

مطالعه عددی اثرات حرکات کشتی بر روی مشخصه‌های استاتیکی و

ارتعاشی دکل

حمیدرضا رستمی*	وحدت پیروزرام	فیروز بختیاری نژاد	جواد اروجی
دکتری تخصصی، دانشکده مهندسی دریا، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ایران h.rostami@aut.ac.ir	کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، تهران، ایران vahdat.com@gmail.com	استاد، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی امیر- کبیر، تهران، ایران baktiari@aut.ac.ir	دانشجوی دکتری تخصصی، دانشکده مهندسی دریا، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ایران javad.orooji@aut.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۲/۲۶

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۵/۲۶

چکیده

مطالعه استاتیکی به همراه ارتعاشی دکل یک شناور سطحی در این مقاله مورد بررسی قرار گرفته است. طراحی دکل مخابراتی یک کشتی از نقطه نظر سازه‌ای جهت نصب انواع آنتن‌ها و رادارهای مورد نیاز، از مهم‌ترین موضوعات در طراحی یک کشتی به حساب می‌آید. از همین رو، در تحلیل انجام شده دکل مخابراتی به همراه عرشه کشتی مدل شده است. بعد از بررسی دکل و عرشه در حالت استاتیک و محاسبه تغییر شکل‌ها و تنش‌ها، با توجه به حرکات کشتی در دریا، نیروهای ناشی از آن به تحلیل اضافه شده و اثرات حاصل شده بر روی تنش‌ها و جابه‌جایی‌های دکل برآورد شده است. لازم به ذکر است که در این تحلیل شتاب‌های خطی به صورت نیروی گرانش، شتاب‌های دورانی به صورت نیروی حجمی دورانی به سازه دکل و وزن رادار به صورت نیروی متمرکز بر آن اعمال گشته‌اند. پس از آن، تحلیل فرکانسی انجام و مودهای مختلف نوسان سازه دکل استخراج گردیده است. نتایج نشان می‌دهد که در طراحی دکل‌ها، علاوه بر در نظر گرفتن پارامترهای طراحی خود دکل (نظیر شرایط مرزی، بار اعمالی، نحوه قرارگیری اعضا)، مکان مورد استفاده آنها نیز باید مورد توجه قرار گیرد. استفاده از دکل‌ها در عرشه شناورها موجب شد که فاکتور ایمنی به طرز چشمگیری کاهش یابد. همچنین، شاهد پدیده‌های مختلفی همچون خستگی در اعضا به ویژه محل اتصال به عرشه باشیم که می‌تواند در دراز مدت آثار بسیار مخربی داشته باشد و باعث کاهش طول عمر سازه گردد. بنابراین، در طراحی دکل‌های سازه‌های شناور دریایی، باید فاکتورهای ایمنی بیشتری منظور و به‌طور ویژه‌ای به حرکات جانبی شناور اهمیت داده شود.

واژگان کلیدی: دکل، دکل مخابراتی، حرکات کشتی، تحلیل استاتیکی، تحلیل ارتعاشی

۱. مقدمه

تحلیل مسائل مهندسی از گذشته‌های دور دغدغه اصلی مهندسين و محققين بوده و به همين دليل طی سال‌های متمادی همواره روش‌های مختلفی برای تحلیل مسائل مطرح شده است. روش‌های تحلیلی و روش‌های عددی از جمله روش‌هایی هستند که برای بررسی مسائل از آنها استفاده می‌شود. روش‌های تحلیلی برای هر نوع مسئله دلخواهی در دسترس نبوده و از این رو در بسیاری موارد روش‌های عددی جایگزین می‌شوند.

به عنوان پرکاربردترین روش‌های عددی در مکانیک می‌توان به روش المان محدود، روش المان مرزی و روش تفاضل محدود اشاره کرد. در طول سالیان گذشته، روش المان محدود بسیار گسترش پیدا کرده و به عنوان پرکاربردترین روش عددی، در بررسی و تحلیل مسئله‌های رشته‌های گوناگون مهندسی مورد استفاده قرار گرفته است. به‌طور کلی هدف اصلی در روش اجزای محدود، یافتن حل یک مسأله پیچیده از طریق جایگزینی آن با یک مدل ساده‌تر است و هنگامی که مسأله واقعی با مدل ساده‌تری برای یافتن حل آن جایگزین گردید، حل تقریبی آن امکان‌پذیر خواهد بود. به عنوان یکی از مزیت‌های روش اجزای محدود، می‌توان به اصلاح حل تقریبی و بهبود آن با صرف محاسبات کامپیوتری بیشتر اشاره نمود. در این روش، ناحیه حل به صورت مجموعه‌ای از زیر ناحیه‌های کوچک متصل به هم به نام المان‌های محدود در نظر گرفته می‌شود. مرور کامل ادبیات فن برای روش‌های عددی با توجه به توسعه آن خارج از حوصله این مقاله است. در اینجا تنها چند نمونه از سیر تکاملی برای مسائل اجزای محدود ارائه می‌شود. در سال ۱۹۴۳ روش مشابه روش اجزای محدود برای اولین بار توسط کورانت^۱ در مباحث ریاضی کاربردی ارائه گردید که در آن از توابع دارای پیوستگی تکه‌ای که روی نواحی مثلثی تعریف می‌شوند استفاده شده است [۱].

یکی از مهم‌ترین اجزا سازه‌ای شناورها، عرشه آنها است. عرشه به دلیل موقعیت خود نسبت به محور خنثی مقطع کشتی، بارگذاری‌های خمشی و برشی بسیاری را تحمل می‌کند. همچنین، عرشه برای خیلی از اجزا مختلف شناور نقش تکیه‌گاه را دارد و اتصالات بسیار زیادی با آن در ارتباط است. با مورد توجه قرار دادن این ملاحظات، لازم است عرشه شناورها از لحاظ ایمنی در وضعیت مناسبی قرار داشته باشند. از همین رو نحوه اتصال اجزا مختلف به عرشه اهمیت پیدا کرده و این اهمیت در مورد سازه‌های بلند بیشتر خواهد بود. از اجزای متصل به عرشه می‌توان به انواع سازه‌های خرپایی اشاره نمود. از جمله این نوع سازه‌ها می‌توان به انواع دکل‌های مربوط به تجهیزات ناوبری، جرتقیل‌ها، تجهیزات شناورهای لوله‌گذار و نیز شناورهای لایروبی اشاره نمود. این سازه‌های خرپایی که بر روی عرشه قرار می‌گیرند و گیرداری آنها با عرشه از طریق جوشکاری ایجاد می‌شود، می‌توانند منشاء تنش‌های پسماند در عرشه و همچنین تمرکز تنش در محل اتصال باشند که منجر به آسیب‌های خستگی و شکست در محل اتصال گردد. از این رو طراحی این نوع اتصالات هم به لحاظ تأمین کاربری، هم به لحاظ تأمین یکپارچگی سازه‌ای خود آنها و همچنین عرشه اهمیت زیادی دارد.

دسته‌ای از خرپاها، به منظور پایه اجزا مخابراتی در شناورها مورد استفاده قرار می‌گیرند. در چنین مواردی، خرپاها در ارتفاع‌های بالایی قرار دارند و جانمایی آنتن‌ها باعث وارد شدن بارهای زیادی به آنها می‌شود. این نیروها گشتاورهای زیادی را نیز به عرشه‌های بالایی و به تبع آن به عرشه اصلی شناور وارد می‌کنند. پس در طراحی این سازه‌ها، علاوه بر لحاظ کردن اثر وزن خود سازه و تجهیزات آن که بر روی آنها قرار می‌گیرند، اثر گشتاورهای وارده از طرف آنها به عرشه‌های زیرین نیز بایستی لحاظ شود.

