



۱۰۵

سال بیست و سوم

پاییز ۱۴۰۳

مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت:

۱۴۰۳/۳/۲۹

تاریخ پذیرش

۱۴۰۳/۰۷/۲۸

صص: ۴۱-۷۳

شابا چاپی: ۶۱۲۱-۲۰۰۸

الکترونیکی: ۵۲۱۸-۲۶۴۵



فصلنامه مدیریت و پژوهش های دفاعی

مدل مهندسی سیستم یکپارچه متناسب با مدیریت توسعه محصولات یک سازمان تحقیقاتی دفاعی

حسین پویا، مهرداد کازرونی^۲، هادی زارع^۳

چکیده

با توجه به پیشرفت و توسعه صنایع نظامی و افزایش پیچیدگی سامانه‌ها و محصولات دفاعی، پیچیدگی طراحی و ساخت این محصولات نیز افزایش یافته است؛ بنابراین، به منظور حفظ مزیت‌های رقابتی سازمان (شامل افزایش کیفیت، کاهش زمان، حفظ رویکردهای دانش محور و کاهش قیمت تمام شده محصولات)، مدیریت یکپارچه فرآیند توسعه محصول در طول چرخه عمر آن از اهمیت بالایی برخوردار است. هدف از این تحقیق، طراحی یک مدل مهندسی سیستم یکپارچه و متناسب شده برای توسعه محصولات یک سازمان تحقیقاتی دفاعی و اجرای آن برای مدیریت چرخه عمر یک سامانه دفاعی پیچیده است. این مدل، متناسب با ویژگی‌های سازمان مورد نظر و نوع پروژه‌های آن، قالب و چارچوب خاصی را برای مراحل مختلف چرخه عمر محصول ارائه می‌دهد. مشخصات و محتویات کلیه مستندات و مدارک مربوط به هر مرحله، با استانداردهای مهندسی سیستم مطابقت دارد. یکی دیگر از ویژگی‌های مدل ارائه شده در این تحقیق، طراحی و اجرای یک سیستم سنجش اثربخشی با استفاده از شاخص‌های کلیدی عملکرد است. نتایج اجرای مدل مهندسی سیستم در فرآیند توسعه محصول، حاکی از بهبود نسبی شاخص‌های کلیدی عملکرد زمان تحقق پروژه (۹٪) و هزینه (۶٪) می‌باشد.

کلید واژه‌ها: چرخه عمر محصول، مهندسی سیستم، نظام محصولات دفاعی، روش دلفی.

Dor: 20.1001.1.20086121.1403.23.105.2.1

۱. دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

۲. استادیار دانشکده مکانیک دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

۳. دانشگاه صنعتی شریف

بیان مسئله

سامانه‌های پدافندی یکی از پیچیده‌ترین محصولات دفاعی در حوزه‌ی هوافضا به شمار می‌روند. این دسته از محصولات معمولاً دارای تعداد بسیار زیادی قطعه و همچنین زیرسیستم‌های مختلف هستند. از سوی دیگر در توسعه آن‌ها یک طراحی چندتخصصی^۱ استفاده می‌شود که نیازمند به‌کارگیری دانش و مهارت ویژه از حوزه‌های مختلف می‌باشد. همچنین به دلیل دارا بودن فناوری‌های خاص و انحصاری، اغلب محصولاتی راهبردی می‌باشند که با صرف هزینه‌های بالا و طی مدت زمان طولانی به صورت سفارشی و به تعداد محدودی ساخته می‌شوند. این‌گونه محصولات معمولاً نیازمند انواع مختلفی از آزمون‌ها و تجهیزات خاص برای درستی سنجی عملکردشان هستند. به منظور مدیریت طراحی و توسعه این سامانه‌های پیچیده در طول چرخه عمر آن‌ها، نیاز به استفاده از یک نظام جامع است که در تعریف کلان‌والدن (۲۰۱۵) مهندسی سیستم نام دارد.

در جنگ جهانی دوم، به دلیل ورود محصولات و فن‌آوری‌های پیچیده نظامی و نیاز به اتخاذ رویکرد سیستمی در توسعه این‌گونه محصولات، مهندسی سیستم به تدریج جایگاه خود را در صنایع مختلف پیدا کرد (کازیاکوف، ۲۰۱۱). در زمینه نظامی، اولین سازمانی که به صورت خاص و حرفه‌ای به این موضوع پرداخت، سازمان ملی هوانوردی و فضایی ایالات متحده^۲ بود که هندبوک مهندسی سیستم‌ها را برای اولین بار منتشر کرد و پس از آن وزارت دفاع آمریکا^۳ مفاهیم آن را گسترش داد. در سال‌های بعد، مؤسسات ملی، منطقه‌ای و بین‌المللی مختلف همچون شورای بین‌المللی مهندسی سیستم^۴ و سازمان اروپایی استانداردسازی فضایی^۵، استانداردها و هندبوک‌های کاربردی دیگری را برای مهندسی سیستم توسعه و ارائه دادند. همچنین در ایران، مرکز استاندارد دفاعی ایران نیز در زمینه استانداردسازی مهندسی سیستم در حوزه دفاعی گام‌های مؤثری در این زمینه برداشته است (منصوریان، ۱۳۹۴).

با توجه به نیازمندی سازمان‌های مختلف، پیاده‌سازی مهندسی سیستم و ارائه مدل توسعه محصولات

1. Multidisciplinary
2. National Aeronautics and Space Administration (NASA)
3. Department of Defense (DoD)
4. International Council on Systems Engineering (INCOSE)
5. European Cooperation for Space Standardization (ECSS)

برای سازمان‌ها و حتی پروژه‌های خاص، نیازمند متناسب‌سازی^۱ می‌باشد. متناسب‌سازی مهندسی سیستم برای یک سازمان و یک محصول خاص به عوامل مختلفی همچون راهبرد، فرهنگ و سطح بلوغ سازمان، نوع و پیچیدگی محصولات و ... بستگی دارد. علاوه بر این، در پیاده‌سازی مهندسی سیستم ممکن است عمق و جنبه‌های متفاوتی از آن مدنظر باشد؛ بنابراین اجرای این پژوهش در سازمان مورد نظر که یکی از سازمان‌های تحقیقاتی وابسته به صنایع دفاعی کشور است و روی محصولات خاص آن برای اولین بار انجام می‌شود. زمینه کاری این سازمان در صنعت هوافضا بوده و با توجه به پیچیدگی محصولات، فاز تحقیقات و مهندسی گسترده و مدت زمان طولانی برای توسعه محصول، مشخصات یک سازمان مهندسی طبق سفارش^۲ را به‌طور کامل دارا می‌باشد. پس از انجام فرآیند طراحی و ساخت نمونه مهندسی که بسته به نوع و ابعاد پروژه و همچنین سطح تکنولوژی، معمولاً بین یک تا چهار سال طول می‌کشد، دانش فنی محصول در قالب مستندات به‌منظور تولید انبوه به رده تولیدی واگذار می‌شود. با توجه به بررسی‌های انجام گرفته در سازمان، نیاز به پیاده‌سازی مهندسی سیستم به دلایل زیر کاملاً احساس شده است:

۱. امکان عدم شناسایی دقیق و تعریف شفاف نیاز در ابتدای پروژه وجود دارد؛ بنابراین احتمال اشتباه در فهم مسئله و در نظر نگرفتن همه جوانب آن و پیمودن مسیر اشتباه در فرآیند توسعه وجود دارد که می‌تواند منجر به دوباره‌کاری و صرف هزینه‌های گزاف و چه بسا شکست پروژه گردد.

۲. دومین مسئله، مربوط به فرآیند مدیریت الزامات می‌باشد. با توجه به عدم احصاء الزامات کلیه ذی‌نفعان پروژه و فقدان فرآیند شکست الزامات و پیگیری آن‌ها، احتمال اشتباه و یا نادیده گرفتن برخی از الزامات و خواسته‌های ذی‌نفعان وجود دارد.

۳. عدم وجود یک سامانه یکپارچه و استاندارد برای مدیریت اطلاعات و اسناد پروژه، باعث تولید انبوه اطلاعات نامنظم در گروه‌های فنی مختلف با نسخه‌های متعدد می‌شود. عدم یکپارچگی اطلاعات و مدیریت دانش مؤثر، منجر به اتلاف وقت و هزینه‌ی زیاد در بازیابی و استفاده مجدد از دانش تولید شده، عدم اشتراک به موقع و مطلوب، مدیریت نامناسب تغییرات مهندسی و امکان استفاده از اطلاعات اشتباه و به‌روز نشده می‌گردد.

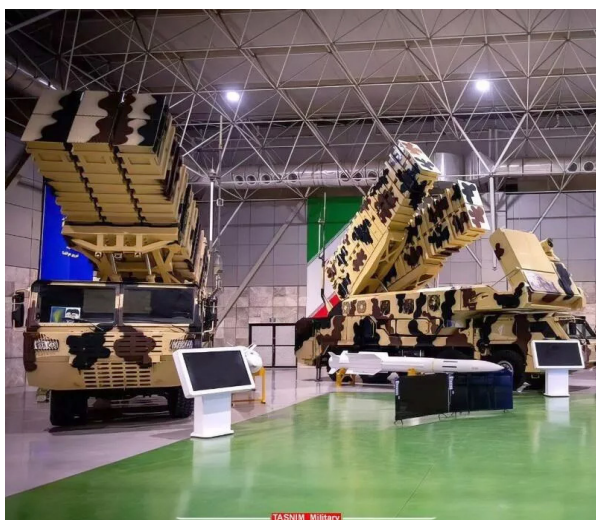
1. Tailoring

2. Engineer To Order (ETO)

۴. به منظور ترسیم مسیر فرآیند توسعه محصول از ابتدا تا انتهای چرخه عمر، نیاز به طراحی یک مدل فرآیندی مطلوب، متناسب، بهینه و تکرارپذیر می‌باشد. در این صورت، تأثیرات مربوط به شرایط و سلیقه‌های مختلف به حداقل می‌رسد و علاوه بر کاهش هزینه و زمان پروژه‌ها و بهبود کیفیت محصولات، منجر به رضایت مندی مشتری خواهد گردید.

