

تخمین بهبود قابلیت اطمینان طراحی سیستم تولید برق زیردریایی

مهدی کرباسیان^{۱*}، سعید سالاری^۲، فاطمه رشیدیان^۳

mkarbasi@mut-es.ac.ir

saeidsalar54@yahoo.com

f_rashidian89@yahoo.com

^{۱*} نویسنده مسئول، دانشیار، مجتمع دانشگاهی مدیریت و مهندسی صنایع، دانشگاه صنعتی مالک اشتر

^۲ کارشناس ارشد مهندسی صنایع، دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف آباد، اصفهان

^۳ دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی صنایع، مجتمع دانشگاهی مدیریت و مهندسی صنایع، دانشگاه صنعتی مالک اشتر

تاریخ پذیرش: ۹۸/۰۲/۳۱

تاریخ دریافت: ۹۸/۰۱/۱۹

چکیده

سیستم تولید انرژی در زیردریایی به عنوان قلب زیردریایی و یکی از سیستم‌های اصلی آن تلقی می‌شود و اطمینان از صحت عملکرد آن در شرایط معین و مدت زمان مشخص اهمیت زیادی دارد. با استفاده از مدل‌سازی قابلیت اطمینان به روش بلوک دیاگرام، قابلیت اطمینان اولیه سیستم را تخمین و با اتخاذ دو رویکرد ارتقاء "قابلیت اطمینان" اجزاء و تکنیک ایجاد "افزونگی" سیستمی در ساختار محصول و سیستم، قابلیت اطمینان سیستم مورد اشاره بهینه می‌شود. پس از تخمین قابلیت اطمینان اولیه سیستم، با استفاده از استانداردهای ۲۱۷F و "استاندارد قابلیت اطمینان قطعات غیر الکترونیک"، جزء کوپل به عنوان کاهنده اصلی قابلیت اطمینان شناسایی شده و با جایگزین نمودن کوپل جدید با نرخ خرابی کمتر، قابلیت اطمینان به میزان قابل توجهی افزایش یافته است. به منظور بهبود قابلیت اطمینان سیستم، با به کارگیری ابزار تحلیل حالت‌ها و اثرات خرابی، ضمن شناسایی علل خرابی و برآورد اعداد اولویت ریسک بر اساس نتایج مربوطه، با ایجاد افزونگی سیستمی، مدل‌سازی توابع بهینه‌سازی و حل معادله‌های مدل‌ها به کمک نرم‌افزار GAMS ساختار بهینه سیستم تولید انرژی با رویکرد بهینه‌سازی قابلیت اطمینان، مشخص شده است. بنابراین ساختار افزونگی با رویکرد بهینه‌سازی قابلیت اطمینان با ساختار موازی ساده‌ای که پیشنهاد شده، می‌تواند حداکثر دارای سه دیود در هر پایه به صورت موازی، (حداقل دو جزء مازاد) باشد. به صورت کلی ساختار افزونگی با رویکرد بهینه‌سازی قابلیت اطمینان با ساختار موازی ساده‌ای که پیشنهاد شده، می‌تواند حداکثر دو سیستم موازی (حداقل یک جزء مازاد) را اختیار کند.

واژه‌های کلیدی: قابلیت اطمینان، افزونگی، نرخ خرابی، کوپل، یکسوکننده، سیستم تولید انرژی

۱. مقدمه

سیستم‌ها دو روش با عنوان روش‌های تحلیلی و شبیه‌سازی رایانه‌ای وجود دارد، که از مهم‌ترین روش‌های تحلیلی می‌توان روش بلوک دیاگرام قابلیت اطمینان و روش آنالیز درخت خرابی نام برد. اما با توجه به این که سیستم یادشده

توجه به قابلیت اطمینان به خصوص در مورد سیستم‌هایی که در شرایط عملکردی سخت فعالیت می‌کنند، از جمله سیستم‌های نظامی، اهمیت زیادی دارد [۱]. برای ارزیابی قابلیت اطمینان

RPN سیستم‌های گوناگون این تجهیز پیچیده و استفاده از این شاخص در طراحی قابلیت اطمینان استفاده شده است [۲].

موحدی و دولتخواه در سال ۱۳۹۱ به معرفی شبکه‌های بیزین پرداخته و ضرورت استفاده از آن‌ها در محاسبه قابلیت اطمینان را بیان نموده‌اند. سپس درخت تجزیه و تحلیل خطای شاتر دورین را بررسی و به رسم شبکه بیزین آن پرداخته‌اند و با استفاده از نرم‌افزار MSBNX قابلیت اطمینان کل سیستم را محاسبه نموده‌اند [۳]. جلیل زاده و همکاران بیان می‌کنند که اگرچه تئوری‌های محاسبات قابلیت اطمینان سیستم‌ها در حالت کلی کاملاً شناخته شده است، اما بحث اساسی در امکان‌سنجی اعمال تئوری‌های موجود به شکلی است که قابل استفاده در شبکه‌های توزیع انرژی الکتریکی باشد. این موضوع کماکان از دغدغه‌های طراحان و تحلیلگران شرکت‌های توزیع است. در این مقاله روشی سریع برای محاسبه قابلیت اطمینان در شبکه‌های توزیع شعاعی ارائه شده که در آن وجود نقاط مانور و مدهای خطای مرتبط با قفل شدن کلیدها مدل شده‌اند [۴]. خضرپور و همکاران بیان می‌کنند که امروزه با توسعه فناوری و پیچیدگی ابزار، محاسبه قابلیت اطمینان جایگاه خود را در طراحی، ساخت و انتخاب سیستم‌های مختلف به خصوص در سامانه‌های هوافضا پیدا نموده است. از سوی دیگر آگاهی از موضوع تعمیر و نگهداری در جهان کنونی به یک فناوری مستقل تبدیل شده است که در زمره استراتژی‌های سازمان قرار می‌گیرد. در این میان موتور از جمله قطعاتی است که به علت بحرانی بودن کاربری به طور مستقیم بر قابلیت اطمینان، تعمیر و نگهداری و قابلیت دسترسی بالگرد تأثیر می‌گذارد [۵]. گودرزی املشی، آقابائی و توکلی، در مقاله‌ای با عنوان بررسی دسترس پذیری و قابلیت اطمینان انواع سیستم‌های رانش در شناورهای نظامی، به بررسی انواع رانش در شناورها پرداخته‌اند و با استفاده از معایب و مزایای هر کدام، مدل مارکوف ترسیم، دسترس پذیری و قابلیت اطمینان رانش‌ها مقایسه و بهترین رانش برای شناورهای نظامی معرفی نموده‌اند [۶]. گودرزی املشی و همکاران در مقاله دیگری روشی برای تعیین اندازه بهینه سیستم ذخیره‌ساز انرژی در یک ریزشبکه به منظور

شامل اجزاء خاص بوده که به دلایل الزامات طراحی، عملکردی و محدودیت‌های فنی از یک طرف و محدودیت‌های تأمین، دسترسی نداشتن به اطلاعات دقیق نرخ‌های خرابی اکثر اجزاء و قابلیت اطمینان آن‌ها از طرف دیگر، ارائه روشی به منظور تخمین و ارزیابی و بهبود قابلیت اطمینان طراحی سیستم با استفاده از مدل‌سازی قابلیت اطمینان به روش بلوک دیاگرام قابلیت اطمینان و استفاده از تکنیک افزونگی سیستمی و جایگزینی اجزاء و اقدام به بهینه‌سازی طراحی، با رویکرد بهبود قابلیت اطمینان آن ضرورت دارد. در زیردریایی وقوع یک اشتباه یا خطای کوچک می‌تواند حوادث ناگواری در پی داشته باشد. در این حوزه نیاز به داشتن محصولی با قابلیت اطمینان و ایمنی بالا به دلایل زیر مشهود است:

- وجود محیط بحرانی (محیط‌هایی که رخداد یک خطا یا خرابی برای سیستمی که در آن محیط واقع شده است، به نتایج ناگوار می‌انجامد)؛
- وجود سیستم‌های پراترژ (سوخت ذخیره‌شده، باتری‌ها، مهمات و غیره)؛
- وجود سیستم‌های یکپارچه و پیچیده؛
- وجود سیستم‌های بحرانی (سیستم‌هایی که رخداد یک خطا یا خرابی در آن‌ها صرف‌نظر از محیطی که در آن قرار دارند - به نتایج ناگوار می‌انجامد).

۲. روش‌ها

مطالعات داخلی اخیر در خصوص موضوع قابلیت اطمینان که اغلب در قالب پایان‌نامه، مقاله و گزارش علمی انجام شده‌اند و در این تحقیق مورد بررسی قرار گرفته‌اند؛ اجمالاً به شرح زیر هستند.

سام پویان پروژه آنالیز حالات بالقوه خرابی و آثار آن در سیستم زیردریایی (SFMEA) در مرحله طراحی مفهومی را انجام داده است. در اجرای این پروژه سعی شده با انجام مصاحبه‌های متعدد با کارشناسان و خبرگان نسبت به جمع‌آوری اطلاعات اقدام شود. در این پروژه آنالیز حالات بالقوه خرابی و آثار آن در سیستم زیردریایی با رویکرد تعیین

دستاوردهای برنامه‌ریزی آرمانی و AHP، استفاده کرده‌اند، مدلی که آن‌ها ارائه نمودند برای هر مدل خرابی پمپ، سیاست نگهداری و تعمیرات را در مورد بازرسی یا تعمیر تعیین نموده و نقش نیروی انسانی نت برای تعیین منظر ریسک مناسب در استفاده از پارامترهای کلاسیک رخداد (O)، به شدت (S) و توانایی تشخیص (D) را مشخص می‌کند [۱۰]. شاریپو، در سال ۲۰۰۹ در تحقیقی بعضی از راه‌های افزایش کارایی و قابلیت اطمینان سیستم‌های القاء ماشین‌های بزرگ را ارائه داد. یکی از این راه‌ها جایگزینی ترانسفورماتور دو سیم پیچ با یک سیم پیچ است. او به این نتیجه رسید که با بهبود قابلیت اطمینان ترانس یکسوکنده تلفات ترانسفورماتور را نصف می‌کند و حرارت را کاهش می‌دهد [۱۱]. بارنز و همکاران در سال ۲۰۱۲، در مقاله خود به به کارگیری مدل احتمال تعدیل شده FMEA و مقایسه آن با رویکرد FMEA سنتی می‌پردازند. آن‌ها نشان دادند در صورتی که تعداد نمونه‌هایی که هر ساله مورد بررسی قرار می‌گیرد، معین باشد، می‌توان از احتمال تعدیل شده FMEA برای تخمین نرخ سالیانه یک حالت خرابی ناخواسته استفاده نمود [۱۲]. نایت از شرکت میترا در سال ۲۰۱۳ در تحقیقی با عنوان "توسعه فرایندهای قابلیت اطمینان، دسترس پذیری و قابلیت نگهداری" به تشریح دلایل اهمیت و توجه بیش از پیش به این مقوله و تمرکز بر توسعه فرایندهای قابلیت اطمینان، با توجه به عملکرد ضعیف و هزینه‌های نگهداری رو به افزایش تجهیزات دفاعی پرداخته است و با بیان نگرانی دولت توصیه به ارائه آموزش و استفاده از استانداردهای مدل‌سازی، شبیه‌سازی و تحلیل مربوطه نموده است [۱۳]. کوماران در سال ۲۰۱۴ در مقاله‌ای با عنوان استفاده از استاندارد MIL STD 461 E- و ابزارهای اف. تی. آ، سیکس سیگما^۲ و نرم‌افزار مدل‌سازی سالید ورکز^۳ و نرم‌افزار تحلیلی انسیس^۴ به بررسی روند پیشرفت در طراحی، قابلیت اطمینان و جنبه مختلف قابلیت نگهداری و تعمیرات تجهیزات نظامی مدرن دریایی پرداخته است [۱۴]. نتیجه‌گیری پیشینه تحقیق در جدول شماره یک، به اختصار و بر اساس موضوع، زمان و چگونگی تحقیق بیان شده است.

