مدل ارزیابی زیست‌پذیری سامانه‌های پیچیده مهندسی در شرایط عدم قطعیت- مطالعه موردی یک ماهواره سار

مالک طهوری
دانشجوی دکتری، دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، mlk.thri@gmail.com
جعفر قیدر خلجانی
(نویسنده مسئول) استادیار، دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه صنعتی مالک اشتر *
محمدحسین کریمی گوارشکی
استادیار، دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، mh_karimi@aut.ac.ir

چکیده مبحث عملکرد سامانه‌های پیچیده مهندسی در محیط‌های با عدم قطعیت بالا یکی از مباحث روز پژوهش در حوزه مهندسی دستگاه‌ها می‌باشد. عدم قطعیت و مخاطرات موجود در محیط‌های ناشناخته ارزش فراهم شده توسط سامانه‌های پیچیده مهندسی برای ذینفعانش را به‌صورت قابل‌توجهی تحت تأثیر قرار می‌دهد. لذا توانمندسازی سامانه‌های پیچیده برای عملیات در شرایط عدم قطعیت، امری اجتناب‌ناپذیر می‌باشد. بدیهی است قبل از هرگونه اقدام در جهت بهبود طراحی این دستگاه‌ها برای دستیابی به توانمندی بیشتر، نیاز به تعیین شاخص و مدلی برای سنجش میزان توانمندی آن‌ها در مواجهه با شرایط عدم قطعیت می‌باشد. در این مطالعه که از نظر نوع پژوهش یک مطالعه ترکیبی از روش‌های تحقیق کیفی، کمی، کاربردی و بنیادی می‌باشد؛ پس از مرور و بررسی سوابق پژوهش، زیست‌پذیری به‌عنوان شاخصی برای ارزیابی توانمندی سامانه‌های پیچیده مهندسی برای عملیات در شرایط عدم قطعیت معرفی شده است. در ادامه یک مدل فرآیندی هفت مرحله‌ای تجویزی برای سنجش و کمی سازی این شاخص ارائه شده که توصیف عدم قطعیت چندگانه در محیط عملیاتی و مدل‌سازی سه سطحی از محیط عملیاتی، کارکردهای محصول و تجهیزات فیزیکی محصول از ویژگی‌های کلیدی آن می‌باشد. در انتها کاربردی بودن مدل ارائه شده از طریق یک مثال موردی در خصوص یک ماهواره تصویربرداری به‌عنوان یک سیستم پیچیده مهندسی نشان داده شده است. صحت مدل پیشنهادی بر اساس تحلیل نتایج مطالعه موردی و پرسشنامه تکمیل شده توسط خبرگان مورد تائید واقع شده است.

کلمات کلیدی سامانه‌های پیچیده مهندسی، الزامات غیر کارکردی، زیست‌پذیری، عدم قطعیت، ماتریس ساختار طراحی.

۱- مقدمه

مبحث عملکرد سامانه‌های پیچیده مهندسی در محیط‌های با عدم قطعیت بالا یکی از مباحث روز پژوهش در حوزه مهندسی دستگاه‌ها می‌باشد [۱], [۲].عدم قطعیت و مخاطرات موجود در محیط‌های ناشناخته ارزش فراهم شده توسط سامانه‌های پیچیده مهندسی برای ذینفعانش را به‌صورت قابل‌توجهی از طرق مختلفی همچون تغییر در نیاز ذینفعان و یا آشفتگی تحت تأثیر قرار می‌دهد. [۳]. بنابراین در فازهای اولیه از چرخه عمر یک سیستم و به‌ویژه در فازهای طراحی، طراحی سامانه‌های پیچیده مهندسی باید به‌گونه‌ای صورت پذیرد تا این سامانه‌ها در هنگام انجام عملیات در محیط‌های دارای عدم قطعیت بالا، کمترین حساسیت را نسبت به رخدادهای ناشناخته داشته باشند[۴].

در طراحی دستگاه‌ها عموماً دو نوع الزام مورد نظر قرار می‌گیرد. اولین نوع آن‌ها الزامات کارکردی[۱] می‌باشد. این الزامات فعالیت‌ها و کارهایی را توصیف می‌کنند که یک سیستم بایستی در طی عملیات انجام دهد [۵] و در طی فرایند طراحی منجر به توسعه پارامترهای طراحی[۲] سیستم می‌شوند. از طرف دیگر طراحی یک سیستم شامل محدودیت‌هایی است که در ادبیات طراحی سامانه‌ها تحت عنوان الزامات غیر کارکردی[۳] نام گرفته‌اند. در واقع الزامات غیرکارکردی همان دارایی‌های یک سیستم هستند که قابلیت توانمندسازی آن‌ها را در مقابل ناشناخته‌های موجود در محیط‌های عملیاتی با عدم قطعیت بالا ایجاد می‌نمایند [۵].

*(Corresponding author) Kheljani@aut.ac.ir

Archive of SID
www.SID.ir

بنابراین می‌توان عنوان کرد که به منظور افزایش توانمندی سامانه‌های پیچیده مهندسی برای عملیات در شرایط عدم قطعیت، باید با اعمال راهکارهای مهندسی مناسب، نسبت به بهبود الزامات غیرکارکردی آن‌ها اقدام نمود [۱]. با در نظر گرفتن موارد مطرح شده و همچنین با توجه به شکاف مطالعاتی موجود در این حوزه که در بخش دوم به صورت جزئی مورد بررسی قرار گرفته است، می‌توان عنوان کرد که تحقیق حاضر به دنبال پاسخگویی به دو سؤال اصلی زیر می‌باشد:

الف) به منظور ارزیابی توانمندی سامانه‌های پیچیده مهندسی در مواجهه با شرایط عدم قطعیت از چه معیاری (الزام/ الزامات غیرکارکردی) می‌توان استفاده نمود؟

ب) توانایی یک سیستم پیچیده مهندسی طراحی شده برای عملیات در شرایط عدم قطعیت به چه میزان است؟

به منظور پاسخ‌دهی به این دو سؤال و همچنین رفع خلأ مطالعاتی موجود در سوابق پژوهش، در این تحقیق به تعیین شاخص و ارائه مدلی برای ارزیابی توانمندی سامانه‌های پیچیده مهندسی برای عملیات در شرایط عدم قطعیت پرداخته شده است. ادامه این تحقیق به صورت ذیل ساختاردهی شده است: در بخش دوم تحقیق به بررسی و تعریف انواع الزامات غیرکارکردی ارائه شده توسط محققین در دهه‌های اخیر و مدل‌های توسعه یافته برای ارزیابی این الزامات در قالب مرور ادبیات تحقیق پرداخته شده است. در بخش سوم معیار انتخاب شده و مدل ریاضی توسعه یافته برای ارزیابی توانایی سامانه‌های پیچیده مهندسی در مواجهه با شرایط عدم قطعیت ارائه شده و کاربردی بودن مدل با ارائه مثالی از یک سامانه سنجش از دور راداری (ماهواره سار) در بخش چهارم نشان داده شده است. در انتها در بخش پنجم نتیجه‌گیری و پیشنهادهایی برای تحقیقات بیشتر در این خصوص ارائه شده است.

۲- پیشینه تحقیق

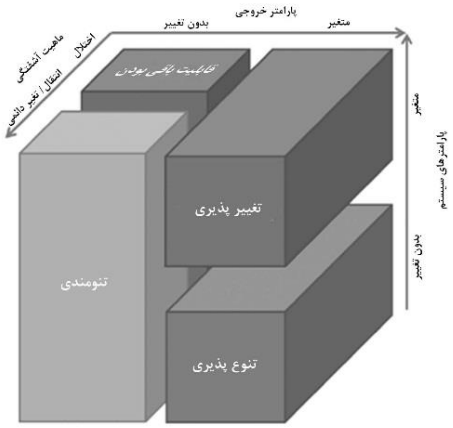
در ادبیات تحقیق بیش از ۲۰۰ الزام غیرکارکردی (همچون انعطاف‌پذیری، قابلیت بقا، استواری و ...) توسط محققین ارائه شده است که در دو تحقیق انجام شده توسط چانگ[۴] در سال ۲۰۰۰ [۶] و مایریزا[۵] در سال ۲۰۱۰ [۷] جمع‌بندی شده است. با توجه به تعدد الزامات ارائه شده توسط محققین، تلاش برای ساختاردهی به الزامات غیرکارکردی از سال ۱۹۷۶ آغاز و هنوز هم ادامه دارد. به‌عنوان مثال بوهم[۶] و همکارانش در سال ۱۹۹۶ تعداد ۲۲ الزام غیرکارکردی را در قالب یک درخت سلسله مراتبی ارائه نمودند [۸] . مدل‌های متفاوتی نیز توسط وزارت دفاع آمریکا به منظور ساختاردهی به الزامات غیرکارکردی ارائه شده است. یکی از این مدل‌های ارائه شده مدل کاوانو[۷] است [۹]. کاوانو در مطالعه انجام شده تعداد ۱۱ الزام غیرکارکردی را بر اساس فازهای چرخه عمر یک سیستم ساختاردهی نمود. سه محور اصلی در ساختار ارائه شده توسط کاوانو عبارت‌اند از اصلاح محصول[۸] به مفهوم اینکه یک سیستم خطاها را چقدر راحت اصلاح می‌نماید، گذار محصول[۹] به مفهوم اینکه سیستم چقدر راحت با تغییرات در محیط عملیاتی تطابق پیدا می‌کند و نهایتاً عملیات محصول به معنی اینکه سیستم چقدر خوب کار می‌کند. آخرین فعالیت‌های صورت گرفته در وزارت دفاع آمریکا در خصوص الزامات غیرکارکردی نرم‌افزارها در سال ۱۹۸۵ در قالب کتاب راهنمای ارزیابی کیفیت توسط بون[۱۰] ارائه شد [۱۰]. در این کتاب مجموعه کاملی از تکنیک‌ها و رویه‌ها برای فعال‌سازی و ارزیابی کیفیت نرم‌افزارها ارائه شد. مدل پیشنهادی دربرگیرنده ۳ مبحث اصلی در اکتساب، ۱۳ فاکتور کیفیت، ۲۹ معیار و ۷۳ شاخص می‌باشد. الزامات غیرکارکردی در استانداردهای بین‌المللی نیز در بخش‌های نرم‌افزار و کیفیت سامانه‌ها مورد بررسی قرار گرفته‌اند. استاندارد ISO/IEC 25023 فهرستی از الزامات غیرکارکردی، تعریف آن‌ها و نحوه اندازه‌گیری آن‌ها ارائه نموده است.

