مقاله پژوهشی

تخصیص قابلیت اطمینان با رویکرد تاب‌آوری زیرسیستم‌ها با روش فو
مطالعه موردی: صندلی پران هواپیمای جنگنده

الهام آقازاده
(نویسنده عهده‌دار مکاتبات) دکترا، مجتمع دانشگاهی صنایع و مدیریت، دانشگاه مالک اشتر، اصفهان، ایران.e.aghazadeh88@yahoo.com

مریم بهرامی
دکترا، مجتمع دانشگاهی صنایع و مدیریت، دانشگاه مالک اشتر، اصفهان، ایران.ma.industrial94@gmail.com

بهاره فتاحی
کارشناسی ارشد، مهندسی صنایع، مجتمع دانشگاهی صنایع و مدیریت دانشگاه مالک اشتر، اصفهان، ایران. soloist_eli@yahoo.com

مهدی کرباسیان
استاد تمام، مهندسی صنایع، مجتمع دانشگاهی صنایع و مدیریت دانشگاه مالک اشتر، تهران، ایران. mkarbasi@mut-ac.ir

چکیده: تخصیص، یکی از فعالیت‌های مهم در فرآیند قابلیت اطمینان می‌باشد که چنانچه به درستی انجام نشود، دستیابی به اهداف قابلیت اطمینان برای کل سیستم امکان پذیر نخواهد بود. برای تخصیص قابلیت اطمینان روش‌هایی ارائه شده که خالی از نقص نبوده است. در این پژوهش پنج فاکتور پیچیدگی، تکنولوژی جدید، زمان عملکرد، محیط و تاب‌آوری زیرسیستم‌ها در نظر گرفته شده و هدف این است که رویکردی جدید در تخصیص قابلیت اطمینان به روش امکان‌پذیری هدف در نظر گرفته شود تا بتوان قطعات و زیرسیستم‌های مختلف را بر اساس قابلیت اطمینان و تاب‌آوری مورد نظر بررسی و اندازه‌گیری نمود. نتایج به دست آمده به روش فو با پنج فاکتور مذکور بررسی و اندازه‌گیری و در نهایت اعتبارسنجی می‌شود.

واژگان کلیدی: تخصیص قابلیت اطمینان، تاب‌آوری، روش فو

۱- مقدمه

روند توسعه و گسترش صنایع پیشرفته در عصر حاضر، با انبوهی از حجم تولیدات صنعتی؛ نیاز هر چه بیشتر به اجرای روش‌های پیشگویانه در مقابله با وقوع خرابی های احتمالی را آشکار می سازد . قابلیت اطمینان یکی از مهم ترین مشخصه‌های کیفی قطعات، محصولات و سیستم‌های پیچیده و بزرگ می‌باشد که نقش حیاتی در عملکرد این سیستم‌ها ایفا می‌کند [۱]. قابلیت اطمینان یک سیستم عبارت است از احتمال عملکرد رضایت بخش آن سیستم تحت شرایط کار مشخص و برای مدت زمان معین. به عبارتی شامل سه بخش اصلی احتمال عملکرد رضایت بخش، زمان و شرایط کار معین است[۲]. تخصیص قابلیت اطمینان یک مفهوم مهم از مهندسی قابلیت اطمینان است که معمولاً در مواجهه با قابلیت اطمینان معین یک سیستم به کار گرفته می‌شود. طراحی بر مبنای قابلیت اطمینان یعنی طراحی و انتخاب اجزاء و زیرسامانه‌های یک سامانه طوری که محصول نهایی به قابلیت اطمینان موردنظر دست یابد [۳]. اصولاً هدف از تخصیص قابلیت اطمینان این است که در پایان فاز طراحی مفهومی بدانیم که آیا با توانمندی‌های موجودی که در دسترس داریم امکان

Corresponding author: e.aghazadeh88@yahoo.com
https://doi.org/10.48313/jqem.2023.192565

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۱/۲۳ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۲/۱۲
دوره ۱۳/ شماره ۲
صفحات ۱۴۷-۱۶۴

ساخت و نهایی شدن چنین محصولی با الزامات مورد نظر وجود دارد یا خیر؟. از آنجایی که در مرحله طراحی مهندسی و ساخت بحث تأمین‌کنندگان قطعات به دلیل شرایط اقتصادی حال حاضر کشور و اختلافات موجود در زنجیره تأمین به خاطر تحریم اهمیت بالایی پیدا می‌کند، به نظر می‌رسد که لحاظ نمودن اهمیت آن در مرحله طراحی مفهومی که در بحث تخصیص قابلیت اطمینان می‌گنجد، ضروری است. لذا مسئله اصلی در این پژوهش این است که چگونه می‌توانیم روشی سیستماتیک و ساختار یافته را به‌گونه‌ای ارائه دهیم که سنجه‌ای واقعی تر برای تخصیص ارائه دهیم. روش‌های موجود برای این کار هر کدام نقاط قوت و ضعفی دارند که نقاط ضعف در اکثر روش‌های موجود به نبود ارتباط هدفمند و مؤثر با طراحی سیستم‌های مهندسی برمی‌گردد. برای رفع این مشکل و عملیاتی کردن تخصیص قابلیت اطمینان و ارتباط مؤثر بین طراحی و تخصیص سیستم‌های پیچیده، از روش فو به‌عنوان یک روش کارآمد در مسائل نظامی و غیر نظامی به‌عنوان مبنای روش پژوهش حاضر استفاده می‌گردد. علت دیگر استفاده از روش فو این است که برای تمام مهندسین طراح قابل درک است. این امر باعث درک مشترکی از مبحث مهندسی قابلیت اطمینان بین همه مهندسین می‌باشد و این خود باعث بهبود طراحی‌ها در مرحله بعدی می‌شود[۱]. از آنجایی که در مرحله طراحی مهندسی و ساخت، بحث تاب‌آوری زیرسیستم‌ها اهمیت بالایی پیدا می‌کند، به نظر می رسد که لحاظ نمودن اهمیت آن در مرحله طراحی مفهومی که در بحث تخصیص قابلیت اطمینان می گنجد، ضروری است. با توجه به نکات و نقش کلیدی تاب‌آوری زیر سیستم‌ها در ساخت سیستم پیچیده ای چون صندلی پران به منظور تأمین قطعات آن، جهت محاسبه فاکتور تاب‌آوری در روش فو این مفهوم توسعه یافته است[۴]. در مقاله با عنوان" تخمین و بهبود قابلیت اطمینان حرکت گلوله ۲۳ میلی متری در لوله سلاح با استفاده از شبکه‌های بیزین و تجزیه و تحلیل حالات بالقوه خرابی با تئوری فازی" برای محاسبه قابلیت اطمینان و ارتقاء عملکرد سامانه سلاح مهمات ابتدا با استفاده از بلوک دیاگرام جریان کارکردی تمام بخش‌های محصول و در ادامه با استفاده از آن، سطوح بالای مربوط به درخت خرابی را شناسایی کردند. پس از آن نمودار قابلیت اطمینان تهیه و با استفاده از تکنیک بیزین فازی قابلیت اطمینان تخمین زده شده و سپس با استفاده از تحلیل آثار و حالات خرابی به صورت فازی، خطاهای طراحی شناسایی و بهبود داده شده است[۵]. در مقاله‌ای با عنوان " تخصیص قابلیت اطمینان و کاربرد در آن تعیین استراتژی‌های بهینه دفاع و حمله" با در نظر گرفتن عدم قطعیت در ارزیابی میزان عوامل تأثیرگذار، با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری با معیارهای چندگانه در محیط فازی، میزان اهمیت هرکدام از زیرسیستم‌ها محاسبه و با توجه به ساختار بلوک دیاگرام قابلیت اطمینان سیستم، عدد قابلیت اطمینان زیر سیستم‌ها مشخص شد[۱]. در پژوهشی تحت عنوان "طراحی و توسعه الگویی جهت تخصیص و تخمین قابلیت اطمینان سیستم‌های پیچیده به روش شبکه‌های بیزین (مطالعه موردی شاتر یک دوربین) با ترسیم بلوک دیاگرام کارکردی جریان و ماتریس ساختار طراحی، اجزاری کارکردی مهم شاتر دوربین را شناسایی کردند و سپس با استفاده از روش فو و زنجیره مارکوف، قابلیت اطمینان تک تک اجزا و زیر سیستم را ها محاسبه کردند. در نهایت بر اساس درخت خرابی شاتر، شبکه بیزین آن رسم شده و سپس قابلیت اطمینان شاتر به را دست آورند. در مقاله‌ای با عنوان "ارائه الگو برای تخصیص قابلیت اطمینان قطعات الکتریکی و مکانیکی" فاکتورهای شرایط محیطی و کارکردی و تکنولوژیکی محصول در دستگاه ۶۲۰ به روش فو وزنجیره مارکف، قابلیت اطمینان تک تک اجزا را محاسبه کردند. سپس هزینه صرف شده برای قطعات و قابلیت اطمینان مجاز آنها در دستگاه بررسی شده است[۶]. در تحقیقی با عنوان "تخصیص قابلیت اطمینان زیر سامانه های ماهواره با بر تحلیل سلسه مراتبی در فاز طراحی مفهومی" متدولوژی جدیدی را برای تخصیص قابلیت اطمینان به زیر سامانه های ماهواره بر، با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی در فاز طراحی مفهومی ارائه گردید. در این پژوهش چهار فاکتور پیچیدگی، تکنولوژی، زمان عملیات و هزینه در نظر گرفته شده است. مزیت استفاده از این روش، تخصیص قابلیت اطمینان زیر سامانه های ماهواره بر در فاز طراحی مفهومی و در نظر گرفتن سازگاری زیرسامانه ها است[۳]. درپژوهشی تحت عنوان "طراحی الگویی برای تخمین قابلیت اطمینان سازه ماهواره به بر روش شبکه‌های بیزین" الگویی برای تخمین قابلیت اطمینان سازه ماهواره بر به روش شبکه‌های بیزین ارائه شد. در این پژوهش ابتدا درخت خطای مربوط به شکست سازه ی یک ماهواره بر سوخت مایع طراحی و سپس به شبکه‌های بیزین تبدیل و درنهایت با استفاده از نظرات خبرگان و تخمین پارامترهای شرطی مدل با استفاده از زنجیره مارکوف مونت کارلو، قابلیت اطمینان کارکرد صحیح سازه ای یک ماهواره بر تخمین گردید. این روش قابلیت اطمینان شرطی اجزاء با در نظر گرفتن توزیع یکنواخت بین و

