

ارائه‌ی شیوه‌ی جدید در تخصیص پایایی با استفاده از معیارهای تعیین میزان اهمیت در پایایی

Research Note

علی نوروزیان (کارشناس ارشد)

عبدالحمید اشراق‌نای جهرمی* (دانشیار)
 دانشکده‌ی مهندسی صنایع، دانشگاه صنعتی شریف

مهندسی پایایی و متعاقب آن تخصیص پایایی به زیرسیستم‌ها در فاز طراحی، عوامل مهمی هستند که توجه به آنها در طراحی محصول ضروری است. تخصیص پایایی، موجب دستیابی به محصولی پایا، ارزان و در عین حال مطابق با خواسته‌های مشتری، رقابت‌پذیر و سازگار با محدودیت‌های ما و نیز بهبود روش‌های طراحی و ساخت می‌شود. محققین بسیاری از پارامترهای فرایند تخصیص پایایی را با ایده‌هایی متفاوت ارائه داده‌اند که با آنالیز آنها، ضعف‌هایی آشکار شده است. یک جنبه‌ی مهم در نظر گرفته نشده، میزان اهمیت زیرسیستم‌ها با توجه به مکان آنها در چیدمان کل سیستم و میزان تأثیر آنها بر پایایی کل سیستم است. در این نوشتار با استفاده از معیارهای تعیین میزان اهمیت در پایایی، بر این ضعف غلبه شده است. با مقایسه‌ی نتایج اجرای شیوه‌ی جدید و دو مورد از پرکاربردترین شیوه‌های موجود در متون علمی بر مثال‌های آورده شده، برتر بودن نتایج حاصل از شیوه‌ی جدید مورد تأیید قرار گرفته است.

واژگان کلیدی: تخصیص پایایی، معیارهای میزان اهمیت در پایایی، اشکالات بنیادی، نقش هر زیرسیستم در پایایی سیستم.

alinoroozian65@gmail.com
 eshrahg@sharif.edu

۱. مقدمه

فرایند تخصیص پایایی، کاهش تعداد جواب‌های این نامعادله با توجه به محدودیت‌ها و فرضیات ماست، به طوری که تنها جواب‌های معقول و ممکن باقی بماند. به عبارت دیگر، پایایی زیرسیستم‌ها با توجه به محدودیت‌های در نظر گرفته شده در شیوه‌های تخصیص پایایی به شکلی تعیین می‌شود که فرضیات در نظر گرفته شده برای پایایی کل سیستم دست‌یافتنی شود.

تخصیص پایایی بخشی مهم در مهندسی پایایی است. در فرایند طراحی یک محصول اولین سؤال مهمی که در زمینه‌ی پایایی پرسیده می‌شود این است که «پایایی محصول نهایی چقدر باید باشد؟». دانستن این حقیقت بسیار مهم است اما برای طراحان نمی‌تواند خیلی کارایی داشته باشد. طراحان باید میزان پایایی هر زیرسیستم را در کار خود در نظر بگیرند، آنها باید بدانند که سهم هر یک از این زیرسیستم‌ها از پایایی کل سیستم چقدر است. پاسخ به این پرسش و در واقع گذشتن از این مرحله به طراحان کمک می‌کند تا به دو نکته‌ی اساسی پی ببرند: ۱. میزان کیفیت هر زیرسیستم؛ ۲. میزان منابعی که باید به هر زیرسیستم اختصاص یابد. اما فرایند تعیین پایایی زیرسیستم‌ها، به طوری که پایایی کل در نظر گرفته شده برای سیستم ارضا شود، فرایند آسانی نیست. می‌توان گفت پاسخ به این سؤال که: «با توجه به پایایی کل سیستم، میزان پایایی هر زیرسیستم چقدر باید باشد؟» هم‌ارز با حل نامساوی زیر است:

$$f(\hat{R}_1, \hat{R}_2, \dots, \hat{R}_n) \geq R^* \quad (1)$$

که در آن \hat{R}_i میزان پایایی اختصاص یافته به زیرسیستم i ام، R^* مقدار پایایی کل سیستم، و f تابع پایایی کل سیستم است. تعداد جواب این نامساوی، بدون در نظر گرفتن هیچ‌گونه محدودیتی، نامتناهی است. در واقع می‌توان گفت که هدف از ایجاد

* نویسنده مسئول

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۶/۱۶، اصلاحیه ۱۳۹۳/۱۲/۲۲، پذیرش: ۱۳۹۳/۳/۳۱.

۲. بیان مسئله

نتایج به دست آمده از اجرای شیوه‌های تخصیص پایایی نشان‌دهنده‌ی اشکالاتی اساسی در این شیوه‌هاست که منجر به ایجاد خطاهایی در نتایج آنها شده است. از مهم‌ترین اشکالات ذکر شده در منابع علمی می‌توان به عدم توجه به چیدمان و میزان اهمیت هر زیرسیستم در پایایی کل سیستم اشاره کرد.^[۱] مسلماً هر زیرسیستمی بنا به مکانی که در چیدمان کلی سیستم به خود اختصاص داده و نیز با توجه به مقادیر پیش‌بینی شده از عملکردهای گذشته، نقشی متفاوت از سایر زیرسیستم‌ها در پایایی کل سیستم ارائه می‌کند و متعاقباً باید پایایی متفاوتی را نیز به خود اختصاص دهد. این امر از بزرگ‌ترین مسائل مطرح شده در شیوه‌های تخصیص پایایی است که در منابع علمی به آن کم‌تر توجه شده است. هدف از ارائه‌ی این مقاله، دست‌یابی به شیوه‌ی است تا بتوان این نکته را وارد فرایند

تخصیص پایایی کرد. ابتدا در بخش بعدی توضیحاتی در ارتباط با مهم‌ترین شیوه‌های موجود داده می‌شود که با مراجعه به آنها می‌توان به ضعف آنها در این زمینه پی برد.

