دانشگاه صنعتی امیرکبیر
(پلی تکنیک تهران)

دوره ۴۷، شماره ۲، زمستان ۱۳۹۴، صفحه ۶۱ تا ۷۰
Vol. 47, No. 2, Winter 2015, pp. 61-70

نشریه علمی پژوهشی امیرکبیر (مهندسی مکانیک)
AmirKabir Jounrnal of Science & Research
(Mechanical Engineering)
(ASJR-ME)

محاسبه تأثیر پارامتر جرم افزوده بر روی فرکانس سازه در سیال توسط حل عددی، تحلیلی و نتایج آزمایشگاهی

سید ساعد رضوانی[۱*]، حمید فاضلی[۲]، مهدی سعید کیاست[۳]، قاسم حاجی هاشمی[۴]

۱- دانشجوی دکتری، دانشکده مهندسی دریا، دانشگاه صنعتی امیرکبیر
۲- استادیار، دانشکده مکانیک، دانشگاه صنعتی مالک اشتر تهران
۳- استادیار، دانشکده مهندسی دریا، دانشگاه صنعتی امیرکبیر
۴- کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی دریا، دانشگاه صنعتی مالک اشتر اصفهان

(دریافت: ۱۳۹۱/۱۱/۲۹ پذیرش: ۱۳۹۴/۲/۲۳)

چکیده

فرکانسهای فرکانسهای طبیعی یک سازه در آب کمتر از فرکانسهای طبیعی آن در خلا می باشد و این به دلیل اثر جرم افزوده در آب می‌باشد[۱]. در این مقاله با انجام بررسیهای تحلیلی ، ارتعاشات طبیعی ورق تقویت شده در آب بر اساس تئوری ورقهای ارتوتروپ استخراج خواهد شد و سپس یک ورق تقویت شده نمونه ساخته، تست و توسط نرم افزار ABAQUS تحلیل عددی خواهد شد. سیال مورد بررسی به صورت غیر قابل تراکم، غیر چرخشی و غیر لزج در نظر گرفته شده است.در نهایت نتایج حاصل ازحل تئوری بدست آمده ، تست و تحلیل عددی، با هم مقایسه و درصد خطا در روشهای عددی و تحلیلی بررسی می‌گردد و میزان اثر جرم افزوده بر روی فرکانس سازه در آب بدست می آید. و در نهایت این موضوع مشخص می گردد که فرمول تحلیلی بدست آمده با توجه به فرضیات در نظر گرفته شده برای سیال، جواب قابل قبولی می دهد.

کلمات کلیدی:

صفحه ارتوتروپیک، تئوری ریلی، ABAQUS ، جرم افزوده، فرکانس طبیعی

* نویسنده مسئول و عهده دار مکاتبات: Email: s_rezvani@aut.ac.ir

۱- مقدمه

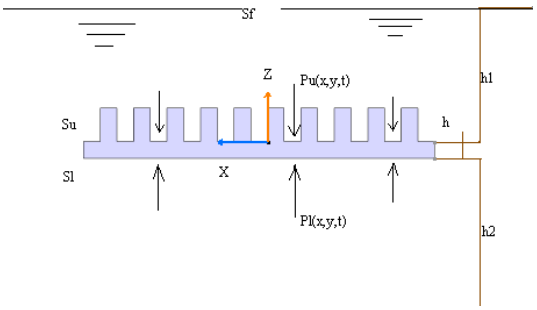
در علم مهندسی بسیاری از اجزاء ماشینها و سازه ها تحت یک بار دینامیکی می باشند. بار دینامیکی ممکن است توسط حرکت وسیله، نا متعادل بودن وسیله، اعمال فشار آکوستیکی در آب و... بوجود آید که این بارهای دینامیکی باعث ارتعاش سازه می شوند. ورقهای ارتوتروپ متشکل از ماده ناهمسانگرد به علت سختی خمشی بسیار زیاد کاربردهای مهمی دارند. یک ماده غیر همسانگرد خواصی وابسته به جهت از خود بروز می دهد.

ساده ترین آنها موادی هستند که خواصشان در دو جهت عمود بر هم متفاوت می باشند. چنین ماده ای ارتوتروپ نامیده می شود(مانند چوب). برخی مواد مرکب ساخته شده با درجه ای از تقریب ارتوتروپ محسوب می گردند، مانند ورق فلزی لوله شده و چین دار مواج، فیلرها در ساخت ورق ساندویچی، تخته چند لا، مواد مرکب مسلح شده الیافی، بتن مسلح و سازه مشبک. آخری متشکل از دو مجموعه تیرهای موازی است که به فاصله مساوی از هم قرار دارند و دو به دو بر هم عمودند و به صورت صلب در نقاط تقاطع متصل شده اند.[۱]

