مقاله پژوهشی

افزایش کیفیت و ایمنی یک سیستم دریایی با استفاده از فرآیند مدیریت الزامات

ام‌البنین یوسفی

(نویسنده‌ی مسؤل)، استادیار، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، دانشکده مهندسی صنایع، شاهین شهر، اصفهان، ایران. Yousefi_1302@yahoo.com

جواد شیخ

دانشجوی دکترا مهندسی صنایع، صنایع شهید قربانی، اصفهان، ایران. Javadsheikh64@yahoo.com

ندا حاج حیدری

کارشناسی ارشد مهندسی صنایع، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، دانشکده مهندسی صنایع، اصفهان، ایران. nedahajheidari@gmail.com

چکیده الزامات به‌عنوان یکی از مراحل اولیه از فرآیند توسعه محصول در مهندسی سیستم است که می‌تواند با یک نگاه جامع و دقیق الزامات را مهندسی نموده و موجب تولید محصولی شود که نیازهای کاربران را برآورده سازد.

هدف از تهیه این پژوهش که در بازه زمانی ۱۴۰۲-۱۴۰۱ انجام شده است، اجرای کلیه فعالیت‌های مدیریت الزامات در یک سیستم دریایی است. بدین منظور در ابتدا الزامات اولیه مربوط به این محصول از منابع مختلف استخراج، دسته بندی و سپس فراداده الزامات تهیه شده و برای هر یک از آن‌ها یک یا چند روش تصدیق ارائه شده است. در نهایت نیز رابطه بین الزامات تعیین و پس از رفع تعارضات میان آن‌ها فراداده الزامات بروزرسانی گردیده است. مطابق با نتایج حاصل از این فرآیند تعداد ۱۰۶ الزام شناسایی شده است. این الزامات به‌عنوان مبنای شروع فرآیند توسعه و طراحی محصول در نظر گرفته خواهند شد.

کلمات کلیدی مهندسی سیستم، مدیریت الزامات، ایمنی، کیفیت، سامانه دریایی

۱- مقدمه

توسعه محصولات نوآورانه نیاز شرکت‌های زیادی است. عدم اطمینان و خطرات زیاد در این فرآیند شرکت‌ها را ملزم به استفاده از روش‌های مناسب به منظور دستیابی به موفقیت نموده است. در این زمینه باید اطمینان حاصل شود که محصول مورد توسعه دارای الزامات دقیقی بوده که ارضاء کننده کارکردها[1]ی مورد نظر مشتری می‌باشند و در نهایت نیز می‌توانند مورد تصدیق[2] و صحه‌گذاری[3] قرار گیرند. در این زمینه مهندسی الزامات[4] علم و رشته‌ای است که به تجزیه و تحلیل و مستندسازی الزامات می‌پردازد [۱]. به عبارت دیگر مهندسی الزامات به معنی تعریف، مدیریت و مستندسازی الزامات به صورت سیستماتیک است که موجب توسعه محصول با کیفیت و ایمن خواهد شد. منظور از محصول ایمن و دارای قابلیت اطمینان بالا تعیین محدودیت‌های عملکردی یک سیستم و توصیف نحوه رفتار آن در ابتدای فرآیند چرخه عمر محصول است. چراکه تعریف الزامات به صورت اشتباه و عدم امکان‌سنجی نحوه تایید و تصدیق آن‌ها موجب کاهش کیفیت محصول و هدر رفت منابع ارزشمند به ویژه در محصولات پیچیده خواهد شد [۲]. لازم به ذکر است که فرآیند مهندسی الزامات یک فرآیند فنی تکراری[5] برای استخراج و مستندسازی الزامات یک سیستم در حال توسعه است که از طریق این فرآیند به صورت قابل‌توجهی ریسک شکست و هزینه‌های بیش از حد

Corresponding Author: Yousefi_1302@yahoo.com

[1] Functions
[2] Verification
[3] Validation
[4] requirements engineering (RE)
[5] iterative

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۱/۰۲ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۲/۰۲
دوره ۱۳/ شماره ۱
صفحات ۷۲-۵۹

پروژه را کاهش می‌دهد [۳]. از این رو، امروزه آموزش نقش‌آفرینان توسعه پروژه در زمینه مهندسی الزامات از اهمیت حیاتی برخوردار است [۴].

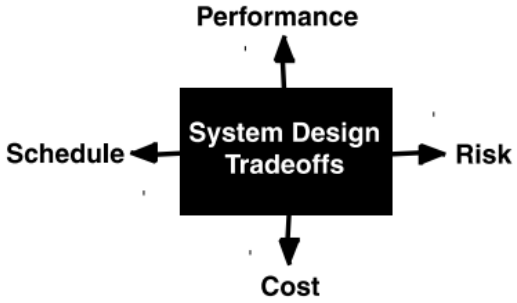
پژوهش حاضر در یکی از صنایع دریایی انجام شده است. با توجه به اینکه صنعت مذکور تولید کننده محصولات حساس، پرخطر و دارای ارزش بالایی است افزایش ایمنی، قابلیت اطمینان و کیفیت این محصولات از اهمیت بالایی برخوردار می‌باشد. از این رو در این پژوهش مهندسی الزامات (نحوه دسته‌بندی الزامات و تعیین نحوه تایید و تصدیق آن‌ها) در قالب یک فرآیند مورد بررسی قرار گرفته است. در ادامه این پژوهش ابتدا مروری بر مبانی نظری پژوهش انجام شده و سپس در بخش بعد روش تحقیق تشریح می‌شود. در بخش بعد یافته‌های حاصل ارائه و نتایج آن‌ها، تجزیه و تحلیل می‌شوند. در بخش آخر نتیجه‌گیری همراه با بیان پیشنهادهایی جهت تحقیقات آتی ارائه می‌گردد.

