دوفصلنامهٔ هیدروفیزیک

دورهٔ ششم، شمارهٔ اول (بهار و تابستان ۱۳۹۹)؛ صفحات: ۱۱۱-۹۵

مقالهٔ پژوهشی

DOR: 20.1001.1.24767131.1399.6.1.9.3

شناسایی و ارائه الگوی طراحی و توسعه الزامات تعمیرپذیری سیستم‌های یک شناور دریایی به کمک تصمیم‌گیری چندمعیاره

محسن خسروی‌فر[۱*]، مهدی کرباسیان[۲]، سید اکبر نیلی‌پور طباطبایی[۳]

[۱*] نویسندهٔ مسئول، کارشناس ارشد مهندسی صنایع، مجتمع کشتی‌سازی و صنایع فراساحل ایران، شاهین شهر khosravi.m63@gmail.com

[۲] دانشیار، مجتمع دانشگاهی مدیریت و مهندسی صنایع، دانشگاه صنعتی مالک اشتر mkarbasi@mut-es.ac.ir

[۳] استادیار، مجتمع دانشگاهی مدیریت و مهندسی صنایع، دانشگاه صنعتی مالک اشتر a.nilipour@mut-es.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۱/۱۹ **تاریخ پذیرش:** ۱۳۹۸/۱۲/۱۳

چکیده

با افزایش پیچیدگی محصولات و سیستم‌های تولیدی، به‌کارگیری سیستم نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه همچون قابلیت تعمیرپذیری در طراحی سامانه، می‌تواند نقش زیادی در کاهش قیمت تمام‌شده محصول نهایی ایفا نماید. در این مقاله ضمن توجه به تعمیرپذیری در طراحی یک شناور دریایی در قالب یک الگوی بومی‌شده در بستر چرخهٔ عمر طراحی سیستم‌ها، بهبود تعمیرپذیری در طراحی سیستم‌ها و کاهش زمان توقف برای تعمیر در تولید محصولات و بهبود قابلیت اطمینان و دسترس پذیری سیستم‌ها موردتوجه قرار گرفته است. به همین منظور با توجه به کم‌رنگ بودن مباحث تعمیرپذیری در طراحی سیستم‌های شناورهای دریایی، پس از بررسی چرخه‌های عمر محصولات مشابه و انتخاب منطبق‌ترین چرخه عمر شناورهای دریایی که شامل ۵ فاز اصلی است و استفاده از ۱۶ الزام مرجع تعمیرپذیری، به کمک روش تصمیم‌گیری چند معیاره، الگوی طراحی و توسعه الزامات تعمیرپذیری در بستر چرخه عمر سازگار با طراحی سیستم‌های شناورهای دریایی استخراج شده است. کاهش هزینه و زمان نت، افزایش دسترس‌پذیری سیستم، کاهش صدمه/ خستگی اپراتور فنی نت، کاهش هزینه و زمان نت، کاهش ساعت‌های آموزش اپراتورهای فنی نت، بهبود و تسریع در تشخیص مشکل، کاهش احتمال صدمه به قطعه یا سیستم ، بهبود قابلیت اطمینان از مزایای استفاده این الگو در طراحی هستند.

واژه‌های کلیدی: طراحی و توسعه، تعمیرپذیری، شناور دریایی، تصمیم‌گیری چند معیاره، تاپسیس، آنتروپی شانون

۱. مقدمه

از زمان آغاز انقلاب صنعتی، مشتریان متقاضی محصولاتی ارزان‌تر، سریع‌تر و درعین‌حال با قابلیت اطمینان، قابلیت نگهداری و پشتیبانی بهتر شده‌اند. موفقیت هر تجارتی به میزان مؤثر بودن فرایند و محصول تولیدی آن بنگاه وابسته است. هر محصولی در جهان برای انجام یک وظیفه مشخص ساخته شده است و مشتری و استفاده‌کننده تمایل به پایداری عملکرد محصول تا زمان انجام صحیح مأموریت محولهٔ آن دارند. در هنگامی که محصول نیاز به نگهداری و تعمیرات داشته باشد، بهترین حالت این است که این مهم با انجام حداقلی نگهداری و تعمیرات در کمترین زمان ممکن با کمترین توقف در عملکرد محصول و با کمترین حمایت و هزینهٔ ممکن قابل انجام باشد. با افزایش اطلاع و آگاهی مصرف‌کنندگان، تقاضای آنان برای کیفیت، قابلیت اطمینان و قابلیت دسترسی محصول افزایش می‌یابد. هرساله میلیاردها دلار از سوی سازمان‌های تجاری و نظامی به عنوان نتیجهٔ مستقیم عدم قابلیت اطمینان و نبود قابلیت نگهداری و حمایت ضعیف از سیستم‌ها هزینه می‌شود [۱]. سیستم‌های صنایع امروزی شامل عناصر پیچیده بسیاری هستند. در طراحی تجهیزات مهم، حساس و ترکیبات پیچیدهٔ سیستم‌های مهندسی، نیاز به تعیین یکپارچگی مهندسی است. یکپارچگی مهندسی شامل قابلیت اطمینان، قابلیت دسترسی، قابلیت نگهداری و ایمنی عملکردهای ذاتی سیستم و تجهیزات مرتبط با آن‌هاست؛ بنابراین یکپارچگی طراحی مهندسی شامل معیارهای طراحی قابلیت اطمینان، قابلیت دسترسی، قابلیت نگهداری و ایمنی سیستم‌ها و تجهیزات می‌شود. ترکیب کلی این چهار مبحث به منزلهٔ روشی برای طراحی مهندسی خوب با یکپارچگی مهندسی مطلوب‌اند. با این روش، طراحی مهندسی‌های پیچیده می‌توانند به‌درستی تجزیه‌وتحلیل و بررسی شود. این مفهوم، مفهوم جدیدی نیست و به‌تدریج در زمینهٔ تضمین و اطمینان از محصول توسعه یافته است که در این آنالیز بیشترین توجه به مبحث طراحی مهندسی مبتنی بر تخصص نظری و تجربهٔ عملی شده است؛ به‌خصوص از این نظر که برای دستیابی به طراحی قوی، باید این نکته را مدّ نظر داشت که در طراحی بدون معیار، دستیابی به عملکرد موردنظر امکان‌پذیر نخواهد بود. بسیاری از مشکلات به وجود آمده در نصب و عملکرد تأسیسات بنیادی اساسی از نبود ارزیابی مناسب در یکپارچگی مهندسی حکایت دارند. بازه‌های تعمیراتی یک تجهیز تأثیر بسیاری بر عملکرد آن دارند و درنتیجه در تحقق طراحی مطلوب و نهایتاً ساخت یک تجهیز با کارایی موردنظر با قابلیت اطمینان کافی در یک قیمت مقرون‌به‌صرفه بسیار مهم و تأثیرگذار هستند. به هنگام مواجهه با کمبود بودجه تعمیر و نگهداری و افزایش حساسیت‌های بازارهای رقابتی، مسئله تعمیر پذیری به‌طور فزاینده‌ای برای بسیاری از شرکت‌ها به یک امر مهم تبدیل خواهد شد. اگرچه، مفهوم تعمیر پذیری یک مفهوم "جدید" نیست، بااین‌حال بسیاری از شرکت‌ها به‌منظور افزایش میزان سازگاری با محیط و رسیدن به توسعه پایدار، کماکان از این مفهوم استفاده خواهند کرد. ویژگی مهم هر طرح تعمیر پذیری سهولت در کاربری، دقت، ایمنی، عملکرد اقتصادی در اقدامات تعمیر و نگهداری است که موجب افزایش رضایت و اعتماد مشتریان و ذی‌نفعان سازمان خواهد بود. بهبود تعمیرپذیری موجب کاهش تأخیرات و درنتیجه افزایش بهره‌وری، انعطاف‌پذیری و رضایت مشتری می‌شود. بنابراین، تعمیرپذیری به‌عنوان یک ابزار مهم به طراحان اجازه می‌دهد تا پیش‌بینی و تعمیرپذیری بهبود یابد و درنتیجه هزینه‌های تعمیر و نگهداری کاهش یافته و درآمد افزایش یابد [۲]. تعمیرپذیری یک چهارچوب منطقی و ساختاریافته برای تعیین ترکیب بهینه از فعالیت‌های عملی، مؤثر نگهداری و تعمیرات برای بهبود تعمیرات سیستم‌ها و تجهیزات در سطح مطلوب و درعین‌حال اطمینان از ایمنی، ملاحظات اقتصادی و پشتیبانی است. تعمیرپذیری بر بهینه‌سازی شاخصه‌های حفظ و بازسازی سیستم و پشتیبانی از سیستم از طریق نگهداری و تعمیرات مؤثر و اقتصادی تأکید دارد. موضوع اطمینان از تعمیرپذیری یک مجموعه یا محصول دغدغه ذهنی طراحان، سازندگان و استفاده‌کنندگان آن است. مسئولیت حقوقی طراح و سازنده، اطمینان و آسودگی خاطر استفاده‌کننده، از بدیهی‌ترین مسائل حقوقی دنیای امروز است [۳]. با توجه به پیشینهٔ تحقیق پژوهش حاضر و جمع‌بندی که از پیشینهٔ تحقیق استخراج شده است، به نظر

می‌رسد که در راستای تهیهٔ الگوی تعمیرپذیری در طراحی شناور دریایی تاکنون اقدام و تلاشی جامع و مؤثر صورت نگرفته است و این پژوهش به دنبال پر کردن این شکاف به‌خصوص در سازمان کشتیرانی است. بنابراین نمایش نظری، ساده شده طراحی و توسعه تعمیرپذیری نقش مهمی را در تعریف شکل فیزیکی محصول و درنتیجه برآوردن نیازهای مشتری از طریق ارتباط آسان و اقتصادی زمان و منابع ایفا می‌کند تا مهم‌ترین بخش‌های یک شناور دریایی که وظیفه تحقق و یکپارچه‌سازی شناورهای سطحی و زیرسطحی از جمله کشتی، قایق، بارج، لنج و زیردریایی و... را بر عهده دارند، بتواند در شرایط مشخص توسط کارکنان با سطح مهارت مشخص و با استفاده از روش مناسب به کمک منابع در هر سطح مشخص شده، حفظ، تعمیر و بازسازی شوند. در جدول شماره ۱ به بررسی پیشینهٔ تحقیق و اعتبارسنجی این پژوهش بر اساس سایر پژوهش‌ها پرداخته شده است.

