مقاله پژوهشی

ارائه مدل یکپارچه‌سازی آمادگی فناورانه، سند بیانیه نیاز و ویژگی‌های محصول در مدیریت طراحی سیستمی کلان محصولات هواپایه

مهدی گوگردچیان
(نویسنده مسئول) دانشجوی دکتری، گروه مهندسی صنایع و مرکز سیستم‌ها، دانشگاه جامع امام حسین(ع)، تهران، ایران.
mahdigoogerdchi1402@gmail.com

محسن اسدی
استادیار، گروه مهندسی صنایع و مرکز سیستم‌ها، دانشگاه جامع امام حسین(ع)، تهران، ایران. masadi@ihu.ac.ir

سید ضیاءالدین قاضی‌زاده فرد
دانشیار، گروه مهندسی صنایع و مرکز سیستم‌ها، دانشگاه جامع امام حسین(ع)، تهران، ایران. zia.Ghazizadeh@Gail.com

سهیل امامیان
استادیار، گروه مهندسی صنایع و مرکز سیستم‌ها، دانشگاه جامع امام حسین(ع)، تهران، ایران. Emamyian@yahoo.com

چکیده: هزینه، کیفیت و زمان طراحی محصولات، از عوامل مهم و ضروری در مدیریت طراحی محصولات کلان است. زمان بر بودن طراحی و تولید اینگونه محصولات، اغلب موجب خواهد شد تا کارایی و اثربخشی آنها جهت انجام ماموریت در صحنه بهره‌بردار به حداقل کاهش یابد و علی رقم و جود تحریم‌ها در ایران، عملاً به دلیل تاخیر در موعد مقرر، مورد استفاده بهره‌بردار قرار نگیرد. هدف از انجام این پژوهش ارائه مدل یکپارچه‌سازی آمادگی فناورانه، سند بیانیه نیاز و ویژگی‌های محصول در مدیریت طراحی سیستمی کلان محصولات هواپایه بومی بوده و به دنبال آن است تا به منظور شناسایی و اولویت‌بندی نیازهای واقعی و بلند مدت بهره‌بردار، ضمن تحویل تدریجی محصول، زمان تحویل نهایی را کاهش دهد. روش شناسی این پژوهش از نظر اجرا، توصیفی- پیمایشی و با رویکرد پیمایشی و تحلیل داده‌ها به روش کمی و با استفاده از تحلیل عاملی اکتشافی و تاییدی است. نتایج حاصل از ضرایب معناداری بارهای عاملی و ضرایب مسیر و نتیجه آزمون متغیرهای تحقیق بیانگر این است که ضریب معناداری ۶ مسیر میان متغیرهای مشاهده‌پذیر و پنهان و مؤلفه‌های تعیین‌شده در مدل مفهومی تحقیق، از ۱.۹۶ بیشتر است و در سطح اطمینان ۹۵ درصد، فرضیه‌های تحقیق و اعتبار مناسب مدل را تایید می نماید.

واژه‌های کلیدی: یکپارچه‌سازی، آمادگی فناورانه، سند بیانیه نیاز، ویژگی‌های محصول،مدیریت طراحی سیستمی کلان، محصولات هواپایه

۱-مقدمه

پیچیدگی پروژه‌های صنعت هوایی و فضایی نه‌فقط به علوم و فناوری‌های مورد استفاده، تعدد و تنوع اجزا و مأموریت‌های پروژه‌ها و متغیرهای اثرگذار بر رفتار آن‌ها مربوط می‌شود، بلکه به تنوع ارتباطات فی‌مابین اجزاء، سیستم‌ها و اجابت نیازمندی‌ها و شرایط محیط از سویی و به متغیر بودن جهت و شدت تأثیرات متقابل و تعاملات بین اجزاء و محیط از سوی دیگر مربوط است. هزینه‌بر بودن، ویژگی‌های خاص، نوع دانش، کاربری و نقش تعیین‌کننده محصولات دفاعی هوایی در تأمین امنیت سبب شده، مرکزیت محیط و کانون توسعه صنعت هوایی غالباً در صنایع داخلی شکل یافته و از شبکه و همکاران دانش‌بنیان خصوصی و دانشگاهی و مؤسسات تحقیقاتی استراتژیک ملی و بین‌المللی همکار در توسعه این صنعت استفاده شود. از مؤلفه‌های رفتاری دستیابی به سامانه‌های پیچیده دفاعی و سیستمی هوایی و

Corresponding Author: mahdigoogerdchi1402@gmail.com

تاریخ دریافت: ۱۳ /۱۱/ ۱۴۰۲ تاریخ پذیرش: ۳۰ / ۱۱/ ۱۴۰۲
شماره۱۳ /۱
صفحات ۷۳-۹۴

نظام‌های مدیریتی حاکم بر آن‌ها در مقایسه با سایر نظام‌های مکانیکی، عدم قطعیت ،محیط متغیر کاربری و نیاز به توسعه برمدار فناوری روزآمد در این‌گونه پروژه‌ها می‌باشد. پروژه‌های کلان و پیچیده، طولانی و هزینه‌بر با مأموریت‌های خاص و متنوع متکی بر دانش و تجربیات فردی و تجربی با بهره‌گیری سلیقه‌ای از نظام‌های فنی و مدیریتی خاص و غیر منطبق با این محیط، و توسعه بر مبنای سعی و خطا قادر به ادامه حیات نیستند و اطمینان از تحقق باکیفیت، روزآمد و در زمان موردنیاز و با هزینه برنامه‌ریزی‌شده در این پروژه‌ها نیز وابسته به همین الزامات، هماهنگی و اجرا با روش مدیریتی نظام‌مند و مشخص است. از جمله موارد مهم واساسی در پروژه‌ها و محصولات پیچیده نظیر محصولات هوایی، طراحی و تولید محصول مطابق استانداردهای ملی و بین المللی است. همچنین شناخت، کنترل، ارزیابی آمادگی و به‌کارگیری فناوری و درنهایت مدیریت فناوری در تولید این محصولات کلان و پیچیده بر شناسایی و کمینه کردن ریسک حاصل از یک فناوری جدید، بهره‌برداری از فرصت‌های فناورانه، و طرح‌ریزی برای بالغ کردن فناوری متمرکز است که در نتیجه توجه به آن در طی چرخه‌ی عمر پروژه ریسک تأخیر ایجادشده از نابالغ بودن فناوری را کاهش می‌دهد. درواقع دلایل زیادی برای انحراف از زمان‌بندی ، افزایش هزینه ، فقدان کارایی و عدم کیفیت مورد انتظار و حتی شکست و تعطیلی پروژه‌های طراحی و توسعه محصولات جدید پیچیده وجود دارد که در بین آن‌ها برابر تحقیقات انجام‌شده کشور عدم تعریف کامل و درست الزامات و به‌کارگیری غیرهوشمند فناوری‌ها به‌ویژه فناوری‌های نابالغ و غیر آماده یکی از مهم‌ترین دلایل است. البته بیشتر این اتفاقات به عدم قطعیت‌ها و فقدان تصمیم‌گیری‌های مناسب در مراحل آغازین طراحی نیز برمی‌گردد و عامل غالب در عدم قطعیت‌ها و کمبود اطلاعات در خصوص آمادگی و سطوح بلوغ فناوری‌های موردنیاز در اجابت الزامات و بررسی و فهم درست زمان و هزینه در رسیدن به اطمینان در بهره‌برداری از این فناوری‌ها در نقطه قابل‌اعتماد و زمان استفاده درست در پروژه‌ها و سیستم است.