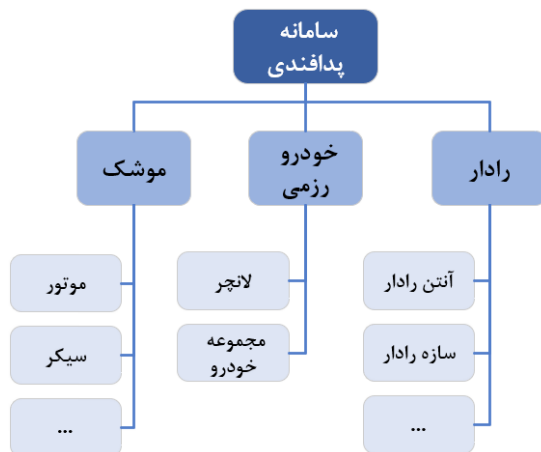
۵. عدم وجود سازوکاری به منظور سنجش مناسب عملکرد و پیشرفت پروژه و اصلاح مشکلات احتمالی نیز دیگر مسئله موجود می‌باشد. در هر سازمان، یک سامانه اندازه‌گیری کمی عملکرد پروژه مورد نیاز است تا یک سری از سنج‌ها و شاخص‌های کلیدی پروژه را مورد ارزیابی قرار داده و بازخوردهای آن را به نحو مقتضی اعمال کند.

محصولات ارائه شده توسط سازمان بر اساس کارکرد و مشخصات، دارای طبقه‌بندی‌های مختلفی می‌باشند. محصول مورد نظر، یک سامانه پدافند هوایی راهبردی است که فرآیند توسعه آن، از مرحله شناسایی نیاز تا مرحله ساخت و بهره‌برداری، در سازمان مورد نظر انجام می‌گیرد. این سامانه که نمونه آن در شکل ۱ مشاهده می‌شود، قابلیت درگیری با انواعی از جنگنده‌ها، بمب افکن‌ها، پرنده‌های بدون سرنشین، بالگردها و سایر تهدیدات هوایی مشابه را دارد.



شکل ۱. نمای یک سامانه پدافند هوایی

بخشی از ساختار ریز محصول این سامانه که شامل زیرسیستم های اصلی آن است، در شکل ۲ نشان داده شده است.



شکل ۲. ساختار ریز محصول سامانه پدافند هوایی

پرسش های پژوهشی

پرسش اصلی:

۱- مدل مهندسی سیستم مطلوب و متناسب برای توسعه محصولات سازمان به منظور رفع مسائل و چالش های احصا شده و بهبود شاخص های عملکرد پروژه چگونه است؟

پرسش های فرعی:

۱- چالش ها و مسائل موجود در روند توسعه محصولات سازمان مورد نظر چیست؟

۲- چگونه می توان میزان اثربخشی و کارایی مدل ارائه شده را اندازه گیری کرد؟

مبانی نظری

مهندسی سیستم

مهندسی سیستم چارچوب فنی برای انتقال توانمندی ها به کاربر ایجاد می کند. مهندسی سیستم

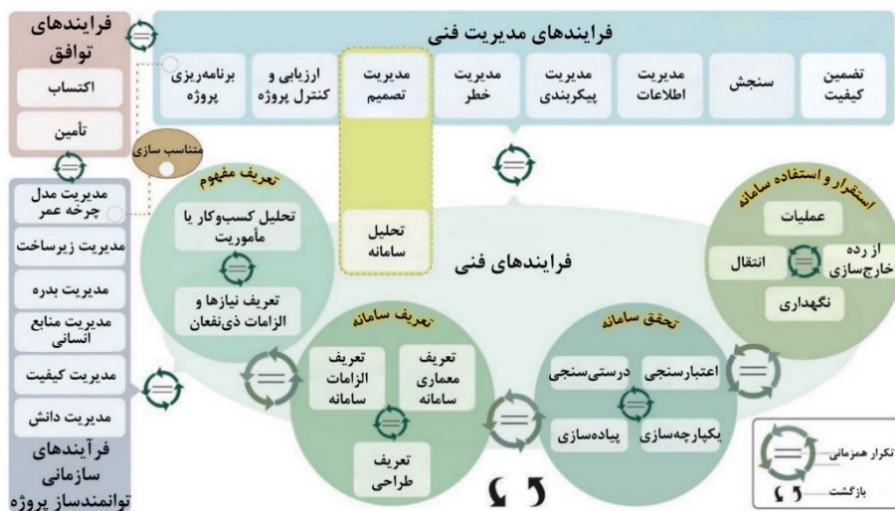
مبنایی فراهم می‌کند که بر اساس آن، هرچیز دیگری ساخته می‌شود و موفقیت برنامه پشتیبانی می‌شود. مهندسی سیستم توسعه کارآمد و تحویل توانمندی را از طریق پیاده‌سازی یک رویکرد متوازن نسبت به هزینه، زمان‌بندی، عملکرد و ریسک، با استفاده از مجموعه فرآیندها و فعالیت‌های یکپارچه منظم و سازگار خود بدون احتساب زمان ورود برنامه به چرخه‌ی عمر اکتساب، تضمین می‌کند. مهندسی سیستم همچنین به توسعه‌ی سامانه‌های انعطاف‌پذیر مهندسی کمک می‌کند که هرکدام قابل اطمینان، تضمین شده و به راحتی اصلاح‌پذیر (چابک) باشند (بیکیس، ۲۰۱۵).

شرکت‌ها و سازمان‌های مختلف در دنیا، به فراخور شرایط سازمان و ویژگی‌های محصولات، از مدل چرخه عمر، نظام فرایندی و اسنادی مختلفی در طراحی و مدیریت امور خود بهره می‌برند. این مدل ممکن است بر اساس یک استاندارد بین‌المللی مانند اینکوز (والدن، ۲۰۱۵)، منطقه‌ای مانند سازمان اروپایی استانداردسازی فضایی (ECSS، 2019)، ملی مانند وزارت دفاع ایالات متحده (DoD، 2001) و وزارت حمل و نقل ایالات متحده (DoT، 2007)، ایالتی مانند سازمان حمل و نقل ایالت فلوریدا (FDOT، 2005) و یا سازمانی مانند سازمان ملی هوانوردی و فضایی ایالات متحده (ناسا، ۲۰۰۷) و نیروی هوایی ایالات متحده (Force، 2005) باشد. مفاهیم مختلف مهندسی سیستم مانند سیستم، نیاز، الزام و طراحی، در این مراجع، دارای تعاریف گوناگونی است. علی‌رغم شباهت بسیار زیاد این تعاریف، ولی توجه به ظرافت‌های هر یک و پایبندی به یک تعریف مشخص، در کل سازمان طراحی امری اجتناب‌ناپذیر است.

هر یک از استانداردها ممکن است دارای ویژگی خاصی باشند. مثلاً در استاندارد سازمان اروپایی استانداردسازی فضایی، مباحث مربوط به مستندات مهندسی سیستم به خوبی بیان شده است. در این مرجع، فهرست اسناد و محتوای آن‌ها کاملاً تشریح گردیده است. همچنین استاندارد ناسا به شکل عمیق‌تر و به صورت مبسوط به موضوع فرآیندهای مهندسی سیستم پرداخته است.

البته به جز روش‌های استاندارد بین‌المللی، منطقه‌ای، ملی و سازمانی، مراجع متنوع کاربردی دیگری نیز وجود دارد که ممکن است دارای تعاریف مفهومی با اندکی اختلاف نسبت به روش‌های شاخص پذیرفته شده‌ی بین‌المللی باشند. همان‌طور که در شکل ۳ مشاهده می‌شود، بر اساس استاندارد ایزو ۱۵۲۸۸، فرآیندهای چرخه عمر سیستم به ۴ دسته کلی فرایندهای توافق، فرایندهای مدیریت فنی،

فرایندهای سازمانی توانمندساز پروژه و فرایندهای فنی تقسیم می‌شود و دید کامل‌تری از مجموعه فرایندهای پروژه به دست می‌دهد. با دقت به شکل مشخص می‌شود که متناسب‌سازی، یکی از ارکان کلیدی است که می‌بایست بر روی خود مدل چرخه عمر، اعمال گردد. مراد از این متناسب‌سازی، وجود یا عدم وجود برخی فرایندها و همچنین عمق پرداختن به استانداردهای آن‌ها می‌باشد.



شکل ۳. فرایندهای چرخه عمر سیستم بر اساس ایزو ۱۵۲۸۸ (والدن، ۲۰۲۳)

در ادامه این بخش، تعاریف فرایندهای نشان داده شده در شکل ۳، به صورت مختصر بیان می‌گردد.

فرایندهای توافق: فعالیت‌های ضروری برای عقد قرارداد مابین دو سازمان

- فرآیند اکتساب: به منظور بدست آوردن یک محصول یا خدمت مطابق با الزامات اکتساب‌کننده
- فرآیند تأمین: به منظور تأمین یک محصول یا خدمت برای اکتساب‌کننده به‌گونه‌ای که الزامات توافق شده را برآورده کند.

فرایندهای سازمانی توانمندساز پروژه: به منظور تضمین توانمندی سازمان در اکتساب و تأمین

- محصولات یا خدمات (تأمین‌کننده منابع و زیرساخت‌های لازم برای پشتیبانی پروژه)
- فرآیند مدیریت مدل چرخه عمر: به منظور تعریف، حفظ و تضمین در دسترس بودن خط‌مشی‌ها،

- فرآیندهای چرخه عمر، مدل‌های چرخه عمر و رویه‌ها برای استفاده سازمان
- فرآیند مدیریت زیرساخت‌ها: به منظور تأمین زیرساخت‌ها و خدماتی برای پروژه که اهداف سازمان و پروژه را در طول چرخه عمر پشتیبانی می‌کند.
 - فرآیند مدیریت پورتفولیو: به منظور شروع و دنبال کردن پروژه‌های مناسب، کافی و ضروری است که اهداف راهبردی سازمان را تأمین می‌کند.
 - فرآیند مدیریت منابع انسانی: به منظور تأمین منابع انسانی ضروری و حفظ صلاحیت آن‌ها مطابق با نیازهای کسب‌وکار برای سازمان
 - فرآیند مدیریت کیفیت: به منظور تضمین آن که محصولات، خدمات و پیاده‌سازی فرآیند مدیریت کیفیت، اهداف کیفی پروژه و سازمان را برآورده کرده و رضایت مشتری را به همراه خواهد داشت.
 - فرآیند مدیریت دانش: به منظور ایجاد توانمندی و اسباب مورد نیاز برای سازمان جهت به‌کارگیری مجدد دانش موجود
- فرآیندهای مدیریت فنی:** به منظور ایجاد و تکمیل طرح‌ها، اجرای طرح‌ها، ارزیابی پیشرفت‌ها و دستاوردهای عینی بر مبنای طرح‌ها و نیز کنترل اجرای پروژه
- فرآیند برنامه‌ریزی پروژه: به منظور تولید و هماهنگ‌سازی طرح‌های مفید و کارا
 - فرآیند ارزیابی و کنترل پروژه: به منظور ارزیابی هم‌نوایی و امکان‌پذیری طرح‌ها و همچنین تعیین وضعیت پروژه، عملکرد فنی و فرآیندی و نیز بررسی انطباق عملکرد با طرح‌ها و زمان‌بندی‌ها و بودجه‌های تخصیص داده شده جهت برآورده کردن اهداف فنی
 - فرآیند مدیریت تصمیم: به منظور تأمین یک چارچوب تحلیلی و ساختاریافته برای شناسایی، تشخیص و ارزیابی عینی مجموعه بدیل‌ها برای یک تصمیم در هر نقطه از چرخه عمر و گزینش بهترین مورد
 - فرآیند مدیریت خطر (ریسک): به منظور شناسایی، تحلیل، بهبود و پایش مستمر خطرها
 - فرآیند مدیریت پیکربندی: به منظور مدیریت و کنترل اجزاء سیستم و پیکربندی‌ها در طول