۲- پیشنیه پژوهش

آنالیز الزامات به‌عنوان اولین فعالیت از فرآیند مهندسی سیستم در نظر گرفته می‌شود. مطابق با این فعالیت مشخص می‌شود که سیستم چه کاری باید انجام دهد؟ محصولات سیستم باید تا چه میزانی (از نظر کمّی و قابلیت اندازه‌گیری) دارای عملکرد مناسب باشند؟ محصولات سیستم باید در چه محیط‌های انجام وظیفه کنند؟ و محدودیت‌های تاثیرگذار بر راه‌حل‌های طراحی چیست؟ نیازها، الزامات و محدودیت‌ها از انتظارات مشتریان، محدودیت‌های سازمانی و پروژه، محدودیت‌های خارجی و الزامات سیستمی سطوح بالاتر نشات گرفته و در یک سند تحت عنوان خط مبنای الزامات سیستمی (SRD)[۶] مستند خواهند شد. از این خط مبنا در راستای تعریف مساله‌ای که باید حل شود استفاده می‌گردد. الزامات سیستمی اغلب به صورت فنی از منابع متعددی اعم از کارکردهای، عملکردها، اینترفیس[۷]، محیطی، ایمنی، منابع انسانی، استانداردها، abilitiyها (اعم از قابلیت اطمینان، تعمیرپذیری[۸] و مواردی از این قبیل) نشات می‌گیرند [۵].

تعیین الزامات در ابتدای چرخه عمر توسعه محصول دقیقا آنچه را که مورد انتظار است مشخص نموده و منجر به شروع یک طراحی سیستماتیک خواهد شد. جمع‌آوری الزامات اغلب از طریق مصاحبه با ذینفعان و تجزیه و تحلیل‌های انجام شده بر روی آن‌ها انجام خواهد شد [۶].گفتنی است که الزامات در هر سطح از سیستم (سیستم، ماژول و قطعه) می‌توانند تعریف شوند. چالش‌های اصلی در تعیین الزامات نحوه تعیین آن‌ها از نیازهای مشتریان، تصدیق و صحه‌گذاری و ایجاد یک سند شفاف و روشن از آن‌هاست. بسیاری از هزینه‌های بالای یک پروژه ناشی از عدم تعریف الزامات اساسی یا برعکس بیش از حد سختگیرانه است. به‌عنوان مثال و مطابق با گزارش ناسا، مدارگرد شناسایی مریخ[۹] در ۱۱ دسامبر ۱۹۹۸ با هدف شناسایی تغییرات آب و هوایی سطح مریخ به فضا پرتاب شد و در ۲۳ سپتامبر ۱۹۹۹ از هم پاشید. علت این امر عدم برآورده سازی الزامات در شرایط مریخ بود [۷].

طراحی سیستم‌ها همواره با تصمیم‌گیری هم زمان در مورد چهار شاخص اصلی عملکرد، هزینه، ریسک و زمان‌بندی روبه‌روست. شکل ۱ این مبحث را نشان می‌دهد.



شکل ۱- المان اصلی مربوط به تصمیم‌گیری در مورد طراحی سیستم

تصمیم‌گیری در این زمینه نیازمند تعریف محدودیت‌ها و مرزها خواهد بود. تمامی این موارد از طریق شفاف سازی الزاماتی که از جنس "باید[۱۰]" هستند انجام شده و مشخصات طراحی[۱۱] را تعیین خواهد کرد. تعیین این مشخصات به صورت شفاف منجر به ایجاد مشخصات اهدافی[۱۲] خواهند شد که مشتریان به آن‌ها اهمیت می‌دهند. شایان ذکر است که الزامات مشخص می‌کنند که محصول یا سیستم چه کار باید انجام دهد این در حالی است که مشخصات تعیین می‌کنند که سیستم یا محصول چگونه ساخته می‌شوند (به‌عنوان مثال نوع متریال، ابعاد و غیره) [۷].

تعیین یک سند جامع و شفاف از الزامات نیازمند دسته‌بندی شفاف الزامات خواهد بود. دسته‌بندی الزامات منجر به تعیین و

[6] System Requirements Document (SRD)
[7] interface
[8] maintainability
[9] Mars Climate Orbiter (MCO)
[10] "Shall"
[11] Design Space
[12] Objective Space

ایجاد تمایز میان الزاماتی که حتما باید در طراحی برآورده شوند و راه‌حل طراحی بر مبنای آن‌ها شکل می‌گیرد (الزاماتی از جنس shall) با الزاماتی که منجر به افزایش کیفیت خواهند شد (الزاماتی از جنس should) می‌گردد. مطابق با دسته‌بندی انجام شده در استاندارد IEEE1220، الزامات در چند دسته اصلی تقسیم بندی می‌شود. این موارد عبارت‌اند از:

- **انتظارات مشتریان**: انتظارات مشتریان ممکن است نتیجه بازاریابی، سفارش مشتری، فرصت‌های شناخته شده در بازار، ارتباط مستقیم با مشتری یا الزامات مربوط به یک سیستم سطح بالاتر باشد. تعیین انتظارات مشتریان عبارت است از ۱) تعریف آنچه که مشتری می‌خواهد سیستم (محصولات و فرآیندهای چرخه عمر) انجام دهد (الزامات کارکردی). ۲) تعیین اینکه این کارکردها را چگونه انجام دهد (الزامات عملکردی) ۳) تعیین محیط‌هایی طبیعی و القایی که محصول باید در آن ایفای نقش نماید ۴) تعیین محدودیت‌ها (مانند بودجه، هزینه یا قیمت، زمان‌بندی، فناوری، مشخصات فیزیکی، ساعات انجام عملیات به صورت روزانه، اینترفیس‌های خارجی، تسهیلات مورد نیاز و غیره)

- **محدودیت‌های پروژه و سازمان:** مقصود از این نوع الزامات تعیین محدودیت‌های تاثیرگذار پروژه بر راه‌حل‌های طراحی است. از جمله محدودیت‌های پروژه می‌توان به مشخصات تعریف شده و خط مبناهای تعریف شده از کاربردهای پیشین مهندسی سیستم، برنامه‌های فنی و پروژه‌ای بروزآوری شده، ساختار و تخصیص‌های تیمی، مکانیزم‌های کنترلی برای اندازه‌گیری پیشرفت پروژه و غیره اشاره نمود. علاوه بر این محدودیت‌های سازمان نیز باید تعیین شوند. محدودیت‌های سازمان عبارتند از تصمیم‌گیری‌های مدیریتی، مشخصات کلی سازمان، استانداردها و دستورالعمل‌ها، رویه‌ها و سیاست‌ها، مالکیت فناوری‌ها، منابع فیزیکی، مالی و انسانی تخصیص یافته به پروژه.

