مهندسی صنایع و مدیریت شریف، (زمستان ۱۳۹۴)
دوره‌ی ۱ - ۳۱، شماره‌ی ۲/۱، ص. ۱۱۷-۱۲۴، (یادداشت فنی)

Research Note

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

علی نوروزیان (کارشناس ارشد)
عبدالحمید اشراق‌نیای 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 آورده‌شده، 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
eshragh@sharif.edu

۱. مقدمه

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 هریک 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، به‌طوری 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:

$$f\left(\hat{R}_1, \hat{R}_2, ..., \hat{R}_n\right) \geq R^* \qquad (1)$$

که در آن $\hat{R}_i$ میزان پایایی اختصاص یافته به زیرسیستم iام، 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 فرایند تخصیص پایایی، کاهش تعداد جواب‌های این نامعادله با توجه به محدودیت‌ها و فرضیات ماست، به‌طوری که تنها جواب‌های معقول و ممکن باقی بماند. به‌عبارت دیگر، پایایی زیرسیستم‌ها با توجه به محدودیت‌های در نظر گرفته شده در شیوه‌های تخصیص پایایی به‌شکلی تعیین می‌شود که فرضیات در نظر گرفته شده برای پایایی کل سیستم دست‌یافتنی شود.

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 شیوه‌یی است تا بتوان این نکته را وارد فرایند

* نویسنده مسئول
تاریخ: دریافت ۱۳۹۲/۶/۱۶، اصلاحیه ۱۳۹۳/۱/۲۲، پذیرش ۱۳۹۳/۳/۳۱.

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 هریک از آنها برای انجام فرایند تخصیص پایایی در نظرگرفته شده، نتایج متفاوتی دارند. اولین کار در زمینه‌ی تخصیص پایایی در سال ۱۹۵۰ انجام شد و تا سال ۱۹۵۶ در سیستم‌های الکترونیکی به‌طور جدی مورد توجه قرار گرفت. در سال ۱۹۵۷ شیوه‌یی توسط گروه مشورتی پایایی تجهیزات الکترونیکی[1] 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 آرینک[2] ارائه کرد که از نرخ خرابی‌های پیش‌بینی شده‌ی زیرسیستم‌ها استفاده می‌کرد.[۳] در همین سال براکا شیوه‌یی 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 شیوه‌یی شبیه شیوه‌ی براکا ارائه کرد که از فاکتورهای دیگری برای تخصیص استفاده می‌کرد.[۵] در سال ۱۹۷۶ شیوه‌ی مهم و پرکاربرد امکانسنجی از اهداف[3] توسط اندرسن ارائه شد.[۶] توضیحی کامل درمورد این شیوه و سه شیوه‌ی دیگر ــ شیوه‌ی تخصیص مساوی، شیوه‌ی آرینک و شیوه‌ی کمینه کردن کار ــ در کتابچه‌ی راهنمای نظامی (۱۹۸۸) آورده شده است.[۷] بوید در سال ۱۹۹۲ شیوه‌ی بوید را ارائه کرد که خود ترکیبی از شیوه‌ی آرینک و شیوه‌ی تخصیص مساوی بود.[۸] در سال ۱۹۹۹ کو شیوه‌ی تخصیص وزنی متوسط را ارائه کرد.[۹] در سال ۲۰۰۱ ونگ و همکارانش، شیوه‌یی جامع برای انجام تخصیص پایایی در طراحی دستگاه‌های CNC ارائه کردند.[۱۰] فالکون، سیلوستر و بنا در سال ۲۰۰۲ شیوه‌ی عوامل یکپارچه[4] را به‌منظور تخصیص پایایی یک پروژه‌ی هوافضا ابداع کردند.[۱۱] در سال ۲۰۰۸ لی‌لی و ژوو شیوه‌یی برای انجام تخصیص پایایی با استفاده از تجزیه و تحلیل درخت خطا و تقابل دوگانه[5] 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 شیوه‌یی جدید در این زمینه ارائه کردند.[۱] در ادامه، در سال ۲۰۱۱ تیمی متشکل از همین گروه، شیوه‌ی دیماتل[6] را برای وارد کردن رابطه‌ی بین اجزای سیستم، به‌همراه شیوه‌ی آرینک به شیوه‌ی قبلی خود افزودند تا به این وسیله شیوه‌یی 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 کمینه‌سازی میزان کار[7] 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[8]، شیوه‌یی 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 برنبام[9]» 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 درمورد نقش فراموش شده‌ی مکان زیرسیستم در میزان تأثیر آن بر 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 درمورد 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 درمورد 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

