



مرکز بررسی‌ها و مطالعات دریایی

سازمان بنادر و دریانوردی به عنوان تنها مرجع حاکمیتی کشور در امور بندری، دریایی و کشتی‌رانی بازرگانی به منظور ایفای نقش مرجعیت دانشی خود و در راستای تحقق راهبردهای کلان نقشه جامع علمی کشور مبنی بر "حمایت از توسعه شبکه‌های تحقیقاتی و تسهیل انتقال و انتشار دانش و سامان‌دهی علمی" از طریق "استانداردسازی و اصلاح فرایندهای تولید، ثبت، داوری و سنجش و ایجاد بانک‌های اطلاعاتی یکپارچه برای نشریات، اختراعات و اکتشافات پژوهشگران"، اقدام به ارایه این اثر در سایت SID می‌نماید.



سازمان بنادر و دریانوردی



## چکیده

در این مقاله، یک روش عددی به منظور مدل سازی جریان سه بعدی سیالات لزج و تراکم ناپذیر، همراه با تغییر شکل های پیچیده در سطح آزاد مثل شکست موج، در اندرکنش با انواع سازه های دریایی - ثابت یا متحرک، شناور یا مغروق - مانند موج شکن ها، سکوه های نیمه شناور، کشتی ها و بویه ها، بر اساس گسسته سازی حجم محدود پیشنهاد شده است. این روش از دو بخش اصلی شکل گرفته است. در بخش مدل سازی جریان دوفازی، برای حل میدان سرعت و فشار از روش گام جزئی<sup>۱</sup> و برای مدل سازی سطح آزاد از حل معادله انتقال نسبت حجمی<sup>۲</sup> استفاده گردیده است. در بخش مدل سازی حرکات سازه صلب تحت اثر نیروهای وارده از طرف جریان نیز، روش شبکه متصل به جسم (شبکه متحرک)<sup>۳</sup> با سلول های صلب بکار برده شده است. بدین ترتیب، امکان مدل سازی اندرکنش جریان دوفازی و سازه صلب شش درجه آزادی فراهم آمده است.

با توسعه یک برنامه بر اساس الگوریتم ارائه شده، مسائلی همچون تولید موج، ضربه اسلمینگ<sup>۴</sup> یک درجه آزادی گوه، جابجایی آب با ماهیت ضربه ای درون مخزنی با نوسان اجباری (اسلاشینگ<sup>۵</sup>) و همچنین، جابجایی آزاد بارج در آب - به عنوان نمونه هایی از گستره تحت پوشش نرم افزار تهیه شده - مدل سازی شده اند.

## مقدمه

در بررسی هیدرودینامیکی سازه های دریایی ثابت و متحرک، جریان اطراف جسم - متشکل از آب و هوا - ماهیت گذرای دو فازی غیر قابل تراکم داشته و امکان حل تحلیلی معادلات پیچیده حاکم بر آن وجود ندارد. اگرچه انجام آزمایش مطمئن ترین راه به منظور ارزیابی چنین جریان پیچیده ای می باشد، اما هزینه بالا و محدودیت در جزئیات اطلاعات حاصل از آن، مسیر تحقیقات را - همگام با پیشرفت در توان محاسبه و ذخیره اطلاعات - به سوی استفاده از دینامیک سیالات محاسباتی (حل عددی معادلات دیفرانسیلی حاکم بر جریان سیالات) پیش برده است. در این راه، استفاده از گسسته سازی حجم محدود با توجه به خاصیت بقائی و همچنین، برخورد مناسب با مرزهای پیچیده، در بررسی مسائل هیدرودینامیکی توسعه بیشتری یافته است. در ادامه این بخش، اجزاء یک الگوریتم مناسب به منظور مدل سازی هیدرودینامیکی سازه های دریایی ارائه گردیده است.

روش های مختلفی برای حل همزمان<sup>۶</sup> و غیر هم زمان<sup>۷</sup> معادلات ناویر - استوکس و پیوستگی (محاسبه توزیع سرعت و فشار) وجود دارد. روش های حل همزمان با هزینه بالای محاسباتی روبرو هستند. از این رو، حل غیر همزمان مذکور بیشتر مورد توجه قرار گرفته است. رویکردهای مختلفی در رابطه با حل غیر همزمان وجود دارد که می توان آنها را به سه دسته اصلی تخمین - اصلاح<sup>۸</sup>، تراکم پذیری مصنوعی<sup>۹</sup> و گام جزئی تقسیم نمود. در تحقیق حاضر از رویکرد گام جزئی استفاده شده است که با یک بار حل معادله فشار در هر گام زمانی، شرط پیوستگی را ارضاء نموده و بر این اساس انتخاب مناسبی برای مسائل گذرا محسوب می شود [۱].