جدول ۱. بررسی پیشینهٔ تحقیق و اعتبارسنجی این پژوهش بر اساس سایر پژوهش‌ها

نام محقق/محققان	هدف تحقیق	متغیرها	نتایج	مدل‌سازی	مصاحبه و پرسشنامه	شبیه‌سازی	مطالعه موردی
مهدی کرباسیان، بتول محبی، یژن خیام باشی، مهدی مرادی[۴]	حداکثرسازی قابلیت تعمیرپذیری سیستم‌های پیچیده به‌وسیله ماژولارسازی	تخصیص تعمیرپذیری، قابلیت تعویض‌پذیری، استانداردسازی، طراحی ماژولار، دسترس‌پذیری، الزامات ایمنی، ساده‌سازی، ارگونومی، شناسایی نشانه‌ها، مکان‌های شکست، الزامات تست و بازرسی، اصلاح و جایگزینی مؤلفه‌های پرهزینه، استفاده از ابزار ماتریس ساختار طراحی[۱] برای معماری سیستم، برنامه‌ریزی تست و ارزیابی، کاهش ملاحظات ذخیره‌سازی و انبار، تحلیل سطح تعمیر، تضمین اجرای اهداف تعمیرپذیری، طراحی فیزیکی، پیکربندی و جایابی طرح کلی	طراحی هم‌زمان تعمیرپذیری در طی طراحی ماژولار و چیدمان سیستم اثربخش است.	✓			فاصله‌یاب لیزری
سید مجتبی حسنیان، سید مجید هاشمی متین، هادی احرام پوش [۵]	ارائه نقشه راه جامع برای استفاده از قابلیت اعتماد[۲] در سیستم مدیریت دارایی‌ها	متوسط زمان بین دو خرابی[۳] متوسط زمان بین خرابی‌ها[۴]	بررسی و تحلیل شاخص‌های قابلیت اعتماد شرکت بهره‌برداری قطار شهری مشهد	✓			شرکت بهره‌برداری قطار شهری مشهد
جلال سلیمان نژاد، محمد اسدی زیدآبادی، حنیف مغزی [۶]	افزایش ظرفیت گلوگاه کارخانه مگنتیت گل گهر با ارتقای نسبت متوسط زمان بین دو خرابی به متوسط زمان تعمیر	متوسط زمان بین دو خرابی متوسط زمان تعمیر [۵]	نگه‌داری و تعمیرات خوب موجب افزایش ظرفیت در گلوگاه کارخانه شده و افزایش تولید هزینه‌های ثابت محصول تولیدی به‌عنوان بخشی از بهای کل محصول را نیز کاهش می‌دهد.	✓			کارخانه مگنتیت گل گهر سیرجان
محمد خدامرادی، ابراهیم محمودی پور[۷]	راهکاری جدید برای حل مسئله تخمین شاخص‌های قابلیت تعمیرپذیری با استفاده از روش شبیه‌سازی مونت‌کارلو	متوسط زمان تا خرابی[۶] متوسط زمان تعمیر	رشد قابلیت اطمینان و کاهش هزینه‌های تعمیرونگهداری طیف وسیعی از سیستم‌های الکترونیکی و رایانه‌ای مشابه که در سایر صنایع مانند برق، نفت و پتروشیمی مورداستفاده قرار می‌گیرند.			✓	شرکت الکترونیکی

نام محقق/محققان	هدف تحقیق	متغیرها	نتایج	مدل‌سازی	مصاحبه و پرسشنامه	شبیه‌سازی	مطالعه موردی
صادق فاضل، ایمان عرفانیان [۸]	ارزیابی شاخص‌های تعمیرپذیری و قابلیت دسترسی یک نوع سامانه هیدرولیکی دریایی	متوسط زمان تا خرابی متوسط زمان تعمیر	ارتقاء قابلیت نگهداری و قابلیت دسترسی طیف وسیعی از سایر سامانه‌های به‌کاررفته در صنایع دریایی، هوایی، فضایی، اتمی، برق، نفت	✓		✓	سازمان صنایع دریایی
مسعود زیاری، علی خشنود قویم [۹]	مقدمه‌ای بر طرح‌ریزی، توسعه و مدیریت مؤثر در برنامه قابلیت اطمینان، نگهداری و تعمیرات	متوسط زمان تعمیر بیشترین زمان تعمیر[۷]	برنامه‌ها و پروژه‌هایی که از فرایندهای تضمین R&M بهره می‌برند باعث افزایش صرفه اقتصادی می‌شوند.	✓			سازمان صنایع هوافضا
Yeon-Yong Yoo1, Jae-Chon Lee [10]	بهبود سیستم سلاح	۱. استاندارد سازی[۸] ۲. ماژولار سازی[۹] ۳. ساده‌سازی[۱۰] ۴. قابلیت تشخیص[۱۱] ۵. شناسایی[۱۲] ۶. قابل‌دستیابی[۱۳] ۷. مونتاژ / دمونتاژ[۱۴] ۸. مفهوم درک سه‌گانه[۱۵]	بهبود سیستم سلاح به کمک منطق ماژولار مهندسی سیستم	✓			صنایع نظامی کره جنوبی
Kiumars TEYMOURIAN, Dammika SENEVIRATNE, Diego GALAR [11]	نقش ارگونومی در تعمیرپذیری	الزامات ارگونومی، طراحی محصولات با دوام و ایمن، قابلیت اطمینان	بهبود محیط کار، رضایت افراد و تعمیرپذیری در طراحی محصولات			✓	فروشگاه زنجیره‌ای
H. L. Lockett, K. Arvanitopoulos-Darginis [12]	کاهش زمان تعمیرات هواپیما	متوسط زمان تعمیر	بهبود و کاهش زمان تعمیرات تجهیزات هواپیما			✓	شرکت هواپیمایی انگلستان
Xu Luo, Zhexue Ge, Fengjiao Guan, Yongmin Yang [13]	افزایش قابلیت اطمینان و سهولت در تعمیرات سیستم کنترل پرواز هواپیما	۱. ساده‌سازی ۲. ماژولار سازی ۳. استاندارد سازی ۴. قابلیت تشخیص ۵. شناسایی ۶. مونتاژ[۱۶] ۷. قابلیت دستیابی ۸. ارگونومی[۱۷] ۹. نگهداری و تعمیرات[۱۸] ۱۰. ایمنی[۱۹] ۱۱. قطعه یدکی[۲۰] ۱۲. قطعات و تجهیزات[۲۱] ۱۳. کارکنان[۲۲] ۱۴. سازمان[۲۳] ۱۵. مهارت کارکنان[۲۴]	بهبود عملکرد سیستم کنترل پرواز			✓	شرکت هواپیمایی چین

