

بررسی الزامات طراحی و تحلیل عملکرد دسته‌موتور درون نصب در شناورهای دریایی

علی مهرکیش^۱، علی اکبر اکبری^۲

ali.mehrkish@yahoo.com

۱- دانشجوی دکتری گروه مکانیک، دانشگاه فردوسی مشهد

۲- دانشیار گروه مکانیک، دانشگاه فردوسی مشهد

چکیده

دسته‌موتور به عنوان عامل اتصال موتور به بدنه، علاوه بر نگه داشتن موتور و متعلقات آن، وظیفه‌ی کنترل و جذب ارتعاشات حاصل از موتور به بدنه و بالعکس یعنی ارتعاشات محیطی بدنه به سیستم انتقال قدرت را بر عهده دارد. بررسی الزامات طراحی و گزینش دسته‌موتورهای شناورهای دریایی در سالیان گذشته یکی از موضوعات مورد مطالعه در صنایع دریایی محسوب می‌شود. از این منظر بررسی الگوهای متنوع طراحی و بازبینی مدل‌های ارائه شده برای استفاده در مسئله‌ی طراحی دسته‌موتور، ضروری به نظر می‌رسد. مطالعه حاضر بر اساس بررسی پژوهش‌های حوزه طراحی، الگوی مناسبی را جهت طراحی و گزینش دسته‌موتور در چهار گام اصلی طراحی اولیه، تبیین قالب طراحی و گزینش، طراحی جزئیات و نهایتاً ارزیابی عملکرد برای اولین بار به صورت نظام‌مند پیشنهاد می‌دهد. بعلاوه با بکارگیری روش‌های انتخاب بهینه، شناخت پارامترهای بحرانی و وزن‌دهی پارامترها، نوعی از طراحی گزینشی پیشنهاد می‌شود. در ادامه نیز به اجرای فرآیند طراحی و گزینش دسته‌موتور برای یک موتور ۶ سیلندر دریایی درون نصب با توان ۲۰۰ اسب بخار و بررسی تحلیل‌های عملکردی بر روی آن اقدام می‌گردد. بر اساس نتایج بدست آمده از تحلیل عملکرد این نمونه، دسته‌موتور نهایی حاصل از این طراحی در شرایط بحرانی، با ضریب اطمینان ۲،۱ پاسخگوی تحلیل استحکام است و با فاصله مناسب نسبت به فرکانس تحریک (۵۰ هرتز) پاسخ‌گوی تحلیل فرکانسی نیز خواهد بود. در نهایت نتایج مدلسازی دینامیکی دسته‌موتور مورد بررسی قرار گرفته‌اند.

واژگان کلیدی: طراحی، دسته‌موتور، شناورهای دریایی، تحلیل عملکرد، موتور درون نصب.

تاریخ دریافت مقاله : ۹۷/۰۲/۱۷

تاریخ پذیرش مقاله : ۹۷/۰۷/۱۵

۱- مقدمه

دسته موتورها، موتور را به طور صحیح بر روی بدنه قرار داده و منجر به کاهش نیروهای ارتعاشی موتور می‌شوند. عملکرد اصلی دسته موتورها در شناور، جداسازی ارتعاشات موتور از بدنه، و نیز جلوگیری از وارد شدن ضربه به موتور است. ارتعاشات ناشی از موتور به اجزای نگه‌دارنده‌ی آن منتقل و موجب لرزش سازه می‌شود. جهت کاهش این لرزش‌ها از دسته‌موتور استفاده می‌گردد. همان‌گونه که اشاره گردید در طراحی دسته‌موتورها مهم‌ترین دغدغه به توازن در آوردن دو معیار متضادی است که در نتیجه ورودی‌های ارتعاشی متفاوت وارده به شناور (ورودی‌های امواج با دامنه بالا و فرکانس کم و موتور با دامنه پایین و فرکانس بالا) به وجود می‌آیند [۱].

آنچه مشخص است، طراحی و ساخت دسته‌موتور به‌عنوان زیر بخشی از یک شناور تندرو بایستی الزامات متعددی را رعایت نماید. برخی از این الزامات در طراحی دسته موتور در پژوهش [۲] مورد بررسی قرار گرفته اند. هرچند بر روی مسئله مدل‌سازی دسته موتور پژوهش‌های متنوعی انجام شده است [۱]، اما طراحی و بهینه‌سازی دسته موتور در کاربری‌های مختلف همچنان مورد توجه پژوهشگران است [۳]. در این تحقیق تلاش می‌شود مسیر مناسبی برای گزینش و طراحی دسته‌موتور پیشنهاد گردد.

حلقه‌ی طراحی پس از مشخص شدن نیازمندی‌های مصرف‌کننده و کاربری شناور، تشکیل می‌شود. در دایره طراحی، امکان دارد یک عنوان چندین بار تکرار شود تا به طرح بهینه و مطلوب نائل گردد. بدیهی است طرحی مناسب است که به لحاظ زمان ساخت و قیمت، در دایره حداقل نمونه‌های مشابه قرار داشته باشد، ضمن آنکه تمام نکات ایمنی و رفاه، بعلاوه حداکثر راندمان و کیفیت و عملکرد را در نظر گرفته و کلیه خواسته‌های کارفرما را تا آنجا که مقررات و قوانین جاری سازمان‌های مرتبط را تحت تأثیر قرار ندهد، پیش‌بینی کرده و از لحاظ نگهداری و تعمیر کاملاً کنترل شده باشد.

از دیگر سو، هرچند مفاهیم حوزه طراحی و شاکله‌ی اصلی مراحل آن قدمت زیادی دارند. اما در سالیان اخیر پژوهش‌های متنوعی در بهبود فرآیندهای طراحی، پیشنهاد روندهای جدید، کارآمدتر نمودن گام‌های آن و نهایتاً ابزارها و روش

های برای بهبود طراحی مهندسی انجام شده است. هورویتر [۴] در سال ۱۹۹۹ با بکارگیری مفاهیم مرتبط با خلاقیت و تکنیک‌های آن به ارائه‌ی الگویی در طراحی مهندسی برای بکارگیری در مسائل با ابعاد خرد نمود. در ادامه با بکارگیری این الگو با نام مدل SIT^۱ به حل مسائل طراحی مهندسی و صحنه‌سنجی عملی نتایج آن پرداخت.

در ادامه نیز در سال ۲۰۰۳ تیم آزمایشگاه^۲ IIIDE [۵] با جمع‌بندی روش‌های قبلی در طراحی مهندسی و ارائه بعضی نوآوری‌ها و پیشنهادات، به معرفی یک روش طراحی جدید با نام اختصاری IIIDE می‌پردازند. این روش یک روش طراحی مرحله به مرحله با خروجی‌های مشخص در هر مرحله است که خروجی نهایی آن یک طراحی با جزئیات کامل و نقشه‌های مهندسی از قطعه یا ماشین مورد نظر جهت طراحی می‌باشد. فلسفه این روش مبتنی بر خلاصه‌سازی، شناسایی پارامتر بحرانی و پرسش‌گری است. مراحل طراحی در این روش عبارتند از: تحلیل نیاز، طراحی مفهومی، طراحی کیفی و طراحی جزئیات.

همچنین وستموراند [۶] در سال ۲۰۱۲ با بکار بردن تکنیک‌های روانشناختی بر روی طراحی مهندسی به بررسی آنچه در ذهن یک طراح در طول پروسه طراحی می‌گذرد پرداخت. برای دستیابی به این منظور ایشان با کدگذاری‌های فنی به شناخت ذهن طراح و الگوهای طراحی پرداخته است.

با بررسی مقالات مختلف، می‌توان عنوان نمود بکارگیری ترکیبی روش‌های طراحی مختلف به دلیل شباهت‌های ساختاری و تفاوت‌های نشات گرفته از ذهن طراح الگوی مناسبی برای ورود به مسئله طراحی دسته‌موتور است. در این پژوهش که از جنس مطالعات موردی در زمینه‌ی روش‌های طراحی مهندسی است، مراحل مختلف فرآیند پیشنهادی طراحی در موضوع دسته‌موتور برای اولین بار به صورت نظام‌مند با ایده‌گیری از مدل‌های نوین طراحی، پیشنهاد شده است. در بخش ۳ طراحی اولیه در قالب تعریف ماموریت، تعیین مهم‌ترین ورودی‌های طراحی، انجام محاسبات اولیه و جمع‌آوری پایگاه داده بیان می‌گردد. در بخش ۴ طراحی مفهومی به تبیین قالب طراحی از میان روش‌های طراحی گزینشی، طراحی ابتکاری و طراحی مرجع می‌پردازد. همچنین در اثنای این فرآیند بکارگیری برخی روش‌های انتخاب بهینه به ویژه در الگوی طراحی گزینشی،

² Institute For Innovation And Design in Engineering

¹ Structured Inventive Thinking

ب- دسته‌موتور باید موتور را در ارتفاع و زاویه مناسبی قرار دهد به گونه‌ای که خط تراس موتور با شناور وفق داده شود. ج- دسته‌موتور باید موتور را درجایی مناسب نگه دارد. وزن موتور قسمت مهمی از وزن کل شناور را به خود اختصاص می‌دهد، در نتیجه باید مکان آن به گونه‌ای انتخاب شود که مرکز جرم شناور در نقطه‌ای مناسب قرار بگیرد.

