

ارائه روشی مبتنی بر مدل PDS و تکنیک AHP برای محاسبه و تحلیل قابلیت اطمینان با در نظر گرفتن شکست علت مشترک برای اجزاء غیر یکسان (مطالعه‌ی موردی خروجی سیستم تثبیت موقعیت دینامیکی یک شناور)

علی اقبالی بابادی

کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی مالک اشتر

مهدی کرباسیان*

دانشیار، دانشگاه صنعتی مالک اشتر

سجاد اردشیری

دانشجوی دکتری، دانشگاه صنعتی مالک اشتر

فاطمه حسنی

کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد واحد نور

چکیده: قابلیت اطمینان و ایمنی هر سیستم مهم‌ترین مشخصه کیفی یک سیستم می‌باشد. این مشخصه کیفی در سیستم‌هایی که کارکرد آن‌ها تحت استرس‌های گوناگون مانند: دمای بالا، سرعت بالا، فشار زیاد و ... می‌باشد از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. نکته قابل توجهی که در محاسبه قابلیت اطمینان و ایمنی سیستم‌ها اغلب مورد توجه قرار نمی‌گیرد وجود وابستگی میان زیر سیستم‌ها با یکدیگر می‌باشد، که این وابستگی باعث بوجود آمدن شکست‌های متفاوتی در سیستم می‌شود، یکی از مهم‌ترین این شکست‌ها، شکست علت مشترک می‌باشد. که در این نوع شکست‌ها چند زیر سیستم یا تمامی زیر سیستم‌ها همزمان یا در یک بازه زمانی کوتاه با توجه به یک علت مشترک دچار شکست می‌شوند. در نظر نگرفتن شکست‌های علت مشترک در محاسبه قابلیت اطمینان سیستم‌ها باعث برآورد خوش بینانه نرخ قابلیت اطمینان سیستم و در نتیجه باعث اعتماد بیش از حد به سیستم می‌شود. در این مقاله ابتدا به کمک تکنیک‌های تفکیک ساختار محصول (PBS)، نمودار بلوکی جریان عملکرد (FFBD) به شناسایی و سپس به کمک نمودار بلوکی قابلیت اطمینان (RBD) به محاسبه و تخصیص قابلیت اطمینان خروجی یک سیستم تثبیت موقعیت دینامیکی که شامل تراسترهای هیدرولیکی و الکتریکی برای حرکات رول، سوچ، سووی، یاو و هیو می‌باشد، پرداخته خواهد شد. در محاسبه قابلیت اطمینان سیستم مذکور به کمک قوانین احتمال شکست‌های آبخاری و به کمک مدل فاکتور بتا و روش PDS شکست‌های علت مشترک زیر سیستم‌های مختلف در نظر گرفته شد. در آخر باتوجه به ضعف روش PDS، مدلی ترکیبی بر اساس ترکیب مدل PDS و فرآیند تحلیل سلسله مراتبی برای در نظر گرفتن شکست‌های علت مشترک در اجزاء غیر یکسان ارائه شد.

کلمات کلیدی: قابلیت اطمینان، شکست علت مشترک، مدل ترکیبی، مدل PDS، فرآیند تحلیل سلسله مراتبی، شکست آبخاری.

۱- مقدمه

تجهیزات بیشتر از قبل شده است این اهمیت در سیستم‌هایی که کارکرد آن‌ها تحت فشارهای مختلف است بسیار زیاد می‌باشد.

تا جایی که مهمترین دغدغه مهندسان در این گونه سیستم‌ها، اطمینان پیدا کردن از کارکرد صحیح تجهیزات در زمان تعیین

امروزه با توجه به رشد روز افزون صنعت در زمینه‌های گوناگون و حساس و تولید قطعات و تجهیزات مختلف و شدت یافتن رقابت بین شرکت‌های گوناگون، اهمیت کارکرد صحیح این قطعات و

* (Corresponding author) mkarbasian@yahoo.com

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۲/۰۵

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۰۸/۱۴

در دهه ۱۹۴۰ با آغاز جنگ جهانی دوم و ساخت ابزارهای پیچیده نظامی، بحث مدل سازی قابلیت اطمینان توسط لوسر و مورفی انجام گرفت. در این دوره بسیاری از کارهای مربوط به قابلیت اطمینان با انجام آزمایش روی مواد و خستگی آنها انجام می شد. اولین مقالات در زمینه قابلیت اطمینان توسط مینر با عنوان "خرابی های تجمعی در خستگی" در سال ۱۹۴۵ در مجله ASME منتشر شد [۹]. شاید بتوان گفت که ظهور جدی و تولد مهندسی قابلیت اطمینان در دهه ۱۹۵۰ بوده است. زیرا در این مدت کارهای زیادی برای منسجم سازی مهندسی قابلیت اطمینان صورت گرفت مانند: تلاش برای بهبود قابلیت اطمینان دستگاه از طریق جمع آوری داده ها و طراحی، شکل گیری اولین سمپوزیوم کیفیت و مهندسی قابلیت اطمینان، تشکیل گروه های مطالعاتی IEEE و Agree، چاپ اولین کتاب ها در این زمینه توسط بازوکی، توسعه تکنیک های آماری و ارائه کتابچه های نظامی آمریکا که راهنمایی برای کاربرد قابل اطمینان در اجزای الکترونیکی [۱۰] اما در دهه های بعدی این رشد مفهوم قابلیت اطمینان ادامه یافت و فعالیت های متعددی در این زمینه صورت گرفت. با توجه به تولد و رشد قابلیت اطمینان در دهه های ۱۹۵۰، ۱۹۶۰ و ۱۹۷۰ این رشته پس از گذراندن این سه دهه رشد قابل توجهی نمود.

همانگونه که بیان شد در دهه های قبل از دهه ۱۹۵۰ نیز حوادثی مانند رخدادهایی مانند کشتی تایتانیک و ... توجه مهندسان و دانشمندان را به خود جلب کرده بود اما به دلیل نبود مفهوم مهندسی قابلیت اطمینان به شکل کنونی بیشتر مهندسان و دانشمندان بدون محاسبه دقیق و بدون آگاهی کامل از قابلیت اطمینان سیستم تحت شرایط کنونی به فکر راهکارهایی نظیر افزایش کیفیت قطعات یا بوجود آوردن سیستم های موازی بودند اما در اواخر دهه ۱۹۷۰ و دهه ۱۹۸۰ شاهد رخداد های متعدد در صنایع مختلف مانند: خاموشی نیویورک در سال ۱۹۷۷، حادثه اتمی تری مایل آیلند (بدترین حادثه اتمی آمریکا و نخستین فاجعه راکتورهای هسته ای است) که در ۲۸ مارس ۱۹۷۹ میلادی در تری مایل آیلند آمریکا اتفاق افتاد، حادثه اتمی چرنوبیل (بدترین حادثه اتمی غیرنظامی تاریخ جهان است) که در راکتور شماره ۴ نیروگاه چرنوبیل اوکراین در ۲۶ آوریل ۱۹۸۶ اتفاق افتاد، در صنایع شیمیایی نیز حوادثی نظیر حادثه فیکسبرو در سال ۱۹۷۴، حادثه سوسو در سال ۱۹۷۶ در شمال میلان در منطقه لومباردی رخ داد، حادثه بوپال در سال ۱۹۸۴ در شهر بوپال هند رخ داد که بر اثر این حادثه نوعی گاز سمی از کارخانه حشره کش سازی شرکت آمریکایی یونایتد کارباید نشت کرد و این فاجعه چندین هزار کشته و بیش از ۳۰۰ هزار بیمار برجای گذاشت. در صنایع هوا و فضا نیز انفجار فضایی چلنجر در

شده می باشد. یکی از وظایف اولیه هر محصولی تامین خواسته ها و نیازهای مصرف کننده کننده ها می باشد که همچنین این امر باید یک سطح قابل قبولی از قابلیت اطمینان را نیز برآورد سازد [۱،۲]. محصولات مهندسی مدرن از تک تک قطعات تا سامانه های بزرگ باید بگونه ای طراحی و تولید شوند که در طول مدت زمان ماموریت خود از قابلیت اطمینان لازم برخوردار باشند. در هر صنعت هنگامی که سیستمی از کار می افتد یا دچار اختلال می شود، از جنبه های مختلفی نظیر جنبه های اقتصادی، انسانی، سیاسی و ... مخاطره آمیز و زیان بار می باشد [۳]. قابلیت اطمینان، یکی از مهم ترین مشخصه های کیفیت قطعات، محصولات و سیستم های پیچیده و بزرگ علی الخصوص سازه های ماهواره بر و فضایی، هسته ای، کشتی ها و زیردریایی ها می باشد [۴]. آنچه مسلم است، قابلیت اطمینان در محصولات مختلف متفاوت می باشد. برای مثال یک زیردریایی هسته ای که مسافت طولانی را در زیر اقیانوس ها می پیماید و یک فضاییما که از جو عبور می کند، از مفهوم قابلیت اطمینان برداشت متفاوتی دارند [۵].