- **محدودیت‌های خارجی:** این الزامات عبارتند از محدودیت‌های خارجی که می‌توانند بر راه‌حل‌های طراحی یا اجرای فعالیت‌های مهندسی سیستم تاثیر بگذارند. از جمله این محدودیت‌ها می‌توان به قوانین و مقررات بین‌المللی، استانداردها و دستورالعمل‌ها و قابلیت‌های شرکت‌های رقیب اشاره کرد.

- **سناریوهای عملیاتی:** مطابق با این الزام سناریوهای عملیاتی مربوط به هر یک از ماموریت‌های شناخته شده در سند الزامات عملیاتی تعریف شده و محدوده کاربردهای پیش‌بینی شده برای محصولات مشخص می‌شود. هر سناریو تعاملات موردانتظار با محیط و سایر سیستم‌ها را تعیین کرده و علاوه بر این ارتباطات فیزیکی بین محصولات یک سیستم را مشخص می‌نماید.

- **معیارهای اثربحشی (MOE)**[13]: معیارهای اثربخش در حقیقت تعیین کننده انتظارات و رضایت کلی مشتری بوده و به طور کلی بیان کننده میزان کیفیت یک محصول از دیدگاه مشتری است. مطابق با برخی از مراجع از این الزامات تحت عنوان الزامات غیرکارکردی[14] یاد می‌شود. این الزامات در حقیقت قابلیت‌هایی[15] هستند که یک سیستم یا محصول باید دارا باشند. اغلب این الزامات با پسوند ability بیان خواهند شد.

- **مرزهای سیستم**: این الزامات تعیین می‌کنند که کدام یک از اجزای تشکیل دهنده سیستم در داخل سازمان طراحی خواهند شد و کدام یک از موارد به صورت برون‌سپاری طراحی شده و خارج از کنترل هستند. از این رو تعاملات مورد انتظار بین المنت‌هایی از سیستم که تحت کنترل هستند و مواردی که تحت کنترل نیستند (خارج از مرزهای سیستم می‌باشند) مشخص خواهد شد.

- **اینترفیس‌ها:** این الزامات اینترفیس‌های فیزیکی و کارکردی با عوامل خارجی و سیستم‌های سطح بالاتر و روابط بین محصولات یک سیستم را مشخص خواهند شد. اینترفیس‌ها می‌توانند از نوع مکانیکی، الکتریکی، حرارتی، داده‌ای و غیره باشند.

- **محیط‌های کاربردی:** این الزامات محیط‌های کاربردی مربوط به هر سناریو عملیاتی را تعیین خواهند کرد و همه عوامل محیطی طبیعی و القایی که ممکن است بر عملکرد سیستم تاثیر بگذارند را شناسایی می‌نمایند. از جمله این موارد عبارت است از شرایط آب و هوایی (مانند باران، برف، خورشید، یخ، گرد و غبار و مه)، محدوده دمایی (اقیانوس، کوه‌ها، بیابان‌ها،

[13] Measures of Effectiveness (MOE)
[14] Non-Functional Requirement
[15] Capability

دشت‌ها و پوشش‌های گیاهی)، شرایط بیولوژیکی (مانند حیوانات، حشرات، پرندگان و قارچ‌ها)، زمان (روز یا شب)، محیط القایی (ویبره، الکترومغناطیس و شیمیایی) و فاکتورهای محیطی دیگری که سیستم قرار است در آن‌جا فعالیت نماید. لازم به ذکر است که این الزامات ممکن است در قالب الزامات عملیاتی نیز تعیین شده باشد که در این بند همراه با بیان جزئیات بیشتر بیان خواهند شد.

- **الزامات کارکردی:** مطابق با این الزام آنالیز کارکردی با هدف تعریف آنچه که سیستم باید انجام دهد یا باید قادر به انجام آن باشند (الزامات کارکردی) تعیین خواهد شد. کارکردهای شناسایی شده به کمک آنالیز کارکردی در مراحل بعدی بیشتر تجزیه شده و زمینه را برای شناسایی و ارزیابی آلترناتیوهای طراحی فراهم می‌نمایند.
- **الزامات عملکردی:** مطابق با این الزام مشخصات عملکردی هر یک از کارکردهای سیستم تعیین می‌شوند. الزامات عملکردی در حقیقت بیان می‌کنند که هر یک از الزامات کارکردی چگونه باید انجام شوند تا معیارهای اثربخشی سیستم برآورده شود.
- **مدهای عملیاتی:** این الزامات مدهای مختلف عملیاتی مربوط به محصولات سیستم را تعیین می‌نماید. شرایط (محیطی، پیکره‌بندی، عملیاتی و غیره) مدهای عملیاتی را تعریف می‌کنند. مقصود از مد شرایط عملیاتی یک کارکرد یا زیرکارکرد یا المنت فیزیکی یک سیستم است.
- **مشخصات فیزیکی:** مطابق با این فعالیت تمام مشخصات فیزیکی موردنظر (رنگ، سایز، وزن و غیره) برای سیستم تعیین خواهد شد. لازم به ذکر است که در این فعالیت مشخص خواهد شد که کدام یک از مشخصات فیزیکی به‌عنوان محدودیت مطرح شده و باید ثابت باشند و کدام یک می‌تواند به صورت متغیر در نظر گرفته شوند.
- **فاکتورهای انسانی:** مطابق با این الزامات فاکتورهای انسانی (به‌عنوان مثال، محدودیت‌های فضای فیزیکی، شرایط آب و هوایی، دسترسی پذیری، ارگونومی و غیره) تاثیرگذار بر عملیات محصولات سیستم تعیین خواهند شد. لازم به ذکر است که در این فعالیت مشخص خواهد شد که کدام یک از فاکتورهای انسانی به‌عنوان محدودیت مطرح شده و باید ثابت باشند و کدام یک می‌تواند به صورت متغیر در نظر گرفته شوند. [۸].

