# مدلسازی عددی برخورد سیال لزج با صفحه الاستیک شناور در یک حوضجه محدود

محمدرضا عصاری' ، حسن بصیرت تبریزی' ، محسن حسنقلیزاده"\*

۱– استادیار، دانشگاه صنعتی جندی شایور دزفول ۲– استاد، دانشگاه صنعتی امیرکبیر ۳– مربی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد دزفول

### چكىدە

محاسبه تاثیر موج بر روی سازه عظیم شناور معمولاً بصورت تجربی یا عددی بدست میآید. محاسبه عددی معمولاً بـه دو صورت انجام می یذیرد. برخی با استفاده از معادله لایلاس، سیال پتانسیل را حل می کنند و برخی دیگر از معادله ناویراستوکس استفاده کرده و سیال لزج را تحلیل میکنند. در این مقاله، برخورد سیال لزج با صفحه الاستیک شناور مورد بررسی قرار گرفته است که معادلات ناویراستوکس بصورت کویله و همزمان با معادلات ورق الاستیک شناور حل مے شوند. در مدل سازی عددی تغییرات عمودی ورق الاستیک شناور از مدل تفاضل محدود و روش آپویند استفاده شده است. نتایج عددی بدست آمده با نتایج عددی بصیرت تبریزی و کوچکی مطلق برای جریان پتانسیل و با نتایج عددی اوکوسو و نامبا و نتایج تجربی کاشیواگی برای جريان لزج، مقايسه شده است. نتايج بدست آمده نشان مىدهند كه لزجت باعث افزايش شديد ميرا شدن نوسانات عمودى ورق الاستیک نسبت به جریان غیر لزج می باشد.

**کلمات کلیدی**: برخورد سیال با جسم جامد، صفحه الاستیک، مدل سازی عددی، سیال لزج، موج خطی

## NUMERICAL MODELING OF VISCOUS FLUID **INTERACTION WITH FLOATING ELASTIC PLATE**

## M.R. Assari<sup>1</sup>, H. Basirat Tabrizi<sup>2</sup>, M. Hassangholy Zadeh<sup>3</sup>

1- Assistant professor, Jondi Shapor University

2- Professor, Amirkabir University of Technology

3- Instructor, Islamic Azad University

### Abstract

The estimation of wave loads on very large flouting structure is usually done by an empirical or a computational approach. The computational approach usually assumes two types. Some use the Laplace equation or potential flow and some take the Navier-Stokes equation or viscous flow analysis. In this study, the interaction between wave and elastic plate is investigated by using viscous flow assumption. It is coupled with the elastic plate equation. Numerical solution is carried out with finite difference method in form of upwind scheme. The displacement of elastic plate is simulated numerically. Numerical results are compared with the numerical results of Basirat Tabrizi and Kouchaki Motlag for potential flow and with the numerical results of Ohkusu and Namba and experimental results of Kashiwagi for viscous flow. The results show that viscous flows have more damping effect on displacement of elastic plate than nonviscous flows.

Keywords: fluid-rigid body interaction, elastic plate, numerical modeling, viscous fluid, linear wave

\* نویسنده مسوول مقاله mohsen\_hz7@yahoo.com

نشریه مهنــدسـی دریـاـ

۱– مقدمه

در دهـههای اخیـر مطالعات زیادی پیرامون هیدروالاستیک سازههای دریایی انجام شده است. از مهمترین دستاوردها در این عرصه بر اساس تقدم زمانی برای محاسبه تغییر مکان ورق الاستیک می توان به تئوری خطی دو بعدی توسط Bishop and price ، تئوری خطی سه بعدی توسط Wu and price اشاره کرد [۱، ۲]. پس از آنها .Xia et al، تئوری غیر خطی دو بعدی و Chen، تئوری غیر خطی سه بعدی را ارائه کردند [۳، ۴].

تحقیقات و طراحی های زیادی روی سازه های شناور خیلی بزرگ بر اساس هیدروالاستیسیته پیوندی انجام شده است. در این رابطه می توان به Takuji، اساره کرد Hamamoto ،Kashiwagi و ۶، ۷ و ۸].