۲. تئوری

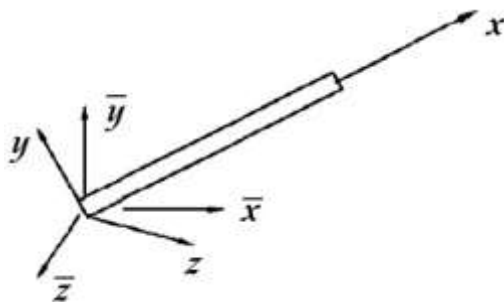
سازه دکل را می‌توان به صورت خرپا که توانایی تحمل نیروهای کششی و فشاری را دارند، مدل کرد. خرپاها را در یک دسته‌بندی می‌توان به گونه‌های خرپای یک، دو و سه بعدی تقسیم نمود. در این بخش، در ابتدا مدل‌بندی ریاضی دکل‌ها توسط استفاده از خرپای سه بعدی با استفاده از روش اجزای محدود ارائه می‌گردد. این نوع از خرپاها شامل شبکه‌ای از اعضا و اتصالاتند که روی هم حجمی را دربر گرفته و در امتداد هر سه محور مختصات امتداد یافته‌اند.

ماتریس سختی المان بر حسب سیستم مختصات کارترین، که محورها در امتداد عضو هستند، برای عضو خرپای فضایی برابر است با:

$$[K^e] = \frac{EA}{l} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (1)$$

E ، A و l به ترتیب مدول الاستیسیته مساحت سطح مقطع و طول عضو هستند. برای درجات آزادی گرهای:

$$\{d^e\} = \{u_1 \ v_1 \ w_1 \ u_2 \ v_2 \ w_2\} \quad (2)$$



شکل ۱. المان خرپای سه بعدی.

چیانگ و زینکوویچ^۲ در سال ۱۹۶۷ تفسیر گسترده‌ای از این روش و قابلیت به‌کارگیری آن برای هر مسئله عمومی میدان ارائه دادند [۲]. توسط چنین تفسیری از روش اجزای محدود روشن شد که معادلات اجزای محدود را می‌توان با استفاده از روش باقی‌مانده‌های وزنی مانند روش گلرکین یا روش حداقل مجذورات استخراج نمود. در ادامه توسعه روش، پرزمینیسکی^۳ کاربرد روش اجزای محدود را برای حل مسائل تحلیل تنش ارائه نمود [۳]. با توجه به پیشرفت‌های انجام شده، امروزه روش اجزای محدود از سوی مهندسان و دانشمندان به عنوان یکی از ابزارهای مناسب تحلیل در رشته‌های مختلف در نظر گرفته می‌شود [۴-۸]. در طول سالیان متمادی، انواع خرپا با کاربردهای متفاوت و در حوزه‌های کاربردی مختلف مورد آنالیزهای استاتیکی و ارتعاشی قرار گرفته است که برخی از آنها را می‌توان در مراجع [۹-۱۶] یافت.

دکل‌ها یکی از اجزاء سازه‌ای مهم در شناورها هستند که تجهیزات مختلف راداری و مخابراتی روی آنها می‌تواند بر روی کارایی تجهیزات تأثیرگذار باشد. از این‌رو در تحقیق حاضر، سازه‌ی دکل مخابراتی یک نمونه کشتی با روش اجزای محدود و به‌کارگیری نرم‌افزار انسیس^۴ تحلیل شده است. با محاسبه نیروها و گشتاورهای وارد به سازه می‌توان تنش‌های ناشی از آنها در عرشه‌ی کشتی را محاسبه نمود. همچنین با محاسبه فرکانس‌های طبیعی و شکل مودها، رفتار ارتعاشی سازه تحت بررسی قرار می‌گیرد. علاوه بر این، با مدل کردن دکل بر روی عرشه کشتی، اهمیت مکان کاربری دکل مورد کاوش قرار خواهد گرفت. به‌ویژه در مورد شناورها این نکته ممکن است اهمیت ویژه‌تری داشته باشد زیرا شناور در دریا تحت تأثیر امواج مختلف قرار دارد.

که $\{\xi_1 \ \eta_1 \ \zeta_1\}$ کوسینوس جهت محور \bar{x} نسبت به سیستم مختصات xyz است. به طور مشابه، $\{\xi_2 \ \eta_2 \ \zeta_2\}$ و $\{\xi_3 \ \eta_3 \ \zeta_3\}$ به ترتیب، کوسینوس جهت محورهای \bar{y} و \bar{z} نسبت به سیستم مختصات xyz هستند. با انجام ضرب ماتریس‌ها داریم:

که u ، v و w جابه‌جایی‌ها هستند، ماتریس تبدیل میان دو سیستم مختصات شکل ۱ به صورت زیر به دست می‌آید:

$$[T] = \begin{bmatrix} \xi_1 & \xi_2 & \xi_3 & 0 & 0 & 0 \\ \eta_1 & \eta_2 & \eta_3 & 0 & 0 & 0 \\ \zeta_1 & \zeta_2 & \zeta_3 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \xi_1 & \xi_2 & \xi_3 \\ 0 & 0 & 0 & \eta_1 & \eta_2 & \eta_3 \\ 0 & 0 & 0 & \zeta_1 & \zeta_2 & \zeta_3 \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$[\bar{K}^e] = \frac{EA}{l} \begin{bmatrix} \xi_1^2 & \xi_1\xi_2 & \xi_1\xi_3 & -\xi_1^2 & -\xi_1\xi_2 & -\xi_1\xi_3 \\ \xi_1\xi_2 & \xi_2^2 & \xi_2\xi_3 & -\xi_1\xi_2 & -\xi_2^2 & -\xi_2\xi_3 \\ \xi_1\xi_3 & \xi_2\xi_3 & \xi_3^2 & -\xi_1\xi_3 & -\xi_2\xi_3 & -\xi_3^2 \\ -\xi_1^2 & -\xi_1\xi_2 & -\xi_1\xi_3 & \xi_1^2 & \xi_1\xi_2 & \xi_1\xi_3 \\ -\xi_1\xi_2 & -\xi_2^2 & -\xi_2\xi_3 & \xi_1\xi_2 & \xi_2^2 & \xi_2\xi_3 \\ -\xi_1\xi_3 & -\xi_2\xi_3 & -\xi_3^2 & \xi_1\xi_3 & \xi_2\xi_3 & \xi_3^2 \end{bmatrix} \quad (4)$$

ماتریس جرم برای المان خریای سه بعدی نیز برابر می‌شود با:

درجات آزادی المان متناظر برابر هستند با:

$$\{\bar{d}^e\} = \{\bar{u}_1 \ \bar{v}_1 \ \bar{w}_1 \ \bar{u}_2 \ \bar{v}_2 \ \bar{w}_2\} \quad (5)$$

$$[\bar{M}^e] = \frac{\rho Al}{6} \begin{bmatrix} 2\xi_1^2 & 2\xi_1\xi_2 & 2\xi_1\xi_3 & \xi_1^2 & \xi_1\xi_2 & \xi_1\xi_3 \\ 2\xi_1\xi_2 & 2\xi_2^2 & 2\xi_2\xi_3 & \xi_1\xi_2 & \xi_2^2 & \xi_2\xi_3 \\ 2\xi_1\xi_3 & 2\xi_2\xi_3 & 2\xi_3^2 & \xi_1\xi_3 & \xi_2\xi_3 & \xi_3^2 \\ \xi_1^2 & \xi_1\xi_2 & \xi_1\xi_3 & 2\xi_1^2 & 2\xi_1\xi_2 & 2\xi_1\xi_3 \\ \xi_1\xi_2 & \xi_2^2 & \xi_2\xi_3 & 2\xi_1\xi_2 & 2\xi_2^2 & 2\xi_2\xi_3 \\ \xi_1\xi_3 & \xi_2\xi_3 & \xi_3^2 & 2\xi_1\xi_3 & 2\xi_2\xi_3 & 2\xi_3^2 \end{bmatrix} \quad (6)$$