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 مطالعه‌یی 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

کل سیستم، منجر به ارائه‌ی معیارهای میزان اهمیت در پایایی[10] 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 شیوه‌یی جدید در تخصیص پایایی استفاده شده است. در بخش بعدی توضیح مختصری درمورد معیار استفاده شده و نحوه‌ی عملکرد آن آورده می‌شود.

۲.۴. معیار میزان اهمیت برنبام[11]

در سال ۱۹۶۹ برنبام ایده‌ی معیارهای تعیین میزان اهمیت در پایایی را پایه‌گذاری کرد.[20] این معیارها میزان اهمیت هریک 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 تخمین‌زده شده از زیرسیستم است. معیار برنبام، میزان اهمیت زیرسیستم kام را در زمان t به‌صورت رابطه‌ی ۲ ارائه می‌کند:

$$I_K^B(t) = \frac{\partial R_s(t)}{\partial R_k(t)} = \frac{\partial F_s(t)}{\partial F_k(t)} \qquad (۲)$$

که در آن $I_K^B(t)$ میزان اهمیت زیرسیستم kام 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 هرقدر بزرگتر شود، تغییر در پایایی زیرسیستم موجب ایجاد تغییری بزرگ‌تر در پایایی کل سیستم می‌شود و درنتیجه اهمیت زیرسیستم در پایایی کل سیستم بیشتر می‌شود. به‌منظور رعایت اختصار، از این پس استفاده از R را جایگزین استفاده از $R(t)$ می‌کنیم. علل استفاده از معیار برنبام عبارت است از:

۱. اغلب معیارهای ارائه شده در این زمینه مستقل از زمان‌اند. معیار برنبام نیز به شکل مستقل از زمان ارائه شد، اما این معیار به‌راحتی 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 به‌طور جداگانه محاسبه کنیم و سپس به‌وسیله‌ی آن به تخصیص پایایی بپردازیم.[21]

۲. این معیار پایه‌ی بسیاری از معیارهای دیگر است و معیارهای دیگر از ایده‌ی آن استفاده کرده‌اند.[22]

۳. با گذشت چهار دهه از معرفی این معیار، هنوز هم پراستفاده‌ترین و مهمترین معیار در این زمینه است.[23-25]

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 بدین‌ترتیب می‌توانیم به اهمیت دسته‌یی از زیرسیستم‌ها پی ببریم. هنگامی که تعداد زیرسیستم‌ها زیاد باشد و سیستم پیچیده شود، می‌توان با تعریف چند زیرسیستم به‌عنوان 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 درمورد این دو شیوه اختصاص دارد.

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 به‌شکل گسترده‌یی مورد استفاده قرار می‌گیرد.[13] از آنجا که شیوه‌ی آرینک نیز همانند شیوه‌ی ارائه‌شده 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[12] با تعریف فاکتورها به‌تخصیص پایایی می‌پردازند، به‌طورگسترده‌یی رواج یافته است. در این شیوه‌ها نه‌تنها نقش اهمیت زیرسیستم‌ها در پایایی سیستم نادیده گرفته می‌شود، بلکه اصولاً برخلاف شیوه‌یی 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 ــ بیشترین آنتروپی ــ یکی از بهبودیافته‌ترین شیوه‌ها درکلاس شیوه‌هایی همانند FOO است.[1] مقایسه‌ی نتایج شیوه‌ی این مقاله با شیوه‌ی مذکور نیز بیان‌گر تفاوتی چشمگیر است که نتیجه‌ی در نظرگرفتن اهمیت زیرسیستم‌ها در پایایی کل سیستم برای تخصیص است.

به‌طور کلی هدف از آوردن شیوه‌های آرینک و بیشترین آنتروپی این است که معلوم شود درصورت رعایت اهمیت در پایایی، به چه نوع نتایجی خواهیم رسید و پایایی اختصاص‌یافته چه تفاوتی خواهد داشت.