قابلیت اطمینان مفهومی عمومی است که سالهاست به عنوان یک ویژگی مثبت برای یک فرد یا یک محصول شناخته شده است. شروع آن در سال ۱۸۱۶ بسیار قدیمی تر از آنچه که خیلی ها حدس می زنند بود. کلمه "قابلیت اطمینان" برای اولین بار توسط شاعری بنام ساموئل تیلور کالریج ابداع شد [۶]. کمی بعد از سال ۱۹۱۲، بعد از حادثه کشتی تایتانیک مطالعه و تحقیقاتی در زمینه طراحی سیستمها با اجزاء موازی و یا ذخیره توسط محققان برای جلوگیری از حوادث مشابه انجام گرفت [۷] که این ماهیت این مطالعه مربوط به افزایش قابلیت اطمینان سیستم به کمک طراحی سیستم با اجزاء موازی بود. در دهه ۱۹۲۰ بهبود در محصولات با استفاده از کنترل کیفیت آماری که توسط دکتر والتر شوارت در آزمایشگاه بل توسعه پیدا کرد حاصل شد [۸].

اما این موارد تنها بخش کمی از تلاشهای محققین و مهندسان برای افزایش قابلیت اطمینان بوده است. باید در نظر داشت که تا پیش از جنگ جهانی دوم قابلیت اطمینان به عنوان کلمه ای با معنی قابلیت اعتماد یا قابلیت تکرار پذیری بیان شده است. با اصلاح و تعریف مجدد قابلیت اطمینان توسط ارتش آمریکا در دهه ۱۹۴۰ از آن زمان تا کنون این تعریف بکار می رود. همانگونه که بیان شد در گذشته کار های متعددی برای افزایش طول عمر و قابلیت اطمینان محصول انجام شده، اما آغاز مفهوم قابلیت اطمینان به شکل کنونی آن در دهه ۱۹۴۰ بوده است.

علت مشترک و شکست آبخاری مهمترین و تاثیر گذارترین شکست‌های وابسته می‌باشند که شکست‌های آبخاری بیشتر در سیستم‌های توزیع برق تاثیر گذار هستند و دغدغه اصلی این سیستم‌ها می‌باشند. که در بخش‌های بعدی باتوجه به وجود شکست آبخاری و شکست علت مشترک در سیستم مورد مطالعه این دو شکست توضیح داده می‌شود. این طبقه بندی در شکل ۱ آمده است.

احتمال مجموعه‌ای از وقایع که این احتمال که نمی‌تواند بیان شود برای عنوان مثال احتمال شکست های بی قید و شرط ناشی از حوادث منفرد سیستم های ساده.	شکست های وابسته
نوع خاصی از شکست های وابسته است که در آن شکست های متعدد با توجه به یک علت مشترک به طور همزمان یا تقریباً هم زمان رخ می‌دهند.	شکست علت مشترک
این اصطلاح برای حالت خاصی از شکست های علت مشترک رزرو می‌باشد که در آن اجزاء مختلف در یک حالت شکست باشند.	شکست حالت مشترک
این گروه همه شکست وابسته هستند که علت شکست مشترک نیستند به عنوان مثال آن دسته از شکست هایی که بر اجزاء مازاد یا موازی تاثیر نمی‌گذارند.	شکست آبخاری
نکته: اصطلاح "شکست وابسته" همانطور که در بالا تعریف شده برای پوشش دادن تعاریف همه‌ی شکست‌هایی که مستقل نیستند طراحی شده است.	

شکل ۱ طبق طبقه بندی هامفری و جانسون ۱۹۸۷

۳- شکست های آبخاری

هنگامی که در یک سیستم با چند زیر سیستم موازی یک بار به چند زیر سیستم اعمال شود، شکست یک زیر سیستم باعث اعمال تنش به زیر سیستم‌های باقی مانده می‌شود. از اینرو زیر سیستم‌های باقی مانده تحت تنش و بار بیشتری کار خواهند کرد. یعنی در یک سیستم موازی هنگامی که یک جزء با شکست دچار می‌شود بار مربوط به آن جزء بین اجزاء باقی مانده به اشتراک گذاشته می‌شود از این رو عملکرد اجزاء باقی مانده تحت فشار بیشتری می‌باشد و بنابر این احتمال شکست اجزاء دیگر افزایش می‌یابد [۱۸]. اما قابلیت اطمینان سیستم با اجزاء موازی باید با در نظر گرفتن این وابستگی محاسبه شود. برای یک سیستم با دو جزء مساوی A و B دو قابلیت اطمینان تعریف می‌شود، اولی زمانی که هر دو در حال کار می‌باشند و بار بین این دو جزء تقسیم شده است که قابلیت اطمینان اجزاء را R در نظر می‌گیریم و دیگری زمانی که یکی از اجزاء دچار شکست شده- است و عملکرد جزء باقی مانده تحت فشار بیشتری می‌باشد که

سال ۱۹۸۶ رخ داد، شاتل فضایی چلنجر در ۷۳ ثانیه بعد از پرواز خود منفجر و تبدیل به چند تکه شد، که منجر به مرگ تمام هفت خدمه شد. که تمامی این رخدادها بر الزامی بودن توجه به ارزیابی قابلیت اطمینان، ایمنی و احتمال خطر فشار فزاینده ای به صنایع مختلف وارد کردند. [۷ و ۱۱].

۲- شکست‌های وابسته

در برخی از مواقع شاهد این امر هستیم که یک سیستم به دفعات بیشتری نسبت به آنچه بر مبنای مستقل بودن اعضاها قابلیت اطمینان آن پیش بینی شده است از کار می‌افتد و در موارد نادری نیز احتمال از کار افتادن سیستم به مراتب کمتر از پیش بینی انجام شده می‌باشد. علت اتفاقات ذکر شده نادرستی تئوری احتمال نیست بلکه به این دلیل می‌باشد که تحلیل گر تشخیص صحیح و کاملی از برخی از علل غالب در از کار افتادگی های سیستم ندارد و در نتیجه در اغلب این موارد پیش بینی ها انجام شده خوش بینانه می‌باشد [۲]. وجود وابستگی در سیستم یکی از مشکلات پیش روی قابلیت اطمینان می‌باشد.

آن دسته از وابستگی‌های میان اجزاء که موجب بالا رفتن احتمال شکست سیستم می‌شود را وابستگی مثبت گفته می‌شود. در شکست ناشی از وابستگی مثبت مهمترین مشکل، مشکل شناسایی این وابستگی ها می‌باشد زیرا وابستگی‌های مختلفی در سیستم های گوناگون وجود دارد. از گذشته تا به امروز محققان زیادی بر روی وابستگی در سیستم های گوناگون تحقیق کرده اند و دسته بندی های متعددی برای وابستگی های موجود در سیستم ها ارائه کرده اند که معروفترین آن دسته بندی هامفری و جانسون می‌باشد، که در سال ۱۹۸۷ توسط هامفری و جانسون در سندی رسمی در سازمان انرژی اتمی انگلیس منتشر شد انواع شکست‌هایی که به دلیل وابستگی در سیستم رخ می‌دهند را شکسته وابسته معرفی کرد که این نوع شکست‌ها شامل علت شکست مشترک، شکست حالت مشترک، شکست آبخاری می‌باشد، که این طبقه بندی بسیار معروف می‌باشد و بارها در پژوهش های گوناگون مورد استفاده قرار گرفته است به عنوان مثال در سال ۲۰۰۰ جوزپه مائوری در پایان نامه دکتری خود در دانشگاه یورک، ونجینگ سان در سال ۲۰۱۳ در پایان نامه کرسناسی ارشد خود در دانشگاه علم و صنعت نوژ و مقالات متعددی مانند یوان جیان یانگ و همکاران در سال ۲۰۱۴، بورسک و هولوب در سال ۲۰۰۸، بورسک و همکاران در سال ۲۰۰۷ از این طبقه بندی استفاده کرده اند [۱۷-۱۲]. از این رو طبق طبقه بندی هامفری و جانسون دو شکست، شکست‌های

نظارت هسته‌ای ایالات متحده صورت گرفت [۲۰]. اما با توجه به حادثه تری مای آیلند، نخستین فاجعه راکتورهای هسته‌ای دنیا که در سال ۱۹۷۹ به علت شکست‌های علت مشترک رخ داد توجه بسیاری از پژوهشگران به شکست‌های علت مشترک و محاسبه دقیق تر قابلیت اطمینان با در نظر گرفتن این فاکتور جلب شد و تحقیقات گوناگونی انجام شد، مانند مطالعات ادوارد و واتسوندر سال ۱۹۷۹، اسمیت و واتسون ۱۹۸۰، جانسون ۱۹۸۷، واتسون و جانسون ۱۹۸۹، مصلح ۱۹۹۱، پائولو و همکاران ۱۹۹۱ و گزارشات مطالعه ایمنی راکتورهای هسته‌ای در سال‌های ۱۹۹۸ و ۲۰۰۷ [۲۱]. تعاریف متعددی برای شکست‌های علت مشترک وجود دارد. در تحقیقی که اسمیت و واتسون در سال ۱۹۸۰ انجام دادند نه تعریف مختلف از شکست‌های علت مشترک را مورد بررسی قرار دادند و نتیجه گرفتند که هیچ یک از تعاریف در تمامی زمینه‌های مهندسی درست نمی باشد، از این رو تعریف خود را اینگونه بیان کردند [۲۲]: ناتوانی‌های متعدد، که هنگامی که اولین مورد خرابی در خط رخ می دهد باعث یک بحران در دوره زمانی معین به دلیل یک نقص اساسی یا پدیده‌های فیزیکی می شود، به طوری که آخرین آثار آن از دست دادن یک یا چند سیستم در نظر گرفته می شود. تعریف دیگری در سال ۲۰۰۴ که توسط رازند و هولند ارائه شد شکست‌های علت مشترک را به صورت زیر تعریف می کند [۲۳]: شکست وابسته‌ای که در آن دو جزء یا بیشتر به طور همزمان و یا در یک بازه زمانی کوتاه در حالت شکست قرار می گیرند، که این حالت نتیجه مستقیم شکست‌های علت مشترک می باشد.