د- دسته‌موتور در برخی مدل‌ها باید به گونه‌ای نصب شود که فضای کافی برای هوای ورودی به کاربراتور وجود داشته باشد. موارد عنوان شده به معنای آن است که بسته به نوع موتور و مشخصات آن، دسته موتور باید بتواند پاسخ گویی لازم برای مدل مد نظر را داشته باشد.

نمونه‌ای از پارامترهایی که بایستی در تعریف مأموریت دسته‌موتور یک شناور به آن اشاره نمود، در جدول (۱) ارائه شده‌اند.

۳-۲- محاسبات اولیه

برای تحلیل سیستم دسته‌موتور نیاز به قراردادن بار موتور است که این بارگذاری ناشی از ممان‌ها و نیروهای ایجاد شده در هنگام کار کردن موتور می‌باشد و برای موتورهای مختلف متفاوت است و همچنین در هنگام کار کردن موتور، به دلیل حرکت کردن جرم‌های رفت و برگشتی (نظیر پیستون) و همچنین جرم‌های چرخان، مسئله‌ی توازن موتورها نیز همواره مطرح است [۱].

ارتعاشات وارده به سیستم نیروی محرکه ناشی از نیروی احتراق موتور، نیروهای نابالانسی (که با مجذور سرعت متناسب هستند)، پروفیل امواج دریا، شتاب، ترمزگیری های ناگهانی و گردش‌های سریع هستند.

در مطالعات انجام‌گرفته معمولاً موتور را با فرض جسم صلب با ۶ درجه آزادی مدل می‌کنند و از آنجاکه فرکانس طبیعی موتور بسیار بیشتر از دسته‌موتور است این فرض قابل قبول می‌باشد. به دلیل پیچیدگی، فونداسیون (بدنه) نیز صلب در نظر گرفته می‌شود [۷].

برای طراحی یا گزینش دسته‌موتور، شرکت‌های سازنده آن به اطلاعاتی از موتور و شناور نیاز دارند تا بتوانند دسته‌موتور مناسب را پیشنهاد کنند این اطلاعات به صورت فهرست‌وار در ادامه می‌آیند.

مورد استفاده قرار گرفته‌اند. بخش ۵ به معرفی طراحی جزئیات شامل انتخاب مواد، مدلسازی، اصلاح مدل و نهایتاً طراحی زیر سیستم‌ها می‌پردازد. بخش ۶ نیز به موضوع ارزیابی طراحی و معرفی چرخه‌ی ارزیابی عملکرد اختصاص خواهد داشت. در نهایت در بخش ۷ با اعمال روش عنوان شده بر روی یک مسئله مشخص در نهایت به تحلیل عملکرد نتیجه نهایی اقدام می‌گردد.

۲- الگوی طراحی دسته‌موتور

الگوریتم طراحی دسته‌موتور تابع چهار گام مهم است که در کلیه مراحل طراحی باید به آن توجه شود (شکل (۱)):

۱- تعیین ویژگی‌های موتور

۲- تعیین ویژگی‌های دسته‌موتور (شامل مکان اولیه پد دسته‌موتور و تعیین هر ضربه و شوک).

۳- تعیین متغیرهای طراحی

۴- بهینه‌سازی

برای دستیابی به گام‌های اشاره‌شده، مدل‌های مختلفی جهت طبقه‌بندی مراحل طراحی ارائه شده‌اند. اما این پژوهش فرآیند طراحی و ساخت را به صورت الگوی طراحی شکل (۲) نشان می‌دهد. این الگو، طراحی و گزینش را در ۴ مرحله طراحی اولیه، انتخاب قالب طراحی، طراحی و تعیین جزئیات، و ارزیابی تقسیم‌بندی می‌نماید. در ادامه به تبیین موارد اشاره شده پرداخته می‌شود.

۳- طراحی اولیه

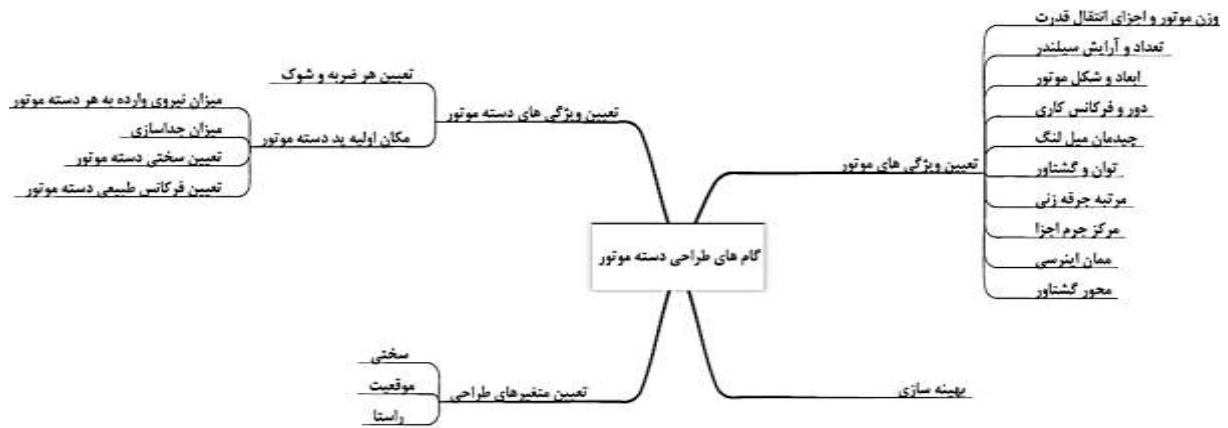
۳-۱- تعریف مأموریت و محدودیت‌ها

اولین گام در شروع طراحی و گزینش، تعریف مأموریت است که موجب تسهیل فرآیند طراحی می‌گردد و طراح را قادر می‌سازد از میان گزینه‌های مختلف پیش روی خود، انتخاب‌های سنجیده و گزیده‌تری داشته باشد. طبیعی است در هر فرآیند طراحی، مأموریت بر پایه نیاز موجود تدوین می‌گردد. طراحی دسته‌موتور باید نیازهای زیر را رفع نماید:

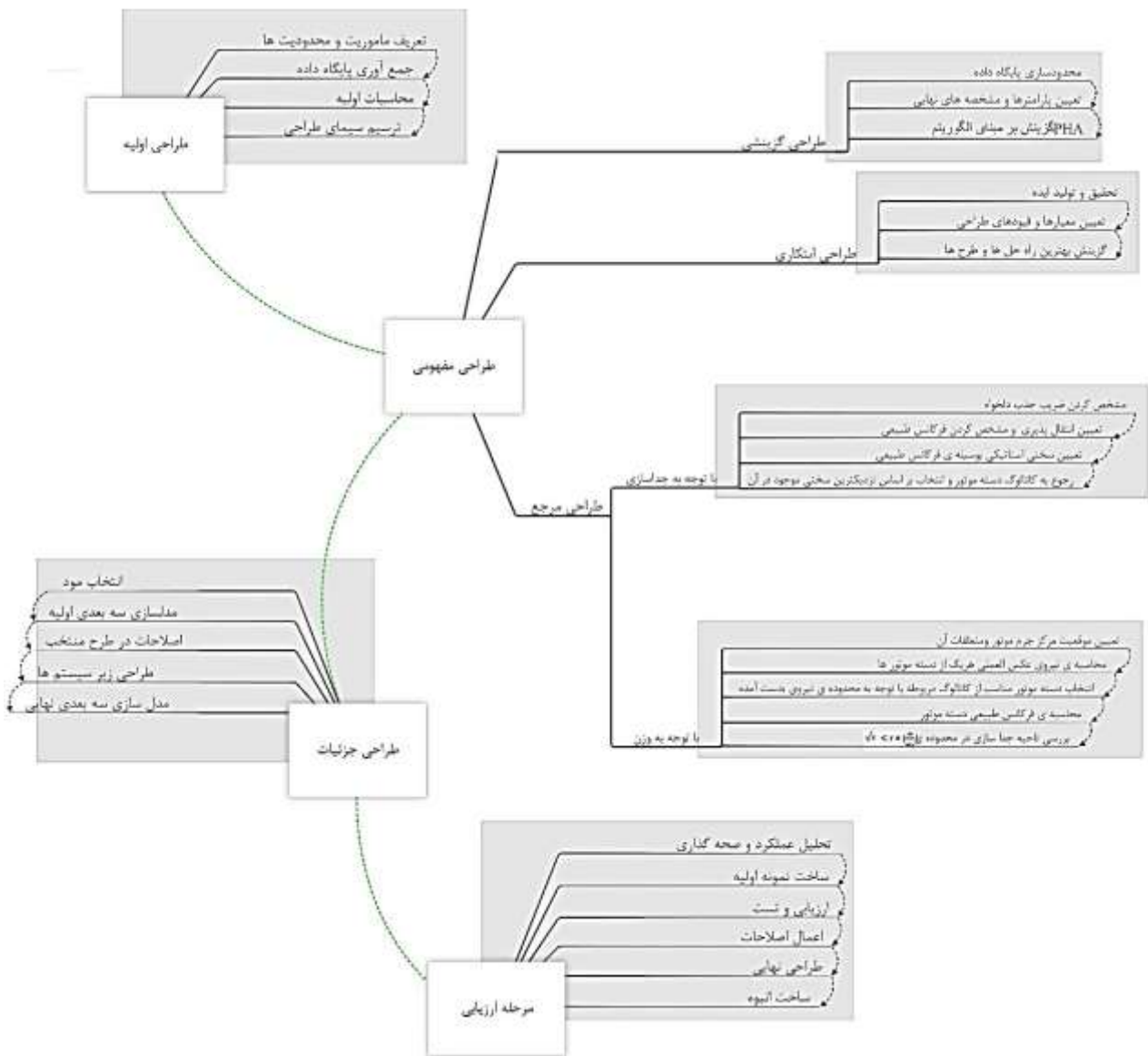
الف- دسته‌موتور باید مقاومت کافی در برابر تحمل بار وارده از طرف موتور (وزن موتور و توان خروجی از آن) را داشته باشد. بعلاوه دسته‌موتور باید آن قدر سفت^۲ باشد، که اجازه ندهد موتور در حین اعمال توان خروجی حرکت زیادی داشته باشد.