برابر موارد پیش‌گفته از ویژگی‌های پروژه‌های طراحی محصولات هواپایه زمان‌بری اجرا ، هزینه بسیار زیاد و تغییر مستمر فناوری و نیازمندی کاربر به‌واسطه تغییر شرایط محیطی نظیر صحنه بهره‌برداری است. که باعث شده تحقق کیفیت طراحی محصولات هوایی پس از زمان طولانی و صرف منابع قابل‌ملاحظه با نتایج غیر منطبق (یا حداقل کمتر منطبق) با نیاز روز کاربر و دارای فناوری‌های غیر روزآمد یا ناقص تحقق یابد. و درنتیجه خروجی محصول جدید از قدرت مناسب جهت اجرای مأموریت‌های تعریف‌شده و دفاع در مواجهه با مأموریت‌های موردنظر برخوردار نیست. لذا اهمیت به‌کارگیری الگو، روش و ابزارهای مدیریتی که بتواند نتایج مناسب و قابل قبولی در هر زمان از فرآیند طراحی در این محیط و شرایط بین طراحان، بهره‌برداران و سیاست‌گذاران (حامیان و ذی‌نفعان پروژه‌ها) ایجاد نماید نقش ویژه‌ای در توسعه و دستیابی به این محصولات دارد.

زمان، کیفیت و هزینه تحقق طراحی یک محصول هوایی سه عامل سرنوشت‌ساز در مدیریت این‌گونه پروژه‌ها هستند. این سه فاکتور اساسی مدیریت طراحی را تشکیل می‌دهند که می‌بایست در طی تمامی مراحل طراحی کنترل و بصورت بهینه مدیریت گردند. بر اساس یک آمار غیررسمی، چرخه عمر طراحی، توسعه و بهره‌برداری یک محصول هواپایه جدید حتی در جوامع پیشرفته نظیر ایالات‌متحده حدود هفده سال و در کشور ما حدود چهل سال زمان بری دارد. وقتی این زمان با مدت‌زمان چهارساله جنگ جهانی دوم مقایسه می‌گردد، طولانی بودن آن بسیار واضح خواهد بود، به این شکل که تغییرات به‌ویژه درصحنه‌های کاربری و نیازمندی‌های بهره‌برداری از این محصولات، تغییر و رشد فزاینده فناوری‌ها در مدت‌زمان و چگونگی طراحی و توسعه این‌گونه محصولات می‌تواند بسیار زیاد باشد به‌گونه‌ای که محصول مذکور دیگر آن کار آیی و اثربخشی موردنظر طراحان و کاربران در زمان تعریف‌شده را برآورده نکند یا اینکه با توجه به تغییرات در فضای سیاسی یا استراتژی‌های نظامی و شرایط محیطی آن محصول اصلاً دیگر کاربرد نداشته باشد. بخشی از دلایل تاخیر می تواند علل فنی و تکنیکی، نظیر تصمیمات فنی غلط یا ناتوانی در درک الزامات فنی ، تصمیمات ناقص اخذشده در مراحل ابتدایی طراحی باشد. از طرفی تسریع در انجام پروژه‌ها یک نیاز اصلی است، اما تسریع در طراحی می‌تواند منجر به از دست دادن کیفیت، و کاهش ایمنی و تولید محصولی خطرناک و یا با کارایی پائین و غیر روزآمد یا فاقد مشتری گردد. از جمله راهکارهای موثر که می تواند تاثیر زیادی در کاهش زمان طراحی و تولید محصول فناوری محور داشته وضمن حفظ کیفیت و با ملاحظات مدیریت هزینه باشد، فرایند ارتباط موثر با بهره‌بردار، تحویل تدریجی محصولاتی است که می تواند در صحنه بهره‌بردار موثر و ماموریت محور باشد. روش یکپارچه‌سازی آمادگی فناورانه، سند بیانیه نیاز و ویژگی‌های محصول در مدیریت طراحی سیستمی کلان محصولات هواپایه بومی، در فرایند چرخه عمر محصول برآن است تا ضمن کاهش زمان و هزینه‌های طراحی، کیفیت فنی موردنیاز

محصول، ویژگی‌های کلیدی آن را حفظ نموده به علاوه برآورده نیازهای فعلی بهره‌بردار، نیازهای آتی آن را با تحویل تدریجی محصول در بازنگری‌های برنامه‌ریزی شده محقق نماید.

۲- نیازمندی‌های ذی‌نفعان (سند بیانیه نیاز)

یکی از مسائل مهم و اساسی برای محصولات کلان و پیچیده، درک درست از نیازهای پنهان و آشکار کاربران عملیاتی (از جمله تحویل به موقع محصول) است.

ون و همکاران (۲۰۱۲)، تجزیه‌وتحلیل طراحی، جذب، درک و برآورده کردن نیازهای مشتری با استفاده از داده‌های کلان را بیان نمودند. آنها معتقدند که تکامل تفکر طراحی شاهد چالش‌ها و پیشرفت‌های متعددی در تبدیل اطلاعات به دانش، برای طراحی سیستم‌ها، محصولات و فرآیندها بوده است. این تغییرات در سه مرحله در طول فرآیند طراحی رخ می‌دهد. به بیان ساده، مراحل اولیه، میانی و پایانی فرآیند طراحی به ترتیب آمادگی جهت توسعه درک نیازهای مشتری، رسیدن به مفهوم نهایی طراحی و تجزیه‌وتحلیل و پشتیبانی از عملکرد و مشخصات استفاده از محصول برنامه‌ریزی شده‌اند. کیفیت و دقت اطلاعات ورودی و اثربخشی هر تغییر، موفقیت یا شکست محصول را تعیین می‌کند. گرفتن اطلاعات صحیح و تبدیل آن به دانش دو وظیفه مهمی است که انگیزه نگهداری سوابق طولانی تحقیق در فرآیندها و ابزارهای طراحی را فراهم می کند. این مقاله، تجزیه‌وتحلیل طراحی (DA[1]) را به‌عنوان یک پارادایم جدید برای افزایش قابل‌توجه تحولات اصلی اطلاعات به دانش پیشنهاد می‌کند. درنهایت آنها معتقدند از آنجایی که تجزیه‌وتحلیل وب نحوه تعامل شرکت‌ها با مصرف‌کنندگان در اینترنت را تغییر داده است، انتظار می‌رود DA نحوه طراحی محصولات را برای مصرف‌کنندگان تغییر دهد [۱].

