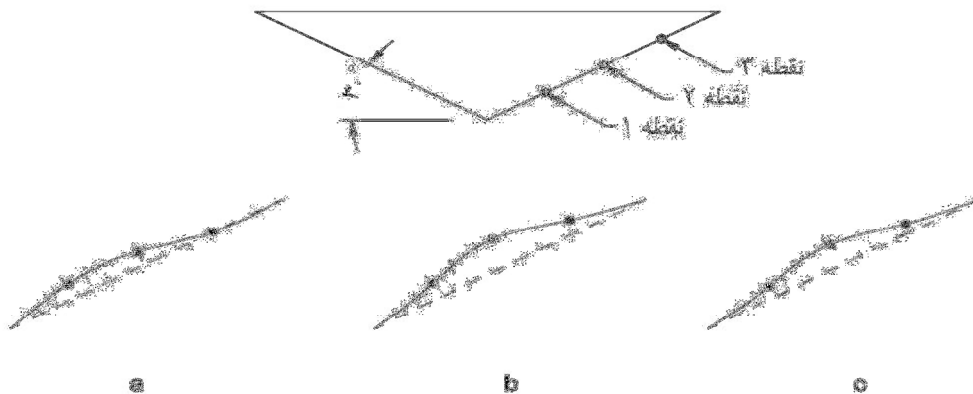
شکل ۳- تغییرات سطح آزاد آب و تنش وون مایز در لحظات مختلف برخوردگوه الاستیک با سطح آب(سرعت برخورد گوه با سطح آب ۶ متر بر ثانیه، زاویه گوه ۳۰ درجه)



شکل ۴- تاریخچه زمانی فشار روی گوه برای گوه صلب و الاستیک در نقاط ۲، ۱ و ۳ (سرعت برخورد گوه با سطح آب ۶ متر بر ثانیه، زاویه گوه ۳۰ درجه)

مطابق شکل ۵ اگر در زمان وقوع حداکثر فشار روی نقطه یک ورق شکلی همانند حالت a داشته باشد با توجه به حالت a مشاهده می شود زاویه موضعی برخورد گوه در این نقطه افزایش یافته است (این مقدار در بیشترین تغییر شکل ورق به دو درجه می رسد). پس انتظار می رود در این شرایط فشار وارد به گوه در حالت صلب بیشتر از الاستیک باشد اما با توجه به اینکه در لحظات اولیه برخورد تغییر شکل ها کوچکتر می باشد اختلاف کمی بین دو حل مشاهده می شود (شکل ۴).

با توجه به اعمال هیدروالاستیسیته، تغییر شکل در حین برخورد در محاسبات منظور می گردد، این مساله موجب اعمال تاثیر تغییر زاویه موضعی ورق در لحظات مختلف برخورد می شود. در حالی که در برخورد گوه صلب در تمام مدت برخورد شکل گوه تغییر نمی کند. در شکل ۵ تغییر شکل گوه الاستیک در سه مرحله از حل a, b, c که به ترتیب مربوط به لحظات آغازی، میانی و پایانی حل می باشد نمایش داده شده است. خط تیره حالت تغییر شکل یافته ورق و خط چین حالت قبل از برخورد ورق را نمایش می دهد.