² Stiff

¹ Pad



شکل (۱) گام های طراحی دسته موتور در شناور دریایی.



شکل (۲) الگوی طراحی دسته موتور در شناور دریایی.

جدول (۱) برخی از مهم ترین ورودی های مورد نیاز فرآیند طراحی و گزینش دسته موتور.

عنوان	توضیحات
وزن مجموع موتور و گیربکس*	این وزن مجموعاً در نقطه اثر مشترک نهایی اعمال می شود.
مرکز جرم موتور و گیربکس	---
نوع موتور و نام تولید کننده	جهت استخراج مشخصات عملکردی موتور.
ممان اینرسی سیستم	---
تعداد سیلندر	در برخی کاتالوگ ها تعداد سیلندر موتور یکی از عوامل در پیشنهاد دسته موتور می باشد.
سرعت موتور	---
بازه فرکانس نامطلوب	مبین فرکانس تحریک دسته موتور است که برای بررسی عملکرد ارتعاشی مورد استفاده قرار خواهد گرفت.
تعداد دسته موتور	برای تعیین نیروهای وارده بر هر دسته موتور. مورد نظر است.
محل قرار گیری دسته موتور	برای تعیین نیروهای وارده بر هر دسته موتور. مورد نظر است. جانمایی دسته موتور و فاصله ها تا مرکز جرم ملاک است.
دمای عملکردی	دمای مناسب برای بخش الاستومری است.
ضریب انتقال نیرو مطلوب	پیشنهاد ۰,۷ الی ۰,۹ در بسیاری مراجع مورد استفاده قرار می گیرد. هر چند که این مقدار به موضوع و عملکرد مورد نظر طراح وابسته است.
نیروی خارجی	مانند نیروی پیشرانش موتور.
تعیین محدودیت های جانمایی	---

* تنها در مواردی که موتور و گیربکس سر هم باشند، وزن گیربکس در نظر گرفته می شود.

انتخاب دسته موتور ایفا می کند. این موضوع به عنوان عاملی در شناسایی نیروهای وارده در دسته موتور استفاده می شود.
- تعیین مرکز جرم تک تک اجزا یا مجموع آن ها: این عامل جهت تعیین گشتاور وزن های مختلف اجزا در انتقال نیروها به دسته موتور مورد توجه است.

- تعیین ممان های اینرسی اصلی حول مرکز جرم: تعیین ممان اینرسی نیز جهت تعیین بارگذاری وارده بر دسته موتور نیاز است. اما به نسبت بارگذاری استاتیکی از اهمیت کمتری برخوردار است.

- تعیین مکان قرارگیری پایه دسته موتور^۱: با توجه به محدودیت فیزیکی نصب دسته موتور بایستی توجه داشت که مدل نصب و تعیین مکان آن اهمیت بالایی دارد چراکه در تعیین شرایط مرزی و شرایط اعمال بار بر دسته موتور مورد توجه است.

- تعیین مقدار جداسازی مورد نیاز و مطلوب: این پارامتر مبین خواسته تیم طراحی در بررسی عملکرد دسته موتور است.

- تعیین مقدار و راستای هر نیروی خارجی وارده به دسته موتور: این موضوع هم در تحلیل شرایط اعمال بار به دسته موتور در تحلیل عملکرد اهمیت می یابد.

باید اشاره شود که موقعیت نصب موتور در طول شناور و تغییر شکل سازه ای بدنه و تاثیر آن بر روی دسته موتور نیز در صورتی که تاثیر زیادی در شرایط اولیه مسئله داشته باشند باید در محاسبات اولیه مد نظر قرار گیرند.

۳-۳- جمع آوری پایگاه داده

یکی از بخش های اساسی طراحی، جمع آوری یک پایگاه داده غنی از موضوع طراحی است. این پایگاه شامل دو دسته از موضوعات می گردد:

پایگاه دانش شامل کتب، مقالات، اختراعات، پایان نامه ها، گزارش های فنی و مجلات و پایگاه داده صنعتی شامل بررسی نمایشگاه ها، رصد تولیدکنندگان و اجناس بازار، کاتالوگ ها، بولتن های تبلیغاتی و دفترچه های راهنما. به کمک این منابع سیمای پژوهش که نوعی دسته بندی مناسب و قابل فهم جهت رجوع سریع به طرح ها و اطلاعات فنی از مجموعه پایگاه های داده جمع آوری شده است.

- تعریف کاربری موتور: شامل تعیین مدل موتور، تعداد سیلندر، سیکل کاری موتور، دور کاری، شکل موتور، چیدمان میل لنگ، توان و گشتاور موتور می باشد.

- تعیین وزن نهایی موتور و متعلقات آن: یکی از مهم ترین اطلاعات مورد نیاز وزن نهایی موتور و متعلقات است که در انتخاب دسته موتور مناسب اثر گذار است. در واقع وزن استاتیکی تحمل شده توسط دسته موتور بیشترین نقش را در

¹ Bracket

۴- تبیین قالب طراحی و گزینش (طراحی مفهومی)

به طور کلی می توان قالب طراحی و گزینش را در سه فرم اجرا نمود. طراحی گزینشی، طراحی ابتکاری و طراحی مرجع.

۴-۲- طراحی گزینشی

در قالب اول، طراحی بر مبنای انتخاب صورت خواهد گرفت و برخی یا همه ی زیر بخش های مختلف طرح اصلی به صورت گزینش شده از میان طرح ها و محصولات موجود بر اساس یک الگوریتم گزینشی، انتخاب می گردند. در این روش ممکن است تغییراتی جزئی در نمونه های انتخاب شده ایجاد گردد و یا طرح های پیشین توسعه داده شوند.

۱- محدودسازی پایگاه داده و دانش

در این قالب پس از جمع آوری پایگاه داده مرتبط در مراحل قبل، اعمال مأموریت تعریف شده بر روی پایگاه داده سبب می گردد که برخی از گزینه های موجود در پایگاه داده حذف گردند. مثلاً بعد از مشخص شدن مدل موتور، دسته موتورها و یا داده های مربوط به سایر کاربری ها و یا سایر شرکت های تولیدکننده از اولویت خارج می شوند. هرچند در مراحل بعد ممکن است مجدد برای گرفتن ایده و یا چک کردن نتایج به موارد حذف شده رجوع گردد.

۲- تعیین پارامترها و مشخصه های طراحی

در این مرحله برخی از موارد مأموریت که هنوز نهایی نشده اند، قطعی می گردند.

۳- گزینش بر مبنای الگوریتم های انتخاب سلسله مراتبی

در این مرحله فرآیند طراحی باید منجر به انتخاب بهترین از میان گزینه های محدود شده نهایی گردد.

