

# ارائه مدلی برای تخمین قابلیت اطمینان در یک سیستم پیچیده مرحله محور زیر دریایی با استفاده از بلوک دیاگرام کارکردی پیشرفته

مهدی کرباسیان

(نویسنده مسئول) دانشیار، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، دانشکده مهندسی صنایع، شاهین شهر<sup>۱</sup>

ام‌البنین یوسفی

استادیار، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، دانشکده مهندسی صنایع، شاهین شهر، yousefi\_۱۳۰۲@yahoo.com

فاطمه رشیدیان

کارشناسی ارشد مهندسی صنایع، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، دانشکده مهندسی صنایع، f\_rashidian<sup>۸۹</sup>@yahoo.com

**چکیده** استفاده از بلوک دیاگرام کارکردی معمولاً یکی از روش‌های مرسوم در تخمین قابلیت اطمینان محصولات می باشد. در بسیاری از سیستم‌های پیچیده که ماموریت محور هستند این روش جوابگو نیست و جوابی کاملاً غلط تولید می کند. زیرا در هر مرحله از هر ماموریت بخش‌ها و زیر سیستم‌های مختلفی و با مدت زمان‌های مختلف کار کرده و سپس متوقف می گردند و این مراحل به صورت‌های مختلف باز هم تکرار می گردد. این مشکل و پیچیدگی در کارکرد سیستم، دقیقاً در مساله این تحقیق که یک زیر دریایی ماموریت محور برای نجات می باشد مصداق می کند.

به این منظور در این مقاله روشی برای محاسبه قابلیت اطمینان این زیر دریایی که دارای چهار زیرسیستم ۹ مرحله‌ای است، طراحی و ارائه گردیده است. ابتدا کارکردهای هر مرحله به تفکیک زیرسیستم‌ها (برق، فرعی، رادیوالکترونیک و رانش) طی جلساتی با خبرگان استخراج شده، سپس بلوک دیاگرام کارکردی برای هر مرحله رسم گردیده است. در ادامه حالات بالقوه شکست برای هر کارکرد در قالب ابزار تحلیل حالات و اثرات خرابی مشخص شده است. همچنین به منظور تحلیل ریسک، از ماتریس شدت-احتمال وقوع و میانگین عدد اولویت ریسک استفاده و پیشنهادات خوبی برای بهبود طراحی ارائه گردیده است. در ادامه با محاسبه‌ی نرخ خرابی هر مرحله توسط فرمول کیم، به محاسبه‌ی قابلیت اطمینان هر مرحله از هر زیرسیستم اقدام گردید. سپس قابلیت اطمینان کل هر زیرسیستم محاسبه گردید. در نهایت به منظور محاسبه قابلیت اطمینان کل زیردریایی، ابتدا قابلیت اطمینان کل هر مرحله را با ضرب مقادیر قابلیت اطمینان هر چهار زیرسیستم در هر مرحله بدست آورده، در نهایت به دلیل متوالی بودن مراحل، مقادیر حاصل در هم ضرب می گردند. طبق محاسبات به عمل آمده مقدار قابلیت اطمینان کل زیردریایی در مرحله طراحی ۰/۶ است که این مقدار از نظر خبرگان صنعت مقدار قابل قبولی است.

**کلمات کلیدی** سیستم‌های حیاتی ماموریت محور، قابلیت اطمینان، بلوک دیاگرام کارکردی، تحلیل حالات و اثرات خرابی، نرخ خرابی

\* (Corresponding author) mkarbasi@mut-es.ac.ir



شکل ۱ یک نمونه زیر دریایی نجات دهنده

## ۱- مقدمه

## ۱-۱- بیان مساله

متنوعی را در مراحل مختلف با زمان‌های مختلف و آن هم احتمالی انجام می‌دهد. بنابراین این تحقیق در پی ارائه حلی برای این چالش در یک سامانه حیاتی ماموریت محور دریایی می‌باشد شکل (۱).

## ۱-۲- مبانی نظری

## ○ قابلیت اطمینان

قابلیت اطمینان میزان قابلیت و توانایی انجام کار بدون خطا و شکست محصول یا تجهیزات است و ارزیابی این قابلیت، ما را قادر به شناسایی علل شکست و اقدام جهت پیشگیری و کنترل علل می‌کند (کارالوا و همکاران، ۲۰۱۲) <sup>۳</sup>

فرض کنید  $T$  متغیر تصادفی نامنفی پیوسته‌ای است که عمر مفید (طول عمر، یا زمان پیش از خرابی) یک موجود را نشان می‌دهد. تابع قابلیت اطمینان که آن را با  $R(t)$  نمایش می‌دهیم، عبارتست از احتمال این پیشامد که موجود مورد نظر بیش از زمان  $t$  عمر کند و به صورت زیر نمایش داده می‌شود (ورما، آجیت، کارانکی، ۲۰۱۰) <sup>۴</sup>.

(رابطه ۱)

$$R(T) = p(T \geq t) = 1 - F(t) = \int_t^{\infty} f(x) dx$$

شاخص‌های مختلف ارزیابی قابلیت اطمینان را می‌توان عملاً توسط توزیع‌های آماری استخراج کرد. هر مهندس می‌تواند داده-

امروزه استفاده از سیستم‌های حیاتی ماموریت محور از اهمیت بالایی مخصوصاً در بحث‌های ایمنی و نجات برخوردار است. به عنوان مثال در صنایع آتش‌نشانی، ماشین‌های اطفای حریق یک نوع ماشین حیاتی ماموریت محور محسوب می‌شوند، در صنایع خودرو سازی شاهد ساخت کیسه‌های هوا در خودروها هستیم، در طراحی بسیاری از سیستم‌های آماده به کار هم از سیستم‌های حیاتی ماموریت محور الگو برداری می‌شود. در صنایع نظامی مانند تولید مهمات (گلوله، موشک، شناور و...) هم بهره‌گیری از سیستم‌های حیاتی ماموریت محور به یک امر حیاتی تبدیل گشته است (بیرام و همکاران، ۲۰۱۳) <sup>۱</sup>. همان طور که از نام یک سیستم حیاتی ماموریت محور مشخص است، این سیستم‌ها بیشتر عمر خود را در انبار به صورت آماده به کار می‌گذرانند، از طرفی دیگر اکثر این سیستم‌ها جنبه‌ی کمک‌رسانی را دارند و بعد از انجام ماموریت تقریباً بلااستفاده می‌شوند یا برای استفاده‌ی مجدد از آن هزینه‌ی سنگینی پرداخت خواهد شد. از طرفی دیگر در طی عمر خود در انبار، دچار افت قابلیت اطمینان می‌گردند. از این رو اطمینان از سالم بودن اجزا و یا به عبارت دیگر بالا بودن ضریب قابلیت اطمینان اجزای حیاتی آن از اهمیت بالایی برخوردار است (کیتاگاو و همکاران، ۲۰۱۵) <sup>۲</sup>. اما چالشی اساسی که در این نوع سامانه‌ها وجود دارد این است که نمی‌توان مستقیماً با رسم بلوک دیاگرام اجزای فیزیکی قابلیت اطمینان سامانه‌ها را تخمین زد. در این سیستم‌ها هر بخش عملیات

<sup>۳</sup>. Karaulova. et. all<sup>۴</sup>. Verma. et. all<sup>۱</sup>. Bierbaum and A. A. Robertson. et. all<sup>۲</sup>. Kitagawa. et. all

های نمایی، نرمال، گاما، وایبال و گامبال و مهمترین توزیع‌های ناپیوسته شامل دو جمله‌ای و پواسون می‌باشد.

های مربوط به عملکرد تجهیزات و یا قطعات را جمع‌آوری و به صورت نمودارهای مختلف خلاصه کند.

### ○ توزیع نمایی<sup>۳</sup>

توزیع نمایی متداول‌ترین توزیع فراوانی است که در ارزیابی قابلیت اطمینان سیستم‌ها به کار می‌رود. وضعیتی از یک موجود را در نظر بگیرد که تحت شرایط کارکرد در معرض شوک‌هایی قرار می‌گیرد که در طول زمان وقوع آنها دارای توزیع پواسون و با نرخ ثابت باشد و هر شوک می‌تواند موجود را از کار بیانندازد. این شوک‌ها کاملاً تصادفی بوده و بنابراین دارای توزیع یکنواخت هستند. در این حالت فاصله بین شوکها (طول عمر موجود  $t$ ) دارای توزیع نمایی می‌باشد (کرباسیان و همکاران، ۱۳۸۸).