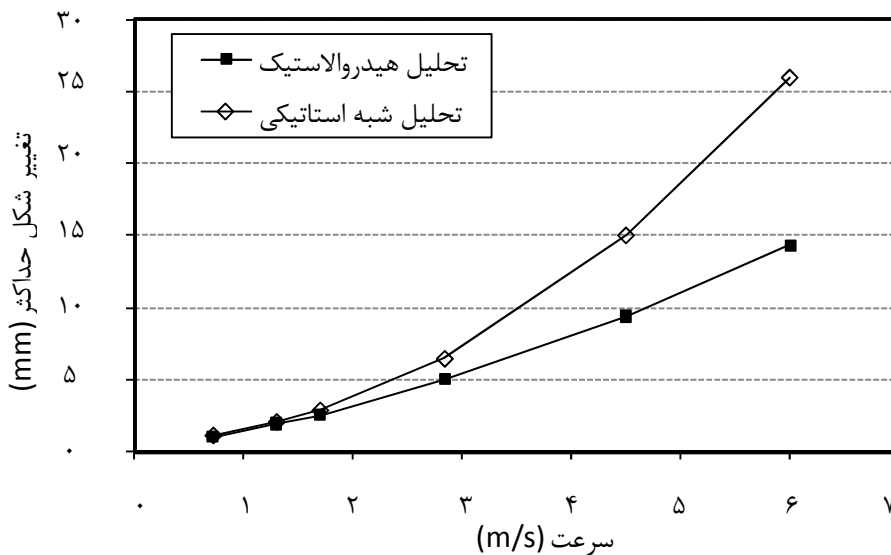
شکل ۵- شماییک تغییر شکل ورق در سه مرحله از حل a: لحظات آغازی حل، b: لحظات میانی حل و c: لحظات پایانی حل

شکل ۶ مشاهده می‌شود در سرعت های پایین برخورد نتایج حل شبه استاتیکی و هیدرواستاتیک مقادیر نزدیک تری را نشان می‌دهند اما در سرعت های بالا تفاوت این دو حل افزایش می‌یابد. در حالی که در همین شرایط فشارهای روی گوه در دو حل اختلاف کمتری دارند. این مساله را می‌توان ناشی از ماهیت حل دینامیکی دانست.

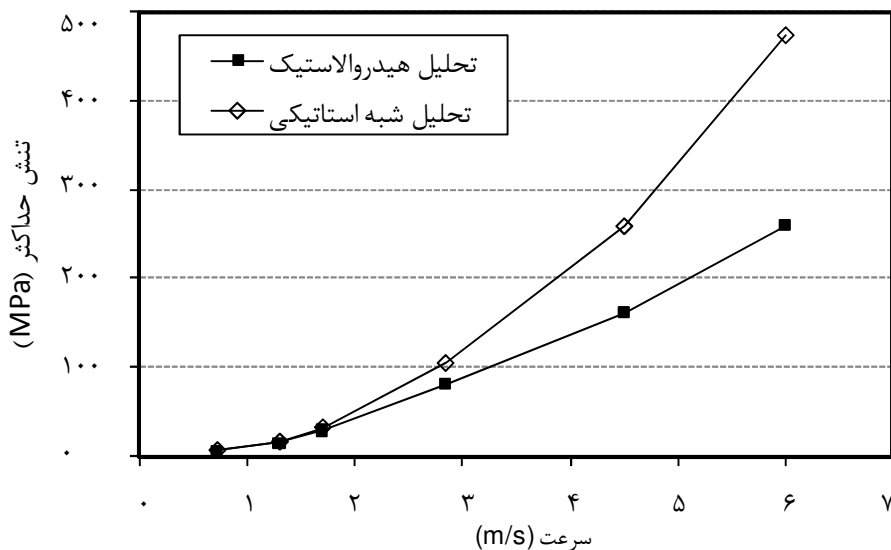
در نمودار شکل ۷ حداکثر تنش ها (بر اساس معیار وون مایزرز) برای گوه با زاویه ۳۰ درجه در سرعت‌های متفاوت نمایش داده شده است، اختلاف تنش‌ها نیز همانند تغییرشکل‌ها با افزایش سرعت افزایش می‌یابد. با توجه به این نتایج باید تاکید نمود که در نظر نگرفتن اثر هیدرواستاتیسیته در طراحی باعث فاصله گرفتن از طراحی بهینه سازه می‌شود.