صفر یک برای آنها تخمین زده شده است. در این روش با داشتن درخت خطای یک سیستم به راحتی میتوان شبکه بیزین معادل را طراحی و سپس قابلیت اطمینان سیستم را به سادگی پیش‌بینی نمود[۷]. در مقاله‌ای با عنوان "تعیین قابلیت اطمینان سیستم ترمز قطار با استفاده دو از روش تحلیلی و شبیه‌سازی مونت کارلو جهت کاهش سوانح ریلی" به تخصیص قابلیت اطمینان پرداخته شد. در این پژوهش قابلیت اطمینان سیستم ترمز قطار با استفاده از روش تحلیلی (مبتنی بر روابط ریاضی و آماری) و روش‌های شبیه‌سازی مونت کارلو محاسبه و با مقایسه آنها این نتیجه حاصل گردید که؛ روش تحلیلی دقت خوبی دارد اما در سیستم‌های پیچیده کار را دشوار می‌کند[۸]. در مقاله‌ای با عنوان "بهینه‌سازی تخصیص قابلیت اطمینان ماهواره با استفاده از الگوریتم ژنتیک" از روش فو برای تخصیص قابلیت اطمینان به هریک از زیر سیستم‌ها استفاده گردید. روش فو با رویکرد کاهش هزینه‌های طراحی و ساخت با کمک الگوریتم ژنتیک تخصیص قابلیت اطمینان را انجام می‌دهند. در این پژوهش یکی از مشکلات؛ تخمین پارامترهای مؤثر در تخصیص شناسایی گردید و این نتیجه حاصل شد که؛ با استفاده از تابع هزینه به‌عنوان تابع هدف می‌توان معیار مناسبی برای تخمین ضرایب به دست آورد[۹]. در پژوهشی با عنوان "بهبود قابلیت اطمینان بر اساس ریسک خرابی و هزینه بهبود" با بهبود هر زیر سیستم متناسب با وزن تخصیص داده شده به بهبود قابلیت اطمینان پرداخته شد[۱۰]. در پژوهشی با عنوان"تهیه یک الگوی اقتصادی برای تخصیص قابلیت اطمینان یک سیستم الکترو نوری" به ایجاد یک مدل چند وجهی با به حداکثر رساندن قابلیت اطمینان سیستم و به حداقل رساندن هزینه‌ها به منظور بررسی هزینه‌های مرحله طراحی و همچنین هزینه‌های مرحله تولید پرداخته شد[۱۱]. در پژوهشی با عنوان "طراحی روش اختصاصی قابلیت اطمینان عمومی با استفاده از مجموعه فازی "با در نظرگرفتن پنج فاکتور: پیچیدگی، نگهداری، هزینه، تکنولوژی‌های جدید و زمان عملیات به محاسبه قابلیت اطمینان هر زیر سیستم پرداخته شد و با مقایسه روش مذکور و روش فو و میانگین وزنی ثابت گردید که روش مذکور اشکالات دو روش قبل را در مطالعه موردی مطروحه ندارد. همچنین این مقاله از پارامترهای وضعیت استفاده کرده است تا منعکس‌کننده درجه فعلی خوشبینی تصمیم‌گیرنده (حداکثر خوشبینانه، خوشبینانه، بدبینی خنثی و حداقل خوشبینانه) برای شاخص‌ها باشد. با این وجود فو و روش‌های تخصیص فازی پارامترهای وضعیت در را نظر نمی‌گیرند، چرا که که می‌تواند منجر به نتیجه‌گیری نادرست شود[۱۲]. در پژوهشی با عنوان " مدل تخصیص قابلیت اطمینان براساس رویکرد چند معیاره" زیرسیستم‌ها و عوامل مرتبط آن را مشخص گردید و با توجه به شاخص‌های درجه حساسیت، پیچیدگی، عملکرد، شاخص اثربخشی، فناوری و شاخص عملکرد الکترونیکی به تخصیص قابلیت اطمینان پرداخته شد[۱۳]. در پژوهشی با عنوان "اثرات زمان ماموریت زیرسیستم بر تخصیص قابلیت اطمینان "با رفع مشکل ناشی از در نظرگرفتن نرخ خرابی تخصیص یافته به زیرسیستم‌ها به تخصیص قابلیت اطمینان پرداخته شد. در این پژوهش زمان ماموریت زیر سیستم باید به‌عنوان یک عامل در نظر گرفته شود[۱۴]. در پژوهشی با عنوان "یک روش جدید برای تخصیص قابلیت اطمینان ارتباط هوایی متصل به یک شبکه هوابرد" بیان گردید که روش‌های تخصیص قابلیت اطمینان که به‌طور گسترده مورد استفاده هستند در مواجه شدن با اتصالات پیچیده بین زیرسیستم‌ها ناتوان هستند. در این پژوهش یک روش تخصیص بهبود یافته پیشنهاد گردید. رویکرد پیشنهادی از الگوریتم تحلیلی و شبیه‌سازی مونت کارلو برای محاسبه قابلیت اطمینان چنین ساختار شبکه ای پیچیده استفاده شده است و برای تعیین مقادیر تخصیص قابلیت اطمینان یک الگوریتم ابتکاری نیز پیشنهاد شده است[۱۵]. در پژوهشی با عنوان "یک روش تخصیص قابلیت اطمینان چند هدفه با در نظر گرفتن ارجحیت عدم قطعیت" یک روش میانگین‌گیری وزنی مرتبه جدید مبتنی بر AHP پیشنهاد گردید که به اولویت عدم قطعیت در تخصیص قابلیت اطمینان می پردازد. در این پژوهش در عملگر پیشنهادی میانگین وزنی، یک مدل برنامه‌ریزی ریاضیاتی دو هدفه را که آنتروپی ماکسیمال و واریانس مینیمال را در نظر می گیرد معرفی گردید[۱۶]. در پژوهشی با عنوان "ارائه روشی برای تخصیص قابلیت اطمینان عملی، با در نظر گرفتن اصلاح عوامل بحرانی" نشان داده شد که استفاده از اطلاعات آنالیز خرابی در طول فرآیند تحلیل حالات و آثار خرابی در تخصیص قابلیت اطمینان باعث به تصویر کشیدن رفتار و عملکرد سیستم به طور واقع‌بینانه می‌شود. در این روش از عدد اولویت ریسک به‌عنوان معیار اصلی برای تخصیص قابلیت اطمینان استفاده شده است[۱۷]. در مقاله" تخصیص قابلیت اطمینان بر ای ماشین های خردکن NC " روش وزنی ترکیبی با استفاده از روش آنتروپی و تحلیل ضریب لاگرانژ معرفی گردید. وزن ترکیبی از شش فاکتور ارائه ش در مقاله به دست آمده است. سپس به