از سال ۱۹۷۵ تا کنون مطالعات زیادی بر روی شکست‌های علت مشترک انجام شده است و مدل‌های گوناگونی برای آن ارائه شده است مانند مدل فاکتور بتا، مدل فاکتور آلفا، مدل نرخ شکست دو جمله‌ای، مدل ریشه دوم و استاندارد IEC 61508. هر کدام از این مدل‌ها نقاط قوت و ضعف خود را دارند که در این مقاله برای در نظر گرفتن شکست‌های علت مشترک در محاسبه قابلیت اطمینان خروجی سیستم تثبیت موقعیت دینامیکی شناور مورد مطالعه از مدل فاکتور بتا و مدل ارائه شده در روش PDS و برای در نظر گرفتن شکست‌های آبخاری از قوانین احتمال استفاده شد. دلیل استفاده از مدل فاکتور بتا جامع و فراگیر بودن این مدل می‌باشد، و دلیل استفاده از مدل ارائه شده در روش PDS وجود وابستگی از نوع شکست علت مشترک در اجزاء غیر یکسان موازی می‌باشد. دلیل استفاده از قوانین احتمال برای در نظر گرفتن شکست‌های آبخاری ساده بودن اجزاء دارای این وابستگی می‌باشد، که شامل دو جزء موازی یکسان می‌باشد که نرخ خرابی در این اجزاء متغیر با زمان در نظر گرفته نشده است.

در این حالت قابلیت اطمینان جزء باقی مانده کمتر می‌باشد و آن را R' در نظر می‌گیریم از این رو احتمال شکست هر جزء در زمان عملکرد هر دو جزء سیستم برابر با رابطه‌ی ۱ است:

$$QA = (1 - R)$$

احتمال شکست هر جزء در زمانی که یک جزء دیگر سیستم دچار شکست شده است برابر با رابطه‌ی ۲ است:

$$QA' = (1 - \hat{R}) \quad (2)$$

از این رو احتمال شکست سیستم برابر با رابطه‌ی ۳ می‌باشد:

$$Q = QA \cdot QA' \quad (3)$$

اما مطالب ذکر شده در بالا در ساده‌ترین حالت سیستم شده است، البته در سیستم مورد مطالعه که بخش‌های بعدی بیان می‌شود در جایی که این نوع شکست وابسته وجود دارد به دلیل وجود دو جزء موازی یکسان و عدم در نظر گرفتن نرخ زمان در قابلیت اطمینان که ساده‌ترین حالت سیستم می‌باشد رابطه بالا مورد استفاده قرار می‌گیرد. اما در سیستم‌های دیگر مانند سیستم‌هایی با چندین جزء موازی یا سیستم‌هایی با نرخ شکست متغیر در زمان و یا سیستم‌هایی با اجزاء نامساوی محاسبه‌ی تاثیر این نوع شکست بسیار متفاوت می‌باشد، پژوهش‌های بسیاری برای در نظر قرار دادن این نوع وابستگی در این سیستم‌ها صورت گرفته و مدل‌های گوناگونی ارائه شده است. به عنوان مثال مدلی در سال ۱۹۶۱ توسط فرویند به کمک توزیع نمایی ارائه شد که در این مدل راهکاری برای یک سیستم با n جزء غیر یکسان با نرخ شکست ثابت ارائه شد [۱۹]. یا مدل‌های دیگری که برای در نظر گرفتن شکست آبخاری در سیستم توزیع برق مانند: مدل منچستر، مدل شکست مخفی، مدل کاسکاد ارائه شده است [۱۸].

۴- شکست‌های علت مشترک

با توجه به مطالب ذکر شده در سیستم‌های حساس و مهم نظیر نیروگاه‌های اتمی، صنعت هوا فضا و زیردریایی‌ها و ... که نیاز به محاسبه و تحلیل دقیق قابلیت اطمینان سیستم است در نظر گرفتن وابستگی‌های سیستم امری مهم و ضروری می‌باشد. در نظر گرفتن شکست‌های علت مشترک و مدل سازی آن در محاسبات و تحلیل‌های قابلیت اطمینان برای اولین بار در مطالعه ایمنی راکتورهای هسته‌ای در اکتبر ۱۹۷۵ توسط کمیون

۵- مدل فاکتور بتا

همه‌ی اجزاء موثر باشد. مدل فاکتور بتا ممکن است به عنوان یک مدل شوک که در آن شوک به صورت تصادفی با توجه به یک فرآیند پواسون همگن با نرخ $\lambda^{(c)}$ در نظر گرفته شود. هر زمان یک شوک رخ می‌دهد، تمام اجزاء گروه با شکست روبه رو می‌شود، بدون در نظر قرار دادن اجزاء. هر جزء ممکن است با توجه به دو علت مستقل، یکی شوک و دیگری شکست فردی جزء با شکست مواجه شود. گاهی اوقات نرخ $\lambda^{(i)}$ به عنوان نرخ شکست منحصر بفرد از یک کانال نامیده می‌شود. یکی از مهم ترین قسمت های مدل فاکتور بتا نحوه محاسبه عدد بتا می باشد، به چهار روش مختلف زیر می توان عدد بتا را محاسبه کرد [۲۵].

- قضاوت کارشناسان
- استفاده از چک لیست
- مدل های برآورد
- با استفاده از داده های تاریخی

۶- روش PDS

روش PDS در مرکز تحقیقات SINTEF در نروژ ارائه شده - است، روش‌های ارائه شده در این استاندارد مطابق با اصول اصلی استاندارد IEC 61508 و IEC 61511 می‌باشد، که به طور گسترده در محاسبات قابلیت اطمینان در صنعت نفت و گاز نروژ مورد استفاده قرار می‌گیرد. اما در روش PDS نیز راهکاری برای در نظر گرفتن شکست‌های علت مشترک در سیستم‌هایی با اجزاء غیر یکسان ارائه شده است. در این روش سه مشکل پیشه روی محاسبه‌ی تاثیر شکست‌های علت مشترک به صورت زیر مطرح می‌شود:

- اجزائی با نرخ شکست‌های مختلف
- اجزائی با میزان شکست‌های علت مشترک (بتا) متفاوت
- اجزائی با فواصل آزمایشی مختلف

لازم به تذکر است که تفاوت در فواصل آزمایش اجزاء مختلف بیشتر برای محاسبه‌ی شکست‌های علت مشترک به کمک روش استاندارد IEC 61508 که برای قطعات الکتریکی می‌باشد در نظر گرفته شده است، زیرا در استاندارد IEC 61508 یکی از فاکتورهای محاسباتی فواصل آزمایش می‌باشد. باتوجه به فرمول ارائه شده در این روش دو مشکل نرخ متفاوت اجزاء غیر یکسان و تفاوت در فواصل آزمایش تا حدودی برطرف شده است به این

مدل فاکتور بتا توسط فلمینگ در سال ۱۹۷۵ معرفی شد. این مدل در استانداردهای گوناگون مانند استاندارد IEC 61508، استاندارد ISA TR 84.00.02، استاندارد NUREG/CR-5485، استاندارد ISA TR 84.00.02، استاندارد IEC 61508 یا همان مطالعه ایمنی راکتور که در سال ۱۹۸۸ منتشر شد به عنوان یک مدل کارآمد به تصویب رسیده است [۲۴]. ایده فاکتور β تقسیم کردن میزان شکست می‌باشد. λ برای یک جزء به دو قسمت تقسیم می‌شود، یک قسمت $\lambda^{(i)}$ پوشش دهنده شکست‌های منفرد جزء می‌باشد، و قسمت دیگر $\lambda^{(c)}$ پوشش دهنده شکست‌های علت مشترک می‌باشد که با توجه تعاریف بالا نرخ خرابی برابر با رابطه‌ی ۴ می‌باشد.

$$\lambda = \lambda^{(i)} + \lambda^{(c)} \quad (4)$$

از این رو فاکتور β را مانند رابطه‌ی ۵، اینگونه تعریف می‌کند.