### ○ پیشگویی نرخ خرابی قطعات

پیشگویی دقیق قابلیت اطمینان یک سیستم تنها زمانی امکان پذیر است که نرخ خرابی قطعات یا واحدهای پایه آن سیستم مشخص باشند. پس از پیشگویی نرخ خرابی قطعات یا واحد های پایه، می‌توان قابلیت اطمینان آنها را به کمک روابط و توابع مربوطه پیشگویی کرد. روش‌های مختلفی جهت پیشگویی نرخ خرابی قطعات وجود دارد که مهم‌ترین آن‌ها عبارتند از: ۱. روش آمار خرابی در شرایط عملکردی واقعی<sup>۴</sup> یا تست‌های میدانی، ۲. روش تست عمر شتاب دار<sup>۵</sup>، ۳. روش استفاده از استانداردها یا اسناد مرجع، ۴. روش استفاده از کاتالوگ و بروشور، ۵. روش استفاده از حدس مهندسی<sup>۶</sup> (استفاده از نظر خبره)، ۶. روش کیم<sup>۷</sup>.

### ○ مدل سازی قابلیت اطمینان

### ○ قابلیت اطمینان سیستم‌های آماده به کار<sup>۱</sup>

گاهی اوقات به منظور افزایش قابلیت اطمینان و کاهش ریسک از کار افتادگی یک تجهیز، تجهیز دیگری، مشابه همان تجهیز، به نام تجهیز پشتیبان<sup>۲</sup> به صورت آماده به کار (Stand by) در نظر گرفته می‌شود که به محض از کار افتادگی تجهیز قبلی، جایگزین آن می‌گردد.

بنابراین به منظور محاسبه قابلیت اطمینان این تجهیز به همراه تجهیز (تجهیزات) پشتیبان آن، می‌بایست از رابطه ۲ استفاده نمود.

۱: شماره تجهیز فعلی ۴

۲: شماره تجهیز پشتیبان

(رابطه ۲)

$$R(t) = \left( \frac{\lambda_1}{\lambda_1 - \lambda_2} e^{-\lambda_1 t} \right) + \left( \frac{\lambda_2}{\lambda_2 - \lambda_1} e^{-\lambda_2 t} \right)$$

هرگاه تعداد تجهیزات پشتیبان بیش از یک عدد باشد، قابلیت اطمینان از رابطه ۳ به دست می‌آید.

$n$  = تعداد تجهیزات پشتیبان

$i$  = شماره تجهیز فعلی

$j$  = شماره تجهیز پشتیبان

$$R(t) = \sum_{i=1}^n e^{-\lambda_i t} \prod_{j=1}^n \frac{\lambda_j}{\lambda_j - \lambda_i} \quad (\text{رابطه ۳})$$

انواع توزیع‌های آماری در دو بخش گسسته و پیوسته تقسیم‌بندی می‌شود. توزیع‌های پیوسته مهم در قابلیت اطمینان شامل توزیع-

۳. Exponentially Distribution

۴. Operation Field Data

۵. Accelerated Life Test

۶. Engineering Judgment

۷. Kyungmee O. Kim

۱. Stand by Systems

۲. Back up Equipment

موحدی و دولتخواه در مقاله‌ای تحت عنوان محاسبه قابلیت اطمینان شاتر دوربین با استفاده از شبکه‌های بیزین، به معرفی شبکه‌های بیزین پرداخته و ضرورت استفاده از آن‌ها در محاسبه قابلیت اطمینان را بیان نموده‌اند. سپس درخت تجزیه و تحلیل خطای شاتر دوربین را بررسی و به رسم شبکه بیزین آن پرداخته‌اند و با استفاده از نرم افزار MSBNX قابلیت اطمینان کل سیستم را محاسبه نموده‌اند (موحدی و دولتخواه، ۱۳۹۱).

پویان در مقاله‌ای تحت عنوان تعیین قابلیت اطمینان و محاسبه عدد اطمینان زیرسیستم های پر ریسک سازمان صنایع دریایی، پروژه آنالیز حالات بالقوه خرابی و آثار آن در سیستم زیردریایی در مرحله طراحی مفهومی (SFMEA) را انجام داده است. در اجرای این پروژه سعی گردیده با انجام مصاحبه های متعدد با کارشناسان و خبرگان نسبت به جمع آوری اطلاعات اقدام گردد. در این پروژه آنالیز حالات بالقوه خرابی و آثار آن در سیستم زیردریایی با رویکرد تعیین RPN سیستم های گوناگون این تجهیز پیچیده و استفاده از این شاخص در طراحی قابلیت اطمینان استفاده شده است (پویان، ۱۳۹۱).

گودرزی املشی و همکاران در مقاله‌ای تحت 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 و سپس دسترس پذیری و قابلیت اطمینان رانش‌ها مقایسه و بهترین رانش را جهت شناورهای نظامی معرفی نموده‌اند (گودرزی املشی و همکاران، ۱۳۹۲).

فکور و مؤتمن در مقاله‌ای تحت عنوان ارائه الگوریتم کارآمد در طراحی سیستمی سامانه‌های ویژه مأموریت بارویکرد قابلیت اطمینان، یک الگوریتم کارآمد در طراحی سیستمی سامانه‌های ویژه مأموریت را با رویکرد قابلیت اطمینان ارائه داده که به توضیح

برای مدل سازی و تحلیل قابلیت اطمینان چندین روش مورد استفاده قرار می‌گیرد و سه نمونه از پرکاربردترین این روش‌ها، روش بلوک دیاگرام کارکردی (FBD)، روش آنالیز درخت خطا (FTA) و مدل مارکوف<sup>۱</sup> می‌باشند (گوبل، ۱۹۹۸).

### ۳-۱- پیشینه پژوهش

فاضل و همکاران در مقاله‌ای تحت عنوان مدل‌سازی و ارزیابی قابلیت اطمینان سامانه پیشرانس یک نوع پرتابه خاص به روش FTA، به موضوع قابلیت اطمینان سیستم مذکور پرداخته‌اند و با رسم بلوک دیاگرام فیزیکی آن، نرخ خرابی قطعات را به روش FTA بدست آورده‌اند و در پایان پیشنهاداتی جهت بهینه‌سازی قطعات داده‌اند (فاضل و همکاران، ۱۳۸۴).

عبداللهی در مقاله‌ای تحت عنوان بررسی و استخراج مدلی مناسب جهت تخمین قابلیت اطمینان سیستم فرامین یک شناور که در فاز طراحی تفضیلی است، ابتدا نمودارهای عملکردی سیستم فرامین و سپس نمودار عملکردی اجزاء مختلف را ترسیم کرده است. بعد از ترسیم نمودار عملکردی اجزاء، نمودار درخت خرابی (FTA) ترسیم گردیده است. برای محاسبه قابلیت اطمینان بعد از رسم نمودار درخت خرابی، میزان قابلیت اطمینان هر قطعه بوسیله نرم افزار انسیس و میکرو محاسبه و با استفاده از نمودار درخت خرابی میزان قابلیت اطمینان سیستم محاسبه و سپس با استفاده از پارامتر اندازه گیری شده در نرم افزار سطح سیگما، قطعاتی که میزان استحکام آنها بیش از حد استاندارد است و همچنین قطعاتی را که عدد قابلیت اطمینان آنها پایین تر از حد استاندارد بوده است مشخص کرده است. برای شبیه سازی قطعات در محیط انسیس می‌بایست نیروی اعمالی و شرایط کارکرد هر قطعه مشخص گردد (عبداللهی، ۱۳۸۹).

۲. Marcove Model

نتایج را با شبیه سازی مونت کارلو مقایسه و اعتبارسنجی نمودند. نتیجه ای که آنها گرفتند این است که وقتی داده ها اطلاعات کافی دارند انتخاب هر کدام از سه توزیع بالا عملکرد مشابهی دارد اما زمانیکه داده‌های شکست‌ها کم یا حتی صفر است نتایج شبیه سازی نشان می‌دهد روش بیزین با توزیع پیشینی نرمال بهتر است (فن و همکاران، ۲۰۰۹)

گوا و همکاران<sup>۲</sup> (۲۰۱۰) در مقاله‌ای تحت عنوان قابلیت اطمینان سامانه‌های حیاتی ماموریت محور زمانی که تعداد شکست‌ها صفر و یا نزدیک به صفر هستند را بررسی کردند. آن‌ها قابلیت اطمینان سامانه را به کمک قابلیت اطمینان قطعات و در دو حالت تحت پایش و بازرسی‌های غیر مخرب و نیز حالتی که قابلیت اطمینان سامانه به صورت مخرب و یک‌جا بررسی شود محاسبه و مقایسه کردند. سپس مرز بی‌تفاوتی بین دو روش را برای تعیین اندازه‌ی نمونه‌ای که باید مورد آزمون قطعات قرار گیرند به دست آوردند (گوا و همکاران، ۲۰۱۰).

کوماران<sup>۳</sup> در مقاله‌ای تحت عنوان بررسی روند پیشرفت در طراحی، قابلیت اطمینان و جنبه‌های مختلف قابلیت نگهداری و تعمیرات تجهیزات نظامی مدرن دریایی با استفاده از استاندارد MIL STD ۴۶۱-E و همچنین ابزارهای FTA و SIXSIGMA، و نرم افزار مدل سازی SolidWorks، و نرم افزار تحلیلی ANSYS به بررسی روند پیشرفت در طراحی، قابلیت اطمینان و جنبه‌های مختلف قابلیت نگهداری و تعمیرات تجهیزات نظامی مدرن دریایی پرداخته است (کوماران، ۲۰۱۴).