- چرخه عمر برای مدیریت سازگاری میان محصول و پیکربندی های تعریف شده مربوطه
 - فرآیند مدیریت اطلاعات: به منظور تولید، اکتساب، تأیید، تبدیل، ذخیره، بازیابی، صدور و حذف اطلاعات برای ذی نفعان مشخص
 - فرآیند سنجش: به منظور جمع آوری، تحلیل و گزارش داده ها و اطلاعات عینی برای پشتیبانی مدیریت کارآمد و نمایش کیفیت محصولات، خدمات و فرآیندها
 - فرآیند تضمین کیفیت: به منظور کمک به حصول اطمینان از کاربرد مفید مدیریت کیفیت سازمان در پروژه
- فرآیندهای فنی:** به منظور تعریف الزامات یک سیستم، تبدیل الزامات به محصول کارآمد، میسر شدن بازتولید محصول در صورت لزوم، به کارگیری محصول در راستای خدمات مورد نیاز، استمرار تأمین این خدمات و در نهایت کنارگذاشتن محصول در هنگام بازنشستگی از خدمت
- فرآیند تحلیل کسب و کار یا مأموریت: به منظور تعریف مسأله مأموریت یا کسب و کار و نیز مشخص کردن فضای راه حل و تعیین دسته های مختلف راهکارهای بالقوه برای مسأله
 - فرآیند تعریف نیازها و الزامات ذی نفعان: به منظور تعریف الزامات ذی نفعان برای سیستم برای تأمین توانمندی های مورد نیاز کاربران و دیگر ذی نفعان در فضای تعریف شده
 - فرآیند تعریف الزامات سیستم: به منظور تبدیل توانمندی های مطلوب ذی نفعان از منظر کاربر به راهکارهای فنی که نیازهای عملیاتی کاربر را برآورده کند.
 - فرآیند تعریف معماری: به منظور تولید بدیل های معماری سیستم تا بتوان بهترین (های) آن را که با ملاحظات ذی نفعان سازگار باشد و از سوی دیگر الزامات سیستم را برآورده کند، انتخاب کرد؛ و نیز به منظور بیان جمع بندی در قالب یک مجموعه نظرات سازگار
 - فرآیند تعریف طراحی: به منظور تأمین اطلاعات کافی درباره سیستم و اجزاء آن برای شروع پیاده سازی و سازگار با معماری (تعریف شده در مدل ها و مناظر معماری سیستم)
 - فرآیند تحلیل سیستم: به منظور تأمین مبنایی مستحکم از اطلاعات و داده برای درک فنی برای کمک به تصمیم گیری ها در طول چرخه عمر است.

- فرآیند پیاده سازی: به منظور تحقق اجزاء معین سیستم
- فرآیند یکپارچه سازی: به منظور ساخت اجزاء سیستم به صورت سیستم (محصول یا خدمت) محقق شده که الزامات، معماری و طراحی سیستم را برآورده می کند.
- فرآیند درستی سنجی: به منظور تأمین شاهدهی عینی از برآورده کردن الزامات و مشخصات به وسیله سیستم یا اجزاء آن
- فرآیند انتقال: به منظور ایجاد توانمندی در سیستم برای ارائه خدماتی که توسط الزامات ذی نفعان در فضای عملیاتی مشخص شده است؛ همچنین ایجاد امکان گذار به فضای عملیات به منظور ایفای توانمندی های متوقع و نیز واگذاری مسئولیت پشتیبانی سیستم از یک سازمان (سازمان توسعه) به سازمانی دیگر (سازمان به کارگیرنده/ مشتری)
- فرآیند اعتبارسنجی: به منظور تأمین شاهدهی عینی از برآورده کردن اهداف مأموریت یا کسب وکار و الزامات ذی نفعان به وسیله سیستم یا اجزاء آن و نیز ارائه کارکرد متوقع در فضای عملیاتی مورد نظر
- فرآیند عملیات: به منظور استفاده از سیستم برای ارائه خدماتش
- فرآیند نگهداری: به منظور حفظ توانمندی های سیستم برای ارائه خدمات است.
- فرآیند از رده خارج سازی: به منظور پایان دادن به موجودیت یک سیستم یا اجزاء آن برای کاربرد مورد انتظار (والدن، ۲۰۲۳)

سنجش اثربخشی مدل توسعه محصول از طریق شاخص های کلیدی عملکرد

در پروژه های بزرگ و پیچیده، ارزیابی عملکرد از طریق تعیین معیارهای مناسب، اندازه گیری، گزارش دهی و اصلاح مسیر پروژه از اهمیت بسزایی برخوردار است. این معیارهای مناسب، شاخص های کلیدی عملکرد^۱ (KPI) نامیده می شود (موناقان، ۲۰۱۳). یک شاخص کلیدی عملکرد، در واقع سنجه ای است که نشان می دهد یک فرد یا یک سازمان یک فعالیت عملیاتی، اجرایی یا راهبردی ضروری برای موفقیت فعلی و آتی سازمان را تا چه حد خوب انجام می دهد (اکرسون، ۲۰۱۰). شاخص های کلیدی عملکرد، یک ابزار راهبردی حیاتی مورد استفاده مدیران است که به آنها نشان می دهد که کسب وکار آنها

1. Key Performance Indicator

در مسیر موفقیت است یا از مسیر موفقیت منحرف شده است. مجموعه مناسبی از شاخص ها موجب شفاف شدن عملکرد شده و حوزه هایی را که نیاز به توجه دارند را مشخص خواهد کرد (مار، ۲۰۱۴). نیاز به دستیابی به اهداف درازمدت، قوانین و رفتارهای منتج به نتایج برنامه ریزی شده، شاخص ها را زیر ذره بین ذی نفعان سازمان قرار می دهد (فرانچسکینی و همکاران، ۲۰۱۹). شاخص ها می بایست قابل پیش بینی، قابل اندازه گیری، قابل پیگیری، مرتبط، خودکار و کم تعداد باشند (مک گرین، ۲۰۲۰).

انتخاب شاخص کلیدی عملکرد آسان است، اما انتخاب شاخص کلیدی عملکرد درست، دشوار می باشد. ماهیت پروژه همراه با تعریف توافق شده ای از موفقیت و همچنین عوامل کلیدی موفقیت، تعیین می کنند که از چه شاخص های کلیدی عملکردی استفاده شود. در محیط پروژه ای، انتخاب یک سنجه به عنوان یک شاخص کلیدی عملکرد به دلیل اهمیت نسبی آن برای مدیر پروژه، کارفرما یا ذی نفعان می باشد (کرزور، ۲۰۱۷).

نتایج مورد انتظار از پیاده سازی مهندسی سیستم

امروزه در خصوص این موضوع که پیاده سازی مهندسی سیستم، منجر به بهبود فرآیند توسعه محصولات پیچیده می گردد، تردیدی وجود ندارد. پیاده سازی مهندسی سیستم منجر به تولید ارزش افزوده فراوانی در توسعه سیستم های پیچیده می شود (آنر، ۲۰۰۴). مهندسی سیستم از طریق روش های ابتکاری توسط متخصصان مربوط به حوزه های کاری مختلف، به فرآیند توسعه آن حوزه کاری کمک می کند. این روش ها برای هر مورد متفاوت است. با توجه به وجود درک متفاوت از این روش ها، کمی کردن ارزش افزوده مهندسی سیستم در پروژه ها بسیار دشوار است. با این حال مؤسسات و پژوهشگران مختلف تلاش نموده اند تا با استفاده از روش های آماری و طی مطالعات درازمدت اثرات پیاده سازی مهندسی سیستم را روی پارامترهایی مانند زمان و هزینه پروژه بررسی کنند (شرد و همکاران، ۲۰۰۰).

اریک آنر با مقایسه رویکرد سنتی توسعه با رویکرد مبتنی بر مهندسی سیستم، نتیجه نهایی پیاده سازی مهندسی سیستم را صرفه جویی در زمان و هزینه، همراه با کیفیت بالاتر محصول می داند. آنر طی تحقیقات خود، اطلاعات مربوط به پژوهش های تئوری و آماری مختلف را بررسی کرده و به این نتیجه رسید که فعالیت های مهندسی سیستم، اثرات مثبتی روی تحقق هزینه و زمان بندی و کیفیت پروژه ها دارد (آنر، ۲۰۰۴).