نام محقق/محققان	هدف تحقیق	متغیرها	نتایج	مدل‌سازی	مصاحبه و پرسشنامه	شبیه‌سازی	مطالعه موردی
Lov Kumar, Aneesh Krishna, Santanu Ku Rath [14]	کاهش زمان تعمیرات تجهیزات اساسی	متوسط زمان تعمیر	بهبود و کاهش زمان تعمیرات تجهیزات اساسی شرکت دی تی اس بر اساس تحلیل مؤلفه‌های متوسط زمان تعمیر	✓			شرکت DST –پروژه FIST در کشور هند
Xu Luo, Yongmin Yang, Zhexue Ge, Xisen Wen and Fengjiao Guan [15]	بهینه‌سازی طراحی و جانمایی کابین کشتی	۱. عملیات نت ۲. تعداد بالابر ۳. پایداری و مقاومت ۴. الزامات ابعادی ۵. جابه‌جایی کارکنان ۶. دقت مقادیر	درنهایت، روش پیشنهادی با شبیه‌سازی و برنامه‌های مهندسی نشان داده شده است و نتایج، مؤثر بودن روش را نشان می‌دهد.	✓			نیروی دریایی انگلستان
R. Thacher Knight [16]	توسعه مفهوم فرایند قابلیت اطمینان، قابلیت دسترسی و قابلیت نگهداری	متوسط زمان بین دو خرابی متوسط زمان تعمیر	راهنما باید نقش‌ها و مسئولیت همه سهامداران درگیر در برنامه تحقق محصول را مشخص نماید. با آموزش کارکنان جدید در خصوص وظایف RAM موجب افزایش اثربخشی و توسعه برنامه قابلیت اطمینان اکتساب سامانه می‌شود.		✓		وزارت دفاع آمریکا
Guang Tian, Xin-Jie Shao, Guang-Sheng Liu Jin-Hua Liu, Hao Tian, Yan Zhang [17]	طراحی و آنالیز قابلیت اطمینان و تعمیرپذیری روی نوعی سلاح	متوسط زمان تعمیر	انتخاب مؤثر دستگاه استاندارد برای طراحی سیستم، ماژول مناسب طراحی و تست واحد سختی، به‌شدت تحقق قابلیت اطمینان و تعمیر پذیری سیستم را تضمین می کند.	✓			وزارت دفاع آمریکا
Zhong-Zhe Chen, Hong-Zhong Huang, Yu Liu, Li-Ping He, Zhonglai Wang [18]	توسعه مفهوم MTTR به‌عنوان شاخص تعمیرپذیری	متوسط زمان تعمیر	روش ارائه‌شده قادر است با کم بودن حجم نمونه، صرفه‌جویی قابل‌توجهی در هزینه‌های برنامه اکتساب تعمیرپذیری هواپیماهای جدید ایجاد و تضمین نماید.		✓		صنعت هوایی چین
Dong Zhou, Le Kang, Yan Ding, Chuan Lv [19]	آنالیز و بهبود و یکپارچه‌سازی فعالیت‌های تعمیرپذیری و نت	۱. قابلیت دستیابی ۲. استاندارد سازی ۳. قابلیت تبدیل[۲۵] ۴. ماژولار سازی ۵. پیشگیری از خرابی و تشخیص آن ۶. تشخیص با چشم ۷. فاکتورهای انسانی ۸. ایمنی نگهداری و تعمیرات	یک فرایند تجزیه‌وتحلیل یکپارچه به وجود آمده است، که می‌تواند نقایص طراحی را به‌طور اثربخش مرتفع سازد. علاوه بر این، متدولوژی اقدامات شکل گرفته برای بهبود طراحی را با غربالگری مشکلات کلیدی ناشی از نتایج تجزیه‌وتحلیل داده‌ها را موردتوجه قرار می‌دهد.	✓			آزمایشگاه مرکزی بیجین چین

نام محقق/محققان	هدف تحقیق	متغیرها	نتایج	مدل‌سازی	مصاحبه و پرسشنامه	شبیه‌سازی	مطالعه موردی
Jinbo Huang, Anqing Liu [20]	یکپارچه‌سازی طراحی محیطی تعمیرپذیری و آنالیز آن تحت مدیریت چرخه عمر سلاح‌های نیروی دریایی	متوسط زمان بین دو خرابی متوسط زمان تعمیر بیشترین زمان تعمیر	چارچوب طراحی کلی یکپارچه پیکربندی محیط طراحی تعمیرپذیری تجزیه‌وتحلیل بر اساس مدیریت چرخه عمر محصول. ایجاد مدلی اصلی از اطلاعات نگهداری بر اساس درخت محصول ایجاد یکپارچگی بین ابزارهای تعمیرپذیری و چارچوب مدیریت چرخه عمر محصول راه‌اندازی یک فرایند مدل مدیریت طراحی نگهداری و تجزیه‌وتحلیل بر اساس مدیریت چرخه عمر محصول	✓			صنعت دریایی چین
Cristea-Gabriel RAU, Pavel NECAS, Mircea BOSCOIANU [21]	بهبود نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه	متوسط زمان تعمیر	بهبود شاخص‌های بحرانی تعمیرپذیری سیستم‌های پروازی	✓		✓	آکادمی نیروی هوایی رومانی
Soumi Ghosh, Sanjay Kumar Dubey, Prof. (Dr.) Ajay Rana [22]	بهبود تعمیرپذیری طراحی نرم‌افزار	مشخصات تعمیرپذیری	افزایش قابلیت اعتماد مدل تعمیرپذیری نرم‌افزار	✓			شرکت نویدا هندوستان
Jia Shu LI, Yi LIU, LIU, Niandong WANG [23]	به‌کارگیری شبیه‌سازی در نت به‌منظور بهبود در تعمیرپذیری محصول	کتیا	مدل‌های نت ارائه‌شده شامل اطلاعات مدل، فرایندهای شبیه‌سازی و روش‌های مناسب برای آنالیز تعمیرپذیری، تصدیق و ارزیابی است. هر دو مدل‌های نت مجازی تشخیص داده شده اثربخشی نت مجازی را بهبود می‌دهند.			✓	صنعت فضایی چین
Thomas Goldschmidt, Ralf Reussner, Jochen Winzen [24]	ارزیابی سیستماتیک تعمیر پذیری و روش‌های مختلف تکنولوژی عملکرد	جانمایی نرم‌افزار	بهبود سیستماتیک تعمیرپذیری نرم‌افزار		✓		شرکت خدماتی لیزینگ آلمان
Amadou, Coulibaly. Re´my, Houssin. Bernard, Mutel. [25]	بهبود تعمیرپذیری محصولات مکانیکی از طریق طراحی به کمک رایانه[۲۶]	متوسط زمان تعمیر	آگاه‌سازی طراحان به ملاحظات تعمیرپذیری و ایمنی در حین طراحی و نه پس از اتمام طراحی	✓		✓	آکادمی پرورش و توسعه طراحان در دانشگاه استراسبورگ

نام محقق/محققان	هدف تحقیق	متغیرها	نتایج	مدل‌سازی	مصاحبه و پرسشنامه	شبیه‌سازی	مطالعه موردی
محسن خسروی فر، مهدی کرباسیان، اکبر نیلی پور طباطبایی.	۱-نهایی سازی شاخص‌های اصلی تعمیرپذیری در طراحی شناورها ۲-رتبه‌بندی این شاخص‌ها ۳-دسته‌بندی و اولویت‌بندی استفاده از هر یک از شاخص‌ها در هر مرحله از فازهای طراحی شناورهای دریایی	۱-در نظر گرفتن سادگی نت سیستم در هنگام طراحی سیستم ۲-دیدگاه بهینه در تعیین تعداد و نوع قطعات سیستم ۳-توجه به محیط عملکردی سیستم ۴-بهبود قابلیت مونتاژ قطعات سیستم ۵-افزایش قابلیت تشخیص خرابی سیستم ۶-افزایش مهارت، انگیزه و سطح مهارت تکنیسین نت سیستم ۷-دیدگاه ماژولی در طراحی سیستم ۸-افزایش قابلیت دسترسی سیستم ۹-قابلیت تعویض پذیری اجزای سیستم ۱۰-در نظر گرفتن جنبه ایمنی در طراحی سیستم ۱۱-توجه به آنتروپومتری (علم اندازه‌گیری ابعاد انسان از منظر ارگونومی) ۱۲-افزایش قابلیت آزمون پذیری سیستم ۱۳-افزایش قابلیت تشخیص سیستم به هنگام وقوع خرابی ۱۴-تعیین نحوه عملکرد سیستم در بیشتر مواقع (مشخصات عملیات سیستم) ۱۵-افزایش قابلیت سرویس پذیری سیستم به هنگام خرابی ۱۶-تأثیر استرس‌ها و فشارهای محیطی(مانند گرمای زیاد، سرمای زیاد، رطوبت زیاد، ارتعاشات و نویز زیاد، مواد شیمیایی خطرناک و...) روی کارایی تکنیسین نت سیستم	استخراج مدل بومی و منطبق طراحی بر اساس تعمیرپذیری در راستای تحقق الزامات طراحی قوی[۲۷] با هدف رشد و بلوغ طراحی شناورهای دریایی	✓	✓		شرکت صنایع ایزوایکو

در بررسی پیشینهٔ تحقیق و اعتبارسنجی این پژوهش بر اساس سایر پژوهش‌ها که در جدول شماره یک انجام شده است، نیاز به بررسی و رسیدن به جواب مسئله تحقیق آشکار شده است زیرا نداشتن یک الگوی مناسب تعمیرپذیری در طراحی سیستم‌های شناور دریایی موجب طراحی مجدد، از دست رفتن زمان تحویل دهی شناور، نارضایتی مشتری، کاهش کیفیت ساخت و نصب و تست سیستم‌های شناور، افزایش هزینه‌های طراحی، ساخت و آزمایش سیستم‌های شناور، پیچیدگی تعمیر و تعویض قطعات و سیستم‌ها، کاهش مباحث ایمنی و نجات کاربران و شناور دریایی و... خواهد شد.

از جمله دستاوردهای تعمیرپذیری می‌توان به طراحی با قابلیت اطمینان بیشتر و اثربخش، ایمنی و سلامت زیست‌محیطی بیشتر، عملکرد بهبودیافته عملیات، نت اثربخش، عمر مفید بیشتر تجهیزات، ایجاد پایگاه اطلاعاتی جامع، انگیزش بهتر کارکنان و کار گروهی بهتر اشاره کرد. یکی از سیاست‌های مهمی که نقش قابل‌توجهی در زمینه طراحی و ساخت شناورهای دریایی دارد، مباحث تعمیرپذیری و قابلیت اطمینان و ایمنی و کیفیت، در طراحی و ساخت است که هم در صنایع دریایی تجاری و هم نظامی، از وزن و اهمیت فوق‌العاده‌ای برخوردار است. ویژگی مهم هر طرح تعمیر پذیری، سهولت در کاربری، دقت، ایمنی و

عملکرد اقتصادی در اقدامات تعمیر و نگهداری است که موجب افزایش رضایت و اعتماد مشتریان و ذینفعان سازمان و کاهش ریسک خواهد شد. بهبود تعمیر پذیری موجب کاهش تأخیرات و درنتیجه افزایش بهره‌وری، انعطاف‌پذیری و رضایت مشتری می‌شود. بنابراین، تعمیر پذیری به‌عنوان یک ابزار مهم به طراحان اجازه می‌دهد تا پیش‌بینی و تعمیرپذیری را بهبود بخشند و درنتیجه هزینه‌های تعمیر و نگهداری کاهش و درآمد افزایش خواهد یافت [۲۶]. در بازار کنونی عوامل متعددی از قبیل داخلی و خارجی موجب ضرورت بهبود فرایندهای کاری شده است. سیستم‌های شناور دریایی از مهم‌ترین بخش‌های یک شناور دریایی هستند که وظیفه عملکرد صحیح شناور را بر عهده دارند. نظر به اینکه برخی سیستم های شناورهای دریایی شرایط عملکردی خاص و حساسی دارند، هرگونه نقص و ازکارافتادگی ناگهانی در حین سرویس‌دهی، خطرها و خسارت‌های جبران‌ناپذیری به همراه داشته و امنیت دریانوردی را تهدید خواهد کرد.

