

تحلیل الاستیک گریلاژهای ورقه‌ای در سازه شناورها با استفاده از روش اجزای محدود

عبدالحسین محمدرحیمی^۱، محمد رضا خدمتی^{*۲}

۱. گروه کشتی سازی، دانشکده مهندسی دریا، دانشگاه دریانوردی و علوم دریایی چابهار

۲. دانشکده مهندسی دریا، دانشگاه صنعتی امیر کبیر

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۱۰/۱۶

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۲/۱۹

چکیده

گریلاژها مجموعه‌ای از تیرهای متقاطع هستند که به منظور تقویت سازه پوسته‌ای شناورها در جای جای آن‌ها از جمله در کف، عرشه و جوانب شناور استفاده می‌شوند. روش‌های مختلف تحلیل استحکام گریلاژهای ورقه‌ای، ویژگی‌ها و محدودیت‌های حاکم بر کاربرد هر یک از این روش‌ها بررسی و نحوه قضاوت در مورد استحکام این بخش‌های سازه‌ای مطالعه می‌شود. اساس کار این تحقیق، تهیه نرم افزاری است که جهت تحلیل گریلاژها نوشته شده است. با استفاده از این نرم افزار می‌توان در شرایط مرزی مختلف و حالات بارگذاری متعدد که به راحتی برای کاربر قابل انتخاب هستند، گریلاژهای به کار رفته در سازه شناور را تحلیل نمود. این نرم افزار با گرفتن داده‌های مورد نیاز از کاربر، تغییر شکل‌ها و تنش‌های الاستیک منته‌جه از اعمال بارهای وارده، به صورت متمرکز یا گسترده را در محل تلاقی تیرهای طولی یا عرضی محاسبه کرده، دیگر نیازی به محاسبات پیچیده عددی نیست. به منظور اعتبار سنجی نتایج، دو نمونه گریلاژ به وسیله این نرم افزار و نرم افزار انسیس^۱ مورد تحلیل قرار گرفته و نتایج به دست آمده نشان دهنده دقت جواب‌های نرم افزار تهیه شده است.

واژگان کلیدی: گریلاژ ورقه‌ای، روش اجزای محدود، مدل سازی، تحلیل الاستیک

* نویسنده مسوول، پست الکترونیک: khedmati@aut.ac.ir

۱. مقدمه

به منظور تقویت پوسته‌های ورقه‌ای، از تیرهای متقاطع و متعامدی در بخش‌های مختلف یک شناور مانند عرشه، کف، و جوانب آن استفاده می‌شود. به مجموعه این تیرهای متقاطع و متعامد و ورق‌های متصل به آن گریلاژهای ورقه‌ای گویند. این بخش‌های سازه‌ای، وظیفه اصلی تحمل بارها و نیروهای وارده را دارند و از نظر طراحی و تحلیل بسیار مهم هستند.

در تحقیقات و محاسبات انجام شده تا کنون، دو مدل جهت تحلیل گریلاژها ارائه شده‌است: ۱- گریلاژ به‌عنوان یک ورق با خواص یکسان در هر جهت در نظر گرفته شده که به وسیله تقویت کننده‌هایی، مستحکم شده است (Smith, 1967). ۲- گریلاژ را بصورت مجموعه‌ای از تیرهای جدا از هم در نظر گرفته‌اند که هر کدام از آن‌ها بطور جداگانه در استحکام سازه بر اساس تئوری تیرها عمل می‌کنند (Smith, 1967; Chang, 1968).

پس از بررسی‌هایی در مورد روش‌های مذکور و مقایسه نتایج آن‌ها در حل مسائل معلوم شد نگرش گریلاژ به‌صورت یک ورق همگن و یک‌نواخت خیلی مناسب نیست و در تمام سازه‌ها نمی‌توان از این تخمین استفاده کرد؛ چون عملاً در اکثر آن‌ها از تقویت کننده‌ها با فاصله‌ها و اندازه‌های متفاوت استفاده می‌شود و به همین دلیل این دیدگاه کلی و جامع نخواهد بود؛ پس بهتر است که مجموعه گریلاژ را به‌صورت تیرهای مجزا در نظر گرفت تا بتوان همه حالت‌ها را با این نگرش مورد بررسی قرار داد؛ ضمن اینکه تاثیر ورق در تحمل ممان‌های خمشی و نیروهای برشی نیز باید در نظر گرفته شود (Chang, Pilkey, 1971).

چانگ و پیلکی از روش‌های تفاضل محدود جهت تحلیل گریلاژها استفاده نموده‌اند (Chang, 1968). استفاده از روش‌های تفاضل محدود جهت تحلیل چنین سازه‌هایی خیلی مناسب نیست چون اولاً با استفاده از این روش المان‌های بسیار کوچک بایستی

انتخاب گردد؛ به‌عنوان مثال در مورد روش تفاضل محدود پیشرو مهمترین ایراد این روش آن است که برای تضمین پایداری و دقت جواب بیشتر باید المان‌های خیلی کوچک انتخاب نمود اما با استفاده از این المان‌ها زمان حل بسیار طولانی می‌گردد. ثانیاً در صورت عدم انتخاب المان مناسب امکان واگرایی و ناپایداری جواب‌ها وجود دارد (Chang, Pilkey, 1971).

تحقیقات مذکور نشان می‌دهد که روش‌های تفاضل محدود در تحلیل این نوع گریلاژها مناسب نیست و بدینسان روش اجزای محدود^۱ جهت تحلیل انتخاب می‌گردد.

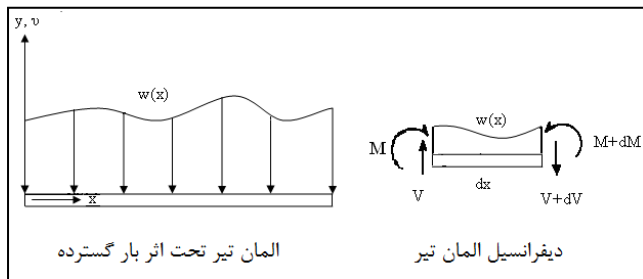
به طور کل روش‌های تحلیل گریلاژها به دو دسته اصلی تقسیم می‌شود:

۱- روش‌های کلاسیک: این روش قدیمی‌تر بوده، بر پایه استفاده از دیاگرام‌ها و منحنی‌هایی است که برای حالت‌های مختلف و شرایط مرزی متفاوت به دست آمده‌است. این روش در آیین‌نامه‌های مصوب موسسه‌های رده‌بندی موجود بوده، از روابط، دیاگرام‌ها و منحنی‌های مناسب، جهت طراحی و تحلیل گریلاژها استفاده می‌شود.