پیشینه پژوهش

در زمینه تدوین نظام مهندسی سیستم برای یک سازمان یا پروژه، تاکنون مطالعات و پژوهش‌های فراوانی انجام گرفته است. دورنبوس و همکاران (۲۰۰۴)، چگونگی استفاده از روش‌های مهندسی سیستم در مطالعه طراحی مفهومی برای یک وسیله نقلیه هوایی بدون سرنشین را تشریح کردند. هدف آن‌ها نشان دادن اصول مهندسی سیستم برای توسعه پلتفرم پهپاد است. آن‌ها تلویحاً به ضرورت متناسب‌سازی فرایندهای مهندسی سیستم برای محصولات خاص، تأکید نمودند. امیرحسین کوفی‌گر و همکاران (۱۳۹۱)، با بررسی تاریخچه مهندسی سیستم و نمونه‌هایی از اجرای آن در صنایع بزرگ، یک مدل اجرایی برای پیاده‌سازی مهندسی سیستم در صنایع هوایی را پیشنهاد دادند. این مدل شامل چرخه عمر پیشنهادی پروژه‌های صنایع هوایی و نیز بازنگری‌های مربوطه در طی آن می‌باشد. کورالو و همکاران (۲۰۱۴)، با توجه به نیاز شرکت خود، به مطالعه و تهیه یک راهنمای مرجع مدیریت چرخه عمر که شامل اجزای سازمانی و فنی باشد، به بررسی و تحلیل سیستمی مدل‌ها و چارچوب‌های موجود در مقالات و وب‌سایت‌ها پرداختند. آن‌ها مدل‌ها و چهارچوب‌ها را در سه گروه مدل‌های آکادمیک، مدل‌های تجاری و چهارچوب‌های معماری سازمان دسته‌بندی نموده و به‌طور کامل تحلیل و بررسی کردند. یک شرکت انگلیسی دریایی متخصص در زمینه مهندسی، طراحی، تولید و تعمیرات اساسی کشتی‌های جنگی پیچیده، به‌منظور پیاده‌سازی مدیریت چرخه عمر جهت نیل به اهداف سازمانی، یک قرارداد همکاری با دانشگاه استراتکلاید^۱ منعقد کرد (مک‌کندری، ۲۰۱۵). این دانشگاه طی یک مطالعه و بررسی اجمالی بر روی مدیریت چرخه عمر، با در نظر گرفتن چالش‌های پیاده‌سازی آن روی محصولات سفارشی، یک مدل یکپارچه برای لیست قطعات^۲ محصول ارائه نمود. فرید منصوریان و همکاران (۱۳۹۴)، ضمن مطالعه و بررسی مراجع مهندسی سیستم و الگوریتم طراحی یکی از محصولات پیچیده دفاعی، یک مدل اجرایی به‌منظور پیاده‌سازی مهندسی سیستم در طراحی سیستمی آن محصول ارائه دادند. هاردی و همکاران (۲۰۱۶)، در پروژه تلسکوپ غول پیکر ماژلان، برای تسهیل و پیاده‌سازی فرایندهای مهندسی سیستم مانند توسعه مفهوم عملیاتی، توسعه و مدیریت الزامات، مدیریت واسط (اینترفیس)، تحلیل حالت‌ها و اثرات شکست، تجزیه و تحلیل خطر و درستی‌سنجی،

1. Strathclyde University

2. Bill of Material (BoM)

برای اطمینان از قابلیت ردیابی در پروژه به تدوین نظام مهندسی سیستم با رویکرد متناسب سازی پرداختند. در یک پروژه پایانی کارشناسی ارشد در دانشگاه آپسالا^۱ در سال ۲۰۱۹، ارائه یک مدل برای مدیریت اطلاعات محصولات شرکت ABB Mine Hoist به عنوان یک نمونه مطالعاتی مورد بررسی قرار گرفت. هدف از ارائه این مدل، اشتراک اطلاعات محصول و استفاده در سایر شرکت ها و همچنین یکپارچه سازی عملیات های مختلف کاری در طول کل چرخه عمر محصول می باشد (ژانگ، ۲۰۱۹). در همین راستا وارد و همکاران (۲۰۱۸)، به طراحی نظام مهندسی سیستم بر اساس ایزو ۱۵۲۸۸ (۲۰۱۵) و ایزو ۲۹۱۴۸ (۲۰۱۸) پرداختند. آن ها در مسیر نیل به طراحی چارچوب فرآیندهای توسعه محصول (PDP) سامانه های پیچیده، «ماتریس فرآیندهای فنی» را برای پروژه خود، ارائه کردند. کوسل (۲۰۲۲) به متناسب سازی فرآیندهای مهندسی سیستم با تمرکز بر بهبود ارزش و کارایی، اقدام نمود. راهبردهای وی جهت متناسب سازی شامل سفرهای سازی فرآیند برای ویژگی های منحصربه فرد پروژه و بهینه سازی فرآیند با شناسایی عناصر فرآیند با ارزش بالا و تمرکز تلاش مهندسی سیستم بر روی این فعالیت های با ارزش بالا بود.

روش شناسی پژوهش

این پژوهش، تحقیقات کتابخانه ای و روش های میدانی را با هدف طراحی یک مدل مهندسی سیستم یکپارچه متناسب با یک سازمان تحقیقات دفاعی به کار می گیرد. به منظور جمع آوری و تحلیل اطلاعات، این مطالعه از روش دلفی (یک تکنیک ارتباطی ساختاریافته) برای دستیابی به اجماع بین متخصصان در مورد اجزا و فرآیندهای کلیدی مدل استفاده می کند. این رویکرد، ادغام نظرات کارشناسان مختلف را تضمین کرده و قابلیت اطمینان نتایج تحقیق را افزایش می دهد. روش دلفی به دلیل اثربخشی آن در استخراج قضاوت های متخصص در مورد مسائل پیچیده که دانش ذهنی و پراکنده ضروری است، انتخاب شده است. پیاده سازی شامل چندین مرحله حیاتی است:

ابتدا، کارشناسان مورد نظر، بر اساس تجربه و تخصص گسترده آن ها در مهندسی سیستم، توسعه محصولات دفاعی و مدیریت چرخه عمر انتخاب شدند. این پنل متشکل از ۲۰ کارشناس، از جمله دانشگاهیان، متخصصان صنعت و مهندسان ارشد از رشته های مرتبط بود.

1. Uppsala University

در مرحله بعد، یک پرسشنامه اولیه برای شناسایی مسائل و چالش‌های حیاتی در فرآیندهای توسعه محصولات فعلی سازمان ایجاد گردید. این پرسشنامه شامل سؤالات باز بود تا طیف وسیعی از دیدگاه‌ها را به تصویر بکشد و به صورت آزمایشی با گروه کوچکی از متخصصان آزمون شد تا سؤالات برای وضوح و جامعیت اصلاح شود. در دور اول نظرسنجی دلفی، پرسشنامه پالایش شده از طریق ایمیل در اختیار پنل متخصصین قرار گرفت. کارشناسان پاسخ‌های خود را ارائه داده، مسائل اولیه را برجسته نموده و بهبودهای بالقوه را پیشنهاد کردند. پاسخ‌های این دور برای شناسایی مضامین مشترک و دیدگاه‌های متفاوت مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. گزارش خلاصه‌ای از یافته‌ها تهیه و با پنل به اشتراک گذاشته شد که شامل پاسخ‌های ناشناس برای حفظ محرمانگی بود.

بر اساس بازخورد دور اول، پرسشنامه برای دور دوم تجدید نظر شد تا بر موضوعات خاص و راه‌حل‌های پیشنهادی تمرکز کند. از کارشناسان خواسته شد که اهمیت و امکان‌سنجی این راه‌حل‌ها را ارزیابی نمایند و بینش‌های بیشتری را ارائه دهند. این فرآیند تکراری بازخورد و پالایش در چندین دور ادامه یافت تا اینکه در مورد اجزا و فرآیندهای حیاتی مدل مهندسی سیستم به اجماع رسید.

طراحی مدل یکپارچه، کل چرخه عمر محصول را در بر گرفته و به مراحل شناسایی نیاز، امکان‌سنجی، تعریف اولیه، تعریف تفصیلی، صلاحیت‌سنجی و پساتوسعه تقسیم می‌شود. مدل فرآیندی توسعه محصول، کلیه فرآیندهای مورد استفاده در هر یک از مراحل را تشریح نموده و مدل داده‌ای توسعه محصول شامل مشخصات و محتویات کلیه اسناد مربوط به هر مرحله است که با استانداردهای بین‌المللی هم‌راستا می‌باشد.

برای اعتبارسنجی مدل، پرسشنامه‌ای جامع با ۳۵ گویه برای ارزیابی تأثیر مدل پیشنهادی بر حل مسائل موجود تهیه شد. کارشناسان اثربخشی مدل را در پرداختن به چالش‌های شناسایی شده ارزیابی کردند و پایایی و روایی پرسشنامه از طریق تجزیه و تحلیل آماری آزمایش گردید.

سپس این مدل در یک پروژه آزمایشی شامل توسعه یک سامانه پدافند هوایی راهبردی پیاده‌سازی شد. شاخص‌های کلیدی عملکرد (KPI) مانند شاخص عملکرد زمانی و شاخص عملکرد هزینه برای ارزیابی اثربخشی مدل مورد بررسی قرار گرفتند.

استفاده از روش دلفی یک رویکرد ساختاریافته و سیستماتیک را برای جمع‌آوری نظرات متخصص

تسهیل کرد که منجر به یک مدل مهندسی سیستم قوی و اجماع محور گردید. ماهیت تکراری فرآیند دلفی تضمین می کند که این مدل به طور مداوم اصلاح و اعتبار می شود و آن را به خوبی با نیازها و چالش های سازمان تحقیقات دفاعی سازگار می کند.

یافته های پژوهش

با توجه به مشخصات محصولات سازمان و مجموعه فعالیت هایی که در قالب مراحل توسعه این محصولات صورت می گیرد و همچنین ماهیت و اهمیت هر یک از این مراحل، نتیجه متناسب سازی استانداردهای چرخه عمر مهندسی سیستم در ادامه ارائه می گردد.

اولین گام به منظور ارائه راهکار مهندسی سیستم برای حل مسائل و مشکلات موجود در روند توسعه محصولات سازمان، شناسایی و ایجاد اجماع در خصوص کم و کیف این مشکلات با استفاده از روش دلفی می باشد. در بخش نخست به کمک خبرگان سازمان، فهرست اولیه ای از چالش ها و مسائل موجود تهیه گردیده و از آن ها خواسته شد تا با انتخاب یکی از گزینه های موجود در قالب طیف بندی لیکرت (از خیلی موافقم تا اصلاً موافق نیستم) نظر خود را اعلام کنند. این فرآیند طی سه مرحله تکرار شده و در هر مرحله از ایشان خواسته شد اگر مورد دیگری را دخیل می دانند، به موارد قبلی اضافه نمایند. طی این سه مرحله هیچ موردی حذف نشد و تنها در انتهای مرحله سوم، موضوعاتی که میانگین امتیاز آن ها زیر عدد ۳ بود حذف گردید. همان طور که در جدول ۱ مشاهده می شود، با احتساب ۳ مورد اضافه شده در مرحله دوم، در نهایت پنج مسئله از مجموع ۱۲ مسئله، مورد توافق قرار گرفت.