روش فازی تخصیص قابلیت اطمینان را برای ماشین خردکن انجام می‌دهد[۱۸]. در پژوهشی با عنوان "تخصیص قابلیت اطمینان نرم‌افزار مبتنی بر ساختار با استفاده از AHP فازی" برای تخصیص قابلیت اطمینان نرم‌افزار، یک مدل ارائه گردید که نقطه نظرات کاربران را درباره عملکردهای مختلف یک نرم‌افزار ادغام می‌کند. مدل پیشنهادی به یک فرمول سیستماتیکی از الزامات کاربر و ارجحیت طراحی فنی و قابلیت اطمینان نرم‌افزار نیاز داشت. برای انجام این کار، یک سلسله مراتب سیستم تشکیل داده شد که دیدگاه سیستمی کاربر را با دیدگاه برنامه‌ریزی و مدیریت نرم‌افزار ترکیب می کرد[۱۹]. درپژوهشی دیگر به بررسی فاکتورهای مهم در تخصیص قابلیت اطمینان پرداخته شد. برخی مزایا و معایب و موارد کاربرد روش‌های ساده تخصیص قابلیت اطمینان، از جمله روش AGREE و روش تخصیص یکسان بیان گردید[۱۰]. در پژوهشی با عنوان "تخصیص قابلیت اطمینان یک سیستم پیچیده به روش الگوریتم ژنتیکی" از عوامل امکان سنجی مؤثر مانند پیچیدگی، حساسیت، وضعیت هنری، مشخصات عملیاتی و در دسترس بودن برای ضریب قابلیت اطمینان استفاده گردید و مدل برای یک سیستم پیچیده فضایی با استفاده از الگوریتم ژنتیکی حل گردید[۲۰]. در پژوهشی با عنوان "روش تخصیص قابلیت اطمینان OWA-ME بر مبنای دیمتل" با درنظر گرفتن چهار فاکتور پیچیدگی، تکنولوژی جدید، زمان عملکرد و محیط روشی جهت محاسبه قابلیت اطمینان ارائه گردید [۲۱]. در پژوهشی دیگر روشی برای تخصیص قابلیت اطمینان یک سیستم دارای مکانیزم متحرک ارائه گردید [۲۲]. در پژوهشی دیگر با هدف تلاش برای ایجاد مقیاسی برای سنجش تاب‌آوری تأمین‌کننده در شبکه‌های عرضه انجام شد [۲۳].

در مطالعات انجام شده در زمینه تخصیص قابلیت اطمینان و تاب‌آوری زیرسیستم‌ها مشاهده می‌شود که در راستای توسعه روشی به منظور تخصیص قابلیت اطمینان، کمتر الگویی وجود دارد که بحث تخصیص قابلیت اطمینان با تأمین‌کنندگان را شامل شود لذا در پژوهش حاضر به تخصیص قابلیت اطمینان با رویکرد تاب‌آوری زیرسیستم‌ها با روش فو در صنعت هوایی پرداخته شده است و چهار فاکتور؛ فناوری جدید، پیچیدگی زیر سیستم، شرایط محیطی و زمان اجرای عملیاتی، مطالعه موردی روی صندلی پران بررسی می‌گردد. از آنجایی که در مرحله طراحی مهندسی و ساخت، بحث تاب‌آوری زیر سیستم‌ها از اهمیت بالایی برخوردار است شاخص پنجم، شاخص تاب‌آوری در نظر گرفته شده است [۲۴] . در مطالعه موردی این پژوهش، مجموعه اجزای محصول شامل رست رنت، کاتابولت گان و بارومتر در صندلی پران هواپیما می باشند. مراحل انجام پژوهش شامل فازهای شناسایی معیار های اصلی و زیر معیارهای شاخص تاب‌آوری و دسته‌بندی آن، تعیین اهمیت هریک از زیرمعیارها و معیارهای اصلی جهت ورودی رتبه‌بندی نهایی، اندازه‌گیری هر یک از زیرمعیارها و معیارهای اصلی برای هر زیرسیستم به طور جداگانه، ترکیب معیارهای اصلی و استخراج نمره هر زیرسیستم، محاسبه تخصیص قابلیت اطمینان به روش فو برای هر زیرسیستم با اضافه شدن شاخص تاب‌آوری می‌باشد. در بخش بعد روش پژوهش مورد بررسی قرار خواهد گرفت. در این قسمت جامعه پژوهش، روش جمع‌آوری اطلاعات، روش تجزیه و تحلیل و ابزار پژوهش، مراحل انجام پژوهش بیان شده است. بخش سوم شامل یافته‌های پژوهش است که یافته‌های مربوط به هر فاز مطرح شده است. بخش آخر حاوی بحث و نتیجه‌گیری حاصل از پژوهش می‌باشد.

۲- روش تحقیق

۱.۲ جامعه پژوهش

جامعه پژوهش، شامل ده تن از کارشناسان ارشد شرکت هسا که مسئولیت طراحی و تولید محصول مذکور ر بر عهده دارند و به منظور اعتبارسنجی داده‌ها از نظرات ایشان بهره گرفته شده است می‌باشد. اطلاعات مورد نیاز جهت تحقیق حاضر از طریق مصاحبه با این افراد حاصل شده است و چون جامعه آماری محدود و مشخص است و به نظرات همه افراد نیاز است؛ نیاز به نمونه گیری نیست و نمونه برابر خود جامعه در نظرگرفته شده است.

۲.۲ روش جمع‌آوری اطلاعات

جمع‌آوری اطلاعات در این پژوهش به صورت کتابخانه ای و میدانی صورت گرفته که به منظور جمع‌آوری اطلاعات مربوط به پیشینه پژوهش های انجام شده، از روش کتابخانه ای استفاده شده است. علاوه بر این، به منظور جمع‌آوری داده‌ها و تهیه پرسشنامه و همچنین نیاز به تطابق یافته‌های حاصل از ادبیات پژوهش با موضوع مورد مطالعه پژوهش که در حوزه

هوایی می‌باشد، از نظرات متخصصین مربوطه و خبرگان استفاده شده است.

مطالعات کتابخانه ای؛ برای بررسی ادبیات موضوعی پژوهش و همچنین طراحی پرسشنامه‌های لازم از کتب، مقالات، منابع لاتین و فارسی حاصل از جستجو در بانک‌ها و منابع اطلاعاتی، اینترنت و کتابخانه‌ها استفاده شده است. به منظور تهیه پرسش‌نامه‌های مورد نیاز پژوهش، نیاز به طراحی‌ها آن بوده است به این صورت که قالب کلی پرسش‌نامه از ادبیات پژوهش بدست آورده شده است و سپس در صورت نیاز با استفاده از سایر منابع پژوهش در برخی از سؤالات تغییراتی متناسب با حوزه هوایی اعمال گردیده است.

۳.۲ روش تجزیه و تحلیل و ابزار پژوهش

پس از جمع‌آوری داده‌ها و تکمیل کردن پرسشنامه های طراحی شده توسط کارشناسان خبره، برای محاسبه وزن زیرمعیارهای شاخص تاب‌آوری و دست‌یابی به رتبه نهایی تأمین‌کنندگان به روش ANP، به دلیل پیچیده بودن محاسبات و امکان بروز خطا و جهت سهولت در انجام محاسبات از نرم‌افزار decision super استفاده شده است. سپس برای محاسبه تخصیص قابلیت اطمینان به روش فو، محاسبات به صورت دستی و همچنین با کمک نرم‌افزار اکسل انجام شده است.

۴.۲ مراحل انجام پژوهش

مدل مفهومی روش انجام تحقیق در مطالعه حاضر شامل ۵ فاز و ۱۲ گام مطابق مراحل زیر می‌باشد.

فاز اول: باتوجه به معرفی شاخص تاب‌آوری زیرسیستم‌ها به‌عنوان پنجمین شاخص، بعد از مطالعه مقالات مرتبط و نظر خبرگان، در خصوص سه معیار اصلی این شاخص، ۱۵ زیرمعیار مرتبط استخراج و دسته‌بندی شد.