۲- روش‌های عددی: یا همان روش اجزای محدود: قدرتمندترین روش تحلیل سازه و محاسبه تنش‌های اولیه، ثانویه و موضعی است. اساس این روش بر تقسیم سازه به تعداد زیادی اجزای فرضی است که این اجزا اشکال مختلف تیر، مستطیل، مثلثی، مکعبی و سایر دارند. به نقاط اتصالی اجزا گره گفته می‌شود. با استفاده از توابع شکلی^۲ تغییر مکان در گره‌ها به تغییر شکل اجزا ربط داده می‌شود. در نتیجه با مشخص شدن جابجایی در گره‌ها می‌توان تغییر شکل هر جزء و تنش‌های به‌وجود آمده در آن‌ها را محاسبه نمود (Kerfoot, 1972; Faulkner, et al, 1973).

^۱ Finite Element Method
^۲ Shape Function

در المان نشان داده شده به طول dx در شکل ۱ ممان وارده بر المان با M و نیروی برشی با V نشان داده شده است.



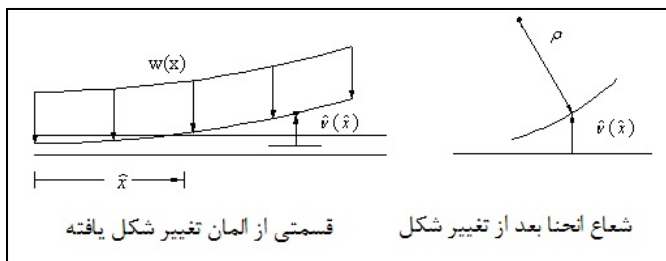
شکل ۱. تیر تحت اثر بار گسترده

معادلات تعادل نیرو و ممان یک دیفرانسیل المان تیر به صورت زیر است (Beer, et al, 2006).

$$-w d\hat{x} + dV = 0 \quad \text{or} \quad w = -\frac{dV}{d\hat{x}} \quad (1)$$

$$\text{or} \quad V d\hat{x} + dM = 0$$

$$V = -\frac{dM}{d\hat{x}} \quad (2)$$



شکل ۲. شعاع انحنای تیر و تغییر شکل یافته

رابطه شعاع انحنای تیر و ممان، بر اساس قوانین ریاضی و مقاومت مصالح، مطابق شکل ۲ به صورت زیر است (Beer, et al, 2006):

$$\kappa = \frac{1}{\rho} = \frac{M}{EI} \quad (3)$$

ρ شعاع انحنای تیر خمیده، v تابع جابجایی عرضی تیر در راستای محور y ، I ممان اینرسی تیر حول

اساس کار این مقاله، تهیه نرم افزاری بر مبنای روش اجزای محدود است که با زبان برنامه نویسی متلب^۱ جهت تحلیل گریلاژها نوشته شده است. مزیت این نرم افزار نسبت به نرم افزارهای تحلیل عددی نظیر انسیس، آباکوس^۲ و سایر در تحلیل گریلاژها، سرعت بالای مدل سازی و سرعت بالای تحلیل است که در نتیجه آن تحلیل انواع گریلاژها به سهولت انجام می گیرد.

در ابتدا به انتخاب مدل مناسب جهت تحلیل پرداخته و نوع اجزای مناسب انتخاب می گردد. پس از آن شرایط بارگذاری و مرزی مختلف معرفی و در ادامه الگوریتم نرم افزار تحلیلی مذکور به اختصار ارائه می گردد. با تحلیل دو نمونه از گریلاژهای بکار رفته در شناور لندینگ کرافت توسط نرم افزار تحلیل گریلاژ^۳ (نرم افزار تهیه شده در این تحقیق) و نرم افزار تحلیلی انسیس، جوابهای حاصله از دو نرم افزار ارائه می گردد.

در انتها نتایج تحلیل های صورت پذیرفته بررسی می شوند و نتیجه گیری کلی در خصوص روش مورد استفاده انجام خواهد شد.

۲. مواد و روشها

۲-۱ استخراج ماتریس سختی در تحلیل

گریلاژها

روش مورد استفاده در این تحقیق نیز روش عددی اجزای محدود است که با انتخاب المان، تابع شکل مناسب و معادلات حاکم بر گریلاژها، ماتریس سختی کل جهت تحلیل گریلاژها استخراج می گردد. المان انتخابی تیر الاستیکی مطابق شکل ۱ است. بار گسترده $w(x)$ بر واحد طول در سرتاسر تیر وارد می شود معادله دیفرانسیل حاکم بر المان خطی یک تیر الاستیک به صورت زیر به دست می آید.

^۱ MATLAB
^۲ ABAQUS
^۳ Analysis of Grillage

$$\frac{d\hat{v}(L)}{d\hat{x}} = \hat{Q}_2 = 3a_1L^2 + 2a_2L + a_3 \quad (9)$$

$$(\hat{Q}_1 + \hat{Q}_2) \hat{x}^3 + \left[-\frac{3}{L^2}(\hat{d}_{1y} - \hat{d}_{2y}) - \frac{1}{L}(2\hat{Q}_1 + \hat{Q}_2) \right] \hat{x}^2 + \hat{Q}_1 \hat{x} + \hat{d}_{1y}$$

معادله (9) را می‌توان به فرم ماتریس به صورت زیر نوشت:

$$\hat{v} = [d][N] \quad (10)$$

که در آن (11):

$$[N] = [N_1 \ N_2 \ N_3 \ N_4]$$

$$\{ \hat{d} \} = \begin{Bmatrix} \hat{d}_{1y} \\ \hat{Q}_1 \\ \hat{d}_{2y} \\ \hat{Q}_2 \end{Bmatrix}$$

(12)

$$N_2 = \frac{1}{L^3}(\hat{x}^3L - 2\hat{x}^2L^2 + \hat{x}L^3) = \frac{1}{L^3}(2\hat{x}^3 - 3\hat{x}^2L + L^3)$$

$$N_4 = \frac{1}{L^3}(\hat{x}^3L - \hat{x}^2L^2) = \frac{1}{L^3}(-2\hat{x}^3 + 3\hat{x}^2L)$$

N_1, N_2, N_3, N_4 توابع شکلی برای جزء تیر هستند (Logan, 1992).

با توجه به شکل 3 کرنش در راستای محور تیر به صورت زیر تعریف می‌گردد:

$$\varepsilon_x(\hat{x}, \hat{y}) = \frac{d\hat{u}}{d\hat{x}} = -\hat{y} \frac{d\hat{v}}{d\hat{x}} \quad (13)$$

در رابطه فوق ε_x کرنش محوری در راستای محور x و \hat{u} تابع جابجایی در آن راستا است.

$$\varepsilon_x(\hat{x}, \hat{y}) = -y \frac{d^2\hat{v}}{d\hat{x}^2} \quad (14)$$

براساس تئوری مقدماتی تیرها رابطه ممان خمشی و نیروی برشی با تابع جابجایی عرضی به صورت زیر است:

محور z که عمود بر صفحه تیر است و E مدول الاستیسیته است.