جدول ۱. خلاصه نتایج روش دلفی برای شناسایی مسائل و مشکلات موجود در توسعه محصولات سازمان

مرحله	ردیف	مسئله	میانگین مرحله اول	میانگین مرحله دوم	میانگین مرحله سوم	نتیجه
اول	۱	ضعف در تخصص و بنیه علمی پرسنل	۱,۸	۱,۷۵	۱,۷۵	مردود
	۲	ضعف در مدیریت دانش فنی پروژه‌ها	۴,۲	۳,۹	۳,۸	قبول
	۳	عدم تخصیص بودجه کافی و به موقع به پروژه‌ها	۲,۱۵	۲,۱	۱,۸۵	مردود
	۴	اشکالات سیستم اداری و بروکراسی	۲,۱۵	۲,۲۵	۲,۰۵	مردود
	۵	عدم انگیزه کافی پرسنل	۲,۶۵	۲,۵۵	۲,۶	مردود
	۶	عدم تعریف دقیق و جامع و مانع صورت مسئله	۳,۵	۳,۴	۳,۳۵	قبول
	۷	ناکارآمدی سیستم سنجش عملکرد پروژه	۳,۸۵	۳,۸۵	۳,۷۵	قبول
	۸	ناکارآمدی سیستم تشویق و تنبیه	۲,۵	۲,۴۵	۲,۷	مردود
	۹	استاندارد نبودن فرآیند توسعه و اعمال سلیقه شخصی	۴,۱	۴,۱	۳,۹	قبول
دوم	۱۰	ضعف در مدیریت الزامات پروژه		۳,۰	۳,۲۵	قبول
	۱۱	مشکلات عقیدتی پرسنل		۱,۷	۱,۷	مردود
	۱۲	مشکلات صیانتی و حفاظتی		۱,۷۵	۱,۶۵	مردود

برای تصمیم‌گیری درباره توقف یا ادامه مراحل دلفی، دو معیار آماری ملاک عمل قرار می‌گیرد. اولین معیار، اتفاق نظری قوی میان اعضای پنل است که براساس مقدار ضریب هماهنگی کندال تعیین می‌شود. در صورت نبود چنین اتفاق نظری، ثابت ماندن این ضریب یا رشد ناچیز آن در دو دور متوالی نشان می‌دهد که افزایشی در توافق صورت نگرفته است و فرایند نظرخواهی باید متوقف شود. تغییر اندک ضریب کندال در دور سوم نسبت به دور دوم، نشان‌دهنده این است که فرایند دلفی در این مرحله می‌تواند متوقف گردد.

همان‌گونه که در بخش مبانی نظری تحقیق بیان گردید، شرکت‌ها و سازمان‌های مختلف در دنیا، به فراخور شرایط سازمان و ویژگی‌های محصولاتشان، از مدل چرخه عمر، نظام فرایندی و اسنادی مختلفی در طراحی و مدیریت امور خود بهره می‌برند. به‌منظور متناسب‌سازی این سه بخش از مدل مهندسی سیستم برای سازمان مورد نظر نیز از روش دلفی و ایجاد اجماع در خصوص عناصر آن‌ها استفاده گردید.

در حوزه چرخه عمر توسعه محصولات سازمان، پس از به اشتراک‌گذاری استانداردهای مختلف در این زمینه به همراه پیشینه پژوهش موجود با پنل خبرگان و تطبیق آن با روند توسعه محصولات سازمان، در نهایت یک مدل متناسب شده، مطلوب و مورد اجماع طراحی شده و مقبولیت آن با استفاده روش دلفی بررسی گردید.

در حوزه مدل فرایندی نیز فرآیندهای توسعه محصول استاندارد اینزو ۱۵۲۸۸ که در بخش مبانی نظری تحقیق بیان گردید با پنل خبرگان به اشتراک گذاشته شده و پس از بحث و بررسی و تطبیق آن با روند توسعه محصولات سازمان، یک مدل فرایندی متناسب به دست آمد. اعتبار این مدل فرایندی که به صورت یک گردش کار در طول زمان توسعه محصول ارائه گردید نیز از طریق روش دلفی آزمون گردید. البته به‌منظور رعایت اختصار، در این مقاله تنها عناوین و فعالیت‌های ۱۳ فرآیند حاصل از مجموع ۳۰ فرآیند اولیه ارائه شده است.

همچنین در حوزه مستندات توسعه محصولات، پس از به اشتراک‌گذاری عناوین اسناد و محتوای آن‌ها با پنل خبرگان، از میان آن‌ها در نهایت روی عنوان و محتوای ۲۱ سند مهم و مؤثر از طریق روش دلفی اجماع حاصل گردید. در این مدل داده‌ای، جایگاه ایجاد، به‌روزرسانی و ارائه هر یک از این اسناد در طول زمان توسعه محصول مشخص گردیده است. به‌عنوان مثال برای هر یک از اسناد پروژه مشخص شده است که سند مذکور خروجی کدام فرآیند در گردش کار توسعه محصولات می‌باشد.

مدل چرخه عمر محصولات

چرخه عمر توسعه محصولات در مدل ارائه شده مشتمل بر پنج فاز اصلی می‌باشد که در دو سطح راهبرد و راه‌کنش و همچنین عملیات دسته‌بندی شده است. هر یک از فازهای اصلی شامل دو یا چند بازنگری (مرور یا بازبینی) هستند. همچنین در سه نقطه از چرخه عمر، نقطه کلیدی تصمیم قرار دارد که

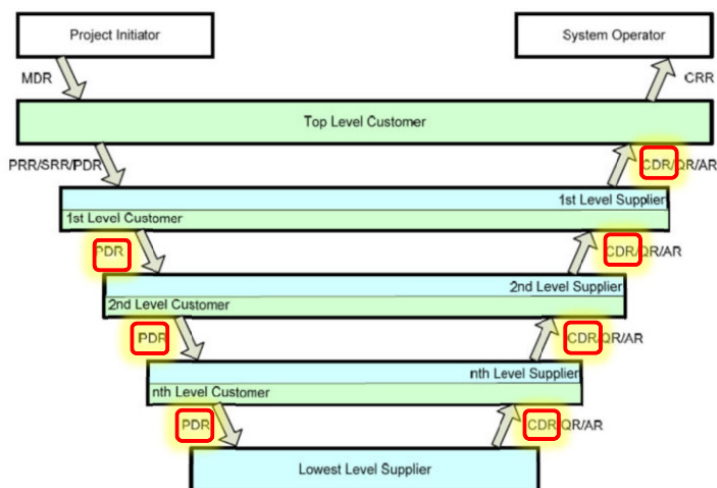
در آن نقاط، ذی نفعان اصلی، نسبت به توقف و یا ادامه پروژه تصمیم‌گیری می‌نمایند. این نقاط کلیدی تصمیم، به ترتیب پس از بازنگری‌های تعریف مأموریت، تصویب پروژه و پذیرش (موفقیت محصول) قرار دارد. مدل مذکور شامل فازهای ذیل می‌باشد.

فاز صفر: شناسایی نیاز - تحلیل مأموریت: در اولین فاز از مراحل چرخه عمر محصول که در سطح راهبرد و راه‌کنش می‌باشد، نیاز عملیاتی موجود به صورت کامل شناسایی شده و مأموریت متناسب با این نیاز تعریف می‌گردد. این فاز شامل دو بازنگری می‌باشد که عبارتند از شناسایی نیازهای مأموریت^۱ و تعریف مأموریت (MDR).

فاز یک: امکان‌سنجی: در این فاز، پس از شفاف کردن انتظارات ذی نفعان پروژه و تعریف الزامات آن، فرآیند تصویب پروژه و عقد قرارداد بالادستی انجام می‌شود.

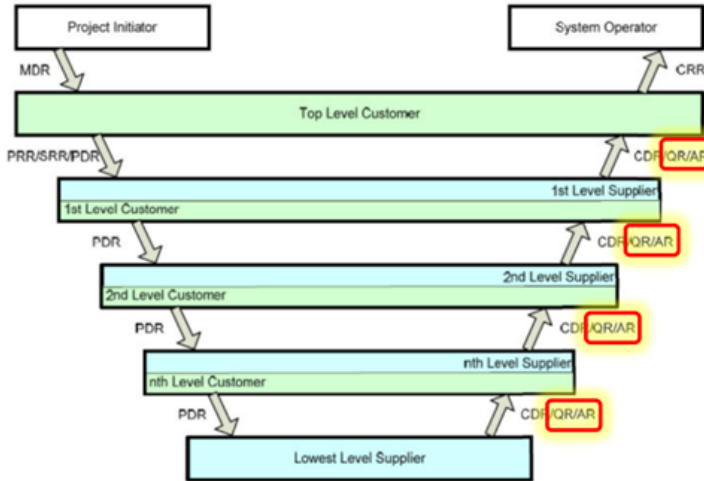
فاز دو: تعریف اولیه: در این فاز، طراحی سیستمی (مفهومی) سامانه در بازنگری الزامات سیستم (SRR) و طراحی اولیه سیستم در بازنگری طراحی اولیه (PDR) انجام می‌گیرد.

فاز سه: تعریف تفصیلی: روند اصلی طراحی محصول در این فاز انجام می‌شود که شامل بازنگری طراحی تفصیلی (CDR) می‌باشد. در انتهای این فاز، کلیه اجزای سیستم تا آخرین سطح اقلام پیکربندی، برای ساخت/خرید/مونتاژ آماده خواهند بود. البته همان‌طور که در شکل ۴ مشاهده می‌شود، این فاز، خود به نوعی دربرگیرنده بازنگری طراحی اولیه و تفصیلی سطوح پایین‌تر سیستم نیز می‌باشد. این ترکیب، برگرفته از بازنگری‌های سطح‌بندی شده بر اساس مدل وی (V) استاندارد فضایی اروپا (ECSS) می‌باشد که البته به صورت ضمنی در استانداردهای دیگر مهندسی سیستم نیز تعریف می‌شود.



شکل ۴. بازنگری های سطح بندی شده بر اساس مدل وی (در فاز سوم پروژه)

فاز چهار: صلاحیت سنجی: در فاز شماره چهار، کلیه فعالیت های مربوط به خرید، ساخت و مونتاژ همه اجزای سیستم در کلیه سطوح انجام گرفته و در نهایت، عملکرد سیستم طی آزمون عملیاتی مورد آزمایش قرار می گیرد. در صورت موفقیت آزمون عملیاتی و با تأیید ذی نفعان اصلی پروژه، فرآیند توسعه محصول تکمیل شده و امکان ورود به فاز پساتوسعه وجود خواهد داشت. این فاز شامل دو بازنگری درستی سنجی سیستم (QRs و ARs) و صلاحیت سنجی آزمون عملیاتی (QR) در سطح عملیات و یک بازنگری پذیرش و موفقیت محصول (AR) در سطح راهبرد و راهکنش می باشد. نکته مهمی که در این فاز وجود دارد، انجام بازنگری های QR و AR به ترتیب مربوط به صلاحیت سنجی و پذیرش سطوح پایین تر سیستم، به ترتیب از نازل ترین سطح تا عالی ترین سطح می باشد. این ترکیب، در شکل ۵ نشان داده شده است.