که $[A]$ یک عملگر است که وظیفه مونتاژ را بر عهده دارد و N تعداد کل المان‌ها است. دینامیک سازه به مطالعه رفتار سازه تحت بارهای اعمالی بر آن می‌پردازد. این کار شامل تحلیل‌های استاتیکی و دینامیکی به منظور تعیین پاسخ سازه تحت بارهای اعمالی است. به طور کلی معادلات دینامیکی به صورت زیر نوشته می‌شود:

$$[M]\{\ddot{u}\} + [D]\{\dot{u}\} + [K]\{u\} = \{F\} \quad (8)$$

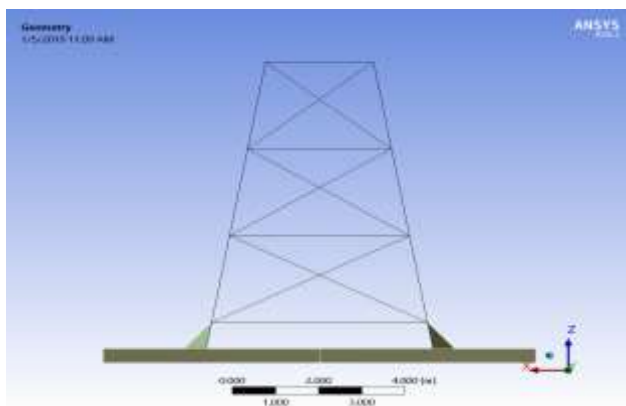
که ρ چگالی است. پس از تبدیل یک سازه به سیستمی از المان‌های محدود و تعیین ماتریس‌های سختی و جرم و بردار نیروی المان، در نهایت با مونتاژ کردن آنها، ماتریس‌ها و بردار کلی سازه به دست خواهد آمد. بنابراین خواهیم داشت:

$$K = A_{e=1}^N \bar{K}^e, \quad M = A_{e=1}^N \bar{M}^e, \quad F(t) = A_{e=1}^N \bar{F}^e(t) \quad (7)$$

با محاسبه نیروها و گشتاورهای وارد به سازه می‌توان تنش‌های ناشی از آنها در عرشه کشتی را محاسبه نمود. همچنین با محاسبه فرکانس‌های طبیعی و شکل مودها، رفتار ارتعاشی سازه را تحت بررسی قرار داد. لازم به ذکر است که این تحقیق شامل سازه دکل مخابراتی به همراه بخشی از سازه عرشه رو باز شناور که نقش یک سکو می‌نماید به همراه شاه‌تیرها و تیرچه‌های تقویتی طولی واقع در آن مدل شده است. از طرفی هنگامی که یک کشتی در دریا حرکت می‌کند، تحت تأثیر نیروهای ناشی از امواج قرار دارد باعث بروز اثرات مخرب بر سازه کشتی، خدمه و تجهیزات می‌شود بنابراین یکی دیگر از اهداف این تحقیق بررسی حرکات کشتی بر سازه دکل آن است.

۳-۱. تشریح مسئله

دکل مدل‌سازی شده مورد بحث، یک دکل مخابراتی است که بر روی آن تجهیزاتی مانند آنتن و رادار نصب می‌گردد. شکل ۲ پیکربندی این دکل را بر روی عرشه کشتی را نشان می‌دهد. در این پژوهش، فرض شده است که چهار آنتن مخابراتی نصب شده در بالاترین ارتفاع دکل در مجموع باری برابر با ۳۲۰۰۰۰ نیوتن به صورت چهار بار متمرکز ۸۰۰۰۰ نیوتنی بر روی چهار راس مربع طبقه فوقانی دکل اعمال می‌کنند. همچنین هر چهار پایه‌ی دکل در پایین‌ترین نقطه خود کاملاً مهار شده‌اند.



شکل ۲. نماهای ایزومتریک از پیکربندی مدل‌سازی دکل بر روی عرشه‌ی کشتی

بردارهای جابه‌جایی، سرعت و شتاب، و $[M]$ ، ماتریس جرم سازه، $[D]$ ، ماتریس میرایی، $[K]$ ماتریس سختی هستند. معادله بالا با استفاده از روش المان محدود حل می‌شود. در واقع برای حل معادلات دیفرانسیل بر مسئله به همراه شرایط مرزی، چاره‌ای جز گسسته‌سازی مسئله و تبدیل به تعداد اجزا مشخص نیست. با حل این معادله، در نهایت جابه‌جایی سازه در تمامی نقاط به دست می‌آید.

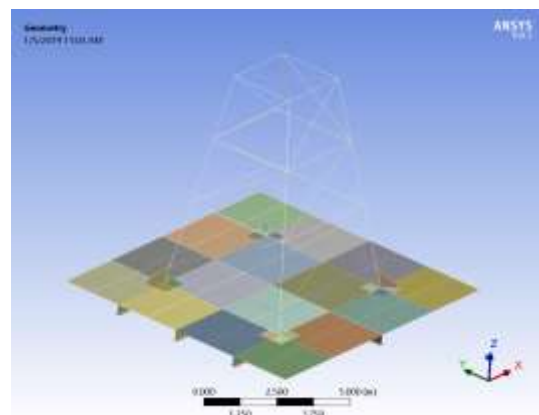
به‌طور کلی، از آنالیز مودال به منظور تعیین مشخصات ارتعاشی سازه‌ها استفاده می‌شود. تحلیل مودال و موشکافی فرکانس‌های طبیعی و شکل مودها جزء یکی از پارامترهای بسیار ضروری طراحی، به ویژه برای سازه‌هایی که تحت بارهای دینامیکی قرار دارند، به حساب می‌آید. با صرف‌نظر از ماتریس میرایی، در نهایت فرکانس‌های طبیعی و شکل مودها با حل مسئله مقدار ویژه زیر به دست می‌آیند.

$$(-\omega^2([M]) + [K])\{\psi\} = 0 \quad (9)$$

که $\{\psi\}$ بردارهای ویژه (شکل مودها) متناسب با مقادیر ویژه (فرکانس‌های طبیعی ω) هستند.

۳. جزئیات حل

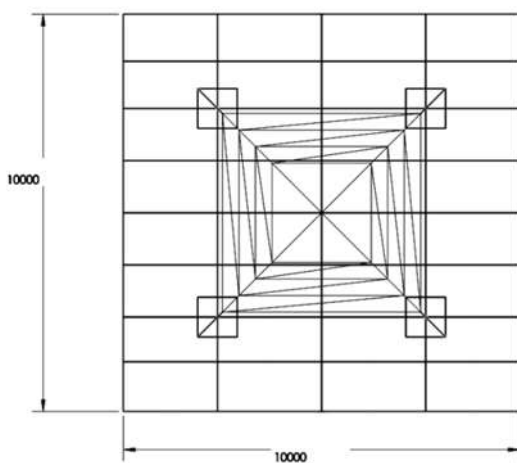
در تحقیق حاضر، سازه‌ی دکل مخابراتی یک نمونه کشتی با روش اجزای محدود و به‌کارگیری نرم‌افزار انسیس تحلیل شده است.