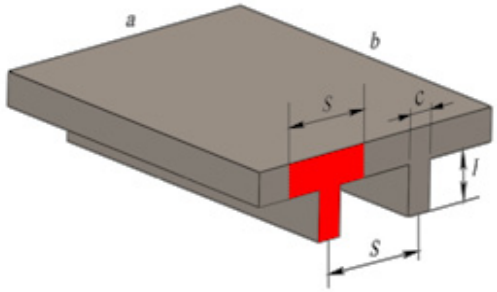
از آنجا که صفحات ارتوتروپ و تقویت شده در ساخت سازه های دریایی کاربرد فراوان دارند و می توان به وفور آنها را در ساخت بدنه و دیگر قسمتهای این سازه ها به دلیل مقاومت بالا و وزن کمتر یافت بررسی آنها مورد اهمیت می باشد و از آنجا که ارتعاشات یکی از عوامل مهم و مؤثر در طراحی های مهندسی می باشد لذا آنالیز ارتعاشی این صفحات در معرض سیال مورد توجه می باشد. محاسبه فرکانس طبیعی سازه ها از آن جهت می باشد، در صورتی که فرکانس سازه به فرکانس طبیعی آن نزدیک شود سازه دچار تشدید می شود و باعث نابودی سازه می شود که اهمیت بدست آوردن فرکانس طبیعی از اینجا مشخص می شود. فرکانس طبیعی سازه در هوا نسب به فرکانس آن در آب بیشتر می باشد زیرا در آب فاکتور جرم افزوده به جرم سازه افزوده می شود لذا باعث کاهش فرکانس سازه می شود. نمونه ای از صفحات مغروق در سیال را می توانیم در بالکهای زیر در یایی مشاهده کنیم. روبینسون و پالمر[۲]، تحلیل مودال یک ورق مستطیلی معلق بر سیال را انجام داده اند، آنها پاسخ را برای یک بار نقطه ای هارمونیک بدست آورده اند، ولی تحلیل آنها برای تعداد محدودی فرکانس های اولیه قابل استناد است. کواک[۳]، ارتعاشات آزاد ورق مستطیلی معلق بر سیال نامحدود را مورد بررسی قرار داد. اساس تحلیل یاد شده بر مبنای روش ریلی- ریتز و تابع گرین است. هاددارا و کاو [۴]، یک بسط تقریبی برای تحلیل مودال ورق مستطیلی یک سمت گیردار، که به طور افقی داخل سیال غوطه وراست را به صورت تجربی و تحلیلی بدست آوردند. همچنین آنها اثرات شرایط مرزی و عمق غوطه وری را مورد مطالعه قرار دادند.. ژاو و چانگ[۵]، ارتعاشات ورق مستطیلی که در یک سمت با سیال در تماس است را با بکارگیری روش ریلی- ریتز مورد بررسی قرار دادند که ورق داخل یک مخزن نیمه بی نهایت صلب قرار دارد. لیانگ و همکاران[۶]، یک روش ساده جهت بدست آوردن فرکانس طبیعی و شکل مود ورق غوطه ورق یک سمت گیردار بر مبنای فرمولهای روش تجربی پیشنهاد کردند. یادیکین و همکاران [۷]، یک ورق مستطیلی غوطه ور در سیال با نسبت اضلاع مختلف را مورد تحلیل قرار دادند. ورق مورد تحلیل به صورت یک طرف گیردار و سمتهای دیگر آزاد بود. جیانگ و همکاران [۸]، یک روش تحلیلی جهت برآورد فرکانسهای دو ورق مشخص کوپله با سیال محدود، ارائه کردند. آنها برای تحلیل از توابع پذیرفتنی چند جمله ای استفاده کرده و با بسط پتانسیل سرعت سیال، شرایط مرزی سیال را با بسط سری فوریه محدود ارضأ نمودند. ارگین و گارلو [۹]، ورقهای یک سمت گیردار غوطه ور در سیال را مورد بررسی قرار دادند و اثر طول به عرض را مطالعه کردند. ژاو و لیو [۱۰]، یک روش تئوری سه بعدی جهت تحلیل دینامیکی یک مخزن مستطیلی انعطاف پذیر که مقطعی از سیال پر شده است را با استفاده از ترکیب روشهای ریلی – ریتز و گلرکین ارائه کردند. در این مقاله با بررسیهای انجام شده، حل تئوری برای فرکانس طبیعی ورق تقویت شده در آب بدست می آید و با نتایج حل عددی و تست مقایسه می شود.

۲- حل تحلیلی

یک صفحه تقویت شده که از دو طرف در معرض سیال ساکن می باشد در نشان داده شده است.حرکات سیال به دلیل ارتعاش سیال تولید فشار دینامیکی pu و pl روی سطوح بالا و پایین صفحه که به ترتیب با su و sl نشان داده می شود، می کند. مشخصات ابعادی صفحه در شکل ۱ نشان داده شده است.



شکل ۱: ورق تقویت شده مغروق در آب



شکل ۲: مشخصات ابعادی صفحه تقویت شده

جدول ۱: مشخصات ابعادی و جنس صفحه تقویت شده

s (m)	a (m)	b (m)	c (m)	h (m)	l (m)	E (GPa)	G (GPa)
۰/۰۵	۰/۳	۰/۳	۰/۰۰۴	۰/۰۰۴	۰/۰۲	۲۰۸	۷۰

$$d = JG = 0.246c^3 hG \quad (۱)$$

d مدول پیچشی تقویتها می باشد.

رابطه حاکمه برای خیز ورقهای تقویت شده در سیال به صورت زیر می باشد[۱۱]:

$$D_x \frac{\partial^4 W(x,y,t)}{\partial x^4} + 2H \frac{\partial^4 W(x,y,t)}{\partial x^2 \partial y^2} + D_y \frac{\partial^4 W(x,y,t)}{\partial y^4} + \rho \frac{\partial^2 W}{\partial T^2} = P_L(x,y,t) - P_U(x,y,t) \quad (۲)$$

در اینجا $W(x,y,t)$ جابجایی صفحه می باشد که از حالت تعادل استاتیکی صفحه اندازه گیری می شود و ρ جرم حجمی سازه می باشد. فرض می شود سیال دارای چگالی ρ_f ،همگن، غیر قابل تراکم، غیر لزج و غیر چرخشی باشد. از این رو معادله پتانسیل سرعت $\varphi(x,y,t)$ معادله لاپلاس را ارضا می کند.

$$\nabla^2 \phi(x,y,z,t) = 0 \quad (۳)$$

زمانی که حرکت سیال غیر چرخشی می باشد رابطه برنولی به صورت زیر بیان می شود: [۱۲]

$$\rho_f \frac{\partial \phi}{\partial t} + P + \frac{1}{2}\rho_f (\phi_x^2 + \phi_y^2 + \phi_z^2) + \rho_f g = 0 \quad (۴)$$

با صرف نظر از ترم $(\phi_x^2 + \phi_y^2 + \phi_z^2)$ برای موجهای با ارتفاع کم، رابطه (۴) با رابطه خطی زیر جایگزین می شود و روابط به صورت خطی حل می گردند.

$$\rho_f \frac{\partial \phi}{\partial t} + P + \rho_f g = 0 \quad (۵)$$

شرایط مرزی:[۱۲]

شرایط مرزی سطح آزاد به صورت زیر می باشد:

$$\frac{\partial \phi}{\partial z}\Big|_{z=0} - \frac{\omega^2}{g}\phi\Big|_{z=0} = 0 \quad (۶)$$

که روی سطح S_F اعمال می شود. در اینجا ω فرکانس چرخشی می باشد که توسط ارتعاش صفحه بوجود می آید. در کف تانک اجزائ عمودی سرعت صفر می باشند.

$$\frac{\partial \phi}{\partial z}\Big|_{z=-(h_1+h+h_2)} = 0 \quad (۷)$$

در تقابل صفحه- سیال در سطوح S_L و S_U شرایط مرزی به صورت زیر داده می شود:

$$\frac{\partial \phi}{\partial z}\Big|_{z=-(h_1+h)} = \frac{\partial \phi}{\partial z}\Big|_{z=-h_1} = \frac{\partial W}{\partial t} \quad (۸)$$

با استفاده از رابطه (۵) داریم:

در S_U:

$$\rho_f \frac{\partial \varphi}{\partial t}\Big|_{z=-h_1} + P_U - \rho_f g h_1 = 0 \quad (۹)$$

در S_L:

$$\rho_f \frac{\partial \phi}{\partial t}\Big|_{z=-(h_1+h)} + P_L - \rho_f g(h_1 + h) = 0 \quad (۱۰)$$