تعیین یک سند شفاف از الزامات علاوه بر ایجاد مبنایی برای توافق بین ذینفعان و توسعه‌دهندگان سیستم در مورد آنچه سیستم باید انجام دهد، کاهش دوباره‌کاری‌ها و ایجاد پایه‌ای برای زمان‌بندی و تخمین هزینه‌ها خط مبنایی برای تصدیق نیز ایجاد خواهد کرد. سازمان توسعه دهنده محصول با استفاده از یک سند شفاف الزامات می‌تواند برنامه تصدیق و صحه‌گذاری[16] را ایجاد نموده و تمهیدات لازم در این زمینه را تعیین کند [۹].

تصدیق و صحه‌گذاری محصولات با استفاده از چهار روش انجام خواهد شد. این روش‌ها عبارتند از اثبات[17]، تست[18]، آنالیز[19] و بازرسی[20]. مطابق با نظر تیم کارشناسی هر یک از این روش‌ها در سند الزامات تعیین و در نهایت و به منظور تعیین برآورده سازی الزامات از این روش‌های استفاده خواهد شد. منظور از آنالیز، تصدیق یک سیستم یا زیرمجموعه‌های آن با استفاده از شبیه‌سازی، مدل‌سازی و سایر ابزارهای آنالیزی است. اثبات نیز یکی از روش‌های تصدیق به منظور تایید قابلیت عملکردی و در حقیقت نمایشی از عملکردهای یک سیستم است. تفاوت این روش با روش تست عدم ثبت مقادیر جمع‌آوری می‌باشد. بازرسی نیز عبارت است بررسی بصری که به منظور تایید برآورده‌سازی الزامات انجام خواهد شد [۵].

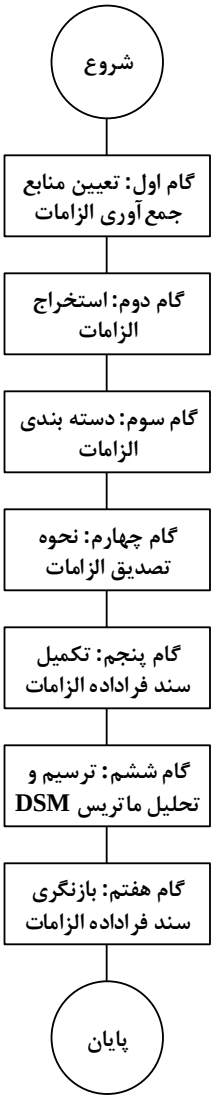
نکته دارای اهمیت در تعیین هر یک از الزامات سازگاری (درک آسان)، امکان‌پذیری، انعطاف‌پذیری، عدم وجود ابهام و وجود قابلیت تایید و تصدیق است. علاوه بر این هر یک از الزامات باید دارای سازگاری کامل با سایر الزامات باشند. به عبارت دیگر نباید هیچ گونه تعارضی بین الزامات وجود داشته باشد. مدیریت الزامات به منظور رفع تعارضات بین آن‌ها پس از شناسایی آن‌ها از ابزارهایی نظیر ماتریس خانه کیفیت[21] و ماتریس ساختار طراحی[22] استفاده می‌کند [۱۰]. ماتریس ساختار طراحی، یک ابزار مدل‌سازی شبکه‌ای است که از آن به منظور نمایش عناصر تشکیل دهنده یک سیستم و تعاملات بین آن‌ها استفاده می‌شود. DSM به طور ویژه برای توسعه سیستم‌های مهندسی پیچیده توسعه یافته و به صورت گسترده در مدیریت مهندسی مورد

[16] Verification and Validation plan
[17] Demonstration
[18] Test
[19] Analysis
[20] Inspection
[21] House of Quality (HOQ)
[22] Design Structure Matrix (DSM)

استفاده قرار می‌گیرد. سطر و ستون‌های این ماتریس بسته به نوع استفاده می‌توانند از یک جنس یا دو جنس متفاوت باشد. موضوع اصلی در این ماتریس تعیین روابط بین عناصر موجود بر روی سطرها و ستون‌های آن‌هاست [۱۱].
مطابق با تعاریف فوق تعیین الزامات باید به صورت دقیق و در قالب سندی تحت عنوان فراداده الزامات [۲۳] با مشارکت تمامی ذینفعان پروژه ایجاد شده و به‌عنوان خط مبنای طراحی، تصدیق و عملیات در نظر گرفته خواهد شد. در ادامه نحوه تعیین این سند برای یکی از محصولات دریایی شرح داده شده است.