۱.۳.۴. شیوه‌ی تخصیص آرینک

این شیوه ساختار سیستم را به‌صورت سری با عملکرد نمایی در نظرگرفته 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:

$$\sum_{i=1}^{n} \lambda_i^* \geq \lambda^* \qquad (۳)$$

در این نامساوی، λ^* نرخ خرابی در نظرگرفته شده برای کل سیستم و λ_i^* نرخ خرابی اختصاص داده شده به زیرسیستم iام است. به‌منظور 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 iام است.

$$w_i = \frac{\lambda_i}{\sum_{i=1}^{n} \lambda_i} \qquad (۴)$$

λ_i نرخ خرابی تخمین زده شده برای زیرسیستم iام، با توجه به داده‌های قبلی است. سپس نرخ خرابی اختصاص‌یافته به زیرسیستم iام از رابطه‌ی ۵ به دست می‌آید.

$$\lambda_i^* = w_i \lambda^* \qquad (۵)$$

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)،

شرایط محیطی (E)، مدت زمان مأموریت (T) وکارایی (E) هستند. پس از تعیین چهار فاکتور مطلوب، براساس نظر متخصصین رتبه‌ی هر فاکتور برای هر زیرسیستم که عددی صحیح بین ۱ تا ۱۰ است، به دست می‌آید. نتیجه برای هر زیرسیستم شامل چهار عدد است. مرحله‌ی بعدی به دست آوردن مجموع این چهار عدد برای هر زیرسیستم است، تا نهایتاً یک عدد برای هر زیرسیستم داشته باشیم. فرایند جمع‌کردن توسط عملگرهای جمع‌کننده‌ی شیوه‌ی بیشترین آنتروپی انجام می‌شود. 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 می‌شود، و خروجی یا همان w'_k وزن زیرسیستم است. فرایند مذکور برای یک بردار n بعدی عبارت است از:

$$w'_k = f(a_1, a_2, \ldots, a_n) = \sum_{i=1}^{n} w_i b_i \qquad (۶)$$

که در آن b_i نمایانگر iامین عنصر بزرگ در بردار $(a_1, a_2, \ldots, a_n)$ است ــ بردار شامل چهار عدد اختصاص‌یافته به هر زیرسیستم است که به‌صورت ورودی به عملگر داده می‌شود. w_i عنصر iام در بردار وزن $W = [w_1, w_2, \ldots, w_n]^T$ با ویژگی‌های $\forall w_i \in [0, 1],\ i = 1, \ldots, n,\ \sum_i w_i = 1$ است.[۱۳و۱] w'_k وزن به دست آمده برای زیرسیستم kام یا همان خروجی فرایند است. سپس ضریب هر زیرسیستم(C'_k) از رابطه‌ی ۷ به دست می‌آید:

$$C'_k = \frac{w'_k}{W'} \qquad (۷)$$

که در آن W' جمع w'_k برای تمامی زیرسیستم‌هاست. سپس برای یافتن نرخ خرابی اختصاص داده شده به زیرسیستم kام از رابطه‌ی ۸ استفاده می‌کنیم.

$$\lambda_k = C'_k \lambda_s \qquad (۸)$$

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

۴.۴. شیوه‌ی جدید

حال با استفاده از معیار معرفی شده توسط برنبام، شیوه‌ی جدید معرفی می‌شود. این شیوه از ۱۱ گام تشکیل شده است. تصورکنید که سیستمی متشکل از n زیرسیستم است؛ پایایی زیرسیستم iام با R_i نشان داده می‌شود و پایایی و نرخ خرابی مطلوب برای آن (حاصل از فرایند تخصیص پایایی) به‌ترتیب 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 ازکارکردهای قبلی نیز در دست است. به این ترتیب پایایی تخمینی زیرسیستم iام با R^e_i نشان داده می‌شود. حال شیوه‌ی پیشنهادی چنین است:

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

$$R_s = f(R_1, R_2, \ldots, R_n) \qquad (۹)$$

۲. میزان اهمیت پایایی هرکدام از زیرسیستم‌ها را محاسبه می‌کنیم. میزان اهمیت زیرسیستم iام را با I^B_i نشان می‌دهیم و مقدار آن از جایگذاری مقادیر پیش‌بینی شده در رابطه‌ی ۱۰ به دست می‌آید.