با توجه به تعدد الزامات غیرکارکردی در ادبیات تحقیق، تحقیقات ادامز و مکدکی در راستای معرفی مهم‌ترین و پرکاربردترین این الزامات صورت گرفت. ادامز فهرستی از الزامات غیرکارکردی که بیشترین استفاده را در تلاش‌های مهندسی داشته‌اند ارائه نمود. این الزامات به همراه تعریف مختصری از آن‌ها در جدول ۱ آورده شده است [۱۱]. از طرف دیگر مکدکی با هدف محدود کردن تعداد الزامات غیرکارکردی، سامانه‌ها را از منظر محیط عملیاتی پیش‌روی آن‌ها بررسی نمود [۱۲]. وی عنوان کرد که یک سیستم پیچیده نهادی است که مجموعه‌ای از فعالیت‌ها را انجام می‌دهد. سپس ویژگی (الزام کارکردی) مورد انتظار از سیستم را با ترکیبی از حالت‌های مختلف پارامترهای سیستم، پارامترهای خروجی و نوع آشفتگی به شرح ذیل و مطابق رسم توضیحی ۱ تعریف نمود [۱۲].

الف) اگر سامانه‌ای بدون تغییر در پارامترهای خودش بتواند خروجی را فراهم کند که برای فراهم آوردن آن طراحی نشده است، آنگاه سیستم دارای قابلیت تنوع‌پذیری (همه‌کاره بودن) می‌باشد. ب) اگر پارامترهای سیستم بتواند به منظور دستیابی به پارامترهای جدید خروجی تغییر کند آنگاه سیستم دارای قابلیت

Archive of SID
www.SID.ir

تغییرپذیری می‌باشد. ج) اگر سیستم بتواند ارزش فراهم شده و خروجی‌های مورد انتظار را در مواجهه با اختلالات کوتاه‌مدت فراهم نماید آنگاه سیستم دارای قابلیت بقا خواهد بود. د) اگر سیستم بتواند در مقابل تغییرات بلندمدت دوام آورده و آن‌ها را با موفقیت سپری نماید آنگاه سیستم دارای قابلیت تنومندی می‌باشد.



رسم توضیحی ۱.کاربرد الزامات غیرکارکردی در وضعیت‌های مختلف

با توجه به‌مرور ادبیات صورت گرفته می‌توان عنوان کرد که همچنان سه موضوع کلیدی در حیطه موضوع الزامات غیرکارکردی به‌ویژه در بحث سامانه‌های پیچیده مهندسی در ادبیات تحقیق وجود دارد. این سه موضوع عبارت‌اند از:

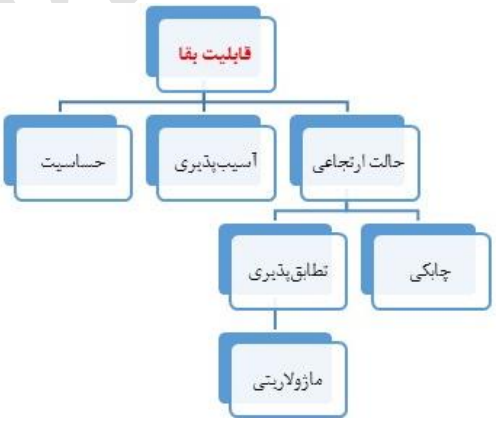
الف) اتفاق‌نظر در خصوص ساختاردهی و حتی تعاریف الزامات غیرکارکردی در ادبیات تحقیق وجود ندارد و برای هریک از آن‌ها تعاریف متعددی ارائه شده است که بعضاً نیز با یکدیگر در تناقض می‌باشند [۱۳]. ب) ارتباطات پیچیده‌ای بین الزامات غیرکارکردی وجود دارد که می‌توان گفت این پیچیدگی مدل‌سازی یکپارچه آن‌ها را اگر غیرممکن نسازد با دشواری بسیاری مواجه می‌کند [۱۳]. به‌عنوان مثال همان‌گونه که در رسم توضیحی ۲ نشان داده شده است به منظور افزایش قدرت بقای یک سیستم در محیط ناشناخته بایستی شاخص‌های حساسیت و آسیب‌پذیری سیستم را کاهش و از طرف دیگر قدرت ارتجاعی آن را افزایش داد که مورد آخر به‌نوبه خود وابسته به قدرت تطابق‌پذیری و میزان چابکی سیستم می‌باشد.

جدول ۱. توصیف الزامات غیر کارکردی [۱۱]

ردیف	عنوان	معادل فارسی	توصیف
۱	Accuracy	صحت	ارزیابی کمی از صحت یا استقلال از خطا
۲	Adaptability	تطابق‌پذیری	درجه‌ای که یک سیستم می‌تواند به صورت مؤثر و کارا با سخت‌افزارها و نرم‌افزارهای جدید و یا سایر محیط‌های کاربری تطابق یابد
۳	Availability	دسترس‌پذیری	میزانی که یک سیستم یا اجزاء آن عملیاتی بوده و در موقع نیاز دست‌یافتنی هستند
۴	Compatibility	سازگاری	توانایی دو یا چند سیستم یا زیرسیستم در انجام وظایفشان حین استفاده مشترک از سخت‌افزار و نرم‌افزار
۵	Conciseness	اختصار	ویژگی نرم‌افزاری که قابلیت اجرای یک کارکرد را با حداقل حجم کد دارد
۶	Correctness	درستی	درجه‌ای که یک سیستم یا یک جزء مستقل از خطا در مشخصات، طراحی و به‌کارگیری می‌باشد.
۷	Efficiency	کارایی	درجه‌ای که یک سیستم کار خود را با حداقل مصرف منابع انجام می‌دهد.
۸	Extensibility	توسعه‌پذیری	میزان سهولت در مورد اینکه یک سیستم بتواند ظرفیت کارکردی خود را افزایش دهد.
۹	Flexibility	انعطاف‌پذیری	میزانی که یک سیستم می‌تواند به منظور کارکرد در شرایطی که برای آن طراحی نشده است، تعدیل شود.
۱۰	Integrity	بی‌عیبی	درجه‌ای که یک سیستم از دسترسی یا اصلاح بدون مجوز داده‌ها و برنامه‌های کامپیوتری جلوگیری به عمل می‌آورد.
۱۱	Interoperability	عملیات مشترک	توانایی دو یا چند سیستم یا جزء در تبادل اطلاعات و استفاده از اطلاعات تبادل شده.

Archive of SID
www.SID.ir

ردیف	عنوان	معادل فارسی	توصیف
۱۲	Maintainability	قابلیت نگهداشت	درجه‌ای که یک سیستم یا یک جزء می‌تواند برای انجام کارکردهایش ابقاء شود.
۱۳	Modifiability	اصلاح‌پذیری	درجه‌ای که یک سیستم می‌تواند بدون نقص تغییر یابد.
۱۴	Modularity	ماژولاریتی	درجه‌ای که یک سیستم از اجزاء مستقل تشکیل شده است به‌گونه‌ای که تغییر در یک جزء کمترین تغییر در سایر اجزاء را ایجاب نماید.
۱۵	Operability	عملیاتی بودن	وضعیت یک سیستم به منظور آماده بودن جهت انجام کارکرد مورد انتظار.
۱۶	Portability	قابلیت انتقال	درجه‌ای که یک سیستم می‌تواند از یک محیط سخت‌افزاری یا نرم‌افزاری به محیط دیگری منتقل شود.
۱۷	Reliability	قابلیت اطمینان	قابلیت یک سیستم در انجام وظایفش در یک وضعیت مشخص برای مدت معین.
۱۸	Robustness	تنومندی	درجه‌ای که یک سیستم می‌تواند در شرایط وجود ورودی‌های نادرست و محیط متغیر به‌درستی عمل نماید.
۱۹	simplicity	سادگی	درجه‌ای که فهم طراحی و کاربرد یک سیستم آسان می‌باشد.
۲۰	Survivability	قابلیت باقی بودن	درجه‌ای که یک سیستم در شرایط نامساعد با فراهم کردن خدمات اساسی در زمان مناسب به انجام مأموریتش می‌پردازد.



رسم توضیحی ۲. نمونه‌ای از ارتباطات بین الزامات غیر کارکردی

ج) هنوز مدل جامعی به منظور سنجش توانمندی سامانه‌های پیچیده مهندسی برای عملیات در شرایط عدم قطعیت ارائه نشده و اکثر محققان به ارائه مفاهیم و اصول الزامات غیرکارکردی پرداخته‌اند . لذا همان‌گونه که پیش‌تر نیز عنوان گردید در این تحقیق به ارائه شاخص و مدلی برای ارزیابی توانمندی سامانه‌های پیچیده مهندسی برای عملیات تحت شرایط عدم قطعیت پرداخته خواهد شد.

۳- انتخاب معیار و مدل پیشنهادی

در این بخش در ابتدا به تعیین شاخص و در مرحله دوم به ارائه مدلی برای ارزیابی توانمندی سامانه‌های پیچیده مهندسی برای عملیات در شرایط عدم قطعیت پرداخته می‌شود.