۳- بیان مسئله

این پژوهش در یکی از صنایع دریایی انجام شده است. روش تحقیق مورد استفاده در این پژوهش از نوع توصیفی، از نظر هدف در زمره پژوهش‌های کاربردی و از نظر جمع‌آوری داده‌ها نیز از نوع میدانی می‌باشد. به منظور انجام این پژوهش ابتدا جلساتی با کارشناسان صنعت مذکور برگزار گردیده و نیاز آن‌ها شفاف سازی شده است. محصول مورد بررسی در این پرژهش یکی از محصولات دریایی است که در سطح و زیردریا مورد استفاده قرار می‌گیرد و به‌عنوان یکی از تسهیلات اصلی صنایع دریایی شناخته می‌شود. لازم به ذکر است که گروه خبرگان در این پژوهش متشکل از مدیران و کارشناسان بخش طراحی هستند، که همگی دارای سابقه کافی و اطلاعات لازم در این زمینه می‌باشند.
به منظور انجام این پژوهش در مرحله اول منابع مربوط به جمع‌آوری الزامات تعیین و سپس همگی آن‌ها در قالب الزامات فنی مشخص شده است. پس از آن نحوه تصدیق هر یک از الزامات با توجه به نظرات خبرگان و مطابق با قابلیت موجود در صنعت تعیین شده است. پس از آن نیز با استفاده از ماتریس DSM روابط بین کلیه الزامات تعیین و کلیه تعارضات بین آن‌ها مطابق با تجزیه و تحلیل صورت گرفته بر روی آن‌ها مشخص و سند فراداده الزامات بازنگری شده است. کلیه این مراحل در قالب فرآیند نمایش داده شده در شکل ۲ انجام شده است. در ادامه یافته‌های تحقیق بر اساس این فرآیند و به صورت گام به گام شرح داده خواهد شد.



شکل ۲- فرآیند انجام پژوه

۴- یافته‌ها

یافته‌های حاصل از پژوهش در قالب فرآیند نمایش داده شده در شکل ۲ شرح داده خواهد شد.

۴-۱- مرحله اول: تعیین منابع جمع‌آوری الزامات

در ابتدای این مرحله تیم مربوط به تعیین سند الزامات تشکیل گردید. تیم مربوطه دارای سابقه کافی در زمینه طراحی و تصدیق

[23] Requirements Metadata

محصول موردنظر بودند. پس از آن مطابق با توافق صورت گرفته با مشتری منابع جمع‌آوری الزامات تعیین گردید. این منابع عبارت بودند از نیازهای مشتریان، استانداردها و مراجع علمی مربوط به طراحی محصولات دریایی (نظیر universal Navel Task List)، درس‌آموخته[۲۴]های حاصل از سایر پروژه‌ها و پیوست فنی مشتری.

۴-۲- مرحله دوم: استخراج الزامات

مرحله بعد از پس از تعیین مراجع مربوط به جمع‌آوری الزامات مطالعه کلیه این موارد و تعیین آن‌ها در قالب الزامات فنی است. در این زمینه ممکن است کاربر درک صحیحی از نیازهای خود نداشته یا در بیان آن‌ها با مشکل مواجه شود. در اینجا مهندسی سیستم می‌بایست با نیازسنجی و استفاده از ابزارهای مختلف چون مصاحبه وارد فضای ذهنی مشتری شده و نیازهای واقعی آن را شناسایی کند. با توجه به حجم زیاد مراجع این مرحله مستلزم زمان نسبتا زیادی بود. این در حالی است که با توجه به مسائل مربوط به ریسک این مرحله دارای اهمیت زیادی بوده و زمان‌بندی نسبتا طولانی در این مرحله موجب کاهش ریسک در ادامه چرخه توسعه محصول خواهد شد. علاوه بر این به منظور شفافیت بیشتر کار منطق ارائه هر یک از الزامات و شخص ارائه دهنده الزام نیز مشخص گردید. در ادامه و پس از استخراج همه‌ی الزامات توسط تیم مذکور تعداد ۱۰۸ الزام استخراج و به هر یک از آن‌ها یک کد منحصر به فرد (RXXX) اختصاص داده شد. حرف R نشان دهنده الزام و XXX یک شمارنده سه کارکتری است.

۴-۳- مرحله سوم: دسته‌بندی الزامات

در این مرحله کلیه الزامات استخراج شده در مرحله قبل مطابق با استاندارد IEEE1220 دسته‌بندی شدند. مطابق با این دسته‌بندی تعداد ۱۰۸ الزام در ۱۳ دسته طبقه‌بندی شدند. نیازمندی‌های پروژه، محدودیت‌های پروژه و سازمان، محدودیت‌های خارجی، سناریوهای عملیاتی، معیارهای اثربخشی، مرزهای سیستم، اینترفیس‌ها، محیط‌های کاربردی، الزامات کارکردی، الزامات عملکردی، مدهای عملیاتی، مشخصات فیزیکی و فاکتورهای انسانی عنوان هر یک از این دسته‌ها هستند.

۴-۴- مرحله چهارم: تعیین نحوه تصدیق الزامات

در این مرحله و مطابق با جلسات تشکیل شده با گروه خبرگان برای هر یک از ۱۰۸ الزام یک روش تصدیق تعیین گردید. آنالیز، تست، نمایش و بازرسی از جمله روش‌های تصدیقی هستند که پس از بحث و تبادل نظر اعضای گروه و در نظر گرفتن تمهیدات لازم برای انجام آن (تجهیزات، تیم تصدیق و غیره) تعیین شدند. علاوه بر این سطح تصدیق هر یک از الزامات نیز تعیین شد. مقصود از سطح تصدیق سیستم، زیرسیستم، المان و غیره است.

۴-۵- مرحله پنجم: تکمیل سند فراداده الزامات

در این مرحله و مطابق با نتایج جمع‌آوری شده در ۴ مرحله قبل سند فراداده الزامات استخراج شد. مطابق با این سند تعداد ۱۰۸ الزام همراه با تعیین نحوه تصدیق، دسته‌بندی مربوطه، تیم تصدیق، سطح تصدیق و منطق ارائه الزام تعیین گردید. شکل ۳ بخشی از این سند را نشان می‌دهد.