$$\beta = \frac{\lambda^{(c)}}{\lambda} \quad (5)$$

فرض اصلی که در مدل فاکتور بتا وجود دارد این است که اگر یک جز خاص شکست خورده باشد، با احتمال β ، باعث می‌شود تمامی اجزاء شکست بخورد و با احتمال $1-\beta$ فقط قطعه‌ای که در گیر است. در واقع یعنی احتمال اینکه یک شکست منجر به علت شکست علت مشترک شود.

$$\beta = \Pr(\text{ccf} | \text{failure channel}) \quad (6)$$

میزان شکست علت مشترک و میزان شکست منفرد طبق رابطه‌ی ۷ و ۸ را می‌توان به عنوان میزان مجموع شکست جزء تعریف کرد.

$$\lambda(c) = \beta \cdot \lambda \quad (7)$$

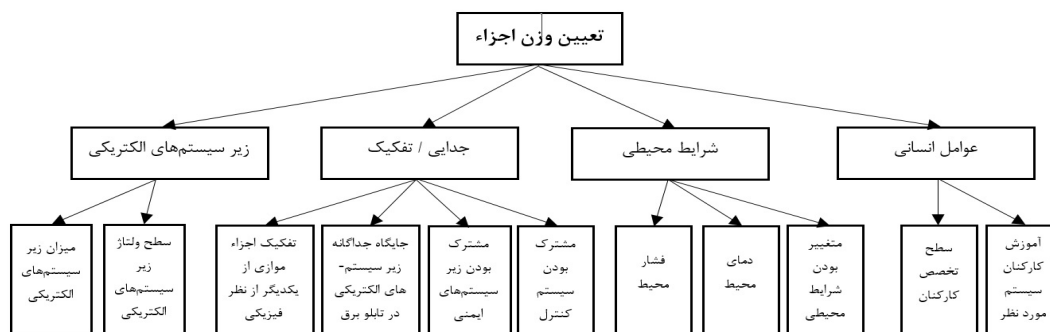
$$\lambda(i) = (1 - \beta) \cdot \lambda \quad (8)$$

یک نتیجه منطقی از مدل فاکتور بتا این است که زمانی که شکست علت مشترک رخ می‌دهد، این شکست بر تمام اجزاء (آیتم‌های) سیستم تاثیر می‌گذارد، در واقع در یک سیستم اجزائی وجود دارند که شکست آنها می‌تواند باعث بروز شکست علت مشترک شود، البته نه در همه‌ی موارد. در واقع برای این اجزاء هم شکست‌های منفرد داریم هم شکست‌هایی که بر

های انجام شده ۴ معیار و ۱۱ زیر معیار در نظر گرفته شد تا به کمک فرآیند تحلیل سلسه مراتبی وزن هر جزء مشخص شود تا به کمک تعیین وزن اجزاء میزان β بین اجزاء غیر یکسان تعیین شود. چهار معیار و زیر معیارهای در نظر گرفته شده به صورت زیر است:

۱. عوامل انسانی
 - آموزش کارکنان سیستم مورد نظر
 - سطح تخصصی کارکنان
۲. شرایط محیطی
 - متغیر بودن شرایط محیطی
 - دمای محیط
 - فشار محیط
۳. جدایی و تفکیک
 - مشترک بودن سیستم کنترل
 - مشترک بودن زیر سیستم‌های ایمنی
 - جایگاه جداگانه زیر سیستم‌های الکتریکی در تابلو برق
 - تفکیک اجزاء موازی از یکدیگر از نظر فیزیکی
۴. زیر سیستم‌های الکتریکی
 - سطح ولتاژ زیر سیستم‌های الکتریکی
 - میزان زیر سیستم‌های الکتریکی

در شکل ۲ معیارها و زیر معیارهای در نظر گرفته شده در این پژوهش آورده شده است.



شکل ۲ معیارها و زیر معیارهای در نظر گرفته شده برای تحلیل سلسه مراتبی

مشترک زمانی که سیستم‌های موازی یکسان هستند می‌باشند است (درواقع با فرض یکسان بودن اجزاء برای هر جزء یک مقدار β بدست می‌آوریم) آنگاه مقدار β برای دو جزء غیر یکسان برابر است با:

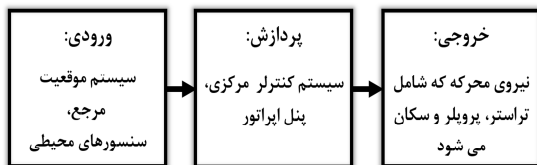
صورت که از نرخ‌های خرابی میانگین هندسی گرفته می‌شود و از فواصل آزمایش نیز میانگین حسابی گرفته می‌شود. اولین ضعف این مدل میانگین گیری از نرخ‌های خرابی است زیرا میانگین گیری نیز خود نوعی محاسبه با تقریب می‌باشد، دومین ضعف که بسیار مهم می‌باشد عدم در نظر گرفتن تفاوت در میزان شکست‌های علت مشترک اجزاء می‌باشد. در فرمول شماره ۹ فرمول روش PDS برای در نظر گرفتن شکست‌های علت مشترک برای سیستم‌های نامتقارن آمده است [۲۶].

$$PDF_{avg,1}^{(c)} = C_{koon} \beta_{min} \left[\prod_{i=1}^n \lambda_{DU,i} \right]^{\frac{1}{n}} \frac{\bar{t}}{2} \quad (9)$$

۷- روش تعیین عامل β برای اجزاء غیر یکسان به کمک تکنیک فرآیند تحلیل سلسه مراتبی:

در این پژوهش با توجه به تخمینی بودن روش PDS برای میزان β و محدود بودن روش هامفریز که یک روش بر اساس وزن دهی می‌باشد [۲۷] و مشکل این روش عدم در نظر گیری عوامل محیطی موثر و عوامل الکتریکی که از عوامل موثر بر بروز شکست‌های علت مشترک هستند، می‌باشد از این رو به دنبال ارائه روشی بر مبنای روش PDS هستیم اما با این تفاوت که برای بدست آوردن عامل β برای اجزاء غیر یکسان از تخمین استفاده نشود با توجه به این مطلب از فرآیند تحلیل سلسه مراتبی در طراحی مدل مورد نظر استفاده شد. با توجه به بررسی-

اما نحوه تعیین میزان β به کمک این روش اینگونه می‌باشد که به کمک فرآیند تحلیل سلسه مراتبی وزن هر جزء موازی غیر یکسان را محاسبه می‌کنیم که با W_i نمایش داده می‌شود سپس برای هر جز β_i در نظر می‌گیریم که مقدار β_i نرخ شکست علت



شکل ۳ سه قسمت سیستم تثبیت موقعیت دینامیکی

۹- شناسایی سیستم

در این پژوهش خروجی سیستم تثبیت دینامیکی یک شناور مورد مطالعه قرار گرفت. در این سیستم نیروی محرکه قرار دارد، نیروی محرکه سیستم مورد مطالعه توسط ۶ تراستر تامین می-شود که از این ۶ تراستر ۴ تراستر آن از نوع هیدرولیکی و ۲ تراستر آن الکتریکی می باشد این تراسترها برای ۵ حرکت سوچ، سووی، هیو، رول و یاو می باشند. در مرحله اول این پژوهش ابتدا به شناسایی سیستم و زیرسیستم های آن پرداختیم سپس نحوه عملکرد این زیر سیستم ها و توالی عملکرد آنها را بررسی کردیم تا بتوانیم به کمک این تحلیل ها وابستگی های موجود و نوع شکست هایی که بر اساس این وابستگی ها بوجود می آیند را در میان زیر سیستم ها شناسایی کنیم. به کمک نمودار تفکیک ساختار محصول دریافتیم وابستگی میان ۲ تراستر هیدرولیکی حرکات رول و هیو و ۴ تراستر هیدرولیکی و الکتریکی حرکات یاو، سووی و سوچ وجود دارد. سپس با تحلیل سیستم و عملکرد این زیر سیستم ها دریافتیم که شکست وابسته ی در تراسترهای هیدرولیکی حرکات رول و هیو، تراسترهای الکتریکی حرکات یاو، سووی و سوچ و تراسترهای الکتریکی حرکات یاو، سووی و سوچ از نوع شکست آبشاری و شکست های علت مشترک است. و شکست وابسته میان تراسترهای الکتریکی و هیدرولیکی حرکات یاو، سووی و سوچ از نوع شکست علت مشترک می باشد. در خروجی تحلیل های صورت گرفته ی نمودار تفکیک ساختار محصول و نمودار بلوکی جریان عملکرد آورده شده است. همانگونه که بیان شد در این پژوهش به کمک نمودار تفکیک ساختار محصول زیر سیستم های سیستم شناسایی و تحلیل شد. نمودار تفکیک ساختار محصول این سیستم مورد مطالعه در شکل ۴ آمده است.

$$\beta = w_1 \cdot \beta_1 + w_2 \cdot \beta_2 + \dots = \sum_{i=1}^n w_i \cdot \beta_i \quad (10)$$

به شرطی که:

$$\sum_{i=1}^n w_i = 1 \quad (11)$$

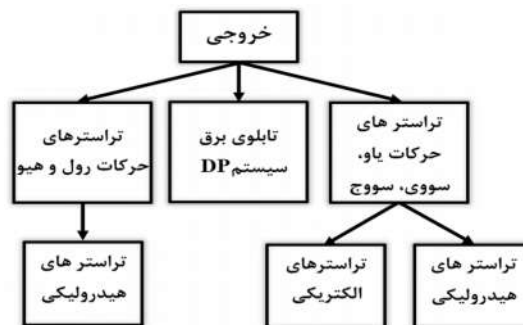
لازم به ذکر است برای میزان λ مانند روش PDS از میانگین هندسی بین λ های اجزاء استفاده می شود.