۳. مرور ادبیات

در این زمینه تحقیقات فراوانی انجام شده که با توجه به نوع محدودیت‌هایی که در هر یک از آنها برای انجام فرایند تخصیص پایایی در نظر گرفته شده، نتایج متفاوتی دارند. اولین کار در زمینه تخصیص پایایی در سال ۱۹۵۰ انجام شد و تا سال ۱۹۵۶ در سیستم‌های الکترونیکی به‌طور جدی مورد توجه قرار گرفت. در سال ۱۹۵۷ شیوهی توسط گروه مشورتی پایایی تجهیزات الکترونیکی^۱ ارائه شد که از میزان پیچیدگی زیرسیستم‌ها برای تخصیص پایایی استفاده می‌کرد.^[۲] در سال ۱۹۶۴ Aeronautical Radio Inc شیوهی مورد نظر خود را تحت عنوان شیوهی آرینگ^۲ ارائه کرد که از نرخ خرابی‌های پیش‌بینی شده‌ی زیرسیستم‌ها استفاده می‌کرد.^[۳] در همین سال براکا شیوهی جدید در این زمینه ارائه کرد که از چهار فاکتور استفاده می‌کرد: ۱. میزان توسعه‌یافتگی زیرسیستم؛ ۲. پیچیدگی زیرسیستم؛ ۳. شرایط محیطی که زیرسیستم در آن قرار دارد؛ ۴. نسبتی از زمان فعالیت کل سیستم که زیرسیستم مورد نظر فعال است.^[۴] در سال ۱۹۶۵ کارمیل شیوهی شبیه شیوهی براکا ارائه کرد که از فاکتورهای دیگری برای تخصیص استفاده می‌کرد.^[۵] در سال ۱۹۷۶ شیوهی مهم و پرکاربرد امکان‌سنجی از اهداف^۳ توسط اندرسن ارائه شد.^[۶] توضیحی کامل در مورد این شیوه و سه شیوهی دیگر -- شیوهی تخصیص مساوی، شیوهی آرینگ و شیوهی کمیته کردن کار -- در کتابچه‌ی راهنمای نظامی (۱۹۸۸) آورده شده است.^[۷] بوید در سال ۱۹۹۲ شیوهی بوید را ارائه کرد که خود ترکیبی از شیوهی آرینگ و شیوهی تخصیص مساوی بود.^[۸] در سال ۱۹۹۹ کو شیوهی تخصیص وزنی متوسط را ارائه کرد.^[۹] در سال ۲۰۰۱ ونگ و همکارانش، شیوهی جامع برای انجام تخصیص پایایی در طراحی دستگاه‌های CNC ارائه کردند.^[۱۰] فالکون، سیلوستر و بنا در سال ۲۰۰۲ شیوهی عوامل یکپارچه^۴ را به منظور تخصیص پایایی یک پروژه‌ی هوافضا ابداع کردند.^[۱۱] در سال ۲۰۰۸ لی‌لی و ژوو شیوهی برای انجام تخصیص پایایی با استفاده از تجزیه و تحلیل درخت خطا و تقابل دوگانه^۵ ارائه کردند.^[۱۲]

در سال ۲۰۰۹ چنگ و همکارانش با استفاده از عملگرهای جمع‌کننده‌ی بیشترین آنتروپی برخی از اشکالات شیوهی امکان‌سنجی اهداف و تخصیص وزنی متوسط را رفع کرده و شیوهی جدید در این زمینه ارائه کردند.^[۱] در ادامه، در سال ۲۰۱۱ تیمی متشکل از همین گروه، شیوهی دیماتل^۶ را برای وارد کردن رابطه‌ی بین اجزای سیستم، به همراه شیوهی آرینگ به شیوهی قبلی خود افزودند تا به این وسیله شیوهی جامع‌تر ارائه کنند.^[۱۳] در سال‌های بعد شیوه‌های متفاوت دیگری ارائه شده است که ایده‌ی اغلب آنها مشابه شیوهی امکان‌سنجی اهداف است. این شیوه‌ها بیشتر نحوه‌ی تعیین عوامل مؤثر برای تخصیص و نحوه‌ی گرفتن نظر خبرگان را بهبود بخشیده‌اند^[۱۴-۱۶] یا از ایده‌هایی نوین همچون نظریه‌ی فازی استفاده کرده‌اند.^[۱۷] البته در کنار شیوهی مهم امکان‌سنجی اهداف، شیوه‌هایی دیگر نیز بهبود یافته‌اند که بهبود در شیوهی کمیته‌سازی میزان کار^۷ با استفاده از منطق فازی از آن جمله است.^[۱۸] استفاده از برنامه‌ریزی پویا را نیز می‌توان یکی دیگر از نگرش‌های مورد استفاده در بهبود شیوه‌های تخصیص پایایی ذکر کرد.^[۱۹]

اغلب شیوه‌های ارائه شده، تنها در سیستم‌های سری مورد استفاده قرار می‌گیرند

و هیچ‌یک به نقش مهم اهمیت زیرسیستم در ساختار و پایایی سیستم توجه نداشته‌اند. در این مطالعه سعی بر آن است تا با استفاده از معیارهای تعیین میزان اهمیت در پایایی^۸، شیوهی جدید ارائه شود و از این طریق نقش اهمیت ساختاری زیرسیستم در فرایند تخصیص پایایی وارد شود. برای این کار از معروف‌ترین و پراستفاده‌ترین معیار در زمینه‌ی تعیین اهمیت در پایایی، موسوم به «معیار تعیین اهمیت برنیام»^۹ استفاده می‌شود. در ادامه شیوهی مورد نظر را در یک مثال فرضی و یک مثال واقعی با دو عدد از مهم‌ترین شیوه‌ها در زمینه‌ی تخصیص پایایی، که در سال‌های گذشته بسیار مورد توجه قرار گرفته‌اند و بهبودهای زیادی روی آنها صورت گرفته، مقایسه می‌کنیم. نتایج حاکی از کارا بودن شیوهی ارائه شده در این نوشتار برای وارد کردن اهمیت ساختاری زیرسیستم است.

در این نوشتار پس از بخش اول که به مقدمه اختصاص یافته، در بخش دوم به مطالب و استدلال‌هایی در مورد نقش فراموش شده‌ی مکان زیرسیستم در میزان تأثیر آن در پایایی کل سیستم می‌پردازیم. بخش سوم به ارائه‌ی دیدگاه معیارهای تعیین میزان اهمیت در پایایی و معیار استفاده شده در این مقاله اختصاص دارد. در بخش چهارم توضیحاتی در مورد نحوه‌ی پیاده‌سازی برخی از مهم‌ترین و پرکاربردترین شیوه‌های تخصیص پایایی ارائه شده و نهایتاً نتایج کار خود را با آنها مقایسه کرده‌ایم. در بخش پنجم یک روش جدید ارائه شده و بخش ششم به طرح مثال و مقایسه اختصاص یافته است. و نهایتاً در بخش هفتم نتیجه‌گیری کلی ارائه می‌شود.

۴. انتخاب مدل

در این بخش، ابتدا در مورد فلسفه و لزوم به‌کارگیری معیارهای تعیین اهمیت در پایایی برای تخصیص پایایی توضیحاتی ارائه می‌شود. این توضیحات نشان می‌دهند که عدم به‌کارگیری آنها موجب نقصان در مدل می‌شود. در ادامه معیار مورد استفاده در این تحقیق مورد بررسی قرار می‌گیرد و سپس توضیحاتی در ارتباط با شیوه‌هایی که نتایج را با آنها مقایسه کرده‌ایم ارائه می‌شود.

۱.۴. تأثیر مکان زیرسیستم‌ها بر میزان اهمیت آنها در پایایی کل سیستم

سیستم

به‌طور کلی در هر سیستم، زیرسیستم‌هایی که روی شاخه‌های سری قرار دارند از لحاظ تأثیر در پایایی سیستم، نقش حساس‌تری در مقایسه با سایر زیرسیستم‌ها دارند. اگر زیرسیستمی سری شده از کار بیفتد، مسلماً کل سیستم دچار مشکلات جدی‌تری می‌شود تا زمانی که زیرسیستم روی شاخه‌ی موازی از کار بیفتد. بنابراین زیرسیستم‌ها بنا به مکان خود در ساختار سیستم، نقش متفاوتی در پایایی سیستم ارائه کرده و لذا باید به هنگام طراحی و ساخت پایایی‌های متفاوتی را به خود اختصاص دهند. از طرف دیگر حتی پس از ساخت محصول نیز گاهی شرایطی پیش می‌آید که باید پایایی کل سیستم را افزایش داد. در شرایط مذکور نیز افزایش پایایی زیرسیستم‌های مهم‌تر اولویت پیدا می‌کند؛ زیرا با افزایش کم‌تر در پایایی آنها می‌توانیم به ارتقای بیشتر پایایی کل سیستم دست یابیم. با توجه به مطالب گفته شده، لازم است میزان اهمیت هر زیرسیستم در تخصیص پایایی مورد توجه طراحان قرار گیرد. با مطالعه‌ی اجمالی در شیوه‌هایی که تاکنون ارائه شده، مشخص می‌شود که این مسئله در نظر گرفته نشده و فرض اولیه‌ی بسیاری از این شیوه‌ها سری بودن سیستم مورد بررسی است.