فاز دوم: پس از مطالعه زیرمعیارها و معیارهای اصلی و نیاز به وزن‌دهی آنها، بعداز تعیین سطوح معیار و زیرمعیار و گزینه‌ها، روابط بین آنها تعیین شده است. نکته بسیار مهم در این گام وجود روابط بین معیارهاست این روابط را می‌توان از چند طریق مشخص کرد. می‌توان با پرسش از خبرگان به روابط بین معیاری پی برد یا با استفاده از روش‌هایی چون روش دیمتل یا روش ISM به این روابط رسید. پس از پرسش از خبرگان صنعت، با درنظر گرفتن وجود روابط درونی و شبکه‌ای بین زیرمعیارها روش ANP برای وزن‌دهی برگزیده شد. در این مرحله عناصر هر سطح نسبت به سایر عناصر مربوط خود در سطح بالاتر به صورت زوجی مقایسه شده و ماتریس‌های مقایسات زوجی تشکیل می‌شوند. همچنین در انتها باید مقایسه زوجی روابط درونی نیز انجام شود. این مقایسات زوجی می‌بایست توسط طیف ۹ تایی آقای ساعتی پاسخ داده شود. ماتریس تکمیل شده توسط نرم‌افزار DECISION SUPER تجزیه و تحلیل و در نهایت وزن هر یک از معیارها و زیرمعیارها مشخص گردید. پس از استخراج اعداد درنظر گرفته از پرسشنامه و تشکیل ماتریس مقایسات زوجی و حل ماتریس به روش بردار ویژه، نرخ ناسازگاری ANP محاسبه شده است. چنانچه این نرخ از ۰.۱ کمتر باشد نشان از سازگاری ماتریس است. مرحله بعد، تشکیل سوپر ماتریس اول با استفاده از وزن مقایسات زوجی بدست آمده می‌باشد. سوپرماتریس اولیه، همان وزنهایی است که در مرحله دوم از مقایسات زوجی حاصل شده است. بعد از ایجاد سوپر ماتریس اولیه، باید سوپر ماتریس موزون را ایجاد کرد. درنهایت سوپر ماتریس موزون باید به توان بی‌نهایت رسانده شود تا هر سطر آن به عددی همگرا شود و آن عدد وزن آن زیرمعیار و یا گزینه است. لازم به ذکر است در این پژوهش، بعد از تنظیم ماتریس مقایسات زوجی به وسیله پرسشنامه، مراحل وارد نرم‌افزار شده و به وسیله نرم‌افزار قابل انجام است.

فاز سوم: بعد از تعیین زیرمعیارها و دسته‌بندی هر کدام، نیاز به اندازه‌گیری هر زیرمعیار جهت حصول به هدف نهایی که رتبه‌بندی تأمین‌کننده هاست، می‌باشد. با مطالعات میدانی و پژوهش های پیشین، روش اندازه‌گیری زیرمعیارها تعیین و هر زیرمعیار براساس آن اندازه‌گیری می‌شود. جهت به دست آوردن اندازه زیرمعیارها نیاز به تهیه پرسشنامه و تعیین مقدار هرکدام براساس نظر کارشناسان مربوطه است. بدین منظور زیرمعیارها در بازه به صورت کمی و در بازه یک الی پنج یا به صورت درصدی اندازه‌گیری می‌شوند. عدد پنج نشان دهنده خیلی زیاد بودن مورد مذکور و عدد یک نشان دهنده خیلی کم بودن است.

فاز چهارم : با در نظر گرفتن هدف پژوهش که ارائه شاخصی جدید در طراحی و تولید محصولات برای تعیین حداکثر خرابی مجاز برای هر زیرسیستم است، نیاز به رتبه‌بندی تأمین‌کنندگان مطرح می‌شود بدین منظور بعد از به دست آوردن اندازه و وزن هر معیار نسبت به هر تأمین‌کننده و ضرب

آنها در هم، رتبه هر تأمین‌کننده به دست می‌آید. وزن شاخص تاب‌آوری مربوط به هر تأمین‌کننده ورودی مرحله بعد برای روش فو است.

فاز پنجم : تخصیص قابلیت اطمینان به هر زیرسیستم با روش فو؛ در این گام تخصیص قابلیت اطمینان به زیرسیستم‌ها صورت گرفته است. به منظور تخصیص قابلیت اطمینان با روش فو مطابق رابطه (۱)، W_i برای تک‌تک زیر سیستم‌ها بدست آورده شده است. پس از آن مطابق با رابطه (۲) وزن تخصیصی به زیرسیستم‌ها انجام شده است. پس ازآن به منظور تخصیص قابلیت اطمینان با توجه به قابلیت اطمینان هدف که ۹۰ درصد برای زیرسیستم‌ها است با استفاده از رابطه (۳) تخصیص قابلیت اطمینان به زیرسیستم‌ها انجام گردیده است. به منظور اطمینان از محاسبات انجام شده مطابق رابطه (۴) ضرب قابلیت اطمینان تخصیصی به زیرسیستم‌ها، قابلیت اطمینان هدف را نتیجه داده است.

$$w' = \sum_{k=1}^{N} w'_k \qquad (1)$$

$$C'_k = \frac{w'_k}{w'} \qquad \forall k \qquad (2)$$

$$R_i^* = (R^*)^{w_i'} \qquad (3)$$

$$R^* = (R_i^*) \qquad (4)$$

۳. یافته‌ها

در این پژوهش لازم است هر یک از شاخص‌های محیط، پیچیدگی، زمان عملکرد و تکنولوژی جدید، به تفکیک در بازه ۱ تا ۱۰ مقدار گرفته و در جدول وارد شوند. پیشنهاد پژوهش این است که شاخص دیگری به نام شاخص تاب‌آوری زیرسیستم‌ها به‌عنوان شاخص پنجم اضافه شده و بعد از طی کردن فازهای تحقیق، تأثیرات آن مورد بررسی قرار گیرد.

۱.۳ یافته‌های حاصل از فاز اول پژوهش

با مطالعه منابع متعدد، برای هر یک از معیارهای تاب‌آوری زیر معیارهایی استخراج و دسته‌بندی شد که جهت شروع فرآیند خلاصه معیارها و زیر معیارهای مورد تحلیل در قالب جدول (۱) ارائه شده است.

۲.۳ یافته‌های حاصل از فاز دوم پژوهش

همانطورکه قبلا نیز بیان شد برای به دست آوردن رتبه نهایی گزینه‌ها که زیرسیستم‌های مربوط به صندلی پران می‌باشد، ابتدا نیاز به محاسبه اندازه هر زیر معیار و به دست آوردن اندازه هر معیار می‌باشد. بدین منظور مطابق با روش پیشنهادی و بازه تعریف شده برای اندازه‌گیری هر زیرمعیار، پرسشنامه هایی برای سه زیرسیستم ۳ و ۲ و ۱ طراحی و در اختیار کارشناسان قرار گرفت. با جمع اعداد به دست آمده برای هر زیر معیار، اندازه نهایی معیار مربوطه به دست آمده و در جدول (۲) بیان شده است.

جدول۱- نام‌گذاری زیرمعیارها

معیار	زیر معیار	
جذب اختلال	C11	قابلیت استفاده هربخش توسط کاربر
	C12	میزان تلرانس طراحی تحمل هر بخش
	C13	مدت زمان قرارگیری هربخش در معرض شوک
	C14	امکان استفاده همزمان
	C15	امکان داشتن حالت ایمن
	C16	عدم کوپلینگ زیاد کارکردهای
ترمیم	C21	قابلیت به خاطر سپردن
	C22	امکان استفاده از افزونگی
	C23	چندکارکردی بودن
	C24	قابلیت ترمیم هر بخش
	C25	امکان داشتن حالت خواب
سازگاری	C31	قابلیت تشخیص اختلال
	C32	امکان بازسازی و تنظیم ارتباطات

	قابلیت تکامل و بروز رسانی	C33
	هزینه بازساری	C34

جدول ۲- اندازه معیارهای تاب آوری براساس تأمین‌کنندگان محصول

معیار / تامین‌کننده	جذب اختلال	ترمیم	سازگاری
تأمین کننده اول	19.75	16.5	9.5
تأمین کننده دوم	16.9	8.5	8
تأمین کننده سوم	18.36	13.5	15

۳.۳ یافته‌های حاصل از فاز سوم پژوهش:

در این گام بعد از شناسایی معیارها، زیرمعیارها و گزینه‌ها طبق نظر خبرگان و مهندسان ارشد گروه، مشخص شد که همه زیرمعیارها با یکدیگر در ارتباط بوده و دارای تأثیر متقابل می‌باشند. لذا با توجه به شبکه ارتباطی موجود و در نظر گرفتن ارتباطات، مقایسات زوجی انجام شد و ادامه محاسبات توسط نرم‌افزار DECISION SUPER تحلیل و سپس وزن هر یک از معیارها و زیر معیارها تعیین شده است. نتایج در جدول (۳) آورده شده است.