افزایش قابلیت اطمینان آن ارائه کرده‌اند. روش ارائه‌شده بر اساس یک مدل احتمالی و با در نظر گرفتن تمامی شرایط عملکردی ممکن برای ریزش شبکه است. در این راستا ابتدا حالت مستقل و اتصال ریزش شبکه به شبکه اصلی بررسی می‌شود. برای حل مسئله از برنامه‌ریزی خطی آمیخته با اعداد صحیح با هدف کمینه کردن هم‌زمان هزینه‌های نصب سیستم ذخیره‌ساز و هزینه بهره‌برداری از ریزش شبکه مستقل و افزایش سودآوری ریزش شبکه متصل به شبکه اصلی استفاده شده است. نتایج نشان می‌دهند که نصب ظرفیت بهینه سیستم ذخیره‌ساز انرژی در ریزش شبکه، علاوه بر افزایش قابلیت اطمینان با جبران کمبود توان بادی، خورشیدی و بار سبب کاهش هزینه بهره‌برداری از ریزش شبکه مستقل و افزایش سودآوری ریزش شبکه متصل به شبکه اصلی می‌شود [۷]. فکور و مؤمن، در مقاله‌ای، الگوریتمی کارآمد در طراحی سیستمی سامانه‌های ویژه مأموریت با رویکرد قابلیت اطمینان ارائه و روند و چگونگی پیشرفت آن توضیح داده شده است. با به کارگیری این الگوریتم در طراحی زیرسیستم‌های سامانه‌های فضایی می‌توان به صورت سیستماتیک و استراتژیک به یک طراحی بهینه از لحاظ پارامترهای قابلیت اطمینان دست یافت. با وارد کردن پارامترهای درخت محصول شامل اطلاعات کلی زیرسیستم‌ها در الگوریتم، با شناخت حالت‌های شکست و روند رخداد هر حالت شکست، طراحی را اصلاح نموده و تمهیدات لازم برای جلوگیری یا کاهش احتمال رخداد حالت شکست در نظر گرفته می‌شود [۸]. مزینانه و همکاران در سال ۲۰۰۵، بهینه‌سازی قابلیت اطمینان شبکه الکتریکی را با استفاده از الگوریتم اجتماع مورچگان مورد بررسی قرار دادند. در این تحقیق مشکل بهینه‌سازی قابلیت اطمینان سیستم مورد نظر را دستگاه‌های الکتریکی افزونه مطرح و با بیان اینکه میزان قابلیت اطمینان به محدودیت‌های عملکرد و هزینه نیز مرتبط می‌شود، با استفاده از الگوریتم اجتماع مورچگان روشی برای ارزیابی قابلیت اطمینان و تعیین توپولوژی بهینه شبکه الکتریکی، ارائه کردند [۹]. برتولینی و بویلاکوا، در سال ۲۰۰۶ در مقاله خود برای انتخاب بهترین استراتژی نگهداری و تعمیرات پمپ‌های گریز از مرکز در پالایشگاه نفت از

جدول ۱. پیشینه تحقیق به اختصار و بر اساس موضوع، زمان و چگونگی تحقیق

محقق-زمان	مطالعه موردی	تکنیک‌ها و مدل‌های استفاده شده
موحدی و دولتخواه (۱۳۹۱)	محاسبه قابلیت اطمینان شاتر دوربین با استفاده از شبکه‌های بیزین	در محاسبه قابلیت اطمینان و بررسی درخت تجزیه و تحلیل خطای شاتر دوربین، به رسم شبکه بیزین آن پرداخته شده و با استفاده از نرم‌افزار MSBNX قابلیت اطمینان کل سیستم محاسبه شده است.
گودرزی املشی و همکاران (۱۳۹۲)	بررسی دسترس پذیری و قابلیت اطمینان انواع سیستم‌های رانش در شناورهای نظامی	ضمن بررسی انواع رانش در شناورها با استفاده از معایب و مزایای هر کدام، مدل مارکوف ترسیم؛ سپس دسترس پذیری و قابلیت اطمینان رانش‌ها مقایسه و بهترین رانش برای شناورهای نظامی معرفی نموده‌اند.
فکور و مؤتمن (۱۳۹۳)	ارائه الگوریتم کارآمد در طراحی سیستمی سامانه‌های ویژه مأموریت با رویکرد قابلیت اطمینان	با به کارگیری این الگوریتم در طراحی، با وارد کردن پارامترهای درخت محصول شامل اطلاعات کلی زیر سیستم‌ها در الگوریتم و با شناخت حالت‌های شکست و روند رخداد هر حالت شکست، طراحی را اصلاح نموده و تمهیدات لازم برای جلوگیری یا کاهش احتمال رخداد حالت شکست در نظر گرفته می‌شود.
کرباسیان و همکاران (۱۳۹۱)	بررسی قابلیت اطمینان فازی شاتر دوربین به کمک الگوی PROBIST	با کمک گرفتن از درخت تجزیه و تحلیل خطای شاتر دوربین و رسم نمودار بلوکی قابلیت اطمینان آن، با استفاده از نرم‌افزار MSBNE ^۱ قابلیت اطمینان سیستم را محاسبه نموده‌اند.
مزیان و همکاران (۲۰۰۵)	بهینه‌سازی قابلیت اطمینان شبکه الکتریکی	با استفاده از الگوریتم اجتماع مورچگان روشی برای ارزیابی قابلیت اطمینان و تعیین توپولوژی بهینه شبکه الکتریکی ارائه کردند.
برتولینی و همکاران (۲۰۰۶)	انتخاب بهترین استراتژی نگهداری و تعمیرات پمپ‌های گریز از مرکز در پالایشگاه نفت با استفاده از برنامه‌ریزی آرمانی و AHP	برای انتخاب بهترین استراتژی نگهداری و تعمیرات پمپ‌های گریز از مرکز در پالایشگاه نفت از دستاورد برنامه‌ریزی آرمانی و AHP استفاده کرده‌اند.
شاریو و همکاران (۲۰۰۹)	راه‌های افزایش کارایی و قابلیت اطمینان سیستم‌های القاء ماشین‌های بزرگ	بعضی از راه‌های افزایش کارایی و قابلیت اطمینان سیستم‌های القاء ماشین‌های بزرگ ارائه شده است. یکی از این راه‌ها جایگزینی ترانسفورماتور دو سیم پیچ با یک سیم پیچ است. با بهبود قابلیت اطمینان ترانس یکسوکننده تلفات ترانسفورماتور را نصف می‌کند و حرارت را کاهش می‌دهد.
بارنزو همکاران، (۲۰۱۲)	به کارگیری مدل احتمال تعدیل شده FMEA و مقایسه آن با رویکرد سنتی FMEA	در صورتی که تعداد نمونه‌هایی که هر ساله مورد بررسی قرار می‌گیرد معین باشد، می‌توان از احتمال تعدیل شده FMEA برای تخمین نرخ سالیانه یک حالت خرابی ناخواسته استفاده کرد.
نایت تاچر از شرکت میتر (۲۰۱۳)	تمرکز بر توسعه فرایندهای قابلیت اطمینان و نگهداری از طریق آموزش و به کارگیری استانداردهای مربوطه	به کارگیری ابزارهای FMECA و FTA
کوماران (۲۰۱۴)	بررسی روند پیشرفت در طراحی، قابلیت اطمینان و جنبه مختلف قابلیت نگهداری و تعمیرات تجهیزات نظامی مدرن دریایی	استفاده از استاندارد MIL STD 461-E، ابزارهای FTA و SIXSIGMA، و نرم‌افزار مدل‌سازی SolidWorks و نرم‌افزار تحلیلی ANSYS
کرباسیان و همکاران	تحقیق حاضر	به کارگیری ابزارهای FMEA، FTA و RBD و استفاده از مدل‌های افزودنی و مدل تخصیص قابلیت اطمینان FOO، در راستای تخمین و بهبود قابلیت اطمینان طراحی از طریق تغییر در طراحی، کاهش ریسک و افزایش ایمنی

می شوند. یک زیردریایی دیزل الکتریکی انرژی حرکتی خود را از سوخت تأمین می کند. بدین صورت که برق تولیدی به وسیله دیزل - ژنراتور، برای شارژ باتری ها و هم زمان برای سایر مصارف استفاده می شود و در مواقعی که دیزل - ژنراتور در مدار نیست؛ تأمین انرژی مورد نیاز از طریق باتری ها تأمین می شود. سیستم تولید انرژی الکتریکی در زیردریایی ها به ولتاژهای ۲۲۰ ولت DC، ۲۴ ولت DC و ۳۸۰ ولت سه فاز و ۲۲۰ ولت تک فاز AC تقسیم شده است که برای مصارف اصلی، اضطراری، فرمان و فرعی استفاده می شود. نوع ولتاژ انتخابی برای زیردریایی های دیزل - الکتریکی، با توجه به نوع موتور اغلب DC، است که سطح این ولتاژ متناسب با توان مورد نیاز موتور اصلی و نیز محدودیت های عایقی، تعیین می شود. سیستم الکتریکی قدرت زیردریایی ها اغلب بر مبنای دو سطح ولتاژ قدرت DC و یک سطح ولتاژ AC، تعریف و طراحی می شود. سطوح ولتاژ DC، یکی سطح ولتاژ ۲۲۰ ولت و دیگری سطح ولتاژ ۴۴۰ ولت مستقیم است. که این سطوح ولتاژ با سری و موازی شدن دو دسته باطری ۲۲۰ ولتی DC، قابل حصول است. سطح ولتاژ AC نیز سه فاز ۳۸۰ ولت است. بیشتر مصارف هتل لود زیردریایی الکتروموتور دارد؛ به طوری که می توان درصد بسیار بالایی از مصارف هتل لود را به الکتروموتورها اختصاص داد. به دلیل مزیت های قابل توجه الکتروموتورهای AC نسبت به DC، در زیردریایی های جدید اغلب، همه الکتروموتورهای فرعی از نوع AC انتخاب شده اند.