چنگ و همکاران<sup>۴</sup> در مقاله‌ای تحت عنوان مدل سازی قابلیت اطمینان ترکیبی از واحد‌های یک سیستم حیاتی ماموریت محور تحت استرس‌های دوره‌ای دمایی به مدل‌سازی قابلیت اطمینان

روند و چگونگی پیشرفت آن پرداخته است. با به‌کارگیری 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 زیر سیستم‌ها در الگوریتم و با شناخت حالت‌های شکست و روند رخداد هر حالت شکست، طراحی را اصلاح نموده و تمهیدات لازم برای جلوگیری و یا کاهش احتمال رخداد حالت شکست در نظر گرفته می‌شود (فکور و موتمن، ۱۳۹۳).

مهرورز و همکاران به ارائه مدل جدیدی جهت تعیین قابلیت اطمینان سامانه‌های حیاتی ماموریت محور مانند موشک و راکت با استفاده از ترکیب دو نوع نمونه‌گیری مخرب و غیر مخرب پرداختند. انجام آزمایش مخرب روی نمونه کوچکی از این محصولات معمولاً راه‌سنجش قابلیت اطمینان آنهاست. از سوی دیگر، چنین نمونه کوچکی باید بتواند تضمین کننده سطح مشخصی از قابلیت اطمینان محموله باشد. همین امر چالش جدیدی را به وجود می‌آورد چرا که معمولاً این محصولات با قابلیت اطمینان بسیار بالایی تولید میشوند و بنابراین احتمال اینکه در یک نمونه کوچک هیچ شکستی رخ ندهد بسیار زیاد است. برای حل این مشکل مدل جدیدی با استفاده از نظریه قابلیت اطمینان، نگهداری و تعمیرات، نظریه بیز، روش انتشار پراش و الگوریتم ژنتیک پیشنهاد میشود تا به کمک این مدل حفظ و نگهداری از قابلیت اطمینان سامانه‌های حیاتی ماموریت محور بهینه گردد (مهرورز و همکاران، ۱۳۹۷)

فن<sup>۱</sup> و همکارانش با استفاده از روش بیزین قابلیت اطمینان سامانه‌های حیاتی ماموریت محور را با انجام آزمون شتاب عمر به دست آوردند. آنها سه توزیع پیشین نرمال، نمایی و بتا را برای تخمین نرخ شکست و قابلیت اطمینان استفاده کرده و سپس

۲. Guo, et. all

۳. Kumaran

۴. Cheng, et. all

۱. Fan, et. all

سیستم های حیاتی ماموریت محور پرداخته اند. محدودیت های مدل در واقع همان فرسودگی دمایی (حرارتی) بودند (چنگ و همکاران، ۲۰۱۷).

در ادامه، پیشینه تحقیق به صورت خلاصه در جدول ۱ آورده شده که شامل نام محقق و زمان، مطالعه موردی و تکنیک ها و مدل های استفاده شده به منظور تخمین قابلیت اطمینان می باشد.

ترکیبی از واحد های یک سیستم حیاتی ماموریت محور تحت استرس های دوره ای دمایی پرداختند. آن ها در واقع با استفاده از یک توزیع (GBS) به مدل سازی شکست ناشی از فرسودگی قطعات به دلیل وجود استرس های دوره ای دمایی پرداختند. سپس با استفاده از این توزیع به مدل سازی اندازه ای (استاندارد) قابلیت اطمینان با در نظر گرفتن ترکیبی از هر دو نوع واحد

جدول ۱- خلاصه پیشینه

نویسنده (سال)	توزیع تست ها					تخمین نرخ خرابی باروش های ذکر شده در مقاله							روش مدل سازی قابلیت اطمینان					مطالعه موردی	مراحل عمر					نوع سیستم									
	تولید	تعمیر	توقف	تست	سایر	سایر	۱	۲	۳	۴	۵	۶	سایر	سایر	تیرین	الگوریتم مورگان	Marcove		FMEA	FTA	RBD	FBD	سایر		تولید	تعمیر	توقف	سایر					
فاضل (۱۳۸۴)					✓															✓						✓		پر تابه					
عبداللهی (۱۳۸۹)																					✓							شناور					✓
موجدی (۱۳۹۱)																						✓					شناور						✓
یونان (۱۳۹۱)																											شناور						✓
گودرزی (۱۳۹۲)																											شناور						✓
فکور (۱۳۹۳)																											شناور						✓
مهرورز (۱۳۹۷)																											موشک و راکت						✓
فن (۲۰۰۹)																											معمول						✓
گوا (۲۰۱۰)																											معمول						✓
کوماران (۲۰۱۴)																											معمول						✓
چنگ (۲۰۱۷)																											معمول						✓
پژوهش حاضر																											زیردریایی						✓

با توجه به اینکه سیستم مذکور شامل اجزاء خاص بوده که به دلایل الزامات طراحی و عملکردی و محدودیت های فنی از یک طرف و محدودیت های تأمین، عدم دسترسی به اطلاعات دقیق طرف دیگر و همچنین در نظر گرفتن جدول خلاصه پیشینه، به

نرخ های خرابی اکثر اجزاء و همچنین قابلیت اطمینان آنها از طرف دیگر و همچنین در نظر گرفتن جدول خلاصه پیشینه، به

### بلوک دیاگرام کارکردی

پس از استخراج کارکردهای هر زیرسیستم در هر مرحله و اصلاح آن‌ها توسط خبرگان، به ترسیم جداولی در قالب جداول FBD، به منظور یک راهنما برای رسم بلوک دیاگرام کارکردی پرداخته شد. سپس توسط ترکیبی از نرم افزارهای VISIO و BPMN به رسم FBD برای هر زیرسیستم و در هر مرحله پرداخته شد. در این مقاله برای اولین بار در قسمت بلوک دیاگرام کارکردی، بررسی‌ها توسط اپراتور به عنوان یک کارکرد در نظر گرفته شده است. همچنین کارکردها در صورت نیاز تا سه سطح شکسته شده‌اند. بدین معنی که ممکن است یک کارکرد، خود شامل کارکردهای دیگری باشد و تقریباً در تمامی مراحل انجام کارکردها، خطای اپراتور نیز به عنوان یک کارکرد لحاظ شده است. در پاره‌ای از مواقع برخی از کارکردها حالت شرطی (یا این یا آن و نه هر دو) داشته‌اند که این مورد هم در رسم و تحلیل بلوک‌های دیاگرام کارکردی در نظر گرفته شده است. گاهی اوقات نیز نیاز به تکرار حلقه‌ای از کارکردها بوده که این مورد نیز در رسم بلوک‌های دیاگرام کارکردی لحاظ گردیده است. برای هر یک از مراحل فوق نمودار FBD تهیه گردید که در شکل ۲ نمونه‌ای از آن آورده شده است.

همانطور که در شکل ۲، مشاهده می‌شود، مرحله‌ی حرکت سطحی و بارگذاری شامل ۱ عملکرد می‌باشد که در شکل آورده شده است. در این مرحله، زیردریایی به سمت هدف در حال حرکت است.

منظور سهولت در انجام کار، از توزیع نمایی استفاده شده، همچنین به منظور محاسبه نرخ خرابی قطعات، فرمول کیم انتخاب گردیده است. زیرا علاوه بر محاسبه نرخ خرابی، منجر به استخراج آثار شکست نیز می‌گردد. همچنین می‌توان به تحلیل علت (های) بالابودن رتبه شدت اثر شکست‌ها پرداخت (کیم و همکاران، ۲۰۱۳). در ادامه نیز به منظور مدل‌سازی قابلیت اطمینان، از روش FBD و FMEA بهره گرفته شده است.

### ۲- روش تحقیق

#### ۲-۱- جامعه آماری

در این تحقیق، در ابتدا جلساتی با ۸ نفر از خبرگان صنعت جهت آشنایی با زیرسیستم‌های مختلف در سامانه مورد نظر برگزار گردید، که نتیجه‌ی این جلسات استخراج مراحل عملیات نجات با استفاده از بلوک دیاگرام کارکردی<sup>۱</sup> کلیه‌ی زیرسیستم‌ها می‌باشد.