برای نقطه دو نیز مطابق شکل ۵ با در نظر گرفتن حالت b برای تغییر شکل ورق، زاویه این نقطه تقریباً ثابت می‌ماند پس فشار وارده به گوه در دو حل تقریباً برابر می‌باشد (شکل ۴). در نهایت در نقطه سه با توجه به اینکه زاویه برخورد کاهش یافته است (حالت c) فشار محاسبه شده در حل هیدرواستاتیک بیشتر می‌باشد (شکل ۴). به علت وقوع بزرگترین تغییر شکل ها در این لحظات بیشترین اختلاف بین دو حل نیز در این نقطه مشاهده می‌شود.

با استفاده از امکانات نرم افزار بعد از شبیه سازی برخورد گوه صلب با سطح آب می‌توان فشارهای به دست آمده روی گوه را روی سازه به شکل شبه استاتیکی اعمال نمود. در ادامه نتایج مختلف حاصله از برخورد گوه صلب و الاستیک مقایسه و بررسی می‌شود. در نمودار شکل ۶ حداکثر تغییر شکل برای گوه با زاویه برخورد ۳۰ درجه در سرعت های متفاوت نمایش داده شده است. با توجه به

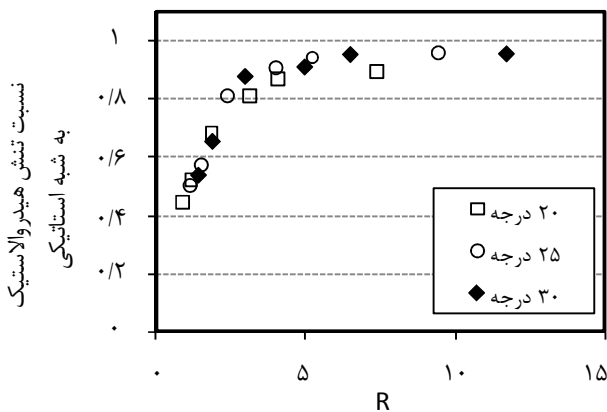


شکل ۶- تغییر شکل حداکثر برای تحلیل استاتیکی و هیدرواستاتیک در سرعت های مختلف برخورد (زاویه گوه ۳۰ درجه)



شکل ۷- تنش حداکثر برای تحلیل استاتیکی و هیدرواستاتیک در سرعت های مختلف برخورد (زاویه گوه ۳۰ درجه)

از شرایط تکیه گاهی گیردار در R های یکسان مقدار کمتری می باشد. پس می توان این چنین بیان نمود که تاثیر هیدروالاستیسیته در شرایط تکیه گاهی ساده برای ورق اهمیت بیشتری نسبت به شرایط مرزی گیردار دارد. لذا شرایط مرزی اعمالی به ورق در نتایج تاثیر به سزایی دارد.



شکل ۹ - نسبت تنش وون مایز حل هیدروالاستیک به شبه استاتیکی بر حسب فاکتور R برای شرایط مرزی ساده و گیردار (زاویه گوه ۲۰ درجه)

جهت بررسی تاثیر چگالی ورق و جرم افزوده آب در پدیده هیدروالاستیسیته برخورد یک گوه با همان زاویه ۳۰ درجه و همان سختی خمشی از جنس آلومینیوم با ضخامت ۱۰/۱۸ میلی متر که در بخش قبل انجام شد، برای یک ورق از جنس فولاد انجام می گیرد. با استفاده از رابطه ۳ ضخامت ورق فولادی برای سختی خمشی ۷۰۰۷ کیلونیوتن بر متر برابر ۷/۲۵ میلی متر محاسبه می شود.

در شکل ۱۰ نتایج حاصل از تحلیل شبه استاتیکی و هیدروالاستیک برای ورق آلومینیومی و فولادی نمایش داده شده است. با توجه به سختی خمشی برابر نتایج یکسانی برای ورق آلومینیومی و فولادی در تحلیل شبه استاتیکی حاصل شده است، بنابراین یک نمودار برای نمایش نتایج شبه استاتیکی استفاده شده است. اما در حالت هیدروالاستیک اختلاف نتایج کاملاً مشهود است، تغییر شکل های به دست آمده برای این دو ورق در لحظات اولیه حل تقریباً برابر می باشد اما در لحظات بعد از ۰/۳ ثانیه تغییر شکل ها دچار اختلاف می شود این مساله به دلیل اختلاف چگالی این دو ورق (نسبت چگالی فولاد به آلومینیوم برابر ۳/۷ می باشد) و تاثیر جرم افزوده آب می باشد که در تحلیل شبه استاتیکی قابل بررسی نیست. مقدار جرم افزوده آب در مقایسه با جرم ورق مقدار قابل توجهی می باشد که برای سازه مورد تحلیل جرم ورق در حدود ۴ درصد جرم افزوده آب می باشد.