۸- سیستم تثبیت موقعیت دینامیکی

تثبیت موقعیت دینامیکی (DP) یک سیستم کنترل کامپیوتری است که به صورت خودکار موقعیت و جهت حرکت شناور را به کمک دریافت اطلاعات از سنسورهای محیطی و سیستم های موقعیت یاب، بوسیله ی نیروی رانشی که توسط محرک های شناور تولید می شود را حفظ می کند [۲۸]. سیستم تثبیت موقعیت دینامیکی شامل مدل ریاضی از کشتی می باشد که شامل اطلاعات مربوط به جهت نیروهای اعمال شده به شناور، مشخصات دینامیکی شناور، مدل ریاضی محرک ها شامل سکان، محرک ها، پروانه های کنترل پذیر و همچنین محل قرار گرفتن محرک ها می باشد. اطلاعات جمع آوری شده توسط سنسورهای محیطی و سیستم های موقعیت یاب این امکان را برای بخش کنترل فراهم می کند که خروجی مورد نیاز جهت زاویه ی مناسب حرکت و نیروی رانشی مورد نیاز برای هر محرک را محاسبه و اعمال نماید [۲۸].

سیستم تثبیت موقعیت دینامیکی مانند بسیاری از سیستم ها دارای ورودی، پردازش و خروجی می باشد. سنسورهای فشار، سنسور جریان، ژيروسکوپ ها، قطب نماها و سیستم های موقعیت یاب محلی و سراسری، به عنوان سیستم های مرجع وظیفه ی فراهم کردن اطلاعات مربوط به موقعیت شناور و همچنین بزرگی و جهت عوامل موثر محیطی (نیروی باد، نیروی امواج دریا و ...) بر موقعیت شناور را برای سیستم کنترل کننده ی کامپیوتری بر عهده دارند سپس سیستم کنترل کننده ی کامپیوتری این اطلاعات را تحلیل و دستورات را برای سیستم رانشی که از تراستر ها، پروپلر ها و سکان ها می باشد ارسال می کند. در شکل ۳ این عملکردها آورده شده است.

شکل ۴ نمودار تفکیک ساختار بخش خروجی محصول سیستم مورد مطالعه



سپس برای بررسی نحوه عملکرد خروجی سیستم و ترتیب عملکرد اجزاء نمودار بلوکی جریان عملکرد را رسم می‌کنیم در شکل ۵ نمودار بلوکی جریان عملکرد مبتنی بر سطوح سیستم، خروجی سیستم مورد مطالعه در سه سطح آورده شده است.

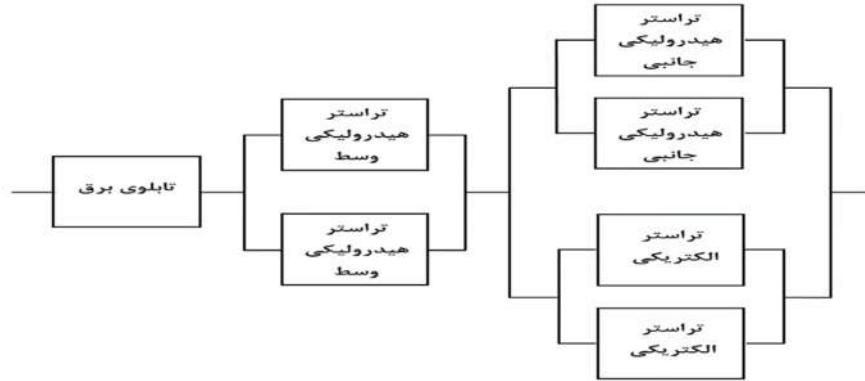


شکل ۵ نمودار بلوکی جریان عملکرد مبتنی بر سطوح سیستم، سیستم مورد مطالعه

۱۰- محاسبه‌ی قابلیت اطمینان با در نظر گرفتن شکست علت مشترک

در این قسمت با توجه به شناسایی سیستم به کمک نمودار بلوکی قابلیت اطمینان به محاسبه‌ی قابلیت اطمینان سیستم می‌پردازیم و برای در نظر گرفتن وابستگی‌های سیستم از مدل فاکتور بتا، روش ارائه شده در روش PDS و قوانین استفاده می‌کنیم، تا قابلیت اطمینان سیستم را به طور دقیق محاسبه کنیم. با توجه به مطالب مطرح شده نمودار بلوکی قابلیت اطمینان سیستم مورد مطالعه در شکل ۶ آمده است.

باتوجه به تحلیل نمودار تفکیک ساختار محصول و نمودار بلوکی جریان عملکرد به شناسایی اجزاء تشکیل دهنده و ارتباط و نحوه‌ی عملکرد خروجی سیستم تثبیت موقعیت دینامیکی پرداختیم. خروجی سیستم تثبیت موقعیت دینامیکی شناور مورد مطالعه دارای مجموعه‌ی تراسترهای حرکت رول و هیو و مجموعه‌ی تراسترهای حرکت یاو، سوچ و سووی و تابلوی برق می‌باشد. که وظیفه‌ی این سیستم‌ها اعمال نیروی تعیین شده توسط سیستم مرکزی در جهت مناسب می‌باشد. به نحوی که دستورات ابتدا از سیستم کامپیوتر مرکزی به تابلوی برق سیستم رفته، سپس تابلوی برق دستور لازم را به تراسترهای تعیین شده ارسال می‌کند و تراسترها باتوجه به میزان و جهت مورد نیاز نیروی مورد نظر را اعمال می‌کند.



شکل ۶ نمودار بلوکی قابلیت اطمینان سیستم مورد مطالعه

اطلاعات دیگر مربوط به زیر سیستم‌های خروجی سیستم تثبیت موقعیت دینامیکی شناور مورد مطالعه در جدول ۱ آورده شده است:

این نمودار یک روش هندسی برای نشان دادن اینکه چگونه قابلیت های هر مؤلفه‌ای منجر به موفقیت یا شکست یک سیستم پیچیده می‌شود، می‌باشد. مقدار نرخ خرابی و قابلیت اطمینان و

جدول ۱ اطلاعات زیرسیستم‌های، سیستم مورد مطالعه

نام زیر سیستم	نرخ خرابی (λ)	مرجع تشخیص	زمان (ساعت)	قابلیت اطمینان (R)
تابلوی برق	$\lambda = 0.0000251258$	کاتالوگ	400	99%
تراستر هیدرولیکی حرکات رول و هیو	$\lambda_1 = 0.000050506768$ $\lambda_2 = 0.000128233$	کاتالوگ تماس با سازنده= R2	400	R1=98% R2=95%
تراستر هیدرولیکی حرکات یاو، سووی و سوچ	$\lambda_1 = 0.0000251258$ $\lambda_2 = 0.000076148$	کاتالوگ تماس با سازنده= R2	400	R1=99% R2=97%
تراستر الکتریکی حرکات یاو، سووی و سوچ	$\lambda_1 = 0.000128233$ $\lambda_2 = 0.000208454$	کاتالوگ تماس با سازنده= R2	400	R1=95% R2=92%

قابلیت اطمینان کل چهار تراستر دو معادل که غیر یکسان می‌باشند داریم، که برای در نظر گرفتن شکست علت مشترک در این حالت از مدل ارائه شده در فصل سوم این پژوهش استفاده شد. در ادامه نحوه محاسبه قابلیت اطمینان مجموعه‌ی تراستر-های هیدرولیکی حرکات رول و هیو به تفصیل آمده است. با توجه استفاده از مدل فاکتور بتا نرخ بتا در برای تراسترهای سیستم تثبیت موقعیت دینامیکی مورد مطالعه با توجه به نظر کارشناسان در جدول ۲ آمده است.