#### ۲-۲- روش پژوهش

مراحل ۹ گانه انجام ماموریت نجات عبارتند از:

۱- آماده سازی در کشتی

۲- به آب اندازی

۳- رسیدن به هدف

۴- اتصال به مغروق

۵- خروج پرسنل از مغروق

۶- جداسازی از مغروق

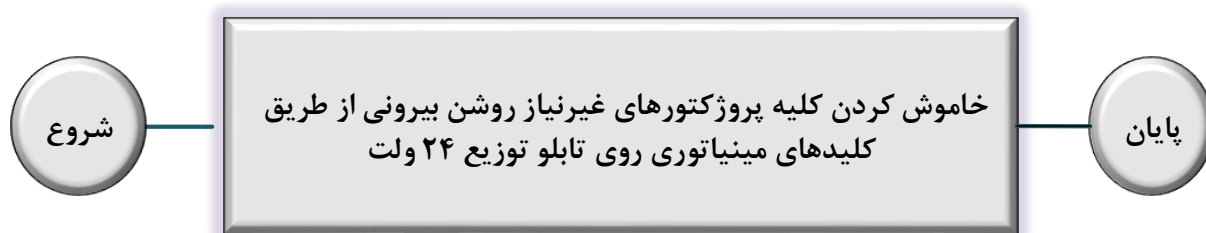
۷- صعود به سطح آب

۸- حرکت سطحی و بارگذاری

۹- آماده سازی مجدد

۱- Functional Block Diagram (FBD)

سطح اول



شکل ۲، FBD مربوط به زیرسیستم برق - مرحله ۸ (حرکت سطحی و بارگذاری)

### ➤ حالات و اثرات خرابی

در ادامه برای هر یک از عملکردها، حالات و اثرات بالقوه خرابی استخراج، سپس برای هر یک از آنها شدت اثر (S)، احتمال وقوع (O) و تشخیص (D) به روشی مناسب برای سیستم مذکور محاسبه می‌گردد. روشی که برای محاسبه شدت اثر، تشخیص و احتمال وقوع هر یک از حالات خرابی به ذهن می‌رسد استفاده از نظر خبرگان می‌باشد.

در این قسمت به توضیحی مختصر از ستون‌های یک جدول FMEA پرداخته شده است.

**کارکرد سیستم:** منظور و هدف عملیاتی سیستم، طرح یا فرآیند است.

**شکست کارکردی:** حالتی که سیستم نمی‌تواند خواسته های طراحی را برآورده سازد.

جهت شناسایی خطاهای سیستم، طرح و یا فرآیند می‌توان از سوابق خطاهای گذشته و گزارشات مربوطه استفاده کرد و یا از سوابق خطاهای بالقوه ای که صرفاً در شرایط محیطی خاص (گرما، خشکی، گرد و غبار و...) و یا در شرایط

استفاده خاص بروز می‌نماید، بهره برد و یا با استفاده از نظر افراد متخصص و خبره با استفاده از تکنیک طوفان فکری بسیاری از خطاها را شناسایی نمود؛ مانند نشستی، ترک در قطعه، ایجاد اتصالی، خوردگی، تغییر رنگ قطعه، داغ شدن بیش از حد، آب بند نامناسب و ...

**آثار شکست:** عارضه‌ها و مسائلی که به دلیل بروز خطا تجربه می‌گردد و یا اثرات حالات خطا بر مشتری؛ مثل قطع و وصل شدن جریان، سر و صدا، بوی نامطبوع، عمل نکردن مکانیزم، نشستی و ...

**حالات شکست:** علل شکست بالقوه که در اینجا از آن با نام حالات شکست یاد می‌شود، وجود نقص در سیستم یا طرح را نشان می‌دهد و بیانگر این موضوع است که در وقوع یک خطا یا شکست، علت‌های مختلفی تأثیر گذارند که هر یک نقش و سهم متفاوتی در امکان وقوع آن خطا دارند. در ادامه قسمتی از جدول FMEA به عنوان مثال برای زیرسیستم برق در مرحله ۸ (حرکت سطحی و بارگذاری) در جدول ۲ ارائه شده است.



جدول ۲ FMEA زیرسیستم برق (مرحله ۸)

نام زیر سیستم: برق										
اطلاعات تخصصی برای FMEA										
ردیف	سیستم کارکرد	کارکردی شکست	حالات شکست (سطح ۱)	حالات شکست (سطح ۲)	شکست آثار	شدت	وقوع احتمال	تشخیص	RPN	شکست کد
۱	خاموش کردن کلیه پروژکتورهای بیرونی از طریق کلیدهای مینیاتوری روی تابلو توزیع ۲۴ ولت	خاموش نشدن پروژکتورهای اضافی به تعداد مورد نیاز توسط کلیدهای مینیاتوری روی تابلو توزیع ۲۴ ولت	خرابی کلیدهای مینیاتوری	-	خرابی توسط اپراتور به صورت چشمی یا به کمک تجهیزات تشخیصی داده می‌شود.	۲	۱	۳	۶	E۸۰۰۱
				عدم رعایت الزامات محیطی مربوط (فشار، دما، رطوبت)	خرابی قابل تشخیص نیست.	۵	۱	۸	۴۰	E۸۰۰۲
				عدم رعایت الزامات الکتریکی مانند مقاومت عایقی	خرابی قابل تشخیص نیست.	۷	۱	۴	۲۸	E۸۰۰۳
				خطای اپراتور	-	۷	۲	۸	۱۱۲	E۸۰۰۴
				رعایت نشدن الزامات سازه ای	مراجعه به بخش الزامات سازه ای					E۸۰۰۵
۲	عملکرد صحیح کابلینگ	عملکرد نادرست کابلینگ	عدم مقاومت در برابر آسیب فیزیکی به کابل	-	امکان قطع شدن جریان مصرف کننده و اختلال در شبکه برق امکان اتصال کوتاه امکان برق گرفتگی	۷	۲	۴	۵۶	E۸۰۰۶
				-	امکان قطع شدن جریان مصرف کننده و اختلال در شبکه برق امکان اتصال کوتاه امکان برق گرفتگی	۷	۲	۴	۵۶	E۸۰۰۷
				-	امکان قطع شدن جریان مصرف کننده و اختلال در شبکه برق امکان اتصال کوتاه امکان برق گرفتگی	۷	۲	۴	۵۶	E۸۰۰۸
				-	امکان قطع شدن جریان مصرف کننده و اختلال در شبکه برق	۷	۲	۴	۵۶	E۸۰۰۹

کسیم، بین احتمال وقوع خرابی هر جزء با نرخ خرابی آن جزء رابطه‌ی زیر برقرار است (نیوبای<sup>۱</sup>، ۲۰۰۸: ۵۸۸-۵۹۴):

$$\lambda_i = \exp(-9.993 + 0.7O_i) \quad (\text{رابطه ۴})$$

طبق رابطه ی فوق، با داشتن احتمال وقوع هر جزء، می توان نرخ خرابی آن جزء را اندازه گیری کرد.

#### ۱-۲-۲- محاسبه قابلیت اطمینان کلی زیرسیستم‌ها

پس از محاسبه قابلیت اطمینان هر زیرسیستم به تفکیک مرحله، با ضرب مقادیر ستونی جدول قبل، مقدار قابلیت اطمینان هر زیرسیستم محاسبه گردیده است. در واقع مقادیر قابلیت اطمینان هر نه مرحله در هر زیرسیستم در هم ضرب گردیده است.

#### ۲-۲-۲- محاسبه قابلیت اطمینان کلی مراحل

با دقت در جدول بالا می‌توان نتیجه گرفت که حالات شکست ناشی از عملکرد نادرست کابلینگ شامل چهار حالت است که هر کدام دارای آثاری خاص است. همچنین به منظور محاسبه‌ی مقدار نرخ خرابی هر جزء نیز از رابطه‌ی ۵، "Kim2013"، استفاده شده است. این روش به نام ابداع کننده آن، کویانگ می‌کسیم، نامگذاری شده است. در روش‌های قدیمی تخمین یا تخصیص قابلیت اطمینان، به منظور تحلیل ریسک، تنها از دو روش بیشترین مقادیر RPN و یا میانگین مقادیر RPN استفاده می‌شده است. اما در روش کسیم، به دلیل کاربرد در سیستم‌های حیاتی ماموریت محور، آثار خرابی‌ها و شدت این آثار مورد توجه اصلی است. چرا که ممکن است بعضی از خرابی‌ها تاثیرات به‌سزایی روی ایمنی، هزینه و مسایل زیست محیطی داشته باشند بنابراین در این روش با در نظر گرفتن بالاترین شدت خرابی‌ها، از وقوع آن خرابی‌ها تا حد امکان جلوگیری به عمل می‌آید. بدین منظور در روش

۱. M. Newby

در هم ضرب می‌گردد و مقدار قابلیت اطمینان کل زیردریایی محاسبه می‌شود.

به منظور محاسبه قابلیت اطمینان هر مرحله، مقادیر سطری جدول قبل در هم ضرب گردیده است. در واقع مقادیر قابلیت اطمینان هر مرحله به تفکیک زیرسیستم‌ها در هم ضرب گردیده است.

### ۳-۲- تجزیه و تحلیل داده‌ها

پس از محاسبه‌ی مقدار لاندای هر شکست کارکردی با استفاده از فرمول کیم، با توجه به سری بودن کارکردها و نیز در نظر گرفتن تجهیزات پشتیبان، مقادیر قابلیت اطمینان هر کارکرد در هر مرحله محاسبه و در نهایت در هم ضرب گردیده است. حاصل این محاسبات، مقدار قابلیت اطمینان هر مرحله از هر زیرسیستم شده است. در نهایت مقادیر قابلیت اطمینان ۹ مرحله از هر زیرسیستم در هم ضرب گردیده و قابلیت اطمینان کل زیرسیستم بدست آمده است. شایان ذکر است که به دلیل ماموریت محور بودن محصول مورد مطالعه و در واقع انجام ماموریت در یک واحد زمانی ۹ ساعت، مقدار دوره زمانی (t) برابر با یک در نظر گرفته شده است. یعنی در بازه زمانی ۹ ساعت فقط یک بار ماموریت صورت می‌پذیرد.