شکل ۵. بازنگری‌های سطح‌بندی‌شده بر اساس مدل وی (در فاز چهارم پروژه)

فاز پساتوسعه: آخرین فاز از چرخه عمر محصول، به فعالیت‌هایی اختصاص یافته است که پس از فرآیند توسعه محصول در سازمان تحقیقاتی انجام می‌گیرد. این فعالیت‌ها از انتقال دانش فنی محصول به رده تولیدی به منظور تولید انبوه آغاز شده و تا زمان وارهایی و از رده خارج کردن محصول ادامه می‌یابد. این فاز شامل یک بازنگری (بازنگری انتقال سیستم) و یک مرحله (مرحله بهینه‌سازی محصول) می‌باشد. هر یک از فازهای فوق که به صورت خلاصه مطرح گردید فعالیت‌ها، فرآیندها و مستندات مهندسی سیستم مربوط به خود را داراست که در بخش‌های بعد به آن‌ها اشاره خواهد شد. مجموعه‌ی مراحل فوق در شکل ۶ به صورت شماتیک مشاهده می‌شود.



شکل ۶. چرخه عمر محصولات سازمان

مدل فرآیندی

پس از بیان مدل چرخه عمر، فرآیندهای مورد استفاده در مدل توسعه محصولات سازمان، معرفی می‌گردد. در هر یک از این فرآیندها، فعالیت‌هایی صورت می‌پذیرد که حاصل آن، تبدیل ورودی‌های آن فرآیند به یک سری خروجی‌ها و اسناد مورد نظر می‌باشد. عناوین این فرایندها و فعالیت‌های کلیدی هر یک از آن‌ها، در جدول ۲ ارائه شده است.

جدول ۲. فهرست فرآیندهای توسعه محصول

ردیف	نام فرآیند	فعالیت‌های فرآیند
۱	تعریف انتظارات ذی نفعان	استخراج انتظارات ذی نفعان استنباط توقعات ذی نفعان تدوین الزامات ذی نفعان تحلیل خواسته‌های ذی نفعان تدوین سند الزامات ذی نفعان اخذ تأییدیه ذی نفعان نسبت به سند الزامات ایجاد خط‌مبنای انتظارات ذی نفعان
۲	تعریف الزامات سیستم	تعریف قیود طراحی و محصول تعریف انتظارات کارکردی و رفتاری به صورت عبارات فنی تعریف الزامات عملکردی برای هر یک از انتظارات کارکردی و رفتاری تعریف الزامات سیستم در قالب عبارات «باید» ی تعریف معیارهای عملکرد برای هر یک از معیارهای اثربخشی تعریف معیارهای عملکرد فنی اعتبارسنجی الزامات سیستم ایجاد خط‌مبنای الزامات سیستم
۳	تعریف معماری	تعریف یک یا چند مدل شکست منطقی تخصیص الزامات فنی به اجزای شکست منطقی بررسی فنی معماری و برطرف کردن تناقضات احتمالی الزامات انجام تحلیل مصالحه‌ای و انتخاب راه‌حل ارجح اعتبارسنجی مجموعه الزامات فنی ایجاد خط‌مبنای الزامات فنی برای هر یک از اجزاء

<p>تعریف مسئله طراحی ارائه راه حل (های) طراحی تجزیه و تحلیل هر یک از راه حل ها، انجام تحلیل مصالحه‌ای و انتخاب راه حل ارجح پیاپی سازی و توصیف کامل راه حل طراحی منتخب درستی سنجی طراحی به روز رسانی و خط مبنا کردن الزامات و مشخصات طراحی بررسی موارد راه انداز سیستم و رفع نواقص احتمالی آغاز توسعه محصولات سطح بعدی</p>	<p>تعریف طراحی</p>	<p>۴</p>
<p>آماده سازی جهت پیاپی سازی خرید/ساخت/استفاده مجدد محصول جمع آوری مستندات محصول</p>	<p>پیاپی سازی</p>	<p>۵</p>
<p>آمادگی جهت انجام یکپارچه سازی آماده سازی و اعتبارسنجی محصولات سطح پایین تر یکپارچه سازی و مونتاژ محصولات تهیه مستندات محصول و فرآیند</p>	<p>یکپارچه سازی</p>	<p>۶</p>
<p>برنامه ریزی و آماده سازی جهت انجام درستی سنجی انجام درستی سنجی محصول تحلیل نتایج و تهیه گزارش تهیه مستندات فرآیند درستی سنجی</p>	<p>درستی سنجی</p>	<p>۷</p>
<p>برنامه ریزی و آماده سازی جهت انجام اعتبارسنجی انجام اعتبارسنجی محصول تحلیل نتایج و تهیه گزارش تهیه مستندات فرآیند اعتبارسنجی</p>	<p>اعتبارسنجی</p>	<p>۸</p>
<p>برنامه ریزی و آماده سازی جهت انجام مدیریت الزامات دریافت و سازماندهی الزامات اجرای مدیریت الزامات تهیه مستندات و ثبت درس آموخته ها</p>	<p>مدیریت الزامات</p>	<p>۹</p>

آماده سازی برای برنامه ریزی پروژه برنامه ریزی زیرساخت توسعه برنامه ریزی، سازمان دهی و تخمین هزینه فعالیت های فنی آماده سازی طرح مهندسی سیستم و سایر طرح های مورد نیاز اخذ تعهد ذی نفعان نسبت به طرح های فنی صدور راهنمای فعالیت های فنی مستندسازی خروجی های فرآیند طرح ریزی فنی	برنامه ریزی پروژه	۱۰
آماده سازی و برنامه ریزی برای مدیریت پیکربندی و داده شناسایی اقلام پیکربندی و داده های فنی مربوطه شناسایی، مدیریت و کنترل واسط ها (اینترفیس ها) جمع آوری، ذخیره و نگهداری از داده های فنی مورد نیاز مدیریت تغییرات پیکربندی و داده بررسی، تأیید و ارائه اقلام پیکربندی و داده برای گروه های تأیید شده	مدیریت پیکربندی و اطلاعات	۱۱
تدوین راهبرد انجام ارزیابی های فنی و برنامه ای ارزیابی پیشرفت برنامه ارزیابی کیفیت محصولات فنی انجام بازنگری های فنی پروژه	سنجش	۱۲
شناسایی و انتخاب نهاد مجری ارائه درخواست برای ارائه پیشنهاد و ارزیابی آن توسط مجری تنظیم پیشنهادیه توسط مجری و تدوین پیوست فنی عقد قرارداد	عقد قرارداد	۱۳

البته جدول فوق تنها بیانگر عناوین فعالیت های هر یک از فرآیندهاست و هر یک از این فعالیت ها دارای ظرائف و عمق مخصوص به خود می باشد. به عنوان مثال، در مورد فرآیند تعریف طراحی، یکی از فعالیت های اساسی، تعریف ماتریس ساختار طراحی (DSM) و انجام فرایند بهینه سازی طراحی چندموضوعی (MDO) با استفاده از DSM به منظور اندازه گذاری^۱ موضوع طراحی است. این مرحله،

1. Sizing

برای هر یک از اجزای ساختار ریز محصول و برای هر یک از بازنگری‌های طراحی، به صورت جداگانه و با درجات مختلف عمق و اعتبار، انجام می‌شود. به عنوان مثال DSM نوعی طراحی موشک برای فاز تعریف اولیه (بازنگری طراحی مفهومی)، در شکل ۷ نشان داده شده است.

پیش‌رانش	مهندسه	مشخصات جرمی	دینامیک پرواز	سازه (استاتیکی)	آیروالاستیسیته	آیرو دینامیک
پیش‌رانش		X	X			
مهندسه		X		X	X	X
مشخصات جرمی			X			
دینامیک پرواز				X	X	
سازه (استاتیکی)			X			
آیروالاستیسیته			X			
آیرو دینامیک			X	X		

شکل ۷. ماتریس ساختار طراحی DSM نوعی برای یک موشک پدافندی

مدل داده

همچنین در جدول ۳، فهرست مستندات مهندسی سیستم که در چرخه عمر توسعه محصول تولید می‌شوند، به همراه توضیح مختصری از محتوای آن آورده شده است.

جدول ۳. فهرست اقلام اطلاعات توسعه محصول

ردیف	عنوان سند	مفاد سند
۱	مشخصه الزامات ذی نفعان	الزامات مدیریت سازمان، الزامات عملیاتی سیستم، الزامات کاربر، مفاهیم دقیق چرخه عمر سیستم پیشنهادی، قیود پروژه
۲	سند بیان نیاز	سابقه، کمبودها و توانمندی های مورد نیاز، مطالبات کلیدی، نقش عملیاتی، تهدیدات احتمالی بر علیه سیستم، محدودیت ها و قیود سیستم، برنامه ها، پروژه ها و فعالیت های مرتبط، راه حل های پیشنهادی
۳	مشخصه الزامات سیستم	هدف سیستم، گستره سیستم، الزامات سیستم شامل الزامات کارکردی، الزامات قابلیت استفاده، الزامات عملکردی، الزامات واسط (اینترفیس)، روش درستی سنجی هر یک از الزامات
۴	مشخصه الزامات نرم افزار	شبیه به مشخصه الزامات سیستم
۵	طرح مدیریت پروژه و مهندسی سیستم	اهداف و قیود پروژه (شامل فازها، بازنگری ها و برنامه ریزی توسعه محصول)، سازمان پروژه، ساختارهای ریز پروژه (شامل محصول، کار، سازمان و ...)، مدیریت مهندسی (شامل شکست پروژه به شاخه های مهندسی مختلف و روابط میان آن ها)، رویکرد طراحی سیستم (شامل ورودی ها، خروجی ها، مسئولیت ها و سازمان)، طرح های پیاده سازی و موارد مرتبط، تضمین کیفیت، اتکاپذیری، ایمنی، مواد و فرایندها، تضمین محصول نرم افزاری، مدیریت پیکربندی، اطلاعات و مستندات، مدیریت هزینه و زمان بندی، مدیریت آماد یکپارچه، مدیریت ریسک، مدیریت ارزیابی فنی و برنامه ای (شامل تعیین شاخص های کلیدی عملکرد فنی و برنامه ای به وسیله فرآیند ارزیابی فنی و برنامه ای)
۶	پیوست فنی	مشخصه های عمومی فنی و عملیاتی محصول، فهرست اسناد و مدارک پروژه، رویکرد کنترل کیفیت و بازرسی، برنامه زمان بندی و ...
۷	قرارداد	معرفی طرفین قرارداد، موضوع قرارداد، مدت زمان و مراحل اجرای قرارداد، مبلغ قرارداد و نحوه پرداخت، تعهدات مجری و تعهدات کارفرما، نتایج قرارداد، تعیین تضمینات، خسارت تأخیر، موارد فسخ و مرجع حل اختلاف، حق مالکیت اسناد و مدارک و تعهد عدم افشا و انتقال موضوع به غیر، تحویل موقت، دوره ارزیابی و گارانتی محصول، ...