با جایگذاری روابط (۹) و (۱۰) در رابطه (۲) خواهیم داشت:

$$\rho \frac{\partial^2 W}{\partial T^2} + \rho_f \left[\frac{\partial \phi}{\partial t}\Big|_{z=-(h_1+h)} - \frac{\partial \phi}{\partial t}\Big|_{z=-h_1} \right] + D_x \frac{\partial^4 W(x,y,t)}{\partial x^4} + 2H \frac{\partial^4 W(x,y,t)}{\partial x^2 \partial y^2} + D_y \frac{\partial^4 W(x,y,t)}{\partial y^4} - \rho_f g h = 0 \quad (۱۱)$$

خیز صفحه مرتعش را به صورت زیر در نظر می‌گیریم:

$$W(x,y,t) = \overline{W}(x,y)T(t) \quad (۱۲)$$

همچنین می‌توانیم فرض کنیم که تابع پتانسیل سرعت به صورت زیر می‌باشد:

$$\phi(x,y,z,t) = G(x,y)F(z)S(t) \quad (۱۳)$$

در ادامه با استفاده از تابع پتانسیل که منجر به استخراج شرایط مرزی میگردد و محاسبه فشار بالا و پایین صفحه از این شرایط مرزی و جایگذاری در معادله ارتعاش صفحه اورتوتروپ که با رابطه (۲) نشان داده شده است، در نهایت رابطه زیر استخراج می‌گردد.

$$\rho \overline{W}\ddot{T} + \rho_f \overline{W}\ddot{T}\left[\frac{F}{F'}\Big|_{z=-(h_1+h)} - \frac{F}{F'}\Big|_{z=-h_1} \right] + D_x \frac{\partial^4 W(x,y,t)}{\partial x^4} + 2H \frac{\partial^4 W(x,y,t)}{\partial x^2 \partial y^2} + D_y \frac{\partial^4 W(x,y,t)}{\partial y^4} = 0 \quad (۱۴)$$

$\rho^* = \rho_f \left[\frac{F}{F'}\Big|_{z=-(h_1+h)} - \frac{F}{F'}\Big|_{z=-h_1} \right]$ جرم افزوده به دلیل بار سیال می باشد. در نتیجه خواهیم داشت:

$$(\rho + \rho^*)\overline{W}\ddot{T} + D_x \frac{\partial^4 W(x,y,t)}{\partial x^4} + 2H \frac{\partial^4 W(x,y,t)}{\partial x^2 \partial y^2} + D_y \frac{\partial^4 W(x,y,t)}{\partial y^4} = 0 \quad (۱۵)$$

همانطور که می بینیم جرم افزوده در ترم شتاب معادله دیفرانسیل صفحه ارتوتروپ وارد می شود. با تفکیک رابطه (۱۵) به دو معادله دیفرانسیل زیر می رسیم:

$$\ddot{T} + \omega_{fluid}^2 T = 0 \qquad (۱۶)$$

$$\nabla^4 \overline{W} - \beta^4 \overline{W} = 0 \qquad (۱۷)$$

$\beta^4 = (\rho + \rho^*)\omega_{fluid}^2$ و ω_{fluid} فرکانس طبیعی صفحه مغروق و β عدد ثابتی می باشد که توسط شرایط مرزی صفحه تعیین می شود. اگر صفحه در هوا ارتعاش کند ، معادلات دیفرانسیل متناظر به صورت زیر خواهند بود:

$$\ddot{T} + \omega_{air}^2 T = 0 \qquad (۱۸)$$

$$D_x \frac{\partial^4 W(x,y,t)}{\partial x^4} + 2H \frac{\partial^4 W(x,y,t)}{\partial x^2 \partial y^2} + D_y \frac{\partial^4 W(x,y,t)}{\partial y^4} - \beta'^4 \overline{W} = 0 \qquad (۱۹)$$

$$\beta'^4 = \omega_{air}^2 \rho \qquad (۲۰)$$

β' توسط شرایط مرزی صفحه تعیین می شود که در آب و هوا تغییر نمی کند، از این رو داریم $\beta=\beta'$ در این صورت رابطه اساسی زیر را خواهیم داشت:

$$\omega_{fluid} = \omega_{air} \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{m^*}{m}}} \qquad (۲۱)$$

رابطه (۲۱) ارتباط بین فرکانس طبیعی صفحه تقویت شده در سیال و آب را نشان می دهد.

۳- فرکانس صفحه تقویت شده بدون وجود آب

برای محاسبه فرکانس در اینجا از روش ریلی استفاده می کنیم. همانطور که می دانیم در روش ریلی داریم [۱۳]:

$$U_{\max} = K_{\max} \qquad (۲۲)$$

با در نظر گرفتن خیز به صورت زیر که شرائط مرزی چهار طرف گیردار را ارضا می کند، فرکانس بدست می آید.

$$\overline{W} = A_{mn}(1 - \cos\frac{2m\pi x}{a})\,(1 - \cos\frac{2n\pi y}{b}) \qquad (۲۳)$$

$$\omega_{air} = \frac{22.79}{a^2}\sqrt{\frac{1}{\rho}\left[D_x + D_y(\frac{a}{b})^4 + \frac{2}{3}H(\frac{a}{b})^2\right]} \qquad (۲۴)$$

ρ چگالی سازه می باشدکه مقدار آن در سازه مورد بررسی $7800\ kg/m^3$ است در این صورت جرم سازه تقریباً $4kg$ می‌باشد.

٤- فرکانس صفحه تقویت شده با حضور آب

حال با استفاده از معادله دیفرانسیل (۱۵) و با استفاده از روش ریلی فرکانس طبیعی صفحه تقویت شده مغروق در آب را بدست می آوریم. زمانی که رابطه ریلی برای ارتعاش داخل آب نوشته می شود فرکانس متناسب است با نسبت بین ماکزیمم انرژی پتانسیل صفحه تقویت شده و مجموع انرژی جنبشی صفحه تقویت شده T_p^* و سیال T_F^* مقادیر V_p و T_p^* در سیال و خلأ ثابت می باشند، از این رو فرکانس طبیعی صفحه تقویت شده در خلأ و سیال به صورت رابطه (۲۱) با یکدیگر رابطه دارند. برای جرم افزوده صفحه مغروق در سیال خواهیم داشت: [۱۴]

$$m^* = \alpha_{ij}\beta\rho a b^2 \qquad (۲۵)$$

در اینجا a عرض صفحه، b طول صفحه ($b<a$)، ρ چگالی سیال، β فاکتور وابسته نسبت دو بعد و α_{ij} تابعی از مود و شرایط مرزی می باشند. α_{ij} به صورت زیر تعیین می شوند:

$$\alpha_{ij} = \frac{\left(\int_A z_{ij} dA\right)^2}{2ab\int_A z_{ij}^2 dA} \qquad (۲۶)$$

$$z_{ij}(x,y) = X_i(x) Y_j(y) \qquad (۲۷)$$

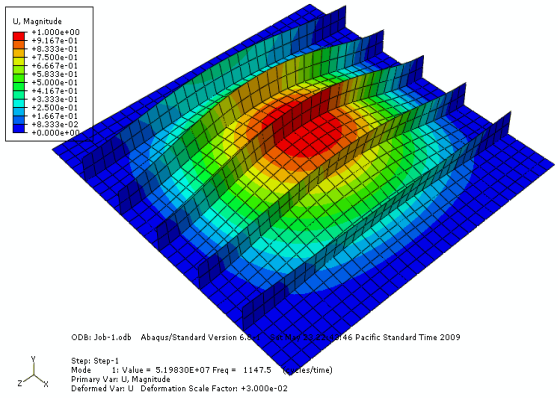
$X_i(x)$ و $Y_i(x)$ توابعی می باشند که شرایط مرزی را به ترتیب در جهات x و y ارضا می کنند. برای حالت چهار طرف گیردار خیز و شیب آن صفر می باشد. جرم افزوده با این روش برای فرکانس اول $97.6\ kg$ می باشد. با استفاده از روش ریلی فرکانس صفحه تقویت شده مغروق در سیال به صورت زیر بدست می آید.

$$\omega_{fluid} = \frac{22.79}{a^2} \times \sqrt{\frac{m}{\rho(m+m_a)}\left[D_x + D_y(\frac{a}{b})^4 + \frac{2}{3}H(\frac{a}{b})^2\right]} \qquad (۲۸)$$

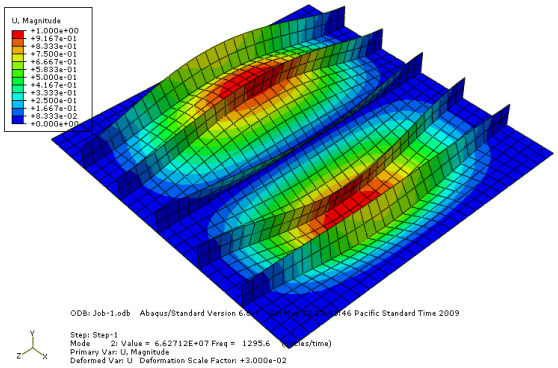
۵- آنالیز عددی

در این قسمت نتایج عددی فرکانس طبیعی صفحه تقویت شده در هوا و مغروق در آب تحت شرایط مرزی چهار طرف آزاد و چهار طرف گیردار به صورت نمایش مود اول و دوم ارائه می شود. (در حالت ارتعاش در آب، نمای آب بالای صفحه به دلیل مشاهده صفحه برداشته شده ولی در محاسبات تأثیر داده شده است.)