### ۳-۱- محاسبه قابلیت اطمینان کل زیردریایی

در جدول ۳ مقادیر قابلیت اطمینان کل زیردریایی آورده شده است.

### ۳-۲-۲- محاسبه قابلیت اطمینان کلی زیردریایی

به منظور محاسبه قابلیت اطمینان زیردریایی، همانگونه که قبلاً اشاره شد، دو روش با نتایج یکسان وجود دارد. در روش اول با محاسبه‌ی نرخ خرابی هر مرحله از هر زیرسیستم، به محاسبه‌ی قابلیت اطمینان هر مرحله از کل زیرسیستم‌ها اقدام می‌گردد. سپس مقادیر قابلیت اطمینان هر مرحله از کل زیرسیستم‌ها قابل محاسبه خواهد بود. در نهایت قابلیت اطمینان کل سامانه زیردریایی از ضرب مقادیر قابلیت اطمینان هر نه مرحله محاسبه محاسبه می‌گردد. در روش دوم پس از محاسبه قابلیت اطمینان هر مرحله از هر زیرسیستم، به محاسبه قابلیت اطمینان کل هر زیرسیستم پرداخته می‌شود و در نهایت به دلیل اینکه فرمول کیم به سری یا موازی بودن زیرسیستم‌ها اهمیتی نمی‌دهد، مقادیر قابلیت اطمینان کل هر چهار زیرسیستم

جدول ۳ محاسبه قابلیت اطمینان کل زیردریایی

شماره	نام مرحله	قابلیت اطمینان زیرسیستم برق	قابلیت اطمینان زیرسیستم فرعی	قابلیت اطمینان زیرسیستم رانش	قابلیت اطمینان زیرسیستم رادیو الکترونیک	قابلیت اطمینان کل مرحله زیردریایی در هر مرحله
۱	آماده سازی در کشتی مادر	۰,۹۷۹۴۱۹۵۳۹	۰,۹۹۶۱۱۲۶۷۸۴	۰,۹۴۸۱۹۹۴۹۲	۰,۹۸۷۳۶۳۹۴۹	۰,۹۱۳۳۹۸۶۵۱
۲	به آب اندازی	۰,۹۹۳۸۰۷۵۷۷	۰,۹۹۳۴۳۶۵۷۵	۰,۹۸۹۷۶۸۱۵۱	۰,۹۸۸۸۲۳۲۲۶	۰,۹۶۶۲۲۱۱۲۹۲
۳	رسیدن به هدف	۰,۹۹۵۰۹۵۶۶۸	۰,۹۸۷۸۴۵۶۷۹	۰,۹۶۹۷۹۸۱۵۲	۰,۹۹۶۵۹۴۲۸۹	۰,۹۵۰۰۶۵۸۰۳
۴	اتصال به مغروق	۰,۹۹۴۷۲۴۲۳۸	۰,۹۷۹۰۶۵۲۵۲	۰,۹۳۵۵۳۷۴۰۲	۰,۹۸۷۶۳۶۶۹۶	۰,۸۹۹۸۵۵۳۶۵
۵	خروج پرسنل از مغروق	۰,۹۹۶۱۰۶۴۸۳	۰,۹۸۹۶۶۷۹۸۵۲	۰,۹۹۵۱۰۴۰۹۵	۰,۹۹۱۵۵۸۱۲۴	۰,۹۷۲۷۱۸۵۲۳
۶	جداسازی از مغروق	۰,۹۹۶۱۰۶۴۸۳	۰,۹۹۲۷۷۴۴۵۴	۰,۹۷۱۶۸۵۳۳۱	۰,۹۹۴۳۰۴۳۶۴	۰,۹۵۵۴۳۵۴۵۲
۷	صعود به سطح آب	۰,۹۹۵۲۷۵۱۳۵	۰,۹۹۰۰۱۰۹۹۲	۰,۹۶۸۸۹۷۱	۰,۹۹۵۸۶۱۷۹۷	۰,۹۵۰۷۳۵۹۱۳
۸	حرکت سطحی و بارگذاری	۰,۹۹۸۴۲۴۷	۰,۹۹۵۰۵۹۴۶۶	۰,۹۹۳۹۸۷۶۴۲	۰,۹۹۲۴۴۳۶۸۸	۰,۹۸۰۰۵۶۷۲
۹	آماده سازی مجدد	۰,۹۸۲۵۲۹۲۳۷	۰,۹۹۶۱۱۲۶۷۸۴	۰,۹۴۸۱۹۹۴۹۲	۰,۹۸۶۹۹۹۱۵۴	۰,۹۱۵۹۶۰۱۹۱
	قابلیت اطمینان کل هر زیرسیستم	۰,۹۳۳۳۷۰۵۴	۰,۹۲۶۳۸۱۵۱۲	۰,۷۵۱۸۴۴۸۳۳	۰,۹۲۴۲۱۰۲۶۲	قابلیت اطمینان کل زیردریایی = ۰,۵۹۸۴۹۰۹۵۶

این عدد مبنای اولویت بندی شکست کارکردی است. نظر به اینکه رتبه های شدت اثر و احتمال وقوع و همچنین شدت تشخیص مطابق جداول مربوطه اعدادی بین ۱ تا ۱۰ می تواند اختیار کنند، لذا عدد ریسک عددی بین ۱ تا ۱۰۰۰ می تواند داشته باشد. در این قسمت با در نظر گرفتن مقادیر S، O و D، مقدار RPN به ازای هر شکست کارکردی محاسبه شده و پس از رسم نمودارهای تحلیل ریسک بر حسب مقادیر S و O برای هر مرحله از زیرسیستم فرعی به تحلیل آن ریسک‌ها با توجه به مناطق سبز، زرد و قرمز پرداخته شده است.

۱-۲-۳-۲- تحلیل ریسک به کمک میانگین عدد

RPN

پس از محاسبه مقادیر RPN به ازای هر شکست کارکردی، میانگین این مقادیر به ازای هر مرحله و به تفکیک زیرسیستم‌ها محاسبه شده است. نتایج حاصل از محاسبات در جدول ۴ ارائه شده است.

همانگونه که ملاحظه می‌گردد مقادیر قابلیت اطمینان کل هر مرحله، بجز مرحله ۴، بالای مقدار ۰/۹۰ است که این مقدار از نظر خبرگان مقدار قابل قبولی است. مقدار قابلیت اطمینان کل مرحله ۴ نیز تقریباً به ۰/۹۰ نزدیک است. اما همانگونه که مشاهده می‌گردد مقدار قابلیت اطمینان کل زیردریایی بسیار پایین است که جای تامل دارد. این موضوع می‌تواند به ضعف طراحی، عدم دادن اطلاعات دقیق توسط خبرگان و یا حتی ضعف در انتخاب نحوه محاسبه مقدار نرخ خرابی‌ها (استفاده از روش کیم) باشد. همچنین با توجه به انجام محاسبات به روش بیان شده، مقدار قابلیت اطمینان کل زیردریایی ۰,۵۹۸۴۹۰۹۵۶ بدست آمد که این مقدار از نظر خبرگان، مقدار قابل قبولی می‌باشد.

۲-۳-۲- تحلیل عدد اولویت ریسک

نمره اولویت ریسک (RPN) مطابق رابطه ۱، از حاصلضرب رتبه شدت اثر (S)، رتبه احتمال وقوع (O) و درجه تشخیص (D) بدست می‌آید.

$$RPN = (S) * (O) * (D) \quad (\text{رابطه ۵})$$

جدول ۴ میانگین RPN در هر مرحله

نام زیرسیستم	مرحله ۱	مرحله ۲	مرحله ۳	مرحله ۴	مرحله ۵	مرحله ۶	مرحله ۷	مرحله ۸	مرحله ۹	میانگین
فرعی	۹,۸۳۶,۶۵۵۷	۱۱,۵۶۹۷۷	۲۱,۱۷۹۴۸۷	۳۱,۳۳۷۶۶	۲۰,۳۶۸۴۲	۲۲,۴۵۰۷	۲۴,۷۳۴۹۴	-	۱۰,۲۲۴۳	۱۶,۸۵۵۷
برق	۱۱,۶۹۷۳	۲۸,۹۰۴۷۶	۴۴,۹۳۷۵	۵۱,۹۳۷۵	۵۵,۱۸۱۸۲	۵۶,۶۳۶۳۶	۵۶,۱۴۸۱۵	۵۴,۸۸۸۸۹	۲۱,۴۶۰۹۴	۴۲,۴۲۱۴۷
رادیوالکترونیک	۱۷,۷۲۰۹۳	۳۰,۳۹۶۵۵	۲۶,۱۸۱۸۲	۲۹,۶۰۳۱۷	۲۹,۳۴۸۸۴	۳۳,۳۲۲۰۳	۲۳,۵۴۷۶۲	۱۲,۲۳۳۳۳	۲۵,۸۷۸۷۹	۲۵,۳۵۹۲۳
رانش	۲۳,۰۶۵۹۹	۲۹,۵۲۳۸۱	۴۱,۳۸۹۲۲	۴۶,۰۲۳۱۸	۶۲,۴	۴۰,۶۱۸۹۲	۴۳,۸۷۷۳۶	۴۷,۱۸۱۸۲	۲۳,۰۰۵۰۸	۳۹,۶۷۶۱۵
میانگین	۱۵,۵۸۰۰۷	۲۵,۰۹۸۷۲	۳۳,۴۲۲۰۱	۳۹,۷۲۵۳۸	۴۱,۸۲۴۷۷	۳۸,۲۵۷	۳۷,۰۷۷۰۲	۲۹	۲۰,۱۴۲۲۸	-