میر فخرالدینی و همکاران در سال ۲۰۱۶، به بررسی نقش مشارکت مشتری در توسعه محصولات جدید پرداخته است. آن‌ها هدف از انجام پژوهش خود را بررسی نقش مشارکت مشتری بر توسعه محصول جدید دانسته‌اند. نتایج حاصل از این تحقیق رابطه بین مشارکت مشتری بر توسعه محصول جدید را مثبت و معنادار نشان می دهد. همچنین نتیجه تاثیر مشارکت مشتری بر توسعه محصول جدید را مثبت و معنادار بیان نموده است [۲].

لی و همکاران (۲۰۲۱) ، تأثیرات نوآوری مصرف کننده با هدف خرید محصولات پایدار را بیان نمودند. آنها معتقدند که مفهوم نوآوری مصرف کننده (مشتری) به تمایل خرید و استفاده از محصولات جدید در کوتاهترین زمان و زودتر از سایر رقبا را بیان می‌کند و این را یک ویژگی شاخص و مهم ارزیابی نموده‌اند[۳]. سند بیانیه نیاز ابزاری است که در تعامل شرکت یا بهره‌بردار می توان، نیازهای واقعی مشتری را بطور شفاف استخراج نمود.

۳- سطح آمادگی فناوری

از آنجاکه پروژه‌ها و طرح‌های تحقیقاتی و توسعه‌ای در محصولات کلان و پیچیده بویژه حوزه دفاعی عمدتاً با فناوری‌های پیشرفته و نو سروکار دارند. یکی از اساسی‌ترین مراحل این‌گونه پروژه‌ها، در امکان‌سنجی، ارزیابی فناوری‌های مرتبط با پروژه یا طرح و نحوه بکارگیری آن می‌باشد [۴].

سوزر و همکاران (۲۰۰۹)، رویکردی سیستمی برای گسترش سطح آمادگی فناوری در اکتساب دفاعی را ارائه نمودند. در سال ۱۹۹۹ ، دفتر حسابداری عمومی ایالات‌متحده (GAO[2]) اظهار داشت که معیارهای معدودی در وزارت دفاع ایالات متحده برای سنجش تأثیر سرمایه‌گذاری‌ها یا اثربخشی فرآیندهای مورد استفاده برای توسعه و انتقال فن‌آوری استفاده می‌شود. آن‌ها ادعا کردند که معیارهای اضافی در انتقال فن‌آوری موردنیاز است. در سال ۲۰۰۲، در گواهی قبل از کمیته فرعی پشتیبانی و پشتیبانی مدیریت، کمیته خدمات مسلح سنای ایالات‌متحده، دفتر حسابداری عمومی ایالات‌متحده، چالش‌های وزارت دفاع در اجرای بهترین روش‌ها را بیشتر توضیح داد. این پیشنهاد وزارت دفاع را برای دستیابی به موفقیت از طریق نشان دادن ارزش و اعتبار فرایندهای جدید از طریق استفاده از معیارها پیشنهاد کرد. یکی از این معیارها سطح آمادگی فناوری است که جهت ارزیابی آمادگی فناوری‌ها ارایه می‌شود [۵] .

کانرو (۲۰۱۱)، ضرایب سطح آمادگی فناوری را برآورد نمودند. مقیاس‌های سطح آمادگی فن‌آوری ناسا و وزارت دفاع ایالات‌متحده به‌طور گسترده استفاده می‌شوند و ورودی‌هایی را برای انواع توابع مهندسی سیستم و مدیریت پروژه ارایه می‌دهند. مقیاس‌های سطح آمادگی فناوری ۹ سطحی متداول و دارای ضرایب ترکیبی هستند که جهت تخمین مقادیر مقیاس سطح

[1] . Design Analytics

2 . Government Accountability Office

آمادگی فناوری اصلی از فرآیند تحلیلی سلسله مراتبی (AHP[3]) استفاده گردید [۶].

جیمنز و ماوریس (۲۰۱۴)، ویژگی‌های یکپارچه‌سازی فناوری بر اساس سطوح آمادگی فناوری را بیان نمودند. یکپارچه‌سازی در توسعه سیستم در همه‌جا وجود دارد. اگرچه در مورد لزوم ترکیب صریح یکپارچه‌سازی در زمینه توسعه و آمادگی فناوری مطالب زیادی نوشته‌شده است. روش‌های ارزیابی سطح آمادگی فعلی فن‌آوری به‌طور ضمنی یا کاملاً نادرست انجام می‌شود. ادعا می‌شود که یکپارچه‌سازی یکی از ویژگی‌های ذاتی آمادگی فناوری است و سطح آمادگی فناوری، ترکیب‌های برخی از عناصر، مفهومی را که می‌توان چنین خصوصیات صریح یکپارچه‌سازی با آن‌ها ساخت، نگهداری می‌کند. برای انجام این کار، مفهوم یکپارچه‌سازی در زمینه بلوغ فن‌آوری را تشرح کردند وخصوصیات یکپارچه‌سازی برای هر سطح آمادگی را استخراج نمودند و سرانجام، روش پیشنهادی باکارهای قبلی مقایسه گردید و این یکپارچه‌سازی به‌عنوان سوابق یکپارچه‌سازی و معیار برای سطح آمادگی فعلی فن‌آوری بیان و جهت یکپارچه‌سازی برای سطوح بالاتر آمادگی فناوری مورد استفاده قرار گرفت[۷].

استراوب (۲۰۱۵)، در جستجوی سطح آمادگی فناوری(TRL[4]) بوده است. سیستم سطح آمادگی فناوری نه سطحی فناوری ناسا (TRL) با سیستمی که از طریق استفاده در یک مأموریت فضایی به اثبات رسیده است، به بالاترین سطح می‌رسد. بااین‌حال، ناسا، سازمانی نیست که به دنبال توسعه فناوری‌های اثبات نشده باشد. فعالیت‌های فضایی آینده به فناوری‌هایی نیاز دارند که بیشتر به یک هواپیمای مسافربری شبیه هستند (تا کپسول آپولو). این مقاله نیاز به یک دسته TRL بالاتر را در نظر می‌گیرد که نشان‌دهنده بکارگیری یک فناوری اثبات‌شده از طریق عملیات گسترده نشان داده‌شده است، و تعریف و کفایت آن را موردبحث قرار می‌دهد [۸].