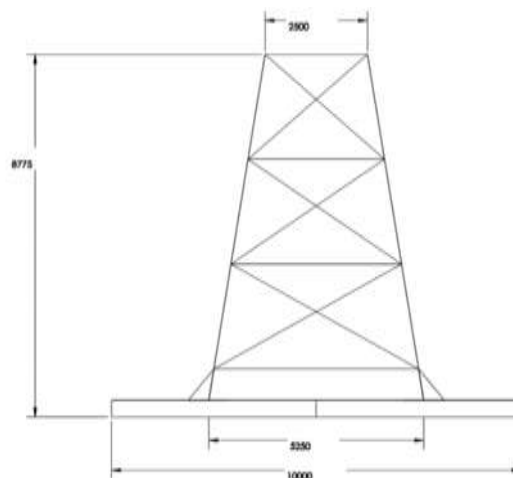
۲-۳. مشخصات هندسی و ابعادی دکل

همان‌طور که در شکل ۳ دیده می‌شود، ابعاد ورق سکویی که دکل بر روی آن قرار گرفته به صورت یک مربع به ضلع ۱۰ متر با ضخامت ۱۰ میلی‌متر است. همچنین به منظور تقویت ورق فوق و جلوگیری از تمرکز تنش در زیر پایه‌های اصلی دکل مخابراتی از ۴ عدد ورق تقویتی دوپل با ضخامت ۲۰ میلی‌متر و ابعاد ۴۰×۴۰ سانتی‌متر بهره برده شده است.

موقعیت دقیق قرارگیری دکل مخابراتی و ورق‌های تقویتی دوپل بر روی عرشه کشتی در شکل ۳ مشخص است.



بنابر حالت نیرویی که در قسمت قبل بیان شد، می‌خواهیم میزان تغییر شکل استاتیک، تنش ایجاد شده، ضریب اطمینان سازه و فرکانس‌های طبیعی سازه را به دست آوریم. با توجه به اینکه دکل مخابراتی و تأثیر بارهای آن بر سازه کشتی به صورت محلی است با انتخاب درست محدوده‌ای از سازه کشتی می‌توان اثرات آن را محاسبه و تحلیل کرد. بنابراین سازه دکل به همراه تنها بخشی از عرشه کشتی در مدل اجزای محدود در نظر گرفته می‌شود. مدل ساده‌سازی شده هندسه و پیکربندی مجموعه دکل و عرشه در شکل ۳ نمایش داده شده است.



شکل ۳. مشخصات هندسی و ابعادی دکل

تیرهای مذکور از جنس فولادی بوده و دارای مدول الاستیسیته ۲۰۷ گیگاپاسکال و ضریب پواسون ۰/۳ هستند.

تیرهای تشکیل‌دهنده سازه دکل مخابراتی مورد بحث از نوع پروفیل لوله بوده که مشخصات هر یک از آنها در جدول ۱ آورده شده است.

جدول ۱. مشخصات تیرهای سازه خریا

مشخصات	نوع پروفیل	محل استفاده	ردیف
۲ اینچ - رده ۴۰، فولادی	لوله	تیر اصلی	۱
۱-۱/۴ اینچ - رده ۱۰، فولادی	لوله	تیر تقویتی	۲

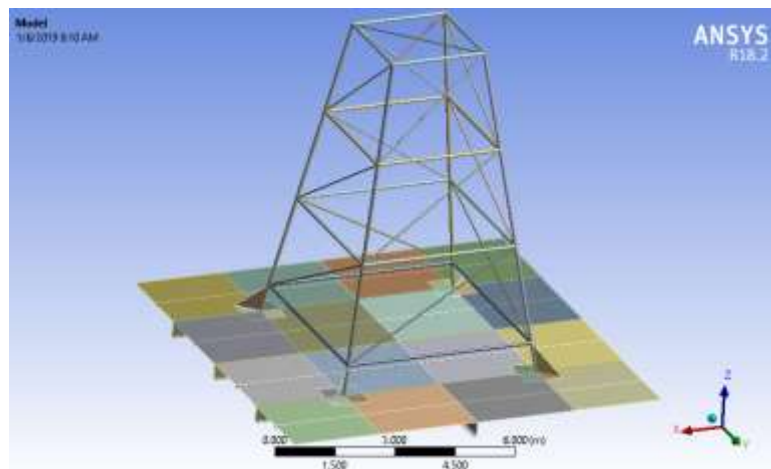
بازوهای خریایی اصلی و ثانویه سازه دکل از المان Beam بهره برده شده است. در اشکال قبل مشخصات

در مدل‌سازی المان محدود شاه‌تیرها، براکت‌ها و ورق‌های عرشه و تقویتی‌های دوپل از المان Shell و به منظور مدل‌سازی تیرچه‌های تقویتی روی عرشه و همچنین

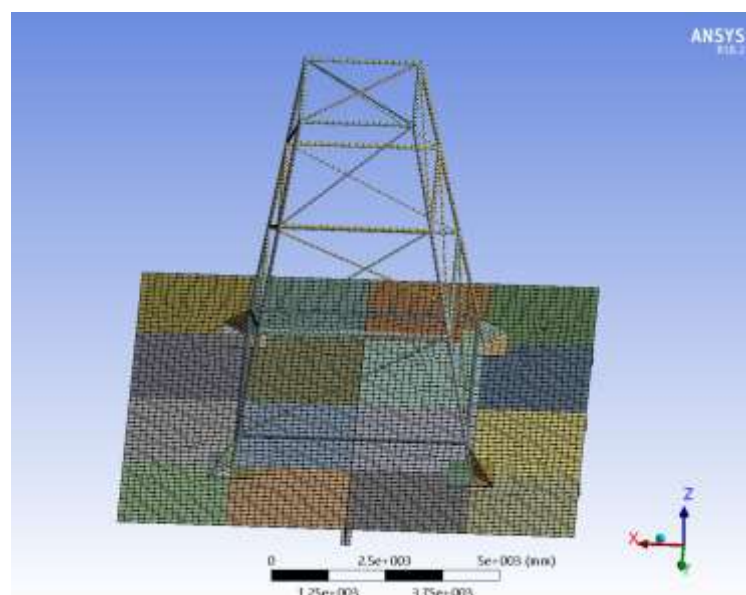
۳-۳. مش بندی سازه

در شکل ۴ نمایی از مجموعه دکل مخابراتی به همراه سازه عرشه و تقویت کننده های شبیه سازی شده نمایش داده شده است. همان طور که پیش تر گفته شد، به منظور شبیه سازی این مدل هندسی در نرم افزار ورکبنچ انسیس^۵ ترکیبی از المان های Beam و Shell مورد استفاده قرار گرفته است. در ادامه به مش بندی مدل ساخته شده در نرم افزار پرداخته می شود. در شکل ۵ نمایی کلی از مش بندی مدل هندسی شبیه سازی شده در نرم افزار انسیس نشان داده شده است.

هندسی و ابعادی براکت های تقویت کننده ی پایه های اصلی دکل بر روی ورق های تقویتی دابل آورده شده است. این براکت ها (به تعداد ۴ عدد، ۱ عدد به ازای هر یک پایه) با ضخامت ۱۰ میلی متر و زاویه ی ۴۵ درجه نسبت به محورهای X و Y نقش تقویت کننده را برای هر یک از پایه های قرار گرفته بر روی عرشه ایفا می کنند. ضلع عمودی براکت های مذکور به پایه دکل جوش داده شده است و ضلع افقی آن به ورق تقویتی دابل واقع در زیر پایه دکل اتصال یافته است.