نشان‌دهنده‌ی مقدار بالای یکی یا هر دو و یا هر سه فاکتور شدت، احتمال وقوع و تشخیص است. بنابراین گروه خبرگان می‌بایست بیشتر وقت خود را صرف کاهش ریسک در زیرسیستم برق کنند. همچنین زیرسیستم رانش در مرحله ۱ و ۲ دارای بیشترین مقدار

با توجه به اعداد جدول ۸ مشاهده می‌گردد که میانگین RPN در هر مرحله از زیرسیستم برق (بجز مرحله ۱، ۲ و ۹) از سایر زیرسیستم‌ها بیشتر است که این مساله می‌بایست مد نظر گروه طراحان و خبرگان صنعت قرار گیرد. زیرا مقدار بالای RPN

پس از رسم ماتریس شدت- احتمال وقوع برای هر مرحله به تفکیک زیرسیستم‌ها، تعداد کدهای شکست در هر منطقه (سبز، زرد و قرمز) محاسبه شده و نتایج حاصل در جدول ۵ ارائه گردیده است.

میانگین RPN است که این امر موجب گردیده تا نظر طراحان در سطح بعدی به زیرسیستم رانش و انجام اقدامات لازم به منظور کاهش ریسک در این زیرسیستم معطوف شود.

### ۲-۲-۲- تحلیل ریسک بر مبنای ماتریس شدت- احتمال وقوع

جدول ۵ تعداد کدهای شکست قرار گرفته در هر منطقه رنگی

زیرسیستم	مرحله ۱			مرحله ۲			مرحله ۳			مرحله ...			مجموع		
	سبز	زرد	قرمز	سبز	زرد	قرمز	سبز	زرد	قرمز	...	...	...	سبز	زرد	قرمز
برق	۱۷۸	۷	۰	۳۸	۴	۰	۱۶	۱۵	۰	...	...	۱۱۹	۹	۰	
فرعی	۱۱۴	۸	۰	۸۸	۴	۰	۱۱۲	۱۱	۲	...	...	۱۰۲	۷	۰	
رادیوالکترونیک	۸۷	۴۰	۰	۸۰	۳۶	۰	۳۰	۳	۰	...	...	۱۰۷	۲۵	۰	
رانش	۱۸۶	۱۱	۰	۳۸	۴	۰	۸۴	۱۸	۰	...	...	۱۸۶	۱۱	۰	
مجموع	۵۶۵	۶۶	۰	۲۴۴	۴۸	۰	۲۴۲	۴۷	۲	...	...	۵۱۴	۵۲	۰	

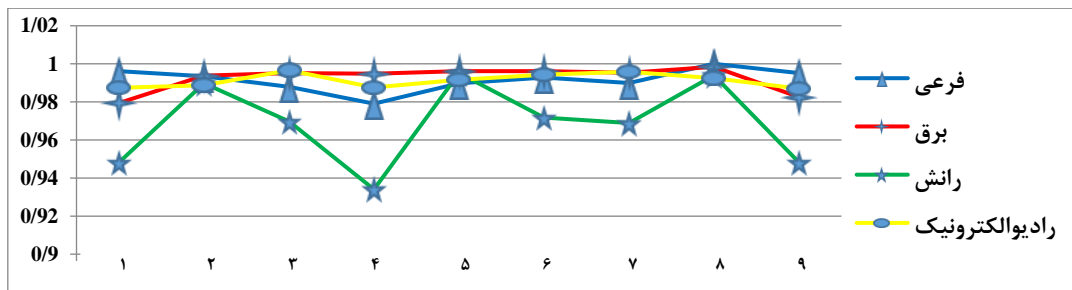
### ۳- نتیجه گیری

به منظور مقایسه مقادیر قابلیت اطمینان و نیز تحلیل ریسک هر زیرسیستم به تفکیک مراحل، در هر زیرعنوان، ۳۶ مقدار (۴ زیرسیستم ۹ گانه) توسط نرم‌افزار اکسل محاسبه گردیده که نتایج حاصل در ادامه آورده شده است.

### ۳-۱- مقایسه قابلیت اطمینان زیرسیستم‌ها به

#### تفکیک هر مرحله

پس از محاسبه مقادیر قابلیت اطمینان هر زیرسیستم به تفکیک هر مرحله، مقایسه‌ای بین قابلیت اطمینان زیرسیستم‌ها به عمل آمده که در شکل ۳ قابل مشاهده است.

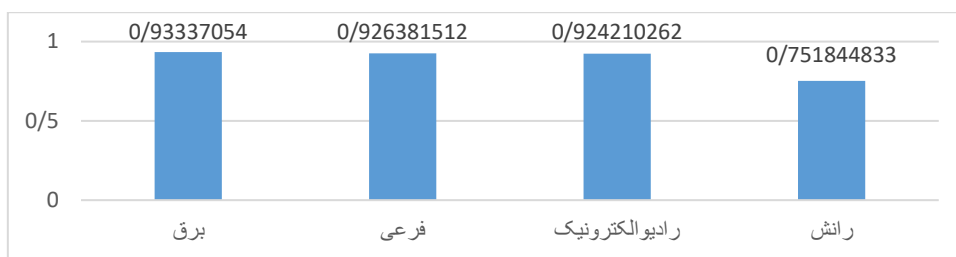


شکل ۳ نمودار مقایسه مقادیر قابلیت اطمینان

همانگونه که مشاهده می‌گردد، مقادیر قابلیت اطمینان زیرسیستم رانش در مرحله‌های دوم، پنجم و هشتم تقریباً در محدوده قابل قبولی (بالای ۹۸ درصد) قرار دارد. اما در سایر مرحله‌ها بسیار پایین است که همین امر سبب کاهش شدید قابلیت اطمینان کل زیرسیستم رانش شده است. در حالیکه قابلیت سایر زیرسیستم‌ها

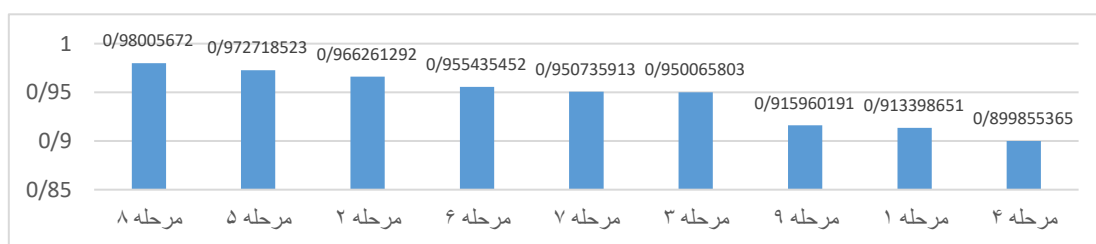
(برق، فرعی و رادیوالکترونیک) در تمامی مرحله‌ها (بجز مرحله اول زیرسیستم برق) بالای ۹۸٪ است که در مرحله طراحی، این میزان از قابلیت اطمینان بسیار خوب است. بنابراین طراحان و خبرگان صنعت می‌بایست نسبت به بهبود مقدار قابلیت اطمینان زیرسیستم رانش اقدامات لازم را مبذول نمایند.

۳-۲- مقایسه قابلیت اطمینان کلی زیرسیستم‌ها



شکل ۴ مقایسه قابلیت اطمینان زیرسیستم‌ها

با دقت در شکل ۴ میتوان نتیجه گرفت که زیرسیستم برق دارای بالاترین میزان قابلیت اطمینان در بین سایر زیرسیستم‌ها است و به ترتیب زیرسیستم‌های فرعی، رادیوالکترونیک و رانش دارای رتبه دوم، سوم و چهارم می‌باشند.