برای دستیابی به این منظور باید از روش های مناسب انتخاب مانند الگوریتم انتخاب سلسله مراتبی و یا نرم افزارهای انتخاب بهین مانند Expert Choice بهره برد. بر اساس این روش در ابتدا باید مجموعه ای از پارامترهای اثرگذار در انتخاب نهایی شناسایی شوند. سپس این پارامترها به کمک نظر کارشناسان خبره وزن گذاری گردند و نهایتاً با اعمال ماتریس های انتخاب (امروزه به کمک نرم افزار صورت می گیرد). انتخاب نهایی ساماندهی گردد. نمونه هایی از پارامترهای اثرگذار در انتخاب دسته موتور را می توان در جدول (۲) مشاهده نمود.

باید توجه داشت در برخی مسائل، طراح با پارامترهای بحرانی مواجه می گردد که می تواند به تنهایی نتیجه انتخاب را رقم بزنند. راه دیگر پیشنهادی برای انتخاب مناسب، گزینش از میان گزینه های مختلف به کمک پارامترهای اثرگذار در انتخاب است که در جدول (۲) اشاره شده اند. در این جدول باید ارزش پارامترها در ۴ گروه (A-B-C-D) تقسیم شوند. پارامترهای با درجه اعتبار A به عنوان پارامترهای بحرانی معرفی می شوند، یعنی عدم برآورده شدن آنها می تواند به تنهایی کل فرآیند گزینش را تحت الشعاع قرار دهد. پارامترهای با ارزش B با اهمیت و غیر بحرانی، پارامترهای C با ارزش متوسط و غیر بحرانی هستند، و پارامترهایی که ارزش D دارند در فرآیند وزن گذاری به دلیل وزن کم وارد نمی شوند (شکل (۳)).

۴-۲- طراحی ابتکاری^۱

در این روش هرچند ممکن است به آرشیوی از طرح های هم خانواده نگاه شود، اما عمده ی طراحی بر مبنای طراحی های خلاقانه طراح صورت می گیرد.

تحقیق و تولید ایده: در این روش ابتدا به کمک یکی از روش های تولید ایده، ایده های مورد نظر برای تأمین مأموریت بررسی می گردند. همچنین به کمک پایگاه داده فضای جواب های موجود افزایش می یابد.

جدول (۲) نمونه ای از پارامترهای انتخاب.

پارامترهای انتخاب	
دسترسی به زنجیره تامین	ابعاد و وزن دسته موتور
فرکانس عملکردی موتور	ارزیابی عملکرد
سهولت نصب	جنس
قیمت نهایی	انطباق با طرح
میزان جذب ارتعاشات وارده	تحمل وزن موتور، گیربکس و متعلقات
به بدنه و کاربر	



شکل (۳) رتبه بندی پارامترها از منظر اهمیت و ضرورت.

^۱ Design Thinking

دسترسی به کاتالوگ‌های استاندارد شناورهای دریایی در بسیاری از کاربری‌ها و دوم با فرض دسترسی به کاتالوگ، دسترسی محدود به زنجیره تأمین به دلیل کاربری گاه نظامی این موارد.

در بسیاری از مسائل که محدودیت دسترسی به زنجیره تأمین و یا کاتالوگ وجود دارد، استفاده از طراحی گزینشی (انتخابی) الگوی طراحی مناسب به نظر می‌رسد. هرچند شاید بهتر باشد نام طراحی ترکیبی (که ترکیب استفاده از روش‌های عنوان شده است) را بر الگوی پیشنهادی قرارداد.

در جدول (۳) هر سه روش به صورت مختصر مقایسه شده‌اند. باید اشاره شود که در پروژه‌های با محدودیت دسترسی به زنجیره تأمین، استفاده از طراحی انتخابی توصیه می‌گردد.

۵- طراحی جزئیات

۵-۱- انتخاب مواد

پس از گام‌های عنوان شده، تعیین جنس بخش‌های مختلف جهت اجرای تحلیل‌های عملکردی ضروری خواهد بود. بعلاوه انتخاب دسته‌موتور از میان گزینه‌های موجود یا استفاده از کاتالوگ، در بسیاری موارد نیاز به بهینه‌سازی وجود دارد. بنابراین شناخت مناسب مواد می‌تواند زمینه تغییرات احتمال در بخش‌هایی از طرح را رقم بزند.

دسته‌موتورها عمدتاً از دو بخش مهم سازه فلزی و جاذب الاستومری تشکیل می‌شوند. البته در انواع فعال بخش‌هایی از سایر جنس‌ها به همراه سیال نیز وجود دارد. انواع سیال، حسگرها و عملگرها در دسته‌موتورهای نوین، مورد بررسی قرار گرفته‌اند. برای انتخاب جنس بخش‌های الاستومری استفاده از جداول، دسته‌بندی الاستومرها براساس خواص فیزیکی، مکانیکی، حرارتی و شیمیایی و نیز جدول کاربرد الاستومرها به‌عنوان جاذب ارتعاش در سیستم‌های مختلف مانند مرجع [۱۲] توصیه می‌گردد.

جدول (۳) مقایسه روش‌های مختلف.

مشکلات	نکات بارز	الگوی طراحی مفهومی
هزینه بالا و نیاز به زمان زیاد، عدم اطمینان از بهبود نتایج و نیازمندی به تحلیل	خلاقانه و بر پایه دانش طراحی مبتنی بر نیاز	طراحی ابتکاری
عدم دسترسی عموم به همه مراجع و عدم امکان تأمین نمونه منتخب	انتخاب‌ها و گزینه‌های استاندارد و بدون نیاز به تحلیل کم هزینه	طراحی مرجع (به کمک کاتالوگ)
محدود بودن پاسخ‌ها و نیازمندی به تحلیل	کم هزینه	طراحی انتخابی

۱- درنهایت طراح بایستی از میان فضای جواب حاصل از روش‌های ابتکاری و پاسخ‌های پایگاه داده بهترین طرح را گزینش نماید.

۲- تعیین معیارها و قیود طراحی: در این مرحله به بررسی معیارها و قیود طراحی برای محدودسازی فضای جواب اقدام می‌نماییم.

۳- گزینش بهترین راه‌حل‌ها و طرح‌ها: در این مرحله به کمک روش‌های تصمیم‌گیری^۱ بهترین طرح انتخاب می‌گردد.

۴-۳- طراحی مرجع

برای انتخاب یک دسته‌موتور به کمک کاتالوگ روش‌های مختلفی وجود دارد. باید اشاره نمود کاتالوگ‌های مختلف معیارهای متناسب با خود را جهت کاربران معرفی کرده‌اند. در مراجع گوناگون [۸-۱] روش‌های مختلف استفاده از کاتالوگ به همراه نمونه‌های مناسب انتخاب ارائه می‌شوند.

۴-۴- ملاک‌های انتخاب قالب مناسب طراحی

روش‌های عنوان شده بسته به شرایط مختلف می‌توانند اولویت داشته باشند. مثلاً هرچند الگوی طراحی بر مبنای دانش، خلاقانه‌تر و پایه‌ای‌تر به نظر می‌رسد، اما در بسیاری مواقع هزینه و زمان بیشتری را صرف خواهند نمود. بعلاوه که هیچ الزامی وجود ندارد که طرح‌های از پایه جدید بتوانند الگوی عملکردی بهتری را به وجود آورند. هرچند این طرح‌ها می‌توانند بستر طراحی و دانش را جلو ببرند، در بسیاری مواقع با توجه به آن‌که زیرساخت‌ها و صرفه اقتصادی طراحی یک دسته‌موتور به روش الگوی طراحی ابتکاری، چندان مقرون به صرفه نیست، استفاده از این روش پیشنهاد نمی‌گردد. استفاده از کاتالوگ‌های طراحی هرچند استاندارد و کم‌هزینه به نظر می‌رسد، اما دو محدودیت جدی وجود دارد. اول عدم

¹ Decision Making Process

روش‌های طراحی منتخب در طراحی اولیه خواهد بود که جزئیات آن مشخص شده‌اند. بررسی عملکرد در این مرحله عمدتاً به صورت نرم‌افزاری است. تحلیل‌های المان محدود، فرکانسی و ارتعاشی به همراه بررسی نمودارهای عملکردی سختی دینامیکی از جمله مهم‌ترین بررسی‌های موردنیاز در موضوع عملکرد دسته‌موتور خواهند بود.

جهت اجرای تحلیل‌های عملکردی ویژگی‌های موتور، دسته‌موتور، شرایط عملکردی و پارامترهای اساسی موردنظر هستند. ویژگی‌های موتور، دسته‌موتور و شرایط عملکردی عمدتاً در مرحله تعریف مأموریت مشخص می‌شوند. اما پارامترهای اساسی (سختی، انعطاف پذیری و ...) باید به یکی از سه روش زیر تعیین گردند:

۱- در صورت استفاده از طراحی مرجع، به کاربردن کاتالوگ‌ها مینا خواهد بود. به عبارتی کاتالوگ‌ها می‌توانند در تعیین و یا تخمین پارامترها کمک کننده باشند.