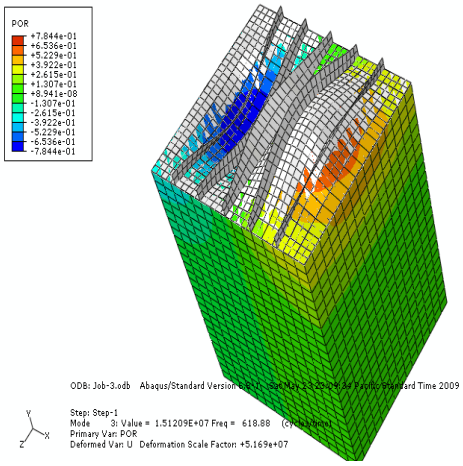
۵- ۱- چهارطرف گیردار



شکل ۳: مود اول با فرکانس ۱۱۴۷/۵ در هوا

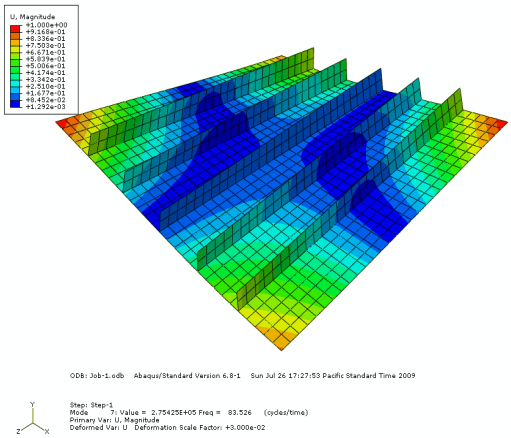


شکل ۴: مود دوم با فرکانس ۱۲۹۵/۶ در هوا

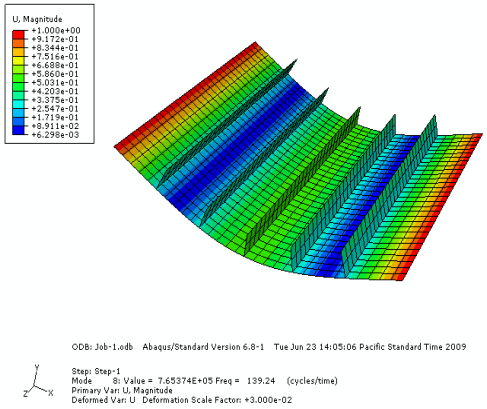


شکل ۵: مود دوم با فرکانس ۶۱۸/۸۸ در آب

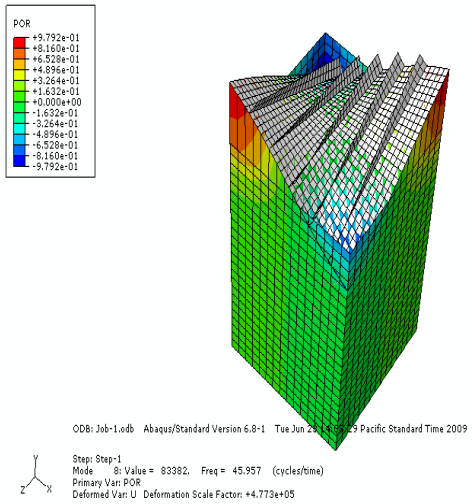
۵- ۲- چهار طرف آزاد



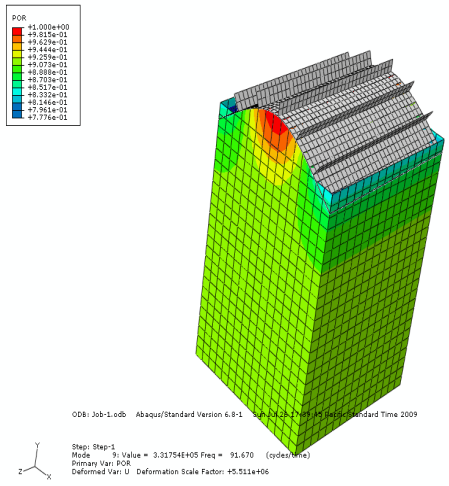
شکل ۶: مود اول با فرکانس ۸۳/۵۲۶ در هوا



شکل ۷: مود دوم با فرکانس ۱۳۹/۲۴ در هوا



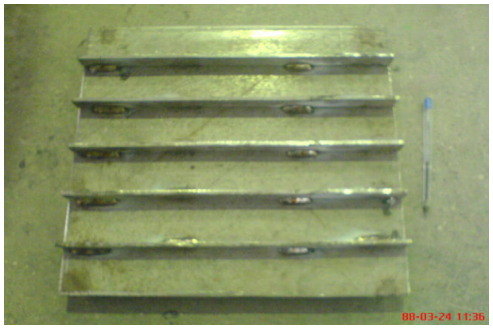
شکل ۸: مود اول با فرکانس ۴۵/۹۵۷ در آب



شکل ۹: مود دوم با فرکانس ۹۱/۶۷۰ در آب

٦- آنالیز تجربی

برای انجام تست و بدست آوردن فرکانسهای طبیعی سازه مورد بررسی با اعمال ضربه به سازه ودریافت و تحلیل پاسخ فرکانسی آن فرکانسهای طبیعی سازه و شکل مودهای آن استخراج می شود. اساس کار بر این امر استوار است که ضربه اعمال شده طیف گسترده فرکانسی را تحریک می کند لذا در فرکانسهای طبیعی سازه تشدید رخ خواهد داد و با آنالیز FFT و فاز می توان فرکانسهای تشدید که همان فرکانسهای طبیعی می باشند را پیدا نمود. صفحه تقویت شده با شرایط چهار طرف آزاد تست شده است. ضخامت تقویتها و صفحه برای صفحه تقویت شده ساخته شده نیز $0.003m$ می باشند. در اشکال ۱۱ و ۱۲ به ترتیب صفحه تقویت شده ساخته شده و مخزن تست را می توانیم مشاهده کنیم.



شکل ۱۰: مود اول با فرکانس ۱۱۴۷/۵ در هوا

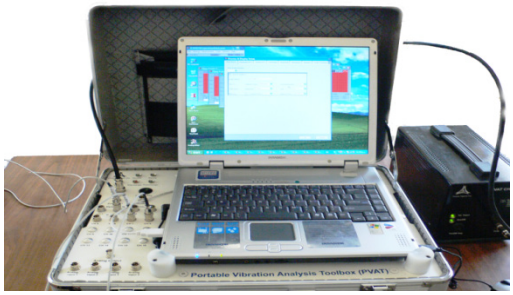
شکل ۱۱: مخزن تست

٦- ۱- تجهیزات تست

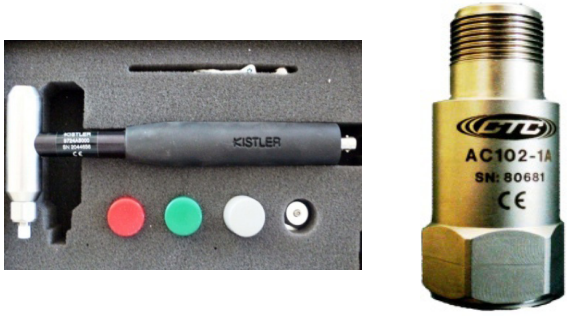
برای تحلیل فرکانسی و آنالیز ارتعاشی نیز از دستگاه آنالیز ارتعاشات PVAT استفاده گردید[۱۵]. در اشکال ۱۳ و ۱۴ تجهیزات تست نشان داده شده اند.

٦- ۲- نتایج تست

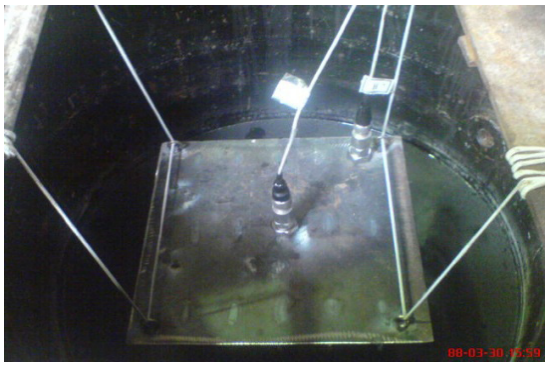
شرایط تست در هوا و آب را می توانیم در اشکال ۱۵ و ۱۶ مشاهده کنیم. در ابتدا آنالیز صفحه تقویت شده در هوا انجام شد به این منظور به هر کدام از سنسورها یک کانال لحاظ شد و دو سنسور در جاهای مختلف صفحه قرار داده شدند و برای هر حالت جایگیری سنسورها، ضربات



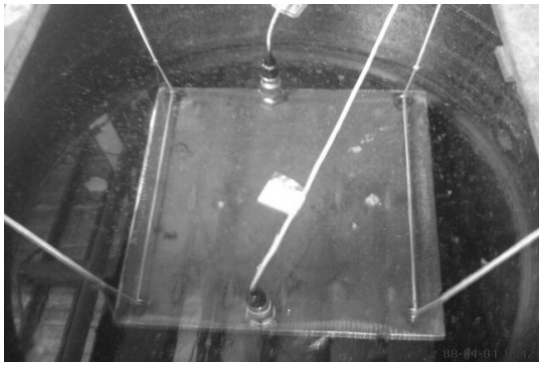
شکل ۱۲: دستگاه آنالیز ارتعاشات PVAT



شکل ۱۳: چکش اعمال ضربه و سنسور ارتعاش سنج



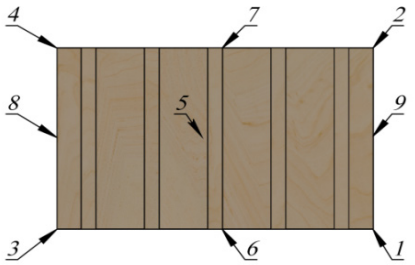
شکل ۱۴: شرایط تست در هوا
(تقویتها در زیر صفحه می باشند)



شکل ۱۵: شرایط تست در آب
(تقویتها در زیر صفحه می باشند)

چکش در نقاط مختلف صفحه اعمال شد که در شکل ۱۶ این نقاط بر روی صفحه نشان داده شده اند، لازم به ذکر است که این نقاط بر