روش های اصلی مدل سازی سطح آزاد عبارتند از: روش سطحی یا تعقیب سطح آزاد<sup>۱۰</sup> و روش حجمی یا تسخیر سطح آزاد<sup>۱۱</sup>. در تحقیق حاضر یک معادله انتقال برای محاسبه نسبت حجمی دو فاز سیال (برای مثال آب و هوا) در هر گام زمانی حل می شود. این کار امکان مدل سازی تغییر شکل های پیچیده در فصل مشترک دو فاز را فراهم آورده و از روش های حجمی محسوب می شود [۲].

<sup>1</sup> Fractional Step Method

<sup>2</sup> Volume Fraction Transport Equation

<sup>3</sup> Body-Attached/Moving Mesh

<sup>4</sup> Slamming

<sup>5</sup> Sloshing

<sup>6</sup> Simultaneous Solution

<sup>7</sup> Segregated Solution

<sup>8</sup> Predictor-Corrector

<sup>9</sup> Artificial Compressibility

<sup>10</sup> Surface Tracking/Surface Method

<sup>11</sup> Surface Capturing/Volume Method

با ترکیب حل میدان سرعت و فشار و مدل سازی سطح آزاد (دو زیر مسأله گذشته)، امکان بررسی انواع مسائل همراه با جریان های دوفازی پیچیده از جمله تولید، انتقال و شکست موج و همچنین، برخورد جریان دوفازی با سازه های ثابت فراهم می آید. اما، برای بررسی مسائل هیدرودینامیکی همراه با حرکت، نیاز به افزودن بخش مدل سازی حرکات سازه به حل گر جریان دوفازی وجود دارد. شش روش کلی در مدل سازی حرکات سازه وجود داشته و عبارتند از: شبکه متصل به جسم (شبکه متحرک)، شبکه شکل پذیر<sup>۱</sup>، شبکه با مرز لغزنده<sup>۲</sup>، بازتولید شبکه<sup>۳</sup>، شبکه های رو هم<sup>۴</sup> و شبکه کارتیزین<sup>۵</sup>. با توجه به قابلیت مدل سازی شش درجه آزادی حرکت، ماهیت بقائی و سادگی پیاده سازی، در تحقیق حاضر از روش شبکه متصل به جسم استفاده شده است.

در ادامه این مقاله، نخست اساس روش عددی مورد استفاده به اختصار ارائه گردیده است. در ادامه و با استفاده از برنامه توسعه یافته بر اساس الگوریتم عددی پیشنهادی، تولید موج آیری، سقوط آزاد گوه به درون آب، جابجایی آب درون مخزنی با نوسان اجباری و همچنین، جابجایی آزاد بارج در آب مدل سازی شده و بصورت کمی و کیفی مورد ارزیابی قرار گرفته است.

## الگوریتم عددی

### معادلات اساسی حاکم

در تحقیق حاضر، تمامی معادلات و بردارها در دستگاه مختصات کارتیزین اینرسی بیان می شوند. به منظور حل میدان جریان دوفازی سیالات لزج و غیر قابل تراکم، معادله انتقال نسبت حجمی دوفاز ( $\alpha$ ) علاوه بر معادلات ناویر-استوکس و پیوستگی، برای یک حجم کنترل (سلول) متحرک صلب با سرعت مشخص - که با توجه به سرعت های خطی و زاویه ای سازه و موقعیت سلول مورد نظر محاسبه می شوند - حل می شود. این معادلات عبارتند از:

$$\int_V \bar{\nabla} \cdot \bar{u}_{Rel} dV = 0 \quad (۱)$$

$$\frac{d}{dt} \int_V u_k dV + \int_V \bar{\nabla} \cdot (u_k \bar{u}_{Rel}) dV = \int_V \bar{\nabla} \cdot (v \bar{\nabla} u) dV - \frac{1}{\rho} \int_V \frac{\partial P}{\partial x_k} dV + \int_V g_k dV \quad (۲)$$

$$\int_V \frac{\partial \alpha}{\partial t} dV + \int_V \bar{\nabla} \cdot (\alpha \bar{u}_{Rel}) dV = 0 \quad (۳)$$

در این رابطه،  $V$  حجم سلول و  $\bar{u}_{Rel} = \bar{u} - \bar{u}_c$  سرعت سیال ( $\bar{u}$ ) نسبت به سرعت سلول ( $\bar{u}_c$ ) بوده و بیانگر اثر استفاده از شبکه متحرک در دامنه محاسباتی می باشد. بعلاوه،  $x_k$  مؤلفه مکانی  $k$  ام بوده و  $u_k$  مؤلفه سرعت و  $g_k$  مؤلفه شتاب جاذبه در راستای  $k$  ام می باشد. توزیع سرعت و فشار اطراف سازه - که نتیجه حل جریان دوفازی است - باعث جابجایی آن در صورت وجود درجات آزادی حرکت - و حداکثر تا شش درجه آزادی با توجه به صلب بودن سازه - می شوند. محاسبه این حرکات با حل معادلات اندازه حرکت خطی و زاویه ای بشکل زیر امکان پذیر است:

$$\sum \bar{F} = m \bar{a} \quad (۴)$$

$$\sum \bar{M}_G = I_G \bar{\alpha} + \bar{\omega} \times I_G \bar{\omega} \quad (۵)$$