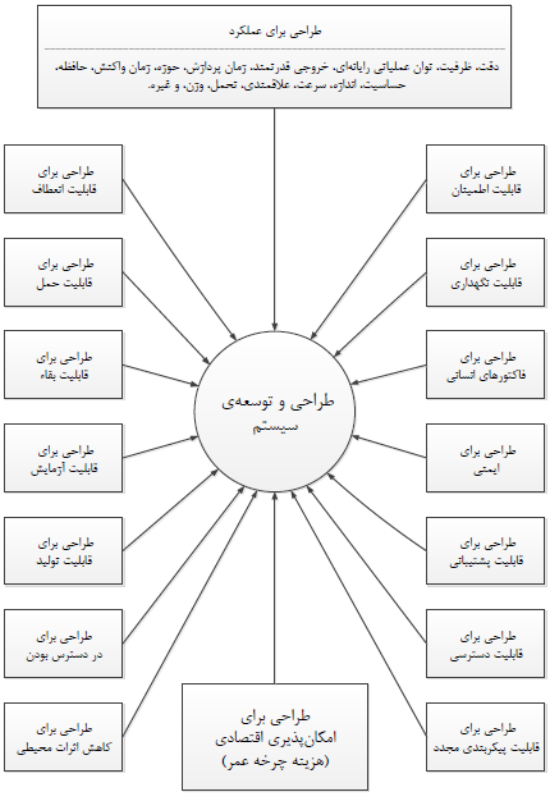
عدم اثربخشی تعمیرپذیری را در موارد زیر می‌توان مشاهده کرد:

- هزینه‌های بالای طراحی مجدد و قراردادی؛
- عدم رضایت طراحان از دوباره‌کاری‌ها؛
- شکایت کارکنان نت از زیاد بودن برنامه‌های نت؛
- عدم در دسترس بودن قطعات و مواد اولیه شناور دریایی
- خرابی بیش‌ازحد سیستم‌های شناور دریایی.

اگر سیر تحولات در تکنیک‌های نت بررسی شود، سه دوره کلی وجود دارد. در دوره اول که در ابتدای پیدایش مفاهیم نت بوده است به مباحث "تعمیر بعد از خرابی و شکست" می‌پردازد. در دوره دوم که بیشتر به رشد نت در صنایع توجه می‌کند به مباحثی همچون "تعمیرات اساسی برنامه‌ریزی شده" و " سیستم‌های برنامه‌ریزی و کنترل" و "رایانه‌های بزرگ، ولی کم‌سرعت" می‌رسند. در دوره سوم که متخصصان نت درصدد طرح‌ریزی پیشاپیش نت در طراحی بوده‌اند و به مباحثی همچون "نظارت بر شرایط" و "طراحی بر اساس قابلیت اطمینان و قابلیت نگهداشت‌پذیری (تعمیرپذیری)" و "مطالعات خطر" و "رایانه‌های کوچک، ولی سریع" و "تجزیه‌وتحلیل عوامل شکست و آثار آن" و "سیستم های خبره" و "چند مهارتی و کارگروهی" رسیده‌اند [۲۷]. بنابراین با توجه به رسالت سازمان کشتیرانی در طراحی و ساخت شناورهای دریایی و بررسی پیشینه تحقیق در داخل و خارج از ایران و عدم وجود طرح یا الگویی جامع در زمینه تعمیرپذیری سیستم‌های شناورهای دریایی تاکنون، تهیه الگوی پیاده‌سازی یک برنامه تعمیرپذیری با رویکرد بهبود طراحی سیستم های شناور دریایی بر اساس تحقیق حاضر حداقل هنگامی که در مدار کارکرد نیست، بیش‌ازپیش ضرورت می یابد و تهیه این الگو موجب تحول در طراحی و ساخت سیستم‌های شناورهای دریایی و سایر محصولات مشابه خواهد شد. با توجه به پیشینه تحقیق پژوهش حاضر و جمع‌بندی که از پیشینه تحقیق استخراج شده است، بیان می‌شود که در راستای تهیه الگوی تعمیرپذیری در طراحی شناور دریایی تاکنون اقدام و تلاشی صورت نگرفته است و این پژوهش به دنبال پر کردن این شکاف به‌خصوص در سازمان کشتیرانی است. پس نمایش نظری، ساده شده طراحی و توسعه تعمیرپذیری نقش مهمی را در تعریف شکل فیزیکی محصول و درنتیجه برآوردن نیازهای مشتری از طریق ارتباط آسان و اقتصادی زمان و منابع ایفا می‌کند تا مهم‌ترین بخش‌های یک شناور دریایی که وظیفه تحقق و یکپارچه‌سازی شناورهای سطحی و زیرسطحی ازجمله کشتی، قایق، بارج، لنج و زیردریایی و... را بر عهده دارند، بتواند در شرایط مشخص توسط کارکنان با سطح مهارت مشخص و با استفاده از روش مناسب به کمک منابع در هر سطح مشخص شده، حفظ، تعمیر و بازسازی شوند. مجهولات انسان همیشه معلومات او را احاطه می‌کند و هر چقدر معلومات بشر افزایش یابد به همان اندازه مجهولات او گسترش می‌یابد. هدف اصلی تحقیق پیدا کردن پاسخ برای سؤالات و معلوم کردن مجهولات است. در این پژوهش در بخش ادبیات و سوابق، نیاز به بررسی و رسیدن به جواب مسئله تحقیق آشکار شده است زیرا نداشتن یک الگوی مناسب تعمیرپذیری در طراحی سیستم‌های شناور دریایی موجب طراحی مجدد، از دست رفتن زمان تحویل دهی شناور، نارضایتی مشتری، کاهش کیفیت ساخت و نصب و

تست سیستم های شناور، افزایش هزینه‌های طراحی و ساخت و تست سیستم‌های شناور، پیچیدگی تعمیر و تعویض قطعات و سیستم ها، کاهش مباحث ایمنی و نجات کاربران و شناور دریایی و... خواهد شد. ازجمله دستاوردهای تعمیرپذیری می توان به طراحی با قابلیت اطمینان بیشتر و اثربخش، ایمنی و سلامت زیست‌محیطی بیشتر، عملکرد بهبودیافته عملیات، نت اثربخش، عمر مفید بیشتر تجهیزات، ایجاد پایگاه اطلاعاتی جامع، انگیزش بهتر کارکنان و کار گروهی بهتر اشاره کرد.

چرخهٔ محصول فرایندی است که از شکل گیری ایده محصول شروع شده و تا انتهای مرحلهٔ محصول ادامه دارد. در حقیقت این چرخه نشان‌دهندهٔ مراحل رشد و بلوغ یک محصول و درنهایت وارهایی آن است [۲۸ و ۲۹]. تعمیرپذیری ویژگی ذاتی یک محصول است که باعث آسان شدن، اقتصادی شدن، ایمن شدن و نیز افزایش دقت فعالیت های تعمیر و نگهداری یک محصول می‌شود. مسئله تحقیق عبارت است از اینکه چگونه می‌توان الگوی طراحی و توسعه الزامات تعمیرپذیری را برای سیستم‌های یک شناور دریایی در سازمان کشتیرانی به کمک روش‌های تصمیم گیری چندمعیاره شناسایی و ارائه کرد؟ در این تحقیق برای دستیابی به اطلاعات موردنیاز، از ابزارهای پرسشنامه و مصاحبه با خبرگان طراحی استفاده شده است. انواع شناورهای موردتوجه در این پژوهش شامل همهٔ شناورهای سطحی (کشتی ها و...) و شناورهای اثر سطحی (شناور اثر سطحی یا همان قایق پرنده شناورهای دریایی هستند که در ارتفاع کم نسبت به سطح آب پرواز می کنند. ازلحاظ ظاهری شبیه به هواپیماها هستند ولی بدنهٔ آن‌ها مانند بدنهٔ قایق‌های تندرو است و در دسته‌بندی شناورهای دریایی، در دسته شناورهای آیرودینامیک هستند) و شناورهای زیرسطحی یا همان زیردریایی‌ها که یک وسیله نقلیه شناور است که می تواند در زیر سطح آب حرکت کند و به ژرفاهایی برسد که غواصان به آن دسترسی ندارند. ممکن است از نوع غیرنظامی (علمی یا گردشگری) یا از نوع نظامی باشد [۳۰]. سیستم های شناورهای دریایی مهم‌ترین بخش‌های یک شناور دریایی هستند که وظیفه تحقق و یکپارچه‌سازی شناور به منظور انجام عملیات خود را بر عهده دارند. بر اساس شکل ۱، طراحی بر اساس قابلیت نگهداری یکی از مؤلفه‌های ارزیابی بلوغ طراحی و توسعه محصولات دریایی است.