معمولاً برای بررسی سازه های عظیم شناور از مدل حصیری<sup>۱</sup> آنها را بصورت یک ورق نازک در نظر می گیرند. Ohkusu & Namba و همچنین Ertakin & از این روش استفاده کرده اند [۹، ۱۰]. برای سازه عظیم شناور مگا – فلوت<sup>۲</sup>در ژاپن، ۱۰۹ & Seto Seto & Ochi نیز چنین کاری را انجام داده اند [۱۱]. در راستای نیز چنین کاری را انجام داده اند [۱۱]. در راستای بهبود پیش بینی رفتار سازه های عظیم شناور، Takagi & Takagi & Kohara باعت ارتقاء روش ری<sup>7</sup> در رسیدن به جواب شده است [۱۲، ۱۳، ۱۴].

در بررسی مسائل هیدروالاستیک روشهایی چون روش B-spiline Galerkin ، روش المان مرزی، تکنیک بسط مقادیر ویژه، تکنیک Wiener-Hopf، معادلات دیفرانیسیلی – انتگرالیی، روش Miener-Hopf و روشهای مختلف دیگری با فرض شیب کم سطح آزاد سیال و همچنین سطح صفحهٔ الاستیک، جریان را خطی در نظر گرفته و سازه عظیم شناور را مورد بررسی قرار داده اند [۶و ۸و ۱۵و ۱۶ و ۱۷ و ۱۸]. در برخورد موجهای با فرکانس بالا با ورق الاستیک شناور، روشهای دیگری برای بررسی تغییرات دینامیکی سازه های عظیم شناور همچون روشهای Hermans و او ۱۰ (۲۰ ، ۱۹].

در تحقیقات اخیر بدست آمده، & Belibassakis در تحقیقات اخیر بدست آمده، & Athanassoulis موج با سازه عظیم شناور را بر اساس تغییرات عمق آب و بصورت کوپله حل نمایند [۲۱]. همچنین با استفاده از روش Kashiwagi and ،B-spiline Galerkin سازه عظیم از روش Ohkusu B-spiline Galerkin میازه عظیم شناور را بدست آورند [۲۲]. همچنین سازه عظیم شناور را بدست آورند [۲۲]. معدواستاتیکی سازه عظیم میرا کننده جریان، جریان پتانسیل را حل نمایند [۳۳]. مقادیر ویژه و تبدیل فوریه برخورد سیال با صفحه الاستیک شناور را در دو بعد مدل سازی کردند [۲۴]. در این تحقیق با توجه به اینکه در مورد اثر ویسکوزیته در برخورد با صفحه الاستیک شناور کمتر مورد توجه در بین بوده، این پارامتر مد نظر میباشد.

#### ۲- معادلات اساسی حاکم

با توجه به اینکه مدل سازی انجام شده برای سیال تراکم ناپذیر است لذا چگالی با زمان تغییر نکرده و معادله پیوستگی به شکل زیر میباشد:

$$divV = 0 \tag{1}$$

معادله ناویراستوکس برای سیال تراکم ناپذیر بصورت زیر خواهد بود.

$$\rho \frac{DV}{Dt} = \rho \vec{g} - \nabla P + \mu \nabla^2 V \tag{(7)}$$

برای محاسبه فشار درون سیال از معادله پواسون<sup>۲</sup>، کـه با دایورژانس<sup>۵</sup> از معادله ممنتوم بدست می آید، استفاده شد.

$$\nabla^2 P = -2\rho \left( \frac{\partial u}{\partial x} \frac{\partial v}{\partial y} - \frac{\partial u}{\partial y} \frac{\partial v}{\partial x} \right) \tag{(7)}$$

معادله حاکم بر سطح آزاد، رابطه بین سرعت و تغییر مکان عمودی موج سیال را مشخص کرده و به فرم زیر می باشد:

DOR: 20.1001.1.17357608.1389.6.11.2.1 ]

$$\begin{split} & \frac{u_{i,j}^{T+1} - u_{i,j}^{T}}{\Delta t} + convection \quad \approx source \\ & + (1 - f)g \begin{pmatrix} \frac{u_{i+1,j}^{T+1} - 2u_{i,j}^{T+1} + u_{i-1,j}^{T+1}}{\Delta x^{2}} \\ & + \frac{u_{i,j+1}^{T+1} - 2u_{i,j}^{T+1} + u_{i,j-1}^{T+1}}{\Delta y^{2}} \end{pmatrix} (\Lambda) \\ & + fg \begin{pmatrix} \frac{u_{i+1,j}^{T} - 2u_{i,j}^{T} + u_{i-1,j}^{T}}{\Delta x^{2}} \\ & + \frac{u_{i,j+1}^{T} - 2u_{i,j}^{T} + u_{i,j-1}^{T}}{\Delta y^{2}} \end{pmatrix} \end{split}$$

*نشریه مهندسی دریا* 

f در رابطه بالا عاملی برای کنترل حل زمانی معادله می باشد. برای محاسبه دو ترم جابجایی و چشمه از روابط زیر استفاده می شود:

برای محاسبه ترم جابجایی دو حالت وجود دارد. اگر مولفه سرعت جریان در راستای x، مثبت باشد آنگاه:

(9)  
$$u\frac{\partial u}{\partial x} = f \frac{u_{i,j}^{T} \left(u_{i+1,j}^{T} + u_{i,j}^{T}\right) - u_{i-1,j}^{T} \left(u_{i,j}^{T} + u_{i-1,j}^{T}\right)}{4\Delta x} + (1-f) \frac{u_{i,j}^{T+1} \left(u_{i+1,j}^{T+1} + u_{i,j}^{T+1}\right) - u_{i-1,j}^{T+1} \left(u_{i,j}^{T+1} + u_{i-1,j}^{T+1}\right)}{4\Delta x}$$
if  $u_{i,j}^{T} > 0$ 

اگر مولفه سرعت جریان در راستای x، منفی باشد آنگاه:

$$(1 \cdot )$$

$$u \frac{\partial u}{\partial x} = f \frac{u_{i+1,j}^{T} \left( u_{i+1,j}^{T} + u_{i,j}^{T} \right) - u_{i,j}^{T} \left( u_{i,j}^{T} + u_{i-1,j}^{T} \right)}{4\Delta x} + (1 - f) \frac{u_{i+1,j}^{T+1} \left( u_{i+1,j}^{T+1} + u_{i,j}^{T+1} \right) - u_{i,j}^{T+1} \left( u_{i,j}^{T+1} + u_{i-1,j}^{T+1} \right)}{4\Delta x}$$

$$if u_{i,j}^{T} < 0$$

برای محاسبه ترم چشمه که مربوط به فشار است از رابطه زیر استفاده می کنیم:

$$v = -\frac{\partial \eta}{\partial t} + u \frac{\partial \eta}{\partial x} \tag{(f)}$$

رابطه بالا یک معادله غیر خطی است. به منظور ساده سازی و خطی کردن معادله بالا از تاثیرات ناچیز ترم  $\frac{\partial \eta}{\partial x}$  صرفه نظر کرده و معادله سطح آزاد به این فرم در میآید.

$$v = -\frac{\partial \eta}{\partial t} \tag{(a)}$$

پس از بررسی معادلات حاکم بر سیال به بررسی معادلات حاکم بر صفحه الاستیک شناور پرداخته شده است. با توجه به اینکه E، مدول الاستیسیته ورق الاستیک، h، ضخامت ورق و  $\theta$ ، ضریب پواسون می باشند، D، ضریب سختی ورق به صورت زیر تعریف می شود:

$$D = \frac{Eh^3}{12(1-g^2)} \tag{(6)}$$

و با در نظر گرفتن  $m_s = \rho h$  بعنوان جرم واحد سطح، معادله دیفرانسیلی خیز ورق در حالت دینامیکی به شکل زیر در می آید:

$$D\nabla^4 W + m_s \frac{\partial^2 W}{\partial t^2} = P(x, y, t)$$
 (Y)