در این روابط،  $\bar{F} = \bar{F}_{flow} + \bar{F}_{weight} + \bar{F}_{external}$  بردار برآیند نیروهای وارد بر سازه،  $m$  جرم سازه،  $\bar{a}$  بردار شتاب خطی،  $\bar{M}_G = \bar{M}_{G-flow} + \bar{M}_{G-external}$  بردار برآیند گشتاور حول مرکز جرم سازه،  $I_G$  تانسور گشتاور اینرسی،  $\bar{\alpha}$  بردار شتاب زاویه ای و  $\bar{\omega}$  بردار سرعت زاویه ای هستند.

### گسسته سازی حجم محدود معادلات حاکم

گسسته سازی معادلات (تبدیل معادلات دیفرانسیل جزئی به معادلات جبری) شامل دو بخش گسسته سازی زمانی و گسسته سازی مکانی - با توجه به انتگرال گیری از معادلات دیفرانسیلی حاکم بر روی یک بازه زمانی و همچنین یک حجم کنترل - می باشد. در گسسته سازی زمانی جملات جابجایی<sup>۶</sup> و پخش<sup>۷</sup> از طرح کرنک - نیکلسون<sup>۱</sup> استفاده شده است. در گسسته سازی زمانی جمله غیر دائم نیز از طرح ضمنی اولر<sup>۲</sup>

1 Deformable Mesh

2 Sliding Mesh

3 Re-mesh

4 Overlapping/Overset/Chimera Mesh

5 Cartesian Mesh

6 Convection

7 Diffusion

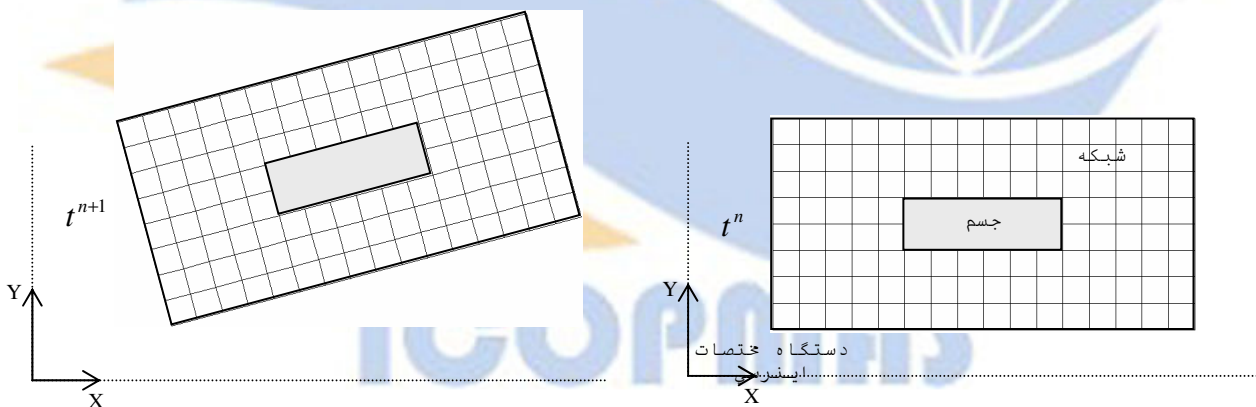
استفاده گردیده است. در رابطه با گسسته سازی مکانی جملات جابجایی و پخش نیز به ترتیب از طرح های گاما<sup>۳</sup> و اور-ریلکسد<sup>۴</sup> استفاده گردیده است [۳]. هنگامی که دو فاز سیال با اختلاف جرم حجمی زیاد - مثل آب و هوا - در دامنه محاسباتی وجود داشته باشند، گسسته سازی انتگرال فشار از اهمیت بالایی برخوردار بوده و تحقیق حاضر از میانبایی جدید خط شکسته در این زمینه استفاده نموده است. همچنین، در گسسته سازی مکانی جمله جابجایی معادله انتقال نسبت حجمی نیز باید دقت نمود. استفاده از میانبایی های معمول در این رابطه منجر به بروز جوابهای غیر فیزیکی شده و به منظور جلوگیری از این مسأله و با توجه به تحقیقات انجام شده توسط نویسندگان [۲] در تحقیق حاضر از میانبایی کیکسم<sup>۵</sup> استفاده گردیده است. همچنین، در گسسته سازی زمانی این جمله طرح کرنک - نیکلسون بکار برده شده است جزئیات بیشتر در رابطه با موارد یاد شده در مرجع [۴] ارائه شده است.