شکل ۱. فرایند عمومی طراحی و توسعه محصول [۲]

سیستم های اصلی شناورهایی دریایی که در اکثر شناورهایی دریایی مشترک است عبارت‌اند از:

۲. سیستم‌های اصلی شناورهایی دریایی

دسته‌بندی سیستم‌های شناورهای دریایی به صورت زیر است [۳۰]:

۱- سیستم رانش (انتقال قدرت)؛

۲- سیستم بدنه وضمائم؛

۳- سیستم تولید، توزیع و ذخیره انرژی الکتریکی؛

۴- سیستم کنترل و هدایت (رادیو الکترونیک)؛

۵- سیستم سلاح (در کشتی‌های جنگی و زیردریایی‌های نظامی)؛

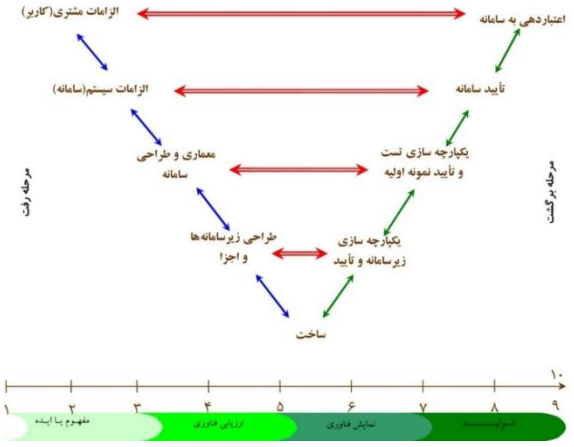
۶- سیستم‌های فرعی (سیستم‌های کمکی)؛

۷- سیستم ایمنی و نجات.

۳. چرخهٔ عمر طراحی شناورهای دریایی

با توجه به بررسی‌های صورت گرفته در خصوص چرخهٔ عمر محصولات با فرایند پروژه‌ای همچون ناسا، فازهای طراحی زیر به عنوان فازهای چرخهٔ عمر طراحی شناورهای دریایی بر مبنای نمودار V در شکل ۲ و شکل ۳ در نظر گرفته شده است [۲]:

۱- طرح‌ریزی؛
۲- تعریف الزامات و مسئلهٔ طراحی؛
۳- طراحی مفهومی و توسعهٔ مفاهیم و راه‌حل‌ها؛
۴- طراحی مقدماتی و سیستمی؛
۵- طراحی تفصیلی.



شکل ۲. فرایند عمومی طراحی و توسعهٔ محصول [۲ و ۳۱]

شکل ۳. مراحل طراحی [۲ و ۳۱]

٤. تعمیرپذیری

تعمیرپذیری یا قابلیت نگهداری یکی از مشخصه‌های ذاتیِ طراحی سیستم یا محصول است و با سهولت، دقت، ایمنی و عملکرد اقتصادی فعالیت‌های نگهداری و تعمیرات مرتبط است. یک سیستم یا محصول باید به نحوی طراحی شود که بتواند بدون صرف زمان زیاد، با کمترین هزینه و کمترین تأثیرگذاری بر محیط و با حداقل هزینهٔ منابع (کارکنان، مواد، امکانات و تجهیزات آزمایش) نگهداری شود [۳۲ و ۳۳].

قابلیت نگهداری، "توانایی" یک آیتم در حفظ و نگهداری است، درحالی که نگهداری و تعمیرات شامل مجموعه‌ای از اقدامات لازم به‌منظور بازگرداندن یک آیتم به حالت عملیاتی یا حفظ کردن یک آیتم در یک حالت عملیاتی مؤثر است. قابلیت نگهداری یک عامل طراحی است، درصورتی که نگهداری و تعمیرات به‌عنوان یک نتیجه و پیامد از طراحی، موردنیاز است. قابلیت نگهداری در طراحی مهندسی در کتاب راهنمای نظامی ایالات‌متحده آمریکا " طراحی و توسعهٔ محصولات و سیستم‌های قابل نگهداری و تعمیر " به صورت زیر تعریف می‌شود:

"سهولت نسبی در نگهداری و پشتیبانی از تجهیز در زمان مناسب با در نظرگیری جنبه اقتصادی منابع که به واسطهٔ آن زمانی که تعمیر و نگهداری با سطح مهارت مشخص انجام پذیرد، می‌توان یک بخش یا قطعه را با استفاده از روش‌ها و منابع تجویزشده در هر سطح از نگهداری و تعمیرات مورد محافظت یا ترمیم و بازگرداندن به یک وضعیت مشخص قرار داد که آن تابعی از طراحی است"[۳۴ و ۳۵].

۵. الزامات تعمیرپذیری

ابزارها و متدهای فراوانی برای مهندسان طراح وجود دارند که هرکدام از آن‌ها مزایای خاص خود را دارند و در مراحل مختلف طراحی و ساخت محصول قابل کاربرد هستند. پس در این تحقیق سعی بر آن است که با شناسایی تکنیک‌های مؤثر کیفی و کمی تعمیرپذیری در چرخه عمر محصولات به طبقه‌بندی و اختصاص آن‌ها به هر یک از فازهای چرخه عمر شناورهای دریایی پرداخته شود، به گونه‌ای که بتوانیم بهترین بهره را (هم از نظر زمان استفاده و هم از نظر کیفیت در طراحی) از هر یک از آن‌ها برد. بدین منظور مجموعه‌ای از تکنیک‌ها از مراجع مرتبط با مهندسی تعمیرپذیری انتخاب شد و نتایج در جدول شماره ۲ تجمیع و بیان شده است و ماحصل ارزیابی‌های صورت گرفته از جدول شماره ۲ استخراج ۱۶ الزام تعمیرپذیری اصلی به شرح زیر است:

۱. در نظر گرفتن سادگی نت سیستم در هنگام طراحی سیستم[۲۸]؛
۲. دیدگاه بهینه در تعیین تعداد و نوع قطعات سیستم[۲۹]؛
۳. توجه به محیط عملکردی سیستم[۳۰]؛
۴. بهبود قابلیت مونتاژ قطعات سیستم[۳۱]؛

۵. افزایش قابلیت تشخیص خرابی سیستم [۳۲]؟
۶. افزایش مهارت، انگیزه و سطح مهارت تکنیسین نت سیستم [۳۳]؟
۷. دیدگاه ماژولی در طراحی سیستم [۳۴]؟
۸. افزایش قابلیت دسترسی سیستم [۳۵]؟
۹. قابلیت تعویض‌پذیری اجزای سیستم [۳۶]؟
۱۰. در نظر گرفتن جنبهٔ ایمنی در طراحی سیستم [۳۷]؟
۱۱. توجه به آنتروپومتری (علم اندازه‌گیری ابعاد انسان از منظر ارگونومی) [۳۸]؟
۱۲. افزایش قابلیت آزمون‌پذیری سیستم [۳۹]؟
۱۳. افزایش قابلیت تشخیص سیستم به هنگام وقوع خرابی [۴۰]؟
۱۴. تعیین نحوه عملکرد سیستم در بیشتر مواقع (مشخصات عملیات سیستم) [۴۱]؟
۱۵. افزایش قابلیت سرویس پذیری سیستم به هنگام خرابی [۴۲]؟
۱۶. تأثیر استرس‌ها و فشارهای محیطی (گرمای زیاد، سرمای زیاد، رطوبت زیاد، ارتعاشات و نویز زیاد، مواد شیمیایی خطرناک و...) بر کارایی تکنیسین نت سیستم [۴۳]؟

جدول ۲. الزامات تعمیرپذیری در مراجع معتبر

		مراجع مرتبط				
		۷	۸	۳۴	۳۵	۳۶
الزامات تعمیرپذیری	۱	✓	✓			✓
	۲		✓		✓	✓
	۳	✓	✓			✓
	۴	✓	✓			✓
	۵		✓		✓	✓
	۶	✓		✓		
	۷	✓	✓		✓	✓
	۸	✓	✓	✓		
	۹	✓	✓	✓		
	۱۰	✓	✓		✓	✓
	۱۱	✓			✓	✓
	۱۲	✓	✓			✓
	۱۳		✓			✓
	۱۴		✓			✓
	۱۵	✓	✓		✓	
	۱۶	✓	✓		✓	