هدر (۲۰۱۷)، تکامل TRL در نوآوری بخش عمومی، از ناسا تا اتحادیه اروپا را ارائه نمود. این مطالعه بررسی می‌کند که چگونه مقیاس سطح آمادگی فناوری (TRL) از طریق جهش‌های مختلف، به ابزار سیاست نوآوری اتحادیه اروپا (EU) تبدیل‌شده است، و خطرات و فرصت‌های ایجادشده در این مسیر را خلاصه می‌کند [۹].

بیتس و همکاران (۲۰۲۰)، مروری بر سطح آمادگی فناوری در توسعه سیستم فرماندهی و کنترل برای عملیات دریایی را ارائه نموده‌اند. در این مقاله آمده است که، سیستم دریایی با هر مأموریت و هدفی، بخش مهم واصلی، هسته اصلی فرماندهی و کنترلی آن‌ها است و درصورت طراحی مطلوب، اهداف آن‌ها با موفقیت انجام می‌گردد. در این مقاله سعی شده است تجربیات گذشته از نیروی دریایی ایالات‌متحده در توسعه طراحی پایگاه مشترک و امکان استفاده از سطح آمادگی فناوری در توسعه سیستم فرماندهی و کنترل برای برنامه‌های کاربردی مبتنی بر فعالیت‌های دریایی توضیح داده شود [۱۰].

ما (۲۰۲۱)، چارچوب پیش‌بینی‌های انتقال سطح آمادگی فناوری را برای توسعه فناوری اولیه در دفاع را پیشنهاد می‌کند. اگرچه پیش‌بینی TRLها در آینده به‌عنوان یک ابزار برنامه‌ریزی، مهم است، ولی نسبت به سایر موضوعات مهم در TRL کمتر موردمطالعه قرارگرفته است و مطالعات قبلی عمدتاً در حوزه تخصصی انجام گردیده است. چارچوب پیشنهادی مبتنی برداده است و از تکنیک‌های مدل‌سازی ترکیبی و پیش‌بینی استفاده می‌کند. مطالعه موردی، چارچوبی پیشنهادی برای داده‌های توسعه فناوری واقعی از DTiMS (سرویس اطلاعات فناوری دفاع) که به‌عنوان یک منبع کلیدی شناسایی می‌شود، اعمال می‌شود. نتیجه مدل‌سازی ترکیبی نشان می‌دهد که دو متغیر پیش‌بینی کننده، TRL قبل از تحقیق و توسعه و هزینه پروژه، ازنظر آماری برای TRLهای آینده معنادار هستند. همچنین، مدل‌های پیش‌بینی سازگار برازش داده‌شده و با شاخص‌های عملکرد مختلف با استفاده از اعتبارسنجی متقاطع ۱۰ برابری مقایسه می‌شوند. دو مدل پیش‌بینی انتخاب‌شده رگرسیون خطی و مدل‌های ماشین برداری با کمترین خطای پیش‌بینی هستند[۱۱].

زوتین و همکاران (۲۰۲۲) آن‌ها، سطوح آمادگی فناوری‌های انقلاب صنعتی چهارم را که در ساخت هواپیما را موردبررسی قرار دادند و چالش‌ها و روندهای آن‌ها را بیان نموده‌اند. در این پژوهش به مروری، بر تحقیقات جدید در حیطه‌ی کاربردهای فن‌آوری‌های صنعت نسل ۴.۰ (I4.0) در بخش ساخت هواپیما و وضعیت بلوغ آن‌ها بر اساس مقیاس سطح آمادگی فناوری می‌پردازد [۱۲].

[3]. Analytical Hierarchy process

[4]. Technology Readiness Levels

میتال و همکاران در سال (۲۰۲۲)، استفاده از مهندسی سیستم‌های مبتنی بر مدل برای جلوگیری از فناوری غیر ضروری ناشی از الزامات دینامیکی را ارایه نمودند. آنها بیان نمودند که با توسعه و تکامل سیستم‌ها، نیازمندی‌های عملیاتی، معماری سیستم و قابلیت‌های تکنولوژیکی تغییر می‌کنند. این تغییرات می‌تواند منجر به تغییرات در طراحی شود و اجزای ضروری سابق را غیر ضروری کند. مدیران مهندسی اغلب برای حذف این اجزای غیر ضروری تردید می کنند، اگرچه الزامات پیش‌برنده دیگر اعمال نمی‌شود. این موضوع، «تکنولوژی به خاطر فناوری»، در اکثر مواقع زمانی رخ می‌دهد که سیستم توسعه محصول زمانی طولانی بینجامد، توسعه محصولات دفاعی از این موارد است. مهندسی سیستم‌های مبتنی بر مدل یا (MBSE[5])، مدیران مهندسی را قادر می‌سازد تا فناوری‌های غیرضروری را شناسایی کرده و به‌طور دقیق و سریع طراحی را به‌روزرسانی کنند و خطرات مرتبط با حذف فناوری غیرضروری را نیز ارزیابی کنند. روش پیشنهادی از نتیجه مهندسی سیستم‌های مبتنی بر مدل برای شناسایی و کاهش "تکنولوژی به خاطر فناوری" استفاده می‌کند[۱۳]. ارزیابی سطح آمادگی فناوری در محصولات کلان و پیچیده باعث خواهد شد تا بتوان علاوه بر تحویل نهایی محصول و درصورت توافق بهره‌بردار به تحویل تدریجی محصول را در طول طراحی و تحویل نهایی برنامه‌ریزی نمود.

۴- ویژگی‌های محصول و سامانه‌های پیچیده

محصولات و سامانه‌های پیچیده (CoPS[6])، نقشی حیاتی و روزافزون در پیشرفت اقتصاد نوین دارند و مزیت رقابتی کشورها را شکل می‌دهند[۱۴].

لو و همکاران (۲۰۰۷) روشی جدید طراحی جهت مدیریت پیچیدگی فاز طراحی و توسعه محصول ارائه دادند. این روش به مهندسی همکاری (ECN[7]) معروف است که برپایه نظریه‌های تحقیقاتی گرفته‌شده از مطالعات گروه‌های مهندسی و چارچوب اجتماعی فنی و فرایندهای دستیابی به تصمیمات مشترک ارائه‌شده است [۱۵].