از این رو، ولتاژ سیستم توزیع قدرت، از نوع AC در نظر گرفته می شود و چون سطح ولتاژ در کشور ایران ۳۸۰ ولت سه فاز و ۲۲۰ ولت تک فاز است و در نتیجه دسترسی به سیستم های فرعی با این سطح ولتاژ بسیار ساده تر است، سطح ولتاژ سیستم توزیع قدرت نیز ۳۸۰ ولت سه فاز و ۲۲۰ ولت تک فاز انتخاب می شود. برای تولید این ولتاژها، از اینورترهای سه فاز که قادر به تولید ولتاژ تک فاز نیز هستند، استفاده می شود [۲]. در زیردریایی های دیزل الکتریکی معمولی، توان لازم برای پیشران در زیر سطح به وسیله باتری ها تأمین می شود. پس از اتمام ذخیره الکتریکی باتری ها، زیردریایی باید دوباره به سطح

با توجه به اطلاعات جدول شماره یک، ملاحظه می شود که بیشتر محققان در تحقیق خود در راستای تحلیل تخمین قابلیت اطمینان سیستم های مورد مطالعه خود از ابزارهای FMEA، RBD و FTA استفاده کرده اند؛ از آنجا که سیستم مورد مطالعه در این تحقیق به دلیل در مرحله طراحی بودن آن و به عنوان یک محصول جدید، عدم امکان تست بسیاری از اجزاء و دسترسی نداشتن به نرخ خرابی ها در محیط کارکردی از یک طرف و استفاده از قطعات صنعتی متفرقه و ناهمگون، هزینه بالا، محدودیت ها در تأمین و تست های تحلیل خرابی اجزاء، مناسب ترین روش، مدل سازی قابلیت اطمینان به روش RBD است و پس از تخمین قابلیت اطمینان اولیه ضمن شناسایی اجزای کاهنده اصلی قابلیت اطمینان، بر اساس شرایط و الزامات عملکردی و فنی و محدودیت های مختلف، اقدام به مدل سازی بهینه و ایجاد ساختار افزونگی نموده و بهبود قابلیت اطمینان طراحی سیستم دنبال شود. همچنین با استفاده از آنالیز درخت خطا، تحلیل و آنالیز حالات، اثرات خرابی ها و به تبع آن شناسایی علل خطاها، راهکارهای مدیریت و کاهش ریسک به منظور کاهش احتمال خرابی ها با رویکرد بهبود قابلیت اطمینان طراحی سیستم پیشنهاد می شود.

افزونگی عبارت است از «وجود بیش از یک جزء، واحد یا ابزار برای انجام یک وظیفه».

۳. تئوری و محاسبات

۳-۱. معرفی کلی زیردریایی و سیستم تولید برق آن

زیردریایی یک شناور دریایی با قابلیت انجام عملیات در زیر سطح آب است که با توجه به مشخصه های عملیاتی، مشخصه های هندسی، ظرفیت، نوع نیروی محرکه تعریف شده برای این نوع سامانه ها، در کلاس های مختلف از جمله زیردریایی های فوق سبک مرطوب، زیردریایی های سبک با ظرفیت حدود ۱۰۰ تا ۳۰۰ تن، زیردریایی های متوسط با ظرفیت حدود ۵۰۰ تا ۹۰۰ تن و زیردریایی های بیش از ۱۰۰۰ تن با عنوان زیردریایی های کیلو کلاس دسته بندی می شوند. زیردریایی ها بر اساس سیستم نیروی محرکه خود، به زیردریایی های اتمی، دیزل الکتریکی و الکتریکی کلاس بندی

متناوب بودن، ژنراتور متناوب به ژنراتور مستقیم ارجحیت دارد به دلیل اینکه ژنراتورهای AC نسبت به ژنراتورهای DC کوچک تر و سبک تر هستند، سروصدای کمتری دارند؛ زیرا جاروبک ها حذف شده اند، هزینه های تعمیر و نگهداری کمتری دارند. علاوه بر این مزایا، ژنراتورهای جریان مستقیم با توان های بالاتر از 150 kW در سطح ولتاژ ۲۲۰ ولت باید به صورت سفارشی ساخته شود و در بازار به سختی پیدا می شود. ژنراتورهای AC نیز در دو نوع ژنراتور سنکرون مغناطیس دائم و ژنراتور سنکرون روتور سیم پیچی شده وجود دارند. نوع مغناطیس دائم بر نوع روتور سیم پیچی شده ارجحیت دارد؛ زیرا از نظر ابعاد کوچک تر و سبک تر است و راندمان بالاتر و اتلافات حرارتی کمتری دارد.

معرفی یک نمونه دیزل-ژنراتور مناسب برای شناورهای دریایی: دیزل-ژنراتور دریایی کاتریلار C18 مشخصات کلی به شرح جدول شماره دو دارد:

جدول ۲. مشخصات کلی دیزل-ژنراتور

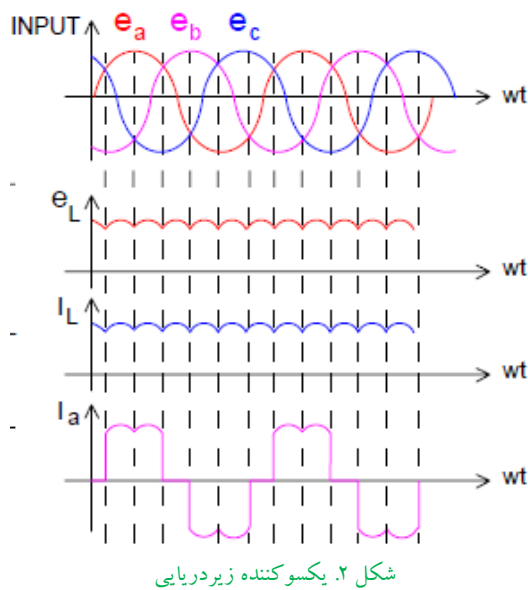
موتور دیزل، شش سیلندر چهارزمانه			
توان خروجی الکتریکی	۴۵۰ kWe	سیستم خنک کننده	مبدل گرمایی
توان خروجی موتور	۴۹۲ BkW	مصرف سوخت	۱۱۷/۷ L/hr
دور	۱۵۰۰ Rpm	بیشینه فشار اگزوز	۱۰ kPa
جابه جایی	۱۸/۱ L	ابعاد (بیشینه) (L×W×H)	۳۰۴۰*۱۱۵۱*۱۴۷۴ mm ³
قطر سیلندر	۱۴۵ Mm	وزن کل (خشک)	۴۵۹۰ Kg
کورس پیستون	۱۸۳ Mm	ابعاد موتور (L×W×H)	۱۵۸۱*۱۰۴۳*۱۲۵۲ Mm ³
تنفس	توربوشارژر به همراه خنک کننده	وزن موتور (خشک)	۱۶۱۴ Kg

گفته شد برای شارژ داخلی از دیزل ژنراتورها به همراه یکسو کننده ها و برای شارژ کردن باتری ها در ساحل از شارژرهای ساحلی استفاده می شود. به کمک کلیدی به نام کلید QOG، می توان مسیر باتری ها را از شارژرهای داخلی جدا کرده و به شارژرهای ساحلی متصل کرد. برای هر دسته باتری یک شارژر مجزا در ساحل در نظر گرفته می شود. اما در شرایط خاص و در صورت لزوم می توان با موازی کردن دو دسته باتری و استفاده از یک شارژر هر دو دسته باتری را شارژ کرد. برای شارژ دسته باتری های قرار داده شده در شناور زیردریایی نیاز به ولتاژ مستقیم (DC) است. منبع تولید برق، دو

آب بر گردد و باتری ها از طریق دیزل-ژنراتورها شارژ شوند. مدت ماندگاری زیردریایی در زیر سطح آب، به میزان انرژی الکتریکی ذخیره شده در باتری ها بستگی دارد. از دیزل در شناور گفته شده برای شارژ باتری ها استفاده می شود؛ سپس از نیروی پتانسیل ذخیره شده در باتری برای به حرکت درآوردن موتور الکتریکی متصل به پروانه و یا سایر نیازها استفاده می شود. در این شناور موتور دیزل مستقیماً به پروانه متصل نیست، بنابراین تنها شرایطی که موتور در آن کار می کند، حالت اسنورکلی است. ژنراتوری که برای زیردریایی انتخاب می شود، از لحاظ سطح ولتاژ، مستقیم یا متناوب بودن برق تولیدی و توان موردنیاز اهمیت دارد. در این شناور، سطح ولتاژ 220 V در نظر گرفته شده است. کم شدن سطح ولتاژ از طرفی باعث کاهش تعداد باتری های موردنیاز می شود و از طرف دیگر به دلیل افزایش آمپراژ باعث قطور شدن کابل ها و بزرگ تر شدن تجهیزات مصرفی می شود. از لحاظ مستقیم یا

مشخصات دیزل-ژنراتور 18C، نشان می دهد که از لحاظ توان مورد نیاز برای شارژ باتری ها و سایر مصارف، وزن و ابعاد مناسب است [۲]. علاوه بر دیزل-ژنراتورها که برای شارژ باتری ها در دریا در نظر گرفته شده اند، شارژرهای نیز در ساحل نصب شده اند تا هنگامی که زیردریایی به ساحل برمی گردد، با آن ها بتوان عمل شارژ باتری ها را انجام داد. بدین منظور سوکت هایی روی بدنه زیردریایی نصب می شوند و شارژرهای موجود در ساحل که می توانند دیزل-ژنراتور، موتور-ژنراتور یا مبدل الکترونیک قدرت باشند، با این سوکت ها به دو سر باتری ها متصل می شوند. همان طور که قبلاً

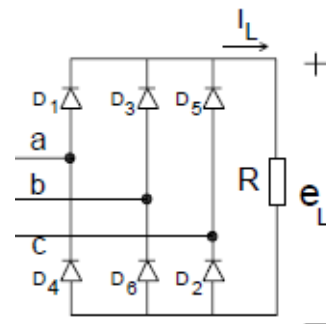
معرفی کلی شناور و تشریح سیستم تولید برق و مجموعه یکسوکننده، با توجه به نوع تحقیق و روش انتخابی برای تخمین قابلیت اطمینان، لازم است بلوک دیاگرام عملکردی ولتاژ خروجی یکسو شده مشخص شده باشد. نمودار سوم جریان بار و در نمودار چهارم جریان عبوری از دیود شماره یک رسم شده در نمودار اول ولتاژ ورودی و اختلاف فاز بین آن‌ها، در نمودار دوم، درخت خرابی سیستم ترسیم و متعاقب آن بلوک دیاگرام قابلیت اطمینان نیز ایجاد شود.



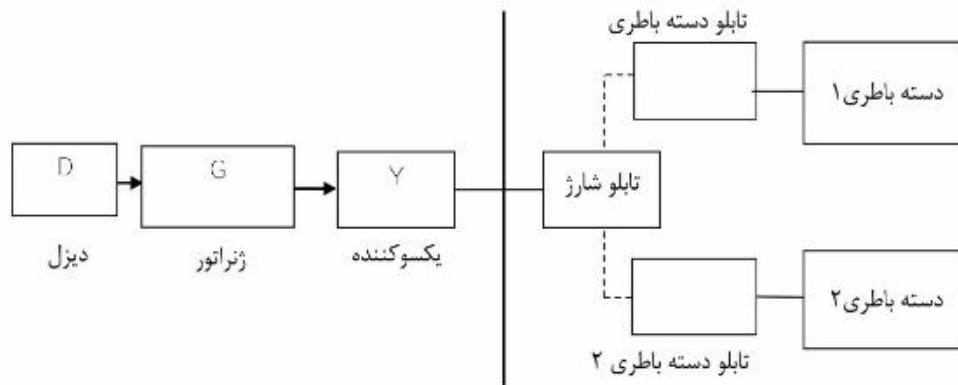
نتایج شبیه‌سازی جریان و ولتاژ خروجی یکسوکننده در نرم افزار متلب، همانطور که قبلاً اشاره شد سیستم تولید برق، شامل دیزل، ژنراتور و یکسوکننده است. در این مرحله ابتدا نمودار عملکرد کل سیستم به صورت بلوک دیاگرام عملکرد کلی به صورت شکل شماره سه، ارائه می شود.