### الگوریتم حل میدان سرعت و فشار

در تحقیق حاضر از رویکرد گام جزئی کیم<sup>۶</sup> با اعمال برخی تغییرات به منظور حل میدان سرعت و فشار استفاده شده است. بر این اساس، در ابتدا سرعت های میانی بدست آمده و در ادامه و با حل معادله فشار، سرعت های فیزیکی که شرط پیوستگی را ارضاء می نمایند - بدون انجام تکرار خارجی - محاسبه می شوند. در تحقیق حاضر از چیدمان هم مکان<sup>۷</sup> - که در آن تمامی متغیرهای اصلی جریان در مرکز سلول محاسبه و نگهداری می شوند - استفاده شده است. بر این اساس، تقریب سرعت روی سطوح - که در محاسبه شار جابجایی ظاهر می شوند - نیازمند توجه خاصی است. جزئیات بیشتر در رابطه با موارد یاد شده در مرجع [۵] ارائه شده است.

### روش مدل سازی حرکات سازه

در صورت وجود درجات آزادی حرکت، پس از حل عددی معادلات اساسی حاکم بر جریان حول سازه و محاسبه حرکات آن در یک گام زمانی، نوبت به اعمال اثر جابجایی های خطی و زاویه ای سازه بر میدان حل و آماده سازی آن برای گام زمانی بعد می رسد. در تحقیق حاضر از روش شبکه محاسباتی متصل به جسم همراه با سلول های صلب بمنظور مدل سازی حرکات استفاده شده است. به بیان دیگر، پس از محاسبه حرکات سازه، جابجایی های بدست آمده بر روی سازه اعمال شده و با توجه به صلب بودن سلول های شبکه محاسباتی مورد استفاده، این شبکه نیز منطبق با حرکات بدست آمده جابجا شده و آنها را دنبال می نماید. بدین ترتیب، دامنه حل برای مدل سازی جریان دو فازی در گام زمانی جدید، بروز می شود. اثر حرکت شبکه محاسباتی در جمله جابجایی معادلات انتقال حاکم ظاهر می شود. این روش مدل سازی حرکات سازه، در شکل ۱ و با نمایش دامنه محاسباتی در دو گام زمانی متوالی مشاهده می شود. جزئیات بیشتر در این رابطه در مرجع [۶] موجود است.



شکل ۱- شماتیک روش شبکه متصل به جسم (شبکه متحرک) در مدل سازی حرکات سازه صلب، جسم و دامنه محاسباتی در دو گام زمانی متوالی  $t^n$  و  $t^{n+1}$  نشان داده شده اند

### نتایج عددی

<sup>1</sup> Crank-Nicholson

<sup>2</sup> Euler Implicit

<sup>3</sup> Gamma

<sup>4</sup> Over-relaxed

<sup>5</sup> CICSAM- Compressive Interface Capturing Scheme for Arbitrary Meshes

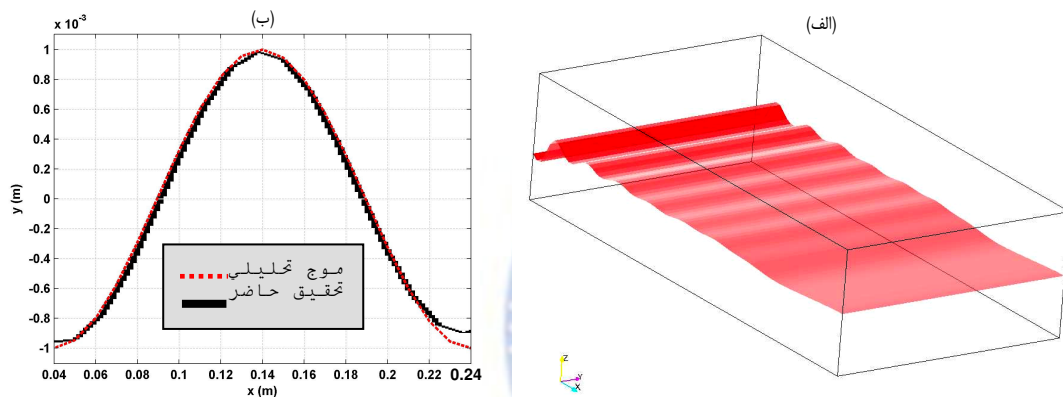
<sup>6</sup> Kim

<sup>7</sup> Colocated Arrangement

با توجه به الگوریتم عددی که در این مقاله به اختصار ارائه گردید، برنامه ای در حال توسعه می باشد که امکان حل گستره وسیعی از مسائل مرتبط با هیدرودینامیک سازه های دریایی ثابت و متحرک را فراهم می آورد. نتایج عددی، با هدف نمایش برخی از توانمندی های مورد اشاره ارائه گردیده است.