مهم‌ترین مطالعه‌ی انجام شده در زمینه‌ی میزان اهمیت زیرسیستم در پایایی

۳.۴. شیوه‌های تخصیص

در این تحقیق از شیوه‌ی آرینک و بیشترین آنتروپی برای مقایسه‌ی نتایج کار استفاده شده است. شیوه‌ی آرینک، شیوه‌ی بسیار مهمی است که در مسائل نظامی بسیار پرکاربرد است. در حال حاضر نیز این شیوه به شکل گسترده‌ی مورد استفاده قرار می‌گیرد.^[۱۳] از آنجا که شیوه‌ی آرینک نیز همانند شیوه‌ی ارائه شده در تحقیق حاضر، از معیار نرخ خرابی برای تخصیص پایایی بهره می‌برد و نیز پرکاربرد است، از آن برای مقایسه‌ی نتایج بهره گرفته‌ایم. اما چون یکی از فرض‌های اولیه‌ی این شیوه، سری بودن سیستم مورد بررسی است نمی‌توان از آن در سیستم‌های موازی استفاده کرد.

از سوی دیگر، امروزه استفاده از شیوه‌های تخصیص پایایی که همانند شیوه‌ی FOO^{۱۲} با تعریف فاکتورها به تخصیص پایایی می‌پردازند، به طور گسترده‌ی رواج یافته است. در این شیوه‌ها نه تنها نقش اهمیت زیرسیستم‌ها در پایایی سیستم نادیده گرفته می‌شود، بلکه اصولاً برخلاف شیوه‌ی چون آرینک، از نرخ خرابی زیرسیستم‌ها هم برای تخصیص استفاده نمی‌کنند. از آنجا که هدف این مقاله نشان دادن تأثیر لحاظ کردن اهمیت زیرسیستم در پایایی سیستم است، از این دسته شیوه‌ها نیز یک شیوه (بیشترین آنتروپی) انتخاب کرده‌ایم. البته شیوه‌ی انتخاب شده -- بیشترین آنتروپی -- یکی از بهبود یافته‌ترین شیوه‌ها در کلاس شیوه‌هایی همانند FOO است.^[۱] مقایسه‌ی نتایج شیوه‌ی این مقاله با شیوه‌ی مذکور نیز بیانگر تفاوتی چشمگیر است که نتیجه‌ی در نظر گرفتن اهمیت زیرسیستم‌ها در پایایی کل سیستم برای تخصیص است. به طور کلی هدف از آوردن شیوه‌های آرینک و بیشترین آنتروپی این است که معلوم شود در صورت رعایت اهمیت در پایایی، به چه نوع نتایجی خواهیم رسید و پایایی اختصاص یافته چه تفاوتی خواهد داشت.

۱.۳.۴. شیوه‌ی تخصیص آرینک

این شیوه ساختار سیستم را به صورت سری با عملکرد نمایی در نظر گرفته و زمان عملکرد زیرسیستم‌ها را نیز یکسان فرض می‌کند. همچنین در این شیوه، تخمینی از نرخ خرابی زیرسیستم‌ها با استفاده از داده‌های قبلی در دست است. بنابراین اگر ما سیستمی با n زیرسیستم داشته باشیم، هدف تخصیص نرخ خرابی به زیرسیستم‌ها به طریقی است که نامساوی ۳ ارضا شود:

$$\sum_{i=1}^n \lambda_i^* \geq \lambda^* \quad (3)$$

در این نامساوی، λ^* نرخ خرابی در نظر گرفته شده برای کل سیستم و λ_i^* نرخ خرابی اختصاص داده شده به زیرسیستم i ام است. به منظور انجام فرایند این شیوه، ابتدا بردار وزن را طبق رابطه‌ی ۴ برای زیرسیستم‌ها به دست می‌آوریم که در آن w_i وزن اختصاص داده شده به زیرسیستم i ام است.

$$w_i = \frac{\lambda_i}{\sum_{i=1}^n \lambda_i} \quad (4)$$

λ_i نرخ خرابی تخمین زده شده برای زیرسیستم i ام، با توجه به داده‌های قبلی است. سپس نرخ خرابی اختصاص یافته به زیرسیستم i ام از رابطه‌ی ۵ به دست می‌آید.

$$\lambda_i^* = w_i \lambda^* \quad (5)$$

۲.۳.۴. شیوه‌ی تخصیص بیشترین آنتروپی

این شیوه ترکیبی است از شیوه‌ی امکان‌سنجی از اهداف و عملگرهای بیشترین آنتروپی که در آن برای هر زیرسیستم چهار فاکتور تعریف می‌شود. این فاکتورها شامل مواردی همچون پیچیدگی (I)، توسعه یافتگی (S)، مدت زمان عملکرد (P)،

کل سیستم، منجر به ارائه‌ی معیارهای میزان اهمیت در پایایی^{۱۰} شده است. این معیارها تصویری از رتبه‌ی هر زیرسیستم ارائه می‌کند که ناشی از تأثیر آن در پایایی کل سیستم است. در ارائه‌ی این رتبه‌بندی، مسائلی از قبیل مکان زیرسیستم در ساختار کل سیستم و نیز پایایی پیش‌بینی شده یا تخمین زده شده برای زیرسیستم را در نظر می‌گیرد.

در این تحقیق از معیارهای مذکور برای ارائه‌ی شیوه‌ی جدید در تخصیص پایایی استفاده شده است. در بخش بعدی توضیح مختصری در مورد معیار استفاده شده و نحوه‌ی عملکرد آن آورده می‌شود.