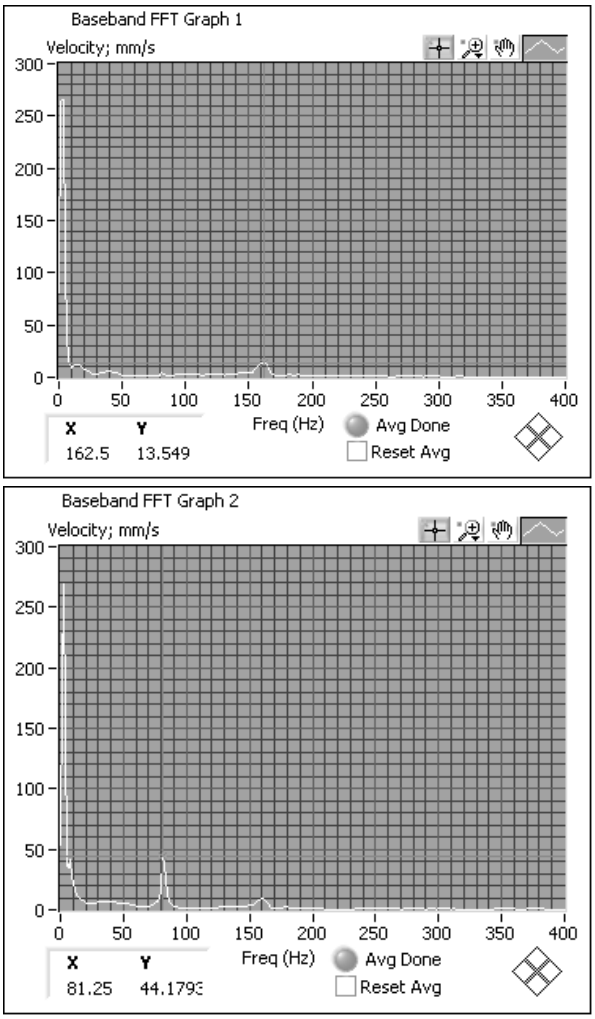
اساس شکل مد صفحه انتخاب شده اند سپس نمودارهای FFT و TIME GRAPH بر حسب سرعت و شتاب بدست آمدند, در ادامه همین شرایط برای تست در آب اعمال شد که در زیر نمودار های FFT در آب و هوا نشان داده شده اند.



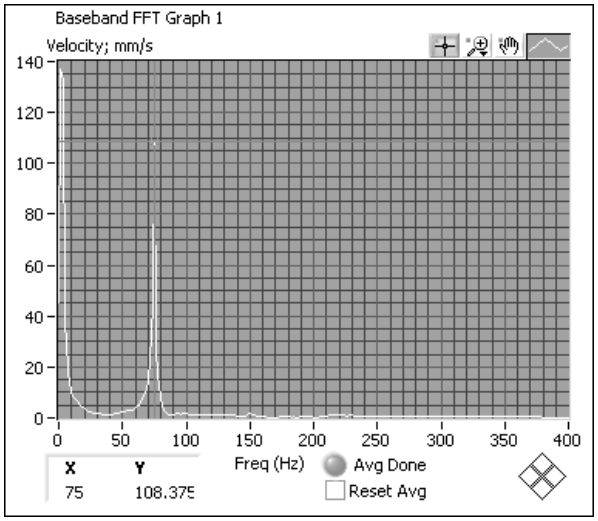
شکل ۱۶: نقاط اعمال ضربه و محل قرارگیری سنسورها

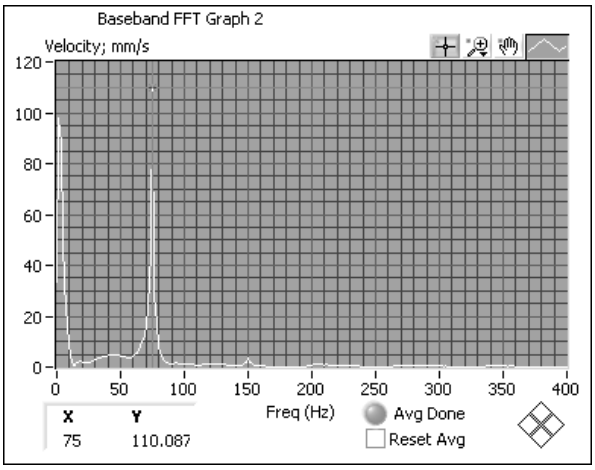
٦- ۲- ۱- *نمودارهای تست در هوا*

نمودارهای تست در هوا (دو گراف برای دو سنسور می‌باشد و عدد سمت چپ در پایین گرافها نشان دهنده فرکانس می باشد):

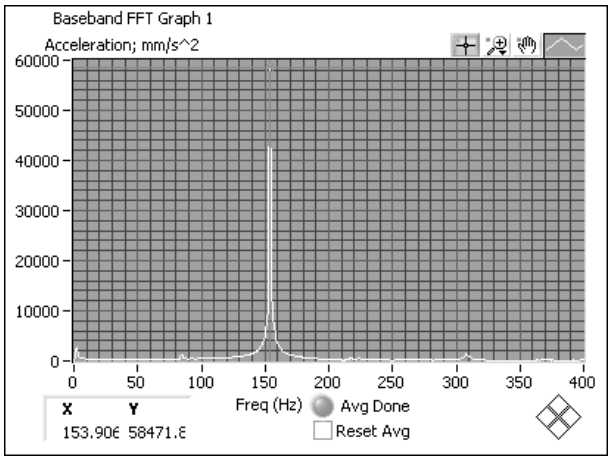


شکل ۱۷: FFT بر حسب سرعت (سنسور ۱ در محل ۵، سنسور۲ در محل۲ و ضربه در محل ۵)

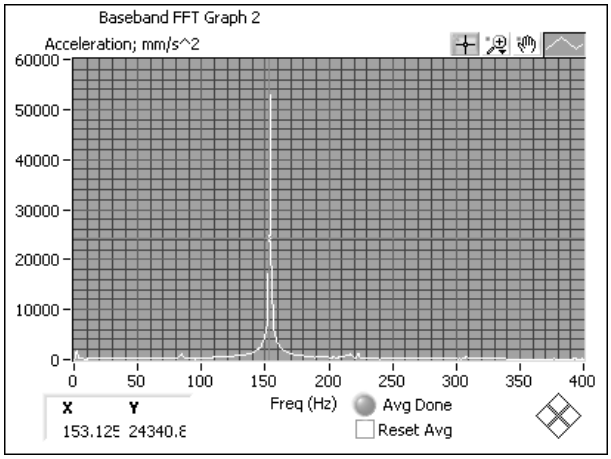




شکل ۱۸: FFT بر حسب سرعت (سنسور ۱ در محل۳، سنسور۲ در محل۲و ضربه در محل۱)