کد الزام	شرح الزام	نوع الزام																منطق ارائه الزام	شخص ارائه دهنده الزام	روش تصدیق			تیم تصدیق	سطح تصدیق
																				تحلیل	آزمون	بازرسی		
R001	کنترل عدد شناور سازی داخل محفظه با داخل تانکر																✓	عدم عملکردی	تیم طراحی	✓	✓		ارتش سیال	سیستم
R002	کنترل اجاره عبارت عدد فعال سازی در پیاد افزار در بازگشت از ماموریت																✓	عدم عملکردی	تیم طراحی	✓	✓		واحدی	سیستم
R003	کنترل فشار تجهیزات به داخل شناور از طریق محفظه خروج خواص																✓		تیم طراحی	✓	✓		ارتش سیال	سیستم
R004	کنترل تخلیه آب محفظه به داخل مخزن جبران وزن																✓	تغذیه انسان	تیم طراحی	✓	✓	✓	پایگاه هشکار	سیستم
R005	پرواز و خزین شرکت ها از زیردریایی در وضعیت شناوری													✓				انتقال استفاده در سطح آب	تیم طراحی	✓	✓		واحدی	سیستم
R006	خروج آمن غواصان، کماندو جهت انجام عملیات													✓				ایمنی	تیم طراحی	✓	✓		واحدی	سیستم
R007	خروج ایمن پرسنل به دهای ۱۰۰ ،۱۲۱،۱۲۲ زیردریایی است نیمه ها در ۱۰۰ ،۱۲۱ و ۱۲۲ در آخرین نفر													✓				ایمنی	تیم طراحی	✓	✓		واحدی	سیستم

شکل ۳- نمایی از سند فراداده الزامات

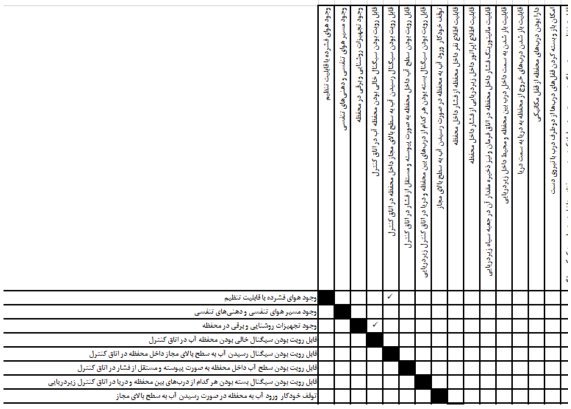
۴-۶- مرحله ششم: ترسیم و تحلیل ماتریس DSM

در این مرحله ماتریس DSM مربوط به الزامات تعیین و روابط بین آن‌ها مشخص شد. مقصود از روابط تعیین روابط متناقض یا تاثیر گذار الزامات بر روی یکدیگر است. ماتریس مربوطه یک ماتریس ۱۰۸*۱۰۸ است که سطر و ستون‌های آن از الزامات تشکیل شده است. کلیه روابط هر یک از الزامات با یکدیگر مطابق با نظر نفرات کارشناسی و پس از بحث و تبادل نظر تعیین شدند. شکل ۴ نمایی از این ماتریس را نشان می‌دهد.

[24] Lesson Learned

۴-۷- مرحله هفتم: بازنگری سند فراداده الزامات

در این مرحله و با توجه به نتایج حاصل از مرحله قبل و تجزیه و تحلیل‌های صورت گرفته لیست الزامات بروزرسانی گردید. مطابق با این بروزرسانی الزام شماره R050 به دلیل مشابه بودن با الزام شماره R099 حذف و علاوه بر این الزامات شماره R022 و R045 به دلیل تناقص با یکدیگر حذف و الزام جدید دیگری اضافه شد. در این حالت تعداد الزامات به ۱۰۶ الزام کاهش و به‌عنوان ورودی طراحی به تیم طراحی پروژه تحویل شد.



شکل ۴- نمایی از ماتریس DSM تعیین کننده روابط بین الزامات

۵. بحث و نتیجه‌گیری

اصطلاح ساخت سیستم به آن دسته از فعالیت‌هایی اشاره دارد که به توسعه یک سیستم مربوط می‌شوند. در این زمینه ایجاد یک رویکرد سیستماتیک برای استخراج، سازمان‌دهی و مستندسازی الزامات توافق شده بین تیم پروژه و مشتری یکی از گام‌های اولیه و اساسی توسعه سیستم است که تحت عنوان مدیریت الزامات نامیده می‌شود. مدیریت الزامات شامل کلیه فعالیت‌هایی است به منظور حفظ یکپارچگی الزامات انجام خواهد شد. مدیریت تغییر در الزامات و خط مبنای ایجاد شده از آن، هماهنگی الزامات با سایر برنامه‌های پروژه، مدیریت روابط بین الزامات، مدیریت وابستگی بین سند الزامات با سایر اسناد ایجاد شده در فرآیند مهندسی سیستم و قابلیت ردیابی الزامات از جمله فعالیت‌های اصلی مدیریت الزامات در نظر گرفته می‌شوند.

با توجه به اهمیت مساله مدیریت الزامات در زمینه توسعه سیستم، پژوهش حاضر با هدف تعیین فرآیندی جهت مدیریت الزامات یکی از محصولات صنایع دریایی انجام شده است. بدین منظور در ابتدا تیمی از خبرگان صنعت موردنظر تشکیل و پس از تعیین مراجع مربوطه تعداد ۱۰۸ الزام استخراج گردید. منطق ارائه هر یک از الزامات، سطح تصدیق و دسته‌بندی هر یک از آن‌ها منجر به ایجاد سندی تحت عنوان فراداده الزامات گردید. این سند به‌عنوان مبنایی برای طراحی در نظر گرفته شده و مورد توافق تیم پروژه و مشتری خواهد بود. لازم به ذکر است که در صورت ایجاد تغییر در نظر مشتری این سند باید مورد بازنگری قرار گیرد. لذا این سند به‌عنوان ورژن اولیه یا خط مبنا در نظر گرفته شده و تمام تغییرات بر روی آن اعمال خواهد شد. در این سند کلیه الزامات مطابق با دسته‌بندی ارائه شده در استاندارد IEEE1220 دسته‌بندی شده است. پس از آن و به منظور مدیریت روابط بین الزامات ماتریس DSM مربوط به الزامات ترسیم و کلیه روابط بین الزامات تعیین شده و در نهایت تعارضات بین آن‌ها مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته و سند الزامات بازنگری شده است.