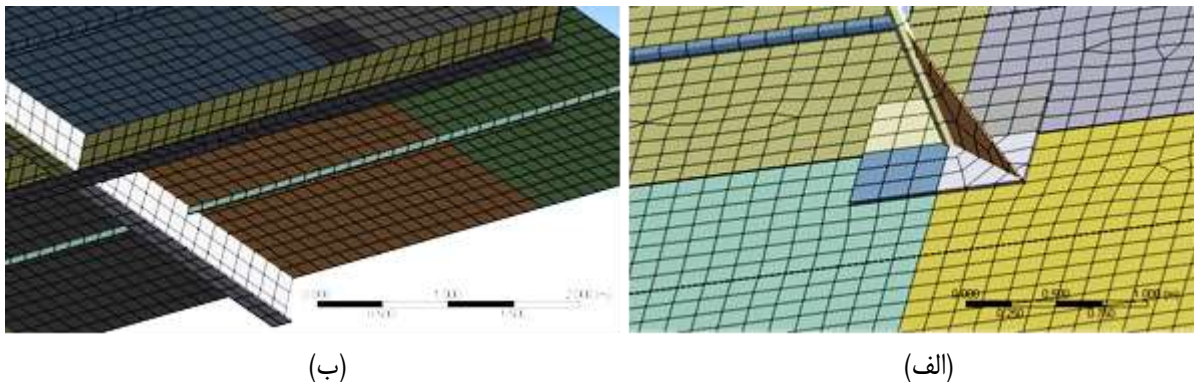
شکل ۴. دکل و عرشه مدل سازی شده در نرم افزار انسیس



شکل ۵. نمایی کلی از مش بندی

شده است. همچنین در این شکل، مش بندی شاه تیرهای طولی و عرضی و تیرچه های تقویتی طولی عرشه ارائه شده است.

به منظور بررسی دقیق تر جزئیات مش بندی مدل هندسی تهیه شده در نمایی نزدیک از جزء بندی ورق عرشه، تقویتی دابل، براکت و پایه ی اصلی دکل در شکل ۶ نمایش داده



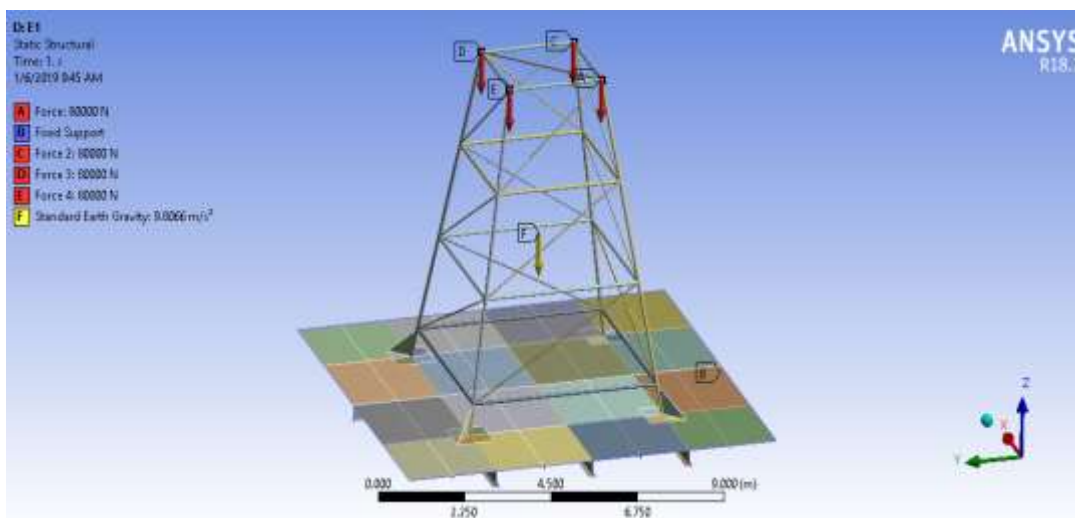
شکل ۶. الف) مش بندی ورق عرشه، تقویتی دابل، براکت و پایه اصلی دکل، و ب) مش بندی شاه تیرهای طولی و عرضی و تیرچه های تقویتی طولی عرشه.

عدد بار متمرکز به سازه اعمال شده است. مقدار بارهای متمرکز اعمالی از شکل ۷ قابل مشاهده است. علاوه بر این در تحلیل سازه ای وزن خود دکل نیز توسط نرم افزار تخمین زده شده و در محاسبات با شتاب جاذبه ی $9/81$ در نظر گرفته شده است.

۴. نتایج و بحث

۴-۱. تحلیل استاتیکی

برای اعمال شرایط مرزی پایه های سازه به صورت کامل ثابت شده اند. بار بخش هایی از سازه که مدل نشده یعنی آنتن های مخابراتی قرار گرفته بر روی دکل به صورت ۴



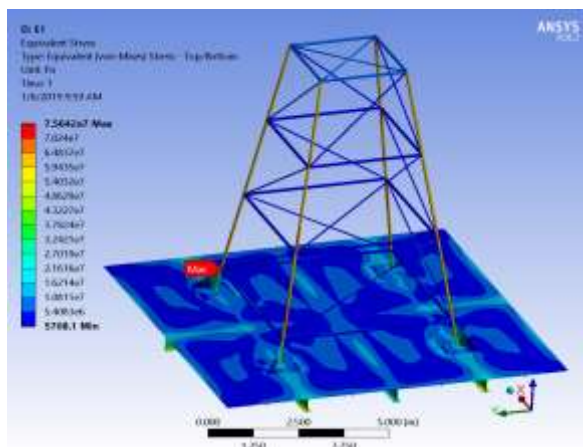
شکل ۷. نمایش نیروهای وارد بر سازه

مورد نظر محاسبه شده و از آنجایی که میزان تنش ایجاد شده در قطعه کمتر از استحکام نهایی ماده است، می‌توان ضریب اطمینان بالایی را برای سازه پیش‌بینی کرد که در شکل ۱۰ می‌توان دید.

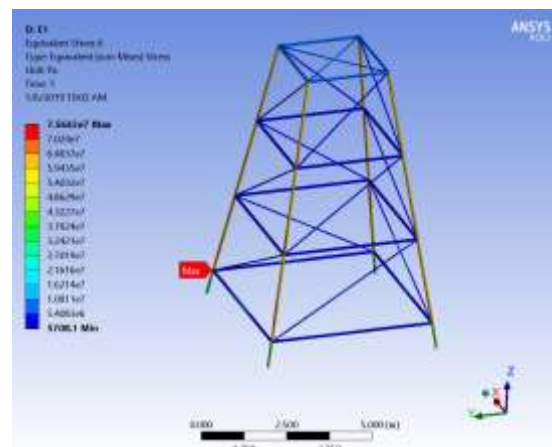
از نتایج ارائه شده به وضوح مشخص است که ماکزیمم تنش و کرنش در انتهای تیرهای اصلی رخ داده است اما این میزان تنش از مقدار استحکام نهایی ماده مورد استفاده کمتر است و قطعه تحت بار استاتیک اعلام شده دچار شکست نخواهد شد. از طرفی تغییر شکل سازه نیز بسیار کوچک است.

در اولین گام به بررسی تنش‌های محاسبه شده در شکل ۸ می‌پردازیم. همان‌طور که در شکل مذکور مشاهده می‌شود مقدار بیشینه تنش در نقاط انتهایی شاه‌تیرهای طولی و عرضی عرشه یعنی محل قرارگیری لچکی تیر اصلی واقع شده است (مقدار ۷۵/۶ مگاپاسکال).