دیزل ژنراتور سه فاز متناوب است. دسته اتصالات ترمینال خروجی دیزل ژنراتورها به صورت مثلث بوده و دامنه تغییرات ولتاژ برای شارژ باتری‌ها بین ۱۷۰ تا ۲۱۵ ولت است. با توجه به محدودیت فضای موجود در زیردریایی، تابلو یکسوکننده هر یک از دیزل ژنراتورها روی جعبه ترمینال برق خروجی آن قرار می گیرد. برق تولیدی به وسیله دیزل ژنراتورها ابتدا وارد تابلو یکسوکننده می شود. برق ورود به تابلو یکسوکننده AC سه فاز است. برق یکسو شده در خروجی تابلو یکسوکننده به مصارفی چون دسته باتری‌ها، موتور اصلی، کروز و غیره می رسد.

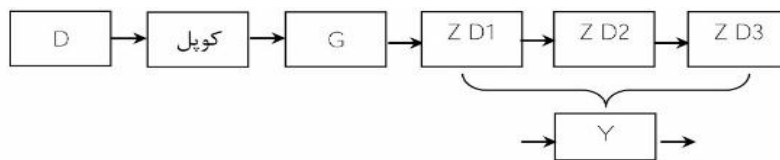
پل یکسوکننده تمام موج سه فاز: وظیفه این پل گرفتن برق سه فاز AC در ورودی و تحویل برق یکسو شده در خروجی است. در شکل شماره یک، نحوه قرار گرفتن دیودها و چگونگی اتصال آن‌ها به یکدیگر مشخص شده است.



با شبیه‌سازی این یکسوکننده در نرم افزار متلب، ضمن نمایش نمودارهای جریان و ولتاژ مطابق شکل شماره دو، لزوم نصب دو دیود در هر ساق یا پایه پل دیودی، برای پوشش فازهای مثبت و منفی جریان الکتریکی مطرح می شود [۲]. پس از



بلوک دیاگرام قابلیت اطمینان سیستم تولید انرژی:
بر اساس عملکرد سیستمی، بلوک دیاگرام قابلیت اطمینان سیستم یادشده با تمرکز بر مجموعه یکسوکننده به صورت شکل شماره ۴، ترسیم می شود. تخمین قابلیت اطمینان سیستمی با توجه به بلوک دیاگرام مربوطه، روابط سری، موازی و به کمک توابع آماری مرتبط صورت می گیرد.



شکل ۴. بلوک دیاگرام قابلیت اطمینان سیستم تولید برق

اجزای با نرخ خرابی شدید، بهبود نسبی قابلیت اطمینان طراحی صورت می گیرد.

مدل سازی و تحلیل اطمینان سیستم با رویکرد بهبود

در ارزیابی قابلیت اطمینان اغلب دو راهبرد اصلی برای بهبود قابلیت اطمینان پیشنهاد می شود، یکی ارتقاء قابلیت اطمینان اجزاء و ماژول های تشکیل دهنده سیستم و دیگری ایجاد ساختار افزونگی مجاز و محدود. با همین رویکرد مدل سازی قابلیت اطمینان سیستم مورد مطالعه در دو مرحله و با استفاده از روش RBD، صورت گرفته است. چنانچه در قبل بیان شد؛ در مرحله اول مدل سازی به منظور تخمین و پیش بینی اولیه قابلیت اطمینان انجام شده است. در گام دوم بر اساس الگوریتم پیشنهادی مدل سازی قابلیت اطمینان به روش RBD و با رویکرد بهبود قابلیت اطمینان با ایجاد ساختار افزونگی صورت گرفته است. بر اساس درخت عملکرد سیستمی، بلوک دیاگرام قابلیت اطمینان سیستم تولید انرژی به صورت شکل شماره ۵ و دارای یک ساختار سری است.



شکل ۵. بلوک دیاگرام قابلیت اطمینان سیستم تولید برق

$$R_A = \prod_{i=1}^4 R_i \quad (2)$$

در رابطه بالا، R_A ، قابلیت اطمینان سیستم در حالت اولیه و R_i ، قابلیت اطمینان اجزاء شامل دیزل، کوپل، ژنراتور و

همچنین بر اساس عملکرد سیستمی و مطابق ساختار سیستمی (ساختار سری) درخت محصول سیستم (نمودار درختی) مطابق شکل ۳، است. در مرحله طراحی، درخت محصول شامل همه زیرسیستم ها به همراه اجزای آنها تا سطح طراحی توسط تیم طراحی، است.

۴. یافته ها

مدل سازی اولیه قابلیت اطمینان به روش RBD

مطابق رابطه شماره ۱ قابلیت اطمینان سیستم های سری:

$$(1) \quad R = R_{\text{کوپل}} (R_{\text{ژنراتور}}) (R_{\text{دیزل}}) (R_{\text{یکسوکننده}}) = R_S$$

با استفاده از روابط سری - موازی و رابطه های مربوطه، با جایگذاری مقادیر استخراجی از استاندارد، پیشگویی یا نظر خیره طراحی، قابلیت اطمینان هر بلوک و در نهایت قابلیت اطمینان کل سیستم تخمین و پیش بینی می شود. پیش بینی قابلیت اطمینان یک روش تحلیل کمی برای پیش بینی اولیه و پایه ای قابلیت اطمینان و نرخ خرابی سیستم است. در این تحلیل ضمن تخمین نرخ خرابی اجزاء، نرخ خرابی کلی سیستم نیز تخمین زده می شود. پس از تخمین نرخ خرابی اولیه سیستم ممکن است این نتیجه گرفته شود که نرخ گفته شده مناسب نیست. در این صورت باید در درخت محصول تعریف شده بازنگری کرده و برخی ماژول های سیستم دوباره تعریف شود. بنابراین در این مرحله با تعریف مجدد و جایگزینی

بر اساس بلوک دیاگرام قابلیت اطمینان سیستم تولید برق در حالت اولیه، مدل سازی قابلیت اطمینان سیستم یادشده نیز در حالت اولیه به صورت رابطه شماره ۲، است:

و قدرت مانور و ویژگی‌های عملیاتی یک حداکثر وزن برای شناور و ابعاد هندسی شامل طول، عرض و حجم استخراج می‌شود و بر اساس آن محدوده وزن هریک از سیستم‌ها برآورد می‌شود.

(ب) محدودیت وزن: بر اساس محاسبات طراحی محصول مورد مطالعه و محاسبات وزنی صورت گرفته، محدوده وزن مجاز برای سیستم تولید برق، نیز تعیین می‌شود. بر اساس کاتالوگ سیستم انتخابی، وزن هر دستگاه دیزل در حدود ۳ تن و وزن هر دستگاه ژنراتور نیز ۱/۵ تن است، همچنین وزن کوپل حدود ۹۰ کیلوگرم و وزن مجموعه یکسوکننده حدود ۱۰۰ کیلوگرم برآورد شده است. اما براساس محاسبات وزنی و شناوری محصول حداکثر وزن مجاز برای کل سیستم تولید برق به صورت مجزا یا افزونگی حدود ۱۰ تن تعیین شده است. بنابراین مجموع اوزان مجاز برای کل سیستم یادشده کمتر از ۱۰ تن به عنوان محدوده مجاز وزن سیستم و محدودیت وزنی تعریف می‌شود.

(ج) محدودیت فضا: بر اساس الزامات طراحی زیردریایی و با توجه به نیاز به سیستم‌های متعدد و مختلف برای پاسخگویی به الزامات عملکردی و عملیاتی، در بخش‌های مختلف زیردریایی محدودیت فضا به‌عنوان یک محدودیت بحرانی مطرح و این محدودیت در بخش موتورخانه به مراتب شدیدتر است. براساس طراحی جانمایی (آرشیکتوری) سیستمی استقرار اجزای سیستم تولید برق به‌صورت خطی و در حالت افزونگی به صورت موازی سیستمی در کف موتورخانه است. بنابراین محدودیت فضا برای سیستم گفته شده بر اساس فضای کف مورد نیاز تعریف می‌شود. مطابق مشخصات ابعادی سیستم یادشده، طول سیستم حدود ۳/۰۴ متر و عرض آن حدود ۱/۱۵ متر است. بنابراین مساحت مورد نیاز هر مجموعه از سیستم یادشده برای استقرار در کف موتورخانه برابر با ۳/۴۹ متر مربع است.

با توجه به نیاز به فضای آزاد به عرض حدود ۰/۲ متر در اطراف سیستم یادشده (شکل شماره ۶)، بنابراین طول سیستم به علاوه دو فاصله ۰/۲ متر در جلو و عقب در حدود ۳/۵ متر می‌شود و مساحت فضای جانبی هر طرف برابر ۰/۷ متر مربع و

یکسوکننده است. در ایجاد ساختار افزونگی، با توجه به الزامات عملکردی و فنی در طراحی شناور زیردریایی، محدودیت‌های تعیین‌کننده و سخت‌گیرانه مختلفی از جمله هزینه، وزن، فضا و میزان نویز، به‌خصوص در مورد سیستم تولید انرژی (برق) آن وجود دارد و لازم است در مدل‌سازی قابلیت اطمینان به‌صورت دقیق لحاظ شود. همه محدودیت‌های وزن، فضا، هزینه و نویز بر اساس الزامات طراحی زیردریایی تعیین می‌شود.

(الف) محدودیت مجموع میزان اختلال منتشره: با توجه به مأموریت و الزامات عملکردی زیردریایی، عدم شناسایی و کشف آن توسط دشمن و ملاحظات خاص ارگونومی اپراتوری، محدودیت اختلال برای سیستم تولید انرژی در محدوده خاص و حد مجاز ۱۱۵ دسی بل تعریف شده است و مجموع اختلال منتشره از منابع مختلف از جمله اجزاء یا سیستم‌های افزوده شده مطابق ساختار افزونگی نباید بیشتر از این حد مجاز باشد. همچنین میزان اختلال منتشره از یک تجهیز مثل دیزل یا ژنراتور در زیردریایی بر اساس رابطه شماره ۳، محاسبه می‌شود.

$$SI_f = 129 - 17 \log_{10} f \quad (3)$$

در این رابطه f ، فرکانس تجهیز اصلی در سیستم و بر حسب db (دسی بل) است و در صورت معلوم نبودن مقدار آن از رابطه شماره ۴ تعیین می‌شود: (انتخاب دیزل، پژوهشکده زیرسطحی، ۱۳۹۰)

$$f = \frac{r_{TSM}}{60} \quad (4)$$

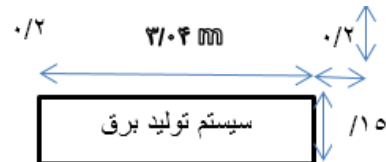
در ساختار افزونگی میزان مجموع نویز تولید شده توسط اصلی و سیستم‌ها یا اجزای مشابه افزون شده به‌صورت خطی افزایش نمی‌یابد و مطابق رابطه شماره ۵، محاسبه می‌شود.

$$N_T = a + 20 \log_{10} X \quad (5)$$

در این رابطه، N_T اختلال کل و a مقدار اختلال تولیدی با سیستم اصلی به‌صورت مجزا و X ، مجموع تعداد سیستم‌های مشابه در ساختار افزونگی شامل سیستم اصلی به‌علاوه سیستم‌های افزوده شده، است. در خصوص محدودیت وزن نیز به دلیل مشخصه‌های کنترل، پایداری، مباحث هیدرودینامیکی

(د) محدودیت هزینه: در هر پروژه مهندسی هزینه تمام شده برای طراحی یا ساخت محصول در یک محدوده مشخص توجیه اقتصادی و مالی دارد. در شناور مورد مطالعه نیز بابت طراحی کلی سیستم بر مبنای هزینه طراحی و تأمین مجموع سیستم‌های محصول برآورد می‌شود. برای تأمین سیستم تولید برق شناور، حداکثر هزینه کل (C_{max})، معادل ۶۳ هزار دلار در نظر گرفته شده است. بر اساس برآورد طراح سیستم، هزینه تقریبی زیرسیستم‌ها به شرح جدول شماره ۳ تعیین شده است.