۲.۴. معیار میزان اهمیت برنهام^{۱۱}

در سال ۱۹۶۹ برنهام ایده‌ی معیارهای تعیین میزان اهمیت در پایایی را پایه‌گذاری کرد.^[۱۰] این معیارها میزان اهمیت هر یک از زیرسیستم‌ها را ارائه می‌دهند. طبق ایده‌ی ارائه شده در معیارهای مذکور، میزان اهمیت یک زیرسیستم تابع مکان زیرسیستم در ساختار کل سیستم و پایایی تخمین زده شده از زیرسیستم است. معیار برنهام، میزان اهمیت زیرسیستم k ام را در زمان t به صورت رابطه‌ی ۲ ارائه می‌کند:

$$I_K^B(t) = \frac{\partial R_s(t)}{\partial R_k(t)} = \frac{\partial F_s(t)}{\partial F_k(t)} \quad (2)$$

که در آن $I_K^B(t)$ میزان اهمیت زیرسیستم k ام در زمان t است. $\partial R_s(t)$ میزان پایایی سیستم در زمان t و $\partial R_k(t)$ مقدار پایایی زیرسیستم k در زمان t است. عدد به دست آمده هر قدر بزرگتر شود، تغییر در پایایی زیرسیستم موجب ایجاد تغییری بزرگ‌تر در پایایی کل سیستم می‌شود و در نتیجه اهمیت زیرسیستم در پایایی کل سیستم بیشتر می‌شود. به منظور رعایت اختصار، از این پس استفاده از R را جایگزین استفاده از $R(t)$ می‌کنیم. علل استفاده از معیار برنهام عبارت است از:

۱. اغلب معیارهای ارائه شده در این زمینه مستقل از زمان‌اند. معیار برنهام نیز به شکل مستقل از زمان ارائه شد، اما این معیار به راحتی وابسته به زمان می‌شود. مزیت قابلیت مذکور این است که در زمان عمر محصول، هنگامی که تخصیص پایایی را برای بهبود پایایی سیستم انجام می‌دهیم، می‌توانیم تصور واقعی‌تری از میزان اهمیت زیرسیستم در آن زمان داشته باشیم. در واقع میزان اهمیت زیرسیستم را می‌توانیم در هر نقطه از زمان به طور جداگانه محاسبه کنیم و سپس به وسیله‌ی آن به تخصیص پایایی پردازیم.^[۲۱]
۲. این معیار پایه‌ی بسیاری از معیارهای دیگر است و معیارهای دیگر از ایده‌ی آن استفاده کرده‌اند.^[۲۲]
۳. با گذشت چهار دهه از معرفی این معیار، هنوز هم پرستفاده‌ترین و مهمترین معیار در این زمینه است.^[۲۳-۲۵]
۴. محاسبات این معیار بسیار ساده است و کار با آن بسیار راحت است.
۵. این معیار برای گروه‌ی از زیرسیستم‌ها نیز قابل تعریف است و بدین ترتیب می‌توانیم به اهمیت دسته‌ی از زیرسیستم‌ها پی ببریم. هنگامی که تعداد زیرسیستم‌ها زیاد باشد و سیستم پیچیده شود، می‌توان با تعریف چند زیرسیستم به عنوان یک زیرسیستم، از پیچیدگی کار تخصیص پایایی کم کرد.

از آنجا که در این مقاله روش ارائه شده با شیوه‌های آرینک و بیشترین آنتروپی مقایسه شده است، بخش بعدی به ارائه‌ی توضیحی مختصر در مورد این دو شیوه اختصاص دارد.

۳. به دلیل راحتی کار با سیستم های سری، شیوه به دو بخش تقسیم می شود. بخش اول شیوه منحصر به سیستم های سری و بخش دوم مربوط به سیستم هایی است که دارای زیرسیستم های موازی شده نیز هستند. در این گام نوع سیستم را مشخص می کنیم. اگر سیستم مورد بررسی سری است به گام چهارم می رویم و در غیر این صورت به گام ششم می رویم.

۴. در این گام برای هر زیرسیستم یک وزن تولید می شود. برای تولید وزن، مقادیر میزان اهمیت به دست آمده برای زیرسیستم ها را معکوس می کنیم (علت این مورد در گام بعدی توضیح داده خواهد شد) و سپس همان طور که در رابطه ی ۱۱ آورده شده، هر مقدار را بر مجموع کل مقادیر تقسیم می کنیم.

$$w_i = \frac{(I_i^B)^{-1}}{\sum_{j=1}^n (I_j^B)^{-1}} \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (11)$$

بدین ترتیب وزن اختصاص داده شده به زیرسیستم نام که آن را w_i می نامیم، به دست می آید.

۵. وزن به دست آمده در گام قبلی را در نرخ خرابی مورد انتظار کل سیستم ضرب می کنیم. به این ترتیب نرخ خرابی مورد انتظار برای هر زیرسیستم طبق رابطه ی ۱۲ به دست می آید.

$$\lambda_i^* = w_i \times \lambda_s^* \quad (12)$$

که در آن λ_i^* نرخ خرابی اختصاص داده شده به زیرسیستم نام است. دلیل معکوس کردن مقادیر اهمیت در پایایی در این گام روشن می شود. هرچه میزان اهمیت زیرسیستمی بالاتر باشد، میزان نرخ خرابی آن باید پایین تر باشد. از آنجا که در سیستم های سری با میزان نرخ خرابی کار می کنیم، مقدار اهمیت در پایایی را معکوس می کنیم که نتیجه ی آن نرخ خرابی کم تر برای زیرسیستم مهم تر است.

۶. برای سیستم موازی می توان پایایی هر زیرسیستم را به صورت ضربی از پایایی زیرسیستم دیگر نوشت. برای مثال همانند فرمول ۱۳ پایایی تمامی زیرسیستم ها را بر مبنای پایایی زیرسیستم نام می نویسیم:

$$R_i = C_i \times R_j \quad i = 1, 2, \dots, n, \quad i \neq j \quad (13)$$

در این فرمول مقدار C_i از طریق مقایسه ی بین اهمیت در پایایی زیرسیستم نام و نام به دست می آید. مقدار این ضریب برای زیرسیستم نام و سایر زیرسیستم ها از طریق فرمول ۱۴ محاسبه می شود.

$$C_i = \frac{I_i^B}{I_j^B} \quad i = 1, 2, \dots, n, \quad i \neq j \quad (14)$$

۷. در این گام، مقادیر حاصل از گام ششم و نیز R_s^* را در رابطه ی ۹ جایگزین می کنیم و سپس با حل معادله ی حاصل، میزان پایایی زیرسیستم نام را محاسبه می کنیم؛ به این ترتیب R_j^* به دست می آید. سپس مقادیر پایایی سایر زیرسیستم ها را با استفاده از مقادیر به دست آمده در گام قبلی و پایایی زیرسیستم نام محاسبه می کنیم.

۸. در شرایطی که پایایی یکی از زیرسیستم ها بسیار بیشتر از سایرین باشد و پایایی مورد نظر برای سیستم نیز بسیار بالا باشد، ممکن است میزان پایایی اختصاص داده شده به آنها بیشتر از یک باشد. در این گام نتایج گام هفتم را بررسی می کنیم، اگر همه ی آنها قابل قبول باشند که متد خاتمه می یابد و در غیر این صورت به گام نهم می رویم.