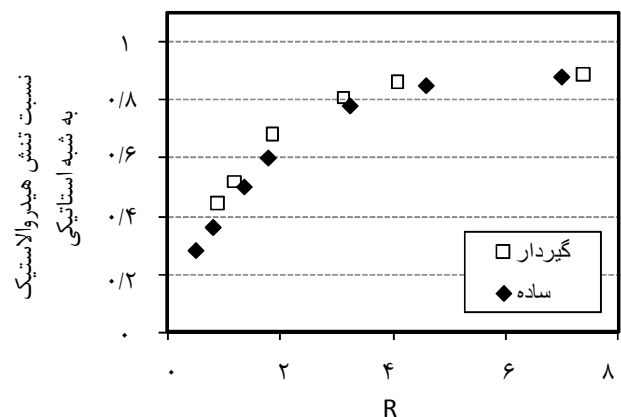
برای بررسی هرچه بهتر تفاوت های نتایج حاصل از حل هیدروالاستیک و شبه استاتیکی، فاکتور بی بعد R به صورت زیر تعریف می شود [۵].

$$R = \frac{T_{LP}}{T_{NP}} \quad (۴)$$

در این رابطه T_{LP} عبارت است از مدت زمان اعمال بار دینامیکی به سازه و T_{NP} نیز پیوند طبیعی می باشد که با اتکای به تئوری واگنر و تئوری تیرها رابطه ۴ به شکل زیر قابل بیان است [۵].

$$R = 4 \left(\frac{\mu_{NP}}{\pi} \right)^2 \times \frac{\tan \beta}{V} \sqrt{\frac{D}{\pi \rho_w b^3}} \quad (۵)$$

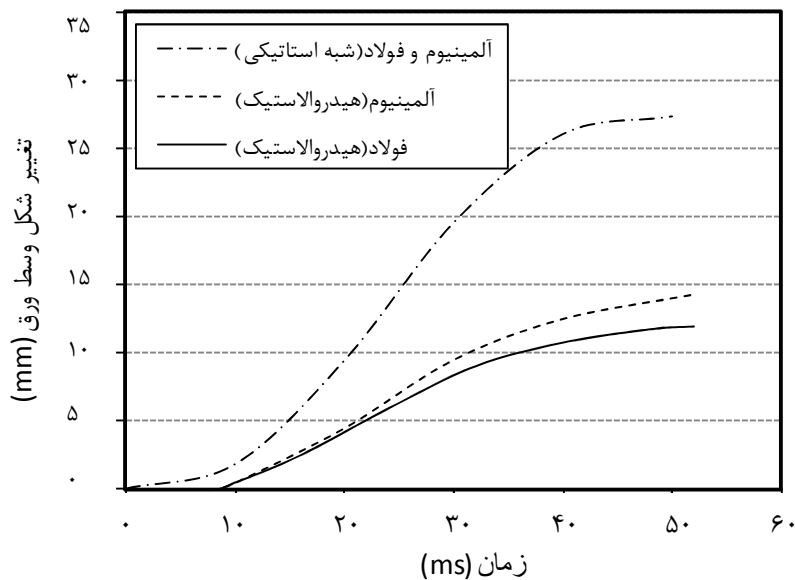
μ_{NP} فاکتور شرایط مرزی (در شرایط مرزی ساد $\mu_{NP} = \pi$ و برای شرایط مرزی گیردار $\mu_{NP} = ۴/۷۳$)، β زاویه گوه (ورق)، سرعت برخورد گوه با سطح آب، D سختی خمشی ورق و b طول ورق می باشد.