تعیین کارکردهای مربوط به سیستم و شروع فرآیند آنالیز کارکردی و به‌روزرسانی مجدد فراداده الزامات از جمله پیشنهادهایی است که می‌تواند در تحقیقات آتی به آن پرداخته شود.

مراجع

[1]. Glinz M (2020) Standard glossary for the certifed professional for requirements engineering (CPRE) studies and exam v2.0.0. Technical report, International Requirements Engineering Board e.V., October 2020.

[2]. Pandey, D., & Pandey, V. (2012). Importance of requirement management: A requirement engineering concern. *International Journal of Research and Development-A Management Review (IJRDMR)*, *1*(1), 66-70.

[3]. Ali Kia, A, Munsi,A, System Engineering, Defense Industries Research and Research Institute, Tehran, (2015)- (in persian)

[4]. Daun, M., Grubb, A. M., Stenkova, V., & Tenbergen, B. (2023). A systematic literature review of requirements engineering education. *Requirements Engineering*, *28*(2), 145-175.

[5]. Hirshorn, S. R., Voss, L. D., & Bromley, L. K. (2017). *Nasa systems engineering handbook* (No. HQ-E-DAA-TN38707).
[6]. Van Lamsweerde A (2009) Requirements engineering: from system goals to UML models to software, vol 10. Wiley, Chicheste
[7]. Olivier, L., Weck, D. (2015). Fundamentals of Systems Engineering, Massachusetts Institute of Technology.
[8]. Draft, B. IEEE Interim Standard1220-Standard for Application and Management of the Systems Engineering Process
[9]. Friedenthal, S., Griego, R., & Sampson, M. (2007, June). INCOSE model-based systems engineering (MBSE) initiative. In *INCOSE 2007 symposium* (Vol. 11). sn.
[10]. Kossiakoff, A., Biemer, S. M., Seymour, S. J., & Flanigan, D. A. (2020). *Systems engineering principles and practice*. John Wiley & Sons.
[11]. Leontiev, N., Samarov, D., Fevralev, V., Nikonova, I., & Tyulenev, R. (2023). Possibilities of the design structure matrix for planning and system analysis of complex engineering systems. In *E3S Web of Conferences* (Vol. 380). EDP Sciences.

Improving the Quality and Safety of A Marine System Using the Requirements Management Process

Ommolbanin Yousefi[25]
(Corresponding Author), Assistant Professor, Department of Industrial Engineering, Malek Ashtar University of Technology, Isfahan, Iran. yousefi_1302@yahoo.com

Javad Sheikh
PHD student, Shahid Ghorbani Industrial, Isfahan, Iran. Javadsheikh64@yahoo.com

Neda Hajheidari
MSc, Department of Industrial Engineering, Malek Ashtar University of Technology, Isfahan, Iran. nhajheidari@gmail.com

Abstract: The extent of the systems is the size of the world in which they are located. In fact, systems are a community or a combination of elements or components related to each other that form a single whole and have a common goal. It should be noted that systems can be as big as the whole being or as small as an atom.

Guiding the engineering process in systems has created an interdisciplinary approach called system engineering. The concept of guidance in the first step means choosing the best path among the existing paths and then guiding, directing and managing the process in the selected path. In this context, requirements management is one of the first stages of the product development process, which can engineer the requirements with a comprehensive and accurate view and produce a product that meets the needs of users.

Marine systems, like other systems, and as a result, conducting operations under water, have a special importance in the field of safety issues. Therefore, measuring the operation conditions and evaluating the requirements and determining the necessary feasibility to fulfill them at the beginning of the project is a necessary and undeniable thing that requires efforts in the direction of system engineering and creating an integrated approach in the field of directing activities.

Keywords System engineering, requirements management, safety, quality, marine system

[25] Corresponding Author: Yousefi_1302@yahoo.com

Aim and Introduction

The definition of “system” is inclusive. A system is the combination of elements that function together to produce the capability required to meet a need. The elements include all hardware, software, equipment, facilities, personnel, processes, and procedures needed for this purpose [5].

Establishing and directing of system is not easy, especially for complex system. In these items, the system engineering science is used. System engineering is involved in all aspects of design, development, produce and, etc. All activities are done during a cycle that is named "life cycle". This cycle has several phase and gates. Any system shall pass all of phase and gate, from definition to disposal [3].

One of very important activity in this cycle is requirement management. The requirement is agreed-upon need, desire, want, capability, capacity, or demand for personnel, equipment, facilities, or other resources or services by specified quantities for specific periods of time or at a specified time expressed as a “shall” statement. Acceptable form for a requirement statement is individually clear, correct, feasible to obtain, unambiguous in meaning, and can be validated at the level of the system structure at which it is stated. In pairs of requirement statements or as a set, collectively, they are not redundant, are adequately related with respect to terms used, and are not in conflict with one another. On of very important activity that is done on requirements is verification. Verification proves that a product for any element within the system structure conforms to its requirements or specifications. There are several methods for verification. These methods are Analysis, demonstration, test and inspection [4].

Management, choice, classification and configuration of requirements is done with requirement management. The purpose of this paper is improving quality and safety of a marine system using requirement management. Marine system due to the nature and performance are considered as a complex system. The safety and quality in this system is something that cannot be ignored

Methodology

For Purpose in this paper, that, mentioned in aim and introduction part, is considered a process with seven steps. Figure 1 shows this process. According to this process, at fist the resources of requirements gather, then the requirements extract and classify. After that introduce one or more methods

for verification of requirements. All of mentioned step's results show in the main document that named metadata. In the end the DSM matrix draw. Using this tool help to determine the configuration of requirement and review of metadata [11].