### تولید، حفظ و انتقال موج

موج آیری<sup>۱</sup> یک موج تحلیلی بوده و مؤلفه های سرعت آن در دست می باشند. بر این اساس، موج آیری با دامنه  $0.001$  و طول موج  $0.2$  متر با اعمال شرط مرزی ورودی سرعت معلوم در دامنه محاسباتی تولید شده است. در سایر مرزها، شرط مرزی گرادیان عمود بر سطح صفر برای سرعت بکار برده شده است. بعلاوه، گرادیان عمود بر سطح صفر برای فشار در تمامی سطوح اعمال گردیده است. نکته مهم استفاده از ناحیه میرایی<sup>۲</sup>، از نیمه دامنه محاسباتی تا خروجی می باشد. انجام این کار به منظور جلوگیری از بازگشت امواج از مرزها ضروری است [۷]. موج تولید شده در شکل ۲-الف نشان داده شده و در شکل ۲-ب نیز، موج حاصل از مدلسازی عددی با موج تحلیلی مقایسه گردیده است.



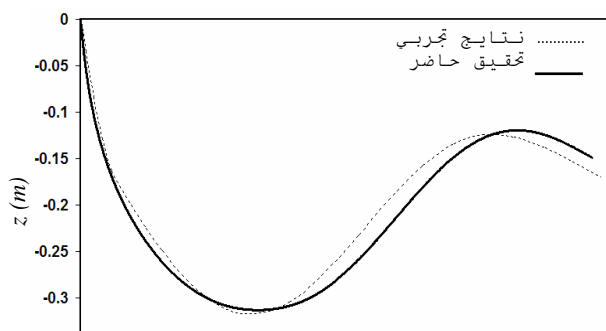
شکل ۲- تولید، حفظ و انتقال موج،

(الف): موج تولید شده در دامنه محاسباتی که از نیمه آن ناحیه میرایی تعریف شده است،

(ب): مقایسه موج مدل سازی شده و موج تحلیلی آیری

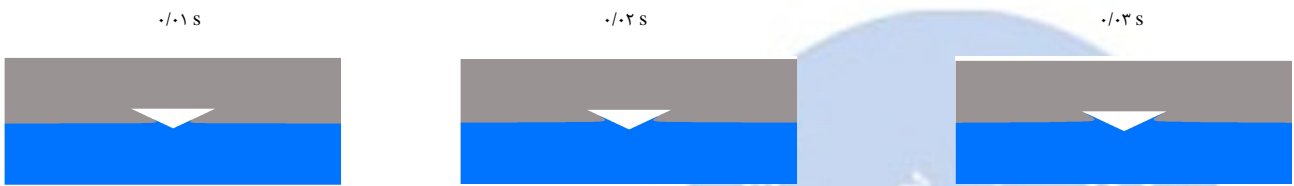
### سقوط آزاد گوه به درون آب (اسلمینگ)

در این مسأله، گوه دویعدی به وزن  $94$  کیلوگرم در حالت متقارن با سطح آزاد آب آرام برخورد می نماید. گوه متساوی الساقین دارای قاعده  $1/2$  متر و زاویه ساق  $25$  درجه بوده و در راستای جابجایی قائم آزاد می باشد. گوه پس از رها شدن از ارتفاع  $1/3$  متر بالای سطح آب، تحت اثر شتاب ثقل با سرعت تقریبی  $5$  متر بر ثانیه رسیده و با سطح آرام آب برخورد و بواسطه بار ضربه ای وارده، در زمان کوتاهی سرعت گوه کاهش می یابد. پس از یافتن شبکه محاسباتی مناسب - با بررسی استقلال نتایج از شبکه محاسباتی<sup>۳</sup> - این مسأله با استفاده از شبکه شامل  $18000$  سلول محاسباتی و گام زمانی  $0.002$  ثانیه مدل سازی شده است. روند جابجایی قائم گوه پس از برخورد، با نتایج آزمایشگاهی موجود [۸] در نمودار شکل ۳ مقایسه گردیده است. تغییر شکل سطح آزاد اطراف گوه در چند گام زمانی متوالی در شکل ۴ مشاهده می شود.