جدول ۳- ماتریس مقایسه زوجی ادغام شده زیرمعیارها براساس نظرات ۱۰ کارشناس

	C11	C12	C13	C14	C15	C16	C21	C22	C23	C24	C25	C31	C32	C33	C34
C11	1	2.744	1.813	1.32	2.521	2.13	1.282	2.521	2.3097	3.1037	2.192	1.431	2.666	1.6917	2.0451
C12	0.36	1	0.712	0.515	1.103	0.591	0.645	1.149	0.6598	1.2311	0.616	0.6196	1.149	0.5949	0.7071
C13	0.55	1.405	1	0.871	1.246	1.374	0.758	1.335	1.3195	1.431	1.473	0.6598	1.282	0.6156	1.4727
C14	0.76	1.943	1.149	1	1.768	1.182	1.32	1.603	1.4051	1.718	1.625	1.3195	1.757	1.1031	1.2311
C15	0.4	0.907	0.803	0.566	1	0.634	0.634	1.625	0.8123	1.6917	0.871	0.6084	1.625	0.749	0.78
C16	0.47	1.692	0.728	0.846	1.578	1	0.728	1.282	1.3195	1.5337	0.789	0.836	1.431	0.78	0.7071
C21	0.78	1.55	1.32	0.758	1.578	1.374	1	1.692	1.2821	1.8131	1.473	1.5157	1.614	1.4142	1.6917
C22	0.4	0.871	0.749	0.624	0.616	0.78	0.591	1	0.7579	0.7071	0.96	0.5676	1.516	0.8027	0.836
C23	0.43	1.516	0.758	0.712	1.231	0.758	0.78	1.32	1	1.4142	0.812	0.8706	1.516	0.7071	0.933
C24	0.32	0.812	0.699	0.582	0.591	0.652	0.552	1.414	0.7071	1	0.78	0.6084	1.414	0.5842	0.78
C25	0.46	1.625	0.679	0.616	1.149	1.267	0.679	1.041	1.2311	1.2821	1	0.679	1.335	0.652	0.5743
C31	0.7	1.614	1.516	0.758	1.644	1.196	0.66	1.762	1.1487	1.6438	1.473	1	1.692	1.6245	1.4727
C32	0.38	0.871	0.78	0.569	0.616	0.699	0.62	0.66	0.6598	0.7071	0.749	0.5911	1	0.7277	0.8604
C33	0.59	1.681	1.625	0.907	1.335	1.282	0.707	1.246	1.4142	1.7118	1.534	0.6156	1.374	1	1.5784
C34	0.49	1.414	0.679	0.812	1.282	1.414	0.591	1.196	1.0718	1.2821	1.741	0.679	1.162	0.6335	1

۳.۳.۱ محاسبه نرخ ناسازگاری

همانطور که از جدول بالا قابل محاسبه است، نرخ ناسازگاری ۰.۰۱۰۰۱۰۵۶۵ است، درنتیجه برای انجام ادامه محاسبات وزن‌دهی مشکلی وجود ندارد. پس با توجه به وجود سه خوشه و المان های مربوطه، میزان ارتباط هر یک از زیرمعیارهای مربوط به ۳ معیار نسبت به یگدیگر و براساس نظرات ۱۰ کارشناس بررسی و نتیجه توسط جدول(۴) نمایش داده می‌شود.

۳.۳.۲ تشکیل سوپرماتریس

همانطور که از محاسبات بالا برمی آید اعداد بزرگتر در هر جدول به این معنی است که وابستگی آن دو زیرمعیار نسبت یه یکدیگر بیشتر می‌باشد. همچنین با توجه به وجود وابستگی درونی بین زیرمعیارها، مشخص می‌شود که روش وزن‌دهی باید

روش شبکه ای یا ANPباشد. پس برای محاسبه وزن نهایی زیرمعیارها، سوپرماتریس نهایی برای استخراج وزن زیرمعیارها مطابق جدول ۵ بدست می‌آید و با وارد کردن جدول مقایسات زوجی در نرم‌افزار decision super وزن نهایی زیرمعیارها مطابق جدول ۶ به دست می آید. نمایش ستونی اولویت‌بندی زیرمعیارها نسبت به یکدیگر در نمودار ۱ نشان داده شده است.

جدول۴- نمایش میزان وابستگی زیرمعیارهای هر معیار به یکدیگر

	C11	C12	C13	C14	C15	C16	C21	C22	C23	C24	C25	C31	C32	C33	C34
C11		0.228	0.077	0.312	0.303	0.149	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C12	0.233		0.256	0.155	0.163	0.085	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C13	0.166	0.122		0.116	0.193	0.292	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C14	0.116	0.108	0.36		0.119	0.263	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C15	0.171	0.383	0.198	0.24		0.211	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C16	0.314	0.159	0.109	0.177	0.222		0	0	0	0	0	0	0	0	0
C21	0	0	0	0	0	0		0.35	0.318	0.202	0	0	0	0	0
C22	0	0	0	0	0	0	0.272		0.195	0.384	0	0	0	0	0
C23	0	0	0	0	0	0	0.134	0.126		0.258	0	0	0	0	0
C24	0	0	0	0	0	0	0.353	0.224	0.323		0	0	0	0	0
C25	0	0	0	0	0	0	0.241	0.299	0.164	0.155	0	0	0	0	0
C31	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0.437	0.482	0.491
C32	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.209		0.232	0.321
C33	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.490	0.217		0.188
C34	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.300	0.346	0.285	

۳.۳.۳.محاسبه وزن معیارها

پس از استخراج وزن زیرمعیارها از نرم‌افزار، با جمع هر زیر معیار مربوط به معیارهای اصلی، وزن آن معیار نیز به دست می آید. که در جدول (۷) نمایش داده شده است.

۴.۳ یافته‌های حاصل از فاز چهارم پژوهش

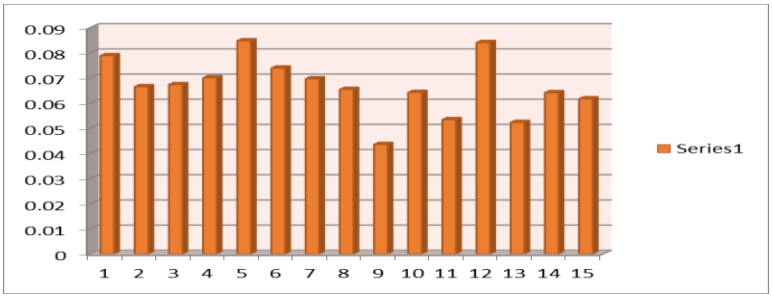
در این گام، برای به دست آوردن نمره هر زیرسیستم روش پیشنهادی پیاده سازی می‌شود به این صورت که اندازههای به دست آمده برای هر معیار از گام اول، در وزن نهایی به دست آمده حاصل از گام سوم ضرب شده و رتبه نهایی هر تأمین‌کننده حاصل می‌شود. جدول (۸) نمایش مقادیر به دست آمده است.

۵.۳ یافته‌های حاصل از فاز پنجم پژوهش

خروجی فازهای قبل، تعیین فاکتور تاب‌آوری زیرسیستم‌ها به‌عنوان فاکتور پنجم از ورودی های روش فو بوده است. حال در این فاز با استفاده از نظر خبرگان مقدار ۴ فاکتور دیگر نیز معین و در محاسبات وارد می‌شود.

جدول ۵- سوپرماتریس نهایی برای استخراج وزن زیرمعیارها

	C11	C12	C13	C14	C15	C16	C21	C22	C23	C24	C25	C31	C32	C33	C34	Goal
C11	0.17869	0.17869	0.17869	0.17869	0.17869	0.17869	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.07888
C12	0.1507	0.1507	0.1507	0.1507	0.1507	0.1507	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.06653
C13	0.15249	0.15249	0.15249	0.15249	0.15249	0.15249	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.06731
C14	0.15858	0.15858	0.15858	0.15858	0.15858	0.15858	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.07
C15	0.19197	0.19197	0.19197	0.19197	0.19197	0.19197	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.08474
C16	0.16758	0.16758	0.16758	0.16758	0.16758	0.16758	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.07398
C21	0	0	0	0	0	0	0.23495	0.23495	0.23495	0.23495	0.23495	0	0	0	0	0.06962
C22	0	0	0	0	0	0	0.22089	0.22089	0.22089	0.22089	0.22089	0	0	0	0	0.06545
C23	0	0	0	0	0	0	0.14701	0.14701	0.14701	0.14701	0.14701	0	0	0	0	0.04356
C24	0	0	0	0	0	0	0.21682	0.21682	0.21682	0.21682	0.21682	0	0	0	0	0.06425
C25	0	0	0	0	0	0	0.18033	0.18033	0.18033	0.18033	0.18033	0	0	0	0	0.05343
C31	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.32065	0.32065	0.32065	0.32065	0.08409
C32	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.19944	0.19944	0.19944	0.19944	0.0523
C33	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.2447	0.2447	0.2447	0.2447	0.06417
C34	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.23521	0.23521	0.23521	0.23521	0.06168
Goal	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0