۲- در صورت استفاده از طراحی ابتکاری، پارامترهای نمونه نهایی باید به کمک آزمایش تجربی و یا شبیه سازی تعیین گردد.

۳- در صورت استفاده از طراحی گزینشی و نبود اطلاعات کافی گزینه‌های منتخب، یا از روش‌های آزمایش تجربی و یا شبیه‌سازی مانند مرجع [۹] استفاده می‌شود و یا استفاده از نتایج پایگاه داده (نظیر کاتالوگ‌های مشابه) توصیه می‌گردد.

تأمین شرایط استانداردهای مرتبط از دیگر موضوعات مهم در نهایی شدن طرح خواهد بود [۸ و ۱۳-۱۶]. در ادامه بر اساس بررسی مقالات مشابه [۱۷-۲۲] روند اجرای تحلیل‌های مورد نیاز برای تایید عملکرد یک نمونه دسته موتور درون نصب دریایی مورد بررسی قرار می‌گیرد. در این مرحله به بررسی عملکرد دسته‌موتور به کمک نتایج حاصل از مدل‌سازی دینامیکی پرداخته می‌شود. نمودار سختی دینامیکی، به کمک پارامترهای عملکردی دسته‌موتور نظیر سختی، میرایی و سایر موارد، رسم می‌گردد. نمودار بدست آمده می‌تواند در تحلیل عملکرد دسته‌موتور مفید واقع گردد. به طور کلی، پس از تأیید نهایی طراحی اولیه، فرآیند ساخت یا گزینش نمونه اولیه اجرایی می‌گردد. سپس ارزیابی و تست عملکرد (آزمون‌های طولی و عرضی [۱۸ و ۲۲]).

در مورد قسمت‌های فلزی نیز، بخش‌هایی از دسته‌موتور که در معرض مستقیم بارهای استاتیکی و دینامیکی قرار می‌گیرند، از جنس فولاد انتخاب می‌شود. رویه بخش‌های فولادی عمدتاً از جنس آلومینیوم گزینش می‌گردد. در انواع فعال از مس برای سیم‌پیچ استفاده می‌شود. نهایتاً برای جداسازی محفظه‌ها در انواع فعال و یا ایجاد عملگر مکانیکی از آهن بهره می‌برند.

شایان ذکر است در شرایط طراحی ابتکاری در انتخاب جنس می‌توان به پایگاه داده مراجعه نموده و جهت تأیید انتخاب‌های نهایی از نتایج موجود در پایگاه داده بهره برد. بر اساس بررسی انجام شده خانواده الاستومر Synthetic بیشترین کاربری را در انواع دسته‌موتور شناورها خواهد داشت.

۵-۲- مدل‌سازی سه‌بعدی اولیه و اعمال اصلاحات

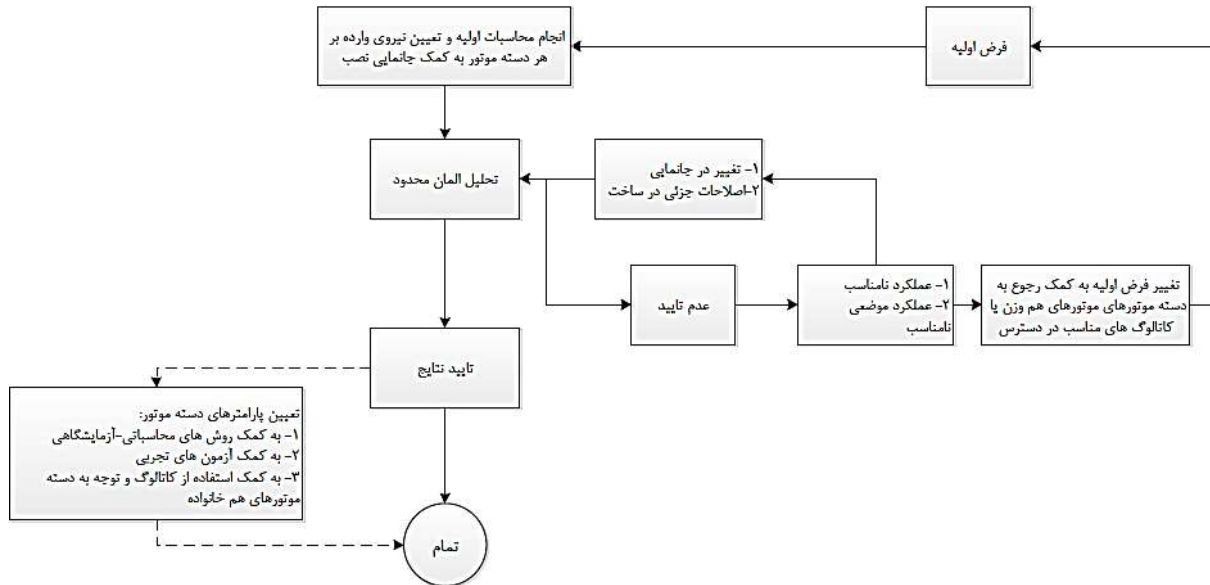
در این مرحله بر اساس انتخاب‌های نهایی صورت گرفته طراحی اولیه از مدل ایجاد می‌گردد. این طرح می‌تواند در بررسی جانمایی در ساختار اصلی، بررسی جنس و نیز چک کردن ایده طراحی کمک‌کننده باشد. در انتهای نیز بر اساس طرح اولیه چنانچه تغییراتی نیاز باشد، اعمال می‌گردد.

۵-۳- طراحی زیرسیستم‌ها و مدل‌سازی نهایی

در این بخش، طراحی زیرسیستم‌های طرح به همراه انتخاب مواد، نهایی می‌گردند. زیرسیستم‌ها خود نیز می‌توانند مستقیم از میان چند طرح انتخاب گردند یا طراحی اساسی شوند. به‌عنوان مثال در یک دسته‌موتور فعال انتخاب نوع کنترل‌کننده و یا عملگر در طراحی جزئیات می‌گنجد. با مشخص شدن کلیه زیرسیستم‌ها، نهایتاً مدل‌سازی نهایی برای ورود به بخش تحلیل اهمیت می‌یابد.

۶- مرحله ارزیابی

مرحله ارزیابی به عنوان آخرین مرحله طراحی شامل، تحلیل عملکرد طرح، ساخت یا سفارش نمونه اولیه، تست و آزمون میدانی از نمونه اولیه، اعمال اصلاحات احتمالی و نهایتاً جمع بندی طرح در قالب یک طراحی نهایی منجر به تولید خواهد بود. جهت بررسی عملکرد، چرخه ارزیابی عملکرد به صورت شکل (۴) تعریف می‌گردد. فرض اولیه ورودی یکی از



شکل (۴) چرخه ارزیابی عملکرد.

در ادامه با رسم دیاگرام آزاد و با در نظر گرفتن نیروها و دانستن مرکز جرم، به محاسبه نیروهای وارد بر هر دسته موتور اقدام می‌گردد.

همان‌گونه که از معادلات ۱ و دیاگرام آزاد شکل (۵) مشخص است، نیروی وارده بر هر دسته‌موتور عقب ۳۲۹ پوند و برای هر دسته‌موتور جلو ۲۷۰ پوند بدست آمده است.

$$\frac{1200 \times 14}{2 \times (17 + 14)} = 270 \text{ lbs per front mount} \quad (1)$$

$$\frac{1200 \times 17}{2 \times (17 + 14)} = 329 \text{ lbs per front mount}$$

در روند انتخاب قالب طراحی دسته‌موتور برای موتور درون نصب، با توجه به دسترسی به کاتالوگ مربوطه، استفاده از الگوی طراحی مرجع ملاک قرار خواهد گرفت.

بر این اساس، برای انتخاب دسته‌موتور عقب با توجه به وزن مشخص شده، دسته‌موتور F50-1-5 از کاتالوگ [۲۳] با توجه به بار وارده پیشنهاد می‌شود. در این گام با توجه به فرکانس عملکرد موتور (که همان فرکانس تحریک دسته‌موتور محسوب می‌شود)، به بررسی محدوده جذب ارتعاشات پرداخته می‌شود. لازم به ذکر است به کمک اطلاعات فنی دسته‌موتور، فرکانس طبیعی (و یا جرم و سختی) دسته‌موتور در دسترس است. رابطه (۲) به این معنا است که در شکل (۶) نسبت نیروی انتقالی به نیروی وارده اولاً کمتر از ۱ خواهد بود و ثانیاً اگر مقدار جداسازی خاصی مد نظر است آیا برآورده شده یا خیر.