قابل ذکر است با توجه به اثر ضخامت ورق گریلاژها در تحمل ممان‌های وارده، در این نرم افزار در محاسبه ممان اینرسی تیرها، پهنای موثر ورق در نظر گرفته شده است (Fujikubo, Yao, 2001; DNV, 1994).

انحنا برای زوایای کوچک $\theta = dv/dx$ ، با توجه به فرضیات مثلثاتی به صورت زیر بدست می‌آید (Beer, et al, 2006).

$$\kappa = \frac{d^2\hat{v}}{d\hat{x}^2} \quad (4)$$

$$(EI \frac{d^2}{d\hat{x}^2}) \frac{d^2\hat{v}}{d\hat{x}^2} = -w(x) \quad (5)$$

معادله جابجایی با در نظر گرفتن شرایط مرزی در گره‌ها، به صورت زیر است:

$$EI \frac{d^4\hat{v}}{d\hat{x}^4} = 0 \quad (6)$$

تابع شکل برای متغییر جابجایی در طول جزء تیر به صورت زیر در نظر گرفته می‌شود (Logan, 1992):

$$\hat{v}(\hat{x}) = a_1\hat{x}^3 + a_2\hat{x}^2 + a_3\hat{x} + a_4 \quad (7)$$

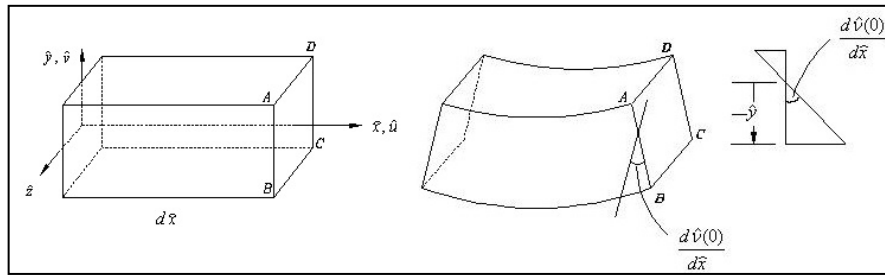
توان چهارم تابع جابجایی برای این منظور مناسب است زیرا برای هر جزء با فرضیات در نظر گرفته شده چهار درجه آزادی وجود دارد که شامل جابجایی عرضی و چرخش کوچک برای هر گره می‌باشد و از طرف دیگر معادله فوق معادله دیفرانسیل تیر را ارضا می‌کند.

\hat{v} به عنوان تابع بر حسب درجات آزادی در گره‌ها که شامل \hat{Q}_1, \hat{d}_{1y} و \hat{Q}_2, \hat{d}_{2y} می‌باشد، بیان می‌گردد:

$$\begin{aligned} \hat{v}(0) &= \hat{d}_{1y} = a_4 \\ \frac{d\hat{v}(0)}{d\hat{x}} &= \hat{Q}_1 = a_3 \\ \hat{v}(L) &= \hat{d}_{2y} = a_1L^3 + a_2L^2 + a_3L + a_4 \end{aligned} \quad (8)$$

با استفاده از معادله (۱۵) و (۹)، مقادیر گره‌ای نیروی برشی و ممان خمشی به صورت زیر حاصل خواهد شد:

$$\hat{m}(\hat{x}) = EI \frac{d^2 \hat{V}}{d\hat{x}^2}, \quad \hat{V} = EI \frac{d^3 \hat{V}}{d\hat{x}^3} \quad (15)$$



شکل ۳. المان قبل و پس از تغییر شکل

$$\begin{aligned} \hat{f}_{1y} = \hat{V} &= EI \frac{d^3 \hat{V}(0)}{d\hat{x}^3} = \frac{EI}{L^3} (12d_{1\hat{y}} + 6L\hat{Q}_1 - 12d_{2\hat{y}} + 6L\hat{Q}_2) \\ \hat{m}_1 = -\hat{m} &= -EI \frac{d^2 \hat{V}(0)}{d\hat{x}^2} = \frac{EI}{L^3} (6Ld_{1\hat{y}} + 4L^2\hat{Q}_1 - 6Ld_{2\hat{y}} + 2L^2\hat{Q}_2) \\ \hat{f}_{2y} = -\hat{V} &= -EI \frac{d^3 \hat{V}(L)}{d\hat{x}^3} = \frac{EI}{L^3} (-12d_{1\hat{y}} - 6L\hat{Q}_1 + 12d_{2\hat{y}} - 6L\hat{Q}_2) \\ \hat{m}_1 = \hat{m} &= EI \frac{d^2 \hat{V}(L)}{d\hat{x}^2} = \frac{EI}{L^3} (6Ld_{1\hat{y}} + 2L^2\hat{Q}_1 - 6Ld_{2\hat{y}} + 4L^2\hat{Q}_2) \end{aligned} \quad (16)$$

علایم منفی بکار رفته در معادلات فوق به دلیل جهت‌های مثبت قراردادی می‌باشد که در نظر گرفته شده است. این مجموعه معادلات را می‌توان به فرم ماتریسی زیر نوشت.

$$\begin{Bmatrix} \hat{f}_{1y} \\ \hat{m}_1 \\ \hat{f}_{2y} \\ \hat{m}_2 \end{Bmatrix} = \frac{EI}{L^3} \begin{bmatrix} 12 & 6L & -12 & 6L \\ 6L & 4L^2 & -6L & 2L^2 \\ -12 & -6L & 12 & -6L \\ 6L & 2L^2 & -6L & 4L^2 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \hat{d}_{1y} \\ \hat{Q}_1 \\ \hat{d}_{2y} \\ \hat{Q}_2 \end{Bmatrix} \quad (17)$$

$$\hat{k} = \frac{GJ}{L} \begin{bmatrix} 1 & -1 \\ -1 & 1 \end{bmatrix} \quad (19)$$

فرمول ساده زیر تخمین مناسبی جهت به دست آوردن ثابت پیچشی مقاطع خاصی که از قطعات مستطیل شکل درست شده، مانند ناودانی‌ها، نبشی‌ها، I بارها، قوطی‌ها و ... می‌باشد. b عرض مقاطع و t ضخامت قطعه است (Logan, 1992; Stasa, 1986).

$$J = \sum \frac{1}{3} b_i t_i^3 \quad (20)$$

در نتیجه ماتریس سختی حاصل به شکل زیر می‌باشد:

$$\hat{k} = \frac{EI}{L^3} \begin{bmatrix} 12 & 6L & -12 & 6L \\ 6L & 4L^2 & -6L & 2L^2 \\ -12 & -6L & 12 & -6L \\ 6L & 2L^2 & -6L & 4L^2 \end{bmatrix} \quad (18)$$

ماتریس سختی حاصله بدون در نظر گرفتن اثر پیچش می‌باشد. اثر پیچش نیز، بایستی جداگانه حساب شده و به ماتریس سختی فوق اضافه گردد. ماتریس سختی پیچشی به صورت زیر بیان می‌گردد. J ثابت پیچشی و G مدول برشی است (Logan, 1992; Stasa, 1986).