شکل ۹ وضعیت توزیع مقادیر تنش در شاه‌تیرهای تقویتی عرشه را نشان می‌دهد که ماکزیمم مقدار برابر ۶۵/۳ مگاپاسکال در انتهای تیرها است. حداکثر تغییر شکل سازه نیز در حدود ۵/۵ میلی‌متر به دست آمده که در شکل ۱۰ نمایش داده شده است. ضریب اطمینان نیز برای قطعه

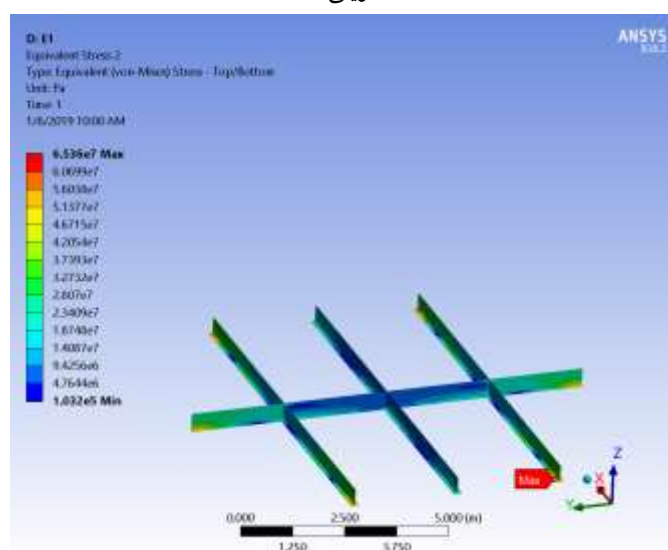


(ب)

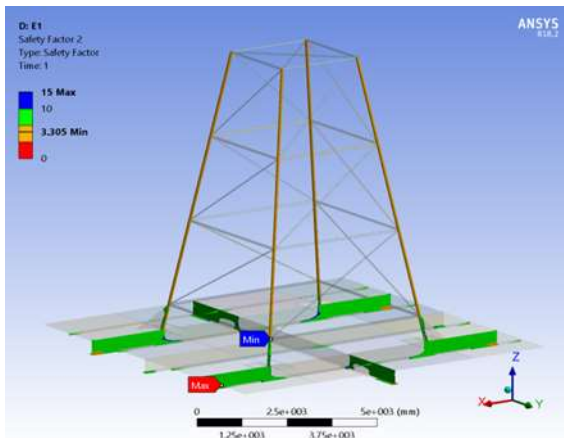


(الف)

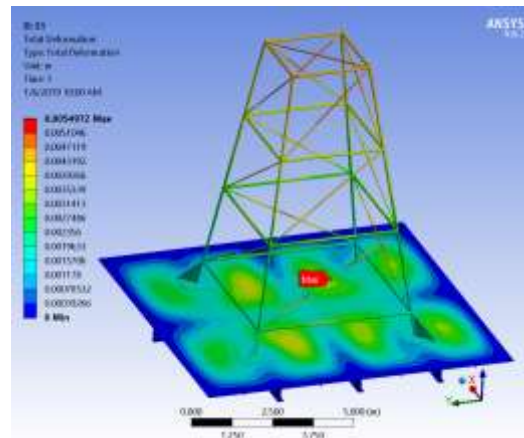
شکل ۸. الف) تنش فون مایز در سازه (ب) نمای کانتوری مقادیر تنش فون مایز در سازه‌ی اصلی دکل با احتساب سازه‌ی عرشه و تقویتی‌ها



شکل ۹. وضعیت توزیع مقادیر تنش در شاه‌تیرهای تقویتی عرشه



(ب)



(الف)

شکل ۱۰. الف) کانتور مقدار تغییر شکل‌های ناشی از اعمال بار بر مجموعه دکل و سازه عرشه و ب) نمایش ضریب اطمینان بر روی مجموعه دکل و عرشه

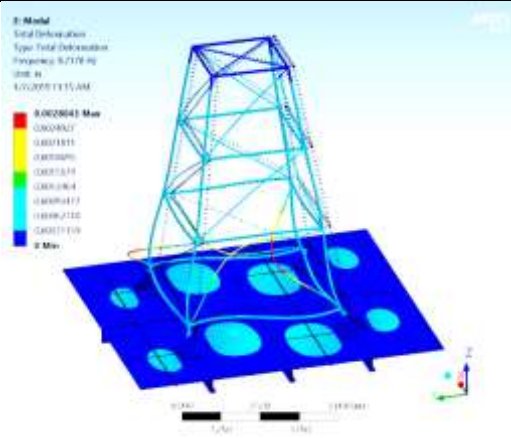
و Pitch به قسمت عرشه کشتی اعمال شده و بررسی تأثیر حضور این نیروها بر مقادیر تنش، کرنش و تغییر شکل و مقایسه آن با حالت سکون کشتی پرداخته شده است.

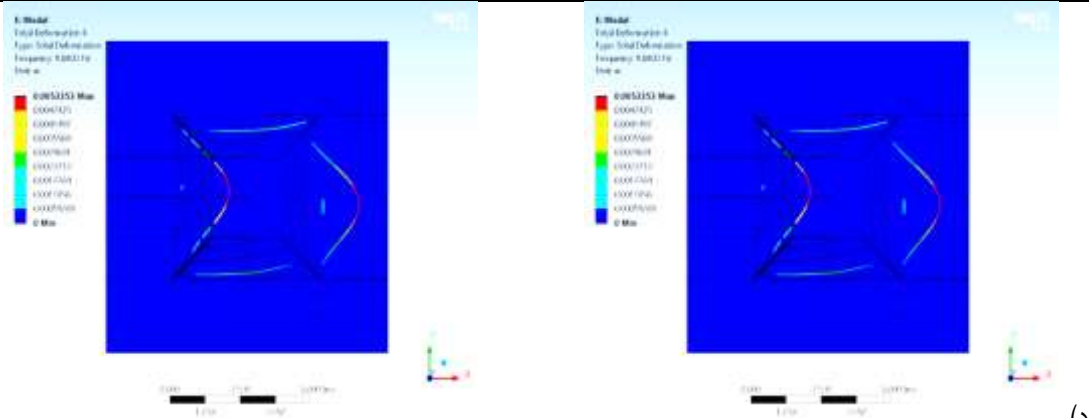
همان‌طور که در قسمت‌های قبل بیان شد یک کشتی همواره تحت تأثیر نیروهای خارجی ناشی از امواج دریا قرار دارد. جدول ۲ مقادیر شتاب اعمالی به کشتی و اعمال این نوع نیرو در نرم افزار انسیس را نشان می‌دهد. در این تحلیل شتاب‌های خطی به صورت نیروی گرانش، شتاب‌های دورانی به صورت نیروی حجمی دورانی به سازه دکل اعمال و وزن رادار به صورت نیروی متمرکز بر آن اعمال گشته‌اند.

۴-۲. تحلیل ارتعاشی

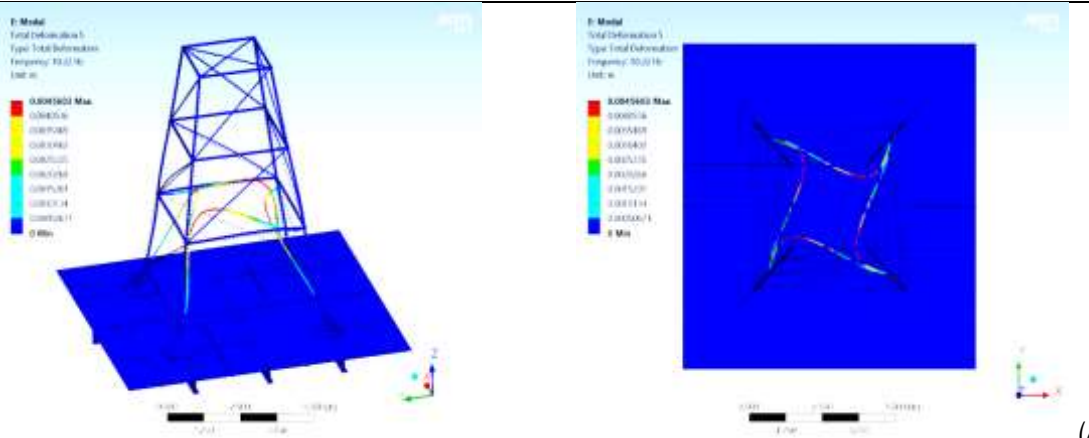
شکل ۱۱، شکل موده‌های ارتعاشی دکل به همراه عرشه مورد نظر را نشان می‌دهد که شامل موده‌های خمشی و پیچشی هستند. همان‌طور که از شکل پیدا است، شکل مود اول به صورت خم در راستای محور X، شکل مود دوم پیچشی، مود سوم خمش، مود چهارم خمش، مود پنجم پیچش و مود ششم نیز خمش است. راستای محورهای خمش و پیچش این مودها با یکدیگر متفاوت هستند.