۶. تصمیم‌گیری راهبردی تعمیرپذیری در طراحی

یکی از چالش‌های اصلی در علوم مهندسی آن است که چگونه می‌توان در موقعیت خاص تصمیم بهتر را گرفت. روش‌های زیادی برای حل مشکلات چند معیاره تدوین شده است. انسان اغلب برای تصمیم‌گیری یکی از روش‌های روش آزمون‌وخطا و روش مدل‌سازی را به کار می‌برد. به‌منظور تجزیه‌وتحلیل و ارائه یک الگوی جامع الزامات تعمیر پذیری در قالب چرخه عمر شناورهای دریایی، نیاز به تحلیل و تصمیم‌گیری مناسب خواهد بود، بنابراین با توجه به اینکه این ابزار، یک ابزار تصمیم‌گیری چند معیاره است و نتایج تمامی ابزارهای تصمیم‌گیری یکسان خواهد بود و از طرفی روایی روش تاپسیس در مقالات تصمیم‌گیری متعدد به اثبات رسیده است؛ همچنین بر اساس نظر خبرگان تصمیم‌گیری چند معیاره، روش تاپسیس انتخاب شده است [۳۶]. برای تکمیل ماتریس تصمیم‌گیری از پرسشنامه‌ای منطبق با مراجع و استانداردهای مرجع و متعدد، با روایی و پایایی مطمئن استفاده شده است. برای سنجش روایی پرسشنامه پژوهش حاضر، از روش اعتباری استفاده شده است و با توجه به این، به دلیل آنکه سؤالات پرسشنامه با موضوع و مسئله تحقیق هم‌راستا است و با توجه به بررسی پایایی، مطلوبیت هم‌بستگی بین جواب‌هایی که افراد داده‌اند (تأیید پایایی پرسشنامه بیانگر اعتبار روایی آن است) و به دلیل آنکه از نظر خبرگان و کارشناسان در موضوع تحقیق و پرسش‌نامه استفاده شده است، بنابراین پرسشنامه حاضر دارای روایی مطلوب است. در این پژوهش پس از طراحی و توزیع پرسشنامه در میان کارشناسان و خبرگان طراحی، داده‌های پرسشنامه از منظر پایایی به‌وسیلهٔ نرم‌افزار اس پی اس اس ۱۹، مورد تحلیل قرار گرفت. مقدار ضریب آلفای پرسشنامه این پژوهش معادل ۰/۷۰۹ بوده که از مقدار استاندارد ۰/۷ بیشتر است؛ بنابراین پایایی پرسشنامه اثبات شده است. اندازهٔ جامعه مورد هدف، ۳۰۰ نفر از طراحان شناورند و حجم نمونه بر اساس جدول مورگان، به تعداد ۱۰ نفر انتخاب شده است.

تعداد گزینه‌ها یا j ، شامل الزامات تعمیرپذیری در طراحی و برابر با ۱۶ عدد مطابق با بند ۵ هستند. همچنین تعداد

شاخص ها یا m ، شامل فازهای طراحی و توسعه سیستم‌های شناورهای دریایی که برابر با ۵ عددی است که شامل موارد زیرند:

(۱) m_1 : طرح‌ریزی

(۲) m_2: تعریف الزامات و مسئله طراحی

(۳) m_3: طراحی مفهومی و توسعه مفاهیم و راه‌حل‌ها

(۴) m_4: طراحی مقدماتی و سیستمی

(۵) m_5: طراحی تفصیلی

سپس به تشکیل ماتریس تصمیم‌گیری بر اساس نظرات متخصصان دریایی به کمک پرسشنامه و کمی کردن آن مطابق با جدول شماره ۲ پرداخته شده است.

جدول ۳. ماتریس تصمیم و کمّی کردن آن

شاخص / گزینه	m_1	m_2	m_3	m_4	m_5
j_1	۰	۰	۷	۳	۰
j_2	۰	۰	۲	۵	۳
j_3	۰	۲	۵	۳	۰
j_4	۰	۰	۲	۷	۱
j_5	۰	۰	۳	۵	۲
j_6	۰	۰	۰	۳	۷
j_7	۰	۳	۵	۰	۲
j_8	۰	۰	۶	۴	۰
j_9	۰	۰	۳	۷	۰
j_{10}	۰	۳	۵	۲	۰
j_{11}	۰	۳	۴	۳	۰
j_{12}	۰	۰	۲	۵	۳
j_{13}	۰	۰	۰	۵	۵
j_{14}	۰	۴	۱	۵	۰
j_{15}	۰	۰	۲	۶	۲
j_{16}	۰	۲	۵	۳	۰

و به دنبال آن به محاسبه وزن هر یک از شاخص‌ها به کمک روش آنتروپی شانون بر اساس روابط ۱، ۲، ۳، ۴ و ۵ و بی‌مقیاس‌سازی بر اساس رابطهٔ (۶) پرداخته شده است. نتیجهٔ محاسبهٔ وزن هر شاخص در جدول شمارهٔ ۴ و بی‌مقیاس‌سازی در جدول شماره ۵ منعکس شده است.

$$E_m = -k\sum_{i=1}^{n}\left(n_{im}\,.ln(n_{im})\right)\quad;\quad m=1,2,\dots,n;\quad 0\le E_m\le 1 \qquad (۱)$$

$$k=\frac{1}{ln\,j} \qquad (۲)$$

E_m آنتروپی هر شاخص است، همچنین مقدار k باعث می‌شود تا مقادیر آنتروپی بین صفر و یک باقی بماند. j بیانگر تعداد گزینه‌ها و m بیانگر تعداد شاخص‌ها هستند؛

$$m=1,2,3,4,5\quad;\quad j=1,2,\dots,16 \qquad (۳)$$

$$d_m=1-E_m\quad;\quad 0\le d_m\le 1 \qquad (۴)$$

$$W_m=\frac{d_m}{\sum_{m=1}^{n}d_m}\quad;\quad \sum_{m=1}^{n}W_m=1 \qquad (۵)$$

جدول ۴. محاسبهٔ وزن هر شاخص

شاخص / گزینه	m_1	m_2	m_3	m_4	m_5
j_1	۰	۰	۰/۱۳۵	۰/۰۴۵	۰
j_2	۰	۰	۰/۰۳۵	۰/۰۷۶	۰/۱۲۰
j_3	۰	۰/۱۱۸	۰/۰۹۶	۰/۰۴۵	۰
j_4	۰	۰	۰/۰۳۸	۰/۱۰۶	۰/۰۴۰
j_5	۰	۰	۰/۰۵۸	۰/۰۷۶	۰/۰۸۰
j_6	۰	۰	۰	۰/۰۴۵	۰/۲۸۰
j_7	۰	۰/۱۷۶	۰/۰۹۶	۰	۰/۰۸۰
j_8	۰	۰	۰/۱۱۵	۰/۰۶۱	۰
j_9	۰	۰	۰/۰۵۸	۰/۱۰۶	۰
j_{10}	۰	۰/۱۷۶	۰/۰۹۶	۰/۰۳۰	۰
j_{11}	۰	۰/۱۷۶	۰/۰۷۷	۰/۰۴۵	۰
j_{12}	۰	۰	۰/۰۳۸	۰/۰۷۶	۰/۱۲۰
j_{13}	۰	۰	۰	۰/۰۷۶	۰/۲۰۰
j_{14}	۰	۰/۲۳۵	۰/۰۱۹	۰/۰۷۶	۰
j_{15}	۰	۰	۰/۰۳۸	۰/۰۹۱	۰/۰۸۰
j_{16}	۰	۰/۱۱۸	۰/۰۹۶	۰/۰۴۵	۰
Wj	۰/۵۵۴	۰/۲۰۲	۰/۰۵۰	۰/۰۲۵	۰/۱۷۰

$$n_{im}=\frac{x_{im}}{\sqrt{\sum_{i=1}^{j}x_{im}^2}} \qquad (۶)$$

جدول ۵. بی‌مقیاس‌سازی ماتریس تصمیم‌گیری

شاخص / گزینه	m_1	m_2	m_3	m_4	m_5
j_1	۰	۰	۰/۴۵۶	۰/۱۶۷	۰
j_2	۰	۰	۰/۱۳۰	۰/۲۷۸	۰/۲۹۳
j_3	۰	۰/۲۸۰	۰/۳۲۵	۰/۱۶۷	۰
j_4	۰	۰	۰/۱۳۰	۰/۳۸۹	۰/۰۹۸
j_5	۰	۰	۰/۱۹۵	۰/۲۸۷	۰/۱۹۵
j_6	۰	۰	۰	۰/۱۶۷	۰/۶۸۳
j_7	۰	۰/۴۲۰	۰/۳۲۵	۰	۰/۱۹۵
j_8	۰	۰	۰/۳۹۱	۰/۲۲۲	۰
j_9	۰	۰	۰/۱۹۵	۰/۳۸۹	۰
j_{10}	۰	۰/۴۲۰	۰/۳۲۵	۰/۱۱۱	۰
j_{11}	۰	۰/۴۲۰	۰/۲۶۰	۰/۱۶۷	۰
j_{12}	۰	۰	۰/۱۳۰	۰/۲۷۸	۰/۲۹۳
j_{13}	۰	۰	۰	۰/۲۷۸	۰/۴۸۸
j_{14}	۰	۰/۵۶۰	۰/۰۶۵	۰/۲۷۸	۰
j_{15}	۰	۰	۰/۱۳۰	۰/۳۳۳	۰/۱۹۵
j_{16}	۰	۰/۲۸۰	۰/۳۲۵	۰/۱۶۷	۰

گام بعدی، تشکیل ماتریس بی مقیاس وزنی V بر اساس وزن شاخص‌ها خواهد بود. بنابراین باید از پیش، اوزان شاخص‌ها با استفاده از تکنیک‌هایی مانند AHP یا آنتروپی شانون محاسبه شده باشند. روش آنتروپی شانون به دلیل کمّی بودن و دقت بالای آن نسبت به سایر روش‌های وزن دهی موجود، در این مقاله استفاده شده است [۳۷].

$$V = N_D \times W \qquad (۷)$$

که در رابطه ۷، N_D بیانگر ماتریس بی مقیاس شده و W بیانگر ماتریس وزن شاخص‌هاست. ماتریس بی‌مقیاس وزنی V در جدول شماره ۶ بیان شده است.