۳-۱ تعیین شاخص

در ادبیات تحقیق الزامات کارکردی بسیاری توسط محققین ارائه شده است که هرکدام از آن‌ها به ارزیابی و سنجش نوع خاصی از توانمندی سامانه‌ها می‌پردازند. اما هدف اصلی این تحقیق، ارائه شاخصی واحد برای ارزیابی توانمندی سامانه‌های پیچیده برای عملیات در شرایط عدم قطعیت می‌باشد. بر اساس نظریه ارزش در صورتی می‌توان عنوان کرد یک سیستم برای عملیات در شرایط توانمند است که بتواند انتظارات مورد نظر ذینفعانش را در طول چرخه عمرش فراهم کند [۱۴]. ذینفعان یک سیستم ارزش فراهم شده توسط سیستم را با مقایسه ترجیحاتشان با شاخصه‌های عملکردی[۱] آن ارزیابی می‌کنند. شاخصه‌های عملکردی در واقع تمامی جنبه‌هایی از یک سیستم است که ارزشی را برای ذینفعان فراهم می‌آورد [۱۰]. در جدول ۲ نمونه‌ای از ترجیحات ذینفعان

Archive of SID
www.SID.ir

از یک ماهواره تصویربرداری اپتیکی و شاخصه‌های عملکرد مرتبط با آن به‌عنوان مثال آورده شده است.

جدول ۲. نمونه‌ای از ترجیحات ذینفعان از یک سامانه سنجش از دور اپتیکی

ترجیحات ذینفعان	شاخصه‌های عملکردی سیستم
توانایی تصویربرداری با دقت بالا	دقت تفکیک مکانی دوربین تصویربرداری دقت کنترل وضعیت حجم ارسال داده
پوشش جغرافیایی بالا	زمان رؤیت مجدد عرض نوار تصویربرداری

بنابراین می‌توان میزان توانمندی یک سیستم پیچیده مهندسی برای عملیات در شرایط عدم قطعیت را با اندازه‌گیری میزان حساسیت سیستم به وقوع ناشناخته‌ها که منجر به عدم برآورده سازی انتظارات ذینفعان می‌شود، تعیین نمود. بدین مفهوم که هرچه حساسیت سیستم به ناشناخته‌ها بیشتر باشد، امکان برآورده سازی ترجیحات ذینفعان در برابر شرایط ناشناخته و متعاقباً توانمندی سیستم در مواجهه با شرایط عدم قطعیت کاهش می‌یابد. بر اساس بررسی صورت گرفته، نزدیک‌ترین واژه و الزام غیرکارکردی به مفهوم مورد نظر برای توانمندی سامانه‌های پیچیده مهندسی برای عملیات در شرایط عدم قطعیت، زیست‌پذیری می‌باشد. در ادبیات تحقیق تعاریف متعددی از زیست‌پذیری ارائه شده است [۱۵]-[۱۷]. در علم بیولوژیک: قابلیت باقی بودن و زندگی موفق به‌خصوص در شرایط خاص محیطی. در علم گیاه‌شناسی: توانایی جوانه زدن در شرایط مختلف. در علم پزشکی: توانایی زندگی پس از تولد در شرایط مختلف. وجه مشترک این تعاریف این است که مشخصاً هرچه میزان حساسیت به رخدادهای ناشناخته کمتر باشد، قابلیت سیستم برای انجام انتظاراتی که از آن می‌رود بیشتر است. لذا با توجه به مفهوم زیست‌پذیری و ارتباط تنگاتنگ آن با موضوع این تحقیق، مفهوم شاخص زیست‌پذیری به ادبیات سامانه‌های پیچیده مهندسی گسترش یافته و شاخص زیست‌پذیری به‌عنوان معیاری برای سنجش توانمندی سامانه‌های پیچیده مهندسی برای عملیات در شرایط عدم قطعیت مورد استفاده قرار خواهد گرفت.

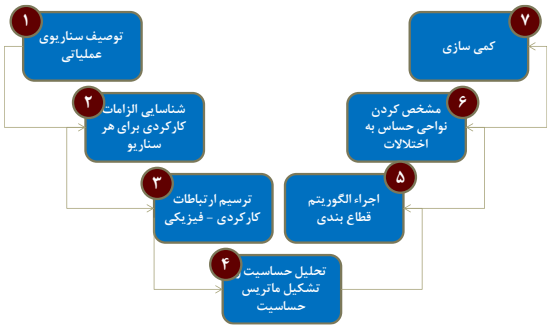
۲-۳ مدل پیشنهادی برای ارزیابی زیست‌پذیری

پس از تعیین شاخص، نوبت به توسعه مدلی می‌رسد که بتوان با استفاده از آن شاخص زیست‌پذیری یک سیستم پیچیده مهندسی را اندازه‌گیری نمود. در این تحقیق تلاش شده است تا یک مدل فرآیندی توسعه یابد که به بیان آنچه باید گام‌به‌گام برای ارزیابی شاخص زیست‌پذیری سامانه‌های پیچیده مهندسی انجام شود همراه با تقدم و تأخر اقدامات اشاره بپردازد. همان‌گونه که پیش‌تر اشاره شد، شاخص زیست‌پذیری را می‌توان با تعیین حساسیت سیستم به وقوع ناشناخته‌ها در محیط عملیاتی دارای عدم قطعیت محاسبه نمود. بنابراین مدلی که به منظور تعیین میزان این حساسیت توسعه می‌یابد باید دارای قابلیت‌های ذیل باشد[۱۸], [۱۹]:

الف) از آنجایی که سیستم در محیط عملیاتی دارای عدم قطعیت کار می‌کند، مدل توسعه یافته باید دربرگیرنده رخدادهای محتمل در محیط (آشفتگی و اختلال در محیط عملیاتی) بوده و بتواند اثرات ناشی از وقوع آن‌ها را بر روی سیستم ارزیابی نماید. ب) همان‌گونه که توضیح داده شد اختلالات و آشفتگی‌های موجود در محیط عملیاتی بر روی ارزش فراهم شده توسط سیستم برای ذینفعانش تأثیر می‌گذارد. لذا مدل پیشنهادی باید الزامات کارکردی سیستم که متناسب با هر رخداد محتمل در محیط عملیاتی می‌باشد را جهت فائق آمدن بر آشفتگی‌ها و اختلالات ناشی از آن‌ها شناسایی نماید. ج) عدم قطعیت محیط عملیاتی بر روی جنبه‌های مختلف فیزیکی و کارکردی سیستم تأثیرگذار می‌باشد. لذا مدل پیشنهادی باید بتواند ارتباط بین رخدادهای موجود در محیط عملیاتی، الزامات کارکردی و تجهیزات سیستم را برقرار نماید. د) همان‌گونه که گفته شد شاخص زیست‌پذیری از میزان حساسیت سیستم به وقوع رخدادهای مختلف به دست می‌آید. لذا مدل پیشنهادی باید بتواند میزان حساسیت اجزاء مختلف سیستم را نسبت به هر رخداد مشخص نماید. ه) به منظور برآورده سازی بند فوق، مدل پیشنهادی باید بتواند بخش‌هایی از معماری سیستم که در شرایط عدم قطعیت بیشتر تحت تأثیر قرار می‌گیرند را مشخص نماید. و) باید بتواند شدت حساسیت هر بخش از سیستم را نسبت به آشفتگی‌های موجود در محیط عملیاتی به صورت کمی تعیین نماید. ز) درنهایت مدل پیشنهادی باید بتواند توانمندی کل سیستم را تحت شرایط عدم قطعیت با استفاده از میزان حساسیت هریک از اجزاء سیستم مشخص نماید. با در نظر گرفتن هفت الزام فوق، مدلی هفت مرحله‌ای به منظور کمی سازی زیست‌پذیری به‌عنوان شاخص ارزیابی توانمندی سامانه‌های پیچیده مهندسی تحت شرایط عدم قطعیت مطابق

Archive of SID
www.SID.ir

رسم توضیحی ۳ توسعه داده شده و مراحل آن در ادامه به صورت مختصر توضیح داده شده است.



رسم توضیحی ۳. مدل هفت مرحله‌ای ارزیابی زیست‌پذیری

گام اول، توصیف سناریوهای عملیاتی: عدم قطعیت محرکی برای تلاش در جهت افزایش قابلیت زیست‌پذیری در سامانه‌های پیچیده مهندسی می‌باشد. بدین منظور شناخت آینده برای طراحی سامانه‌هایی که عملیات آن‌ها در شرایط عدم قطعیت صورت می‌گیرد، امری ضروری می‌باشد. به صورت خلاصه می‌توان عنوان کرد که هدف مرحله اول در مدل پیشنهادی، توصیف عدم قطعیت در محیط عملیاتی می‌باشد که این مهم در این تحقیق با استفاده از روش توسعه سناریو صورت می‌پذیرد. در اینجا منظور از هر سناریو آن چیزی است که آینده ممکن است در محیط عملیاتی پیش‌روی بگذارد [۲۰]. به عبارت دیگر در این مرحله با هدف اطمینان از برآورده سازی کامل کارکردهای سیستم در محیط عملیاتی واقعی، مجموعه سناریوهایی توسط خبرگان ایجاد می‌شود. این سناریوها به صورت رابطه شماره (۱) قابل ارائه می‌باشند که در آن S مجموعه سناریوها و s_i سناریو iام می‌باشد:

$$S = \{s_1, s_2, \dots\} \qquad (۱)$$

در ادامه گام اول و به منظور تحلیل اثر سناریوهای تعیین شده بر روی ساختار سیستم، مجموعه سناریوها می‌بایستی از منظر احتمال و اثر مورد مقایسه و ارزیابی قرار گیرند. بدین منظور مشابه با رتبه دهی ریسک‌های یک پروژه اقدام خواهد شد. اما از آنجایی که بر اساس ذات سامانه‌های پیچیده مهندسی و محیط عملیاتی آن‌ها مجموعه محدودی اطلاعات در دسترس می‌باشد، به منظور امتیازدهی به هر سناریو از روال ارائه شده توسط پیرس مطابق جدول ۳ و جدول ۴ استفاده شده است [۲۱]. به‌عنوان‌مثال اگر ذینفعان یک سیستم متمرکز بوده و محیط عملیاتی سیستم قابل پیش‌بینی باشد یا چرخه عمر سیستم کوتاه باشد، احتمال رخ دادن یک سناریو نسبتاً کم می‌باشد. اما اگر محیط ذینفعان غیرمتمرکز بوده و سیستم ارزش‌های متفاوتی برای آن‌ها داشته باشد، محیط عملیاتی سیستم ناشناخته بوده و چرخه عمر سیستم نیز طولانی باشد، احتمال وقوع یک سناریوی جدید به بالاترین حد ممکن می‌رسد.