زیر ساخته خواهد شد:

$$\begin{Bmatrix} \hat{f}_{1y} \\ \hat{m}_{1x} \\ \hat{m}_{1z} \\ \hat{f}_{2y} \\ \hat{m}_{2x} \\ \hat{m}_{2z} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{12EI}{L^3} & 0 & \frac{6EI}{L^2} & \frac{-12EI}{L^3} & 0 & \frac{6EI}{L^2} \\ & \frac{GJ}{L} & 0 & 0 & \frac{-GJ}{L} & 0 \\ & & \frac{4EI}{L} & \frac{-6EI}{L^2} & 0 & \frac{2EI}{L} \\ & & & \frac{12EI}{L^3} & 0 & \frac{-6EI}{L^2} \\ & & & & \frac{GJ}{L} & 0 \\ & & & & & \frac{4EI}{L} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \hat{d}_{1y} \\ \hat{Q}_{1x} \\ \hat{Q}_{1z} \\ \hat{d}_{2y} \\ \hat{Q}_{2y} \\ \hat{Q}_{2z} \end{Bmatrix} \quad (21)$$

Symmetry

پس از ترکیب اثر ممان پیچشی و اثر ممان های خمشی و نیروی برشی، ماتریس سختی کل به صورت

و در نهایت ماتریس سختی کل به صورت زیر حاصل می گردد (Logan, 1992).

ماتریس سختی حاصل در دستگاه مختصات محلی بوده و تبدیل آن به ماتریس سختی در دستگاه مختصات اصلی به وسیله ماتریس تبدیل صورت گرفته

$$k = \begin{bmatrix} \frac{12EI}{L^3} & \frac{-6EIS}{L^2} & \frac{6EIC}{L^2} & \frac{-12EI}{L^3} & \frac{-6EIS}{L^2} & \frac{6EIC}{L^2} \\ & \frac{GJC^2 + 4EIS^2}{L} & \frac{GJCS - 4EICS}{L} & \frac{6EIS}{L^2} & \frac{-GJC^2 + 2EIS^2}{L} & \frac{-GJCS - 2EICS}{L} \\ & & \frac{GJS^2 + 4EIC^2}{L} & \frac{-6EIC}{L^2} & \frac{-GJSC - 2EISC}{L} & \frac{-GJS^2 + 2EIC^2}{L} \\ & & & \frac{12EI}{L^3} & \frac{6EIS}{L^2} & \frac{-6EIC}{L^2} \\ & & & & \frac{GJC^2 + 4EIS^2}{L} & \frac{GJSC - 4EICS}{L} \\ & & & & & \frac{GJS^2 + 4EIC^2}{L} \end{bmatrix} \quad (22)$$

Symmetry

۱- شرط مرزی ثابت یا گیردار^۱: این نوع شرط مرزی در محل تلاقی تیرها در انتهای آنها که به تی بارهای عرضی دیگر یا به دیواره کاملاً صلب و مستحکم جوش شده اند بکاررفته است. کلیه جابجایی ها که در این تکیه گاه ها قابل اغماض و نیروها و ممان ها در مرزها دارای مقدار هستند. در حل مسایل ، با عدد ۱ معرفی می گردد و کاربر در هنگام اجرای نرم افزار در قسمت انتخاب شرایط مرزی باید عدد ۱ را وارد نماید (Beer, et al, 2006).

در رابطه (۲۲) مقادیر S, C به ترتیب $Cos(\theta), Sin(\theta)$ می باشند. و θ زاویه المان در در دستگاه مختصات کلی است.

۲-۲ شرایط مرزی

با توجه به دیواره های متعدد بکار رفته در شناور و اتصالات مختلف که در گریلاژها به چشم می خورد، سه نوع شرط مرزی برای گریلاژها منظور شده که نحوه بکار گیری آنها در حل مسائل به شرح ذیل خواهد بود.

در نواحی مرزی یک ساختار گریلاژ نوع شرط مرزی نیز در بارگذاری تأثیر دارد؛ بعنوان مثال تکیه‌گاه‌های ساده یا مفصلی تحمل ممان ندارد و در نتیجه میزان ممان وارده در ماتریس نیرو باید صفر در نظر گرفته شود. در نتیجه نوع بارگذاری با توجه به تکیه‌گاه‌های اجزا تغییر می‌نماید. گره‌های داخلی گریلاژها بصورت تکیه‌گاه گیردار در نظر گرفته شده و بارگذاری بصورت تیر دو سر گیردار در آن‌ها توزیع می‌گردد.

در نرم افزار گریلاژ انواع بارگذاری اجزا با توجه به نوع و نحوه توزیع بار که تأثیر پذیر از شرایط مرزی است، با اعداد بین ۱ تا ۳۱ برای اجزای طولی و عرضی بکار رفته در ساختمان گریلاژ مشخص می‌شود. کاربر می‌تواند با انتخاب یکی از اعداد بین ۱ تا ۳۱ نوع بارگذاری را برای هر جزء تعیین نماید.

میزان بار نقطه‌ای یا گسترده نیز توسط کاربر برای همه اجزا وارد می‌گردد.

در این نرم افزار اجزای موجود در ساختار هر گریلاژ به دو دسته تفکیک شده‌اند.

۱- اجزایی که محور آن‌ها در راستای محور Z قرار گرفته است و ۲- اجزایی که محور آن‌ها در راستای محور X قرار گرفته است.

با توجه به دستگاه مختصات و نحوه نام‌گذاری گره‌ها در نرم افزار که در شکل نشان داده شده، نحوه بار گذاری بر اساس اعداد ۱ تا ۳۱ بصورت زیر می‌باشد. عدد ۱ تا ۱۰ بیانگر اجزایی است که بین دو تکیه‌گاه گیردار قرار گرفته‌اند. عدد ۱۱ تا ۲۰ حالتی است که اجزا در نواحی مرزی بین یک تکیه‌گاه ساده و یک تکیه‌گاه گیردار قرار گرفته، در صورت عوض شدن جای تکیه‌گاه‌ها عدد ۲۱ تا ۳۰ نشان دهنده نوع بارگذاری است و عدد ۳۱ نیز حالتی است که هیچ باری روی اجزا نداریم.