$$I^B_i = \frac{\partial f(R_1, \ldots, R_n)}{\partial R_i} \qquad (۱۰)$$

۳. به‌دلیل راحتی کار با سیستم‌های سری، شیوه به دو بخش تقسیم می‌شود. بخش اول شیوه منحصر به سیستم‌های سری و بخش دوم مربوط به سیستم‌هایی است که دارای زیرسیستم‌های موازی شده نیز هستند. در این گام نوع سیستم را مشخص می‌کنیم. اگر سیستم مورد بررسی سری است به گام چهارم می‌رویم و در غیر این صورت به گام ششم می‌رویم.

۴. در این گام برای هر زیرسیستم یک وزن تولید می‌شود. برای تولید وزن، مقادیر میزان اهمیت به دست آمده برای زیرسیستم‌ها را معکوس می‌کنیم (علت این مورد در گام بعدی توضیح داده خواهد شد) و سپس همان‌طورکه در رابطه‌ی ۱۱ آورده شده، هر مقدار را بر مجموع کل مقادیر تقسیم می‌کنیم.

$$w_i = \frac{\left(I^B_i\right)^{-1}}{\sum_{j=1}^{n}\left(I^B_j\right)^{-1}} \quad i = 1, 2, \ldots, n \qquad (۱۱)$$

بدین‌ترتیب وزن اختصاص داده شده به زیرسیستم iام که آن را w_i می‌نامیم، به دست می‌آید.

۵. وزن به دست آمده درگام قبلی را در نرخ خرابی مورد انتظارکل سیستم ضرب می‌کنیم. به این ترتیب نرخ خرابی مورد انتظار برای هر زیرسیستم طبق رابطه‌ی ۱۲ به دست می‌آید.

$$\lambda^*_i = w_i \times \lambda^*_s \qquad (۱۲)$$

که در آن λ^*_i نرخ خرابی اختصاص داده شده به زیرسیستم iام است.
دلیل معکوس کردن مقادیر اهمیت در پایایی در این گام روشن می‌شود. هرچه میزان اهمیت زیرسیستمی بالاتر باشد، میزان نرخ خرابی آن باید پایین‌تر باشد. از آنجا که در سیستم‌های سری با میزان نرخ خرابی کار می‌کنیم، مقدار اهمیت در پایایی را معکوس می‌کنیم که نتیجه‌ی آن نرخ خرابی کم‌تر برای زیرسیستم مهم‌تر است.

۶. برای سیستم موازی می‌توان پایایی هر زیرسیستم را به‌صورت ضریبی از پایایی زیرسیستم دیگر نوشت. برای مثال همانند فرمول ۱۳ پایایی تمامی زیرسیستم‌ها را بر مبنای پایایی زیرسیستم jام می‌نویسیم:

$$R_i = C_i \times R_j \quad i = 1, 2, \ldots, n, \quad i \neq j \qquad (۱۳)$$

در این فرمول مقدار C_i از طریق مقایسه‌ی بین اهمیت در پایایی زیرسیستم iام و jام به دست می‌آید. مقدار این ضریب برای زیرسیستم iام و سایر زیرسیستم‌ها از طریق فرمول ۱۴ محاسبه می‌شود.

$$C_i = \frac{I^B_i}{I^B_j} \quad i = 1, 2, \ldots, n, \quad i \neq j \qquad (۱۴)$$

۷. در این گام، مقادیر حاصل ازگام ششم و نیز R^*_s را در رابطه‌ی ۹ جایگزین می‌کنیم و سپس با حل معادله‌ی حاصل، میزان پایایی زیرسیستم jام را محاسبه می‌کنیم؛ به این ترتیب R^*_j به دست می‌آید. سپس مقادیر پایایی سایر زیرسیستم‌ها را با استفاده از مقادیر به دست آمده درگام قبلی و پایایی زیرسیستم jام محاسبه می‌کنیم.

۸. در شرایطی که پایایی یکی از زیرسیستم‌ها 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 می‌کنیم، اگر همه‌ی آنها قابل قبول باشند که متد خاتمه می‌یابد و در غیر این صورت به گام نهم می‌رویم.