- 1 Airy
- 2 Damping Zone
- 3 Mesh Independency

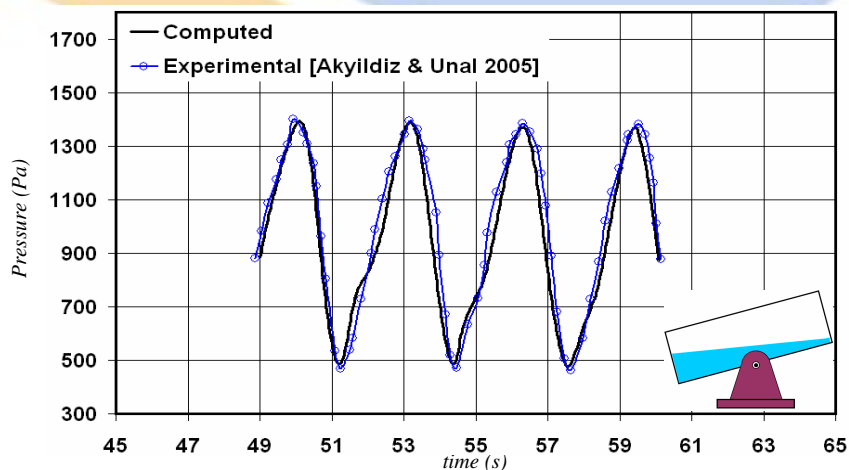
شکل ۳- مقایسه نتایج عددی و تجربی [۸] پاسخ زمانی جابجایی قائم گوه پس از برخورد متقارن با سطح آزاد آب



شکل ۴- تغییر شکل سطح آزاد پس از برخورد متقارن گوه با سطح آزاد آب

#### جابجایی آب درون مخزن (اسلاشینگ)

در این قسمت، جابجایی آب درون یک مخزن مستطیلی که حول نقطه وسط کف خود نوسان می نماید، مورد بررسی قرار گرفته است. این مخزن که دارای عرض ۰/۹۲ متر بوده و ارتفاع اولیه آب آرام در آن ۰/۱۵۴۵ متر است، تحت تأثیر تحریک سینوسی با دامنه ۴ درجه و فرکانس ۲ رادیان بر ثانیه، از زاویه صفر درجه نسبت به افق شروع به نوسان می نماید. شبکه محاسباتی یکنواخت مورد استفاده شامل ۱۰۰۰۰ سلول محاسباتی بوده و گام زمان ۰/۰۰۰۱ ثانیه است. از شرایط مرزی عدم لغزش و گرادیان قائم صفر به ترتیب برای سرعت و فشار در تمامی مرزها استفاده شده است. مقدار فشار بر روی دیواره چپ مخزن در فاصله ۰/۰۶ متر از کف محاسبه شده و با نتایج تجربی [۹] در نمودار شکل ۵ مقایسه گردیده است.



شکل ۵- تغییرات زمانی فشار روی دیواره سمت چپ مخزن در ارتفاع ۰/۰۶ متری از کف مخزن بر روی دیواره چپ

## Archive of SID

در این قسمت حرکت جابجایی آزاد قائم یک شناور بارج (شناور مکعب مستطیل شکل) با طول ۳ متر، عرض ۰/۷۵ متر و آبخور ۰/۲۵ متر مدلسازی شده و دوره تناوب حرکت آن با روابط تقریبی موجود مقایسه گردیده است. در این مسأله از شبکه محاسباتی شامل ۳۵۰۰۰ سلول استفاده شده و گام زمانی برابر ۰/۰۰۱ ثانیه بوده است. نمای شبکه محاسباتی از بالا بصورت دایره ای به مرکز بارج بوده و نما از پهلوئی آن نیز در شکل ۶ مشاهده می شود.

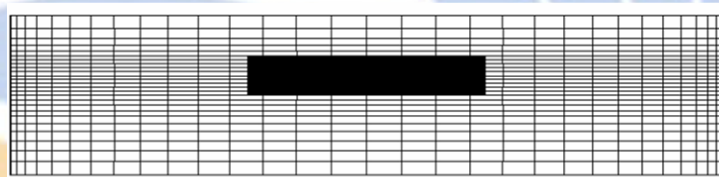
شرط مرزی عدم لغزش بر روی بدنه شناور و شرط مرزی گرادیان قائم صفر برای تمامی مؤلفه های سرعت در باقی مرزها در نظر گرفته شده است. همچنین گرادیان قائم فشار صفر در تمامی مرزها، اعمال گردیده است. بعلاوه، بمنظور جلوگیری از بازتابش امواج از مرزهای اطراف به داخل دامنه محاسباتی، نیاز است تا مقادیر سرعت در این نواحی تضعیف شوند. بدین خاطر از نواحی میرایی در اطراف شناور استفاده گردیده است.

با تحریک سرعت اولیه قائم، شناور بارج در راستای محور قائم جابجا شده و با دوره تناوب طبیعی خود نوسان آزاد خواهد نمود. این مسأله باعث تغییر شکل سطح آزاد اطراف شناور نیز می شود. خطوط هم ارتفاع روی سطح آزاد در اطراف شناور در طول اولین نوسان قائم بارج در شکل ۷ نمایش داده شده است.