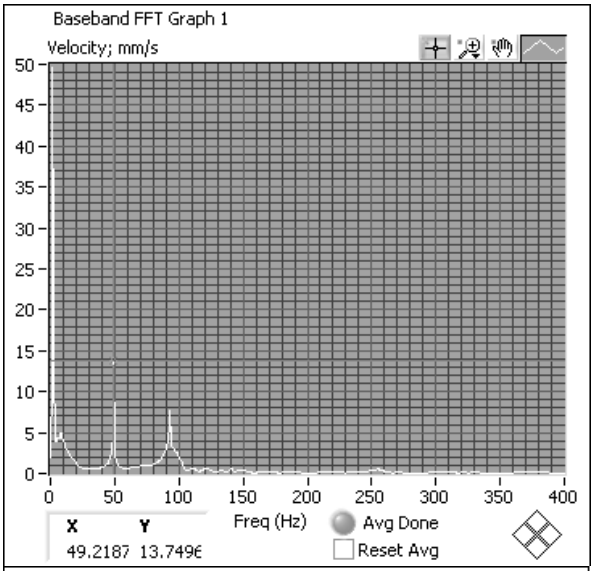
ادامه شکل در صفحه بعد

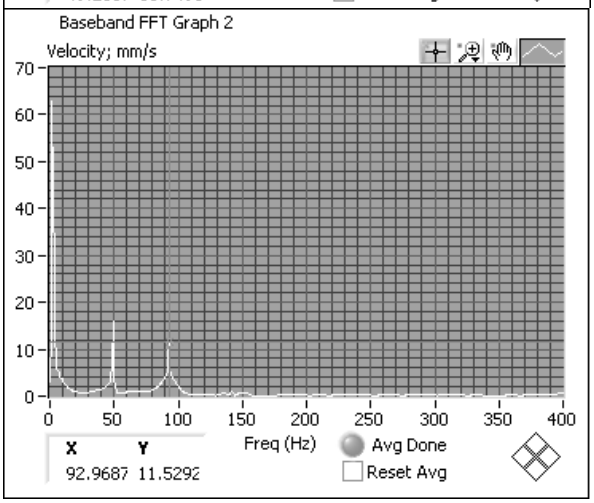


شکل ۱۹: FFT بر حسب شتاب (سنسور ۱ در محل ۶، سنسور۲ در محل۷ و ضربه در محل ۸)

٦- ۲- ۲- *نمودارهای تست در آب*

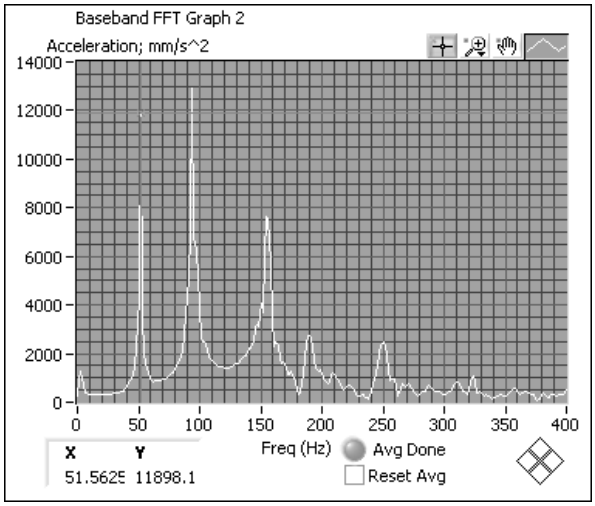
سنسورها به منظور ضد آب بودن و قرار گرفتن در آب می بایست عایق می شدند، به این منظور دو سنسور که می بایست در آب قرار گیرند با استفاده از چسب و دقت بالا عایق شدند.

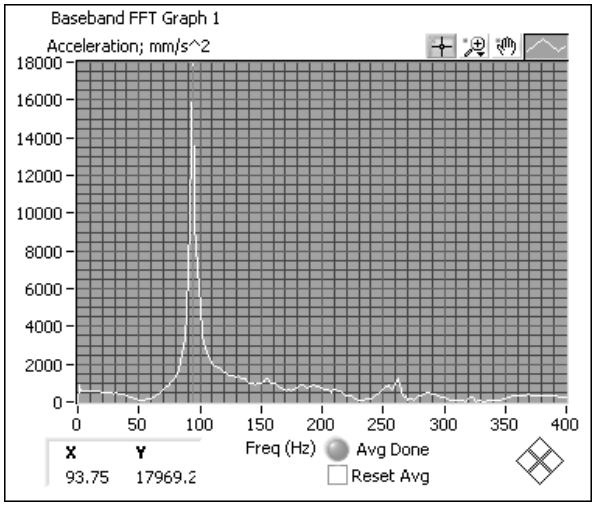




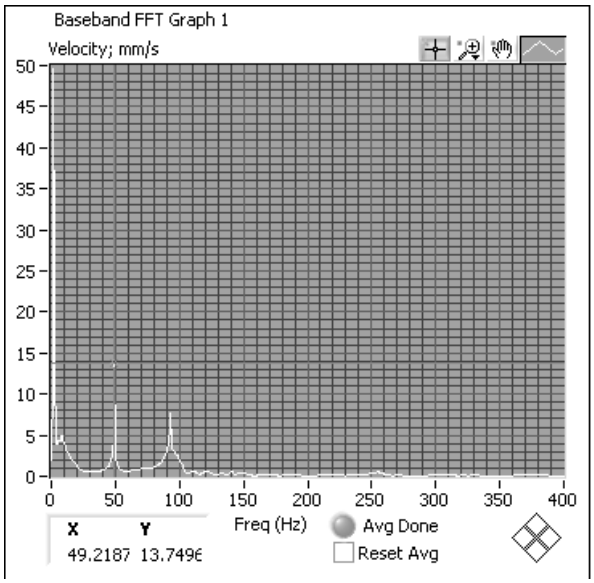
شکل ۲۰: FFT بر حسب سرعت (سنسور ۱ در محل۳، سنسور۲ در محل۲و ضربه در محل ۵)

سپس با ریختن آب در داخل مخزن، ارتفاع آب بالای صفحه به ۲۵ kg خواهد رسید در ادامه مانند تست در هوا شرایط اعمال می شود.