لازم به ذکر است رابطه‌ی نرخ خرابی و قابلیت اطمینان با در فرض نرخ خرابی توزیع نمایی در نظر گرفته شده است. در قسمت خروجی سیستم تثبیت موقعیت دینامیکی مورد مطالعه که شامل تراسترهای هیدرولیکی و الکتریکی حرکات یاو، سوچ و سووی، تراسترهای هیدرولیکی حرکات رول و هیو و تابلوی برق می‌باشد. که در دو زیر سیستم آن وابستگی وجود دارد و وابستگی موجود در این دو زیر سیستم از نوع شکست علت مشترک و شکست آبخاری می‌باشد. این دو زیر سیستم عبارت است از مجموعه‌ی تراسترهای هیدرولیکی حرکات رول و هیو و مجموعه‌ی تراسترهای هیدرولیکی و الکتریکی حرکات یاو، سوچ و سووی. که برای در نظر گرفت شکست علت مشترک از مدل فاکتور بتا و برای در نظر گرفتن شکست آبخاری از قوانین احتمال استفاده شد. اما در زیر سیستم تراسترهای الکتریکی و هیدرولیکی حرکات یاو، سوچ و سووی بعد از محاسبه‌ی معادل دو تراستر الکتریکی و معادل دو تراستر هیدرولیکی برای محاسبه

جدول ۳ اطلاعات وابستگی و نوع وابستگی موجود بین زیر سیستم‌های، سیستم مورد مطالعه

نام زیر سیستم	عدد بتا
دو تراستر هیدرولیکی حرکات رول و هیو	۳٪
دو تراستر الکتریکی حرکات یاو، سوچ و سووی	۵٪

$$R_{H_r,h} = 0.9993941 * [1 - ((1 - 0.980594165) * (1 - 0.951463075))] = \%99.84528$$

برای مجموعه‌ی تراسترهای هیدرولیکی حرکات یاو، سوچ و سووی برای خرابی‌های شکست علت مشترک با توجه به مدل فاکتور بتا داریم:

$$\beta \lambda_1 = 0.03 * 0.0000251258 = 0.00000075378$$

$$R = e^{-\beta \lambda_1 t} = e^{-(0.00000075378 * 400)} = \%99.96985$$

برای قسمت شکست‌های منفرد با در نظر گرفتن شکست آبخاری داریم:

$$(1 - \beta) \lambda_1 = (1 - 0.03) 0.0000251258 = 0.000024372$$

$$R_1 = e^{-(1-\beta)\lambda_1 t} = e^{-(0.000024372 * 400)} = \%99.02985$$

$$(1 - \beta) \lambda_2 = (1 - 0.03) 0.000076148 = 0.00007386356$$

$$R_2 = e^{-(1-\beta)\lambda_2 t} = e^{-(0.00007386356 * 400)} = \%97.08867$$

از این رو قابلیت اطمینان مجموعه‌ی تراسترهای هیدرولیکی حرکات یاو، سوچ و سووی برابر است با:

$$R_{H_y,s,s} = 0.9996985 * [1 - ((1 - 0.9902985) * (1 - 0.9708867))] = \%99.9416$$

برای مجموعه‌ی تراسترهای الکتریکی حرکات یاو، سوچ و سووی برای خرابی‌های شکست علت مشترک با توجه به مدل فاکتور بتا داریم:

$$\beta \lambda_1 = 0.05 * 0.000128233 = 0.00000641165$$

$$R = e^{-\beta \lambda_1 t} = e^{-(0.00000641165 * 400)} = \%99.74386$$

برای قسمت شکست‌های منفرد با در نظر گرفتن شکست آبخاری داریم:

$$(1 - \beta) \lambda_1 = (1 - 0.05) 0.000128233 = 0.00012182$$

$$R_1 = e^{-(1-\beta)\lambda_1 t} = e^{-(0.00012182 * 400)} = \%95.244$$

$$(1 - \beta) \lambda_2 = (1 - 0.05) 0.000208454 = 0.000198$$

$$R_2 = e^{-(1-\beta)\lambda_2 t} = e^{-(0.000198 * 400)} = \%92.385513$$

از این رو قابلیت اطمینان مجموعه‌ی تراسترهای هیدرولیکی حرکات یاو، سوچ و سووی برابر است با:

$$R_{H_y,s,s} = 0.9974386 * [1 - ((1 - 0.95244) * (1 - 0.92385513))] = \%99.3826$$

۳٪	دو تراستر هیدرولیکی حرکات یاو، سوچ و سووی
----	---

با توجه به شناسایی سیستم وابستگی‌های سیستم و نوع وابستگی‌های موجود بین زیر سیستم‌های مختلف در جدول 4 آمده است.

جدول 4 میزان وابستگی میان زیر سیستم‌های، سیستم مورد مطالعه

زیر سیستم	نوع وابستگی موجود	روش محاسبه
تابلوی برق	عدم وجود وابستگی	-
مجموعه‌ی تراسترهای هیدرولیکی حرکات رول و هیو	شکست علت مشترک شکست آبخاری	مدل فاکتور بتا قوانین احتمال
مجموعه‌ی تراسترهای هیدرولیکی حرکات یاو، سوچ و سووی	شکست علت مشترک شکست آبخاری	مدل فاکتور بتا قوانین احتمال
مجموعه‌ی تراسترهای الکتریکی حرکات یاو، سوچ و سووی	شکست علت مشترک شکست آبخاری	مدل فاکتور بتا قوانین احتمال

باتوجه به شناسایی وابستگی‌های موجود بین زیر سیستم‌های گوناگون قابلیت اطمینان این زیر سیستم‌ها را با در نظر گرفتن وابستگی‌های موجود محاسبه می‌کنیم. برای مجموعه‌ی تراسترهای هیدرولیکی حرکات رول و هیو برای خرابی‌های شکست علت مشترک با توجه به مدل فاکتور بتا داریم:

$$\beta \lambda_1 = 0.03 * 0.0000505067 = 0.0000015152$$

$$R = e^{-\beta \lambda_1 t} = e^{-(0.0000015152 * 400)} = \%99.93941$$

برای قسمت شکست‌های منفرد با در نظر گرفتن شکست آبخاری داریم:

$$(1 - \beta) \lambda_1 = (1 - 0.03) 0.0000505067 = 0.0000489915$$

$$R_1 = e^{-(1-\beta)\lambda_1 t} = e^{-(0.0000489915 * 400)} = \%98.0594165$$

$$(1 - \beta) \lambda_2 = (1 - 0.03) 0.000128233 = 0.000124386$$

$$R_2 = e^{-(1-\beta)\lambda_2 t} = e^{-(0.000124386 * 400)} = \%95.1463075$$

از این رو قابلیت اطمینان مجموعه‌ی تراسترهای هیدرولیکی حرکات رول و هیو برابر است با:

$$R_{\text{Output}} = R \quad * \text{تراسترهای حرکات هیو و رول}$$

$$R = 98.842675\% \quad * \text{تابلوی برق} \quad * \text{تراسترهای حرکات سووی، سوچ و یاو}$$

اگر قابلیت اطمینان سیستم مورد مطالعه را بدون در نظر گرفتن وابستگی‌های موجود محاسبه کنیم متوجه اختلاف موجود بین این دو مقدار خواهیم شد، قابلیت اطمینان سیستم بدون در نظر گرفتن وابستگی‌های موجود برابر است با:

$$R = 98.9603\%$$

تفاوت این دو مقدار میزان تاثیر وابستگی در قابلیت اطمینان سیستم می‌باشد که با E_D نمایش داده می‌شود و در سیستم مورد مطالعه برابر است با:

$$E_D = 0.1176\%$$

ممکن است این مقدار کم باشد اما با توجه به شدت تاثیر وقوع آن که تمامی سیستم را تحت تاثیر قرار می‌دهد از اهمیت ویژه-ای برخوردار است. این نکته که علاوه بر احتمال وقوع خرابی شدت وقوع آن نیز اهمیت دارد در تکنیک تحلیل حالات بالقوه خطا و آثار آن نیز بیان شده است. دومی آنکه علت کم شدن این مقدار در سیستم مورد مطالعه می‌باشد، دومی آنکه قابلیت اطمینان اجزائی که دارای وابستگی می‌باشند بسیار بالا می‌باشد، اگر قابلیت اطمینان اجزاء درای وابستگی پایین‌تر باشد این تفاوت نیز بیشتر و قابل ملموس تر می‌باشد. که در ادامه با در نظر گرفتن قابلیت اطمینان ۹۰٪ و ۸۰٪ برای اجزاء دارای وابستگی به محاسبه تفاوت مقدار قابلیت اطمینان سیستم مورد مطالعه در دو حالت با در نظر گرفتن وابستگی و عدم در نظر گرفتن وابستگی پرداختیم، تا تاثیر میزان وابستگی در قابلیت اطمینان سیستم با توجه به مقادیر مختلف را محاسبه کنیم. لازم به ذکر است با توجه به تعریف قابلیت اطمینان که کیفیت به همراه زمان می‌باشد، در سیستم مورد مطالعه کیفیت را انجام ماموریت توسط سیستم تعریف کردیم و زمان آن را نیز با توجه به دوره‌ی نت سیستم ۴۰۰ ساعت کارکرد در نظر گرفتیم.