شکل ۱- نمایش ستونی اولویت بندی زیرمعیارها نسبت به یکدیگر

جدول ۶- وزن نهایی زیرمعیارها با استفاده نرم‌افزار super decision

زیرمعیارها	وزن نهایی
قابلیت استفاده هربخش توسط کاربر	0.0788
میزان تلرانس طراحی تحمل هر بخش	0.0665
مدت زمان قرارگیری هربخش در معرض شوک	0.0673
امکان استفاده همزمان	0.07
امکان داشتن حالت ایمن	0.0847
عدم کوپلینگ زیاد کارکردهای	0.0739
قابلیت به خاطر سپردن	0.0696
امکان استفاده از افزونگی	0.0654
چندکارکردی بودن	0.0435
قابلیت ترمیم هر بخش	0.0642
امکان داشتن حالت خواب	0.0534
قابلیت تشخیص اختلال	0.084
امکان بازسازی و تنظیم ارتباطات	0.0523
قابلیت تکامل و بروز رسانی	0.0641
هزینه بازساری	0.06168

جدول۷- نمایش وزن هر معیار اصلی شاخص تاب‌آوری

معیارها	وزن نهایی
جذب اختلال	0.4412
ترمیم	0.2961
سازگاری	0.26208

جدول ۸- نمایش مقادیر به دست آمده برای هر تأمین‌کننده

	اندازه هر معیار			وزن هر معیار به روش ANP			اندازه * وزن			نمره هر تأمین کننده
	جذب اختلال	ترمیم	سازگاری	جذب اختلال	ترمیم	سازگاری				
تأمین کننده اول	19.75	16.5	9.5	0.4412	0.4412	0.4412	4.1914	7.2798	8.7137	26.58772
تأمین کننده دوم	16.9	8.5	8	0.2961	0.2961	0.2961	2.3688	2.51685	5.00409	29.83396
تأمین کننده سوم	18.36	13.5	15	0.26208	0.26208	0.26208	3.9312	3.53808	4.811789	66.92669

۱.۵.۳ معرفی اجزای محصول صندلی پران

در مطالعه موردی این پژوهش، مجموعه اجزای محصول بعد از مصاحبه های اولیه توسط خبرگان شناسایی شدند که بدین شرح است: رست رنت، کاتابولت گان و بارومتر

۲.۵.۳ تبدیل فاکتور تاب‌آوری سیستم به بازه ۱ تا ۱۰

با محاسبات بالا اندازه تاب‌آوری زیرسیستم‌ها محاسبه شد. همانطور که از تعریف تخصیص قابلیت اطمینان برمی آید فاکتورهای ورودی براساس قابلیت آن فاکتور در بازه تا ۱ تا ۱۰ مقدار می گیرند که هرچه این فاکتورها در وضعیت بهتری قرار داشته باشند عدد کمتر و هرچه در وضعیت بدتری قرارداشته باشند عدد بیشتری دریافت می‌کنند. هرچه مقدار فاکتورها بیشتر باشد، از ضرب فاکتورها در یکدیگر عدد بزرگتری به دست می‌آید و درنتیجه قابلیت اطمینان کمتری حاصل می‌شود. پس برای اندازه‌گیری فاکتور تاب‌آوری براساس هر زیرسیستم باید مقدار بازه به ۱ تا ۱۰ تبدیل شود. به این صورت که بالاترین مقدار هر زیرسیستم در ایده آل ترین حالت ممکن 100در نظر گرفته شد. پس اعداد به دست آمده بر ۱۰۰ تقسیم و تاب‌آوری هرزیرسیستم محاسبه شده است. حالا با توجه به توضیحات داده شده برای تبدیل به بازه ۱ تا ۱۰، اندازه به دست آمده از ۱۰ کسر می‌شود تا اندازه فاکتور تاب‌آوری در بازه مربوطه قرار گیرد. نتایج در جدول ۹ نمایش داده شده است.

جدول ۹- مقدار تاب‌آوری در بازه ۱ تا ۱۰

مشخصه تأمین کننده از لحاظ تاب‌آوری	محل تأمین
3.31	تأمین کننده سوم
7.02	تأمین کننده دوم
7.35	تأمین کننده اول

۳.۵.۳ حل مدل به روش فو

با مصاحبه و نظر کارشناسان مقادیر مربوط به E,P,S,I برای زیرسیستم‌ها مشخص و در جداول (۱۰) و (۱۱) وارد شده است. لازم به ذکر است با توجه به مطالعه موردی در نظر گرفته شده و زیر سیستم‌های آن، هر تأمین‌کننده فقط قابلیت تأمین یک زیر سیستم را دارد. بنابراین باتوجه به محاسبات انجام شده و رتبه هر زیر سیستم، محاسبات مربوط به تخصیص قابلیت اطمینان با در نظر گرفتن فاکتور تاب‌آوری سیستم و بدون آن به شرح زیر انجام می گیرد.

جدول (۱۰): خروجی تخصیص قابلیت اطمینان به روش فو با فاکتور تاب‌آوری

زیرسیستم های صندلی پران	I	S	P	E	Resilience	I*S*P*E*R	W_i	R_i
رست رنت	4	3	1	2	3.31	79.44	0.019816206	0.997914332
کاتابولت گان	3	2	4	5	7.02	842.4	0.2101356	0.978103296
بارومتر	5	6	7	2	7.35	3087	0.770048193	0.922071348

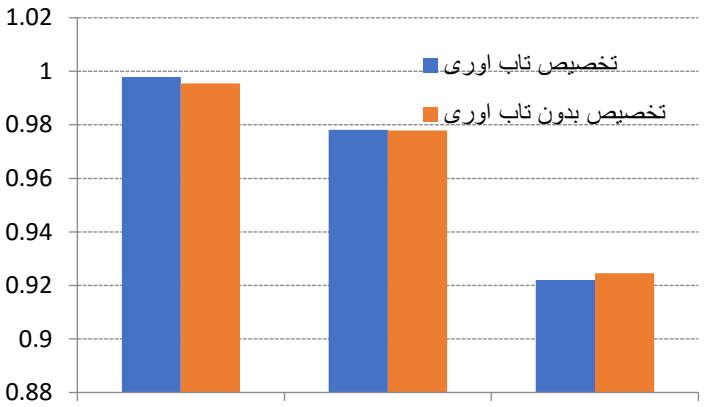
جدول (۱۱): خروجی تخصیص قابلیت اطمینان به روش فو بدون تاب آوری

زیرسیستم های صندلی پران	I	S	P	E	I*S*P*E*R	W_i	R_i
رست رنت	4	۲	۱	3	24	0.042553191	0.995526609
کاتابولت گان	3	۵	۴	2	120	0.212765957	0.977832266
بارومتر	5	۲	۷	6	420	0.744680851	0.924539079
					۵۶۴		۰.۹

همانطور که از محاسبات بالا به دست آمده مقایسه تخصیص با وجود فاکتور تاب‌آوری و بدون آن در جدول (۱۲) نمایش داده

شده است و مقایسه قابلیت اطمینان تخصیص داده شده با وجود فاکتور تاب‌آوری و بدون آن در نمودار (۲) نشان داده شده است.

جدول ۱۲- مقادیر به دست آمده از روش فو	
تخصیص بدون تاب‌آوری	تخصیص تاب‌آوری
0.995526609	0.997914332
0.977832266	0.978103296
0.924539079	0.922071348



شکل ۲- مقایسه قابلیت اطمینان تخصیص داده شده با وجود فاکتور تاب‌آوری و بدون آن

۶.۳ مقایسه نتایج

با توجه به مقایسه بالا اگر فاکتور با اهمیتی مانند تاب‌آوری زیرسیستم‌ها برای تولید یک سیستم در نظر گرفته شود تخصیص قابلیت اطمینان مربوط به آن متفاوت خواهد بود. یعنی هرچه میزان تاب‌آوری زیرسیستم‌ها بالاتر باشد، مانند زیرسیستم اول، میزان خرابی های مجاز هر سیستم میتواند کمتر باشد و درنتیجه می‌توان قابلیت اطمینان بالاتری را بر آن سیستم تکلیف کرد. در نتیجه با این روش مشخص شد که یکی از عوامل مهم در تخصیص قابلیت اطمینان زیرسیستم‌ها تاب‌آوری زیرسیستم‌ها در برابر خطرها و اختلالات احتمالی است که مهندسان طراح محصول می‌توانند در تصمیم‌گیری های خود از آن بهره گیرند.