دو فضا هم در جلو و عقب هر کدام به مساحت $۱/۳$ متر مربع نیاز است. بنابراین فضایی حدود $۱/۸۶$ متر مربع فضای آزاد و $۳/۴۹$ متر مربع نیز برای هر واحد سیستم نیاز است و در مجموع برای هر سیستم حدود $۵/۳۵$ متر مربع S_1 ، فضای استقراری نیاز است. اما محدودیت فضا هم بر اساس محاسبات جانمایی پروژه برای کل سیستم مورد اشاره در مجموع حداکثر فضای مجاز (S_{max}) حدود ۱۲ متر مربع در نظر گرفته شده است.



شکل ۶. نمایش ابعاد کف و فضای اطراف سیستم تولید برق

جدول ۳. برآورد هزینه زیرسیستم‌ها و حداکثر هزینه مجاز برای کل سیستم تولید برق

ردیف	عنوان زیرسیستم	هزینه (هزار دلار) C_i
۱	دیزل	۲۲
۲	کوپل	۰/۵
۳	ژنراتور	۶
۴	یکسو کننده	۱
۵	حداکثر هزینه کل مجاز	۶۳

هزار دلار $C_{max} = 63$

$$\text{MAX } R_S = 1 - 1 - R_A^X, \quad R_A = \prod_{i=1}^4 R_i \quad (۶)$$

s.t

$$\left\{ \begin{array}{ll} C * X < C_{max} & \text{محدودیت هزینه} \\ W * X < W_{max} & \text{محدودیت وزن} \\ S_1 X \leq S_{max} = 12 \text{ m}^2 & \text{محدودیت فضا} \\ a + 20 \log_{10} X \leq 115 \text{ db} & \text{محدودیت اختلال} \\ X \geq 1 & \end{array} \right.$$

پارامترها:

$$R_A = \text{قابلیت اطمینان اولیه سیستم}$$

$$C_i = \text{هزینه زیر سیستم } i \text{ ام}$$

$$C = \text{هزینه کل سیستم شامل مجموع هزینه‌های زیرسیستم ۱ تا ۴}$$

$$C_{max} = \text{هزینه ماکزیمم برای سیستم به همراه افزونگی}$$

$$C_1 + C_2 + C_3 + C_4 = C \quad \$ \text{ هزار دلار}$$

$$C_1 = 22, \quad C_2 = 0.5, \quad C_3 = 6, \quad C_4 = 1$$

اما با توجه به این که مجموعه دیزل و ژنراتور به صورت خرید خارج تأمین گردیده است بنابراین امکان تغییر طراحی آن‌ها توسط تیم طراحی پروژه وجود ندارد، لذا بر اساس عملکرد سیستمی و الزامات و محدودیت‌های فنی، بهینه‌سازی قابلیت اطمینان از طریق ایجاد ساختار افزونگی سیستمی به عنوان یک هدف انتخاب و با توجه به توابع و روابط آماری مرتبط، تابع هدف به منظور تعیین تعداد سیستم تولید برق در ساختار افزونگی در کل شناور با توجه به محدودیت‌ها، به صورت زیر تعریف و مدل‌سازی گردیده است:

تابع هدف بهینه‌سازی قابلیت اطمینان سیستم تولید برق

(از طریق افزونگی): به منظور تعیین تعداد سیستم‌های افزون شده در ساختار افزونگی به منظور بهینه‌سازی قابلیت اطمینان سیستم تولید برق زیردریایی تابع هدف و محدودیت‌ها بر اساس رابطه ۶ تعریف می‌شوند:

داغ شدن شدید سینک، لازم است دیودها با فاصله از هم روی سینک یادشده چیدمان شوند. بنابراین هر دیود فضای پیرامونی حدود دو برابر فضای استقرار خود روی سینک نیاز دارد. یعنی از ۴۰۰۰ سانتی متر مربع مساحت سینک، فضایی حدود ۱۳۰۰ متر مربع به فضای استقرار دیودها تعلق می گیرد. همچنین وزن هر دیود حدود ۲/۷۵۰ کیلوگرم و قیمت آن حدود ۱۵ میلیون ریال است. شکل شماره ۷، هیت سینک و چیدمان اولیه دیودها را در آزمایشگاه نشان می دهد.



شکل ۷. هیت سینک و چیدمان اولیه دیودها [۲]

تابع هدف بهینه سازی قابلیت اطمینان مجموعه

یکسوکننده: تابع هدف به منظور تعیین تعداد افزونگی در مجموعه دیودی با توجه تشابه ساق ها برای یکی از پایه ها، به همراه محدودیت ها، به صورت زیر (رابطه ۷) تعریف و مدل سازی شده است:

(۷)

$$\text{MAX } R_{p1} = [(1 - (1 - r_a)^X)(1 - (1 - r_a)^X)]$$

s.t

$$\left\{ \begin{array}{ll} 3 * (70) * 2X < S_{max} & \text{محدودیت فضا } \text{cm}^2 \\ 3 * 2X * C < C_{max} & \text{محدودیت هزینه میلیون ریال} \\ W * X < W_{max} & \text{محدودیت وزن (kg)} \\ X \geq 1 & \end{array} \right.$$

پارامترها:

C = قیمت هر عدد دیود (میلیون ریال)

C_{max} : حداکثر هزینه مجاز برای کل مجموعه دیودها

میلیون ریال $C_{max} = 300$ و میلیون ریال $C = 15$

W = وزن هر عدد دیود (کیلوگرم)

W_i = وزن زیر سیستم i ام

W = مجموع وزن های زیرسیستم های ۱ الی ۴

W_{max} = وزن ماکزیمم برای سیستم به همراه افزونگی

$$w_1 + w_2 + w_3 + w_4 = W \text{ ton}$$

$$W_{max} = 10 \text{ ton}$$

$$w_1 = 3, \quad w_2 = 0.09$$

$$w_3 = 1.5, \quad w_4 = 0.1, \quad W = 4.69$$

S_1 = مساحت کل برای اسقرار هر سیستم

S_{max} = حداکثر فضای مجاز برای کل سیستم تولید برق با

لحاظ حالت افزونگی

$$S_{max} = 12 \text{ m}^2, \quad S_1 = 5.35 \text{ m}^2$$

$$a = 129 - 17 \log_{10} f$$

دور (rpm)

$$f = \frac{\text{تعداد دور}}{60}, \quad \text{تعداد دور} = 1500 \text{ rpm}$$

$$f = \frac{1500}{60} = 25$$

معرفی متغیرها

R_i = قابلیت اطمینان زیرسیستم i ام سیستم.

x = مجموع تعداد سیستم های مشابه در ساختار افزونگی

شامل سیستم اصلی به علاوه سیستم های افزوده شده

اما با توجه به اینکه مجموعه یکسو کننده توسط تیم طراحی داخلی طراحی و ساخته شده است، بنابراین امکان تغییر و بهبود طراحی آن توسط تیم طراحی پروژه وجود دارد. بنابراین بر اساس عملکرد سیستمی و الزامات و محدودیت های فنی، بهینه سازی قابلیت اطمینان با ایجاد ساختار افزونگی در طراحی مدار یکسوکننده و چیدمان دیودها در ساق های دیودی به عنوان یک هدف انتخاب می شود. چنانچه در قبل بیان شد در یکسو کننده در حالت اولیه به منظور پوشش جریان ورودی سه فاز و تولید جریان خروجی یکسو شده، مجموعه دیودی، روی یک هیت سینک به صورت سه ساق و هر ساق دو پایه، چیدمان و نصب می شوند. هر دیود دارای ابعادی حدود طول ۱۰ سانتی متر، عرض ۷ و ارتفاع ۶ سانتی متر است که برای نصب روی هیت سینک به صورت مساحت نشیمنگاه یعنی مساحتی حدود ۷۰ سانتی متر مربع (S_1) نیاز دارد. ابعاد کلی هیت سینک مورد استفاده ۸۰ سانتی متر طول و ۵۰ سانتی متر عرض است، اما به دلیل تولید گرما توسط دیود و جلوگیری از

ایجاد ساختار افزونگی در سیستم تولید برق: ساختار افزونگی ایجاد شده با رویکرد بهبود قابلیت اطمینان، به دلیل ملاحظات فنی و عملکردی محدودیت موجود از نوع افزونگی فعال و به صورت ساختار موازی ساده انتخاب شده است. شکل ۸ ساختار افزونگی سیستمی و جانمایی سیستم تولید برق را نشان می‌دهد.

بنابراین لازم است به منظور ایجاد ساختار افزونگی بهینه، از طریق مدل سازی قابلیت اطمینان سیستم و تعریف توابع هدف بهینه قابلیت اطمینان و محدودیت‌های مربوطه، اقدام به حل مدل و تعیین محدوده افزونگی شود.