المراغی در سال (۲۰۰۹)، چارچوب طراحی و معماری برای توسعه محصولات پیچیده و طراحی آن‌ها به شکل جزئی و دقیق را ارائه داده است. این چارچوب که مدل V نامیده می‌شود از نمودارهای بسیار پرکاربرد در طراحی سامانه‌های هوایی است[۱۶].

گوا و همکاران، در سال (۲۰۲۱)، طراحی مفهومی انعطاف‌پذیر با استفاده از تجزیه عملکردی و برطرف کردن تناقض‌ها در فاز طراحی محصول را ارایه نمودند. آنها معتقدند که تولید مفهومی، نقش مهمی در طراحی محصول ایفا می کند، به ویژه در مرحله طراحی اولیه و در مواقعی که الزامات عملکردی نامشخص یا تا حدی شناخته شده است. جهت جلوگیری از عدم قطعیت تحمیل شده در محیط کار متفاوت، طراحی انعطاف پذیر اغلب برای افزایش ظرفیت سیستم از منظر الزامات عملکردی مورد استفاده قرار می‌گیرد [۱۷].

جیائو و همکاران در سال (۲۰۲۱)، مهندسی طراحی در عصر صنعت نسل ۴.۰ را ارایه نمودند. آن‌ها معتقدند که صنعت مبتنی بر دیجیتالی کردن صنایع تولیدی است و چشم انداز بهبودهای اساسی در بهره‌وری، کیفیت و رضایت مشتری را افزایش داده است. این تحول دیجیتال نه تنها بر نحوه تولید محصولات تأثیر می‌گذارد، بلکه فرصت‌های جدیدی را برای طراحی محصولات، فرآیندها، خدمات و سیستم‌ها ایجاد می‌کند. برخلاف شیوه‌های طراحی سنتی مبتنی بر مفاهیم سیستم‌محور، طراحی برای این فرصت‌های جدید مستلزم دیدی جامع از ابعاد انسانی (ذینفعان)، مصنوعات (محصول) و فرآیند (تحقق) مسئله طراحی است. در این مقاله "دیدگاهی انسانی-سایبری-فیزیکی از اکوسیستم تحقق سیستم‌ها" را که "مهندسی طراحی نسل ۴.۰ (DE4.0[8])" نامیده می شود، معرفی شده و چگونگی یکپارچه‌سازی فناوری‌های سایبری و فیزیکی را برای شناسایی و برآورده کردن نیازهای مشتری تعیین شده و در نتیجه از مزایای صنعت نسل ۴.۰ بهره‌مند شود [۱۸].

وولف و همکاران در سال ۲۰۲۱، مهندسی سیستم‌های چابک با سناریوهای پیچیده را ارایه نمودند. آن‌ها معتقدند که توسعه موفقیت آمیز سیستم‌های پیچیده سیستم‌ها (SoS[9]) به شدت به کیفیت مهندسی نیازمندی ها (RE[10]) وابسته است. هدف این

[5] . Model based systems engineering

[6] . Complex Product and Systems

[7]. Engineering as Collaborative Negotiation

[8]. Design Engineering 4.0

[9] .Systems of Systems

[10] . Requirements Engineering

است که در ابتدا نیازهای "واقعی" استخراج گردد و سپس آنها تا زمان تحویل محصول نهایی ثابت نگه داشته شود. در واقع، این یک تفکر آینده‌نگرانه است. در سناریوهای پیچیده دنیای واقعی، الزامات هرگز به طور کامل درک نمی شوند و هرگز پایدار نیستند، آنها در طول فرآیند توسعه تکامل می‌یابند. این مسئله‌ی جدی برای فرآیندهای مهندسی سیستم‌های پیچیده و بسیار پیچیده است. معمولاً پروژه‌ها به دلیل درخواست تغییرات متعدد از کنترل خارج می‌شوند یا نتیجه‌ای متناسب با نیاز فعلی مشتری ارائه نمی‌دهند. مدیریت نوآوری جهت بازاریابی و فرآیندهای ارتباط با مشتری برای درک نیاز مشتری (کشش بازار) و امکانات فنی جدید (فشار فناوری) بکاربرده می‌شود. تحقیقات نشان می دهدکه طراحی و اجرای چنین فرآیندهای مدیریت نوآوری برای این منظور، پیچیده و مشکل است. این مقاله با تمرکز بر رابطه بین فرآیند مهندسی سیستم‌ها (برای توسعه محصول) و فرآیند مدیریت نوآوری (برای ایده پردازی و ایجاد نوآوری) آخرین یافته ها را تحقیق و ادامه داده‌است[۱۹]. همچنانکه بیان گردید، شناسایی ویژگی‌های محصولات کلان و پیچیده در طول زمان طراحی(و تولید و وارهایی)، باعث خواهد شد تا مطابق صحنه بهره‌بردار امکان تحویل تدریجی محصول، در تعامل با مشتری را امکان‌پذیر نماید.

۵- یکپارچه سازی آمادگی فناورانه، ویژگی محصول و نیازهای مشتری

یکپارچه‌سازی محصول یکی از فرایندهای تحقق محصول در مهندسی سیستم است که ساختار سیستم را می‌سازد. هدف فرایند یکپارچه‌سازی، تلفیق سیستماتیک محصولات از سطوح پایین یا زیر سیستم‌ها به سطوح بالاتر (مانند محصول، واحدها متعلقات، زیرسیستم‌ها یا وظایف کاربران)، اطمینان از عملکرد صحیح محصول یکپارچه‌سازی شده، و انتقال محصول است. یکپارچه‌سازی محصول در هر سطحی از سلسله‌مراتب محصولی موردنیاز است. فعالیت‌های مرتبط با یکپارچه‌سازی محصول در تمامی چرخه عمر محصول اتفاق می‌افتد. این فعالیت‌ها شامل تمامی گام‌های تدریجی، شامل تست‌های مرتبط با هر سطح که برای تکمیل مونتاژ هر محصول و ایجاد امکان تست محصول بالاتر ضروری است، می‌باشد. فرایند یکپارچه‌سازی محصول می‌تواند شامل تحلیل و شبیه‌سازی باشد که اغلب نیز با آن‌ها آغاز می‌گردد. (مانند انواع مختلف نمونه‌های اولیه) و به‌تدریج به سمت محیط‌ها و کارکردهای واقعی‌تر بهره‌برداری یعنی تا زمانی که محصول نهایی حاصل گردد، پیشرفت می‌کند. در هر ساخت متوالی، نمونه‌های اولیه ساخته می‌شوند، ارزیابی می‌گردند، بهبود می‌یابند، و بر مبنای دانش به‌دست‌آمده از فرایند ارزیابی مجدداً ساخته می‌شوند. میزان نیاز به ساخت نمونه‌های اولیه به‌صورت مجازی و یا واقعی به عاملیت[11] ابزارهای طراحی و پیچیدگی محصول و ریسک‌های مرتبط با آن بستگی دارد. احتمال اینکه با این روش یکپارچه‌سازی شده و با موفقیت از فرایند تصدیق و صحه‌گذاری عبور کند، بالا است. برای برخی محصولات، آخرین مرحله یکپارچه‌سازی هنگامی اتفاق می‌افتد که محصول به سایت عملیاتی منتقل‌شده است. اگر در حین مرحله آزمایش‌ها تصدیق و صحه‌گذاری هرگونه مشکل ناشی از عدم انطباق مشاهده گردد، در همان زمان حل می‌گردند [۲۰].