مقادیر فرکانس‌ها در شکل‌ها مشخص شده‌اند. در ادامه، مدل‌سازی شتاب‌های ناشی از حرکت کشتی بر روی دکل رادار با بهره گرفتن از نرم افزار انسیس انجام شده و نتایج ارائه می‌شود. در این قسمت شتاب‌های Roll

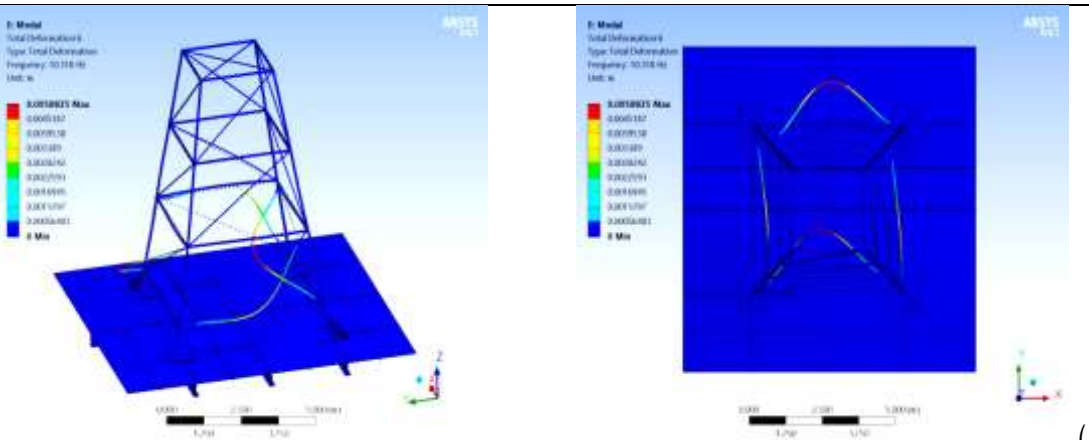




(د)



(ه)



(و)

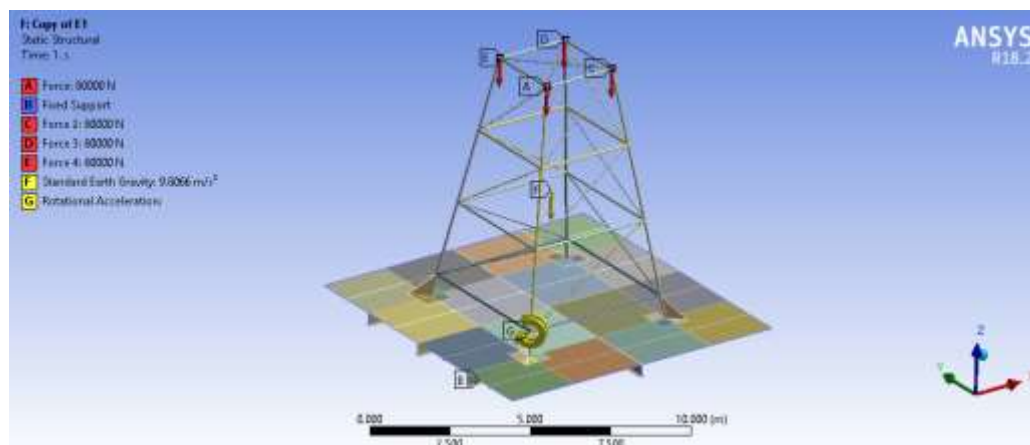
شکل ۱۱. شکل مودهای دکل و عرشه الف (مود اول ب) (مود دوم ج) (مود سوم د) (مود چهارم ه) (مود پنجم و) (مود ششم).

داده شده است. ضریب اطمینان نیز برای قطعه مورد نظر محاسبه شده شکل ۱۵ و از آنجایی که میزان تنش ایجاد شده در قطعه کمتر از استحکام نهایی ماده است، می‌توان ضریب اطمینان بالایی را برای سازه پیش‌بینی کرد. از نتایج ارائه شده به وضوح مشخص است که ماکزیمم تنش و

نحوه اعمال نیروها در شکل ۱۲ نشان داده شده است. نمودارهای مختلف تنش استخراج شده و در شکل ۱۳ و شکل ۱۴ نمایش داده شده‌اند. مکان و مقدار ماکزیمم تنش در اشکال مشخص هستند. حداکثر تغییر شکل سازه نیز در حدود ۷/۳ میلی‌متر به دست آمده که در شکل ۱۵ نمایش

کمر است و قطعه تحت بار اعلام شده دچار شکست نخواهد شد. از طرفی تغییر شکل سازه نیز کوچک است.

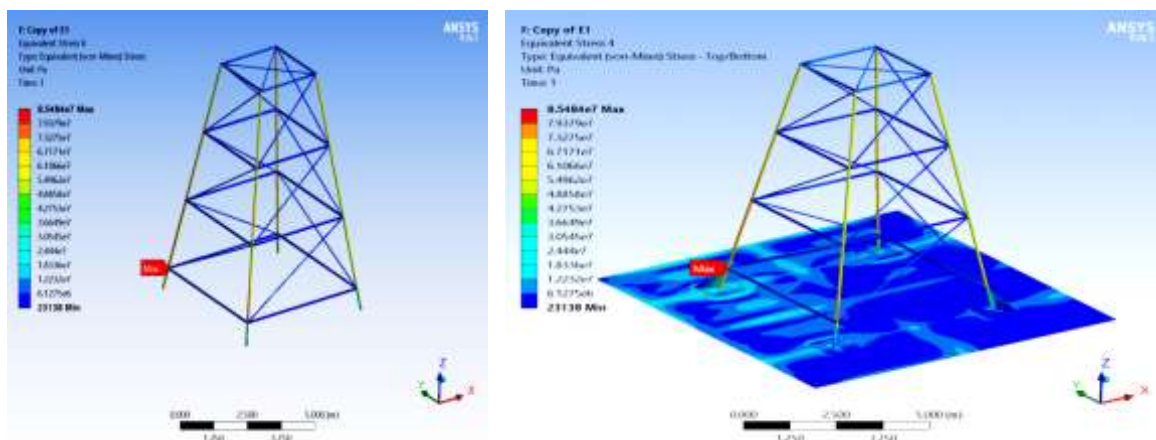
کرنش در انتهای تیرهای اصلی رخ داده است، اما این میزان تنش از مقدار استحکام نهایی ماده مورد استفاده



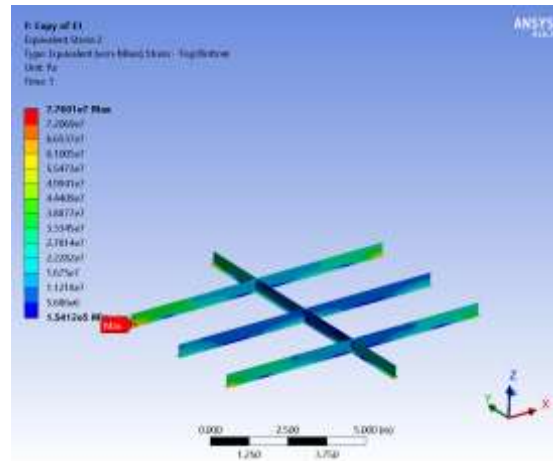
شکل ۱۲. در نظر گرفتن نیروهای وارد بر کشتی در تحلیل سازه دکل