شرایط محیطی (E)، مدت زمان مأموریت (T) و کارایی (E) هستند. پس از تعیین چهار فاکتور مطلوب، براساس نظر متخصصین رتبه ی هر فاکتور برای هر زیرسیستم که عددی صحیح بین ۱ تا ۱۰ است، به دست می آید. نتیجه برای هر زیرسیستم شامل چهار عدد است. مرحله ی بعدی به دست آوردن مجموع این چهار عدد برای هر زیرسیستم است، تا نهایتاً یک عدد برای هر زیرسیستم داشته باشیم. فرایند جمع کردن توسط عملگرهای جمع کننده ی شیوهی بیشترین آنتروپی انجام می شود. این فرایند یک ورودی و یک خروجی دارد. ورودی شامل چهار عدد اختصاص داده شده به هر زیرسیستم است که توسط بردار (a_1, a_2, a_3, a_4) نشان داده می شود، و خروجی یا همان w'_k وزن زیرسیستم است. فرایند مذکور برای یک بردار n بعدی عبارت است از:

$$w'_k = f(a_1, a_2, \dots, a_n) = \sum_{i=1}^n w_i b_i \quad (6)$$

که در آن b_i نمایانگر آمین عنصر بزرگ در بردار (a_1, a_2, \dots, a_n) است -- بردار شامل چهار عدد اختصاص یافته به هر زیرسیستم است که به صورت ورودی به عملگر داده می شود. w_i عنصر نام در بردار وزن $W = [w_1, w_2, \dots, w_n]^T$ با ویژگی های $\forall w_i \in [0, 1], i = 1, \dots, n, \sum_i w_i = 1$ است. w'_k وزن به دست آمده برای زیرسیستم نام یا همان خروجی فرایند است. سپس ضریب هر زیرسیستم (C'_k) از رابطه ی ۷ به دست می آید:

$$C'_k = \frac{w'_k}{W'} \quad (7)$$

که در آن W' جمع w'_k برای تمامی زیرسیستم هاست. سپس برای یافتن نرخ خرابی اختصاص داده شده به زیرسیستم نام از رابطه ی ۸ استفاده می کنیم.

$$\lambda_k = C'_k \lambda_s \quad (8)$$

λ_s نرخ خرابی مطلوب برای کل سیستم است. [۱۳]

۴.۴. شیوهی جدید

حال با استفاده از معیار معرفی شده توسط برنهام، شیوهی جدید معرفی می شود. این شیوه از ۱۱ گام تشکیل شده است. تصور کنید که سیستمی متشکل از n زیرسیستم است؛ پایایی زیرسیستم نام با R_i نشان داده می شود و پایایی و نرخ خرابی مطلوب برای آن (حاصل از فرایند تخصیص پایایی) به ترتیب برابر با R_i^* و λ_i^* است. پایایی کل سیستم برابر با R_s و پایایی یا نرخ خرابی مطلوب برای کل سیستم برابر با R_s^* و λ_s^* است. برای هر زیرسیستم پایایی یا نرخ خرابی تخمینی از کارکردهای قبلی نیز در دست است. به این ترتیب پایایی تخمینی زیرسیستم نام با R_i^e نشان داده می شود. حال شیوهی پیشنهادی چنین است:

۱. با توجه به چیدمان کل سیستم، تابع پایایی آن که تابعی همانند f از پایایی زیرسیستم هاست، عبارت خواهد بود از:

$$R_s = f(R_1, R_2, \dots, R_n) \quad (9)$$

۲. میزان اهمیت پایایی هر کدام از زیرسیستم ها را محاسبه می کنیم. میزان اهمیت زیرسیستم نام را با I_i^B نشان می دهیم و مقدار آن از جایگذاری مقادیر پیش بینی شده در رابطه ی ۱۰ به دست می آید.

$$I_i^B = \frac{\partial f(R_1, \dots, R_n)}{\partial R_i} \quad (10)$$

۵. پیاده‌سازی مدل و تجزیه و تحلیل

۱.۵. مقایسه‌ی شیوه با ترکیبی از شیوه‌های آرینک و بیشترین

آنتروپی و اجرا بر روی مثال منبع^[۱۳]

نتایج نهایی شیوه روی مثال مطرح در منبع موجود،^[۱۳] به همراه داده‌های داده شده در متن نوشتار آن منبع^[۱۳] (حاصل از ترکیب شیوه‌های بیشترین آنتروپی، آرینک و دیپاتل) در جدول ۱ آورده شده است. به دلیل نزدیکی نرخ خرابی‌ها به یکدیگر، در برخی از موارد از شش رقم دقت استفاده شد تا تفاوت نشان داده شود.

با مقایسه‌ی نتایج به دست آمده از شیوه‌ی ارائه شده و نیز نتایج منبع مذکور (جدول ۱)، تصویری واضح از عملکرد آنها خواهیم داشت. یکی از مهم‌ترین موارد، همگرایی داده‌های حاصل از شیوه‌ی ارائه شده است که با توجه به سری بودن سیستم و یکسانی میزان تأثیر زیرسیستم‌ها بر پایایی کل سیستم از طریق مکان آنها در چیدمان، معقول به نظر می‌رسد. برای اثبات نزدیکی داده‌های حاصل از شیوه‌ی این مقاله، و نیز تفاوت معنی‌دار آن با داده‌های حاصل از شیوه‌ی دیگر، از تحلیل واریانس استفاده می‌شود. برای این تحلیل، شیوه‌ی مطرح در مطالعات پیشین^[۱۳] و شیوه‌ی ارائه شده را با نرخ خرابی‌های مختلفی روی همان مثال واقعی اجرا می‌کنیم. نرخ خرابی‌های در نظر گرفته شده عبارت‌اند از: $196/0580$ (که همان مقدار اصلی منبع سیزدهم است)، 110 ، 120 ، 180 ، 190 و 210 که ضریب تمامی آنها 10^{-6} است. مقادیر تابع فشار برای بلوک‌ها (همان زیرسیستم‌ها) مطابق جدول ۲ به دست آمده است.

مشاهده می‌شود که مقدار تابع فشار برای شیوه‌ی این تحقیق بسیار پایین است و در نتیجه عملاً رد کردن فرض صفر که همانا برابری میانگین بلوک‌ها است را با هر میزان خطای نوع یک غیر ممکن می‌کند. در نتیجه میانگین بلوک‌ها برابرند که نزدیک بودن داده‌های حاصله از شیوه‌ی این تحقیق را به اثبات می‌رساند. در مقابل، مقادیر تابع فشار برای شیوه‌ی پیشین بسیار بالاست و حتی با مقادیر کم خطای نوع یک نیز فرض برابری میانگین بلوک‌ها رد می‌شود که نشان از وجود اختلافی معنی‌دار در داده‌های حاصل از شیوه‌ی قدیمی^[۱۳] است.

به‌عنوان مورد دیگر، در نتایج حاصل از شیوه‌ی قدیمی، برخی از نرخ خرابی‌ها (نرخ خرابی IBU) بسیار پایین است که از لحاظ اقتصادی مقرون به صرفه نیست و برخی دیگر نیز نرخ خرابی‌های بسیار بالایی را در مقایسه با سایرین دارند که در دنیای عمل این نرخ خرابی بالا معقول نیست. همان‌طور که ملاحظه می‌شود این مسائل در روش ارائه شده در این مقاله مد نظر قرار گرفته است.

مورد دیگر این است که اگر داده‌های حاصل از کارکردهای قبلی نشان از بالا بودن نرخ خرابی زیرسیستمی داشته باشند، نرخ خرابی آن با استفاده از روش آرینک بالا خواهد ماند که نقش بهبود در پایایی در نظر گرفته نمی‌شود. این مسئله در روش این مقاله در نظر گرفته شده است.