۳ - مدل سازی عددی
 ۱بتدا به مدل سازی عددی معادلات حاکم بر جریان
 سیال می پردازیم. برای این کار از مدل بکار رفته
 توسط وایت<sup>2</sup> که بر اساس روش تفاضل محدود
 می باشد استفاده گردید [۲۵].
 جریان مورد نظر لایه ای در نظر گرفته شده است لذا
 برای مدل سازی عددی سرعت در راستای x با استفاده
 از رابطه (۲)، رابطه زیر بدست می آید:

سال ششم/ شماره ۱۱/ بهار و تابستان ۸۹

(11)

$$\frac{\partial p}{\partial x} = (1 - f) \frac{p_{i+1,j}^{T+1} - p_{i-1,j}^{T+1}}{2\Delta x} + f \frac{p_{i+1,j}^{T} - p_{i-1,j}^{T}}{2\Delta x}$$

مدل سازی عددی سرعت در راستای y همانند مدل سازی عددی سرعت در راستای x است. تنها تفاوت آن در این است که در ترم چشمه یک جزء (g) اضافه می گردد که بخاطر نیروی جاذبه است. برای محاسبه فشار با استفاده از معادله پواسون<sup>1</sup>, مدل سازی عددی آن به شکل زیر است که:

(17)

$$\frac{p_{i+1,j} - 2p_{i,j} + p_{i-1,j}}{\Delta x^2} + \frac{p_{i,j+1} - 2p_{i,j} + p_{i,j-1}}{\Delta y^2} = -2\rho \left( \frac{\frac{u_{i+1,j} - u_{i-1,j}}{2\Delta x} \frac{v_{i,j+1} - v_{i,j-1}}{2\Delta y}}{2\Delta y} + \frac{\frac{v_{i+1,j} - v_{i-1,j}}{2\Delta x} \frac{u_{i,j+1} - u_{i,j-1}}{2\Delta y}}{2\Delta y} \right)$$

فرض بر آن است که ورق الاستیک شناور در یک حوضچه محدود مورد بررسی قرار می گیرد. لذا سرعت در کف و انتهای حوضچه برابر صفر می باشد. از آنجا که موج ورودی به حوضچه را در حالت آزمایشگاهی، یک مولد موج تولید می کند، اندازه سرعت ورودی سیال به درون حوضچه در هر لحظه از زمان و در هر موقعیتی از مکان، مشخص خواهد بود. در شکل ۱، نمای حوضچه نشان داده شده است.

با توجه به اینکه سرعت سیال در زیر ورق برابر صفر میباشد و در طول روند حل، ورق و سیال به هم متصل میباشند. لذا برای مدل سازی عددی معادله سطح آزاد سیال، از تغییرات سرعت در نقاط زیر محل تماس سیال با ورق الاستیک استفاده شده است. از این رو معادله (۵) به شکل زیر در میآید:

$$\eta_i^{T+1} = \eta_i^T + v_{i,j-1}^{T+1} \Delta t \tag{(17)}$$

پس از مدل سازی عددی معادلات حاکم بر سیال به بررسی ورق الاستیک شناور پرداخته شده است. مدل سازی عددی معادله دینامیکی خیز ورق با استفاده از روش تفاضل محدود به صورت زیر انجام گردید.

$$\frac{D}{h^4} \left[ (1-f) \left[ 6W_i - 4W_{i-1} - 4W_{i+1} + W_{i-2} + W_{i+2} \right]^{T+1} \right] \\ + f \left[ 6W_i - 4W_{i-1} - 4W_{i+1} + W_{i-2} + W_{i+2} \right]^T \right] \\ + \frac{m_s}{\Delta t^2} \left( W_i^{T+1} - 2W_i^T + W_i^{T-1} \right) = p_{i,N}^T$$