جدول ۳. ماتریس محاسبه اثر سناریو

طول عمر	محیط عملیاتی	محیط ذینفعان	احتمال وقوع	امتیاز
بسیار کوتاه	کاملا تعریف شده	ذینفع منفرد	۰-۲۰٪	۱
کوتاه	تعریف شده	ذینفعان یکپارچه	۲۰-۴۰٪	۲
متوسط	دارای مقداری عدم قطعیت	ذینفعان متمرکز	۴۰-۶۰٪	۳
طولانی	دارای عدم قطعیت بالا	ذینفعان غیر متمرکز	۶۰-۸۰٪	٤
بسیار طولانی	محیط عملیاتی تعریف نشده و پیچیده	ذینفعان غیر متمرکز بسیار گسترده	۸۰-۱۰۰٪	۵

جدول ۴. ماتریس محاسبه احتمال سناریو

استراتژیک	ارزش سیستم	عملکرد	امتیاز
کمترین سطح اهمیت استراتژیک	هزینه پایین/ بازگشت بالا	ملکرد	۱
اهمیت استراتژیک محدود	هزینه نسبتا کم/ بازگشت نسبتا قابل توجه	عملکرد کوچک	۲
دارای سطح متوسط اهمیت استراتژیک	هزینه متوسط/ ایجاد فناوری جدید	عملکرد متوسط	۳
جزئی مطلوب برای یک محیط عملیاتی بزرگ تر	هزینه بالا/ اهمیت استراتژیک	عملکرد بالا	٤
جزئی لازم از یک محیط عملیاتی بزرگ تر	هزینه بسیار بالا/ اهمیت استراتژیک بسیار زیاد	عملکرد بسیار بالا	۵

نهایتاً در پایان مرحله اول امتیاز هر سناریو با استفاده از رابطه شماره (۲) محاسبه خواهد شد که در آن s_{sc}^{i} امتیاز سناریو i ام، $s_{likelihood}^{i}$ احتمال سناریوی i ام و s_{effect}^{i} اثر سناریوی i ام می‌باشند.

$$s_{sc}^{i} = s_{likelihood}^{i} * s_{effect}^{i} \qquad (۲)$$

گام دوم، شناسایی الزامات کارکردی: هدف این مرحله تحلیل کارکردی سیستم به منظور تعیین کارکردهای دیگری است که سیستم به منظور انجام سناریوهای مأموریتی جدید تعیین شده در مرحله اول نیاز دارد. یک سیستم مفروض یا معماری آن را در نظر بگیرید. این سیستم به منظور انجام مأموریت تعریف شده برای آن دارای یک سری کارکردهای پیش‌فرض می‌باشد. به منظور مواجهه با سناریوهای مأموریتی جدید ناشی از شرایط عدم قطعیت در محیط عملیاتی و فراهم نمودن ارزش مورد انتظار ذینفعان، سیستم بایستی قابلیت انجام کارکردهای جدیدی را داشته باشد. لذا به صورت خلاصه می‌توان گفت که در مرحله دوم

Archive of SID
www.SID.ir

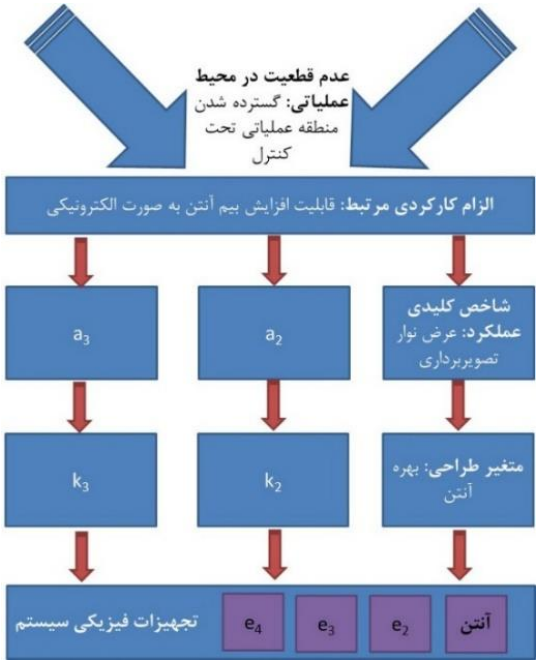
از شاخصه‌های یک سیستم به منظور نشان دادن مجموعه‌ای از الزامات کارکردی که یک کارکرد از سیستم را ایجاد می‌نمایند استفاده می‌شود. شاخصه‌های یک سیستم که اغلب پارامترهای کلیدی عملکرد نیز نامیده می‌شوند، در حقیقت آن پارامترهایی هستند که برای کاربر سیستم اهمیت ویژه‌ای دارد. الزامات کارکردی و عضویت مجموعه‌ای از آن‌ها در یکی از شاخصه‌های سیستم را به صورت رابطه شماره (۳) می‌توان نشان داد که در آن FR_m^i الزام کارکردی mام مربوط به سناریوی i ام و a_i شاخص کلیدی عملکرد i ام می‌باشد.

$$\{FR_1^i, FR_2^i, \dots\} \in a_i \qquad (۳)$$

گام سوم، ترسیم ارتباطات کارکردی- فیزیکی: به صورت خلاصه می‌توان عنوان کرد که هدف مرحله سوم مدل‌سازی محصول در یک محیط عملیاتی دارای شرایط عدم قطعیت و ایجاد ارتباط لازم بین سناریوهای کارکردی جدید و ملاحظات طراحی می‌باشد. پس از مشخص شدن سناریوهای جدید کارکردی، الزامات کارکردی مرتبط با هر سناریو و شاخصه‌های کلیدی مرتبط با هر مجموعه از الزامات کارکردی در مرحله دوم، لازم است تا ارتباط بین آن‌ها و سیستم مورد نظر با استفاده از ابزار مناسب مدل‌سازی شود. ارتباط بین الزامات کارکردی و سیستم عموماً به صورت مستقیم و یا به واسطه متغیرهای طراحی ایجاد می‌شود. متغیرهای طراحی اعدادی هستند که مقدار آن‌ها می‌تواند توسط مهندسین به منظور دستیابی به اهداف طراحی تغییر کند [۱۵]. یک مثال ساده در رسم توضیحی ۴ نشان داده شده است.

به عبارت دیگر مرحله سوم ارتباط بین الزامات کارکردی جدید را با تجهیزات فیزیکی، متغیرهای طراحی و یا هر دوی آن‌ها برقرار می‌کند. به منظور انجام این مدل‌سازی، از ماتریس ساختار طراحی توسعه یافته با k متغیر طراحی، n مشخصه کلیدی عملکرد و p تجهیز مطابق رسم توضیحی ۵ استفاده می‌شود. مطابق اصول توسعه ماتریس ساختار طراحی، اعداد نمایش داده شده در این ماتریس بیانگر شدت ارتباط بین عناصر i و j می‌باشند [۲۲].

گام چهارم، تحلیل حساسیت: در یک سیستم مفروض، عوامل تأثیرگذار بر شاخص زیست‌پذیری سیستم، آن بخش‌هایی از سیستم می‌باشند که نسبت به تغییر یا ایجاد الزامات کارکردی جدید حساسیت دارند. بنابراین باید تحلیلی صورت پذیرد تا با استفاده از آن میزان حساسیت بخش‌های مختلف سیستم مشخص گردد. به عبارت دیگر باید تعیین نمود که با ایجاد الزامات کارکردی شناسایی شده در مراحل قبل چه بخش‌هایی از سیستم و هرکدام به چه میزان تحت تأثیر قرار می‌گیرند.



رسم توضیحی ۴. ماتریس رتبه‌بندی سناریوهای مأموریتی

	شاخصه‌های کلیدی			متغیرهای طراحی			تجهیزات سیستم		
	a1	…	an	x1	…	xk	e1	…	ep
a1			0.5						
…									
an						2			
x1								0.5	
…									
xk			0.5						
e1									1
…		1			1				
ep							2		

رسم توضیحی ۵. نمونه ماتریس ساختار طراحی توسعه یافته

به منظور انجام این فرآیند، نیاز است تا بر روی ماتریس ساختار طراحی تشکیل شده در مرحله قبل فرآیند تحلیل حساسیت صورت پذیرد. کالیگورز [۲۳] ایده ماتریس sDSM را مطرح کرد که در آن هر عنصر ij بیانگر حساسیت نرمال شده پارامتر i به ازای تغییر واحد در پارامتر j در ماتریس ساختار طراحی می‌باشد. در تحقیق ارائه شده توسط کالیگورز، sDSM به منظور شناسایی مناطقی از سیستم که به تغییرات کمترین حساسیت را دارند، مورد استفاده قرار گرفت. هدف از این کار شناسایی