فرایند یکپارچه‌سازی محصول نه‌تنها بر روی سیستم‌های سخت‌افزاری و نرم‌افزاری اعمال می‌گردد بلکه به راهکارهای خدمات محور، الزامات، مشخصات فنی، طرح‌ها و طرح‌های مفهومی نیز اعمال می‌گردد. هدف نهایی قرایند یکپارچه‌سازی محصول، حصول اطمینان از این نکته است که تمامی الزامات و عناصر سیستم به‌عنوان یک کل عمل می‌کنند.

عادل آذر و همکاران در سال ۲۰۱۵، الگویی را جهت ارزیابی گزینه‌های طراحی مفهومی در پروژه‌های توسعه محصولات پیچیده دفاعی با در نظر گرفتن پیوستگی و تأثیر متقابل ریسک‌ها ارائه نمودند. آن‌ها معتقدند که ارزیابی گزینه‌ها در مرحله طراحی مفهومی و انتخاب گزینه مناسب یکی از گلوگاه‌های کلیدی در فرایند توسعه‌ی محصولات جدید به‌ویژه محصولات نظامی است. براین اساس این ایده یک مدل بهینه‌سازی چندهدفه با سه تابع هدف شامل حداقل شدن ریسک، حداکثر شدن اثربخشی و حداقل شدن هزینه برای ارزیابی گزینه‌ها ارائه نمودند[۲۱].

دیمیتریف (۲۰۱۹)، بهبود کارایی طراحی محصولات هواپیمایی بر اساس استانداردهای بین‌المللی و رویکردهای قوی را ارائه نمود. این مقاله امکان استفاده از QFD[12]، طراحی قوی و سایر رویکردهای پیشرفته را برای طراحی محصولات هوایی نوآورانه در نظر می‌گیرد [۲۲].

[11] . Functionality

[12] . Quality Function Deployment

یوسفی و همکارن (۲۰۱۹)، ارزیابی و نقش مهم سطح آمادگی فناوری و برآورد هزینه‌های مرتبط با آن در زیردریایی کلاس سبک را انجام دادند [۲۳].

شوال‌پور و همکاران در سال ۲۰۲۰، گونه‌شناسی عوامل تأثیرگذار بر موفقیت یکپارچه‌سازی دانش در پروژه‌های تولید و توسعه محصولات و سیستم‌های پیچیده را ارائه نمودند. این محققان معتقدند که محصولات و سیستم‌های پیچیده، نقش حیاتی در فرایند توسعه کشورها خصوصاً در اقتصادهای نوظهور دارند. یکی از مؤلفه‌های مهم و تأثیرگذار بر موفقیت پروژه‌های تولید و توسعه محصولات و سیستم‌های پیچیده، توانمندی یکپارچه‌سازی دانش است [۱۴].

یو و همکاران(۲۰۲۱) سطح آمادگی فناوری کل را جهت تسریع در آمادگی فناوری برای طراحی هواپیما بیان نمودند. این تحقیق بر آن است تا با استفاده از سه فناوری تحقیقاتی مشترک برای وضعیت ریبلت‌ها ، پوشش‌های فوبی حشرات و کنترل فعال جریان[۱۳]، حالتی را برای سطح آمادگی فناوری کل پیشنهاد کند که باعث یکپارچه‌سازی سطوح آمادگی معمول و با سایر عوامل کلیدی انعطاف‌پذیر همانند مقرون‌به‌صرفه بودن و قابل تائید بودن بوده، به‌طوری‌که در مراحل اولیه توسعه ، می‌تواند به عاملی جهت انتقال فناوری تبدیل شود[۲۴].

ویک و همکاران (۲۰۲۱)، ارزیابی سطح آمادگی متوازن را به‌عنوان ابزاری برای کشف فناوری‌های جدید و نوظهور ارائه نمودند. در این مقاله روشی برای ارزیابی آمادگی متوازن فناوری‌های جدید کشاورزی توسعه و ارائه‌شده است[۲۵].

رودیونوف وهمکاران (۲۰۲۲)، تحلیل و تجسم گرافیکی وابستگی پارامترهای کیفی بدنه پهپاد در شرایط ساخت افزودنی بر اساس تحلیل تابع عملکرد کیفیت (QFD) را ارایه نمودند. [۲۶] .

تا کنون از یکپارچه‌سازی در طراحی و توسعه محصولات پیچیده و کلان به منظور تحویل نهایی محصول استفاده شده است. در ادبیات موضوع موردی که ایده این تحقیق است (تحویل تدریجی محصول) مشاهد نگردید.

بر این اساس باتوجه به بیشینه تحقیق ارایه شده، ازآنجایی که تاکنون مدل یا روش در یکپارچه‌سازی بین سه مولفه تحقیق انجام نشده و در موارد خاص، گاهاً بین دو الزام یا مولفه انجام گرفته است و به تحویل تدریجی محصول نیز پرداخت نشده است. بر این اساس در پژوهش‌های انجام شده قبلی مدلی که بتواند سه مولفه آمادگی فناورانه، سند بیانیه نیاز و ویژگی‌های محصول در مدیریت طراحی سیستمی کلان را یکپارچه و یا متعادل سازد انجام نشده است و ضرورت انجام آن بویژه جهت واحدهای طراحی محصولات پیچیده پیشنهاد این تحقیق است.