پس از بارگذاری دسته اول نوبت به بارگذاری دسته دوم می‌رسد. بارگذاری این دسته نیز مانند دسته اول می‌باشد. با این تفاوت که گره‌های این اجزا در جهت مثبت محور X نام گذاری شده‌اند و m_x در آن‌ها صفر است. در ادامه نحوه بارگذاری و عدد مربوطه جهت

۲- شرط مرزی ساده^۱: این نوع شرط مرزی در مسایل مهندسی عمران، پل‌ها و خرپاهای بکار رفته در سازه‌های مختلف صنعتی بیشتر به چشم می‌خورد و در برخی مواقع در شناورها در محل تلاقی تی بارها به دیواره‌های مخازن این نوع تکیه‌گاه‌ها تخمین زده می‌شود (Beer, et al, 2006).

کلیه ممان‌ها در این تکیه‌گاه‌ها صفر و نیروها دارای مقدار می‌باشند. جابجایی عرضی نداریم و تغییر شکل پیچشی و چرخشی در این مرزها حائز اهمیت می‌باشند. با توجه به شکل این شرط مرزی نشان داده می‌شود و در حل مسایل در این نرم افزار با عدد ۲ معرفی می‌گردد و کاربر در هنگام اجرای نرم افزار در قسمت انتخاب شرایط مرزی باید عدد ۲ را وارد نماید.

۱- شرط مرزی فنری^۲: این نوع شرط مرزی در شناورهای مختلف بیشتر در محل برخورد دیواره‌های عرضی^۳ با دیواره‌های کنار، و دیواره‌های طولی^۴ با طبقه زیرین^۵ شناورهای دو جداره^۶ کاربرد دارد (DNV, 1999).

در این نوع تکیه‌گاه‌ها ممان و نیرو با ضریب فنریت که در نرم افزار با k_m و k_f نشان داده شده نسبت مستقیم دارد و جهت حل باید این ضرایب از طریق کاربر وارد مسئله گردند.

۲-۳ شرایط بارگذاری

در نرم افزار گریلاژ شرایط بارگذاری قبل از تعیین شرایط مرزی برای تمامی اجزا تعیین می‌گردد و با توجه به نوع بار وارده بر هر جز و جهت آن در دستگاه مختصات در نظر گرفته شده، نوع بارگذاری انتخاب می‌گردد (Beer, et al, 2006).

^۱ Clamped

^۲ Simple Support

^۱ Elastic Support

^۲ Transverse Bulkhead

^۳ Longitudinal Bulkhead

^۴ Inner

^۵ Double Bottom

انتخاب شرایط بارگذاری در شکل ۶ نشان داده شده است. خروجی‌های این نرم افزار ممان اینرسی خمشی، ممان اینرسی قطبی، جابجایی عرضی، تغییر شکل خمشی، تغییر شکل پیچشی برای کلیه المان‌ها و همچنین نمودارهایی جهت مقایسه جابجایی‌ها، تغییر شکل‌های طولی و عرضی است.

۳. نتایج

۳-۱ تحلیل گریلاژ عرشه یک شناور تحت بار گسترده حاصل از دو کانتینر

شکل ۸ دو کانتینر ۲۰ فوت روی عرشه شناور را نشان می‌دهد که باری معادل ۴۰۰۰۰۰ نیوتن به صورت گسترده بر گریلاژ عرشه وارد می‌کنند.

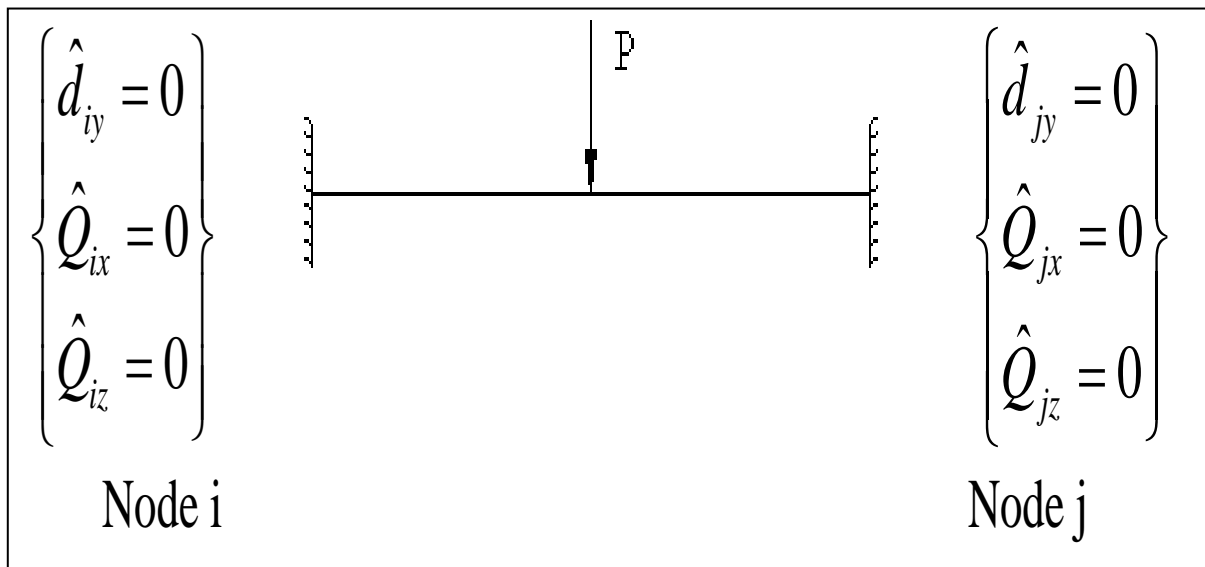
گریلاژ نشان داده شده در شکل ۸ توسط نرم افزار مذکور و انسیس مورد تحلیل قرار گرفته و جهت مقایسه نتایج، ممان‌های پیچشی و جابجایی‌ها برای گره‌های مشخصی از تی بار شماره^۱۲ در محل‌های اتصال تیرهای طولی و عرضی استخراج و به ترتیب در شکل‌های ۹ و ۱۰ ترسیم می‌گردد. در نمودارها، منحنی مربوط به نرم افزار مذکور با "A.G" و نرم افزار انسیس با "ANSYS" مشخص شده است. نتایج به دست آمده دقت جواب‌های نرم افزار را نشان می‌دهد.