مدل سازی بهینه سازی قابلیت اطمینان سیستم تولید

برق با ساختار افزونگی سیستمی: چنانچه قبلاً بیان شد؛ مدل سازی قابلیت اطمینان سیستم تولید برق در ساختار افزونگی سیستمی با ساختار موازی ساده، با تعریف تابع هدف به همراه مجموعه محدودیت صورت گرفته:

تابع هدف بهینه سازی قابلیت اطمینان سیستم تولید برق (از طریق افزونگی)

$$MAX R_S = 1 - 1 - R_A^X, \quad R_A = \prod_{i=1}^4 R_i \quad (8)$$

با توجه به اینکه فرایند سیستم شارژ اغلب با رژیم زمانی هشت ساعت انجام می‌گیرد؛ بنابراین قابلیت اطمینان سیستم تولید برق در حالت اولیه در رژیم یادشده مدل سازی و محاسبه و مبنای بهینه سازی قرار می‌گیرد. از آنجا که مطابق محاسبات انجام شده، قابلیت اطمینان اولیه سیستم در بازه زمانی هشت ساعت، $R_A = 0.955$ است، بنابراین این گونه است:

$$MAX R_S = 1 - 1 - 0.955^X \quad (9)$$

s.t

$$\left\{ \begin{array}{l} 29.5 * X < 63 \quad \text{محدودیت هزینه هزار دلار} \\ 4.69 * X < 10 \quad \text{محدودیت وزن تن} \\ 5.35 * X < 12 \text{ m}^2 \quad \text{محدودیت فضا متر مربع} \\ 105.235 + 20 \log_{10} X < 115 \text{ db} \quad \text{محدودیت نویز} \\ X \geq 1 \end{array} \right.$$

$$W_{max} = \text{حداکثر وزن مجاز مجموع دیودها}$$

$$W_{max} (kg) = 50 \text{ kg}, \quad W = 2.750 \text{ kg}$$

$$S_1 = \text{مساحت نشیمنگاهی هر دیود}$$

$$S_{max} = \text{حداکثر مساحت نشیمنگاهی نصب مجموعه دیودها}$$

$$S_1 = 70 \text{ cm}^2, \quad S_{max} = 1300 \text{ cm}^2$$

- ابعاد نشیمنگاه هر دیود به صورت $7 * 10$ سانتی متر است.

$$r_d = \text{قابلیت اطمینان هر دیود} = 0.9997$$

متغیرها:

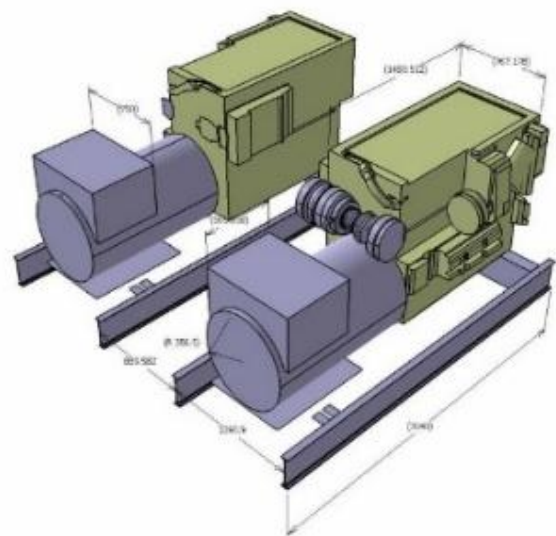
$$R_{P1} = \text{قابلیت اطمینان پایه ۱}$$

$$X = \text{تعداد دیود در پایه هر ساق به صورت موازی (در}$$

پایین ترین سطح درخت به صورت موازی)

حالت های مهم خرابی قطعات الکترونیکی: با توجه به اینکه

اجزاء تشکیل دهنده یکسوکننده اغلب الکترونیکی هستند؛ بنابراین در جدول شماره ۴ حالت های مهم خرابی قطعات الکترونیکی مورد مطالعه و احتمال وقوع آنها ارائه شده است. از اطلاعات موجود در این جدول می توان برای انجام آنالیز حالات و اثرات خرابی استفاده کرد. با توجه به احتمال خرابی جزء های دیزل و ژنراتور، به دلیل اینکه این اجزاء، توسط تیم طراحی بر اساس الزامات عملکردی و فنی به صورت بهینه ترین مجموعه قابل تأمین، انتخاب شده اند. بنابراین به منظور بهینه سازی قابلیت اطمینان سیستمی، طراح ناگزیر به ایجاد ساختار افزونگی البته با رعایت محدودیت های مختلف است.



شکل ۸. نحوه جانمایی و ایجاد ساختار افزونگی در سیستم تولید برق [۲]

اطمینان سیستم تولید انرژی در قالب خروجی و مقادیر ارائه شده توسط نرم افزار به قرار زیر است:

$$\text{MAX } R_S = 0.9979, \quad X = 2$$

بنابراین ساختار افزونگی با رویکرد بهینه سازی قابلیت اطمینان با ساختار موازی ساده پیشنهادی، دارای حداکثر دو سیستم موازی به عبارتی حداکثر یک جزء مازاد می تواند اختیار کند. با مقایسه نتایج و خروجی های مدل سازی در نرم افزار GAMS، مشاهده می شود که در نرم افزار GAMS جواب ها بهینه و دقیق تر بوده و مقدار قابلیت اطمینان بیشتر ارائه شده است؛ شایان ذکر است که با ایجاد این ساختار افزونگی مقدار قابلیت اطمینان تخمینی سیستم یاد شده، از ۰/۹۹۵ به ۰/۹۹۸ ارتقاء یافته است.

مدل سازی قابلیت اطمینان سیستم تولید برق با ساختار افزونگی در نرم افزار GAMS: به منظور حل

معادله مدل سازی قابلیت اطمینان کل سیستم تولید انرژی زیردریایی با ساختار افزونگی، با توجه به اینکه تابع هدف غیرخطی بوده و در محدودیت ها رابطه لگاریتمی وجود دارد؛ بنابراین برای حل و تعیین جواب بهینه نرم افزار GAMS با قابلیت یاد شده برای موضع انتخاب و ضمن برنامه نویسی تابع هدف و محدودیت های آن در نرم افزار یاد شده، خروجی ها و نتایج به شرح زیر (رابطه ۱۴) است. خلاصه حل مدل توسط نرم افزار GAMS در پیوست آورده شده است. نتایج مدل سازی تابع بهینه سازی ساختار افزونگی با رویکرد بهبود قابلیت

جدول ۴. احتمال وقوع خرابی قطعات الکترونیکی

ردیف	نام قطعه	حالت های مهم خرابی	درصد تقریبی احتمال رخداد	ردیف	نام قطعه	حالت های مهم خرابی	درصد تقریبی احتمال رخداد
۱	دیودها ژرمانیوم و سیلیکون	اتصال کوتاه مدار متناوب مدار باز	۷۵	۵	ترانسفورماتورها	تغییر جهت (چرخش های کوتاه) مدار باز شدن	۸۰
			۱۸				۵
			۶				
۲	سیم پیچ ها	فرسوده یا خراب شدن عایق باز شدن سیم پیچ	۷۵	۶	موتورها سرو و تاکومتر	خرابی یا تاقان ها خرابی سیم پیچ ها	۴۵
			۲۵				۴۰
۳	موتورها درایو و ژنراتور	خرابی سیم پیچ ها خرابی یا تاقان ها لغزش برآش ها و کمو تاتورها	۲۰	۷	سنکرون ها	خرابی سیم پیچ ها خرابی یا تاقان ها خرابی برآش ها و اسلیپ رینگ ها	۴۰
			۲۰				۳۰
			۵				۲۰
۴	رله ها	خرابی کنتاکت ها باز شدن سیم پیچ ها	۷۵	۸	لرزانده ها	خرابی اتصالات باز شدن سیم پیچ ها خستگی فنر	۸۰
			۵				۵
			۱۵				

ساق و هر ساق نیز دارای دو پایه است. در هر پایه یک دیود با پایه متناظر خود در پشت حیت سینک با ساختار سری وصل می شود و به همین صورت در دو ساق دیگر نیز دیودها بر روی حیت سینک نصب می شوند که هر سه ساق نیز به صورت ساختار سری با هم عمل می کنند. جهت مدل سازی به دلیل مشابهت دیودها و ساختار سری بین ساق ها، و همچنین به دلیل اینکه برای هر ساق دو دیود اجباراً نیاز می باشد یعنی در

مدل سازی قابلیت اطمینان مجموعه یکسو کننده با

ساختار افزونگی: اما در خصوص مجموعه یکسو کننده چنانچه قبلاً بیان شد، بهینه سازی قابلیت اطمینان از طریق ایجاد ساختار افزونگی در طراحی مدار یکسو کننده و چیدمان دیودها در ساق های دیودی و پایه های هر ساق، با توجه به محدودیت ها، به صورت زیر تعریف و مدل سازی شده است: ساختار اولیه پل دیودی چنانچه در قبل مطرح شد؛ شامل سه

تغییر و اصلاح طراحی مدار یکسوکننده بر اساس ساختار افزونگی پل دیودی: با توجه به نتایج کسب شده در مدل سازی بهینه سازی قابلیت اطمینان، به منظور بهبود و ارتقاء قابلیت اطمینان، تغییر در طراحی مدار مجموعه یکسو کننده به شرح زیر در دو مرحله صورت گرفته است.

تغییر در طراحی مدار یکسوکننده (ساق ها با پایه های دو دیودی): در این مرحله برای طراحی مجدد مجموعه یکسوکننده با تمرکز بر نحوه قرار گرفتن دیودها در مدار، پل دیودی به صورت ساق ها با پایه های دو دیودی در نظر گرفته شده است. (رویکرد کاهش علل خرابی ها متأثر از شدت جریان و فاکتورهای محیطی)، بلوک دیاگرام قابلیت اطمینان پل دیودی در حالت ساق ها با پایه های دو دیودی را نشان می دهد.

محاسبه قابلیت اطمینان یکسوکننده در حالت ساق ها با پایه های دو دیودی:

با توجه به بلوک دیاگرام ترسیم شده بالا و با استفاده از روابط سری موازی، روابط زیر به دست می آید:

$$R_Y = R_{zd1} R_{zd2} R_{zd3} R_{zd4} R_{zd5} R_{zd6} \quad (11)$$

$$R_{zd1} = 1 - (1 - R_{D1})(1 - R_{D2}) \quad (12)$$

و به همین ترتیب بقیه نیز به صورت موازی محاسبه می شود. با جایگذاری مقادیر محاسبه شده از استاندارد قابلیت اطمینان مجموعه دیودی یکسو کننده محاسبه می شود.

$$R_{zd1} = 1 - 1 - 0.9997 \quad 1 - 0.9997 = 0.99999991$$

بنابراین:

قابلیت اطمینان در سیستم پیشنهادی:

$$R_Y = 0.99999991^6 = 0.999999$$

و قابلیت اطمینان در حالت اولیه

$$R_{YA} = 0.99997^6 = 0.9982$$

نتایج محاسبات بر اساس تغییر در طراحی یکسوکننده به صورت خلاصه در جدول ۵، آمده است.

هر پایه یک دیود لزوماً قرار دارد، بنابراین برای ایجاد ساختار افزونگی در هر پایه تعدادی واحد (دیود) به صورت موازی قابل اضافه می باشد. لذا جهت یکی از پایه ها تابع هدف تعریف و مدل حل گردیده است. قابلیت اطمینان هر دیود (r_d) ، بر اساس مقادیر استخراج شده از استاندارد، برابر است با $r_d = 0.9997$ ، لذا این گونه است:

(۱۰)

$$\text{MAX } R_{P1} = \left[\left(1 - 1 - 0.9997^X \right) \left(1 - 1 - 0.9997^X \right) \right]$$

s.t

$$\begin{cases} \text{محدودیت فضا} & 3 * 70 * 2X < 1300 \text{ cm}^2 \\ \text{محدودیت هزینه / میلیون ریال} & 3 * 2X * 15 < 300 \\ \text{محدودیت وزن (kg)} & 2.750 * X < 50 \\ & X \geq 1 \end{cases}$$

مدل سازی قابلیت اطمینان مجموعه یکسو کننده با ساختار افزونگی در نرم افزار GAMS: به منظور حل معادله مدل سازی قابلیت اطمینان مجموعه یکسو کننده با رویکرد بهینه سازی قابلیت اطمینان و ایمنی به کمک تکنیک افزونگی اجزاء در ساختار سری موازی، ضمن برنامه نویسی تابع هدف و محدودیت های آن در نرم افزار GAMS، خروجی ها و نتایج آن در پیوست آورده شده است.