Archive of SID
www.SID.ir

تجهیزات پلتفرم سیستم بود. برعکس تحقیق کالیگورز، این تحقیق به دنبال تجهیزات حساس در سیستم نسبت به تغییرات در مأموریت می‌باشد. برای بردار متغیرهای طراحی (X)، sDSM یک ماتریس مربعی با k سطر و ستون خواهد بود که در آن مقادیر هر عنصر i,j بیانگر درصد تغییر در متغیر طراحی i متأثر از یک درصد تغییر در متغیر طراحی j می‌باشد. در صورتی که بردار متغیرهای طراحی به صورت رابطه (۴) در نظر گرفته شود:

$$X = \{x_1, x_2, \ldots, x_k\} \qquad (۴)$$

مقادیر ماتریس sDSM را می‌توان با استفاده از رابطه (۵) محاسبه نمود که در آن dx_i بیانگر میزان تغییرات متغیر i می‌باشد:

$$sDSM\ (i,j) = \left(dx_i / dx_j\right)\left(x_i / x_j\right) \qquad (۵)$$

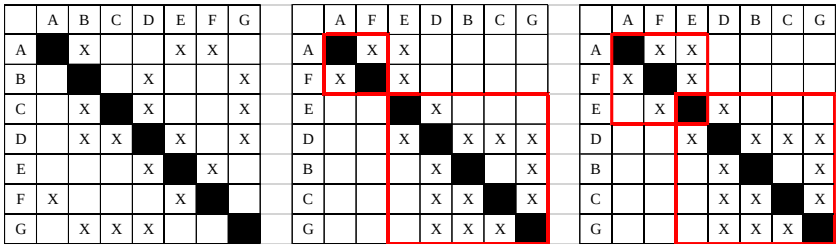
sDSM در مرحله اول بیانگر حساسیت بین متغیرهای طراحی بوده و همان‌گونه که پیش‌تر نیز ذکر شد sDSM سپس به حساسیت متغیرهای طراحی به تغییر در الزامات کارکردی گسترش خواهد یافت. حساسیت متغیرهای طراحی به شاخصه‌های کلیدی (منتج شده از الزامات کارکردی) را می‌توان به صورت رابطه شماره (۶) در نظر گرفت که در آن a_j بیانگر شاخصه کلیدی عملکرد jام و da_j بیانگر میزان تغییرات در این متغیر می‌باشد.

$$sDSM\ (i,j) = \left(dx_i / da_j\right)\left(a_j / x_i\right) \qquad (۶)$$

اما هر متغیر طراحی هم به صورت مستقیم و از طریق تغییر در الزامات کارکردی و هم به صورت غیرمستقیم از طریق تغییر ناشی از سایر متغیرهای طراحی تحت تأثیر قرار می‌گیرد. این ملاحظه را می‌توان به صورت زیر در رابطه شماره ۷ اعمال نمود. رابطه ۷ بیان می‌کند که تغییر موردنیاز در x_i برابر با جمع تغییرات ناشی از تمامی الزامات کارکردی و سایر متغیرهای طراحی است که x_i نسبت به آن‌ها حساس می‌باشد. در این رابطه k تعداد متغیرهای طراحی و η تعداد شاخصه‌های کلیدی می‌باشد.

$$\Delta x_i = \sum_{j=1}^{\eta} \frac{\delta x_i}{\delta a_j}\Delta a_j + \sum_{j=1}^{k} \frac{\delta x_i}{\delta x_j}\Delta x_j \qquad (۷)$$

گام پنجم، اجرای الگوریتم قطاع‌بندی: پس از انجام فرآیند تحلیل حساسیت ماتریس ساختار طراحی، بخش‌هایی از سیستم که نسبت به سناریوهای عدم قطعیت حساس می‌باشند باید شناسایی شوند. در واقع در این مرحله باید بر اساس ارتباطاتی که بین اجزاء مختلف سیستم (شاخصه‌های کلیدی، متغیرهای طراحی و تجهیزات فیزیکی سیستم) وجود دارد آن‌ها را در چند بخش مختلف قطاع‌بندی نمود. فرآیند قطاع‌بندی ماتریس ساختار طراحی با جابجایی ترتیب سطرها و ستون‌های ماتریس، کمک می‌کند تا بخش‌هایی از سیستم که بیشترین وابستگی داخلی و کمترین وابستگی خارجی را دارند، مشخص شوند. در رسم توضیحی ۶ نمونه‌ای از ماتریس ساختار طراحی و دو مدل مختلف قطاع‌بندی آن نشان داده شده است. در سوابق تحقیق الگوریتم‌های قطاع‌بندی متعددی برای ماتریس‌های ساختار طراحی ارائه شده است [۲۴]–[۲۶]. بر اساس داده‌های حاصل در طراحی مدل در بخش‌های قبلی و همچنین پیشنهادهای ارائه شده در سوابق تحقیق، الگوریتم مورد استفاده در این تحقیق بایستی دارای ویژگی‌های ذیل باشد: الف) از آنجایی که ماتریس ساختار طراحی مورد استفاده در این تحقیق غیر صفر و یک بوده و عناصر آن می‌توانند مقادیر مختلفی را اختیار نمایند، الگوریتم مورد استفاده باید بتواند ماتریس‌های غیر صفر و یکی را قطاع‌بندی نماید. ب) از آنجایی که تعداد قطاع‌های قابل شناسایی در ماتریس می‌تواند از یک تا (n+k+p) متغیر باشد، الگوریتم قطاع‌بندی مورد استفاده باید بتواند تعداد بهینه قطاع‌ها را مشخص کند. ج) از آنجایی که یک عنصر از ماتریس ساختار طراحی می‌تواند به صورت هم‌زمان متعلق به چند قطاع باشد، الگوریتم مورد استفاده باید بتواند قطاع‌های هم‌پوشان را شناسایی نماید.



رسم توضیحی ۶. نمونه‌ای از ماتریس DSM و DSM قطاع‌بندی شده

Archive of SID
www.SID.ir

در این تحقیق به منظور انجام فرآیند قطاع‌بندی[۳] از ترکیب دو مدل قطاع بندی به شرح ذیل استفاده شده است:

الف) استفاده از الگوریتم قطاع بندی فازی به منظور قطاع بندی ماتریس ساختار طراحی توسعه یافته در مراحل قبل [۲۷]. ب) استفاده از تابع هدف مبتنی بر شاخص MDL[۱۴] به منظور بهینه‌سازی فرآیند قطاع‌بندی [۲۵]، [۲۸]. از آنجایی که نحوه انجام قطاع‌بندی ماتریس در محدوده این تحقیق نبوده و همچنین به منظور رعایت اختصار، نویسندگان از ارائه توضیحات بیشتر در این خصوص اجتناب نموده‌اند. محققان محترم در صورت نیاز به اطلاعات بیشتر در این خصوص به منابع مشخص شده رجوع فرمایند.

گام ششم، مشخص کردن نواحی حساس: در این مرحله امتیازات مربوط به احتمال و اثر به‌دست‌آمده از مرحله ۱ با اطلاعات حساسیت به‌دست‌آمده در مرحله چهار در قالب ماتریس قطاع بندی شده ترکیب می‌شوند. این مرحله نگرشی جامع به نواحی در ساختار سیستم که تغییر یا الزامات کارکردی جدید بیشترین تأثیر را دارند ایجاد می‌نماید. رسم توضیحی ۷ نمایی از ماتریس مذکور را نمایش می‌دهد.

گام هفتم، کمی سازی: در مرحله آخر شاخص زیست‌پذیری بر اساس اطلاعات به‌دست‌آمده در مرحله ششم را می‌توان از طریق رابطه ۸ محاسبه نمود. به صورت کلی می‌توان عنوان نمود که میزان توانمندی سیستم به صورت تفاضل حساسیت آن در شرایط عدم قطعیت از عدد یک قابل محاسبه است. که در آن CSRV برابر با مجموع حاصل‌ضرب امتیاز سناریو (احتمال * اثر) در میزان حساسیت بخش‌های مختلف سیستم به ازای تمامی قطاع‌های حساس و MSRV برابر با حداکثر حساسیت امکان‌پذیر برای سیستم مورد نظر بوده و بر اساس روابط ۹ و ۱۰ تعیین می‌شوند:

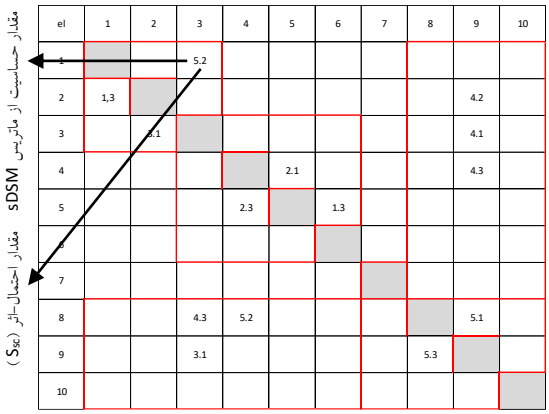
$$V = 1 - \frac{CSRV}{MSRV} \qquad (۸)$$

$$\mathrm{CSRV} = \sum_{i=1}^{z}\sum_{j=1}^{z} \mathrm{L} - \mathrm{O_{ij}} * \mathrm{S_{ij}} \qquad (۹)$$

$$MSRV = \max L - O * \max S * \#\ sensitive\ elements \qquad (۱۰)$$

۴- مثال کاربردی

در این بخش به منظور بررسی کاربردی بودن مدل، شاخص زیست‌پذیری یک ماهواره سنجش از دور راداری مفروض با استفاده از مدل هفت مرحله‌ای ارائه شده در فصل سوم مورد سنجش قرار گرفته است. هفت گام طی شده به منظور این سنجش در ادامه توضیح داده شده است.



رسم توضیحی ۷. ترکیب امتیاز سناریوها با ماتریس sDSM

گام اول: در مرحله اول سناریوهای مختلف به منظور توصیف عدم قطعیت سیستم مفروض در محیط عملیاتی توسعه داده شده‌اند. بدین منظور از نظرات ۳ نفر از نمایندگان ذینفعان سیستم مورد نظر استفاده شد. سپس سناریوهای تعیین شده امتیازدهی شد. نتایج مربوطه در جدول ۵ آورده شده است.