شکل ۸ - نسبت تنش وون مایز در حل هیدروالاستیک به شبه استاتیکی بر حسب فاکتور R در زاویه های مختلف گوه

در نمودار شکل ۸ نسبت تنش ها در حل هیدروالاستیک به شبه استاتیکی بر حسب فاکتور R در زاویه های مختلف گوه نمایش داده شده. همانطور که ملاحظه می شود تاثیر هیدروالاستیسیته در R های کوچکتر از ۵ مشهودتر است. اما در R های بزرگتر از ۵ این تاثیر کاهش می یابد. از دیدگاه فیزیکی می توان اینگونه بیان نمود که فاکتور R با افزایش استحکام سازه و دوره بار وارده به سازه، افزایش می یابد پس تاثیر هیدروالاستیسیته با افزایش استحکام سازه و دوره بارگذاری کاهش می یابد. نسبت تنش های سازه در حل استاتیکی و الاستیک به عنوان مثال برای زاویه ۲۰ درجه در R های کوچک تا ۰/۵ و در R های بزرگ در حدود ۰/۹ می باشد.

در نمودار شکل ۹ نسبت تنش های حل الاستیک به شبه استاتیکی برای شرایط تکیه گاهی گیردار و ساده در زاویه برخورد ۲۰ درجه نمایش داده شده است. نسبت تنش ها در شرایط تکیه گاهی ساده



شکل ۱۰- تاریخچه زمانی تغییر شکل وسط ورق برای ورق آلومینیومی و فولادی (سرعت برخورد گوه با سطح آب ۶ متر بر ثانیه، زاویه گوه ۳۰ درجه)

۴. تاثیر هیدروالاستیسیت در طراحی شناور

با توجه به بررسی های انجام شده در بخش های قبل می توان این گونه بیان نمود که اعمال هیدروالاستیسیت در تحلیل کوبش موجب طراحی بهینه می شود. لذا در این بخش تاثیر هیدروالاستیسیت در طراحی یک شناور مورد بررسی قرار می گیرد. در جدول ۱ مشخصات شناور مورد نظر نمایش داده شده است.

جدول ۱- مشخصات اصلی شناور مورد نظر

۵۲ ton	جابجایی (وزن)
۲۵m	طول
۵/۵m	عرض
۱/۲m	آبخور
۵۰knot	سرعت

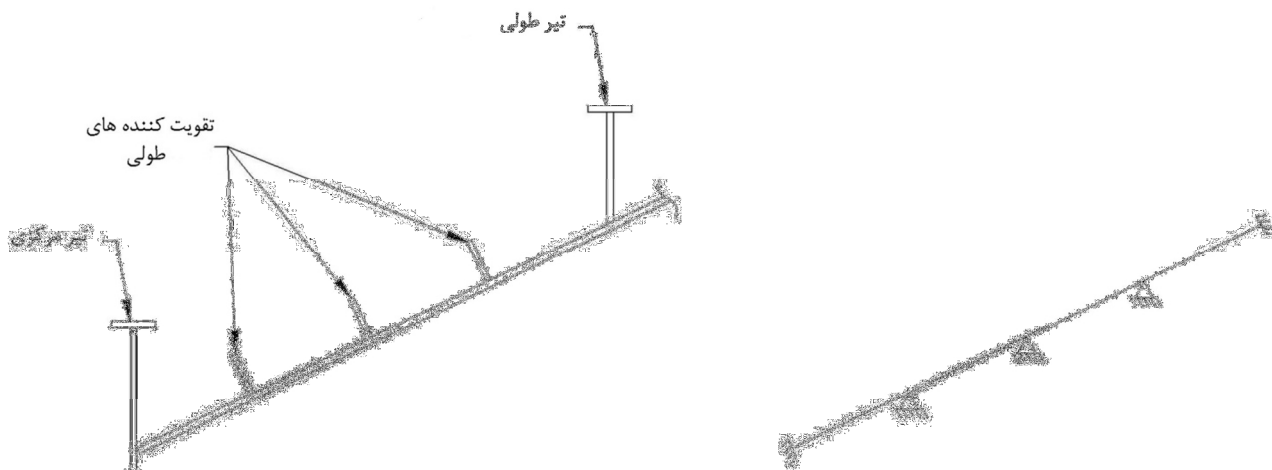
این شناور آلومینیومی بر اساس روابط موسسه رده بندی DNV طراحی شده است. فشار کوبش محاسبه شده برای این شناور بر اساس آیین نامه DNV، ۱۴۶ کیلو نیوتن بر متر مربع محاسبه شده است. که با استفاده از این فشار و بر اساس رابطه ۶ مقدار ضخامت ورق کف ۶/۵ میلی متر محاسبه می شود. در این رابطه k_r و k_a به ترتیب ضریب انحنا و منطری ورق، S فاصله بین تقویت کننده های طولی، P_{sl} فشار کوبش و σ_{sl} تنش حدی طراحی می باشد [۲۲].