در حالت دوم، قابلیت اطمینان اجزاء دارای وابستگی که شامل تراسترهای هیدرولیکی و الکتریکی حرکات یاو، سوچ و سووی و تراسترهای هیدرولیکی حرکات هیو و رول ۹۰٪ و برای حالت شکست آبخاری در حالت از دست رفتن یک جزء ۸۸٪ و نرخ - های وابستگی همان نرخ‌های حالت اولیه فرض شد، در این حالت میزان تاثیر وابستگی در قابلیت اطمینان سیستم برابر است با:

$$E_{D_2} = 0.43\%$$

با توجه به محاسبات انجام شده برای دو معادل تراستر هیدرولیکی حرکات یاو، سوچ و سووی و دو تراستر الکتریکی حرکات یاو، سوچ و سووی قابلیت اطمینان را با در نظر گرفتن شکست علت مشترک و شکست آبخاری محاسبه کرده‌ایم که مقدار قابلیت اطمینان این دو معادل در بالا آمده است. اما برای محاسبه‌ی قابلیت اطمینان این دو جزء معادل که با یکدیگر دارای وابستگی از نوع شکست علت مشترک می‌باشند مشکل نامتقارن بودن اجزاء وجود دارد. برای محاسبه‌ی قابلیت اطمینان با در نظر گرفتن شکست‌های علت مشترک برای این دو جزء نامتقارن از فرمول ارائه شده در روش PDS استفاده می‌کنیم. برای محاسبه‌ی قسمت شکست علت مشترک با توجه به روش PDS داریم:

$$\lambda_h = \frac{-\ln R_h}{t} = 0.000015483$$

$$\lambda_e = \frac{-\ln R_e}{t} = 0.000001460426$$

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\lambda_e * \lambda_h} = 0.000004755184$$

$$\beta \bar{\lambda} = 0.02 * 0.000004755184 = 0.0000009510368$$

$$R_{ccf} = e^{-\beta \bar{\lambda} t} = e^{-(0.0000009510368 * 400)} = 99.996196\%$$

برای قسمت شکست‌های منفرد داریم:

$$(1 - \beta)\lambda_h = (1 - 0.02) 0.000015483 = 0.00001517334$$

$$R_{i,h} = e^{-(1-\beta)\lambda_h t} = e^{-(0.00001517334 * 400)} = 99.3949\%$$

$$(1 - \beta)\lambda_e = (1 - 0.02) 0.000001460426 = 0.000001431217$$

$$R_{i,e} = e^{-(1-\beta)\lambda_e t} = e^{-(0.000001431217 * 400)} = 99.94276\%$$

$$R_i = [1 - (1 - R_{i,h}) * (1 - R_{i,e})] = 99.9996536\%$$

از این رو قابلیت اطمینان مجموعه‌ی تراسترهای هیدرولیکی حرکات یاو، سوچ و سووی با در نظر گرفتن وابستگی‌های سیستم برابر است با:

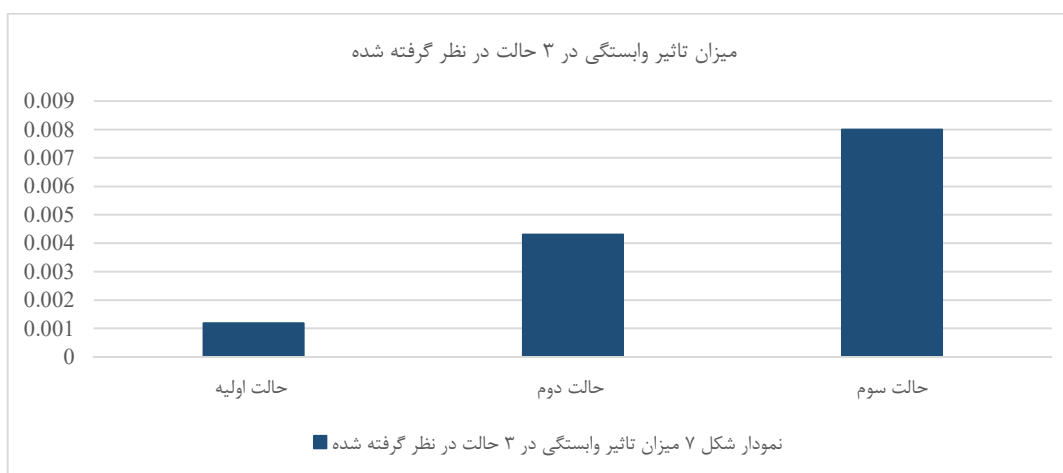
$$R = R_i * R_{ccf} = 99.9958\%$$

بنابراین قابلیت اطمینان کل سیستم مورد مطالعه که خروجی سیستم تثبیت موقعیت دینامیکی یک شناور می‌باشد برابر است با:

$$E_{D_3} = \%0.8$$

در نمودار شکل ۷ تاثیر وابستگی در قابلیت اطمینان سیستم مورد مطالعه در فرض‌های مختلف آمده است.

در حالت سوم، قابلیت اطمینان اجزاء دارای وابستگی که شامل تراسترهای هیدرولیکی و الکتریکی حرکات یاو، سوچ و سووی و تراسترهای هیدرولیکی حرکات هیو ورول ۸۰٪ و برای حالت شکست آبخاری در حالت از دست رفتن یک جزء ۷۸٪ و نرخ - های وابستگی همان نرخ‌های حالت اولیه فرض شد، در این حالت میزان تاثیر وابستگی در قابلیت اطمینان سیستم برابر است با:



$$\beta_h = \%3$$

$$\beta_e = \%5$$

در نتیجه فاکتور بتا با توجه به روش ارائه شده در این پژوهش برابر است با:

$$\beta = \sum_{i=1}^n w_i \cdot \beta_i = 0.335 \times 0.03 + 0.665 \times 0.05 = 0.0433 = \%4.33$$

برای بدست آوردن میزان λ برای محاسبه قابلیت اطمینان قسمت شکست علت مشترک از همان میانگین هندسی که در روش PDS مطرح شد استفاده می‌کنیم. بنابر این داریم:

$$\lambda_h = \frac{-\ln R_h}{t} = 0.000015483$$

$$\lambda_e = \frac{-\ln R_e}{t} = 0.000001460426$$

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\lambda_e * \lambda_h} = 0.000004755184$$

$$\beta_t \bar{\lambda} = 0.0433 * 0.000004755184 = 0.0000002058994672$$

$$R_{ccf} = e^{-\beta_t \bar{\lambda} t} = e^{-(0.000000205899467 * 2400)} = \%99.991764$$

برای قسمت شکست‌های منفرد داریم:

$$(1 - \beta_t) \lambda_h = (1 - 0.0433) 0.000015483 = 0.0000148280691$$

۱۱- تعیین عامل β به کمک تکنیک فرآیند تحلیل سلسله مراتبی

در این بخش با توجه به محاسبات صورت گرفته برای محاسبه قابلیت اطمینان سیستم، در گام‌های آخر محاسبات برای محاسبه قابلیت اطمینان با در نظر گرفتن شکست علت مشترک برای زیر سیستم‌های غیر یکسان به جای استفاده از روش PDS از روش ارائه شده در این پژوهش که به کمک فرآیند تحلیل سلسله مراتبی است قابلیت اطمینان سیستم با اجزاء غیر یکسان را محاسبه خواهیم کرد و این مقدار بدست آمده در هر دو روش را با یکدیگر مقایسه خواهیم کرد. باتوجه به استفاده از روش ارائه شده برای تعیین وزن هر جزء موازی به کمک فرآیند تحلیل سلسله مراتبی وزن مجموعه تراسترهای هیدرولیکی حرکات یاو، سوچ و سووی را با W_h و وزن مجموعه تراسترهای هیدرولیکی حرکات یاو، سوچ و سووی را با W_e مشخص کردیم لازم به ذکر است که در فرآیند تحلیل سلسله مراتب از نظرات گروهی ۵ نفره از متخصصان صنعت و دانشگاه استفاده شد. مقادیر بدست آمده برای وزن اجزاء برابر است با:

$$W_h = 0.335$$

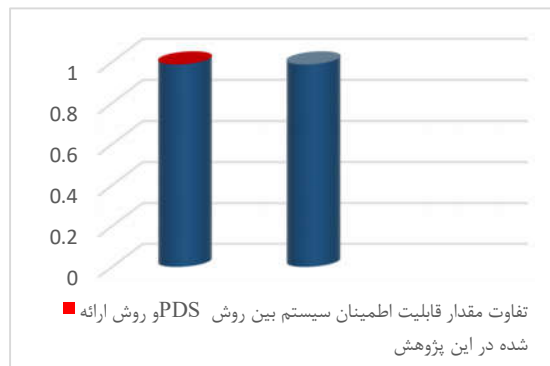
$$W_e = 0.665$$

که باتوجه به مقدار β برای این دو زیر سیستم β_t برابر است با:

یکسان و مدل ارائه شده در روش PDS میان اجزاء غیر یکسان و سپس با توجه به ضعف موجود در روش PDS مدلی ترکیبی بر اساس ترکیب مدل PDS و فرآیند تحلیل سلسله مراتبی برای در نظر گرفتن شکست‌های علت مشترک در اجزاء غیر یکسان ارائه شد. سپس به مقایسه روش ارائه شده با روش PDS به وسیله محاسبه قابلیت اطمینان سیستم مورد مطالعه پرداخته شد. لازم به ذکر است برای در نظر گرفتن تاثیر شکست‌های آبخاری از قوانین احتمال استفاده کردیم.