در رابطه (۱۴)، W، نمایانگر جابجایی عمودی ورق الاستیک می باشد و اندیس N، موقعیت نقاط ورق الاستیک را نسبت به کف حوضچه مشخص می کند. حال شرایط مرزی در دو سوی ورق الاستیک، که هر دو لبه آزاد در نظر گرفته شدهاند، مورد بررسی قرار می گیرد. برای لبه آزاد ورق، معادلات زیر حاکم می باشند.

$$\left. \left( \frac{\partial^2 W}{\partial x^2} + \mathcal{G} \frac{\partial^2 W}{\partial y^2} \right) \right|_{x=a} = 0 \tag{10}$$

(18)

$$\frac{\partial^3 W}{\partial x^3} + (2 - \vartheta) \frac{\partial^2 W}{\partial x \partial y} \bigg|_{x=a} = 0$$



برای حل معادله خیز ورق در شرایط دینامیکی بغیر از شرایط مرزی ذکر شده نیاز به دو شرط اولیه نیز میباشد. که این دو شرط در حل چنین ارضاء شدهاند. الف) فرض شده در لحظه صفر همه چیز آرام بوده و هیچ موجی وجود ندارد و سرعت جریان برابر صفر است. ب) برای مرحله زمانی بعد که 1 = T است،

فرض شده که در معادلات مقدار هر خاصیت برای زمان  
$$T$$
 و  $T+1$  با هم برابر  $v^T = v^T$  خواهند بود.  
از آنجایی که ورق و سیال از هم جدا نمی شوند پس

$$\eta = W \tag{1Y}$$

برای حل معادله (۱۴) و رسیدن به جواب، شرط پایداری را که در زیر آمده است، برای تمام نقاط مورد بررسی قرار گرفته است.

$$r = \frac{D\Delta t^2}{m_s \Delta x^4} \le \frac{1}{2} \tag{1A}$$

در روش تفاضل محـدود، فاصـله بـین نقـاط از اهمیـت زیادی برخوردار است. به همین جهت باید از شرط زیـر پیروی کند.

$$\frac{\Delta x}{\lambda} \le \frac{1}{50} \tag{19}$$

که در این رابطه ۵٫ عددی بین صفر تـا یـک مـیتوانـد باشد.

فرآیند رسیدن به جواب بدین صورت است که ابتدا معادلات سرعت بدست آمده از روابط ناویر استوکس حل گردیده و مولفه های سرعت بدست می آیند. از آنجا که تغییر عمودی ورق را می توان بوسیله مولف سرعت عمودی بدست آورد، با توجه به مولف سرعت عمودی بدست آمده، از رابطه (۱۳) تغییر مکان صفحه محاسبه شده و با قرار دادن این جوابها در معادله (۱۴) فشار بر روی ورق بدست می آید. با استفاده از معادله پواسون، معادله فشار حل گردیده و فشار نقاط درون سیال تصحیح می شود و با تصحیح فشار، دوباره معادلات ناویر استوکس را حل کرده و سرعت نیز دوباره تصحیح می گردد. این روند آنقدر تکرار می شود تا مسئله همگرا گردد.

### ۴– نتایج عددی

برای شبیه سازی، یک حوضچه با طول ۷ متـر و عمق ۱ متـر در نظـر گرفتـه شـده اسـت. سـیال درون

حوض چه، آب با چگالی  $kg/m^3$  است. عمق آب لزجت  $\rho = 1.000$   $kg/m^3$  است. عمق آب برابر  $N.s/m^2$  می باشد. موج بوجود آمده در ورودی حوضچه ناپایدار بوده و دارای خواص موج با عمق متوسط می باشد. دامنه اولیه موج m 7 و طول موج m ۸/۲ در نظر گرفته شده است. جنس ورق الاستیک شناور، پلی اتیلن بوده و دارای ابعادی به طول  $kg/m^3$  آن در می باشد. چگالی آن  $kg/m^3$  به الاستیسیته  $\rho = 916$ پلی اتیلن،  $\rho = 0$  ۵۵۰ MPa در نظر گرفته شده است.