۲.۵. مثال موازی

در این مرحله شیوه‌ی مورد نظر را بر روی مثال پیچیده‌تری که در شکل ۱ نشان داده شده است به کار می‌بریم. از آنجا که یکی از فرض‌های اساسی در سایر شیوه‌های تخصیص پایایی، سری بودن سیستم است، از اجرای سایر شیوه‌ها و داشتن مقایسه صرف نظر می‌شود.

فرض کنید پایایی مطلوب سیستم در یک سال برابر $0/86$ باشد. روش را روی این مثال انجام می‌دهیم. به‌منظور خاتمه‌ی فرایند تخصیص پایایی، از برنامه‌ریزی

۹. در این گام دو مجموعه‌ی A و B را تعریف می‌کنیم. مجموعه‌ی A اندیس زیرسیستم‌هایی را شامل می‌شود که پایایی آنها در گام هفتم کم‌تر از ۱ است؛ مجموعه‌ی B نیز شامل اندیس‌هایی می‌شود که پایایی زیرسیستم معرف آنها در گام هفتم، بیشتر از ۱ شده است. با توجه به محدودیت‌های هزینه‌ی و تکنولوژیکی، بیشترین میزان پایایی ممکن را برای زیرسیستم‌های مجموعه‌ی B تخمین می‌زنیم و این مقادیر را به آنها اختصاص می‌دهیم.

۱۰. مقادیر به دست آمده از گام هفتم، برای پایایی زیرسیستم‌های مجموعه‌ی A را به همراه مقادیر حاصل از گام نهم برای پایایی زیرسیستم‌های مجموعه‌ی B ، در رابطه‌ی ۹ جایگزین می‌کنیم. اگر مقدار به دست آمده برای پایایی کل سیستم مقدار در نظر گرفته شده را ارضا کرد، شیوه به انتها می‌رسد و در غیر این صورت به گام آخر می‌رویم.

۱۱. در این گام از برنامه‌ریزی ریاضی استفاده می‌کنیم. از آنجا که پایایی به دست آمده برای کل سیستم کمتر از مقدار مورد انتظار است، باید مقدار پایایی اختصاص داده شده به زیرسیستم‌ها را افزایش دهیم. البته با توجه به گام دهم، تنها پایایی زیرسیستم‌هایی را افزایش می‌دهیم که در مجموعه‌ی A قرار دارند. برای این کار از برنامه‌ی ریاضی زیر استفاده می‌کنیم.

$$\begin{aligned} \text{Max } & f(R_1, R_2, \dots, R_n) - R_s^* \\ \text{s.t. } & \sum_{\substack{i=1 \\ i \notin B}}^n b_i(R_i) \leq b_{rest} \\ & R_i^y \leq R_i < R_i^{\max} \quad i \notin B, i = 1, \dots, n \\ & \text{if } I_i \leq I_k \text{ then } R_i \leq R_k \quad i \neq k, i = 1, \dots, n \end{aligned} \quad (15)$$

حاصل $f(R_1, R_2, \dots, R_n)$ تابع پایایی کل سیستم است که مقادیر پایایی‌های حاصل برای زیرسیستم‌های مجموعه‌ی B در آن قرار داده شده است. $b_i(R_i)$ تابع تقریبی هزینه لازم برای دست‌یابی به پایایی R_i برای زیرسیستم i ام است. بودجه‌ی باقی‌مانده پس از اختصاص پایایی به اعضای مجموعه‌ی B در گام نهم است. R_i^y میزان پایایی اختصاص یافته به زیرسیستم i ام در گام هفتم است. R_i^{\max} بیشترین پایایی برای زیرسیستم i ، با توجه به محدودیت‌های تکنولوژیکی و نیز هزینه‌ی.

محدودیت اول، محدودیت‌های بودجه‌ی ما را نشان می‌دهد. محدودیت دوم بیان‌گر این نکته است که پایایی اختصاص یافته به زیرسیستم i ام، دست کم باید برابر با پایایی اختصاص داده شده در گام هفتم باشد و حداکثر میزان آن باید برابر با مقدار R_i^{\max} که حداکثر توانایی ما را نشان می‌دهد باشد. محدودیت آخر، الفاکنده‌ی ایده‌ی ما در مورد نقش میزان اهمیت در پایایی سیستم است.

همان‌طور که در مدل دیده می‌شود، محدودیت‌های تکنولوژیکی و مالی نیز در تخصیص پایایی مطرح می‌شوند. البته در مراحل وارد کردن محدودیت‌های مالی و نیز تکنولوژیکی، دقت بالا هر چند مطلوب است اما مورد انتظار و الزامی نیست. این مورد به دلیل ماهیت کار تخصیص پایایی و نیز شیوه‌ی ارائه شده است، که نگرشی مقایسه‌ی دارد. لذا استفاده از نظر چند متخصص به‌عنوان ارائه‌کننده‌ی تقریب‌هایی از میزان محدودیت‌های هزینه‌ی و تکنولوژیکی، می‌تواند کافی باشد.

جدول ۱. داده‌های مثال اول از شیوهی منبع سیزدهم و شیوهی جدید.

		نرخ خرابی اختصاص یافته (اعداد در 10^6 ضرب شده‌اند)								
شیوه		CPU	IOP	ADIO	۱۵۵۳/DOUT	P/S	ACS	IBU	Mother board	
منبع [۱۳]	مقادیر	۰/۵	۳۹,۹۹۶۳۵	۳۱,۷۶۸۸۴	۱۱,۶۹۷۴۰	۱۵,۶۱۹۴۷	۶۲,۹۳۹۹۲	۱۶,۸۶۴۱۸	۴,۱۰۱۷۱	۱۳,۰۷۰۱۲
	مختلف	۰/۶	۳۷,۷۴۱۱۰	۳۱,۴۴۰۲۸	۱۱,۷۴۷۰۷	۱۴,۴۵۷۶۷	۶۶,۴۸۸۷۸	۱۵,۸۶۲۸۹	۳,۸۰۴۶۸	۱۴,۵۳۵۵۳
	α	۰/۷	۳۷,۲۲۳۶۵	۳۱,۲۲۱۲۰	۱۱,۷۱۹۱۹	۱۴,۲۱۱۵۵	۶۶,۸۲۷۴۴	۱۵,۶۲۵۴۱	۴,۳۷۰۲۷	۱۴,۸۵۹۳۰
		۰/۸	۳۷,۰۷۷۴۵	۳۱,۲۲۴۰۱	۱۱,۷۶۶۶۳	۱۴,۱۲۴۷۷	۶۷,۴۲۴۲۶	۱۵,۵۴۴۲۶	۳,۶۹۴۵۹	۱۵,۲۰۲۰۳
		۰/۹	۳۶,۳۶۱۹۰	۳۰,۸۱۸۶۳	۱۱,۸۰۳۷۸	۱۳,۷۸۳۳۸	۶۸,۳۲۵۵۹	۱۵,۱۴۷۹۲	۳,۵۵۲۴۶	۱۶,۲۶۴۳۲
		۱/۰	۳۵,۸۷۸۷۸	۳۰,۷۰۶۰۰	۱۱,۸۹۲۲۶	۱۳,۶۱۱۱۴	۶۸,۵۵۸۹۸	۱۴,۶۹۵۸۱	۳,۴۱۱۸۵	۱۷,۹۳۸۵۹
	شیوهی جدید		۲۴,۵۰۷۲۷	۲۴,۵۰۷۲۱	۲۴,۵۰۷۸۰	۲۴,۵۰۷۹۶	۲۴,۵۰۵۶۳	۲۴,۵۰۶۳۱	۲۴,۵۰۸۱	۲۴,۵۰۷۷

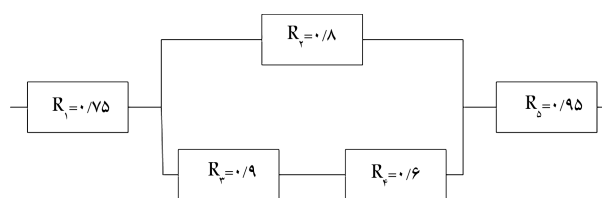
جدول ۲. مقادیر تابع فیشرفر برای مقایسه‌ی شیوهی جدید و شیوهی پیشین [۱۳].