۳-۲ تحلیل گریلاژ عرشه یک شناور تحت بار

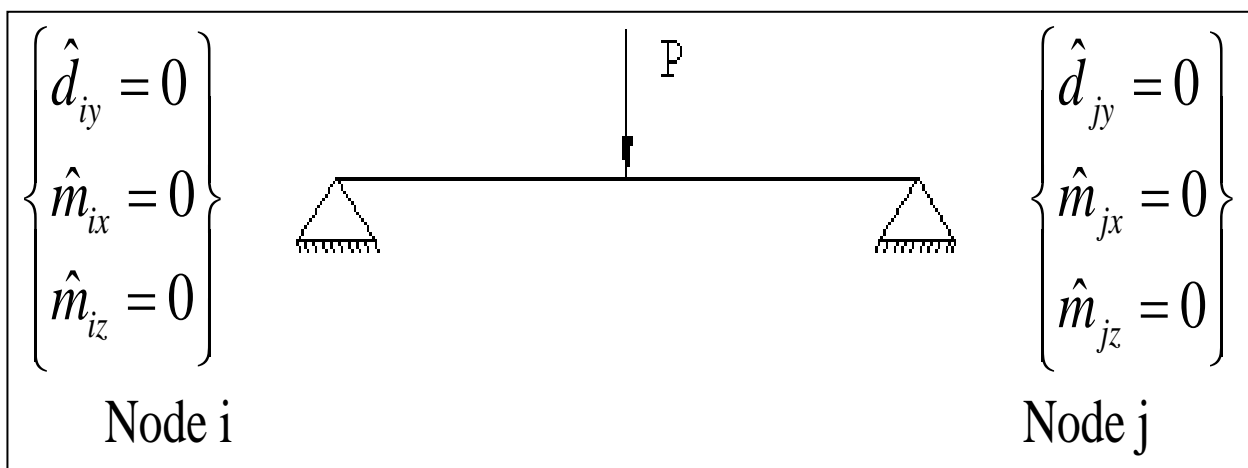
حاصل از یک کامیون

شکل ۱۱ کامیون حامل ۷ تن بار را نشان می‌دهد که نیروی فشاری معادل ۱۷۵۰۰ نیوتن در چهار نقطه از شناور وارد می‌کند. در این مثال نیز جواب‌های به دست آمده از دو نرم افزار برای تی بار شماره^۲۵ گریلاژ در شکل‌های ۱۲ و ۱۳ رسم و با هم مقایسه می‌شوند. در این تحلیل نیز جواب‌ها دقت بالایی دارند.