پلی اییلی، ۲ ۱۹۱۱ مکتل کار لطر کرفته سنه است. حل برای شرایط مختلف مکانی و زمانی مورد محاسبه و در همه موارد شرط پایداری مورد نظر قرار گرفته است. نتایج بدست آمده بر اساس برنامه نوشته شده به زبان برنامه نویسی فرترن<sup>۷</sup> میباشد و برای حل تقسیمات زمانی بصورت  $\Delta t = 0.0001 \sec$  و تقسیمات مکانی زمانی بصورت  $\Delta t = 0.0001 \sec$  و تقسیمات مکانی بصورت M = 0.001 m در نظر گرفته شده است. تعداد تکرارها در هر مرحله حل، بیش از ۲۰۰ هزار تکرار بوده است. بر این اساس T برابر ۲۰۱۵ و  $\Lambda$ برابر (مار می گردند که شرایط پایداری را ارضا می کنند.

با توجه به نتایج عددی که در شکلهای ۲ تا ۴ نشان داده شده است جریان لزج حالت تناوبی به خود گرفته است. البته با توجه به اینکه در ورودی یک مولد موج است و همچنین در انتهای حوضچه که مسدود شده است تغيييرات صفحه الاستيك شناور اندكى متفاوت شده است که بر درستی حل دلالت دارد. در انتها به علت بسته بودن حوضچه جریان میرا می گردد و در ورودی به علت برخورد موج با صفحه ابتدای آن اندکی بالاتر مىرود. در جريان لزج تغييرات صفحه الاستيك خیلی سریع شروع به میرا شدن می گذارد ولی در جريان غير لزج تغييرات صفحه الاستيك ابتدا بصورت تناوبی بوده و در انتها به آرامی شروع به میرا شدن می گذارد که در مقایسه با تغییرات جریان لزج قابل مشاهده می باشد. شکل ۲ نشان می دهد که تغییرات، در ابتدای ورق در هر دو حالت چندان زیاد نمی باشد و ماکزیمم و مینیمم جابجایی عمودی در رابطه با سیال غير لزج اتفاق مى افتد. شكل ٣ به وضوح تفاوت لزجت را در ادامه ورق الاستیک شناور نشان میدهد. جابجایی

۱٩

DOR: 20.1001.1.17357608.1389.6.11.2.1 ]

این نمودار نتایج را بصورت بی بعد نشان می دهد که محور افقی آن نشان دهنده طول ورق بوده و بر اساس نصف طول ورق بی بعد شده است. محور عمودی این نمودار نیز تغییرات عمودی ورق الاستیک را نشان می دهد که بر اساس بزرگترین تغییر که همان تغییر نقطه ابتدایی می باشد، بی بعد شده است. نمودار Ohkusu & Namba بر اساس داده های تجربی که بدست آوردند، رسم شده است در حالیکه نمودار رسم شده توسط Kashiwagi از حل عددی بدست آمده است. نكته قابل توجه اين است كه نتايج & Ohkusu Namba و Kashiwagi بر اساس حوضچه با انتهای باز بدست آمده است يعنى انتهاى ورق داراى فاصله بینهایت با انتهای حوضچه می باشد. لذا تغییرات بدست آمده توسط Kashiwagi که عددی می باشد در انتهای ورق بسيار با نتايج تجربي Ohkusu & Namba متفاوت گردیده است. با این حال نتایج عددی بدست آمده توسط مدل سازی حاضر بسیار شبیه نتایج تجربی Ohkusu & Namba میباشد که خود گویای درستی نتایج عددی بدست آمده میباشد.