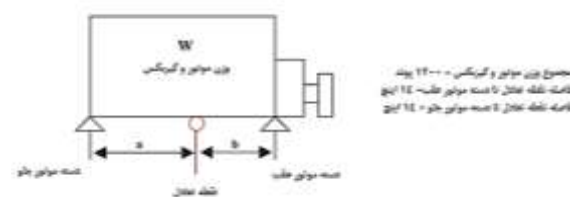
می‌تواند ایرادات احتمال را تا حد مطلوبی کاهش دهد. با اعمال اصلاحات جهت بهبود طرح زمینه برای اجرای طراحی نهایی آغاز می‌گردد. طراحی نهایی دسته‌موتور به معنای ارائه یک دفترچه فنی شامل، فرآیند طراحی، مدل‌سازی، تحلیل نرم‌افزاری عملکرد و نهایتاً تست میدانی نمونه خواهد بود. ساخت انبوه آخرین مرحله یک سیر کامل طراحی منجر به تولید است.

۷- اجرای فرآیند طراحی و گزینش دسته‌موتور برای

یک موتور شناور درون نصب دریایی

۷-۱- طراحی اولیه و انتخاب سیستم

بر اساس روند اشاره شده در باب تعریف ماموریت، برای یک موتور خطی فرضی ۶ سیلندر با توان ۲۰۰ Hp، با وزن مجموع ۱۲۰۰ پوند و ۴ دسته‌موتور، دوبه‌دو متقارن برای بازه عملکرد ۰ الی ۴۰ درجه سلسیوس، با جانمایی به صورت شکل (۵)، مراحل انتخاب و تایید عملکرد دسته‌موتور صورت می‌پذیرد.



شکل (۵) نمایی از موتور درون نصب مد نظر جهت انتخاب دسته موتور.

۲-۷- طراحی جزئیات

بر اساس مشخصات بدست آمده از کاتالوگ، دسته موتور منتخب با تمام جزئیات مشخص شده آن مدل می گردد (مطابق شکل (۷)). می توان دسته موتور پیشنهادی برای جلو را نیز مجدداً به کمک کاتالوگ انتخاب نمود، اما به لحاظ ضریب اطمینان بیشتر (با توجه به آنکه میزان تحمل بار دسته موتور عقب بیشتر است) در این بررسی هر ۴ دسته موتور از نوع مشخص شده برای دسته موتور عقب خواهند بود.

۳-۷- ارزیابی عملکرد

با توجه به آن که عملکرد دسته موتور در دو موضوع: اول، تحمل وزن موتور و گیربکس و دوم، جداسازی ارتعاشات موتور از بدنه معطوف می شود، از جمله مهم ترین تحلیل های مربوط به آن می توان به تحلیل استاتیکی و فرکانسی اشاره نمود. بر همین اساس نمونه منتخب مجدد بر اساس چرخه ارزیابی عملکرد دسته موتور مورد بررسی قرار خواهد گرفت. در این پژوهش، از آنجایی که دسته موتور منتخب استاندارد بوده است، تایید عملکرد آن می تواند مبین تایید مسیر پیشنهادی چرخه عملکرد باشد.

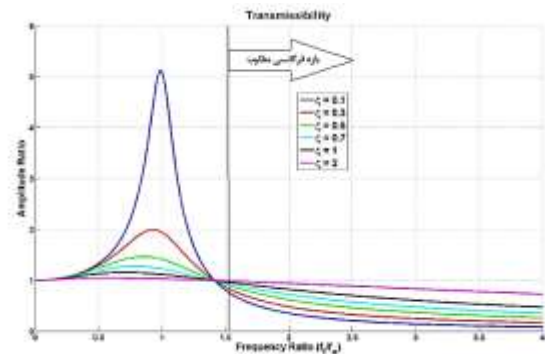
۱-۳-۷- تحلیل المان محدود

در گام اول، مدل سازی صورت گرفته به محیط تحلیل گر آباکوس وارد خواهد شد. حلگر مورد استفاده برای حل استاتیکی Static General انتخاب می شود و گزینه Nlgeom جهت تحلیل غیر خطی در حالت on قرار داده می شود.

سپس در این مرحله کلیه قیود و شرایط مرزی بر مدل اعمال می شوند. این قیود عمدتاً بر تکیه گاه (همان محل اتصال دسته موتور به پایه) اعمال می گردند.

اعمال جنس، بارگذاری و مش بندی نیز به صورت ادامه انجام خواهد شد. بعلاوه آن که نوع تماس تعریف شده پیشنهادی surface to surface و ویژگی تماس از نوع penalty و با ضریب اصطکاک ۰,۲ است. مسئله با اعمال نیروی وزن مشخص شده در ماموریت و پیشرانش به میزان ۳۱۰۰ نیوتن با زاویه اعمال ۲۰ درجه نسبت به افق در محل مرکز جرم با ضریب بار ۲ حل گردید [۲۰ و ۲۲].

نوع المان های بکار رفته نیز C3D8R و C3D8H، C3D8R بوده است. برای لاستیک پلیمری به دلیل رفتار هایپرالاستیک گزینه ی Hybrid formulation فعال شده است. روش



شکل (۶) منحنی میزان نیروی انتقالی بر حسب نسبت فرکانس تحریک به فرکانس طبیعی دسته موتور.

$$\sqrt{2} < r = \left(\frac{\omega}{\omega_n}\right) \quad (۲)$$

برای یک موتور ۶ سیلندر در دور موتور ۴۰۰۰ دور بر دقیقه فرکانس موتور زیر ۵۰ هرتز خواهد بود. این فرکانس به عنوان فرکانس تحریک دسته موتور شناخته می شود. از دیگر سو، با توجه به کاتالوگ، فرکانس طبیعی دسته موتور در حدود ۱۰ هرتز می باشد [۲۳].

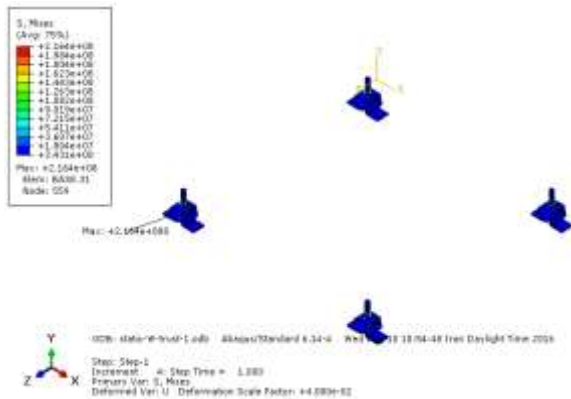
بنابراین، نسبت فرکانس تحریک به فرکانس طبیعی بر اساس شکل (۶) به واسطه رابطه (۳)، مقدار ۵ بدست خواهد آمد که مبین بازه مطلوب فرکانسی است. بر اساس شکل فوق نسبت نیروی انتقالی (ضریب انتقال نیرو) کمتر از ۰,۱ خواهد بود.

$$\sqrt{2} < r = \left(\frac{\omega}{\omega_n}\right) = \left(\frac{50}{10}\right) = 5 \quad (۳)$$

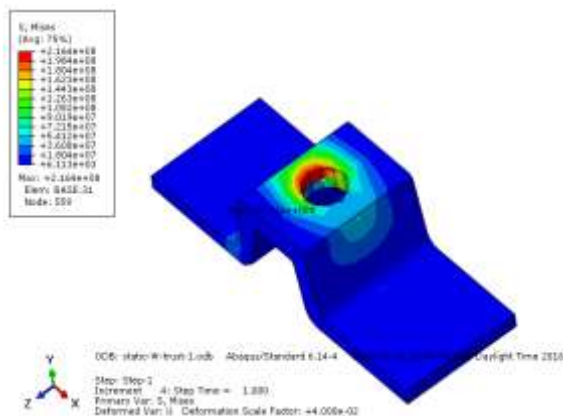
به کمک اطلاعات فنی موجود از دسته موتور، باید بررسی شود که سایر ورودی ها از جمله دمای عملکردی و یا توان قابل اعمال رانش در محدوده مشخصات فنی داده شده کاتالوگ هستند و یا خیر. بایستی سایر مشخصات مطلوب اشاره شده در ماموریت نیز بررسی شوند.

بر اساس اطلاعات فنی کاتالوگ، بیشینه عملکرد تا توان ۲۵۰ Hp برآورد شده است. چنانچه بیشینه عملکرد موتور مفروض بیش از این مقدار بود، می بایست از مدل های دیگری بر اساس کاتالوگ بهره برد.