$$t = \frac{22.4k_r k_a s \sqrt{P_{sl}}}{\sqrt{\sigma_{sl}}} \quad (۶)$$

جهت بررسی تاثیر هیدروالاستیسیت در طراحی شناور فوق در این بخش دو گوه مطابق با سازه شناور مورد نظر مطابق با شرایط مدل سازی که در قبل بیان شد به دو روش شبه استاتیکی و هیدروالاستیک مورد تحلیل قرار می گیرد. ورق بین تیر مرکزی و یک تیر طولی (مطابق شکل ۱۱) برای تحلیل مدل سازی می شود. شرایط اعمال شده به دو سر ورق در محل تیر مرکزی و تیر طولی از نوع گیردار و در محل تقویت کننده های طولی از نوع ساده می باشد (شکل ۱۱). جهت محاسبه سرعت عمودی برخورد شناور با سطح آب از رابطه واگنر (رابطه ۷) استفاده می شود [۲۳].

$$P_{sl} = 0.5 \rho_w \left(\frac{\pi V}{2 \tan \beta} \right)^2 \quad (۷)$$

در این رابطه P_{sl} فشار کوبش، ρ_w چگالی آب، V سرعت عمودی برخورد شناور با سطح آب و β زاویه ورق (گوه) با سطح آب می باشد. با قرار دادن فشار کوبش محاسبه شده از آیین نامه در رابطه ۶ سرعت عمودی برخورد شناور با سطح آب ۵ m/s محاسبه می شود.



شکل ۱۱- شرایط مرزی اعمالی به مدل عددی (سمت راست)، شماتیک ساختمان کف شناور (سمت چپ)

$$t = \frac{22.4k_r s \sqrt{P_{sl}}}{\sqrt{\gamma_{hyd} \sigma_{sl}}} \quad (8)$$

در واقع γ_{hyd} عبارت است از نسبت تنش ماکزیمم در حل شبه استاتیکی به هیدروالاستیک که در غالب یک ضریب اطمینان به تنش حدی طراحی اعمال می شود. که مقدار این ضریب برای شناور مورد نظر با توجه به نسبت بین تنش ها در زمان وقوع حداکثر تنش یعنی ۵۰ میلی ثانیه، ۱/۲۸ محاسبه می شود. با محاسبه مجدد ضخامت ورق بر اساس رابطه ۷ مقدار ضخامت ورق ۱۲ درصد کاهش می یابد و برابر ۵/۷ میلی متر محاسبه می شود.