محاسبهٔ ایده‌آل‌های مثبت و منفی به کمک رابطه‌های ۸ و ۹ در گام بعدی صورت گرفته است. در این گام برای هر شاخص یک ایده‌آل مثبت (V^+) و یک ایده‌آل منفی (V^-) محاسبه می‌شوند. برای معیارهایی که بار مثبت دارند، ایده‌آل مثبت بزرگ‌ترین مقدار آن معیار خواهد بود. برای معیارهایی که بار مثبت دارند، ایده‌آل منفی کوچک‌ترین مقدار آن معیار خواهد بود. برای معیارهایی که بار منفی دارند ایده‌آل مثبت، کوچک‌ترین مقدار آن معیار بوده و برای معیارهایی که بار منفی دارند ایده‌آل منفی بزرگ‌ترین مقدار آن معیار خواهد بود:

$$V^+ = \{V_m^+ ;\ max\, V_{im}\ if+\ ,\quad \min V_{im}\ if-\} \qquad (۸)$$

$$V^- = \{V_m^- ;\ max\, V_{im}\ if-\ ,\ \min V_{im}\ if+\} \qquad (۹)$$

بنابراین با توجه به جدول ۵؛

$$V^+ = \{۰, ۰/۰۵۷, ۰/۰۲۳, ۰/۰۱۰, ۰/۰۵۰\} \qquad (۱۰)$$

$$V^- = \{۰, ۰, ۰, ۰, ۰\} \qquad (۱۱)$$

گام نهائی محاسب راه‌حل ایده‌آل است. در این گام میزان نزدیکی نسبی هر گزینه به راه‌حل ایده‌آل حساب می‌شوند. برای این منظور، از رابطهٔ زیر استفاده خواهد شد:

$$CL_i^* = \frac{d_i^-}{d_i^- + d_i^+} \qquad (۱۲)$$

جدول ۶. ماتریس بی‌مقیاس وزنی V

شاخص	m_1	m_2	m_3	m_4	m_5
j_1	۰	۰	۰/۰۲۳	۰/۰۰۴	۰
j_2	۰	۰	۰/۰۰۶	۰/۰۰۷	۰/۰۵۰
j_3	۰	۰/۰۵۷	۰/۰۱۶	۰/۰۰۴	۰
j_4	۰	۰	۰/۰۰۶	۰/۰۱۰	۰/۰۱۷
j_5	۰	۰	۰/۰۱۰	۰/۰۰۷	۰/۰۳۳
j_6	۰	۰	۰	۰/۰۰۴	۰/۱۱۶
j_7	۰	۰/۰۸۵	۰/۰۱۶	۰	۰/۰۳۳
j_8	۰	۰	۰/۰۱۹	۰/۰۰۵	۰
j_9	۰	۰	۰/۰۱۰	۰/۰۱۰	۰
j_{10}	۰	۰/۰۸۵	۰/۰۱۶	۰/۰۰۳	۰
j_{11}	۰	۰/۰۸۵	۰/۰۱۳	۰/۰۰۴	۰
j_{12}	۰	۰	۰/۰۰۶	۰/۰۰۷	۰/۰۵۰
j_{13}	۰	۰	۰	۰/۰۰۷	۰/۰۸۳
j_{14}	۰	۰/۱۱۳	۰/۰۰۳	۰/۰۰۷	۰
j_{15}	۰	۰	۰/۰۰۶	۰/۰۰۸	۰/۰۳۳
j_{16}	۰	۰/۵۷	۰/۰۱۶	۰/۰۰۴	۰

در آخر، به رتبه‌بندی شاخص‌های پژوهش حاضر (الزامات تعمیرپذیری) در جدول شماره ۷ بر اساس مقادیر CLi به دست آمده، پرداخته شده است.

جدول ۷. رتبه‌بندی شاخص‌های پژوهش حاضر (الزامات تعمیرپذیری)

CL_i	مقدار	رتبه‌بندی	شاخص‌های مربوطه
۱	۰/۲۳۳۸۴۲	۱۱	Simplicity
۲	۰/۴۶۲۳۸۷	۸	Parts/Component
۳	۰/۵۳۸۷۶۲	۷	System Environment
۴	۰/۲۳۰۳۳۴	۱۲	Assemblability
۵	۰/۳۶۸۴۵۲	۹	Identification
۶	۰/۵۶۲۵۳۱	۵	Human Sensory
۷	۰/۷۲۶۹۰۹	۱	Modularization
۸	۰/۲۱۱۰۲۵	۱۳	Accessibility
۹	۰/۱۵۱۳۴۸	۱۴	Standardization
۱۰	۰/۵۹۸۳۱۵	۲	Safety
۱۱	۰/۵۹۵۶۶۳	۳	Anthropology
۱۲	۰/۴۶۲۳۸۷	۸	Testability
۱۳	۰/۵۴۵۱۷۷	۶	Diagnosability
۱۴	۰/۵۹۲۸۴۸	۴	Operation Profile
۱۵	۰/۳۶۲۶۳۱	۱۰	Serviceability
۱۶	۰/۵۳۸۷۶۲	۷	Physiological

مقدار CL بین صفر و یک است. هرچه این مقدار به یک نزدیک‌تر باشد، راه‌کار به جواب ایده‌آل نزدیک‌تر خواهد بود و راه‌کار بهتری است.

۷. نتیجه‌گیری و پیشنهادها

به منظور رسیدن به جواب مسئله تحقیق، پس از دستیابی به فازهای چرخه عمر طراحی شناورهای دریایی، به کمک پرسشنامه طراحی شده با قابلیت پایایی و روایایی مطلوب و روش تاپسیس، نتایج در قالب ماتریس تصمیم‌گیری منعکس شد و پس از تحلیل ماتریس تصمیم‌گیری، مؤلفه‌های تعمیرپذیری به هر یک از فازهای چرخه عمر طراحی شناورهای دریایی بر اساس جدول‌های ۵ و ۶ اختصاص یافتند و الگوی تعمیرپذیری در طراحی شناورهای دریایی مطابق جدول شماره ۸، حاصل شد:

جدول ۸. الگوی طراحی و توسعه الزامات تعمیرپذیری سیستم‌های یک شناور دریایی به کمک تصمیم‌گیری چندمعیاره

ردیف	مراحل طراحی سیستم‌های شناورهای دریایی	الزامات تعمیرپذیری (به ترتیب اولویت استفاده)	اولویت استفاده در طراحی
۱	طرح‌ریزی	–	–
۲	تعریف الزامات و مسئله طراحی	Modularization	۱
		Safety	۲
		Anthropology	۳
		Operation Profile	۴
		System Environment	۵
		Parts/Component	۶
۳	طراحی مفهومی و توسعه مفاهیم و راه‌حل‌ها	Physiological	۷
		Testability	۸
		Identification	۹
		Serviceability	۱۰
		Simplicity	۱۱
		Assemblability	۱۲
		Accessibility	۱۳
		Standardization	۱۴
۴	طراحی مقدماتی و سیستمی	Human Sensory	۱۵
		Diagnosability	۱۶
۵	طراحی تفصیلی	—	—

نتایج این پژوهش در سامانهٔ همانند جو ایران داک بررسی شد و اعتبارسنجی آن مورد تأیید قرار گرفت. همچنین نتایج اعتبارسنجی این پژوهش بر اساس جدول شماره ۱ بیان شده است.

معیارهای پیشنهادی ضروری که نیاز است، برای بررسی‌های طراحی قابلیت نگهداری در تکمیل مراحل مختلف طراحی مهندسی در نظر گرفته شوند، شامل موارد زیر است [۳۱، ۳۲ و ۳۵]:

- محدودیت‌های طراحی و ارتباطات سیستم‌های مشخص‌شده؛
- تأیید نتایج پیش‌بینی قابلیت نگهداری؛
- ارزیابی مطالعات سبک و سنگین کردن قابلیت نگهداری؛
- ارزیابی نتایج FMEA؛

- محدودهٔ مشکلات قابلیت نگهداری و الزامات تعمیر و نگهداری؛
- پیکربندی طراحی فیزیکی و جانمایی اولیه؛
- طراحی برای مشخصات قابلیت نگهداری؛
- بررسی مشخصه‌های کمّی قابلیت نگهداری؛
- بررسی مشخصه‌های فیزیکی قابلیت نگهداری؛
- تأیید ارگونومی طراحی؛
- تأیید دسترس‌پذیریِ پیکربندی؛
- تأیید قابل تعویض بودن تجهیزات طراحی‌شده؛
- بررسی عوامل طراحی فیزیکی؛
- بررسی دستورات طراحی تجهیزات؛
- بررسی دستورات طراحی نگهداری و تعمیرات؛
- تأیید قابل آزمایش بودن سیستم‌ها؛
- تأیید وضعیت سلامت و نظارت بر آن؛
- تأیید آزمایش‌های قابلیت نگهداری؛
- استفاده از تجهیزات تستِ خودکار؛
- استفاده از روش‌های ساخت با قابلیت تست (BIT)؛
- استفاده از نظارت جانبی و روش‌های مجزا کردن خطا؛
- استفاده از تعمیرات آنلاین با روش افزونگی؛
- بررسی سیاست‌های تعمیر و نگهداری؛

۸. سپاسگزاری

در اینجا لازم است که از زحمات کارشناسان سازمان کشتیرانی کشور و استادان ارجمندم به‌ویژه جناب آقای دکتر مهدی کرباسیان و دکتر هادی شیرویه‌زاد کمال تشکر و قدردانی را داشته باشم.