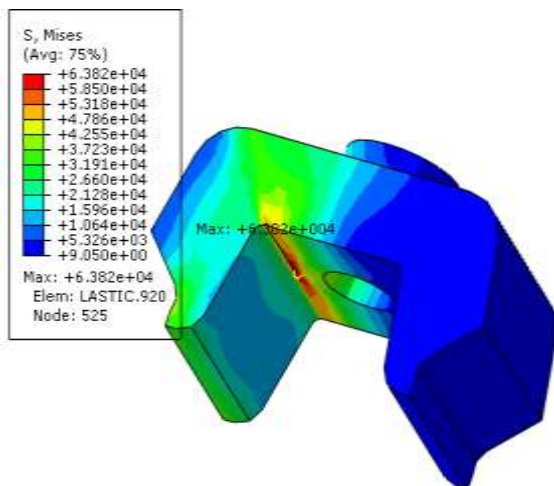
همچنین بر اساس کاتالوگ [۲۳] دمای عملکردی بر اساس توضیحات ارائه شده بین ۳۰- درجه سلسیوس و ۸۲ درجه سلسیوس باید باشد. اگر بازه عملکردی در این محدوده نباشد مجدداً بایستی کاتالوگ دسته موتور دیگری را گزینش نمود.



شکل (۹) تنش بیشینه در بخش فلزی.



شکل (۱۰) محل تنش بیشینه بر روی پایه دسته موتور.

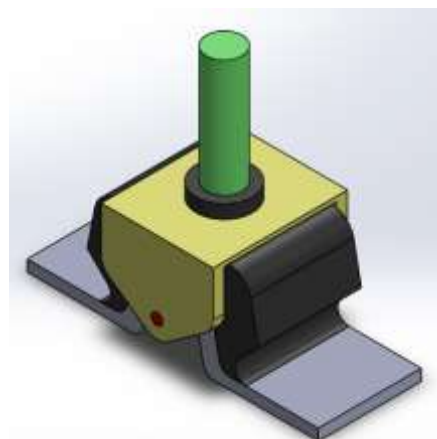


شکل (۱۱) تنش بیشینه در بخش لاستیکی.

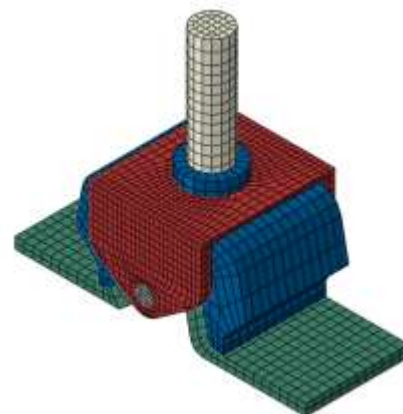
۷-۳-۲- تحلیل فرکانسی

در ادامه با تغییر حلگر به حالت فرکانسی، مودهای ارتعاشی به صورت جدول (۴) و شکل‌های (۱۲) الی (۱۴) بدست خواهند آمد.

مش‌زنی نیز استراکچر^۱ مکعبی منظم است (شکل (۸)). در این مسئله پس از ارزیابی استقلال از شبکه برای رسیدن به همگرایی حل و مستقل بودن نتایج از تعداد المان، تعداد 10000 المان برای شبکه بندی در نظر گرفته شده است. پس از اجرای حل نتایج به صورت شکل‌های (۹) الی (۱۱) بدست خواهند آمد. بر اساس نتایج بدست آمده، بیشینه تنش در بخش الاستومری ۰,۰۶ MPa خواهد بود که نسبت به بیشینه تنش تسلیم ۱۶ MPa الی ۲۰ MPa کاملاً رضایت بخش است. در بخش فلزی نیز بیشینه تنش ۲۱۵ MPa مگاپاسکال خواهد بود که با توجه به تنش بیشینه تسلیم به میزان ۴۵۰ MPa ضریب اطمینان ۲,۱ برای این تحلیل بدست خواهد آمد که با توجه به ضریب اطمینان برای تحلیل‌های مشابه [۲۴-۲۶] به میزان ۱,۵، مقادیر تنش بدست آمده نیز رضایت بخش خواهند بود.

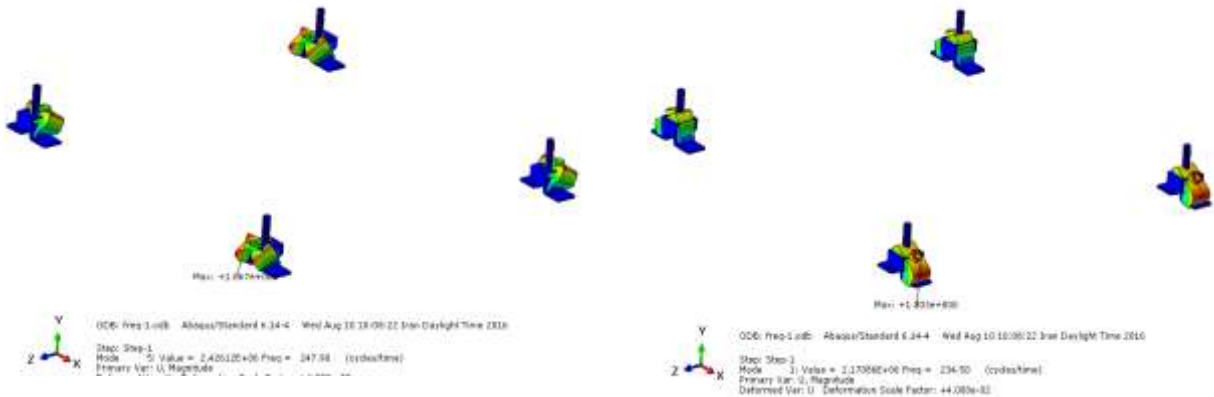


شکل (۷) نمای سه بعدی دسته موتور منتخب.



شکل (۸) شبکه بندی.

^۱ Structure



شکل (۱۲) مود فرکانسی اول و دوم.

شکل (۱۴) مود فرکانسی پنجم و ششم.

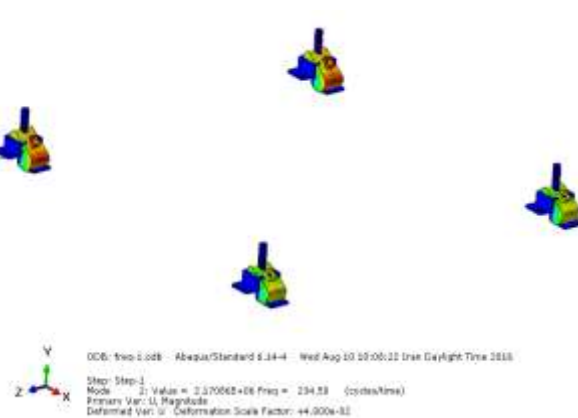
جدول (۴) نتایج فرکانس طبیعی از حل فرکانسی.

موضوع	Mode frequency (HZ)		
شماره مود ارتعاشی	۲ و ۱	۴ و ۳	۶ و ۵
فرکانس طبیعی	۲۳۴٫۵	۲۴۲	۲۴۸
نوع فرکانس	خمشی	پیچشی	خمشی

لازم به ذکر است به علت انتخاب ۴ دسته موتور یکسان، مودها دوه‌دو یکسان شده‌اند. در بسیاری از مطالعات انجام شده، نظیر تائو و همکارانش [۲۷] فرکانس‌های تحریک برای دسته‌موتورهای الاستومری بالای ۲۰۰ هرتز تعیین شده‌اند. در مطالعه حاضر نیز اولین فرکانس تحریک ۲۳۴٫۵ هرتز تعیین گردید. بعلاوه باید اشاره کرد که در مطالعات مشابه [۲۸] عمدتاً فرکانس تحریک دسته‌موتور (که به نوعی همان فرکانس‌های طبیعی موتور می‌توانند باشند) کمتر از ۸۰ هرتز تعیین گشته‌اند.

بر اساس نتایج بدست آمده از حل فرکانسی با توجه به آن‌که موتور ۶ سیلندر در دور ۴۰۰۰ RPM فرکانس تحریک کمتر از ۵۰ هرتز برای دسته‌موتور ایجاد می‌نماید، فاصله مناسب تا اولین فرکانس تحریک وجود دارد.

بر اساس دو تحلیل انجام شده، دسته‌موتور منتخب در شرایط بحرانی، با ضریب اطمینان ۲٫۱ پاسخگوی تحلیل استاتیکی است و با فاصله مناسب نسبت به فرکانس تحریک پاسخگوی



شکل (۱۳) مود فرکانسی سوم و چهارم.

عنوان مسائل اصلی طراحی تعیین شدند. در نهایت نیز موضوع ارزیابی نتایج طراحی با معرفی چرخه‌ی ارزیابی عملکرد تبیین گردید.

در ادامه، مسیر طراحی و انتخاب برای تعیین دسته‌موتور یک موتور ۶ سیلندر دریایی درون نصب با توان ۲۰۰ اسب بخار، اجرا گردید. با توجه به در اختیار داشتن منابع اطلاعاتی مناسب، طراحی مرجع به کمک کاتالوگ صورت پذیرفت. پس از اجرای فرآیند طراحی جزئیات بر روی دسته‌موتور منتخب، ارزیابی عملکرد به کمک تحلیل استحکام و فرکانسی صورت گرفت.