نشریه مه*نــدسـ*ی د*ریــا*ـ

ناشی از نوسانات جریان غیر لزج، بزرگتر از جابجایی ناشی از جریان لزج می باشد که خود گویای مقاومت جریان لزج در طول حرکت سیال به سمت انتهایی آن است. از نتایج بدست آمده چنین بر می آید که حل بدست آمده از حل معادلات ناویراستوکس همان روندی را دنبال می کند که حل بدست آمده برای جریان پتانسیل به آن رسیده است چرا که در شکل ۴، نتایج بدست آمده از بصیرت تبریزی و کوچکی مطلق که برای جریان پتانسیل بدست آمده با نتایج جریان غير لزج بدست آمده مورد مقايسه قرار گرفته است. نزدیکی این دو نمودار نشان دهنده درستی روند حل می باشد [۲۶]. لازم به ذکر است که نتایج بصیرت تبریزی و کوچکی مطلق برای جریان پایدار بدست آمده در حالیکه نتایج حاضر برای جریان ناپایدار بدست آمده است که نتایج آمده در شکل ۴، یکی از بازههای زمانی را نشان می دهد. شکل ۵، نتایج بدست آمده این مدل سازی را با نتایج بدست آمده توسط & Ohkusu Namba و Kashiwagi مورد مقایسه قرار گرفته است که بسیار شبیه به این نمودارها می باشد [۶، ۲۷].



شکل ۲- تغییر مکانهای نقاط ورودی در مقایسه جریان لزج و غیر لزج



نشریه مهنـدسـی دریـا

شکل ۳- تغییر مکانهای نقاط میانی در مقایسه جریان لزج و غیر لزج



شکل ۴- نمودار تغییر مکان ورق در جریان پتانسیل



شکل ۵- تغییرات ورق در اثر موج در ورودی

سال ششم/ شماره ۱۱/ بهار و تابستان ۸۹

لزجت بطور چشم گیری بر روی نتایج و همچنین حل معادلات، تاثیر به سزایی دارد. لزجت باعث کوچک شدن تغییرات ورق الاستیک در اثر برخورد موج شده و همچنین عامل میرا شدن تغییرات در ورق الاستیک می باشد.

#### 5-Divergence 6-White 7-Fortran

Е	مدول الاستيسيته، Pa
f	ضریب زمانی
h	ضخامت ورق، m
j	مولفه مکان y
Р	فشار، Pa
Т	بازه زمانی، sec
V	بردار سرعت، m/s
W	جابجایی ورق، m
у	مولفه مکان در راستای عمودی، m
μ	ضریب لزجت، <sup>N.s/m<sup>2</sup></sup>
ρ	چگالی، kg/m <sup>3</sup>

structures using quadratic BEFE hybrid. model. Hydroelasticity in Marine Technology, Japan, pp. 37-36.

6-Kashiwagi, M., (1998), A B-Spline Galerkin scheme for calculating the hydroelastic response of a very large floating structure in waves, Journal of Marine Science and Technology R (1), 37-49.

7-Hamamoto, T., Suzuki, A., Fujita, K.,(1997), Hybrid dynamic analysis of large tension leg floating structures using plate elements, 7th ISOPE, Vol.1, pp. 285-292.

8-Hermans, A.J., (1998), A boundary element method to describe the excitation of waves in a very large floating flexible platform, 2nd Intl. Conf. Hydroelasticity in Marine Technology, p. 69-76.

۵- نتیجه گیری

بر اساس نمودارها و نتایج حاصله، حل بدست آمده که از کویله کردن معادلات ناویر استوکس با معادلات ورق الاستیک شناور بدست آمده، برای پیشبینی تغييرات عمودى ورق الاستيك شناور قابل قبول می باشد.

## کلید واژگان

1-Pontoon type 2-Mega-Float 3-Ray method 4-Poisson equation

فهرست علائم

D	ضریب سختی ورق، N.m
g	شتاب گرانش، m/s <sup>2</sup>
i	مولفه مکان x
m <sub>s</sub>	جرم واحد سطح، kg/m² جرم واحد
t	زمان، sec
u	مولفه سرعت در راستای m/s ،x
v	مولفه سرعت در راستای m/s ،y
х	مولفه مکان در راستای افقی، m
η	جابجایی عمودی موج، m
9	ضريب پواسون

## ۸ - مراجع

1-Bishop, R.E.D., Price, W.G., (1979), Hydroelasticity of Ships, Cambridge University Press, UK.

2-Price, W.G., Wu, Y.S., (1985), Structural responses of a SWATH of multi-hulled vessel travelling in waves, Int. Conf. on SWATH Ships and Advanced Multi-hulled Vessels, RINA, London.