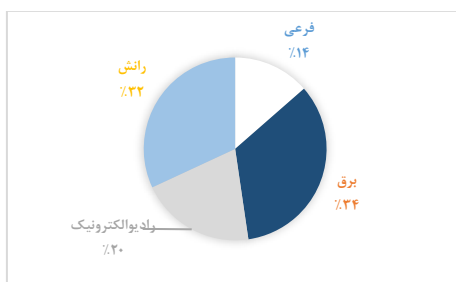


شکل ۵ مقایسه قابلیت اطمینان مراحل

۳-۳- مقایسه قابلیت اطمینان کلی مراحل

با توجه به شکل ۵ این‌گونه نتیجه‌گیری می‌گردد که مرحله ۸ (حرکت سطحی و بارگذاری) در بین سایر مراحل دارای بالاترین مقدار قابلیت اطمینان و مرحله ۴ (اتصال به زیردریایی هدف)، که در واقع قلب عملیات نجات می‌باشد، دارای پایین‌ترین سطح قابلیت اطمینان است.

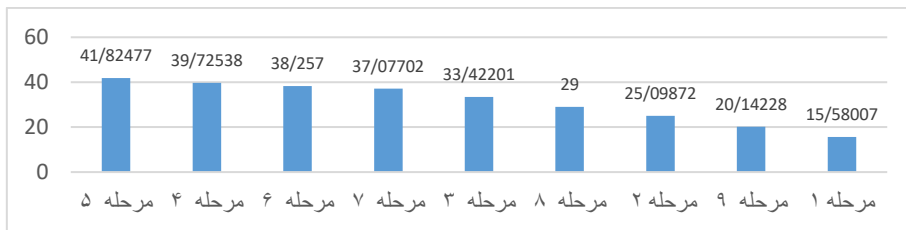
۳-۴- نمودار تحلیل ریسک به کمک میانگین عدد RPN در هر زیرسیستم از همه مراحل



شکل ۶ نمودار دایره‌ای تحلیل ریسک زیرسیستم‌ها

با توجه به شکل ۶ این نتیجه حاصل می‌شود که میانگین RPN در زیرسیستم برق نسبت به سایر زیرسیستم‌ها بیشتر است و زیرسیستم رانش، رادیوالکترونیک و فرعی به ترتیب دارای رتبه‌های دوم، سوم و چهارم می‌باشند. بنابراین طراحان و خبرگان صنعت می‌بایست بیشتر توجه خود را به کاهش ریسک زیرسیستم برق و رانش متمرکز کنند.

## ۳-۵- نمودار تحلیل ریسک به کمک میانگین عدد RPN در هر مرحله از همه زیرسیستمها

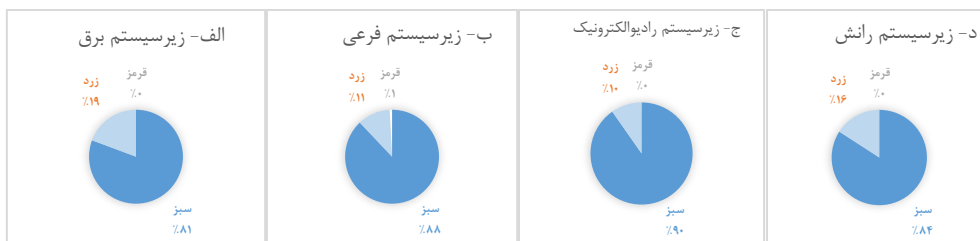


شکل ۷ نمودار میله‌ای تحلیل ریسک مراحل

مرور بیشتر و بیشتر می‌گردد و این نتیجه‌گیری با توجه به نوع ماموریت زیردریایی (رفتن به عمق ۴۰۰ متر و نجات افراد) قابل توجه است. بنابراین می‌توان بصورت کلی این نتیجه را گرفت که با حرکت به سمت زیردریایی هدف، احتمال وقوع شکست و شدت اثر آن بصورت صعودی افزایش می‌یابد.

با توجه به شکل ۷ می‌توان این‌گونه استنباط کرد که میانگین ریسک در مرحله ۵ (خروج پرسنل از زیردریایی هدف) از بقیه مراحل بیشتر و در مرحله ۱ (آماده سازی در کشتی مادر) از همه کمتر است. در کل می‌توان گفت که میانگین ریسک با ورود زیردریایی به دریا و رفتن به سمت زیردریایی مغروق (هدف) به

## ۳-۶- نمودار درصد کدهای شکست در مناطق رنگی در هر زیرسیستم از همه مراحل

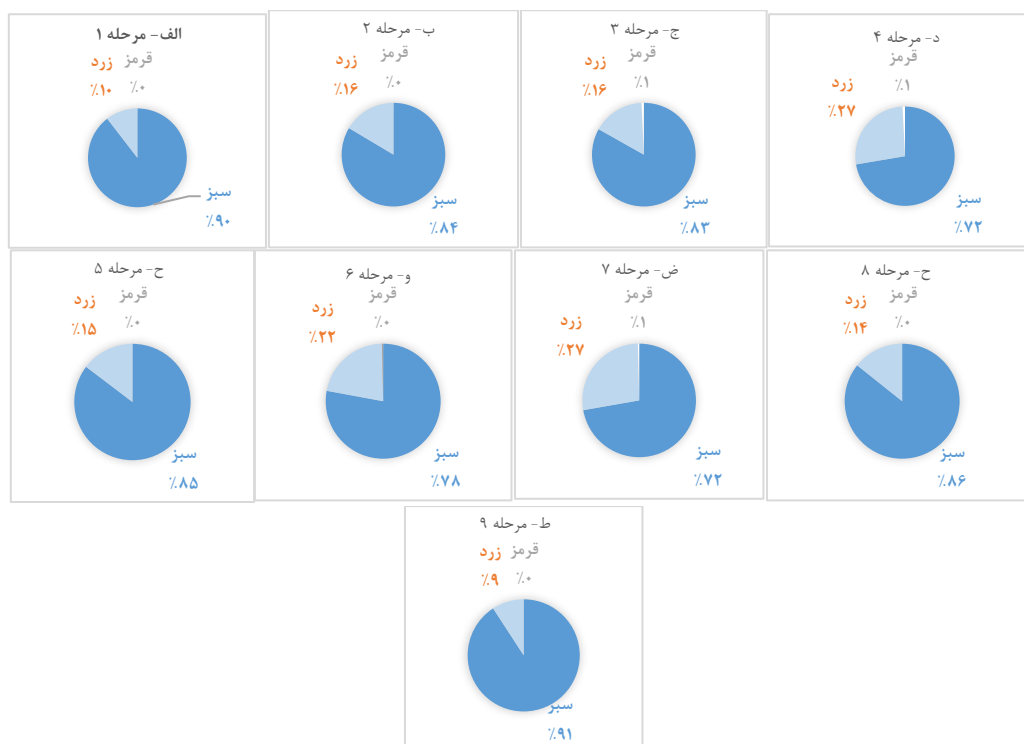


شکل ۸ نمودار دایره‌ای درصد مناطق رنگی به تفکیک زیرسیستمها

زیرسیستمها بیشتر است. در واقع در سایر زیرسیستمها صفر است. بنابراین گروه خبرگان می‌بایست این درصد را جدی بگیرند و از آن چشم‌پوشی نکنند. چرا که هر شکست در منطقه قرمز رنگ (پرخطر) نشان دهنده ی آثار شکست خطرناک با شدت اثر بالا است.

همانگونه که در شکل ۸ مشاهده می‌گردد، درصد کدهای شکست در منطقه سبز در زیرسیستم رادیوالکترونیک از همه بیشتر است (۹۰٪) و در زیرسیستم برق از همه کمتر است (۸۱٪). اما درصد کدهای شکست در منطقه زرد برعکس است. همچنین درصد کدهای شکست در منطقه قرمز در زیرسیستم فرعی از بقیه

## ۷-۳- نمودار درصد کدهای شکست در مناطق رنگی در هر مرحله از همه زیرسیستم‌ها



شکل ۹ نمودار دایره‌ای درصد مناطق رنگی به تفکیک مراحل

نتیجه هم به دلیل حساسیت زیاد مراحل ۳، ۴ و ۷ کاملاً قابل توجه است.