۶- روش‌شناسی پژوهش

همچنانکه در پیشینه تحقیق بیان گردید، طراحی و ساخت محصولات کلان هواپایه به‌دلیل پیچیدگی آنها نیاز به زمان طولانی داشته و به این دلیل گاهاً پس از تحویل کارایی لازم را در صحنه بهره‌بردار ندارند. در ایران تحریم‌های این حوزه نیز به آن اضافه شده که می‌تواند در خوش‌بینانه‌ترین حالت زمان تحویل را افزایش دهد. یکپارچه‌سازی فناورانه، نیاز مشتری و ویژگی‌های محصول که مطابق ترتیبات برنامه‌ریزی شده و در تعامل با بهره‌بردار که می‌تواند موجب تحویل تدریجی محصول گردیده و زمان دسترسی به محصول در صحنه بهره‌بردار را کاهش دهد، تاکنون به عنوان یک مدل مورد ارزیابی قرار نگرفته است.

در این مدل پس از تعریف نیاز مشتری، امکان طراحی و انجام پروژه مطابق مراحل چرخه عمر پروژه و رویکرد وی[۱۴] در مهندسی سیستم بررسی می‌گردد، تا ضمن تعیین و تدوین ویژگی‌های محصول، امکان پذیر بودن پروژه و همچنین قابلیت و مجوز ورود به فازهای طراحی و توسعه نیز تعیین گردد.

از ویژگی‌های بارز این الگو، بلوغ تدریجی، تکامل مرحله به مرحله، پاسخ مرحله‌ای سریعتر به نیازهای عملیاتی در صحنه عملیات، امکان تزریق و بکارگیری فناوری‌های توسعه یافته به محصول در طی فرایند بلوغ سیستم، ایجاد بستر آموزش کاربری و پشتیبانی سیستم همزمان با ایجاد و یا توسعه محصول نهایی، ایجاد بستر ارزیابی اثربخشی سیستم قبل از ادامه مسیر طراحی، ایجاد و توسعه محصولات مختلف منشعب از طرح اصلی و بکارگیری همزمان نمونه‌های مختلف طرح در محیط‌های بهره‌بردار و پشتیبانی می‌باشد.

شکل ۱- مراحل کسب و پردازش نظر کارشناسان و خبرگان

[13] . Active flow control

[14] . Vee

یکپارچه‌سازی برنامه‌ریزی شده، را می‌توان فرایند بررسی خروجی‌ها و فرایندهای فازهای پروژه برای اطمینان از تطابق این خروجی‌ها و فرایندها با استانداردهای پروژه و یا نیازهای کاربران دانست که به شکل گروهی و طی جلسات رسمی در حضور بهره-بردار انجام خواهد شد. این یکپارچه‌سازی فرصتی را ایجاد می‌کند تا اولاً خواسته‌های از پیش تعریف شده مشتری مرور گردد و از طرفی امکان تحویل و استفاده در صحنه بهره‌بردار بررسی و همچنین بستر لازم جهت اطمینان از ورود به مراحل بعدی را فراهم کند.

نقاط تصمیم گیری کلیدی(KDP[15]) در این تحقیق نقاطی از چرخه عمر پروژه هستند که مطابق با ترتیبات برنامه‌ریزی شده در تعامل با بهره‌بردار، امکان تحویل تدریجی محصول در حال و آینده بررسی گردیده و جهت تحویل محصولات اولیه، میانی و ... و یا نهایی تصمیم‌گیری می‌شود.

در مدل پیشنهادی یکپارچه‌سازی آمادگی فناورانه، سند بیانیه نیاز و ویژگی‌های محصول در مدیریت طراحی سیستم‌های کلان محصولات هواپایه دفاعی بومی برای سامانه‌های هواپایه، از حقیق حاضر متمرکز در ۲ نقطه از نقاط تصمیم‌گیری کلیدی از ۶ فاز طراحی و مهندسی از چرخه عمر محصول می باشد، هر چند امکان تصمیم گیری در نقاط دیگر هم مطابق این مدل امکان پذیر است[۲۷].

در این تحقیق از ابزارهای اسناد و مدارک موجود، مصاحبه و پرسشنامه جهت جمع‌آوری داده‌های مورد نیاز مطابق شکل ۱ استفاده گردید. جهت اعتبارسنجی و پایایی مدل از ابزار پرسشنامه استفاده شد. جامعه آماری تحقیق نیز متشکل از خبرگان و متخصصین یک شرکت هوایی دفاعی (۲۰۲ نفر) که دارای تجربه و سابقه لازم در حوزه طراحی و توسعه سامانه‌های هوایی و مباحث سیستمی بودند، در نظر گرفته شد. که با توجه به نوع تحقیق جامعه مناسبی است. روایی محتوایی پرسشنامه طبق روش لاوشه ($CVR > 0.49$) تایید گردید. برای تعیین میزان پایایی پرسشنامه و نیز پایایی عوامل و مولفه‌های به کار رفته در مدل مفهومی، از روش آلفای کرونباخ استفاده شد. نتایج تحلیل مربوط به مقادیر پایایی عوامل، مولفه‌ها و نیز پایایی کل تحقیق بر اساس آلفای کرونباخ مقدار (۰.۹۵۴) بود نشان‌دهنده‌ی اعتبار و پایایی مناسب این مدل است.

فرایند تجزیه‌وتحلیل استنباطی داده‌های تحقیق با توجه به نوع داده‌ها، حجم نمونه آماری و نیز هدف محقق، با رویکرد معادلات ساختاری به روش حداقل مربعات جزئی و مدل اندازه‌گیری از نوع انعکاسی و با نرم‌افزار Smart PLS و SPSS انجام شود.