۵. نتیجه گیری

در کار حاضر با اتکای به روش های عددی برخورد شناور با سطح آب با در نظر گرفتن اثر هیدروالاستیسیتیه در حل مورد بررسی قرار گرفت و با نتایج حاصل از برخورد گوه صلب مقایسه شد. بررسی جامعی روی نتایج حاصل از این دو حل مثل فشارها تغییر شکل ها و تنش ها انجام گرفت. در فشارهای وارده به گوه در این دو حل تفاوت کمی مشاهده شد اما نتایج برای تغییر شکل ها و تنش ها برای تحلیل شبه استاتیکی و هیدروالاستیک اختلاف زیادی داشت. به عنوان مثال در نتایج حاصله تا مقدار ۰/۶ برای نسبت تغییر شکل های این دو حل به دست آمد. در طول یک برخورد حداکثر اختلاف بین نتایج تحلیل هیدروالاستیک و شبه استاتیکی در لحظه وقوع حداکثر فشار روی بدنه (لحظه خرسی کامل) اتفاق می افتد. بعد از بررسی نتایج در سرعت ها و زوایای مختلف برخورد بیان شد که با افزایش سرعت و کاهش زاویه برخورد تاثیر هیدروالاستیسیتیه در نتایج افزایش می یابد. با بررسی تاثیر شرایط مرزی در حل بیان شد که با افزایش گیرداری ورق تاثیر

در جدول ۲ مقدار حداکثر تنش ثبت شده بر اساس معیار وون مایرز در تحلیل شبه استاتیکی و هیدروالاستیک در زمان های مختلف برخورد نمایش داده شده است. می دانیم حداکثر فشار که در محل برخورد آب با بدنه اتفاق می افتد در لحظات مختلف روی گوه جابجا می شود، در نتیجه این فشار در لحظات مختلف در محل اعمال شرایط تکیه گاهی یا دهانه آزاد ورق وارد می شود. لذا در جدول ۲ سعی شده که نتایج در لحظات وقوع حداکثر تنش ثبت شوند.

اختلاف تنش، بین دو حالت در لحظات مختلف تغییر می کند که در زمان وقوع ماکزیمم تنش یعنی ۵۰ میلی ثانیه به حداکثر می رسد.

جدول ۲- حداکثر تنش وون مایرز در لحظات مختلف برخورد برای تحلیل شبه استاتیکی و هیدروالاستیک

زمان (ms)	تنش شبه استاتیکی (Mpa)	تنش هیدروالاستیک (Mpa)
۱۰	۶۰/۳	۵۵/۹
۲۰	۶۹/۶	۵۸/۶
۳۰	۷۴/۷	۶۰/۲
۴۰	۶۲/۵	۵۵/۴
۵۰	۸۰/۷	۶۳
۶۰	۷۲/۴	۵۹/۵

با توجه به نتایج حاصله، رابطه ۶ (رابطه محاسبه ضخامت ورق) جهت اعمال هیدروالاستیسیتیه در طراحی شناور به شکل رابطه ۸ اصلاح می شود.

- wedge-shaped body, Ocean Engineering 38 (2011) 621-629
9. R Panciroli, S Abrate, G Minak, AZucchelli. A *Hydroelasticity in water-entry problems: Comparison between experimental and SPH results*, International Journal of Composite Structures 94 (2012) 532-539
10. Hanbing Luo, Hui Wang, C Guedes Soares, *Numerical and experimental study of hydrodynamic impact and elastic response of one free-drop wedge with stiffened panels*, Ocean Engineering 40 (2012) 1-14
11. Nashif AD, Jones DIG, Henderson JP, *Vibration damping*, Wiley; 1985
12. Lazan BJ, *Damping of materials and members in structural mechanics*, Pergamon Press; 1968
13. Thomas G, et al, *The vibratory damping of large high-speed catamarans*, Marine structures, 2008. 21(1):p.22-1
14. C Cai, H Zheng, MS Khan and KC Hung, *Modeling of material damping properties in ANSYS*. Defense Systems Division, Institute of High Performance Computing 89C Science Park Drive, Singapore Science Park I, Singapore 118261
15. Xie CY, Schaller R, Jaquero C, *High damping capacity after precipitation in some commercial aluminum alloys*, Mater Sci Eng 1998; A252:78-84
16. White RG, Walker JG, *Noise and vibration*, Ellis Horwood Limited; 1986
17. Beranek LL, Ver IL, *Noise and vibration control engineering: principles and applications*, Wiley; 1992
18. Mead DJ. *Prediction of the structural damping of a vibrating stiffened plate*, In: Proceedings of AGARD conference damping effects in aerospace structures, 1979. p. 10-39
19. Ungar EE. *The status of engineering knowledge concerning the damping of built-up structures*, J Sound Vib 1973; 26(1):141-54.
20. Clarkson BL, Ford RD, *The response of a typical aircraft structure to jet noise*, J R Aeronaut Soc 1962; 66:31-40
21. Seif, M.S., Mousavirad, S.M., Saddathoseini, S.H. and Bertman, V., *Numerical Modeling of 2-D Water Impact in One Degree of Freedom*, Sínt. Tecnol, v.2 n.2 Valdivia nov. 2005
22. DET NORSKE VERITAS, *Rule for classification of high speed, light craft and naval surface craft*, January 2005
23. Wagner, H., (1932) *Über Stoss- und Gleitvorgänge an der Oberfläche von Flüssigkeiten*, Z Angew Math Mech 12:193-235
24. ANSYS manual, 2010