مراجع

[۱] اولریچ کارل، اپینگر استیون .مترجمان؛ میگون پوری محمد رضا و همکاران. طراحی و توسعه محصول. تهران: انتشارات موسسه آموزشی و تحقیقاتی صنایع؛۱۳۹۱.

[۲] کریمی مجید، خلجانی جعفر، حسامی حمید رضا. راهنمای ایجاد و توسعه دفاتر در واحدهای صنعتی. مرکز معماری و ساماندهی ظرفیت های تحقیقاتی. تهران: انتشارات موسسه تحقیقاتی صنایع؛۱۳۹۱.

[۳] کریمی مجید، خلجانی جعفر، حسامی حمید رضا. راهنمای نظامات و فرایندهای کاری دفاتر. مرکز معماری و ساماندهی ظرفیت های تحقیقاتی. انتشارات موسسه تحقیقاتی صنایع. تهران. جلد اول؛ ویرایش صفر؛ ۱۳۹۱.

[۴] کرباسیان مهدی، محبی بتول، خیام باشی بیژن. مرادی مهدی. حداکثرسازی قابلیت تعمیرپذیری سیستم های پیچیده به وسیله ماژولارسازی مبتنی بر تکنیک DSM و نوع چیدمان ماژول ها. دهمین کنفرانس ملی نگهداری و تعمیرات .انجمن نگهداری و تعمیرات ایران. اصفهان؛

[۵] حسینیان مجتبی، هاشمی مجید، احرام پوش هادی. نقشه راه پیاده سازی RAMS در سیستم مدیریت دارایی ها و تحلیل آن. ارائه شده در: دهمین کنفرانس ملی نگهداری و تعمیرات؛ ۱۳۹۴؛ تهران.

[۶] سلیمان نژاد جلال، اسدی زیدآبادی محمد، مغزی حنیف. افزایش ظرفیت گلوگاه کارخانه مگنتیت گل گهر با ارتقای نسبت MTBF به MTTR . ارائه شده در: دهمین کنفرانس ملی نگهداری و تعمیرات؛ ۱۳۹۴.

[۷] خدامرادی محمد، محمودی پور ابراهیم. چگونگی محاسبه MTTR به روش شبیه سازی مونت کارلو و مقایسه با روش های تحلیلی. ارائه شده در:همایش ملی مهندسی رایانه و مدیریت فناوری اطلاعات؛ ۱۳۹۳؛تهران.

[۸] فاضل صادق، عرفانیان ایمان. پیشگویی و ارتقاء قابلیت تعمیر و قابلیت دسترسی یک نوع سامانه هیدرولیکی دریایی به روش فضای حالت. ارائه شده در: سیزدهمین همایش ملی صنایع دریایی ایران؛ ۱۳۹۰.

[۹] زیاری مسعود، خشنود قویم علی. مقدمه ای بر طرح ریزی، توسعه و مدیریت موثر در برنامه قابلیت اطمینان، نگهداری و تعمیرات نگهداری و تعمیرات. ارائه شده در: سومین کنفرانس ملی نگهداری و تعمیرات؛ ۱۳۸۴؛تهران.

[10] Yoo YY, Lee JC. Computation of Maintainability Index Using SysML-Based M&S Technique for Improved Weapon Systems Development. Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society. 2018;19(11):88-95.

[11] Teymourian K, Seneviratne D, Galar D. Ergonomics contribution in maintainability.

Management Systems in Production Engineering. 2017 Sep 26;25(3):217-23.

[12] Lockett HL, Arvanitopoulos-Darginis K. An automated maintainability prediction tool integrated with computer aided design. Procedia Cirp. 2017 Jan 1;60:440-5.

[13] Luo X, Ge Z, Guan F, Yang Y. A method for the maintainability assessment at design stage based on maintainability attributes. IEEE International Conference on Prognostics and Health Management (ICPHM); 2017 Jun 19; Canada · Ottawa, Canada. IEEE.

[14] Kumar L, Krishna A, Rath SK. The impact of feature selection on maintainability prediction of service-oriented applications. Service Oriented Computing and Applications. 2017 Jun 1;11(2):137-61.

[15] Luo X, Yang Y, Ge Z, Wen X, Guan F. Maintainability-based facility layout optimum design of ship cabin. International Journal of Production Research. 2015 Feb 1; 53(3):677-94.

[16] Knight RT. Developing a reliability, availability and maintainability process. Proceedings Annual Reliability and Maintainability Symposium (RAMS);2013 Jan 28. IEEE.

[17] Guang T, Xin-Jie S, Guang-Sheng L, Jin-Hua L, Hao T, Yan Z. reliability and maintainability analysis and design on a type of gun fire Control system; International Conference on Quality, Reliability, Risk, Maintenance, and Safety; 2012.

[18] Chen ZZ, Huang HZ, Liu Y, He LP, Wang Z. Maintainability verification for airplanes with small samples based on similarity degree. International Conference on Quality, Reliability, Risk, Maintenance, and Safety Engineering; 2011 Jun 17. IEEE.

[19] Zhou D, Kang L, Ding Y, Lv C. Process oriented maintainability and maintenance task integrated analysis method. The Proceedings of 2011 9th International Conference on Reliability, Maintainability and Safety; 2011 Jun 12. IEEE.

[20] Huang J, Liu A. Research on integrated environment of maintainability design and analysis based on PLM. The Proceedings of 2011 9th International Conference on

[21] Rau CG, Necas P, Boscoianu M. Review of maintainability and maintenance optimization methods for aviation engineering systems. Science & Military Journal. 2011 Jul 1;6(2):54.

[22] Ghosh S, Dubey S.K, Rana A. Comparative Study of the Factors that Affect Maintainability. 9th International Conference;

Paper presented at the Reliability, Maintainability and Safety; 2011.

[23] Shu L, Yi L, Jia L, Niandong W. The application research on the virtual maintenance in aircraft design. Paper presented at: 8th International Conference, the Reliability, Maintainability and Safety; 2009.

[24] Goldschmidt T, Reussner R, Winzen J. A case study evaluation of maintainability and performance of persistency techniques. 2008 ACM/IEEE 30th International Conference on Software Engineering; 2008 May 10. IEEE.

[25] Amadou C, Rémy H, Emmanuel C, Bernard M. Contextual knowledge for availability assessment in mechanical product design. Guidelines for a Decision Support Method Adapted to NPD Processes. 2007.

[۲۶] کریمی مجید، خلجانی جعفر، حسامی حمید رضا. راهنمای ایجاد و توسعه دفاتر در واحدهای صنعتی و توسعه فناوری. مرکز معماری و ساماندهی ظرفیت های تحقیقاتی. تهران : انتشارات موسسه تحقیقاتی صنایع؛ ۱۳۹۱.

[۲۷] مرکز معماری و ساماندهی ظرفیت‌های تحقیقاتی. راهنمای ایجاد و توسعه دفاتر در واحدهای صنعتی و توسعه فناوری. انتشارات مؤسسه تحقیقاتی صنایع؛ ۱۳۹۱.

[۲۸] مونسان محمد. اصول طراحی کشتی. اصفهان:انتشارات کانون پژوهش؛ ۱۳۹۱.

[29] Wani MF, Gandhi OP. Development of maintainability index for mechanical systems. Reliability Engineering & System Safety. 1999 Sep 1;65(3):259-70.

[30] Stephen J. NASA Systems Engineering Handbook. NASA, DIANE Publishing; 2010.

[31] Goldschmidt T, Reussner R, Winzen J. A case study evaluation of maintainability and performance of persistency techniques. 2008 ACM/IEEE 30th International Conference on Software Engineering; 2008 May 10. IEEE.

[32] Luo X, Yang Y, Ge Z, Wen X, Guan F. Maintainability-based facility layout optimum design of ship cabin. International Journal of Production Research. 2015 Feb 1;53(3):677-94.

[33] Department of Defense. Designing and Developing Maintainable Products ans System. USA; 1997. p.25. (Volume I).

[34] Dong Z, Le K, Yan D,Chuan L. Process oriented maintainability and maintenance task

integrated analysis method; Paper presented at the Reliability, Maintainability and Safety: Guiyang, 2011. P.859 –65.

[35] Blanchard B, Verma S, Peterson E. Maintainability: A Key to Effective Serviceability and Maintenance Management. John Wiley; 1994. p. 439–56.

[۳۶] اصغرپور محمد جواد. تصمیم گیری های چند معیاره.

دانشگاه تهران؛ ۱۳۹۳.

پی‌نوشت‌ها

1. Design Structual Matrix (DSM)
2. Reliability, Availability,Maintainability,Safety (RAMS)
3. Mean Time Between Failure (MTBF)
4. Mean Distance Between Failures (MDBF)
5. Mean Time to Repair (MTTR)
6. Mean Time to Failure (MTTF)
7. Maximum Time to Repair (MaxTTR)
8. Standardization
9. Modularization
10. Simplicity
11. Diagnosibility
12. Identification
13. Accessibility
14. Disassembly/assembly
15. Tribo-concepts
16. Assembly type
17. Ergonomics
18. Maintenance
19. Safety
20. Spare parts
21. Tools and equipment
22. Personnel
23. Organization
24. Personnel skill
25. Interconvertibility
26. Computer Aided Design
27. Robust Design
28. Simplicity
29. Parts/Component
30. System Environment
31. Assemblability
32. Identification
33. Human Sensory
34. Modularization
35. Accessibility
36. Standardization
37. Safety
38. Anthropology
39. Testability
40. Diagnosability
41. Operation Profile
42. Serviceability
43. Physiological