در این پژوهش با مقایسه‌ی مقدار قابلیت اطمینان با در نظر وابستگی سیستم که در سیستم مورد مطالعه از نوع شکست علت مشترک و شکست آبخاری می‌باشد با مقدار قابلیت اطمینان سیستم بدون در نظر گرفتن این شکست‌های وابسته، متوجه می‌شویم که بین این دو مقادیر تفاوت وجود دارد، که این تفاوت در سیستم‌های حساس از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. لازم به ذکر است این تفاوت ممکن است اندک باشد ولی به دلیل از دست رفتن کل سیستم از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است، از طرفی دیگر در سیستم‌هایی که زیر سیستم‌های دارای وابستگی آن قابلیت اطمینان کم‌تر از ۹۰٪ دارد تاثیر وابستگی در قابلیت اطمینان سیستم چشم‌گیر خواهد بود.

لازم به ذکر است این مقاله برگرفته شده از پایان نامه‌ی



کارشناسی ارشد در دانشگاه صنعتی مالک اشتر می‌باشد.

۱۳- محدودیت‌های پژوهش

محدودیت اصلی این پژوهش مقدار قابلیت اطمینان اجزاء سیستم می‌باشد که با توجه به سیستم مورد مطالعه که سیستمی نظامی می‌باشد با تخمین در اختیار پژوهشگران قرار گرفته است.

$$R_{i,h} = e^{-(1-\beta_t)\lambda_h t} = e^{-(0.0000148280691 * 400)} = 99.4086\%$$

$$(1 - \beta_t)\lambda_e = (1 - 0.0433) 0.000001460426 = 0.0000013986499802$$

$$R_{i,e} = e^{-(1-\beta_t)\lambda_e t} = e^{-(0.0000013986499802 * 400)} = 99.9440\%$$

$$R_i = [1 - (1 - R_{i,h}) * (1 - R_{i,e})] = 99.9996688\%$$

از این رو قابلیت اطمینان مجموعه‌ی تراسترهای هیدرولیکی حرکات یابو، سوچ و سووی با در نظر گرفتن وابستگی‌های سیستم با توجه به روش ارائه شده برابر است با:

$$R = R_i * R_{ccf} = 99.991432\%$$

بنابراین قابلیت اطمینان کل سیستم مورد مطالعه که خروجی سیستم تثبیت موقعیت دینامیکی یک شناور می‌باشد با توجه به روش ارائه شده برابر است با:

$$R_{output} = R_{trastr} * R_{hydro} = 98.838358\%$$

با توجه به مقدار بدست آمده برای قابلیت اطمینان سیستم با در نظر گرفتن شکست‌های وابسته به کمک روش ارائه شده در این پژوهش که تغییری بر روی روش PDS بوده است تفاوت مقدار بدست آمده بین محاسبه به کمک روش ارائه شده در این پژوهش و روش PDS در شکل ۸ آمده است.

شکل ۸ تفاوت مقدار قابلیت اطمینان سیستم بین روش PDS و روش ارائه شده در این پژوهش

که این مقدار برابر است با:

$$Def=0.00004317$$

۱۲- نتیجه گیری

در این پژوهش به دنبال محاسبه‌ی دقیق قابلیت اطمینان خروجی سیستم تثبیت موقعیت دینامیکی یک شناور بودیم که ابتدا به شناسایی سیستم به کمک تکنیک‌های تفکیک ساختار محصول، نمودار بلوکی جریان عملکرد پرداخته شد. در تحلیل و شناسایی سیستم مورد مطالعه وجود شکست‌های وابسته در سیستم مشاهده شد و با بررسی ماهیت زیر سیستم‌هایی که در آن وابستگی وجود داشت، شکست وابسته‌ی سیستم از نوع شکست‌های علت مشترک و شکست آبخاری تشخیص داده شد. سپس به کمک نمودار بلوکی قابلیت اطمینان به محاسبه قابلیت اطمینان سیستم مورد مطالعه پرداختیم و برای در نظر گرفتن تاثیر شکست‌های علت مشترک از مدل فاکتور بتا میان اجزاء

Reliability Engineering and System Safety, Volume 91, Issue 2, Pages 249-256.

مراجع

- [۷] کرباسیان، مهدی و طباطبایی، لیلا (۱۳۹۹). آشنایی با قابلیت اطمینان، انتشارات ارکان دانش، چاپ دوم.
- [8] Juran, J and Gryna, F (1988). *Quality Control Handbook, Fourth Edition*, McGraw-Hill, New York, 1988
- [9] Kapur, K.C and Lamberson L.R (1977). *Reliability in Engineering Design*, Wiley, New York.
- [10] Denson, W (1998). *The History of Reliability Prediction*, IEEE TRANSACTIONS ON Reliability, VOL. 47, NO. 3-SP.
- [۱۱] بیلینتون، روی و آلن، رونالد (۱۳۹۳). *ارزیابی قابلیت اطمینان سیستمهای مهندسی مفاهیم و روشها*، ترجمه محسن رضائیان، انتشارات دانشگاه صنعتی امیر کبیر، چاپ پنجم.
- [12] Humphreys, P and Johnston, B.D (1987). *Dependent Failure Procedure Guide SRD-R-418*”, United Kingdom Atomic Energy Authority, Safety and Reliability Directorate, March.
- [18] Ronan, Fitzmaurice and David, Fitzpatrick (2010) *Cascading Failure in a Complex System Model for Power Systems: Operating and Planning Policy*, Doctor of Philosophy thesis, University College Dublin.
- [۱۹] Freund, J. E (1961). *A Bivariate Extension of the Exponential Distribution*, Journal of the American Statistical Association.
- [۲۰] NUREG-75/014 (1975). *Reactor safety: An assessment of accident risk in us commercial nuclear power plants*, Technical report, U.S. Nuclear Regulatory.
- [۲۱] Haugea, S., Hokstada, P., Håbrekkea, S and Lundteigen, M.A (2015). *Common Cause Failures in Safety-Instrumented Systems: Using Field Experience from the Petroleum Industry*, Journal of Reliability Engineering & System Safety.
- [23] Marvin, Rausand and Arnljot, Høyland (2004). *A System Reliability Theory*, John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, USA, 2. Edition.
- [24] Smith, A.M and Watson, I.A (1980). *Common cause failures – a dilemma in perspective*, Journal of Reliability Engineering.
- [1] Endrenyi, J (1978). *Reliability Modeling in Electric Power Systems*, John Wiley and Sons.
- [2] Billinton, R and Allan, R (1984). *Reliability Evaluation of Power Systems*, Plenum Press, New York .
- [۳] شریفی، محمدمهدی، مزینان، حسن، غلامی، کرباسیان، مهدی و شریفی، محمدحسین (۱۳۹۱). *مهندسی قابلیت اطمینان*، انتشارات امید انقلاب. چاپ اول، تهران
- [۴] موحدی، یزدان، دولتخواه، مهدی، کرباسیان، مهدی و راستی، وحید (۱۳۹۲). *طراحی و توسعه الگویی جهت تخصیص و تخمین قابلیت اطمینان سیستمهای پیچیده به روش شبکه های بیزین مطالعه موردی: شاتر یک دوربین (High-Tech)*، نشریه بین المللی مهندسی صنایع و مدیریت تولید.
- [۵] کرباسیان، مهدی و قوچانی، محمدمهدی (۱۳۹۰). *تخصیص قابلیت اطمینان*، انتشارات ناقوس.
- [6] Saleh, J.H and Marais. K (2006). *Highlights from the Early History of Reliability Engineering*,
- [13] Giuseppe, Mauri (2000). *Integrating Safety Analysis Techniques, Supporting Identification of Common Cause Failures*, Doctor of Philosophy thesis, University of York, Department of Computer Science.
- [14] Wenjing, Sun and Marvin, Rausand (2013). *Determination of Beta-factors for Safety Instrumented Systems*, Master Thesis in Norwegian University of Science and Technology, Department of Production and Quality Engineering.
- [15] Yuan-Jian, Y., Hong-Zhong, H., Yu, L., Shun-Peng, Z and Weiwen, P (2014). *Reliability analysis of electrohydraulic servo valve suffering Common Cause Failure*, Journal of Eksploatacja I Niezawodnosc – Maintenance and Reliability.
- [16] Borcsok, J and Holub, P (2008). *Different approaches for probability of common cause failure on demand calculations for safety integrity systems*, Proceedings of International Conference on Computer Systems and Applications.
- [17] Borcsok, J., Schaefer, S and Ugljesa, E (2007). *Estimation and evaluation of common cause failures*, Proceedings of Second International Conference.

[28] Hammoud, S (2012). *Ship Motion Control Using Multi-controller Structure*, Journal of Maritime Research.

[29] Tannuri, E.A., Agostinho, A.C., Morishita, H.M and Moratelli. L (2010). *Dynamic positioning systems: An experimental analysis of sliding mode control*, Journal of Control Engineering Practice

[25] Lundteigen, M. A (2010). *Lecture slides: Common cause failures. RAMS Group. NTNU*, Norwegian University of Science and Technology, 2010.

[26] Marvin, Rausand (2014). *Reliability of Safety-Critical Systems: Theory and Applications*, Wiley, ISBN: 978-1-118-11272-4, March 2014.

[27] Humpreys R A (1987). *Assigning a numerical value to the beta factor common cause evaluation*. Reliability '87. Proceedings paper 2C.