جدول ۵. سناریوهای شناسایی شده و امتیازدهی به آن‌ها

ردیف	توصیف سناریو	احتمال	اثر	امتیاز
۱	کاهش ابعاد تجهیزات مورد نظر جهت شناسایی در منطقه هدف	۵	۵	۲۵
۲	تغییر در نیازمندی کاربر نهایی به دلیل نامشخص	۱	۲	۲
۳	افزایش وسعت فضای مورد نظر جهت شناسایی	۳	۴	۱۲
۴	تغییر در نیازمندی کاربر نهایی به دلیل نامشخص	۳	۳	۹

Archive of SID
www.SID.ir

گام دوم: پس از امتیازدهی به سناریوها، الزامات کارکردی مورد نیاز برای انجام این سناریوها در گام دوم شناسایی شده و در جدول ۶ لیست شده‌اند. حال می‌توان مجموعه‌ای از کارکردهای سیستم که بر مشخصات عملکردی سطح بالای سیستم مؤثر می‌باشند را با توصیف شاخص‌های کلیدی عملکرد تعیین نمود. هر سناریوی عملیاتی نیازمند یک یا چند مورد از مشخصه‌های سیستم به منظور پاسخ‌گویی به نیازمندی‌های کارکردی جدید می‌باشد. به منظور ساده‌سازی، نیازمندی‌های کارکردی هر سناریو با مشخصه سیستمی مرتبط با آن جایگزین گردیده و در جدول ۷ ارائه شده است.

جدول ۶. الزامات کارکردی برای هر سناریو

شماره سناریو	الزامات کارکردی مرتبط	کد الزام
۱	قابلیت مانور جهت انجام تصویربرداری به صورت spotlight	[FR.1.1]
	قابلیت تأمین الکتریکی لازم را برای بهتر نمودن قدرت تفکیک مکانی	[FR.1.2]
	حافظه کافی جهت ذخیره‌سازی حجم داده حاصل از تصویربرداری	[FR.1.3]
۳	قابلیت افزایش بیم آنتن	[FR.3.1]
	قابلیت تأمین انرژی الکتریکی جهت افزایش عرض نوار.	[FR.3.2]
۴	پشتیبانی نرخ ارسال داده از حجم بالای داده تصویر ایجادشده	[FR.4.1]
	پشتیبانی تجهیزات ایستگاه زمینی از نرخ بالای داده.	[FR.4.2]

جدول ۷. شاخص‌های کلیدی عملکرد مرتبط با هر سناریو

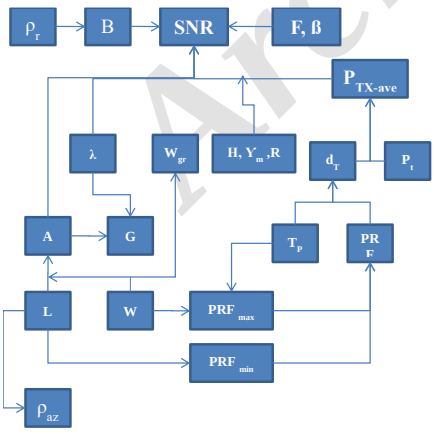
سناریو	الزام کارکردی	شماره شاخص کلیدی عملکرد	شاخص کلیدی عملکرد
۱	FR.1.1, FR.1.2, FR.1.3	a1	resolution Range
۲		a2	IRF
۳	FR.4.1, FR.4.2	a3	timeliness
۴		a4	GEOlocation
	FR.3.1, FR.3.2	a5	swath

گام سوم و چهارم: در مرحله سوم ارتباط مشخصه‌های کلیدی عملکرد سیستم با متغیرهای طراحی تعیین شد. نتایج این بررسی در جدول ۸ ارائه شده است. سپس ماتریس توسعه یافته ساختار طراحی با استفاده از بلوک دیاگرام ماهواره مفروض تشکیل شد. به منظور دستیابی به داده‌های مورد نیاز جهت توسعه این ماتریس پیاده‌سازی مرحله سوم و چهارم به صورت هم‌زمان انجام شده است. در ابتدا یک فرآیند تحلیل حساسیت با هدف کمی سازی میزان تغییر مورد نیاز در متغیرهای طراحی جهت تطابق با تغییر در الزامات کارکردی صورت پذیرفت. از آنجایی که مدل یک ماهواره سار و روابط درون آن بسیار پیچیده می‌باشد، در این بخش فقط سه شاخص کلیدی عملکرد محموله تصویربرداری ماهواره برای تحلیل مدنظر قرار داده شده‌اند (سناریو ۱، سناریو ۲ و سناریو ۳ که به ترتیب مؤثر بر شاخص‌های کلیدی عملکردی ۱، ۲ و ۵ می‌باشند).

جدول ۸. متغیرهای طراحی مرتبط با شاخص‌های کلیدی عملکرد

ردیف	شاخص کلیدی عملکرد	متغیرهای طراحی
۱	resolution range	Bandwidth, incidence angle ,power and data Rate
۲	resolution azimuth	antenna length and minimum PRF
۳	IRF	PSLR, ISLR and antenna gain
۴	Timeliness	revisit time, altitude, inclination, ground station access, downlink rate, antenna type and antenna gain
۵	Swath	incidence angle, antenna width and height

شایان‌ذکر است به منظور انجام تحلیل حساسیت، ارتباط بین شاخص‌های کلیدی عملکرد، متغیرهای طراحی و تجهیزات سیستم مورد نظر با استفاده از روابط ریاضی (روابط طراحی) مابین آن‌ها و همچنین ارتباطات فیزیکی مابین تجهیزات سیستم مدل‌سازی شده است. ارتباطات بین شاخصه‌های کلیدی و متغیرهای طراحی در رسم توضیحی ۸ نمایش داده شده است.



رسم توضیحی ۸. ارتباط بین شاخصه‌های کلیدی و متغیرهای طراحی

این ارتباطات با استفاده رابطه شماره ۸ ارائه شده در فصل سوم در نرم‌افزار متلب شبیه‌سازی گردیده است. نتایج تحلیل حساسیت صورت گرفته در خصوص هریک از شاخصه‌های کلیدی عملکردی

Archive of SID
www.SID.ir

به ترتیب در جدول ۹ و جدول ۱۰ و جدول ۱۱ آورده شده است. به‌عنوان مثال جدول ۹ نشان می‌دهد که درصورتی که پهنای باند در سیستم مفروض بین ۸ تا ۳۰ مگاهرتز تغییر کند قدرت تفکیک مکانی از ۵۶ متر تا ۱۵ متر بهبود می‌یابد. حال با در دست داشتن این اطلاعات، در صورتی که مقادیر حساسیت‌های به‌دست‌آمده به ترتیب نزولی مرتب شده باشند، به بالاترین مقادیر آن‌ها بیشترین امتیاز حساسیت (در این تحقیق مقدار ۲) و به آن‌هایی که در پایین لیست قرار می‌گیرند کمترین مقدار حساسیت (در این تحقیق مقدار ۰,۵) و به سایر موارد میانی نیز مقدار ۱ تعلق گرفته و از این امتیازات در راستای تکمیل ماتریس sDSM استفاده می‌شود. ماتریس sDSM حاصل در رسم توضیحی ۹ نشان داده شده است. همان‌گونه که در بخش قبل عنوان گردید این ماتریس دربرگیرنده مقادیر حساسیت بین هر دو عنصر i و j می‌باشد.

مرحله پنجم: در مرحله پنجم ماتریس sDSM حاصل با استفاده از مدل ترکیبی توضیح داده شده و نرم‌افزار متلب قطاع بندی شده است. در انجام فرآیند قطاع بندی بر اساس پیشنهادهای صورت گرفته در سوابق تحقیق [۲۹] مقدار ضرایب α و β برابر با $\frac{1}{3}$ در نظر گرفته شده است. نتیجه قطاع‌بندی در رسم توضیحی ۱۰ قابل مشاهده می‌باشد. شایان‌ذکر است قبل از انجام این مرحله صحت عملکرد الگوریتم قطاع‌بندی مورد آزمون قرار گرفته است که نتایج آن در پیوست شماره ۱ آورده شده است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود این ماتریس دارای ۱۰ قطاع بوده که از بین آن‌ها قطاع شماره ۳ و ۴ به دلیل قرار گرفتن شاخصه‌های کلیدی سیستم در این قطاع‌ها، نواحی حساس به سناریوهای مأموریتی می‌باشند. قطاع شماره ۳ و چهار را می‌توان به صورت ذیل تفسیر نمود:

قطاع ۳: شاخص عملکردی دقت تفکیک مکانی در راستای رنج که مؤثر بر سناریوی شماره یک می‌باشد به همراه پارامتر طراحی نرخ نمونه‌برداری در این قطاع قرارگرفته‌اند. اجزایی از سیستم که بر این دو مؤلفه تأثیر گذارند به‌قرار کامپیوتر مرکزی، ماژول ناظر، فرستنده داده محموله و واحد دیجیتال محموله تعیین‌شده‌اند. پس به‌منظور دستیابی به قدرت تفکیک مکانی بهتر می‌بایستی بر روی نرخ نمونه‌برداری و به‌تبع آن ایجاد تغییرات در زیرسامانه‌های تعیین‌شده تمرکز نمود.

قطاع ۴: شاخص عملکردی نرخ پاسخ ضربه در این قطاع قرارگرفته است. سه شاخص اصلی تأثیرگذار بر IRF زاویه برخورد، طول و عرض آنتن تعیین‌شده‌اند که هر سه مورد مربوط به مشخصات آنتن محموله می‌باشند. پس وجود چهار پارامتر ذکرشده در کنار زیرسیستم آنتن محموله در قطاع چهارم کاملاً منطقی به نظر می‌آید.

از طرف دیگر از آنجایی که قطاع شماره ۹ هیچ متغیر طراحی و متعاقباً هیچ المان فیزیکی را در بر نگرفته است بر اساس معماری سیستم می‌توان تفسیر نمود که سناریو شماره ۳ هیچ تأثیری بر پارامترهای سیستم نداشته و عرض نوار تصویربرداری می‌تواند بدون ایجاد تغییر در مشخصه‌های فیزیکی سیستم در حین عملیات تغییر نماید.