تشریح مسئله طراحی (شامل کارکردهای اصلی سیستم و عملکردهای مرتبط، سیستم‌های دارای واسط (اینترفیس) در محیط عملیاتی و تعریف واسط‌های خارجی، قیود طراحی، الزامات مدون طراحی در قالب جدول الزامات، ورودی‌ها و خروجی‌های مسئله طراحی)، مدل سازی سیستم و رویکرد طراحی (تعیین رویکرد حل مسئله و تدوین فلوچارت طراحی، مدل سازی سیستم از جمله مدل‌های تحلیل سیستم و مدل شبیه‌سازی ۶ درجه آزادی، اعتبارسنجی مدل‌ها و رویکردها)، پیاده‌سازی روند طراحی (تعریف معماری سیستم شامل ساختار ریز منطقی و تشریح معماری فیزیکی، محاسبات و تحلیل‌های طراحی، تحلیل‌های مصالحه‌ای، پارامترهای نهایی طراحی شامل تعیین متغیرها، ویژگی‌ها و سایر مشخصات فنی محصول)، تشریح نتایج طراحی (شامل مشخصه‌های فنی سیستم و زیرسیستم‌ها و در صورت نیاز الزامات سطوح پایین‌تر)، درستی سنجی طراحی (به معنی ارزیابی میزان انطباق نتایج طراحی با الزامات فنی و تعیین میزان انحراف)	سند طراحی مفهومی	۸
	سند طراحی اولیه	۹
	سند طراحی تفصیلی	۱۰
قالب استاندارد مدل سه بعدی (شامل دارای درخت طراحی، کدگذاری فایل‌ها بر طبق ساختار ریز محصول، قطعات استاندارد، مراحل مختلف فرآیند ساخت قطعات، ...)، الزامات نرم‌افزار مدل سازی	مدل سه بعدی	۱۱
بر اساس استاندارد نقشه‌کشی سازمان	نقشه دوبعدی	۱۲
شناسنامه گزارش، گزارش وضعیت و روند عملکرد پروژه، اقدامات اصلاحی، درس‌آموخته‌ها	گزارش بازنگری پروژه	۱۳
موضوع آزمون، نگاشت الزامات نسبت به مشخصات آزمون، ابزار آزمون، تجهیزات پشتیبانی مورد نیاز، شرایط، تنظیمات و قیود آزمون، مشارکت‌کنندگان، رویه گام به گام، مستندسازی	رویه آزمون	۱۴
معرفی محصول، برنامه مونتاژ، یکپارچه‌سازی و آزمون، تجهیزات، مستندات، سازمان و مدیریت، زمان بندی	طرح مونتاژ، یکپارچه‌سازی و آزمون	۱۵
تعریف کارکرد محصول (شامل کارکردهای مورد انتظار، قیود کارکردی و فازهای چرخه عمر محصول)، تشریح محصول (شامل مشخصات، پیکربندی‌ها، بودجه‌ها، واسط‌ها، نحوه استفاده، انبارداری، نصب، عملیات‌ها، نگهداری و وارهایی محصول)، اجزای محصول (شامل خلاصه کارکرد، مشخصات، نرم‌افزار، عملکرد، عملیات‌ها و داده‌های اجزای محصول)	راهنمای کاربری محصول	۱۶

۱۷	گزارش درستی سنجی	نتایج درستی سنجی و تحلیل های مربوطه
۱۸	گزارش آزمون	نتایج آزمون، موارد انحراف و عدم انطباق
۱۹	طرح انتقال محصول	اهداف و قیود پروژه انتقال محصول، سازمان پروژه انتقال محصول، معرفی موارد انتقال
۲۰	گزارش خاتمه یافتگی	مشخصات کلی طرح، تأیید سازمان تحقیقاتی، تأیید رده عملیاتی، تأیید رده آماد و پشتیبانی، نظر بالاترین مقام ارگان مربوطه
۲۱	پیشنهادیه تغییر مهندسی	مشخصات محصول/مجموعه/قطعه، مشخصات درخواست کننده، موضوع تغییر، تشریح وضعیت موجود و دلیل درخواست، ارائه راه حل پیشنهادی، فواید حاصل از اجرای تغییر، نظر بخش طراحی

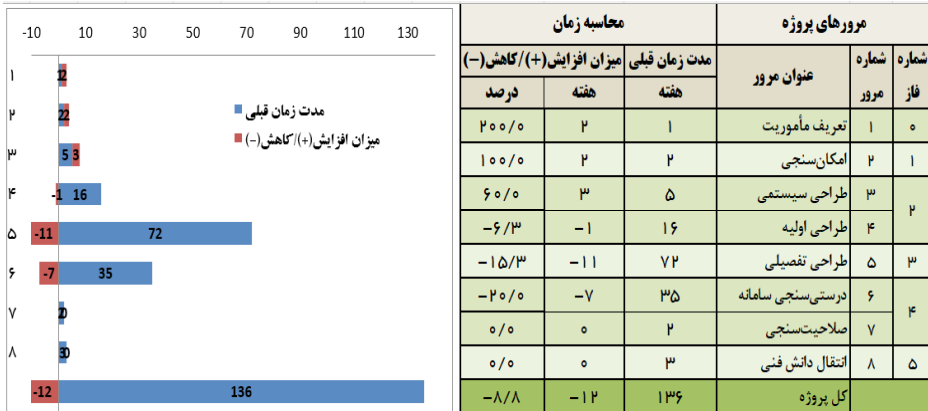
نظام سنجش کارایی و اثربخشی

یکی از ویژگی های مدل ارائه شده در این پژوهش، طراحی و تعبیه سازوکاری جهت اندازه گیری، گزارش دهی، ثبت و بهره برداری از بازخوردهای مربوط به شاخص های کلیدی عملکرد در فرآیند توسعه محصول می باشد. بر طبق مطالعات انجام شده در خصوص شاخص های کلیدی عملکرد، به منظور سنجش میزان اثربخشی پیاده سازی مهندسی سیستم در پروژه ها، سه شاخص زمان، هزینه و کیفیت از اهمیت بالایی برخوردارند و می تواند به عنوان معیار مورد پایش قرار گیرند؛ بنابراین سه شاخص متناظر، با عناوین «شاخص عملکرد زمان» و «شاخص عملکرد هزینه» و «شاخص کیفیت» تعریف شده است. در مدل چرخه عمر ارائه شده، شاخص های کلیدی عملکرد می بایست در زمان مناسب انتخاب و در طول فرآیند توسعه محصول، مورد پایش و ارزیابی قرار گیرند. بدین منظور، در تدوین طرح مدیریت پروژه و مهندسی سیستم که از فعالیت های فرآیند برنامه ریزی پروژه است، این شاخص ها تعیین شده و در سند مربوطه درج می گردد.

پایش منظم و دوره ای این شاخص ها، ارائه گزارشات و بازخوردها و همچنین ارزیابی، استخراج روندها و تعیین میزان انحراف از برنامه و کیفیت محصولات فنی (انطباق با الزامات فنی عملکردی)، در فرآیند ارزیابی فنی و برنامه ای صورت می گیرد. این فرآیند در انتهای کلیه بازنگری های پروژه در نظر گرفته شده است و نتایج آن در قالب گزارش بازنگری پروژه ارائه می گردد. به منظور سنجش کیفیت محصول، بازخوردهای عملیاتی از طریق گزارشات دوره ای یا موردی رده ی عملیاتی ثبت و تحلیل می شود. این

گزارشات ممکن است به صورت معمول و یا در هنگام تعمیرات جزئی یا اساسی تهیه شود. علاوه بر این، به صورت دوره‌ای نظرات و پیشنهادات کاربران سیستم اخذ و در اختیار رده تحقیقاتی قرار می‌گیرد. ثبت و تحلیل مجموعه اطلاعات جمع‌آوری شده فوق، منجر به مشاهده و پایش دقیق عملکرد کیفی محصولات در طول چرخه عمر و شناسایی و رفع ایرادات فنی موجود خواهد شد.

به منظور اندازه‌گیری، گزارش دهی، ثبت و بهره‌برداری از بازخوردهای مربوط به شاخص‌های کلیدی عملکرد در طول فرآیند توسعه محصول، در انتهای هر یک از بازنگری‌ها، شاخص عملکرد زمانی از نمودار گانت چارت و شاخص هزینه از ساختار شکست هزینه استخراج شده و در داشبورد مربوطه نمایش داده می‌شود. همچنین در انتهای پروژه نیز شاخص عملکرد زمانی و شاخص هزینه پروژه، به تفکیک بازنگری‌های آن ارائه و مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. به عنوان مثال در شکل ۸، نمونه داشبورد مربوط به شاخص عملکرد زمانی پروژه دیده می‌شود. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، بیشترین تأثیر مثبت پیاده‌سازی نظام مهندسی سیستم، مربوط به فازهای طراحی و ساخت محصول بوده است.



شکل ۸. نمونه گزارش مربوط به شاخص عملکرد زمانی پروژه

خلاصه نتایج پیاده‌سازی مدل مهندسی سیستم در فرآیند توسعه محصول مورد نظر که در جدول ۴ آورده شده است، حاکی از بهبود نسبی شاخص‌های کلیدی عملکرد (زمان و هزینه) می‌باشد.