جدول ۲. مقادیر شتاب اعمالی به کشتی

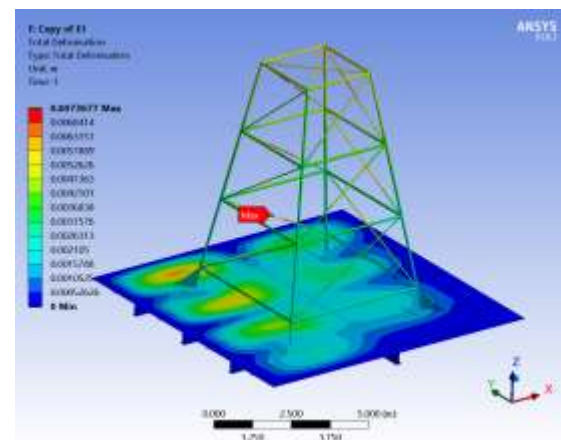
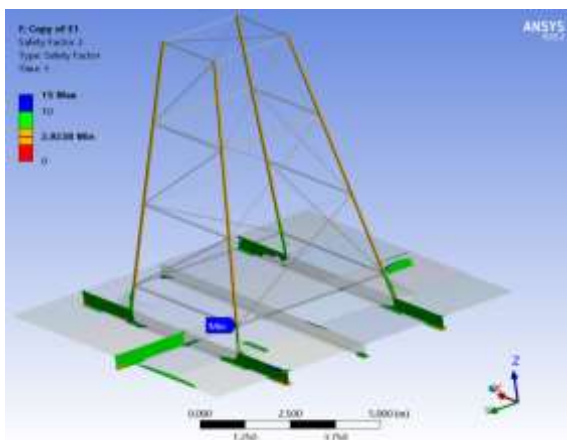
نوع حرکت کشتی	Roll	Pitch
شتاب	rad/s^2 ۲/۲	rad/s^2 ۲/۰



شکل ۱۳. تنش فون مایز در سازه



شکل ۱۴. وضعیت توزیع مقادیر تنش در شاه تیرهای تقویتی عرشه



شکل ۱۵. کانتور تغییر شکل های ناشی از اعمال بار بر مجموعه ی دکل و سازه عرشه و نمایش ضریب اطمینان بر روی مجموعه دکل و عرشه

استاتیک و تحت تاثیر حرکات جانبی کشتی در جدول ۳ ارائه شده است.

با عنایت بر تحلیل سازه‌هایی که بر روی دکل کشتی انجام شد، آنالیز نیروهای ناشی از حرکت کشتی بسیار حائز اهمیت است. مقایسه بین مقادیر تحلیل دکل در حالت

جدول ۳. مقایسه نتایج در حالت استاتیک و تحت تأثیر نیروهای جانبی

پارامتر/حالت	در حالت استاتیکی	تحت تأثیر نیروهای جانبی کشتی	درصد تأثیر
ماکزیمم تنش در دکل	۷۵/۶ MPa	۸۵ MPa	۱۱/۲ %
ماکزیمم جابه جایی	۵/۵ Mm	۷/۳ mm	۳۱ %
ماکزیمم تنش در عرشه	۶۵/۳ MPa	۷۷ MPa	۱۵/۵ %
ضریب اطمینان	۳/۳	۲/۹	۱۳ %

۵. نتیجه گیری

افزایش تحمل باربری، مکان مورد استفاده آنها نیز باید مورد توجه قرار گیرد. استفاده از دکل‌ها در عرشه شناورها به علت حرکات شناور در امواج دریا موجب افزایش تنش‌ها و تغییر شکل‌ها و در نتیجه کاهش فاکتور ایمنی می‌شود. همچنین، شاهد پدیده‌های مختلفی همچون خستگی در اعضا به ویژه محل اتصال به عرشه هستیم که می‌تواند در دراز مدت آثار بسیار مخربی داشته باشد و باعث کاهش طول عمر سازه گردد.

همان‌طور که مشاهده می‌شود اگر کشتی به صورت ساکن در نظر گرفته شود، تنش‌های حاصل از تحلیل دکل با مقدار اصلی تفاوت خواهند داشت، که در فرایند طراحی سازه بسیار تأثیرگذار بوده و بایستی به آن توجه داشت. نتایج نشان می‌دهد که در طراحی دکل‌ها، علاوه بر در نظر گرفتن پارامترهای طراحی خود دکل نظیر شرایط مرزی، بار اعمالی، نحوه قرارگیری اعضا به منظور توزیع نیروها و

۶. مأخذ

- [1] Courant, Richard, "Variational methods for the solution of problems of equilibrium and vibrations," *Lecture notes in pure and applied mathematics*, 1994, p.1-1.
- [2] Kai, Cheung Yau, and Olgierd Cecil Zienkiewicz, "The finite element method in structural and continuum mechanics, numerical solution of problems in structural and continuum mechanics", 1967.
- [3] Przemieniecki, J. S., "Theory of Matrix Structural Analysis II", McGraw-Hill Book Co., New York, 1968, p.21.
- [4] Robaldo, A., "Finite element analysis of the influence of temperature profile on thermoelasticity of multilayered plates", *Computers & structures*, 2006, Vol.84, no.19-20, pp.1236-1246.
- [5] Murín, Justín, Vladimír Kutiš, Viktor Královič, and Tibor Sedlár, "3D beam finite element including nonuniform torsion", *Procedia Engineering*, 2012, Vol.48, pp.436-444.
- [6] Kumar, YV Satish, and M. Mukhopadhyay, "Finite element analysis of ship structures using a new stiffened plate element", *Applied Ocean Research*, 2000, Vol.22, no.6, pp.361-374.
- [7] Seweryn, Andrzej, "Modeling of singular stress fields using finite element method", *International Journal of Solids and Structures*, 2002, vol.39, no.18, pp.4787-4804.
- [8] Öztorun, Namik Kemal, "A rectangular finite element formulation", *Finite elements in analysis and design*, 2006, Vol.42, no.12, pp.1031-1052.
- [9] Necib, B., and C. T. Sun, "Analysis of truss beams using a high order Timoshenko beam finite element", *Journal of sound and vibration*, 1989, Vol.130, no.1, pp.149-159.
- [10] Girard, A., and H. Defosse, "Frequency response smoothing and structural path analysis: application to beam trusses", *Journal of sound and vibration*, 1993, Vol.165, no.1, pp.165-170.
- [11] Gao, Wei, "Interval natural frequency and mode shape analysis for truss structures with interval parameters", *Finite Elements in Analysis and Design*, 2006, Vol.42, no.6, pp.471-477.
- [12] Greco, M., F. A. R. Gesualdo, W. S. Venturini, and H. B. Coda, "Nonlinear positional formulation for space truss analysis", *Finite elements in analysis and design*, 2006, Vol.42, no.12, pp.1079-1086.
- [13] Kurian, V. J., B. S. Wong, and O. A. A. Montasir, "Frequency domain analysis of truss spar platform", *environment (Chakrabarti, 2005; Downie et al.; Sadeghi et al.; Wang et al., 2001, 2002,)* 2008, Vol.5, no.7, pp.11-13.

- [14] X. Guo, W. Bai, W. Zhang, "Confidence extremal structural response analysis of truss structures under static load uncertainty via SDP relaxation", *Computers & Structures*, 2009, Vol.87, pp.246–253.
- [15] Lou, Jia, Li Ma, and Lin-Zhi Wu, "Free vibration analysis of simply supported sandwich beams with lattice truss core", *Materials science and engineering: B*, 2012, Vol.177, no.19, pp.1712-1716.
- [16] Pham, Ngoc Vinh, Takeshi Miyashita, Kazuo Ohgaki, Yusuke Okuyama, Akira Kobayashi, Yuya Hidekuma, Takeshi Hirose, and Takuya Harada, "Analytical Study on Remaining Capacity of Corroded Gusset Plate Connection in Truss Bridges", *Journal of JSCE*, 2018, Vol.6, no.1, pp.127-146.

پی نوشت:

-
1. Courant
 2. Cheung and Zienkiewicz
 3. Przemieniecki
 4. Ansys
 5. Workbench ANSYS