نتایج مدل سازی تابع بهینه سازی ساختار افزونگی با رویکرد بهبود قابلیت اطمینان پایه ۱ مجموعه یکسو کننده در قالب خروجی و مقادیر ارائه شده توسط نرم افزار به قرار زیر است:

نتایج مدل سازی تابع بهینه سازی ساختار افزونگی با رویکرد بهبود قابلیت اطمینان پایه ۱ مجموعه یکسو کننده در قالب خروجی و مقادیر ارائه شده توسط نرم افزار به قرار زیر است:

$$\text{MAX } R_{P1} = [(1 - (1 - 0.9997)^X)(1 - (1 - 0.9997)^X)]$$

$$\text{MAX } R_S = 0.99999999$$

$$X = 3$$

بنابراین ساختار افزونگی با رویکرد بهینه سازی قابلیت اطمینان با ساختار موازی ساده پیشنهادی، دارای حداکثر سه دیود در هر پایه به صورت موازی، به عبارتی حداکثر دو جزء مازاد می تواند اختیار کند. بنابراین در گام بعد، تغییر طراحی بر همین مبنا انجام گرفته که در ادامه محاسبات و تحلیل های مربوطه آورده شده است.

جدول ۵. تخمین قابلیت اطمینان سیستم تولید برق و یکسوکننده (در حالت ساق ها با پایه های دو دیودی موازی)

نام قطعه	نرخ خرابی	قابلیت اطمینان در ۱۰۰ ساعت	قابلیت اطمینان در ۱۶ ساعت	قابلیت اطمینان در ۱۲ ساعت	قابلیت اطمینان در ۸ ساعت
دیود	۰۶-۰۵۹۲E	۰/۹۹۹۷۴۰۸۳۴	۰/۹۹۹۵۵۸۵۲۹	۰/۹۹۹۹۶۸۸۹۶	۰/۹۹۹۹۷۹۲۶۴
یکسو کننده	۰۷-۱E	۰/۹۹۹۹۹۹۹۳۳	۰/۹۹۹۹۹۹۹۸	۰/۹۹۹۹۹۹۹۹	۱
دیزل	۰/۰۰۱	۰/۹۰۴۸۳۷۴۱۸	۰/۹۸۴۱۲۷۳۲	۰/۹۸۸۰۷۱۷۱۳	۰/۹۹۲۰۳۱۹۱۵
ژنراتور	۰/۰۰۱	۰/۹۰۴۸۳۷۴۱۸	۰/۹۸۴۱۲۷۳۲	۰/۹۸۸۰۷۱۷۱۳	۰/۹۹۲۰۳۱۹۱۵
کوپل	۰/۰۰۱	۰/۹۰۴۸۳۷۴۱۸	۰/۹۸۴۱۲۷۳۲	۰/۹۸۸۰۷۱۷۱۳	۰/۹۹۲۰۳۱۹۱۵
قابلیت اطمینان سیستم		۰/۷۴۰۸۱۸۲	۰/۹۵۳۱۳۴	۰/۹۶۴۴۰۳	۰/۹۷۶۲۸۵۷

از دو روش انتخاب می شود و در برخی موارد نیز به طور همزمان از دو روش می توان استفاده کرد. پیش بینی قابلیت اطمینان یک روش تحلیل کمی برای پیش بینی اولیه و پایه ای قابلیت اطمینان و نرخ خرابی سیستم بوده و این تحلیل نقطه شروع تحلیل های قابلیت اطمینان سیستم است.

۵. بحث

در روش طراحی سیستمی بر اساس قابلیت اطمینان، با تعریف درخت محصول و مشخص کردن زیرسیستم ها و ماژول های تشکیل دهنده سیستم و با تخمین نرخ های خرابی هر ماژول یا جزء، پارامترهای اساسی قابلیت اطمینان ارزیابی و قابلیت اطمینان اولیه تخمین زده می شود. سپس با استفاده از تحلیل تأثیر حالت خرابی و تحلیل درخت خطا با شناسایی نقاط ضعف طراحی و اصلاح و برطرف نمودن آن ها، طراحی به طور تقریبی بهبود می یابد. در مرحله بعد با مدل سازی قابلیت اطمینان به روش بلوک دیاگرام قابلیت اطمینان، ارزیابی و تحلیل قابلیت اطمینان اجزاء، انجام و با استفاده از روش های جایگزینی یا تکنیک افزودنی اقدام به بهبود طراحی سیستمی می شود. برای بهبود قابلیت اطمینان طراحی سیستمی دو روش اصلی، یکی بهبود قابلیت اطمینان اجزاء و دیگری ایجاد ساختار افزودنی مجاز، وجود دارد که با توجه به شرایط طراحی و الزامات عملکردی و محدودیت های مختلف یکی

۶. نتیجه گیری

در تحقیق حاضر ضمن تشریح و ترسیم بلوک دیاگرام عملکردی (درخت محصول) در ابتدا تخصیص قابلیت اطمینان به اجزاء به روش صورت گرفته و به کمک مدل سازی قابلیت اطمینان سیستم به روش RBD، قابلیت اطمینان اولیه سیستم تولید انرژی زیردریایی برآورد شد و ضمن مقایسه مقادیر نرخ خرابی اجزاء با مقادیر هدف، مشخص شد که جزء کوپل کاهنده اصلی قابلیت اطمینان سیستم بوده و با استفاده از روش جایگزینی جزء با قابلیت اطمینان بیشتر و نرخ خرابی کمتر، میزان قابلیت اطمینان سیستمی به میزان قابل توجهی، در بازه های زمانی مختلف مطابق جدول شماره ۶، افزایش یافت.

جدول ۶. مقایسه قابلیت اطمینان سیستم تولید برق زیردریایی در دو حالت اولیه و حالت جایگزینی کوپل جدید

توضیحات	قابلیت اطمینان در ۸ ساعت	قابلیت اطمینان در ۱۲ ساعت	قابلیت اطمینان در ۱۶ ساعت	قابلیت اطمینان در ۱۰۰ ساعت	بازه زمانی / قابلیت اطمینان
در حالت اولیه	۰/۹۵۵۲۸	۰/۹۳۳۶۷۱	۰/۹۱۲۵۵۴	۰/۵۶۴۴۳۸	قابلیت اطمینان سیستم
در حالت جایگزینی کوپل جدید	۰/۹۷۶۱۶۴	۰/۹۶۴۴۴۶	۰/۹۵۲۸۹۷	۰/۷۳۹۶۶۷	قابلیت اطمینان سیستم

سیستمی، معادل یک واحد افزون شده، تعیین و میزان قابلیت اطمینان نیز ۰/۹۹۹۸ تخمین زده شده است. همچنین در تغییر طراحی یکسو کننده، با استفاده از مدل سازی بهینه سازی قابلیت اطمینان و به کمک حل نرم افزاری، اقدام به تعیین

در گام دوم با ایجاد ساختار افزودنی فعال با ساختار موازی در کل سیستم تولید برق زیردریایی با استفاده از مدل سازی قابلیت اطمینان با رویکرد بهبود، ضمن تعریف تابع هدف و محدودیت های مدل، به کمک حل نرم افزاری تعداد افزودنی

پیچیده و حساس که نیاز به قابلیت اطمینان بالا دارند، پیشنهاد می شود طراحی سیستمی محصول از ابتدا براساس قابلیت اطمینان انجام گیرد. به منظور بهبود قابلیت اطمینان طراحی محصولات که بخشی از اجزاء آن به صورت انتخاب تجهیز یا مجموعه ای صورت می گیرد، مناسب ترین روش، ایجاد ساختار افزونگی با رعایت الزامات و محدودیت ها است. در این تحقیق استراتژی افزونگی فقط براساس اضافه کردن اجزای اکتیو بود، در تحقیقات بعدی می توان از استراتژی اجزاء مازاد یا حتی مختلط استفاده و نتیجه را در بهبود قابلیت اطمینان ارزیابی و مقایسه کرد. در این تحقیق با توجه به انجام FMEA، به اولویت بندی محل های بهبود قابلیت اطمینان اقدام شد. درحالی که می توان در تحقیقات بعدی از الگوریتم حداقل تلاش برای این که چه جزئی و چقدر بهبود داده شود به طور دقیق تر استفاده کرد. در این تحقیق از ابتدا از روش فو، برای تخصیص قابلیت اطمینان، کمک گرفته شد. لیکن می توان از الگوریتم دیگری مانند تسهیم، برای تعیین تکلیف اجزاء مهم بر اساس قابلیت اطمینان هدف، استفاده کرد.

حدود افزونگی معادل حداکثر ۳ دیود در هر پایه هر ساق شده است و میزان قابلیت اطمینان نیز برابر عدد ۱، تخمین و برآورد شده است. همچنین با رویکرد بهبود ایمنی، تغییر در طراحی پانل خنک سازی یکسوکننده با بهبود مدار ورود خروج آب و افزایش دبی به منظور خنک سازی بهتر، صورت گرفته است. بر اساس هدف اصلی تحقیق مبنی بر ارائه روشی برای تخمین و بهبود قابلیت اطمینان طراحی سیستم تولید برق زیردریایی، یک الگوریتم که به ترتیب شامل تعریف درخت محصول، پیش بینی اولیه قابلیت اطمینان، تحلیل تأثیر حالت خرابی و تحلیل درخت خطای سیستم، برای بهبود تقریبی طراحی و در مرحله نهایی بکارگیری تکنیک مدل سازی به روش بلوک دیاگرام قابلیت اطمینان، برای بهبود قابلیت اطمینان سیستم است، ارائه شده است.

با توجه به روش ارائه شده در تحقیق حاضر و به منظور تخمین و پیش بینی اولیه قابلیت اطمینان سیستم، تعریف دقیق درخت محصول سیستم و ماژول های آن و تعیین یا تخمین نرخ خرابی / شکست آن ها، مهمترین و اساسی ترین مراحل است. زیرا تمامی تحلیل ها و محاسبات بعدی بر پایه این اقدام انجام می شود. بنابراین پیشنهاد می شود، این مراحل با دقت نظر و تأمل کافی انجام گیرد. درخصوص طراحی محصولات

۷. پیوست ها

GAMS Rev 236 WEX-VS8 23.6.2 x86/MS Windows
General Algebraic Modeling System
Compilation

08/20/15 20:05:56 Page 1

```

1 ***** in the name of GOD*****
2 *****behinegi az tarighe afzonegi*****
3 option optcr=0;
4 option optca=0;
5
6 sets
7 i teade zir system /1*4/ ;
8
9 *-----parameters-----
10 parameters
11 c(i) hazineye zer system i
12 /1      22
13 2      0.5
14 3      6
15 4      1
16 /
17 w(i) vazne zir systemi /
18 1      3
19 2      0.09