## ۸-۳- محدودیت‌ها

- عدم دسترسی به آمار و اطلاعات خرابی قطعات و تجهیزات
- دسترسی محدود به اطلاعات حوادث و آمار خرابی قطعات، تجهیزات و زیرسیستم‌های تشکیل دهنده‌ی زیردریایی‌های مشابه
- بالابودن مقدار قابلیت اطمینان کل زیرسیستم برق در بین سایر زیرسیستم‌ها و همچنین بالابودن مقدار میانگین عدد RPN این زیرسیستم، به دلیل استفاده از فرمول کیم

## ۳-۹- پیشنهادها

- با توجه به روش ارائه شده در مقاله حاضر، به منظور تخمین و پیش‌بینی قابلیت اطمینان سیستم، تعریف دقیق زیرسیستم‌ها و اجزای تشکیل دهنده آن‌ها و

در این قسمت درصد کدهای شکست کل زیرسیستم‌ها به تفکیک هر مرحله نمایش داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود مراحل ۹ و ۱ که هر دو جزء مراحل آماده‌سازی می‌باشند، دارای بیشترین درصد کدهای شکست در منطقه بی‌خطر (سبز رنگ) می‌باشند که منطقی نیز است. زیرا در واقع هنوز عملیات اصلی نجات شروع نشده است و طبیعی است که شکست‌ها شدید باشند. اما مرحله ۴ (اتصال به زیردریایی هدف) و ۷ (صعود به سطح آب) دارای کمترین درصد کدهای شکست در منطقه بی‌خطر (سبز رنگ) می‌باشند که از نظر علمی منطقی است. چرا که این دو مرحله از مراحل حساس و پرریسک در عملیات نجات می‌باشند. درصد کدهای شکست در منطقه کم‌خطر (زرد رنگ) نیز مشابه منطقه سبز رنگ است. همچنین درصد کدهای شکست در منطقه پرخطر (قرمز رنگ) در مراحل ۳ (رسیدن به هدف)، ۴ (اتصال به زیردریایی هدف) و ۷ (صعود به سطح آب) از بقیه بیشتر است. در واقع در سایر مراحل مقدار صفر را دارد. این

[۳]. T. Karaulova, M. Kostina, and E. Shevtshenko, (۲۰۱۲). Reliability assessment of manufacturing processes, International Journal of Industrial Engineering and Management ۳۱(۴۳-۱۵۱).

[۴]. A. K. Verma, S. Ajit, and D. R. Karanki, (۲۰۱۰). Reliability and safety engineering vol. ۴۳, Springe.

[۵]. مهدی کرباسیان و لیلا طباطبایی, (۱۳۸۸), آشنایی با قابلیت اطمینان, انتشارات ارکان دانش, اصفهان

[۶]. W. M. Goble, (۱۹۹۸). The use and development of quantitative reliability and safety analysis in new product design, Technische Universiteit Eindhoven.

[۷]. صادق فاضل و وحید بهادری, (۱۳۸۴), مدلسازی و ارزیابی قابلیت اطمینان سامانه پیشرانس یک نوع پرتابه خاص به روش FTA, دومین همایش سراسری سامانه های کروژ", تهران.

[۸]. حسن عبداللهی, (۱۳۸۹), بررسی و استخراج مدلی مناسب جهت تخمین قابلیت اطمینان سیستم فرامین یک شناور, دانشجوی کارشناس ارشد مهندسی کیفیت, دانشگاه صنعتی مالک اشتر اصفهان.

[۹]. یزدان موحدی و مهدی دولت خواه, (۱۳۹۱), محاسبه قابلیت اطمینان شاتر دوربین با استفاده از شبکه های بییزین, کنفرانس بین المللی صنایع, تهران.

[۱۰]. سام پویان, (۱۳۹۱), تعیین قابلیت اطمینان و محاسبه عدد اطمینان زیرسیستم های پر ریسک, سازمان صنایع دریایی, پژوهشکده زیرسطحی اصفهان.

[۱۱]. علی گودرزی املشی, (۱۳۹۲), قابلیت اطمینان و دسترس پذیری انواع سیستم های رانش الکتریکی, دومین کنفرانس ملی ایده های نو در مهندسی برق, تهران.

[۱۲]. مهدی فکور و نگار موتمن, (۱۳۹۳), الگوریتم طراحی سیستمی سامانه های ویژه مأموریت با رویکرد قابلیت اطمینان, مجله مهندسی مکانیک مدرس ۱۳.

[۱۳]. عاطفه مهرورز, (۱۳۹۷), پایش وضعیت و نگهداری از قابلیت اطمینان سامانه های تک کاره, تهران, دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی صنایع, دانشکده فنی و مهندسی, دانشگاه الزهرا.

[۱۴]. T.-H. Fan, N. Balakrishnan, and C.-C. Chang, (۲۰۰۹). The Bayesian approach for highly reliable

تعیین یا تخمین نرخ خرابی/ شکست آنها, مهمترین و اساسی ترین مراحل است. زیرا تمامی تحلیل ها و محاسبات بعدی بر پایه این اقدام انجام می شود. لذا پیشنهاد می گردد این مراحل با دقت نظر و تأمل کافی انجام گیرد.

- به منظور افزایش قابلیت اطمینان طراحی زیرسیستم رانش, پیشنهاد می گردد در صورت وجود امکانات لازم (مالی, فضایی, زمانی و...) مانند زیرسیستم فرعی, از سیستم های آماده به کار استفاده گردد.

- با توجه به اینکه میانگین RPN در زیرسیستم برق نسبت به سایر زیرسیستم ها بیشتر است و زیرسیستم رانش با فاصله کمی, دارای رتبه دوم است, پیشنهاد می گردد طراحان و خبرگان صنعت بیشتر توجه خود را به کاهش ریسک زیرسیستم برق و رانش متمرکز کنند.

- به منظور افزایش دقت, کاهش حجم محاسبات دستی و صرفه جویی در زمان پیشنهاد می گردد از نرم افزار محاسبه قابلیت اطمینان که در صنایع نظامی خارجی استفاده می شود, بهره برد.

- در این مقاله از FMEA ساده استفاده شده است. با توجه به اینکه برای تکمیل جداول FMEA از نظر خبرگان استفاده گردیده, در تحقیقات آتی پیشنهاد می شود از FMEA فازی استفاده گردد.

- پیشنهاد می گردد بعد از طراحی آزمون های طول عمر و انجام آن, اعداد حاصل با نتایج این مقاله مقایسه گردد.

#### ۴- منابع

[۱]. R. L. Bierbaum and A. A. Robertson, (۲۰۱۳). Defect types and surveillance strategies for one-shot items, in Reliability and Maintainability Symposium (RAMS), Proceedings-Annual, pp. ۱-۶

[۲]. T. Kitagawa, T. Yuge, and S. Yanagi, (۲۰۱۵). Optimum maintenance policy for a one-shot system with series structure considering minimal repair, Applied Mathematics ۶ ۳۲۶.



- [۲]. Sadegh Fazel and Vahid Bahadori, (۲۰۰۵). Modeling and assessing the reliability of the propulsion system of a specific type of projectile by FTA method, ۲nd National Congress of Cruise Systems, Tehran, persian
- [۳]. Hassan Abdollahi, (۲۰۱۰). Investigating and Extracting a Model for Estimating the Reliability of a Floating Submarine System, Graduate Student of Quality Engineering, Malek Ashtar University of Isfahan, persian
- [۴]. Yazdan Movahedi & Mehdi Dolatkahi, (۲۰۱۲). Calculating the camera's shutter reliability using Bayesian networks, International Industrial Conference, Tehran, persian
- [۵]. Samui Pooyan, (۲۰۱۲). Determination of Reliability and Calculation of the Reliability Number of High Risk Subsystems, Marine Industries Organization, Isfahan Subsurface Research Institute, persian
- [۶]. Ali Gudarzi Amelihadi, (۲۰۱۳). Reliability and availability of various electric driveline systems, ۲nd National Conference on New Ideas in Electrical Engineering, Tehran, persian
- [۷]. Mehdi Fakour and Negar Motaman, (۱۳۹۳). System Design of Special Mission Systems with Reliability Approach, Journal of Mechanical Engineering, Modares ۱۳, persian
- [۸]. Atefeh Mehrvorz, (۱۳۹۷). Status Monitoring and Maintenance of Reliability of Individual Systems, Tehran, Master of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Alzahra University, persian
- electro-explosive devices using one-shot device testing, Journal of Statistical Computation and Simulation ۷۹ ۱۱۴۳-۱۱۵۴.
- [۱۵]. H. Guo, S. Honecker, A. Mettas, and D. Ogden, (۲۰۱۰). Reliability estimation for one-shot systems with zero component test failures, in Reliability and Maintainability Symposium (RAMS), ۲۰۱۰ Proceedings-Annual, pp. ۱-۷.
- [۱۶]. P. T. Kumaran, (۲۰۱۴). The Progressive Trends in Design, Reliability and Maintainability Aspects of Naval Defense Equipments, ISSN: ۲۲۷۸-۰۱۸۱ , Vol. ۳ ۱۰.
- [۱۷]. Y. Cheng and E. A. Elsayed, (۲۰۱۷). Reliability modeling of mixtures of one-shot units under thermal cyclic stresses, Reliability Engineering & System Safety ۱۶۷ ۵۸-۶۶.
- [۱۸]. K. O. Kim, Y. Yang, and M. J. Zuo, (۲۰۱۳). A new reliability allocation weight for reducing the occurrence of severe failure effects, Reliability Engineering & System Safety ۱۱۷ ۸۱-۸۸.
- [۱۹]. M. Newby, (۲۰۰۸). Monitoring and maintenance of spares and one shot devices, Reliability Engineering & System Safety ۹۳. ۵۸۸-۵۹۴.

#### ❖ منابع فارسی

- [۱]. Mehdi Karbassian and Leila Tabatabaei, (۲۰۰۹). Introduction to Reliability, Ercan Knowledge Publishing, Isfahan, Persian