مرحله شش و هفت: نهایتاً در مرحله ۶ و ۷ با ترکیب مقادیر احتمال-اثر به‌دست‌آمده در مرحله اول با اطلاعات حساسیت به‌دست‌آمده از مرحله ۴ بر روی ماتریس قطاع بندی شده حاصل در مرحله ۶، مقدار شاخص زیست‌پذیری سیستم مورد نظر با استفاده از رابطه۱۴ مقدار ۰,۴۷ معین شد. این مقدار برای زیست‌پذیری سیستم نشان‌دهنده این است که سیستم به اندازه قابل توجهی جهت عملیات در شرایط عدم قطعیت قدرتمند نبوده و مهندسان و طراحان مربوطه می‌توانند با به‌کارگیری اصول طراحی مناسب، به بهینه‌سازی معماری و طرح سیستم پرداخته تا مقدار شاخص زیست‌پذیری تا حد ممکن بهبود یابد. در انتها به منظور بررسی صحت مدل پیشنهادی، پرسشنامه‌ای شامل ۱۴ سؤال در خصوص ۵ معیار جامعیت و مانعیت مدل، سادگی و سهولت به‌کارگیری مدل، صحت و درستی مدل پیشنهادی، کاربردی بودن مدل پیشنهادی و نوآوری آن تدوین و در بین ۳۰ نفر از خبرگان موضوع توزیع گردید خبرگان به پرسش‌های تعیین شده در یک طیف لیکرت امتیاز دادند. بر اساس نظرات ایشان متوسط امتیاز کسب‌شده توسط مدل ۷,۹۳ (از سقف امتیاز ۹ در طیف لیکرت) می‌باشد. تا به سؤال‌های مربوطه بر اساس طیف لیکرت (۱-۹) امتیاز دهند. شرط پذیرش مدل کسب حداقل ۷ امتیاز از ۹ امتیاز تعیین و به منظور آزمون آن از آزمون t استفاده شد. فرض صفر و یک تعریف شده در این آزمون به شرح ذیل می‌باشد:

- فرض صفر: نمونه متعلق به جامعه‌ای با میانگین کوچک‌تر از ۷ است.
- فرض یک: نمونه متعلق به جامعه‌ای با میانگین بزرگ‌تر یا مساوی ۷ است.

نتایج آزمون t نشان داد که برای تمامی سؤال‌ها مقدار آماره آزمون کمتر از ۰,۰۵ بوده و لذا فرض صفر رد شده است. بنابراین می‌توان

Archive of SID
www.SID.ir

نتیجه گرفت که نمونه متعلق به جامعه‌ای با میانگین بالای ۷ بوده و مدل پیشنهادی از منظر ۵ شاخص تحت بررسی امتیاز قابل‌قبول را کسب نموده است. از طرف دیگر امتیاز کسب‌شده و شاخص آلفا کورنباخ محاسبه شده برای پرسش‌نامه (میزان ۰,۷۰۷) بیانگر اعتبار مدل پیشنهادی در ارزیابی توانمندی سیستم پیچیده مهندسی برای عملیات تحت شرایط عدم قطعیت می‌باشد. شایان‌ذکر است روایی پرسشنامه طراحی شده بر اساس روایی صوری و از طریق نظرات خبرگان تائید شده است.

جدول ۹. تحلیل حساسیت برای دقت تفکیک مکانی (Resolution Range)

شاخص کلیدی عملکرد / متغیر طراحی	مقدار پارامتر طراحی		قدرت تفکیک مکانی		اولویت
	بیشینه	کمینه	بیشینه	کمینه	
bandwidth (MHz)	30	8	15	56	2.0
incidence angle (degree)	30	20	45	66	4.0
power(Watt)	200	100	32	64	3.0
data Rate(Mbps)	300	100	30	90	1.0

جدول ۱۰. تحلیل حساسیت برای عرض نوار تصویر (Swath)

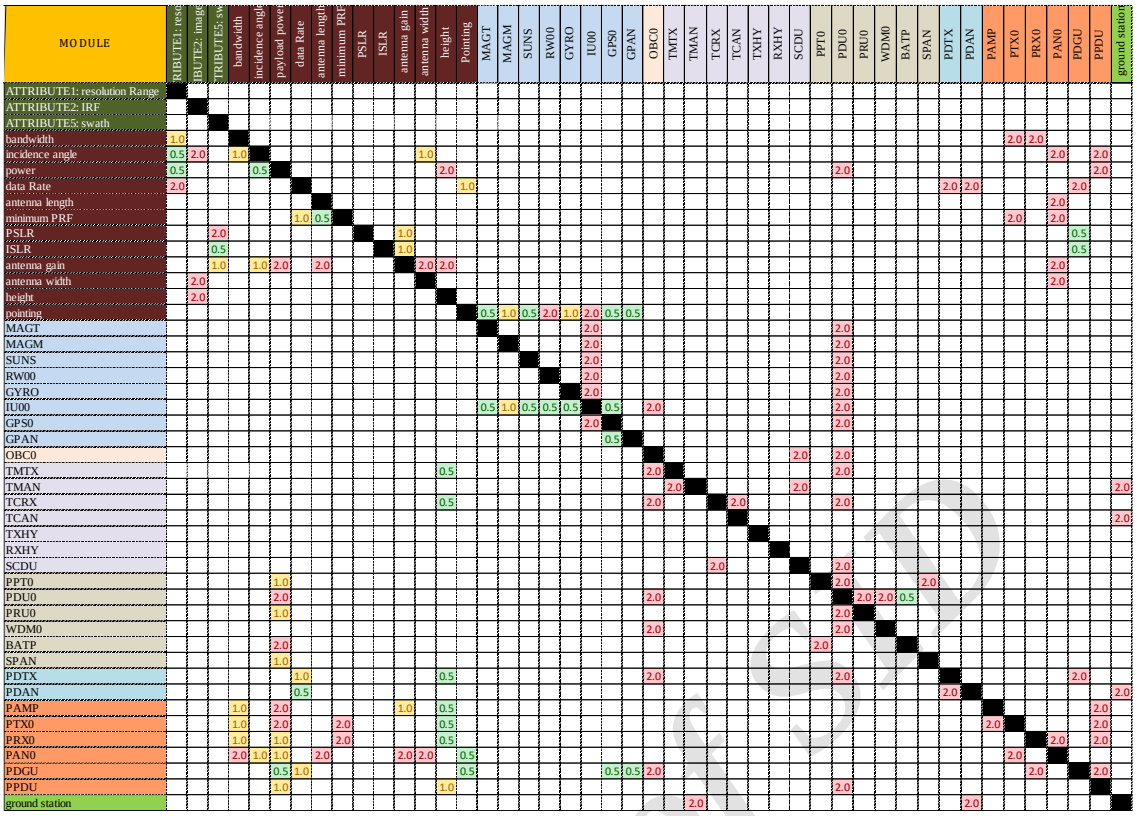
شاخص کلیدی عملکرد / متغیر طراحی	مقدار پارامتر طراحی		عرض نوار تصویر		اولویت
	بیشینه	کمینه	بیشینه	کمینه	
incidence angle (deg)	30	20	25	20	1.0
antenna width (m)	1.1	0.9	25	20	1.0
height (Km)	500	400	22.7	18	2.0

جدول ۱۱. تحلیل حساسیت برای کیفیت تصویر (IRF)

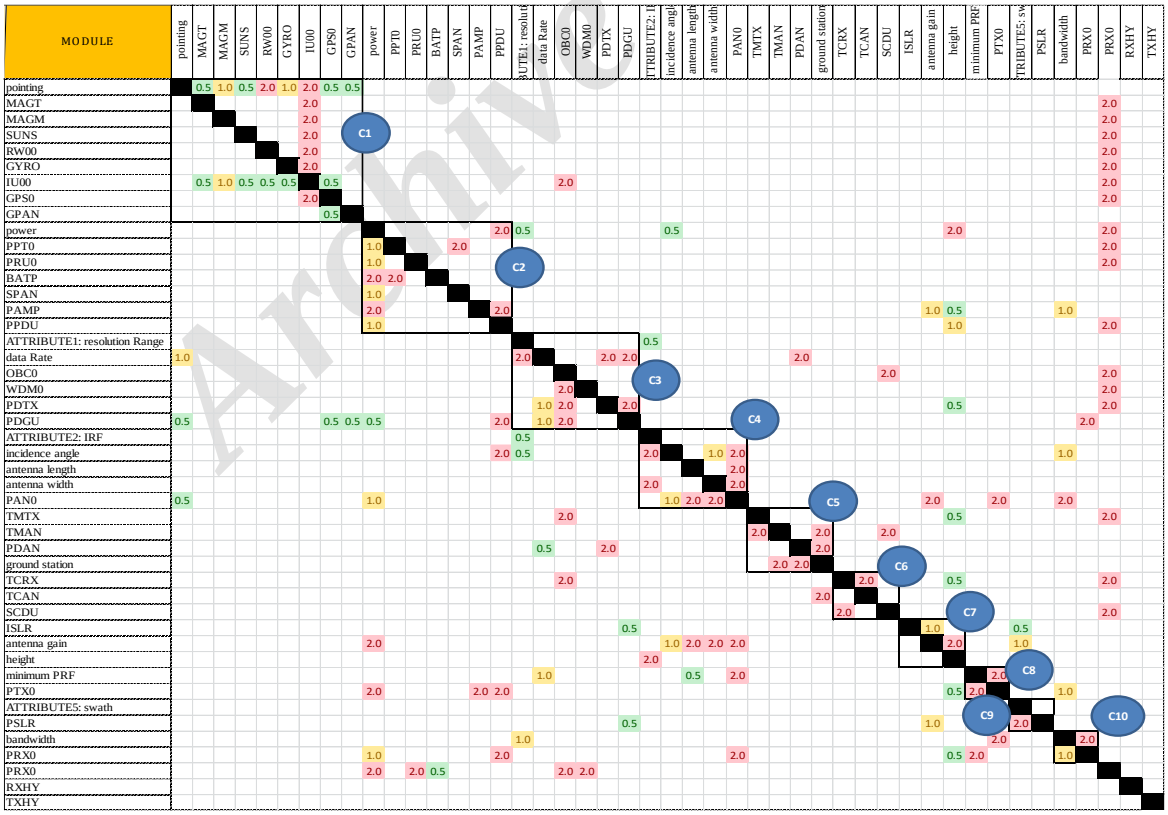
شاخص کلیدی عملکرد / متغیر طراحی	مقدار پارامتر طراحی		کیفیت تصویر		اولویت
	بیشینه	کمینه	بیشینه	کمینه	
PSLR (dB)	-6.3876	-6.775	-119.4	-121.4	2.0
ISLR (dB)	-9.3079	-9.9533	-121.4	-122.4	3.0
Gain (dB)	41	38	-121.4	-124.4	1.0