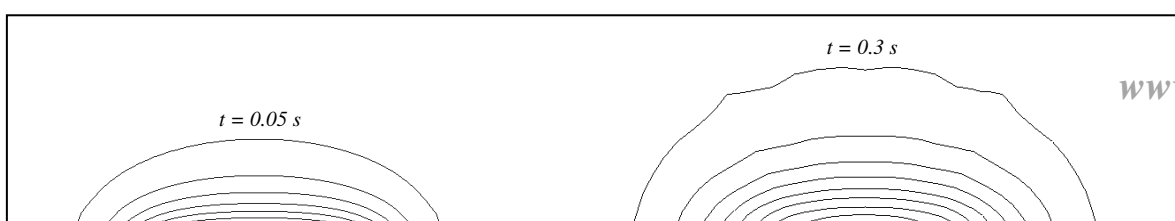
شناور بارج با توجه به تحریک اولیه نوسان آزاد نموده و در نهایت روی مقدار آبخور هیدرواستاتیکی ۰/۲۵ متر می ایستد. نمودار شکل ۸ نوسان قائم شناور را حول مرکز جرم آن نشان می دهد. بدین ترتیب و با گذشت زمان سرعت و شتاب قائم حرکت نیز صفر خواهد شد. شکل ۹ بیانگر نوسان آزاد سرعت قائم شناور حول نقطه صفر می باشد.

تغییر شکل سطح آزاد در دو زمان ۲/۵ و ۳/۲۵ ثانیه که نقاط کمینه و بیشنه جابجایی قائم در یک نوسان آزاد بارج بر اساس نمودار شکل ۸ هستند، در شکل ۱۰ نشان داده شده است. همانطور که در این شکل می توان مشاهده نمود، پروفیل خطوط هم ارتفاع تقریباً مشابه بوده و تنها جای قله و قعر روی سطح آزاد آب جابجا شده است.

به کمک رابطه  $Period = 2.84 \sqrt{T}$  [۱۰] و با توجه به آبخور شناور بارج، دوره تناوب ۱/۴۲ ثانیه برای جابجایی آزاد قائم بدست می آید. مقدار بدست آمده از مدل سازی عددی با توجه به نوسان آزاد جابجایی قائم شناور بارج در شکل ۸، برابر ۱/۴۵ ثانیه بوده و بدین ترتیب نوسان بدست آمده با خطای ۲/۱ درصدی همراه است.

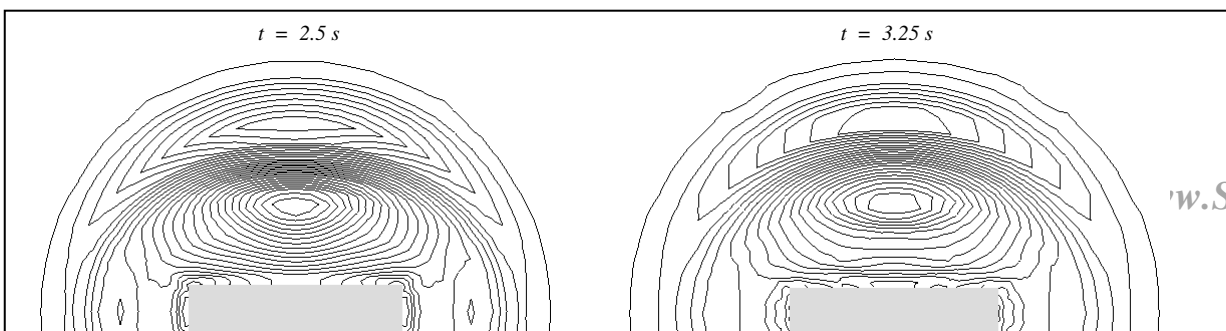
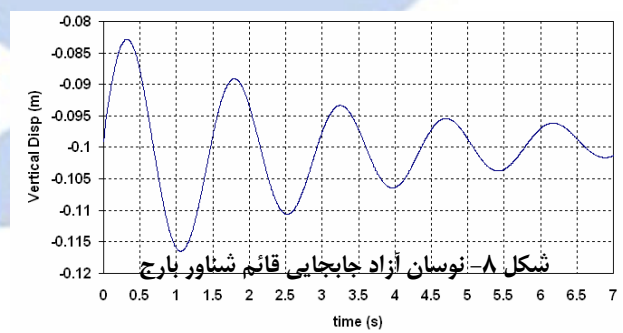
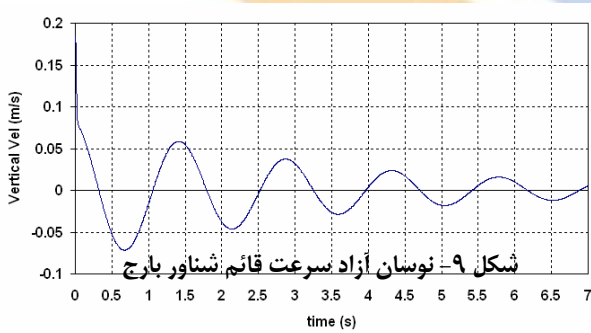