شیوهی جدید	شیوهی پیشین [۱۳]					
	$\alpha = 0/5$	$\alpha = 0/6$	$\alpha = 0/7$	$\alpha = 0/8$	$\alpha = 0/9$	$\alpha = 1/0$
$10^{-9} \times 6,5300$	۳,۱۸۸۰	۳,۴۶۵۰	۳,۴۵۶۰	۳,۵۴۰۰	۳,۶۰۶۰	۳,۵۹۶۰
	مقادیر تابع فیشرفر برای بلوک‌ها					

زیرسیستم‌ها بیشتر است. علت به دست آمدن پایایی زیاد و غیرقابل قبول برای اولین زیرسیستم نسبت به سایر زیرسیستم‌ها را می‌توان اهمیت بسیار بالای آن دانست. حتی اگر زیرسیستم‌های دوم، سوم و چهارم را در کنار یکدیگر و به صورت یک زیرسیستم در نظر بگیریم، پایایی تخمین زده شده برای آن برابر $0/9080$ می‌شود. این امر نشان‌گر بیشتر بودن پایایی این زیرسیستم جدید نسبت به پایایی زیرسیستم پنجم است که در صورت محاسبه‌ی پایایی اختصاص داده شده به آن به عدد $0/963040$ می‌رسیم. با در نظر گرفتن این موارد، مدل ارائه شده در این مقاله به نقش میزان اهمیت در پایایی توجه داشته است. همچنین مراحل گام یازدهم نشان‌گر استفاده از محدودیت‌های مالی و تکنولوژیکی در تخصیص است. برای مثال، پایایی زیرسیستم چهارم -- به دلیل کم‌تر بودن هزینه‌ی افزایش پایایی آن -- بیشتر از پایایی زیرسیستم پنجم افزایش یافته است. اما در عین حال، پایایی آن همچنان کم‌تر از پایایی زیرسیستم پنجم است و این مسئله به دلیل کم‌تر بودن میزان اهمیت در پایایی آن نسبت به زیرسیستم پنجم است. بنابراین مدل ارائه شده در این مقاله علاوه بر در نظر گرفتن میزان اهمیت در پایایی، در شرایطی محدودیت‌های تکنولوژیکی و مالی را نیز در نظر می‌گیرد و لذا قابلیت کاربرد در شرایط واقعی را دارد.

۶. نتیجه‌گیری

تاکنون متدهای فراوانی در زمینه‌ی تخصیص پایایی ارائه شده که هر یک از آنها ایده‌های مختلفی را برای انجام فرایند تخصیص به کار می‌گیرند. در مطالعه‌ی ادبیات موضوع، اشکالاتی برای این الگوریتم‌ها ذکر شده است. یکی از مهم‌ترین این کاستی‌ها، عدم در نظر گرفتن نقش اهمیت زیرسیستم‌ها در پایایی کل سیستم است. [۱] معیارهای تعیین میزان اهمیت در پایایی، معیارهایی هستند که جهت کمی‌کردن این نقش، می‌توان از آنها استفاده کرد. عدم استفاده از معیارهای مذکور، با بررسی ادبیات موضوع مشهود است. این مقاله شیوه‌ی را برای در نظر گرفتن موارد مذکور در فرایند تخصیص پایایی ارائه می‌کند.



شکل ۱. مثال غیر سری.

جدول ۳. اطلاعات محدودیت‌های بودجه و تکنولوژی.

R_i^{max}	R_i^y	$b_i(R_i)$	
۰/۹۶۳۲	۰/۸۷۸۴۸۳	$1/5R_1$	زیرسیستم ۲
۰/۹۵۰۰	۰/۸۰۸۲۰۵	$2R_3$	زیرسیستم ۳
۰/۹۶۰۰	۰/۸۶۰۹۷۵	$2/1R_4$	زیرسیستم ۴
۰/۹۵۰۰	۰/۸۳۹۶۴۵	$1/7R_5$	زیرسیستم ۵

ریاضی استفاده می‌شود. برای ساده‌تر کردن محاسبات، تابع هزینه‌ی افزایش پایایی را ثابت در نظر گرفتیم. قبلاً مقدار پایایی زیرسیستم اول را افزایش داده‌ایم ولی پایایی مورد نظر برای سیستم ارضا نشده است. بودجه‌ی باقی‌مانده پس از تخصیص پایایی به زیرسیستم اول برابر $6/9$ واحد در نظر گرفته می‌شود. سایر اطلاعات ضروری برای حل مدل در جدول ۳ آورده شده است.

با استفاده از نرم‌افزار لینگو، مقادیر پایایی زیرسیستم‌ها به ترتیب عبارت است از $0/9000$ (مقدار افزایش یافته از گام ۹)، $0/9226$ ، $0/9632$ ، $0/9500$ و $0/9500$ و پایایی سیستم برابر با $0/8512$ به دست می‌آید. حال به منظور بررسی عملکرد شیوه، ابتدا پایایی‌های حاصل از مرحله‌ی هفتم را مورد بررسی قرار می‌دهیم. این مقادیر برای زیرسیستم‌های یک تا پنج به ترتیب برابر $1/062551$ ، $0/878473$ ، $0/808205$ ، $0/860975$ ، $0/839645$ است. مسلماً پایایی زیرسیستم دارای اهمیت بیشتر از پایایی سایر زیرسیستم‌هاست. برای مثال، پایایی زیرسیستم‌هایی همانند زیرسیستم اول و پنجم که در شاخه‌های سری قرار گرفته‌اند، نسبت به سایر

ندادن این امر در تخصیص چه ویژگی‌هایی خواهد داشت.

با تحلیل صورت گرفته روی نتایج پس از هر بار اجرا، ویژگی‌های مورد بحث مشخص شدند. این ویژگی‌ها حاکی از این بود که در سایر روش‌ها نقش اهمیت زیرسیستم‌ها در امر تخصیص در نظر گرفته نشده بود. البته این مسئله نشان از بی‌فایده بودن سایر شیوه‌ها ندارد. شیوه‌های مذکور تخصیص پایایی را با استفاده از پارامترهای مورد نظر خود انجام می‌دهند و در نتیجه پارامترهای مورد نظر آنها در نتایج‌شان وارد می‌شود. پارامتری که در نتایج مدل این تحقیق وارد می‌شود، همان تأثیر زیرسیستم در پایایی سیستم است که در بخش ۱.۳.۳ در مورد ضرورت در نظر گرفتن آن توضیحات کاملی ارائه شد. می‌توان گفت که ترکیب برخی از شیوه‌های موجود و شیوه‌ی ارائه شده در این مقاله، می‌تواند شیوه‌ی بسیار کارا تر و با عملکردی همه جانبه‌تر ایجاد کند که هم‌زمان، معیارهای بیشتری را در تخصیص پایایی دخالت می‌دهد. این امر می‌تواند موضوع مناسبی برای تحقیقات آتی باشد.