3-Xia J.Z., Wang Z.H., Jensen J.J., (1998), Non-linear wave loads and ship responses by a time-domain strip theory, Marine Structure 11 (3), 101–123.

4-Chen X.J., Juncher Jensen J., Cui W.C., Fu S.X., (2003), Hydroelasticity of a floating plate in multidirectional waves, Ocean Engineering 30, 1997–2017.

5-Takuji H., (1998), 3D hydroelastic analysis of module linked large floating

19-Hermans AJ., (2003), The ray method for the deflection of a floating flexible platform in short waves, J Fluid Struct 17, 593–602

20-Ohkusu, M., Namba,Y., (1996), Analysis of hydroelastic behaviour of a large floating platform of thin plate configuration in waves, International workshop on very large floating structures, VLFS'96, pp. 143–148

21-K.A. Belibassakis, G.A. Athanassoulis, (2006), A coupled-mode technique for weakly nonlinear wave interaction with large floating structures lying over variable bathymetry regions, Applied Ocean Research 28, 59–76.

22-Kashiwagi M., Ohkusu M., (2007), A Bspline Galerkin Scheme for Computing Hydroelastic Behavior of a Very Large Floating Structure, Proceedings of International Conference on Violent Flows, Organized by RIAM, Kyushu University, Fukuoka, Japan.

23-Dias F., Dyachenko A.I., Zakharov V.E., (2007), Theory of weakly damped freesurface flows: a new formulation based on potential flow solutions, Physics Letters A, 372, 1297-1302.

24-M.H. Meylan, I.V. Sturova, (2009), Time-dependent motion of a twodimensional floating elastic plate, Journal of Fluid and Structures 25,445-460

25-White, Frank M., (1991), Viscous Fluid Flow, 2<sup>nd</sup> ed., McGraw-Hill,Inc.

26-Basirat Tabrizi, H., Kouchaki Motlaq, M., (2004), A numerical modeling for the wave forcing of floating thin plate,12<sup>th</sup> Annual Computational Fluid Dynamics Conference Proceeding, pp. 40-44, Canada.

27-M.Ohkusu, Y.Namba, (2004), Hydroelastic analysis of a large floating structure, Journal of Fluids and Structures 19, 543– 555. 9-Ohkusu, M., Namba, Y., (1998), Hydroelastic behavior of floating artificial islands, JSNA, Japan, Vol 183, p.239– 248.

10-Ertekin, R.C., Kim, J.W., (1999), Hydroelastic response of floating mat-type structure in oblique, shallowwater waves, Journal of Ship Research 43 (4), 241–254

11-Seto, H., Ochi, M., (1998), A hybrid element approach to hydroelastic behavior of a very large floating structure in regular wave, 2nd Intl. Conf. Hydroelasticity in Marine Technology, Japan, pp. 185–193.

12-Takagi, K., Kohara, K., (2000), Application of the ray theory to hydroelastic behavior of VLFS, Proceedings of the 10th ISOPE, vol. 1, Seattle, USA, pp. 72–77

13-Takagi K., Nagayasu M., (2007), Ray theory for predicting hydroelastic behavior of a very large floatingstructure in waves, Ocean Engineering 34, 362–370.

14-Takagi K., (2002), Hydroelastic response of a very large floating structure in waves a simple representation by the parabolic approximation, Applied Ocean Research 24, 175–183.

15-Takagi K, Shimada K, Ikebuchi T., (2000), An anti-motion device for a very large floating structure, Mar Struct 13, 421–36.

16-Andrianov AI, Hermans AJ.,(2003), The influence of water depth on the hydroelastic response of a very large floating platform, Mar Struct 16, 355–71.

17-Tkacheva LA., (2001), Hydroelastic behaviour of a floating plate in waves, J Appl Mech Tech Phys 42(6), 991–6

18-Kim JW, Ertekin RC., (2002), Hydroelasticity of an infinitely long plate in oblique waves: linear Green Naghdi theory, J Eng Mar Environ; 216(M2), 179–97.