شکل ۶ - شبکه محاسباتی شناور بارج، نما از پهلو





شکل ۷- خطوط هم ارتفاع روی سطح آزاد اطراف شناور بارج در اولین نوسان آزاد قائم





شکل ۱۰- خطوط هم ارتفاع روی سطح آزاد اطراف شناور بارج در دو زمان ۲/۵ و ۳/۲۵ ثانیه

### نتیجه گیری

ارزیابی هیدرودینامیکی سازه های دریایی ثابت و متحرک، کاربرد بسیاری در طراحی آنها داشته و پیشرفت توان رایانه ها، دینامیک سیالات محاسباتی را به عنوان یک ابزار مناسب در این زمینه مطرح نموده است. در تحقیق حاضر الگوریتمی به منظور حل عددی اندرکنش جریان دوفازی سیالات غیرقابل تراکم و لزج با سازه صلب شش درجه آزادی معرفی گردیده است. پس از حل میدان سرعت و فشار در جریان دوفازی حول سازه و با انتگرال گیری از تنش های قائم و مماسی روی سطح آن، نیروها و گشتاورهای وارد بر سازه محاسبه می شوند. در ادامه و در صورت وجود درجات آزادی برای سازه، حرکات آن بدست می آیند. این حرکات با استفاده از یک شبکه محاسباتی متحرک - که حرکات سازه را در هر گام زمانی دنبال می نماید - مدل سازی مدل سازی می شود. نتایج عددی متنوع ارائه شده در این تحقیق، بیانگر وسعت کاربرد نرم افزار در حال تهیه و توسعه می باشد. بدین ترتیب، امکان بررسی رفتار هیدرودینامیکی در مراحل اولیه طراحی به گونه مناسبی فراهم آمده و یک آزمایشگاه دریایی مجازی شکل گرفته است.

### مراجع

- 1- Ferziger, J., Peric, M., 2002, Computational methods for fluid dynamics, 3<sup>rd</sup> Rev. Ed., Springer Verlag.
- 2- Panahi, R., Jahanbakhsh, E., Seif, M.S., 2005, Comparison of Interface Capturing Methods in Two Phase Flow, Iranian Journal of Science & Technology, Transaction B: Technology, 29(B6):539-548.
- 3- Jasak, H., 1996, Error analysis and estimation for finite volume method with application to fluid flows, PhD Thesis, University of London.
- 4- Jahanbakhsh, E., Panahi R. and Seif M.S., 2007, Numerical simulation of three-dimensional interfacial flows, Int. J. Num. Methods Heat & Fluid Flow, 17(4):384-404.
- 5- Jahanbakhsh, E., Panahi, R., Seif, M.S., 2005, Multi-dimensional free surface flow simulation using two-phase Navier-Stokes solver, 8<sup>th</sup> Numerical Towing Tank Symposium (NuTTs), Varna, Bulgaria.
- 6- Panahi, R., Jahanbakhsh, E., Seif, M.S., 2006, Development of a VoF fractional step solver for floating body motion simulation, Applied Ocean Research, 28(3):171-181.
- 7- Park, J.C., Miyata, H., 2001, Numerical simulation of fully-nonlinear wave motions around arctic and offshore structures, J. Society of Naval Architects Japan, 189: 13-19.
- 8- Yettou, E.M., Desrochers, A., Campoux, Y., 2006, Experimental Study on the water impact of a symmetrical wedge, J. of Fluid Dynamics Research.
- 9- Akyildiz, H., Unal, E., 2005, Experimental investigation of pressure distribution on a rectangular tank due to the liquid sloshing, Ocean Research, 32:1503-1516.
- 10- Rawson, K.J., Tupper, E.C., 1994, Basic ship theory, 4<sup>th</sup>, Vol.2, Longman Scientific & Technical.

## **Hydrodynamic Review of a Variety of Fixed and Mobile Offshore Structures by Developing a Software**

R. Panahi

M. Shafieefar

M. Saeed Saif

### **Abstract**

In this paper, a numerical method is suggested for modeling three dimensional currents of the viscous fluids with the complex deformation of the free surface (like wave breaking) which are in interaction with various structures in the Sea - fixed or movable, floating or Immersion (such as breakwaters, the semi-submersible platforms, ships and buoys). This numerical model is based on the finite volume discretization. This method is consisting of two main parts include modeling of two-phase currents and modeling of free surface. Fractional step method is used for modeling of two-phase currents and volume fraction transport equation is used for modeling of free surface. To modeling the movements of rigid structures which are under the impact of the force exerted by the flow, Body-Attached (Moving Mesh) method with rigid cells is used. This would allow the modeling of two-phase flow interaction and rigid structures of six degrees of freedom. With the development of an algorithm based on the proposed algorithm, issues such as waveform generation, degree of freedom, nature and impact of displacement of water in the reservoir with the forced oscillation and also the free movement of barges on the water were modeled.

**Keywords:** numerical method, modeling, viscous fluids, semi-submersible platforms, mobile network, ships and buoys, degrees of freedom