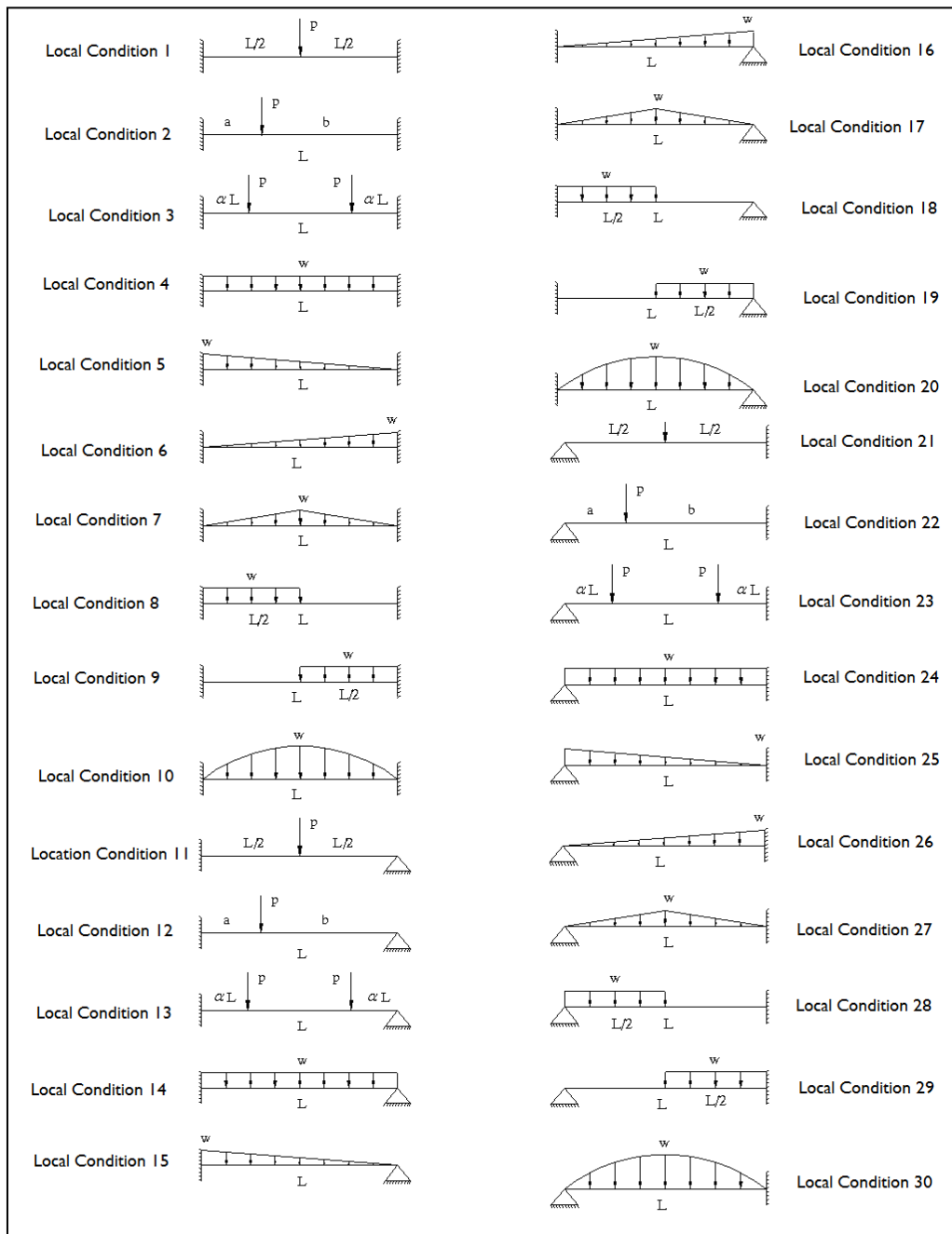
^۱ T_BAR 2
^۱ T_BAR 5



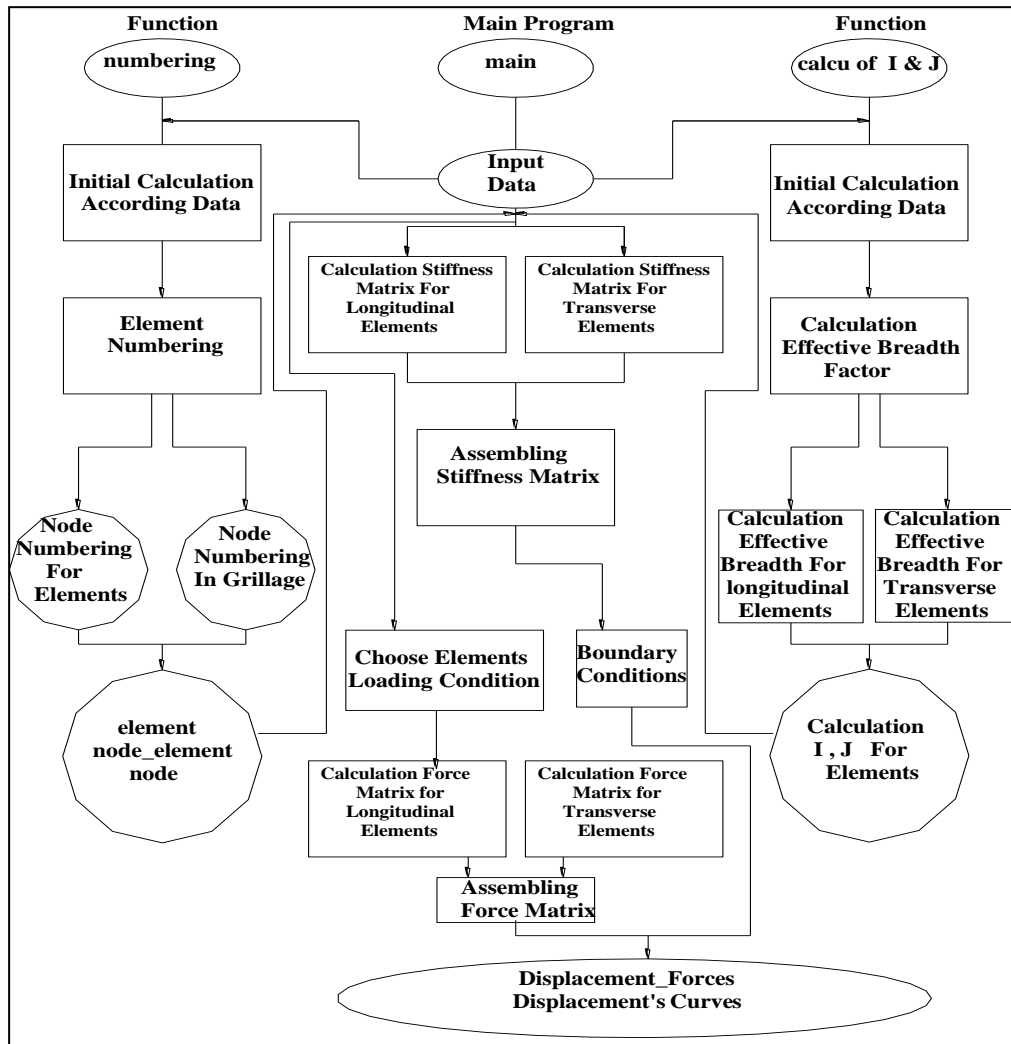
شکل ۴. شرایط مرزی ثابت یا گیردار



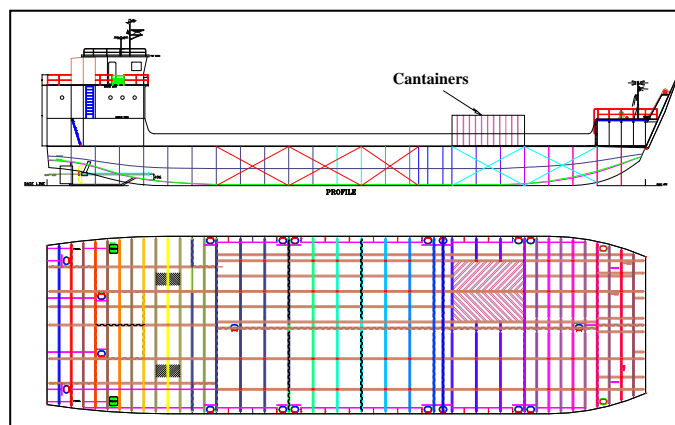
شکل ۵. شرایط مرزی ساده



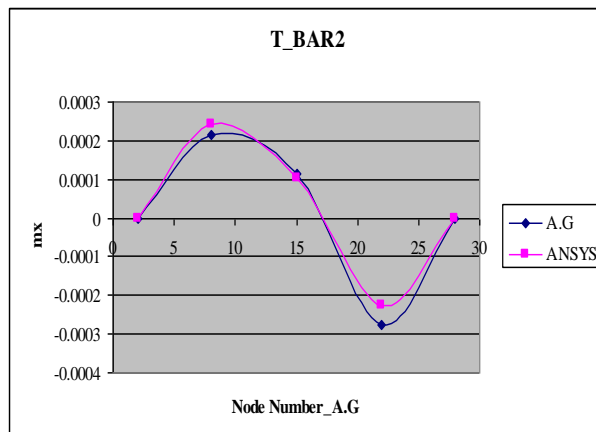
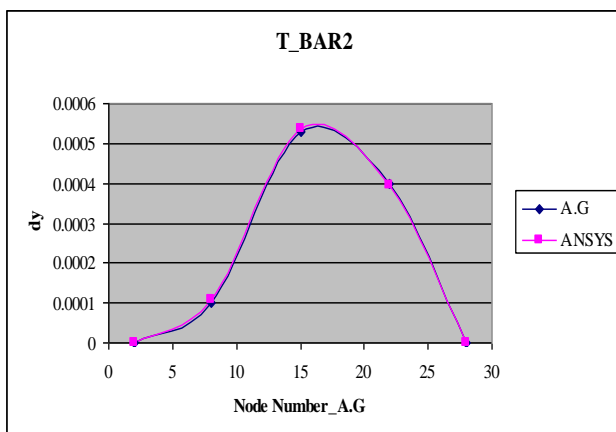
شکل ۶. انواع شرایط بارگذاری قابل انتخاب توسط نرم افزار