Archive of SID

www.SID.ir



رسم توضیحی ۹. ماتریس sDSM حاصل



رسم توضیحی ۱۰. ماتریس قطاع‌بندی شده

Archive of SID
www.SID.ir

۵- نتیجه‌گیری

در این تحقیق جهت تسهیل در امر طراحی و توسعه سامانه‌های پیچیده مهندسی و ایجاد بستری مناسب به منظور تصمیم‌گیری در حوزه توسعه این سامانه‌ها، یک مدل هفت مرحله‌ای به منظور ارزیابی توانمندی آن‌ها جهت عملیات تحت شرایط عدم قطعیت توسعه داده شد که از الزام غیرکارکردی زیست‌پذیری به‌عنوان شاخص کلیدی ارزیابی توانمندی محصولات پیچیده در شرایط عدم قطعیت استفاده می‌نماید. با به‌کارگیری مدل پیشنهادی می‌توان معماری و طراحی سامانه‌ها را قبل از ورود به فاز ساخت و حتی قبل از استفاده از آن‌ها در محیط عملیاتی به نحوی بهبود داد تا شاخص توانمندی آن‌ها تا حد ممکن افزایش یابد. در مدل پیشنهادی سناریوهای مختلف مأموریتی پیش‌روی سامانه‌های پیچیده شناسایی و بر اساس احتمال رخداد و اثر آن‌ها امتیازدهی شدند. سپس الزامات کارکردی و شاخصه کلیدی عملکردی جدید که به واسطه این سناریوها ایجاب شده شناسایی شده و تأثیر آن‌ها بر متغیرهای طراحی مورد تحلیل قرار گرفت. این متغیرهای طراحی با هدف شناسایی نواحی از سیستم که نسبت به تغییرات در سناریوها حساسیت داشته در قالب ماتریس ساختار طراحی گسترش یافته با استفاده از یک الگوریتم ترکیبی قطاع بندی شده و نهایتاً بر اساس خروجی‌های به‌دست‌آمده شاخص زیست‌پذیری محاسبه شد. بر اساس دلایل ذیل می‌توان عنوان نمود که مدل پیشنهادی در این تحقیق مزایای بیشتری برای ارزیابی توانمندی سامانه‌های پیچیده مهندسی تحت شرایط عدم قطعیت نسبت به سایر مدل‌های ارائه‌شده در سوابق تحقیق دارد. ۱- شاخص زیست‌پذیری به‌عنوان شاخصی واحد برای ارزیابی توانمندی سامانه‌های پیچیده مهندسی تحت شرایط عدم قطعیت بوده و وابسته به پارامترهای مختلفی همچون پارامترهای سیستم، پارامترهای خروجی و نوع آشفتگی نمی‌باشد. ۲- وابستگی کمتر مدل پیشنهادی به قضاوت فردی نسبت به سایر مدل‌های کیفی ارائه‌شده در سوابق تحقیق. ۳- دقت بیشتر مدل با توجه به انجام مدل‌سازی سه سطحی (شامل محیط عملیاتی، کارکردهای سیستم و تجهیزات فیزیکی آن) و در نظر گرفتن آینده چندگانه در محاسبه شاخص زیست‌پذیری سیستم. برای تحقیقات آتی پیشنهاد می‌شود: الف) از آنجایی که استراتژی جستجوی کامل صرفاً برای ماتریس‌های ساختار طراحی با ابعاد نسبتاً کوچک پاسخگو می‌باشد، پیشنهاد می‌شود در تحقیقات آتی با استفاده از الگوریتم‌های جدید مدل قطاع بندی مورد استفاده بهبود یابد. ب) مدل پیشنهادی با استفاده از مثال‌های دیگر اجرا شده و نتایج حاصل از آن مثال‌ها نیز از منظر منطقی مورد بررسی قرار گیرد.

مراجع

[1] K. J. Baldwin and S. D. Lucero, “Defense System Complexity: Engineering Challenges and Opportunities,” *The ITEA Journal of Test and Evaluation*, vol. 37, no. 1, pp. 10–16, 2016.

[2] “ISO/IEC 25023:2016(en), Systems and software engineering — Systems and software Quality Requirements and Evaluation (SQuaRE) — Measurement of system and software product quality.” .

[3] R. De Neufville and S. Scholtes, *Flexibility in engineering design*. MIT Press, 2011.

[4] D. Ruscio, A. J. Bos, and M. R. Ciceri, “Distraction or cognitive overload? Using modulations of the autonomic nervous system to discriminate the possible negative effects of advanced assistance system,” *Accident Analysis and Prevention*, vol. 103, no. June, pp. 105–111, 2017.

[5] A. Kossiakoff, *Systems engineering : principles and practice*. Wiley-Interscience, 2011.

[6] L. Chung, B. A. Nixon, E. Yu, and J. Mylopoulos, *Non-Functional Requirements in Software Engineering*. Boston, MA: Springer US, 2000.

[7] D. Mairiza, D. Zowghi, and N. Nurmuliani, “An investigation into the notion of non-functional requirements,” in *Proceedings of the 2010 ACM Symposium on Applied Computing*, 2010, p. 311.

[8] B. W. Boehm, J. R. Brown, and M. Lipow, “Quantitative Evaluation of Software Quality,” *Proceedings of the 2nd international conference on Software engineering.*, pp. 592–605, 1976.

[9] J. P. Cavano and J. A. Mccall, “A Framework fo the Measurement of Software Quality,” in *Proceedings of the software quality assurance workshop on Functional and performance issues.*, 1978, vol. 7, no. 3–4, pp. 133–139.

[10] T. P. Bowen, G. B. Wigle, J. T. Tsai, and WA., *Specification of Software Quality Attributes. Volume 2. Software Quality Specification Guidebook*. Boeing aerospace CO., 1985.

[11] K. M. Adams, *Nonfunctional Requirements in Systems Analysis and Design*. Springer international publishing, 2015.

[12] 1976- Mekdeci, Brian, “Managing the impact of change through survivability and pliability to achieve viable systems of systems,”

Archive of SID
www.SID.ir

Massachusetts Institute of Technology, 2013.

[13] A. M. Ross *et al.*, "A Prescriptive Semantic Basis for System Lifecycle Properties," 2012.

[14] N. Kattner and U. Lindemann, "Performance metrics in engineering change management: Towards a methodology to investigate the efficiency of handling engineering changes," in *Portland International Conference on Management of Engineering and Technology: Technology Management for the Interconnected World*, 2017, vol. 2017–Janua, pp. 1–8.

[15] A. Stevenson, "Oxford dictionary of English." Oxford University Press, 2010.

[16] R. Y. A. Hassan, M. M. Mekawy, P. Ramnani, and A. Mulchandani, "Monitoring of microbial cell viability using nanostructured electrodes modified with Graphene/Alumina nanocomposite," *Biosensors and Bioelectronics*, vol. 91, pp. 857–862, 2017.

[17] I. Hoogendoorn, J. Reenalda, B. F. J. M. Koopman, and J. S. Rietman, "The effect of pressure and shear on tissue viability of human skin in relation to the development of pressure ulcers: A systematic review," *Journal of Tissue Viability*, 2017.

[18] L. Uusitalo, A. Lehikoinen, I. Helle, and K. Myrberg, "An overview of methods to evaluate uncertainty of deterministic models in decision support," *Environmental Modelling & Software*, vol. 63, pp. 24–31, Jan. 2015.

[19] N. Ricci, M. E. Fitzgerald, A. M. Ross, and D. H. Rhodes, "Architecting Systems of Systems with Ilities: An Overview of the SAI Method," *Procedia Computer Science*, vol. 28, pp. 322–331, 2014.

[20] W. Wade and N. Wagner, "Scenario planning : a field guide to the future," Wiley, 2012.

[21] J. Pierce, "Designing flexible engineering systems utilizing embedded architecture options," vanderbilt, 2010.

[22] R. E. Thebeau, "Knowledge management of system interfaces and interactions from product development processes," 2001.

[23] 1976- Kalligeros, Konstantinos C., "Platforms and real options in large-scale engineering systems," 2006.

[24] J. A. Hartigan, *Clustering algorithms*. Wiley, 1975.

[25] P. Grünwald, "The Minimum Description Length Principle," pp. 1–2, 2007.

[26] R. I. Whitfield, J. S. Smith, and A. H. B. Duffy, "Identifying component modules," in *7th International Conference on Artificial Intelligence in Design*, 2002.

[27] A. Skabar and K. Abdalgader, "Clustering Sentence-Level Text Using a Novel Fuzzy Relational Clustering Algorithm," *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*, vol. 25, no. 1, pp. 62–75, 2013.

[28] J. Rissanen, "Modeling by shortest data description," *Automatica*, vol. 14, no. 5, pp. 465–471, 1978.

[29] M. E. Sosa, S. D. Eppinger, and C. M. Rowles, "A Network Approach to Define Modularity of Components in Complex Products," *Journal of Mechanical Design*, vol. 129, no. 11, p. 1118, 2007.

پی‌نوشت‌ها

[۱] Functional requirements
[۲] Design parameters
[۳] Non-functional requirements
[۴] Chung
[۵] Mairiza
[۶] Bohem
[۷] Cavano
[۸] Product revision
[۹] Product transition
[۱۰] Bowen
[۱۱] Attributes
[۱۲] Sensitivity DSM (sDSM)
[۱۳] Partitioning algorithm
[۱۴] Minimum Description Lengths

Archive of SID
www.SID.ir