بر اساس نتایج بدست آمده، بیشینه تنش در بخش الاستومری ۰,۰۶ MPa خواهد بود که نسبت به بیشینه تنش تسلیم ۱۶ MPa الی ۲۰ MPa مناسب است. در بخش فلزی نیز بیشینه تنش ۲۱۵ MPa مگاپاسکال خواهد بود که با توجه به تنش بیشینه تسلیم به میزان ۴۵۰ MPa ضریب اطمینان ۲,۱ برای این تحلیل بدست خواهد آمد که با توجه به ضریب اطمینان مناسب به میزان ۱,۵، مقادیر تنش بدست آمده نیز رضایت بخش خواهند بود.

در ادامه با تغییر حلگر به حالت فرکانسی، مودهای ارتعاشی فاصله بسیار مناسبی با فرکانس تحریک (۵۰ هرتز) از خود نشان دادند.

نهایتاً تحلیل نتایج مدل‌سازی دینامیکی و نمودار سختی دینامیکی حاصل شده مورد ارزیابی قرار گرفتند.

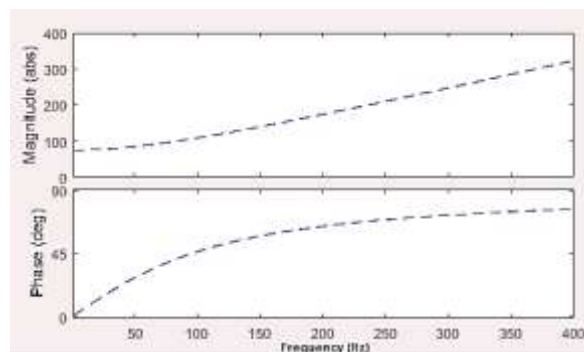
۹- مراجع

- [1] Mehrkish, A., "Vibrational - Thermal Analysis and Modeling of a New Type of Multi Chamber Active Engine Mount with Cooling Function", in Mechanical Engineering Department, Master Theses, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran, 2013.
- [2] Adhau, A., Kumar, P.V, "Engine Mounts and its Mesign Considerations", International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT), Vol.2, No.11, 2013.
- [3] Majlesu, A.R., "A New Approach in Modeling and Optimization of Engine Mounting System", in Mechanical Engineering Department, Master Theses, University of Waterloo, Waterloo, Canada, 2003.
- [4] Horowitz, R., "Creative Problem Solving in Engineering Design", in Mechanical Engineering Department, PhD Theses, University of Texas, Texas, USA, 1999.
- [5] Karuppoor, S.S., "Tools for Innovation & Conceptual Design", in Mechanical Engineering

تحلیل فرکانسی نیز خواهد بود. این موضوع نشان می‌دهد که نتایج حاصل از گزینش کاتالوگ، توسط تحلیل‌های عملکردی مورد تایید قرار گرفته‌اند.

۷-۳-۳- مدل‌سازی دینامیکی

نتایج مدل‌سازی و نمودارهای سختی دینامیکی حاصل از نرم‌افزار نگارش شده مهرکیش و طهانی [۱] نیز به صورت شکل (۱۵) خواهند بود. بر این اساس با افزایش فرکانس، سختی دینامیکی روند صعودی خواهد داشت. اما دسته‌موتور در فرکانس‌های پایین عملکرد مناسبی ندارد.



شکل (۱۵) نمودار سختی دینامیکی و فاز بر حسب فرکانس.

۸- نتیجه‌گیری

این پژوهش بر اساس جدیدترین مطالعات انجام شده در موضوع روش‌ها و الگوهای طراحی مهندسی در سالیان اخیر به ارائه الگوریتم طراحی دسته موتور می‌پردازد. برای این منظور پس از تبیین ضرورت طراحی و تحلیل دسته‌موتور جهت کاربری یک شناور دریایی، گام‌های طراحی در ۴ بخش اصلی معرفی گردیدند.

در مرحله طراحی اولیه پس از تعریف ماموریت و معین کردن ورودی‌های طراحی، به بیان محاسبات اولیه جهت آغاز فرآیند طراحی و ضرورت جمع‌آوری پایگاه داده پرداخته شد.

در گام طراحی مفهومی به انتخاب قالب طراحی از میان روش‌های طراحی گزینشی، طراحی ابتکاری و طراحی مرجع اقدام گردید. برای این منظور به مقایسه این روش‌ها مزایا و معایب هر یک برای تیم طراحی تشریح شد. همچنین در روش طراحی گزینشی به بیان دقیق پارامترهای اساسی طراحی و روش‌های وزن‌دهی و انتخاب بهینه اشاره گردید. همچنین در مرحله طراحی جزئیات موضوعاتی نظیر انتخاب مواد، مدل‌سازی، اصلاح مدل و نهایتاً طراحی زیر سیستم‌ها به

- Experimental Modal Analysis”, SAE Technical Paper Series, 2006.
- [22] Ean, Z., “Dynamic Characterization of Engine Mount at Different Orientation using Sine Swept Frequency Test”, in Regional Conference on Mechanical and Aerospace Technology, 2010.
- [23] Hutchinson Aerospace and Industry, “Specialty Isolators”, Catalogue.
- [24] American Institute of Steel Construction, ANSI/AISC 360-05 - Specification for Structural Steel Buildings, An American National Standard, 2005.
- [25] Widner, S., “Mechanical Design of an Advanced Self-Aligning Mounting System”, in Mechanical and Production Engineering, Vaasa. 2013.
- [26] Demir, I, Javaid, Yasar., “Experimental Study of Cabin and Engine Vibration Isolation Elements”, Department of Mechanical Engineering, 2011.
- [27] TAO و J. S., et.al., “Design Optimization of Marine Engine Mount System”, Journal of Sound and Vibration, Vol.235, pp.477-494, 2000.
- [28] Ashraflion H., “Design Optimisation of Aircraft Engine-Mount Systems”, Journal of Vibration and Acoustics, Vol.115, pp.463-467, 1993.
- Department, PhD Theses ,University of A&M, Texas, USA, 2003.
- [6] Westmoreland, S.N., “Design Thinking: Cognitive Patterns In Engineering Design Documentation”, in Mechanical Engineering Department, PhD theses , University of Maryland, Maryland, USA, 2012.
- [7] Ramachandran, T., et al., “Review on Internal Combustion Engine Vibration and Mountings”, International Journal of Engineering Sciences & Emerging Technologies, Vol.3, p.63-73, 2012.
- [8] DeBord, F., et al., “Measurement and Analysis of Shipboard Vibration”, Marine Technology, Vol.35, 1998.
- [9] Kiomarsi, E., et al., “Estimate the Parameters of the Multi-Chamber Engine with Cooling Capacity”, in Mechanic, Ferdowsi University of Mashhad, 2013.
- [10] Flexible Engine Mountings, R.D. Marine, Editor. p. www.randdmarine.com.
- [11] Cylindrical Study Mount Series, www.hutchinsonai.com, Catalogue.
- [12] Vibration, Shock and Motion Control Products for Industrial Equipment. ,LORD, Editor.: www.LORD.com. p.1-127.
- [13] ISO 10846-1, Acoustics and Vibration – Laboratory Measurement of Vibro- Acoustics Transfer Properties of Resilient Elements- Part 1: Principles and Guidelines. 2008.
- [14] ISO 10846-2, Acoustics and Vibration – Laboratory Measurement of Vibro- Acoustics Transfer Properties of Resilient Elements- Part 2,3,5: Direct Method for Determination of the Dynamic Stiffness if Resilient Supports for Translatory Motion. 2009 .
- [15] ISO 10846-4, Acoustics and Vibration -- Laboratory Measurement of Vibro-Acoustic Transfer Properties of Resilient Elements -- Part 4: Dynamic Stiffness of Elements Other Than Resilient Supports for Translatory Motion, 2003.
- [16] SAE J615_200807, SAE Engine Mountings, SAE International, 2008.
- [17] Sebastian C.S, “Design and Optimization of Engine Mount Bracket”, International Journal of Application or Innovation in Engineering & Management (IJAIEM), 2016.
- [18] Ramos, F.M., “Vibration Analysis of an Engine Mount”, Universidade Técnica de Lisboa Pais, pp.1049-001.
- [19] Maski, S., and Basavaraj Y., “Finite Element Analysis of Engine Mounting Pretension Effect and Service Load”, International Journal of Research in Engineering and Technology, Vol.4, No.8, 2015.
- [20] Ghobadipour, B., Ziaee jazi, A., “Rubber Engine Mount Simulating with Regard to Hyperelastic Property”, in ICICE&O -8. 2014.
- [21] Okada, T., et al., “Engine Mount Characteristics Identification of Large Outboard Motor Using