هیدروالاستیسیتی کاهش می‌یابد. در تحلیل‌های شبه‌استاتیکی نتایج یکسانی برای مواد مختلف با سختی خمشی و شرایط بارگذاری یکسان حاصل می‌شود در حالی که در تحلیل هیدروالاستیک اثر جنس سازه در نتایج کاملاً مشهود است. با توجه به بزرگ بودن مقدار جرم افزوده آب در مقایسه با جرم ورق، جرم افزوده آب تاثیر به‌سزایی در نتایج دارد. این مساله تنها با اعمال هیدروالاستیسیتی در حل قابل بررسی می‌باشد. در سرعت‌های بالای برخورد تفاوت نتایج برای حل صلب و الاستیک به شدت افزایش می‌یابد. باید توجه داشت نیاز به شناورهای سرعت بالا روز به روز افزایش می‌یابد و مساله بهینه‌سازی وزن شناور در این شرایط جایگاه ویژه‌ای دارد به همین دلیل برای دست‌یابی به این هدف، در طراحی شناور باید از شیوه‌های دقیق تحلیل استفاده نمود که منظور کردن اثرات هیدروالاستیسیتی در حل یکی از این روش‌ها می‌باشد.

کلید واژگان

1. Slamming
2. Hydroelasticity
3. Finite element method (FEM)
4. Smoothed particle hydrodynamics (SPH)
5. ANSYS
6. Rayleigh
7. Loss factor
8. LS-DYNA
9. Plane strain
10. Shell

مراجع

1. Faltinsen OM, Kvalsvold J, Aarsnes JV (1997) *Wave impact on a horizontal elastic plate*, J Mar Sci Technol 2(2):87-100
2. Faltinsen OM, *Hydroelastic slamming*, Journal of Marine Science and Technology, J Mar Sci Technol (2000) 5:49-65
3. A Berezniński. *Slamming: the role of hydroelasticity*, Int. Shipbuild. Progr., 48, no. 4 (2001) pp. 333-351
4. Stenius, I., Rosén, A. and Kutteneuler, J., *Explicit FE-modeling of fluid-structure interaction in hull-water impacts*
5. Stenius, I, *Finite element modeling of hydroelasticity in hull-water impacts*, KTH (Sweden) Center for Naval Architecture, 2006
6. Stenius, I., Rosen, A. and Kutteneuler, J., *Hydroelastic interaction in panel-water impacts of high-speed craft*, Ocean Engineering, 2010
7. Qin, Z. and Batra, RC., (2008), *Local slamming impact of sandwich composite hulls*, International Journal of Solids and Structures.
8. Kevin J Maki, Donghee Lee, Armin W Troesch, Nickolas Vlahopoulos, *Hydroelastic impact of a*