```



```

20 3 1.5
21 4 0.1
22 /
23 R(i) ghabeliyate etminane zir systeme i /
24 1 .9
25 2 .7
26 3 .8
27 4 .8
28 /
29 cMax hazineye maximo m/63/
30 wMax vazne maximo m/10/
31 K masahate kafe yek vahed system/3.49/
32 n tedade dor /1500/
33 cc hazineye kole system
34 ww majmooe vazn ha
35 f
36 a
37 Ra /0.995/
38 ;
39 f=n/60;
40 a=129-17*log(f);
41 cc=sum(i,c(i));
42 ww=sum(i,w(i));
43
44
45 *****variables*****
46 variables
47 Rs ghabeliyate etminane system
48 x tedade zir system ha
49 ;
50 integer variable
51 x
52 ;
53
54 *****name of equations*****
55 equations
56 obj tabee hadaf
57 e1 mahdodiate hazine
58 e2 mahdodiate vazn
59 e3 mahdodiate faza
60 e4 mahdodiate noise
61 e5 mahdodiate tedade zir system
62
63 ;
64
65 *****equations(constraints)**
66 obj..Rs=e-1-rpower((1-Ra),x);
67 e1..cc*x=l=cMax;
68 e2..ww*x=l=wMax;
69 e3..(1.86+k)*x=l=12;
70 e4..a+20*log(x)=l=115;
71 e5..x=g=1;
72
73 *****
74
75
76
77 model one /all/ ;
78 x.lo=1;
79 *****important*****

```

```

80 option minlp=BONMIN;
81 solve one using minlp maximizing Rs ;
82
83 display x,L,Rs,l;
COMPILATION TIME = 0.000 SECONDS 3 Mb WIN236-236 Dec 8, 2010
GAMS Rev 236 WEX-VS8 23.6.2 x86/MS Windows 08/20/15 20:05:56 Page 2
General Algebraic Modeling System
Equation Listing SOLVE one Using MINLP From line 81
---- obj =E= tabee hadaf
obj.. Rs - (0.0264915868327402)*x =E= 1 ; (LHS = 0.005, INFES = 0.995 *****)
---- e1 =L= mahdodiate hazine
e1.. 29.5*x =L= 63 ; (LHS = 29.5)
---- e2 =L= mahdodiate vazn
e2.. 4.69*x =L= 10 ; (LHS = 4.69)
---- e3 =L= mahdodiate faza
e3.. 5.35*x =L= 12 ; (LHS = 5.35)
---- e4 =L= mahdodiate noise
e4.. (20)*x =L= 40.7208890227594 ; (LHS = 0)
---- e5 =G= mahdodiate tedade zir system
e5.. x =G= 1 ; (LHS = 1)
GAMS Rev 236 WEX-VS8 23.6.2 x86/MS Windows 08/20/15 20:05:56 Page 3
General Algebraic Modeling System
Column Listing SOLVE one Using MINLP From line 81
---- Rs ghabeliyate etminane system
Rs (LO, .L, .UP, .M = -INF, 0, +INF, 0)
1 obj
---- x tedade zir systemha
x (LO, .L, .UP, .M = 1, 1, +INF, 0)
(-0.0265) obj
29.5 e1
4.69 e2
5.35 e3
(20) e4
1 e5
0 (OLD LEVEL *****)
**** 1 Integer +INF Bounds have been reset to 100
GAMS Rev 236 WEX-VS8 23.6.2 x86/MS Windows 08/20/15 20:05:56 Page 4
General Algebraic Modeling System
Model Statistics SOLVE one Using MINLP From line 81
MODEL STATISTICS
BLOCKS OF EQUATIONS 6 SINGLE EQUATIONS 6
BLOCKS OF VARIABLES 2 SINGLE VARIABLES 2 1 projected
NON ZERO ELEMENTS 7 NON LINEAR N-Z 2
DERIVATIVE POOL 6 CONSTANT POOL 18
CODE LENGTH 10 DISCRETE VARIABLES 1
GENERATION TIME = 0.031 SECONDS 4 Mb WIN236-236 Dec 8, 2010
EXECUTION TIME = 0.031 SECONDS 4 Mb WIN236-236 Dec 8, 2010
GAMS Rev 236 WEX-VS8 23.6.2 x86/MS Windows 08/20/15 20:05:56 Page 5
General Algebraic Modeling System
Solution Report SOLVE one Using MINLP From line 81
S O L V E S U M M A R Y
MODEL one OBJECTIVE Rs
TYPE MINLP DIRECTION MAXIMIZE
SOLVER BONMIN FROM LINE 81
**** SOLVER STATUS 1 Normal Completion
**** MODEL STATUS 8 Integer Solution
**** OBJECTIVE VALUE 1.0000
RESOURCE USAGE, LIMIT 0.297 1000.000
ITERATION COUNT, LIMIT 0 2000000000

```

```

EVALUATION ERRORS          0      0
COIN-OR Bonmin Dec 13, 2010 23.6.2 WIN 21703.21775 VS8 x86/MS Windows
NLP0012I
NLP0014I  1  OPT  -0.99999  12  0.113
NLP0012I
NLP0014I  1  OPT  -0.99997  15  0.045
NLP0014I  2  OPT  -0.99997  0  0
NLP0012I
NLP0014I  1  OPT  -0.99997  0  0
Cbc0012I Integer solution of -0.999975 found by DiveMIPFractional after 0 iterations and 0 nodes (0.05 seconds)
NLP0014I  2  OPT  -0.99997  15  0.044
NLP0014I  3  INFEAS  -1  13  0.061
Cbc0001I Search completed - best objective -0.999975, took 0 iterations and 0 nodes (0.16 seconds)
Cbc0032I Strong branching done 1 times (28 iterations), fathomed 1 nodes and fixed 0 variables
Cbc0035I Maximum depth 0, 0 variables fixed on reduced cost
NLP0012I
NLP0014I  1  OPT  -0.99997  0  0
MINLP solution:      0.999975 (0 nodes, 0.297 seconds)
Best possible:      0.999975
Absolute gap:      0
      LOWER  LEVEL  UPPER  MARGINAL
---- EQU obj      1.000  1.000  1.000  1.000
---- EQU e1      -INF  59.000  63.000  EPS
---- EQU e2      -INF  9.380  10.000  EPS
---- EQU e3      -INF  10.700  12.000  EPS
---- EQU e4      -INF  13.863  40.721  EPS
---- EQU e5      1.000  2.000  +INF  EPS
obj tabee hadaf
e1 mahdodiate hazine
e2 mahdodiate vazn
e3 mahdodiate faza
e4 mahdodiate noise
e5 mahdodiate tedade zir system
      LOWER  LEVEL  UPPER  MARGINAL
---- VAR Rs      -INF  1.000  +INF  .
---- VAR x      1.000  2.000  +INF  EPS
Rs ghabeliyate etminane system
x tedade zir systemha
**** REPORT SUMMARY :  0  NONOPT
      0 INFEASIBLE
      0 UNBOUNDED
      0 ERRORS
GAMS Rev 236 WEX-VS8 23.6.2 x86/MS Windows 08/20/15 20:05:56 Page 6
General Algebraic Modeling System
Execution
---- 83 VARIABLE xL = 2.000 tedade zir systemha
      VARIABLE Rs.L = 0.999975 ghabeliyate etminane system
EXECUTION TIME = 0.000 SECONDS 3 Mb WIN236-236 Dec 8, 2010
USER: Gary Goldstein G010614:2121CA-WIN
      Decision Ware, Inc. DC2807
**** FILE SUMMARY
Input D:\coding\1\one.gms
Output C:\Users\irana\Documents\gamsdir\projdir\one.lst
GAMS Rev 236 WEX-VS8 23.6.2 x86/MS Windows 08/20/15 20:05:56 Page 1
General Algebraic Modeling System

```

مراجع

اولین همایش ملی الکترونیکی پیشرفت‌های
تکنولوژی در مهندسی برق، الکترونیک و کامپیوتر؛
۱۳۹۳؛ تهران.

[۸] فکور مهدی، مؤتمن نگار. الگوریتم طراحی سیستمی
سامانه‌های ویژه مأموریت با رویکرد قابلیت اطمینان.
مجله مهندسی مکانیک مدرس. ۱۳۹۳؛ ۱۴(۱۳):۷-
۱۸.

[9] Meziane R, Massim Y, Zeblah A, Ghoraf A, Rahli R. Reliability optimization using ant colony algorithm under performance and cost constraints. Electric power systems research. 2005 Sep 1; 76(1-3):1-8.

[10] Bertolini M, Bevilacqua M. A combined goal programming—AHP approach to maintenance selection problem. Reliability Engineering & System Safety. 2006 Jul 1;91(7):839-48.

[11] Sharipov AM, Simonov BF, Titova LI, Kush AV. Some ways of increasing efficiency and reliability of excitation systems of large synchronous machines. Russian Electrical Engineering. 2009 Jul 1;80(7):359-64.

[12] Barends DM, Oldenhof MT, Vredendregt MJ, Nauta MJ. Risk analysis of analytical validations by probabilistic modification of FMEA. Journal of pharmaceutical and biomedical analysis. 2012 May 1;64:82-6.

[13] Knight RT. Developing a reliability, availability and maintainability process. In 2013 Proceedings Annual Reliability and Maintainability Symposium (RAMS); 2013 Jan 28; Orlando, Florida, USA

[14] Kumaran PT. The Progressive Trends in Design, Reliability and Maintainability Aspects of Naval Defense Equipments. International Journal of Engineering Research & Technology. 2014 October; 3(10).

[۱] فاضل صادق. مهندسی قابلیت اعتماد، روش‌های
پیشگویی تئوری و عملی. تهران: انتشارات دانش
نگار؛ ۱۳۹۳.

[۲] مونسان محمد. آشنایی با زیردریایی‌های نظامی. تهران:
دانشگاه امام حسین؛ ۱۳۸۳.

[۳] موحدی یزدان، دولتخواه مهدی، کرباسیان مهدی،
راستی وحید. طراحی و توسعه الگویی جهت
تخصیص و تخمین قابلیت اطمینان سیستم‌های
پیچیده به روش شبکه‌های بیزین (مطالعه موردی:
شاتر یک دوربین High-Tech). فصلنامه بین‌المللی
مهندسی صنایع و مدیریت تولید. ۱۳۹۲؛ ۲۴(۴):۴۳۸-
۴۴۸.

[۴] جلیل زاده الشن، مسلمی نیکی، جلالی داود، اخوان
رضایی الهام. ارائه الگوریتم نوین محاسبه قابلیت
اطمینان با مدل‌سازی نقاط مانور و عملکرد تجهیزات
حفاظتی در شبکه‌های توزیع. هفدهمین کنفرانس
سراسری شبکه‌های توزیع نیروی برق مهندسين برق و
الکترونیک ایران؛ ۱۳۹۱؛ تهران.

[۵] خضرپور سیدسعید، امی فتح اله، پیرایش علیرضا، اله
بخش رامین. ارایه الگوی انتخاب موتور توربوشفت
مناسب ناوگان بالگردی کشور از منظر قابلیت
اطمینان و تعمیر و نگهداری. اولین کنفرانس انجمن
پیشرانس هوافضایی ایران؛ ۱۳۹۱؛ اصفهان.

[۶] گودرزی املشی علی، آقابابایی مجید، توکلی
عبدالرضا، ظهیرنیا علیرضا. قابلیت اطمینان و
دسترس پذیری انواع سیستم‌های رانش الکتریکی.
دومین کنفرانس ملی ایده‌های نو در مهندسی برق؛
۱۳۹۲؛ اصفهان.

[۷] گودرزی املشی علی، مرادپور رضا، مزیدی شرف
آبادی شهاب‌الدین. تعیین ظرفیت بهینه ذخیره ساز
انرژی به منظور افزایش قابلیت اطمینان ریز شبکه‌ها.

پی‌نوشت

1. FTA
2. SIXSIGMA
3. SolidWorks
4. ANSYS
5. Microsoft Bayesian Network Editor
6. FOO