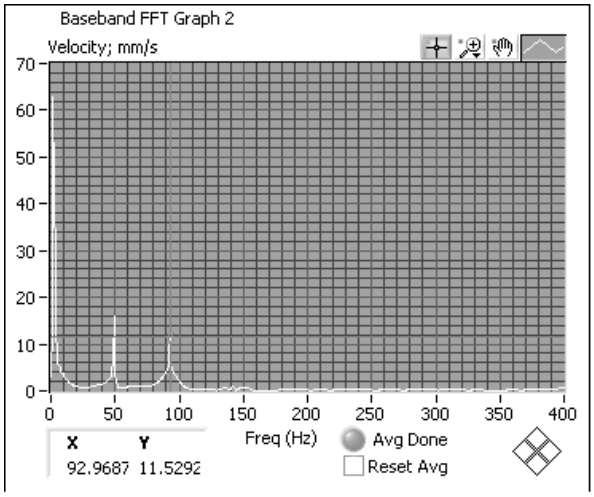




شکل ۲۱: FFT بر حسب شتاب (سنسور ۱ در محل ۵، سنسور۲ در محل۲ و ضربه در محل ۵)



ادامه شکل در صفحه بعد



شکل ۲۲: FFT بر حسب شتاب (سنسور ۱ در محل ۴، سنسور۲ در محل۴ و ضربه در محل ۵)

۷- مقایسه نتایج و نتیجه گیری

در این قسمت به مقایسه نتایج تحلیلی، عددی و تجربی می پردازیم که در اینجا نتایج عددی ABAQUS با نتایج تست مقایسه شده است و به این نتیجه می رسیم که حل عددی توسط این نرم افزار درست می باشد سپس نتایج حل تحلیلی بدست آمده را با نتایج عددی که صحت آن با تست تأیید شده است مقایسه می شود. در جداول۲ نتایج سه روش حل نشان داده شده است. قابل توجه است که شرایط مرزی چهار طرف گیردار برای حل تحلیلی اعمال شده است و برای تست به دلیل مشکل بودن اعمال این شرط مرزی، شرط مرزی چهار طرف آزاد اعمال شده است. با توجه به نمودارهای تست برای صفحه مغروق در آب و هوا مشاهده می شود، زمانی که سنسورها در گوشه قرار می گیرند فرکانس اول و زمانی که در وسط صفحه یا وسط اضلاع قرار می گیرند فرکانس دوم را نشان می دهند و این به دلیل آن است که در فرکانس اول گوشه های صفحه و در فرکانس دوم وسط صفحه و وسط اضلاع بیشتر تحت تأثیر ارتعاش قرار می گیرند.

جدول ۲: مقایسه نتایج فرکانس (cycles/time)

	چهارطرف گیردار		چهارطرف آزاد	
	نرم افزار	تحلیلی	تست	نرم افزار
فرکانس در هوا	۱۱۴۷/۵	۱۲۹۵	۷۸	۸۳/۵۲۶
			۱۵۵	۱۳۹/۲۴
فرکانس در آب	۶۱۸/۸۸	۶۴۹/۰۲۶	۴۹/۲	۴۵/۹۵۷
			۹۳/۷	۹۱/۶۷۰

همانطور که می بینیم نتایج عددی با تقریب خوبی نزدیک به نتایج تست می باشند از این رو حل عددی ABAQUS صحیح می باشد بنابراین نتایج حل تحلیلی را می توان با نتایج عددی مقایسه کرد. خطای بوجود آمده به دلیل شرایط مرزی اعمال شده در تست می باشد زیرا نخهای ارتجاعی که به عنوان شرایط مرزی در اطراف صفحه قرار دارند نوعی قید گیر را بوجود می آورند از طرفی دیواره های مخزن به دلیل افزایش امواج سیال، باعث افزایش فرکانس نسبت به حالت عددی می شوند. در نهایت با توجه به نتایج بدست آمده برای فرکانس در آب و هوا به این نتیجه می توان رسید که، به منظور یکی نشدن فرکانس سازه با فرکانس اجباری ناشی از امواج، موتور و...(برای جلوگیری از پدیده مخرب رزونانس)، از آنجا که پارامتر جرم افزوده به شکل سازه بستگی دارد می بایست این پارامتر را در طراحی شکل سازه در نظر گرفت و تأثیر آنرا در فرکانس سازه در سیال اعمال نمود.از این مقاله می توان نتیجه دیگری گرفت، از آنجا که تست ارتعاشی سازه های عظیم و بزرگ دریایی، در سیال کار دشواری می باشد، می توان از نتایج تست سازه در هوا برای تشخیص فرکانس سازه در سیال استفاده نمود.

۸- مراجع

[۱] ا.سی.یوگورال؛ ترجمه دکتر غلامحسین رحیمی شعرباف؛ "تنش در ورقها و پوسته ها"، انتشارات دانشگاه تربیت مدرس، ۱۳۷۵

[2] Robinson N.J; palmer S.C; “A modal analysis of rectangular plate floating on an incompressible liquid” journal of sound and vibration, Vol. 142, No.3, pp-. 435- 460, 1990.

[3] Kwak M.K; “hydro elastic vibration of rectangular plate”, Transaction of the American Society of Mechanical Engineering, Journal of Applied Mechanics, Vol. 63, No. 1,pp-.110- 115,1996.

[4] Haddara M.R; Cao S; “A study of the dynamic response of submerged rectangular flate plates”, Marine Structure, Vol. 9, No.10, PP-.913- 933, 1996.

[5] Zhou D; Cheung Y.K; “Vibration of vertical rectangular plate in contact with water on one side” Earthquake Engineering and Structural Dynamics, Vol. 29, No.5, pp-.693- 710, 2000.

[6] Liang C.C; Liao C.C; Tai Y.S; Lai W.H; “The free vibration analysis of submerged cantilever plates” Ocean Engineering, Vol. 28, No.9, pp-.1225- 1245, 2001.

[7] Yadykin Y; Tenetov V; Levin D; “The added mass of a flexible plate oscillating in a fluid”, Journal of fluid and structures, vol. 17, No.1, pp-.115- 123, 2003.

[8] Jeong K.H; Yoo G.H; Lee S.C; “Hydroelastic vibration of two identical rectangular plates”, Journal of Sound and Vibration, vol. 272, No.3-5, pp-.539- 555, 2003.

[9] Ergin A; Ugurlu B; “Linear vibration analysis of cantilever plates partially submerged in fluid”, Journal of Fluid and Structures, vol. 17, No. 7, pp-. 927- 939, 2003.

[10] Zhou D; Liu W; "Hydroelastic vibration of flexible rectangular tanks partially with liquid", international journal for numerical method in engineering, vol. 71, No. 2, pp-.149- 174, 2007.

[11] Davies H. G; "low frequency random excitation of water- loaded rectangular plates", Journal of sound and vibration, vol. 15, pp- 107- 126, 1971.

[12] Y, Kerboua; "Vibration analysis of rectangular plates coupled with fluid", Applied Mathematical Modelling, Vol, 32, pp- 2570– 2586, 2008.

[13] Kundu, P.K; "Fluid mechanic", Academic Press Inc, 1990.

[14] Chakraverty,S; "vibration of plates",Taylor and Francis group Boca Raton London New York, 2008.