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 هزینه‌یی 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 نظرگرفته شده را ارضا کرد، شیوه به انتها می‌رسد و در غیر این‌صورت 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.

$$
\begin{aligned}
\text{Max} \quad & f(R_1, R_2, ..., R_n) - R_s^* \\
s.t. \quad & \sum_{\substack{i=1 \\ i \notin B}}^{n} b_i(R_i) \le b_{rest} \\
& R_i^2 \le R_i < R_i^{\max} \qquad i \notin B,\ i = 1, ..., n \\
& if\ I_i \le I_k\ then\ R_i \le R_k \qquad i \ne k,\ i = 1, ..., n
\end{aligned}
\tag{۱۵}
$$

$f(R_1, R_2, ...R_n)$ 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 هزینه‌ی لازم برای دست‌یابی به پایایی R_i برای زیرسیستم iام است. b_{rest} بودجه‌ی باقی‌مانده پس از اختصاص پایایی به اعضای مجموعه‌ی B در گام نهم است. R_i^2 میزان پایایی اختصاص یافته به زیرسیستم iام در گام هفتم است. $R_i^{\max}$ بیشترین پایایی برای زیرسیستم i، با توجه به محدودیت‌های تکنولوژیکی و نیز هزینه‌یی.

محدودیت اول، محدودیت‌های بودجه‌یی ما را نشان می‌دهد. محدودیت دوم بیان‌گر این نکته است که پایایی اختصاص یافته به زیرسیستم iام، 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، القاکننده‌ی ایده‌ی ما درمورد 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 واردکردن محدودیت‌های مالی و نیز تکنولوژیکی، دقت بالا هر چند مطلوب است اما مورد انتظار و الزامی نیست. این مورد به‌دلیل ماهیت کار تخصیص پایایی و نیز شیوه‌ی ارائه شده است، که نگرشی مقایسه‌یی دارد. لذا استفاده از نظر چند متخصص به‌عنوان ارائه‌کننده‌ی تقریب‌هایی از میزان محدودیت‌های هزینه‌یی و تکنولوژیکی، می‌تواند کافی باشد.

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] به‌همراه داده‌های داده شده در متن نوشتار آن منبع[۱۳] (حاصل از ترکیب شیوه‌های بیشترین آنتروپی، آرینک و دیماتل) در جدول ۱ آورده شده است. به‌دلیل 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 به‌نظر 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 نظرگرفته شده عبارت‌اند از: ۱۹۶٫۰۵۸۰ (که همان مقدار اصلی منبع سیزدهم است)، ۱۱۰، ۱۲۰، ۱۸۰، ۱۹۰، ۲۰۰ و ۲۱۰ که ضریب تمامی آنها 10^{-6} است. مقادیر تابع فیشر برای بلوک‌ها (همان زیرسیستم‌ها) مطابق جدول ۲ به دست آمده است.

مشاهده می‌شود که مقدار تابع فیشر برای شیوه‌ی این تحقیق بسیار پایین است و درنتیجه عملاً ردکردن فرض صفرکه همانا برابری میانگین بلوک‌ها است را با هر میزان خطای نوع یک غیرممکن می‌کند. در نتیجه میانگین بلوک‌ها برابرند که نزدیک بودن داده‌های حاصله از شیوه‌ی این تحقیق را به اثبات می‌رساند. در مقابل، مقادیر تابع فیشر برای شیوه‌ی پیشین بسیار بالاست و حتی با مقادیرکم خطای نوع یک نیز فرض برابرض 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. همان‌طورکه ملاحظه می‌شود این مسائل در روش ارائه شده در این مقاله مد نظر قرارگرفته است.

مورد دیگر این است که اگر داده‌های حاصل ازکارکردهای 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 نظرگرفته نمی‌شود. این مسئله در روش این مقاله در نظرگرفته 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.