به دلیل سهولت کار با سیستم‌های سری، متد ارائه شده به دو بخش تقسیم می‌شود: بخش اول برای تخصیص پایایی در سیستم‌های سری، و بخش دوم برای کار با سیستم‌هایی که در آنها شاخه‌های موازی نیز وجود دارد. به منظور نشان دادن نحوه‌ی کار و عملکرد شیوه‌ی ارائه شده، نتایج آن را با دو شیوه‌ی پرکاربرد و معروف آرینک و شیوه‌ی بیشترین آنتروپی مقایسه کردیم. برای انجام مقایسه از یک مثال ساختگی و یک مورد واقعی^[۱۳] استفاده کرده و مدل‌ها را بر روی آنها اجرا کردیم. نتایج اجرای مدل‌ها حاکی از جواب‌دهی مناسب شیوه‌ی ارائه شده نسبت به سایر شیوه‌ها، در زمینه‌ی بهره‌گیری از معیارهای تعیین اهمیت در پایایی و متعاقباً اعمال میزان اهمیت زیرسیستم در فرایند تخصیص پایایی بود.

البته این نکته تنها با مقایسه‌ی نتایج شیوه‌ی ارائه شده با دو شیوه‌ی مطرح شده‌ی دیگر به دست نیامد. علت نتیجه‌گیری مذکور این است که سایر شیوه‌ها نیز، همانند دو شیوه‌ی مطرح شده، این نقش را در نظر نمی‌گیرند. با اجرای دو شیوه‌ی آرینک و بیشترین آنتروپی نیز تنها به دنبال نشان دادن این بودیم که نتایج حاصل از دخالت

پانویس‌ها

1. advisory group on reliability of electronic equipments
2. Arinc
3. feasibility-of-objectives (FOO)
4. integrated factors method (IFM)
5. dualistic contrast
6. Dematel
7. minimization of effort algorithm
8. reliability importance measures
9. Birnbaum
10. reliability importance measure
11. Birnbaum importance measure
12. feasibility-of-objectives

منابع (References)

1. Chang, Y.C., Chang, K.H. and Liaw, C.S. "Innovative reliability allocation using the maximal entropy ordered weighted averaging method", *Computers & Industrial Engineering*, **57**, pp. 1274-1281 (2009).
2. *Advisory Group of Reliability of Electronic Equipment (AGREE) Reliability of Military Electronic Equipment*, Washington, DC: Office of the Assistant Secretary of Defense Research and Engineering (1957).
3. Alven, W.H., *Reliability Engineering: Prepared by ARINC Research Corporation*, Englewood Cliff, NJ: Prentice Hall, Inc (1964).
4. Bracha, V.J. "The methods of reliability engineering", *Machine Design*, pp. 70-76 (1964).
5. Karmioli, E.D. "Reliability apportionment, preliminary report EIAM-5", Task II General Electric, Schenectady, NY, pp. 10-22 (1965).
6. Anderson, R.T., *Reliability Design Handbook*, Chicago, ITT Research Institute (1976).
7. Department of Defense of USA MIL-HDBK-338B, *Electronic Design Reliability Handbook*, pp. 6/7-6/19 (1988).
8. Boyd, J.A. "Allocation of reliability requirements: A new approach", *In Proceedings Annual Reliability and Maintainability Symposium*, Las Vegas, USA, IEEE (NY) (1992).
9. Kuo, H.E., *Reliability Assurance: Application for Engineering and Management*, (2nd ed.), Chinese Society for Quality, pp. 3/16-3/23 (1999).
10. Wang, Y., Yam, R.C.M. and et al. "A comprehensive reliability allocation method for design of CNC lathes", *Reliability Engineering and System Safety*, **72**(3), pp. 247-252 (2001).
11. Falcone, D., Silvestri, A. and Bona, G.D. "Integrated factors method (IFM): A new reliability allocation technique", SEA, IASTED. USA, Cambridge (2002).
12. Tong, L. and Cao, X. "Methodology for reliability allocation based on fault tree analysis and dualistic contrast", *Nuclear Science and Techniques*, **19**(4), pp. 251-256 (2008).
13. Liaw, C.S. and et al. "ME-OWA based DEMATEL reliability apportionment method", *Expert Systems with Applications*, **38**(8), pp. 9713-9723 (2011).
14. Li, M. and et al. "Reliability allocation for wafer stage system of lithography based on AHP", *in Quality, Reliability, Risk, Maintenance, and Safety Engineering (ICQR2MSE), 2012 International Conference, IEEE* (2012).
15. Li, Y. and Song, K. "Space camera electronics system reliability allocation based on weighted factor method and fuzzy synthetic assessment" *In 2013 International Conference on Advanced Computer Science and Electronics Information (ICACSEI 2013)*, Atlantis Press (2013).

16. Yeh, W.-C. and Hsieh, T.-J. "Solving reliability redundancy allocation problems using an artificial bee colony algorithm", *Computers and Operations Research*, **38**(11), pp. 1465-1473 (2011).
17. Sriramdas, V., Chaturvedi, S.K. and Gargama, H. "Fuzzy arithmetic based reliability allocation approach during early design and development", *Expert Systems with Applications*, **41**(7), pp. 3444-3449 (2014).
18. Jii, W. and et al. "Minimum effort reliability allocation method considering fuzzy cost of punching machine tools", *Journal of Applied Sciences*, **13**(20), pp.4113-4107 (2013).
19. Jia, J. and et al. "Research on dynamic programming of the series manufacturing system reliability allocation", *Journal of Convergence Information Technology*, **7**(7), pp.17-25 (2012).
20. Birnbaum, Z.W., *On the Importance of Different Components in a Multi- Component System*, In: Krishnaiah PR, editor. *Multivariate analysis-II*. New York: Academic Press, p. 581-92 (1969).
21. Natvig, B. "A suggestion of a new measure of importance of system components", *Stochastic Processes and their Applications*, **9**(3), pp. 319-330 (1979).
22. Kuo, W. and Zhu, X. "Relations and generalizations of importance measures in reliability", *IEEE Transactions on Reliability*, **61**(3), pp. 659-674 (2012).
23. Zhu, X., Yao, Q. and Kuo, W. "Patterns of the Birnbaum importance in linear consecutive- k-out-of-n systems", *IIE Transactions*, **44**(4), pp. 277-290 (2012).
24. Yao, Q., Zhu, X. and Kuo, W. "Heuristics for component assignment problems based on the Birnbaum importance", *IIE Transactions*, **43**(9), pp. 633-646 (2011).
25. Yao, Q., Zhu, X. and Kuo, W. "A Birnbaum-importance based genetic local search algorithm for component assignment problems", *Annals of Operations Research*, pp. 1-16 (2010).