شکل ۷. الگوریتم نرم افزار

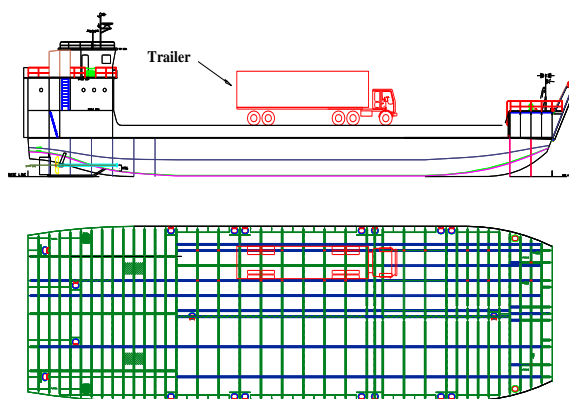


شکل ۸. جانمایی کلی و نما از عرشه شناور حامل کانتینر

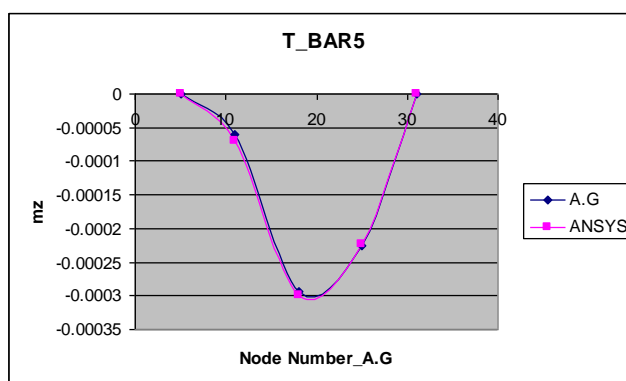
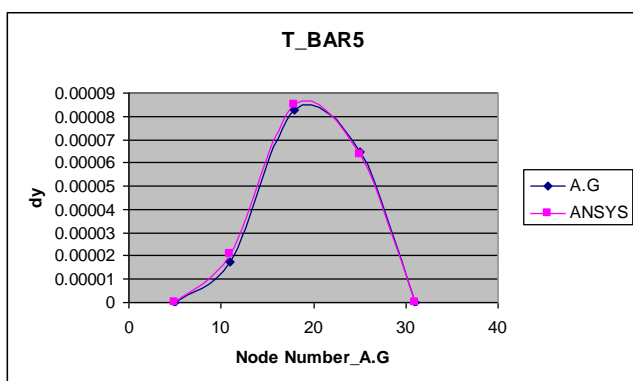


شکل ۱۰: مقایسه جابجایی به دست آمده در گره های مشخص در راستای y

شکل ۹: مقایسه ممان پیچشی به دست آمده در گره های مشخص در راستای x



شکل ۱۱: جانمایی کلی و نما از عرشه شناور حامل کامیون



شکل ۱۳: مقایسه جابجایی بدست آمده در گره های مشخص در راستای y

شکل ۱۲: مقایسه ممان پیچشی بدست آمده در گره های مشخص در راستای z

بارگیری شناور از عواملی است که در ایمنی آن در دریا و عمر سازه شناور از اهمیت ویژه ای برخوردار است. در

۴. بحث و نتیجه گیری

Grillages Chang, London, Royal Institution of Naval Architects, 109: R528

Chang, P. Y., 1968. A Simple Method for Elastic Analysis of Grillages, Journal of Ship Research, 12(2): 153-159

Chang, P. Y. and Pilkey, W. D., 1971. An Efficient, General Method for the Analysis of Grillages, Journal of Ship Research, 15: 164-171

Kerfoot, R. P., 1972. Analysis of grillages subjected to combined loads?, Fritz Laboratory Reports, Department of Civil and Environmental Engineering, Lehigh University, United States of America

Faulkner, D., Adamchak, J. C., Snyder, G. S. and Vetter, M. F., 1973. Synthesis of welded grillages to withstand compression and normal loads, Computers & Structures, 3(2):221-246

Beer, F. P., Johnston, E. R., Dewolf, J. T. and Mazurek, D. F., 2006. Mechanics of Materials, 5th Edition. McGraw-Hill. PP: 209-221, 762

Fujikubo, M., Yao, T., 2001. Structural modeling for global response analysis of VLFS, Marine Structures 14: 295-310

DNV. Rules for classification of ships, 1994. Part. 3 Section 14, chapter 1

Logan, D. L., 1992. A First course in the Finite Element Method, 2nd edition., PWS-KENT, PP:129-278

Stasa, F. L., 1986. Applied Finite Element Analysis for Engineers, third edition. CBS Publishing. Japan Ltd., PP: 56-156

DNV. Rules for classification of ships, 1999. Strength Analysis of Hull Structures in Tankers

برخی از شناورها دیده شده که عدم بارگیری مناسب باعث آسیب دیدن بخش‌هایی از سازه شده و به غرق شدن شناور می‌انجامد، نرم افزار تهیه شده می‌تواند راهنمای مناسبی جهت تحلیل سریع انواع بارگیری‌ها و محاسبات سازه‌ای باشد و از آن می‌توان در صنایع دریایی و کشتی سازی استفاده نمود.

در این نرم افزار که جهت تحلیل گریلاژها از روش اجزای محدود بهره گرفته شده، کاربران بر راحتی قادرند با وارد کردن داده‌های خواسته شده انواع گریلاژها را تحلیل نمایند. در تحلیل دو گریلاژ مختلف، محاسبات و مقایسه جواب‌های این نرم افزار با نرم افزار انسیس نشان می‌دهد که این نرم افزار بدون نیاز به تعریف و تعیین المان و در زمان بسیار کوتاهی قابلیت اندازه‌گیری جابجایی‌ها و ممان‌ها را با مشخص نمودن فاصله فریم‌ها، تی بارها، اندازه‌های بال، جان، ضخامت و اندازه و انتخاب نوع بارگذاری دارد.

جهت تکمیل و بهبود نرم افزار پیشنهاد می‌گردد شرایط بارگذاری با اعمال انواع نیروهای درون صفحه‌ای و دینامیکی یا معادل سازی آن‌ها با نیروهای استاتیکی تکمیل گردد.

منابع

Smith, C. S., B.Sc., Ph.D. 1967. Elastic Buckling and Beam-Column Behavior of Ship

Elastic Analysis of Plated Grillages in Ships' Structures using Finite Element Method

A. Mohammad Rahimi¹, M.R Khedmati^{2*}

1. Department of Shipbuilding, Faculty of marine engineering, Chabahar Maritime University

2. Department of Marine Technology, Amirkabir University of Technology

ABSTRACT

Grillages consisting of intersecting beams are supporting shell structures of the ships in different places such as bottom, deck and sides. Different methods available for strength analysis of plated grillages are studied from the viewpoints of characteristics and limitations. Finally, the way to assess the strength of such structural elements is investigated. This study is based on preparation of a software for analysing the grillages. Using the software, it is possible to analyse grillages used in the ships' structures for any type of boundary and loading conditions that are simply selectable by users. Getting the required input data from the user, elastic deflections and stresses induced as a result of applying concentrated or distributed loads are calculated at the intersections of the longitudinal and transverse members, relieving the need to complicated numerical calculations. To corroborate the accuracy of prepared software results, two models of plated grillages are analysed and comparing the results confirms that.

Keywords: Plated Grillage, Finite Element Method, Modelling, Elastic Analysis.

*Corresponding Author's E-mail: khedmati@aut.ac.ir