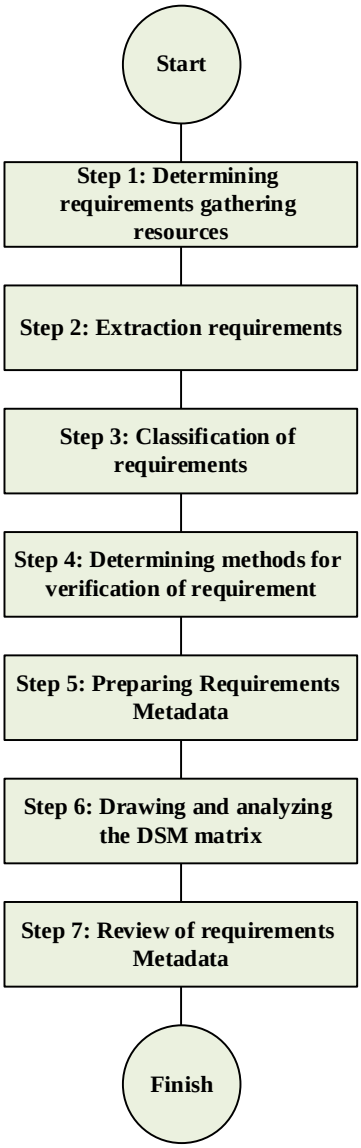


Fig 1- The process of this paper

Finding

In the following, the steps of process (Fig. 1) and finding are briefly described

1) **Determining requirements gathering resources:** Determining requirements gathering resources: There are several references for extraction requirements. Technical annex, standard, benchmarking and, lesson learned and etic are example of these references. So, in this stage, according to the opinion of experts, is determined a number of references. The experts include designer, system engineer, supplier, producers and etc.
2) **Extraction requirements:** in this step, according to the references considered in the first step, the requirements has been extracted. Any requirement should have a unique code. In addition, any requirement should be clear, correct, feasible to obtain, unambiguous in meaning, and can be validated. For this system is extracted 108 requirements.
3) **Classification of requirements:** in this step, the collected requirements are categorized. The classification of requirements, is done according to the IEEE1220. This standard, introduces 13 types of requirements.
4) **Determining methods for verification of requirement:** In this step is determined one or more verification methods for any requirements. Analysis, inspection, test and demonstration are methods that can verify a requirement. All of requirement should have the ability of verification.
5) **Preparing Requirements Metadata**: Requirements Metadata is a document that includes all of requirements. So, the result of past steps is collected in this document.
6) **Drawing and analyzing the DSM matrix:** Requirements may conflict with each other. Especially, when the requirements extract from several reference. So, in this step, the conflict of requirements is solved. In this context, is used from DSM matrix. A DSM matrix is a square matrix, representing linkages between the system items. It can use for parts, function and requirement. For this system, this matrix is a 108*108.
7) **Review of requirements Metadata**: In this step and used to results of step 6 the requirements Metadata is reviewed. According to the analysis the number of requitements reduce to 105 requirements.

Discussion and Conclusion

The term system construction refers to those activities that are related to the development of a system. In this context, creating a systematic approach for extracting, organizing and documenting the requirements agreed between the project team and the client is one of the first and fundamental steps of system development, which is called requirements management. Requirements management includes all activities to maintain the integrity of the requirements. Management of changes in requirements and the baseline created from it, coordination of requirements with other project plans, management of relationships between requirements, management of dependencies between the requirements document and other documents created in the system engineering process, and traceability of requirements are among the main activities of requirements management. are taken

Considering the importance of requirements management in the field of system development, the present research was carried out with the aim of determining a process to manage the requirements of one of the maritime industry products. For this purpose, at first, a team of industry experts was formed and after determining the relevant authorities, 108 requirements were extracted. The logic of providing each of the requirements, the certification level and the classification of each of them led to the creation of a document under the title metadata of requirements. This document is considered as the basis for the design and will be agreed upon by the project team and the client. It should be noted that if there is a change in the customer's opinion, this document must be revised. Therefore, this document is considered as the initial version or baseline and all changes will be applied to it. In this document, all the requirements are categorized according to the categories provided in the IEEE1220 standard. After that, in order to manage the relationships between the requirements of the DSM matrix related to the drawing requirements and all the relationships between the determined requirements, and finally the conflicts between them have been analyzed and the requirements document has been revised.

Reference

[1]. Glinz M (2020) Standard glossary for the certifed professional for requirements engineering (CPRE) studies and exam v2.0.0. Technical report, International Requirements Engineering Board e.V., October 2020.

[2]. Pandey, D., & Pandey, V. (2012). Importance of requirement management: A requirement engineering concern. *International Journal of Research and Development-A Management Review (IJRDMR)*, *1*(1), 66-70.

[3]. Ali Kia, A, Munsi,A, System Engineering, Defense Industries Research and Research Institute, Tehran, (2015)- (in persian).

[4]. Daun, M., Grubb, A. M., Stenkova, V., & Tenbergen, B. (2023). A systematic literature review of requirements engineering education. *Requirements Engineering*, *28*(2), 145-175.

[5]. Hirshorn, S. R., Voss, L. D., & Bromley, L. K. (2017). *Nasa systems engineering handbook* (No. HQ-E-DAA-TN38707).

[6]. Van Lamsweerde A (2009) Requirements engineering: from system goals to UML models to software, vol 10. Wiley, Chicheste

[7]. Olivier, L., Weck, D. (2015). Fundamentals of Systems Engineering, Massachusetts Institute of Technology.

[8]. Draft, B. IEEE Interim Standard1220- Standard for Application and Management of the Systems Engineering Process

[9]. Friedenthal, S., Griego, R., & Sampson, M. (2007, June). INCOSE model-based systems engineering (MBSE) initiative. In *INCOSE 2007 symposium* (Vol. 11). sn.

[10]. Kossiakoff, A., Biemer, S. M., Seymour, S. J., & Flanigan, D. A. (2020). *Systems engineering principles and practice*. John Wiley & Sons.

[11]. Leontiev, N., Samarov, D., Fevralev, V., Nikonova, I., & Tyulenev, R. (2023). Possibilities of the design structure matrix for planning and system analysis of complex engineering systems. In *E3S Web of Conferences* (Vol. 380). EDP Sciences