جدول ۴. میزان تأثیر پیاده‌سازی مدل پیشنهادی روی شاخص‌های کلیدی پروژه

ردیف	شاخص کلیدی عملکرد	میزان تأثیر مثبت (درصد کاهش)
۱	زمان	۹
۲	هزینه	۶

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

هدف از این پژوهش، طراحی یک مدل یکپارچه و متناسب شده مهندسی سیستم برای یک سازمان تحقیقاتی و سپس پیاده‌سازی آن برای مدیریت چرخه عمر یک سامانه پیچیده دفاعی بود. بدین منظور در گام نخست (در پاسخ به سؤال فرعی اول پژوهش) از طریق بحث و بررسی مسائل و مشکلات موجود در روند توسعه محصولات توسط پتل خبرگان و با استفاده از تکنیک دافی، روی ۵ مسئله مهم تراجم به عمل آمد. در مراحل بعد نیز (در پاسخ به سؤال اصلی پژوهش) در خصوص مدل چرخه عمر، مدل فرآیندی و مدل داده مهندسی سیستم از طریق پرسشنامه‌ای با ۳۵ سؤال به ۲۰ نفر از خبرگان سازمان در این حوزه مراجعه شده و در شناسایی مسائل موجود و طراحی مدل مهندسی سیستم از نظر آن‌ها استفاده شد. در این مدل که متناسب با مشخصات سازمان مورد نظر و نوع پروژه‌های آن طراحی شده است، یک قالب و چارچوب مشخص برای مراحل مختلف چرخه عمر محصولات ارائه گردید. همچنین فهرست، مشخصات و محتویات تمامی اسناد و مدارک مربوط به هر مرحله، مطابق با استانداردهای مهندسی سیستم مشخص شد. از دیگر ویژگی‌های مدل ارائه شده در این پژوهش، طراحی و تعبیه نظام سنجش اثربخشی به کمک شاخص‌های کلیدی عملکرد بود. در نهایت (در پاسخ به سؤال فرعی دوم پژوهش) به منظور درستی سنجی مدل پیشنهادی، نتایج به دست آمده از پیاده‌سازی مدل مهندسی سیستم، با نتایج قبلی مقایسه گردید. این نتایج حاکی از موفقیت پیاده‌سازی (زمان: ۹٪ و هزینه: ۶٪) می‌باشد. البته این میزان اثرگذاری اگرچه مطلوب است، ولی کمتر از حد انتظار می‌باشد. دلیل این امر می‌تواند به خاطر تازگی موضوع برای نیروی انسانی سازمان، کم‌تجربگی و بروز برخی خطاها، نبود زیرساخت‌های لازم، مقاومت و سوگیری برخی کارکنان و مدیران و سایر دلایل باشد که به مرور زمان و در پروژه‌های آتی بهبود خواهد یافت.

در پایان باید به این نکته اشاره کرد که پیاده‌سازی مهندسی سیستم در یک سازمان تحقیقاتی که محصولات مهندسی پیچیده را بر مبنای سفارشات صنایع دفاعی تولید می‌کند، امری است که می‌بایست به صورت تدریجی و در طول زمان نسبتاً طولانی انجام گیرد. رویکردهای رادیکال منجر به عدم همکاری مسئولین پروژه و سازمان و تیم‌های فنی با تیم مهندسی سیستم شده و در نهایت موجب شکست آن خواهد گردید. از طرف دیگر، مهندسی سیستم دارای جنبه‌های مختلف و بسیار گسترده و متنوع است که هر کدام به نحوی، فرآیندها و روندهای توسعه محصول در یک سازمان را بهبود می‌بخشند. در مدل ارائه شده در این پژوهش تلاش گردید به جنبه‌هایی پرداخته شود که از اهمیت و اولویت بیشتری برخوردار بوده و تأثیر بیشتری روی بهینه‌سازی روند توسعه محصول دارد. با توجه به مطالب گفته شده، آنچه در این پروژه ارائه گردید، آغاز این مسیر بوده و رسیدن به یک سطح بلوغ مناسب در سازمان، مستلزم فعالیت‌های فراوان و مستمر می‌باشد که هر یک از این فعالیت‌ها می‌تواند زمینه پژوهش‌های نظری و عملی آینده قرار گیرد. یکی از این فعالیت‌ها، توسعه یک پایگاه داده جامع در قالب برنامه‌ریزی منابع سازمانی و استقرار نظام داده‌های این مدل در بستر این شبکه می‌باشد. با اتصال آمار و اطلاعات مربوط به پروژه‌های توسعه محصول به سیستم‌های مالی، آمار و پشتیبانی، نیروی انسانی و ... سازمان، بسیاری از امور مربوط به بودجه‌ریزی، زمان‌بندی، درخواست، سفارش‌گذاری، خرید و سایر مسائل مربوط به پروژه در بستر اتوماسیون سازمانی و به صورت بهینه و فرآیند محور انجام خواهد گردید. پیشنهاد دیگری که برای ادامه این پژوهش می‌توان مطرح کرد، عمق بخشیدن به بخش فنی مدل ارائه شده می‌باشد. با توجه به پیچیدگی‌هایی که در طراحی محصول مورد نظر وجود دارد، تیم‌های فنی مختلف در ممکن است مسیرهای متفاوتی را برای رسیدن به یک محصول واحد طی نمایند. در صنایع و محصولات غیرنظامی و عمومی مانند خودروسازی، کتاب‌ها و هندبوک‌های متعددی در زمینه طراحی این محصولات نوشته شده و در دسترس همگان قرار دارد، ولی در خصوص نوع محصولات مدنظر این پژوهش، منابع موجود بسیار محدود و ناکافی است؛ بنابراین، یکی از پژوهش‌های جذاب دیگر، می‌تواند در زمینه چگونگی طراحی چنین محصولاتی از منظرهای مختلف فنی و مهندسی باشد.

الف: منابع فارسی

۱. کوفی گر امیرحسین، گوگردچیان مهدی، کرباسیان مهدی، نیلی پور اکبر، خیام باشی بیژن، (۱۳۹۱)، ارائه مدل اجرایی مهندسی سیستم در مدیریت بهینه پروژه های تحقیقاتی کلان و پیچیده دفاعی - مطالعه موردی: صنایع هوایی. نهمین کنفرانس بین المللی مهندسی صنایع.
۲. منصوریان فرید، (۱۳۹۴)، ارائه مدل پیاده سازی مهندسی سیستم چرخه حیات یک محصول دفاعی، پایان نامه کارشناسی ارشد، استاد راهنما علی محمد احمدوند، دانشگاه امام حسین علیه السلام، رشته مهندسی صنایع.
۳. منصوریان فرید، احمدوند علی محمد، عمویی مهدی، (۱۳۹۴)، ارائه مدل پیاده سازی مهندسی سیستم در چرخه حیات طراحی یک محصول دفاعی. کنفرانس بین المللی یافته های نوین پژوهشی در مهندسی صنایع و مکانیک.

ب: منابع خارجی

1. BKCASE (2015). Guide to the Systems Engineering Body of Knowledge (SEBoK) v. 1.5.
2. Corallo, A., Lazoi, M., Lettera, S., Marra, M., & Verardi, S. (2014). Reviewing product lifecycle management models for complex sectors: a proposal. *Universal Journal of Industrial and Business Management*, 2, 52-60..
3. DoD (2001). DoD Systems Engineering Fundamentals.
4. Doornbos, J., Jesse, E., & Wijnhoven, I. (2004, June). 2.3. 2 Tailoring Systems Engineering for UAV platform development. In *INCOSE International Symposium* (Vol. 14, No. 1, pp. 301-311).
5. DoT (2007). Systems engineering for intelligent transportation systems.
6. Eckerson, W. W. (2010). Performance dashboards: measuring, monitoring, and managing your business. John Wiley & Sons.
7. ECSS (2009). ECSS-E-ST-10C: System engineering general requirements.

8. FDOT (2005). Florida's Statewide Systems Engineering Management Plan – Version 2.
9. Force, U. A.. Systems Engineering Primer & Handbook.
10. Franceschini, F., Galetto, M., Maisano, D., & Neely, A. D. (2019). Designing performance measurement systems. Management for professionals.
11. Hardie, K., Trancho, G., & Miles, J. W. (2016, July). Designing a systems engineering process and toolset for the Giant Magellan Telescope. In INCOSE International Symposium (Vol. 26, No. 1, pp. 848–861).
12. Honour, E. C. (2004, June). 6.2. 3 Understanding the value of systems engineering. In INCOSE international symposium (Vol. 14, No. 1, pp. 1207–1222).
13. ISO. (2015). ISO/IEC 15288:2015 – Systems and software engineering—software life cycle processes, ISO (International Organization for Standardization).
14. ISO (2018). ISO/IEC/IEEE 29148:2018—Systems and software engineering – Requirements engineering.
15. ISO, I. (2011). ISO/IEC/IEEE 29148:2011—Systems and software engineering—Requirements engineering, Technical report.
16. Kerzner, H. (2022). Project management metrics, KPIs, and dashboards: a guide to measuring and monitoring project performance. John wiley & sons.
17. Kossiakoff, A., et al. (2011). Systems engineering principles and practice, John Wiley & Sons.
18. Kusel, T. W. (2022). MeerKAT systems engineering: tailoring the process for value and efficiency. Journal of Astronomical Telescopes, Instruments, and Systems, 8(1), 011009–011009.
19. Marr, B. (2014). 25 Need-To-Know Key Performance Indicators: 25 Need-To-Know Key Performance Indicators. Pearson UK.
20. McGrane, M. T. (2020). Improving Convention Center Management Using Business Analytics and Key Performance Indicators, Volume I: Focusing on Fundamentals.

- Business Expert Press.
21. McKendry, D. A., Whitfield, R. I., & Duffy, A. H. B. (2015, September). Business and information management architectures for delivering Product Lifecycle Management (PLM) in Engineer To Order (ETO) products. In International Conference in Computer Applications for Shipbuilding. Bremen: RINA Conference Proceedings.
 22. Monaghan, M. W., & Henry, R. J. (2013). Development of hybrid product breakdown structure for NASA ground systems. In AIAA SPACE 2013 Conference and Exposition (p. 5404).
 23. NASA (2007). NASA Systems Engineering Handbook.
 24. NASA (2012). MSFC-HDBK-3173-B: Project Management And Systems Engineering Handbook.
 25. Sheard, S., & Miller, C. L. (2000, July). The Shangri-La of ROI. In INCOSE International Symposium (pp. 685-692).
 26. Walden, D., et al. (2015). INCOSE Systems Engineering Handbook: A Guide for System Life Cycle Processes and Activities, John Wiley & Sons.
 27. Walden, D. D., et al. (2023). INCOSE Systems Engineering Handbook, 5th Edition, John Wiley & Sons.
 28. Ward, D., Rossi, M., Sullivan, B., & Pichika, H. V. (2018). Assessment and Tailoring of Technical Processes: A practitioners experience. In CEUR WORKSHOP PROCEEDINGS (Vol. 2248, pp. N-A).
 29. Zhang, S. (2019). Product structure modeling for ETO system product considering the product lifecycle: A case study of ABB Mine Hoist.