۴. نتیجه‌گیری

روش استفاده شده در این پژوهش روش امکان پذیری هدف می‌باشد که براساس این روش تخصیص قابلیت اطمینان با استفاده ار ۴ فاکتور پیچیدگی، محیط، زمان عملکرد و تکنولوژی جدید می‌باشد. برای اینکه معایب این روش کمتر شده و تخصیص به روش دقیق‌تری صورت پذیرد، فاکتور تاب‌آوری به‌عنوان فاکتور پنجم در محاسبات وارد شد و زیرسیستم‌ها بر اساس سه تأمین‌کننده‌ای که تأمین می‌شوند علاوه بر فاکتورهای پیشین با این فاکتور جدید اعتبارسنجی شدند. با توجه به خروجی روش فو، تخصیص قابلیت اطمینان با در نظر گرفتن فاکتوری به نام تاب‌آوری تأمین‌کنندگان، دقیق‌تر بوده و با استفاده از این شاخص می‌توان زیرسیستمی را که تاب‌آوری بالاتری در زمان اختلال دارد مشخص کرد. با

توجه به اینکه هر تأمین‌کننده فقط قابلیت تأمین یک زیر سیستمی که به آن نسبت داده شده است را دارد، بنابراین انتخاب زیر سیستم با تاب‌آوری بالاتر به منزله انتخاب تأمین‌کننده برتر نیز می‌باشد. با در نظر گرفتن فاکتور تاب‌آوری برای سه تأمین‌کننده، به طور مجزا قابلیت اطمینان هرکدام مشخص شد و با توجه به وزن‌های به دست آمده از ضرب فاکتورهای موجود، تخصیص قابلیت اطمینان حساب شد و مشاهده شد اگر تاب‌آوری تأمین‌کنندگان به‌عنوان فاکتوری جدید وارد محاسبات شود، قابلیت اطمینان دو زیر سیستم A و C تغییر می‌کند ولی قابلیت اطمینان زیرسیستم B بدون تغییر باقی می‌ماند. به پژوهش‌گران حوزه قابلیت اطمینان و سیستم‌های پیچیده پیشنهاد می‌گردد:

- توسعه هر یک از فاکتورهای چهارگانه در روش فو را در پژوهش های خود در نظر گیرند.
- با در نظرگرفتن این پژوهش به‌عنوان مبنا، روش ارائه شده به لحاظ مدیرتی و نیز ارائه راهکارهای ترکیبی دیگر توسعه یابد.
- پس از توسعه سایر فاکتورهای روش فو می‌تواند نرم‌افزاری به منظور تخصیص قابلیت اطمینان توسعه داده شود.
- طراحی مدل ریاضی برای تخصیص قابلیت اطمینان به طوری که فاکتورهای بیشتری در برگیرد.
- یافتن رابطه کمی بین هزینه‌ی یک زیر سیستم و قابلیت اطیمنان آن به طوری که هزینه‌ی سیستم، تحت محدودیت قابلیت اطمینان کمینه یا قابلیت اطمینان سیستم، تحت محدودیت هزینه بیشینه شود.

مراجع:

[1]. Mohamadi, Y. Dolatkhah, M. & Rasti, V. (2013). Designing and developing a model for assigning the reliability of complex systems using Bayesian networks (case study: shutter of a high-tech camera). International journal of industrial engineering and production management, number 4, volume 24, pp. 438-448- (In Persian)

[2]. Novinzadeh, A. & Abolfathi Nobri, N. (2018). Determining the Reliability of Functional Systems and Satellite Subsystems, 7th Annual (International) Conference of Iran Aerospace Association- (In Persian)

[3]. Mirshams, M. Irani, S. Akhlghi, A. M. & Naseh, H. (2013). Reliability assignment of satellite subsystems with hierarchical analysis in the conceptual design phase, Space Science and Technology Quarterly, Volume 5, Number 2- (In Persian)

[4]. Karbasian, M. & Mohammad Hasani, F. (2018). Reliability management in the life cycle of systems- (In Persian)

[5]. Rahimdel Meiboudi, M. Amiri, A. H. & Karbasian, M. (2018) Fuzzy Allocation of Reliability and its Application in Determining Optimal Defense and Attack Strategies, Scientific and Research Quarterly of New Researches in Decision Making- (In Persian)

[6]. Amini, F. Karbasian, M. & Sajjadi, M. (2013) Presenting a model for assigning the reliability of electronic and mechanical parts, National Conference on Marine Intelligent Systems- (In Persian)

[7]. Shahaeghi, K. Sharifi, M. M. Gholami Mazinan, M. & Karbasian, M. (2019). Designing a model to estimate the reliability of the satellite structure using Bayesian networks, Proceedings of the 2nd Reliability Engineering Conference, Tehran- (In Persian)

[8]. Zakari, J. A. & Naeimi, M. (2019). Determining the reliability of the train braking system using two analytical methods and Monte Carlo simulation to reduce rail accidents, the second national conference on road accidents, rail and air accidents, Islamic Azad University, Zanjan branch- (In Persian)

[9]. Anbarloui, M. Nasiri, D. (1389) Optimizing Satellite Reliability Allocation Using Genetic Algorithm, 10th Iran Aerospace Conference- (In Persian)

[10]. Kyungmee, O. Kima, M. & Zuo, J. (2018). Optimal allocation of reliability

improvement target based on the failure risk andimprovement. https://doi.org/10.1016/J.RESS.2018.06.024
[11]. Kyungmee, O. Kima, M. & Zuo, J. (2019). A new reliability allocation weight for reducing the occurrence of severe failure effects, Reliability Engineering & System Safety.
[12]. Chang, K. H. (2016). A more general reliability allocation method using the hesitant fuzzy linguistic term set and minimal variance OWGA weights, Appl. Soft Comput J. http://doi.org/10.1016/j.asoc.2016.07.008
[13]. Di Bona, G. Forcina, A. Petrillo, A. De Felice, F. & Silvestri, A. (2016). A-IFM reliability allocation model based on multicriteria approach. Int J Qual Reliab Manag pp.676–698. https://doi.org/ 10.1108/ijqrm-05-2015-0082.
[14]. Kyungmee, K. & Ming J, Z. (2015). Effects of subsystem mission time on reliability allocation, IIE Transactions. 47:3, 285293, doi: 10.1080/074 0817X.2014.929363.
[15]. Ruiying, L. Jingfu, W. Haitao, L. & Ning, H. (2015). A new method for reliability allocation of avionics connected via an airborne network https:// doi.org/10.1016/j.jnca.2014.10.005.
[16]. Tie, C. Songlin, Z. Haitao, L. & Jinzhi, F. (2015). A Multi –attribute Reliability allocation method considering Uncertain Preferences. Qualityand Rliability Engineering International.
[17]. Yadav, O. P. Zhuang, X. (2014). "A practical reliability allocation method considering modified criticality factors," Reliability Engineering and System Safety, Elsevier, vol. 129(C), pages 57-65.
[18]. Hang Hong, H. (2014). Research on Reliability Allcation Method for NC Grinding Mechine, in Applied Mechinics and Materials.
[19]. Subhashis, C. Jeetendra, B. S. & Arunava, R. (2015). A structure-based software reliability allocation using fuzzy analystic hierarchy process, International Journal of Systems Science 46
[20]. Farsi, M. A. Jahromi, B. K. (2012). Reliability allocation of a complex system by genetic algorithm method. In: international conference on quality, reliability, risk, maintenance, and safety engineering (ICQR2MSE), 15–18 June 2012, pp 1046–1049. https://doi.org/10.1109/icqr2mse.2012.6246401
[21]. Cheng, Sh. L. Yung, Ch. Ch. Kuei, H. Ch. & Thing, Y. Ch. (2019). ME-OWA based DEMATEL reliability apportionment method Cheng-Shih Liaw.
[22]. Yugang, Z. Weimin, C. & Fei, X. (2011). study on reliability alloacation method of a system including motion mechanism,in Quality , Reliability, Risk, Maintenance and Safty Enginieering.
[23]. Dilek Yilmaz, B. Arzu İşeri, S. & Yasin, R. (2015). Measuring Supplier Resilience in Supply Networks, Journal of Change Management, pp 64-82, doi: 10.1080/14697017.2014.889737
[24]. Mohamadi, M. & Karbasian, M. (2018). Developing an economical model for reliability allocation of an electro-optical system by considering reliability improvement difficulty, criticality, and subsystems dependency, Journal of Industrial Engineering International https://doi.org/10.1007/s40092-018-0273-7(0123456789).