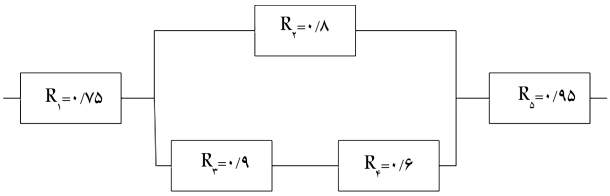
فرض کنید پایایی مطلوب سیستم در یک سال برابر ۰٫۸۶ باشد. روش را روی این مثال انجام می‌دهیم. به‌منظور خاتمه‌ی فرایند تخصیص پایایی، از برنامه‌ریزی

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

نرخ خرابی اختصاص‌یافته (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	۳۰/۰۷۰۶۰	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 فیشر برای مقایسه‌ی شیوه‌ی جدید و شیوه‌ی پیشین.[۱۳]

شیوه‌ی جدید	شیوه‌ی پیشین[۱۳]					
	$\alpha = 1/0$	$\alpha = 0/9$	$\alpha = 0/8$	$\alpha = 0/7$	$\alpha = 0/6$	$\alpha = 0/5$
$6/53 \times 10^{-9}$	۳/۵۹۶۰	۳/۶۰۶۰	۳/۵۴۰۰	۳/۴۵۶۰	۳/۴۶۵۰	۳/۱۸۸۰
مقادیر تابع فیشر برای بلوک‌ها						



شکل ۱. مثال غیر سری.

جدول ۳. اطلاعات محدودیت‌های بودجه و تکنولوژی.

	$b_i(R_i)$	$R_i^{\forall}$	R_i^{max}
زیرسیستم ۲	$1/5R_2$	۰/۸۷۸۴۸۳	۰/۹۶۳۲
زیرسیستم ۳	$2R_3$	۰/۸۰۸۲۰۵	۰/۹۵۰۰
زیرسیستم ۴	$2/1R_4$	۰/۸۶۰۹۷۵	۰/۹۶۰۰
زیرسیستم ۵	$1/7R_5$	۰/۸۳۹۶۴۵	۰/۹۵۰۰

ریاضی استفاده می‌شود. برای ساده‌ترکردن محاسبات، تابع هزینه‌ی افزایش پایایی را ثابت در نظرگرفتیم. 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 ۶/۹ واحد در نظرگرفته می‌شود. سایر اطلاعات ضروری برای حل مدل در جدول ۳ آورده شده است.

با استفاده از نرم‌افزار لینگو، مقادیر پایایی زیرسیستم‌ها به‌ترتیب عبارت است از ۰/۹۰۰۰ (مقدار افزایش یافته ازگام ۹)، ۰/۹۶۳۲، ۰/۹۲۲۶، ۰/۹۵۰۰ و ۰/۹۵۰۰ و پایایی سیستم برابر با ۰/۸۵۱۲ به دست می‌آید. حال به‌منظور بررسی عملکرد شیوه، ابتدا پایایی‌های حاصل از مرحله‌ی هفتم را مورد بررسی قرار می‌دهیم. این مقادیر برای زیرسیستم‌های یک تا پنج به‌ترتیب برابر ۱/۰۶۳۵۵۱، ۰/۸۷۸۴۷۳، ۰/۸۰۸۲۰۵، ۰/۸۶۰۹۷۵، ۰/۸۳۹۶۴۵ 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 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 به‌صورت یک زیرسیستم در نظر بگیریم، پایایی تخمین زده شده برای آن برابر ۰/۹۰۸۰ 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 ۰/۹۶۳۰۴۰ می‌رسیم. با در نظرگرفتن 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 ــ به‌دلیل کم‌تر بودن هزینه‌ی افزایش پایایی آن ــ بیشتر از پایایی زیرسیستم پنجم افزایش یافته است. اما در عین حال، پایایی آن همچنان کم‌تر از پایایی زیرسیستم پنجم است و این مسئله به‌دلیل کم‌تر بودن میزان اهمیت در پایایی آن نسبت به زیرسیستم پنجم است. بنابراین مدل ارائه شده در این مقاله علاوه بر در نظرگرفتن 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 هریک از آنها ایده‌های مختلفی را برای انجام فرایند تخصیص به‌کار می‌گیرند. در مطالعه‌ی ادبیات موضوع، اشکالاتی برای این الگوریتم‌ها ذکر شده است. یکی از مهم‌ترین این کاستی‌ها، عدم در نظرگرفتن 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 شیوه‌یی را برای در نظرگرفتن موارد مذکور در فرایند تخصیص پایایی ارائه می‌کند.

به‌دلیل 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. به‌منظور 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 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 درنتیجه 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. درمورد 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 شیوه‌یی بسیار کاراتر 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.

پانوشت‌ها

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. Karmiol, 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).