Allocating Reliability Adopting Subsystem Resilience Approach Taking Up Foo Method

Elham Aghazadeh[1]
Ph.D., Academic Complex of Industries and Management, Malik Ashtar University, Isfahan, Iran. e.aghazadeh88@yahoo.com

Maryam Bahrami
Ph.D., University Complex of Industries and Management, Malik Ashtar University, Isfahan, Iran. ma.industrial94@gmail.com

Fatahi Bahareh
Master's degree, Industrial Engineering, University Complex of Industries and Management, Malik Ashtar University, Isfahan, Iran. soloist_eli@yahoo.com

Mehdi Karbasian
Full Professor, Industrial Engineering, University Complex of Industries and Management, Malik Ashtar University, Tehran, Iran. mkarbasian@yahoo.com

Abstract: Allocation is one of the important activities in the reliability process, if it is not done correctly, it will not be possible to achieve the reliability goals for the whole system. To allocate the reliability, methods have been presented that are not free of defects. In this research, five factors of complexity, new technology, operation time, environment and resilience of subsystems are considered and the goal is to consider a new approach in allocating reliability to the goal feasibility method so that different parts and subsystems can be examined and measured based on the desired reliability and resilience. The obtained results are investigated and measured by Foo method with the mentioned five factors and finally validated.
Keyword: Reliability Allocation, Resilience, Foo methodology.

Aim and Introduction

The reliability of a system is the probability of satisfactory performance of that system under certain working conditions and for a certain period of time. In other words, it includes three main parts: probability of satisfactory performance, time and certain working conditions. Reliability assignment is an important concept of reliability engineering that is usually applied when dealing with a given reliability of a system. Reliability-based design means designing and selecting the components and subsystems of a system so that the final product achieves the desired reliability. Basically, the purpose of assigning reliability is to know at the end of the conceptual design phase whether it is possible to make and finalize such a product with the desired requirements with the existing capabilities that we have available. Since in the stage of engineering design and construction, the discussion of suppliers of parts becomes very important due to the current economic conditions of the country and the differences in the supply chain due to the embargo, it seems that considering its

[1] Corresponding Author: e.aghazadeh88@yahoo.com

importance in the design stage of the concept that is discussed in the discussion of capability allocation Reassurance is essential. Therefore, the main issue in this research is how we can provide a systematic and structured method in such a way as to provide a more realistic criterion for allocation.

In the studies conducted in the field of assigning reliability and resilience of subsystems, it can be seen that in line with the development of a method for assigning reliability, there are few models that include the discussion of assigning reliability with suppliers, therefore, in the present study, assigning reliability with the approach of resilience Subsystems have been studied by Fu method in the aviation industry and four factors; New technology, sub-system complexity, environmental conditions and operational execution time, case study on flying chair are investigated. Since in the stage of engineering design and construction, the discussion of the resilience of the subsystems is of great importance, the fifth index, the resilience index, has been considered.

Methodology

The collection of information in this research was done in the library and field, and in order to collect the information related to the background of the researches, the library method was used. The research community includes ten senior experts of HESA Company who are responsible for the design and production of the mentioned product and their opinions were used to validate the data. The information needed for this research was obtained through interviews with these people, and because the statistical population is limited and specific, and the opinions of all people are needed; There is no need for sampling and the sample is considered to be equal to the society itself.

The research community includes ten senior experts of Hesa Company who are responsible for the design and production of the mentioned product and their opinions were used to validate the data. The information needed for this research was obtained through interviews with these people, and because the statistical population is limited and specific, and the opinions of all people are needed; There is no need for sampling and the sample is considered to be equal to the society itself.

After collecting the data and completing the questionnaires designed by experts, to calculate the weight of the resilience index sub-criteria and achieve the final ranking of the suppliers by ANP method, due to the complexity of the calculations and the possibility of errors, and for the ease of performing the calculations, decision super software was used. has been Then, in order to calculate reliability allocation by Foo method, calculations have been done manually and also with the help of Excel software.

Finding:

According to Table 1, if an important factor such as resilience of subsystems is considered to produce a system, the related reliability assignment will be different. That is, the higher the level of resilience of the subsystems, like the first subsystem, the lower the amount of allowed failures of each system, and as a result, higher

reliability can be assigned to that system. As a result, it was determined with this method that one of the important factors in assigning the reliability of subsystems is the resilience of subsystems against possible risks and disruptions that product design engineers can take advantage of in their decisions.
The results of calculations related to reliability allocation considering the system resilience factor and without it are according to Table 1. If an important factor such as the resilience of subsystems to produce a system is considered, the related reliability assignment will be different. That is, the higher the level of resilience of the subsystems, like the first subsystem, the lower the amount of allowed failures of each system, and as a result, higher reliability can be assigned to that system. As a result, it was determined with this method that one of the important factors in assigning the reliability of subsystems is the resilience of subsystems against possible risks and disruptions that product design engineers can take advantage of in their decisions.

Table (1): Values obtained from Foo's method

Allocation of resilience	Allocation without resilience
0.997914332	0.995526609
0.978103296	0.977832266
0.922071348	0.924539079

Discussion and Conclusion

The method used in this research is the target feasibility method, which is based on this method of assigning reliability using 4 factors of complexity, environment, performance time and new technology. In order to reduce the disadvantages of this method and make allocation in a more accurate way, the resilience factor was included as the fifth factor in the calculations and the subsystems were validated with this new factor based on the three suppliers provided in addition to the previous factors. According to the output of Fu's method, reliability allocation is more accurate by considering a factor called suppliers' resilience, and by using this index, it is possible to determine the subsystem that has higher resilience at the time of disruption. Considering that each supplier only has the ability to supply a subsystem assigned to it, so choosing the subsystem with higher resilience is also the choice of the superior supplier. By considering the resilience factor for three suppliers, the reliability of each was determined separately and according to the weights obtained from the multiplication of the existing factors, the reliability allocation was calculated and it was observed that if the resilience of the suppliers is entered into the calculations as a new factor, the The reliability of two subsystems A and C changes, but the reliability of subsystem B remains unchanged. Researchers in the field of reliability and complex systems are suggested:

- Consider the development of each of the four factors in Fu's method in their research.
- Considering this research as a basis, the presented method should be developed in terms of management as well as providing other combined solutions.
- After the development of other factors of Foo method, a software can be developed to assign reliability.

• Designing a mathematical model for assigning reliability so that it includes more factors.

• Finding a quantitative relationship between the cost of a subsystem and its reliability so that the cost of the system is maximized under the minimum reliability constraint or the system reliability is maximized under the maximum cost constraint.

Reference

[1]. Chang, K. H. (2016). A more general reliability allocation method using the hesitant fuzzy linguistic term set and minimal variance OWGA weights, Appl. Soft Comput. J., http://dx.doi.org/10.1016/j.asoc.2016.07.008

[2]. Cheng, Sh. L. Yung, Ch. Ch. Kuei, H. Ch. & Thing, Y. Ch. (2019). ME-OWA based DEMATEL reliability apportionment method Cheng-Shih Liaw.

[3]. Hang Hong, H. (2014). Research on Reliability Allcation Method for NC Grinding Mechine, in Applied Mechinics and Materials.

[4]. Karbasian, M. & Mohammad Hasani, F. (2018). Reliability management in the life cycle of systems- (In Persian)

[5]. Kyungmee, O. Kima, M. & Zuo, J. (2019). A new reliability allocation weight for reducing the occurrence of severe failure effects, Reliability Engineering & System Safety.

[6]. Kyungmee, O. Kima, M. & Zuo, J. (2018). Optimal allocation of reliability improvement target based on the failure risk and improvement. https://doi.org/10.1016/J.RESS.2018.06.024

[7]. Mirshams, M. Irani, S. Akhlghi, A. M. & Naseh, H. (2013). Reliability assignment of satellite subsystems with hierarchical analysis in the conceptual design phase, Space Science and Technology Quarterly, Volume 5, Number 2- (In Persian)

[8]. Mohamadi, M. Karbasian, M. (2018). Developing an economical model for reliability allocation of an electro-optical system by considering reliability improvement difficulty, criticality, and subsystems dependency, Journal of Industrial Engineering International https://doi.org/10.1007/s40092-018-0273-7(0123456789).

[9]. Novinzadeh, A. & Abolfathi Nobri, N. (2018). Determining the Reliability of Functional Systems and Satellite Subsystems, 7th Annual (International) Conference of Iran Aerospace Association- (In Persian)

[10]. Yugang, Z. Weimin, C & Fei, X. (2011). Study on reliability alloacation method of a system including motion mechanism, in Quality, Reliability, Risk, Maintenance and Safty Enginieering.