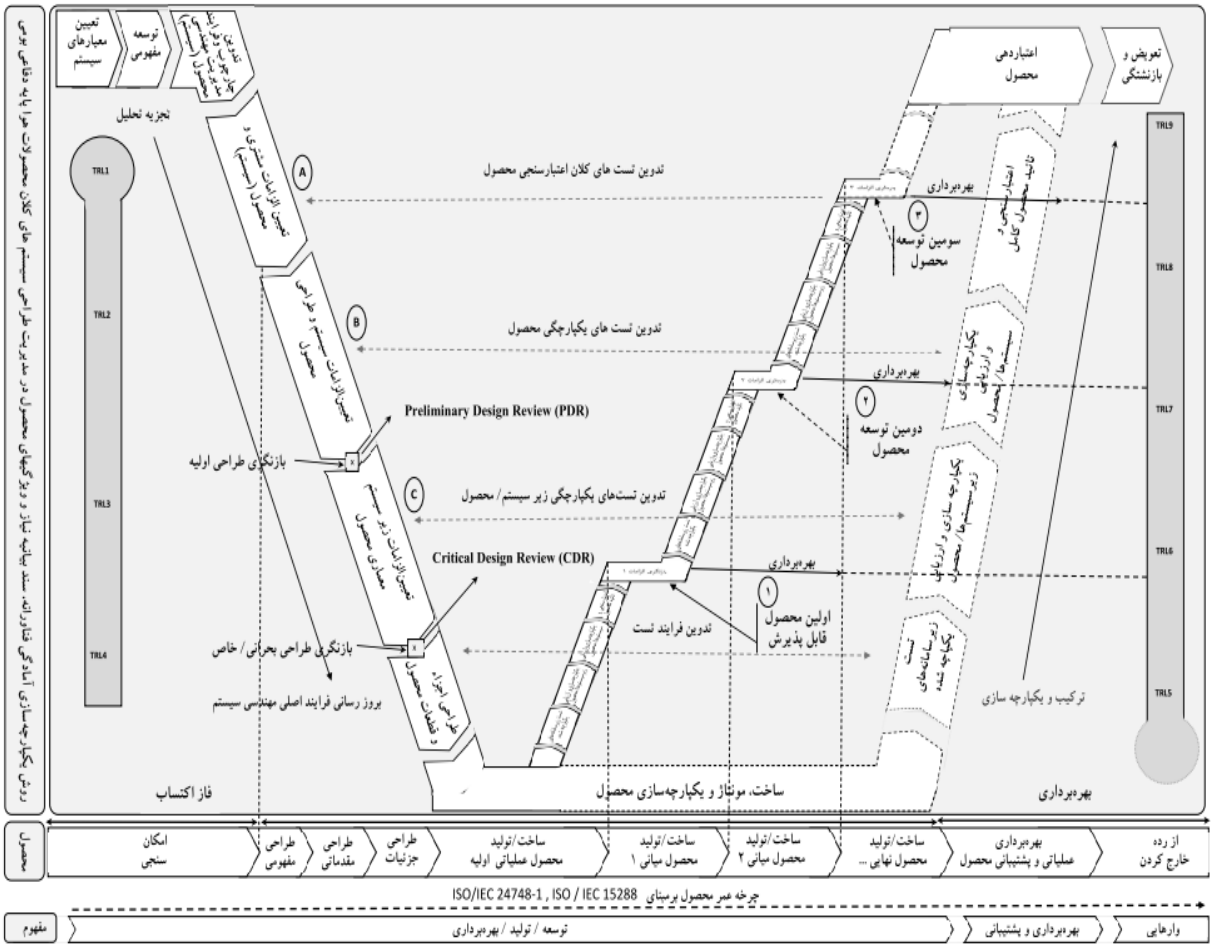
۷- مدل مفهومی تحقیق

شرایط محیطی و محدودیت‌های خاص سامانه‌های هوایی پیچیده (عدم دسترسی سریع به فناوری های مورد نیاز) و راهبردی بودن این محصولات، الزام می‌کند که جهت دستیابی به این محصولات، طراحی و تولید آنها به گونه‌ای تدوین شود که محدودیت‌ها و شرایط محیطی در چرخه عمر این محصولات از نظر زمان، هزینه و کیفیت به کمترین مقدار خود برسد. تحویل تدریجی محصول در این تحقیق از ویژگی‌های بارز این مدل است. از ویژگی‌های دیگر مدل پیشنهادی، ارتباط مستمر با مشتری با ترتیبات برنامه‌ریزی شده و حضور در صحنه بهره‌بردار است. همچنین در اکثر مدل‌های یکپارچه سازی به کار رفته در مقالات و منابع موجود، حداکثر دو عامل از عوامل یکپارچه سازی مورد بررسی قرار گرفته است و گاهاً برای محصولات کلان نیز مورد استفاده قرار نگرفته است. مدل پیشنهادی یکپارچه‌سازی سامانه‌های هوایی در شکل ۲ نشان داده شده است. این مدل شامل سه بخش اصلی آمادگی فناورانه، سند بیانیه نیاز و ویژگی‌های محصول در مدیریت طراحی سیستمی کلان محصولات هواپایه و یک مرحله تحت عنوان نقاط تصمیم گیری کلیدی است. محور اصلی مدل پیشنهادی، چرخه عمر محصول بخش طراحی محصول و مهندسی سیستم (جدول ۱) با رویکرد وی (شکل ۳) است.

رویکرد وی از دو بال سمت چپ و راست تشکیل شده است. بال سمت چپ با تعریف نیازهای سیستم و تعریف الزامات مشتری شروع شده و الزامات محصول، الزامات زیر سیستم‌ها ادامه می‌یابد. همچنان که در جدول ۱ نشان داد ه شده است. در بال سمت راست، ۱۷ بازنگری الزام شده در مهندسی سیستم انجام می‌شود. از ۱۷ الزام تعیین شده ۹ بازنگری در طراحی محصول انجام می‌شود که ۲ بازنگری آن نقاط تصمیم گیری کلیدی است. همچنانکه در مقدمه بیان گردید، در محصولات کلان و پیچیده، زمان تحویل محصول طولانی بوده و ممکن استبه ۴۰ سال هم برسد و این موضوع باعث خواهد شد تا محصول تحویلی گاهاً

[15] KDP=Key Decision Point

کارایی لازم را در صحنه بهره بردار نداشته باشد. به این دلیل شرکت‌های سازنده اینگونه محصولات در تعامل با بهره‌بردار و نحوه دستیابی به فناوری‌های محصول، موضوع تحویل تدریجی محصول اولیه، میانی، ... و نهایی را در چرخه عمر محصول تا موعد تحویل نهایی پیشنهاد می نماید که در بال سمت چپ رویکرد وی در مدل مفهومی نشان داده شده است.

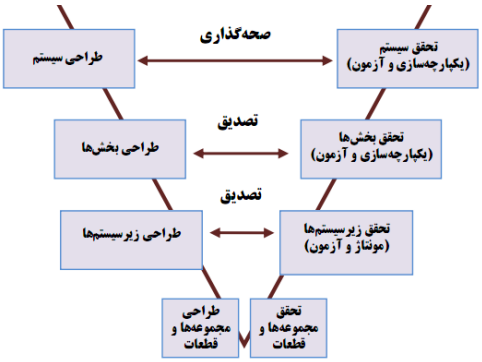


شکل ۲- مدل مفهومی یکپارچه‌سازی پیشنهادی سامانه‌های هوایی

جدول ۱- چرخه عمر محصول، فازها، نقاط بازنگری، تصمیم‌گیری‌های کلیدی [۲۷]

	مرحله(عوامل)	فاز(مولفه ها)	نقاط بازنگری فنی	نقاط تصمیم گیری کلیدی	نقاط یکپارچه‌سازی
محدوده تحقیق (طراحی و مهندسی)	طراحی مفهومی	۱-نیازسنجی (تحلیل نیاز و ایده پردازی)	۱- بازنگری تعریف ماموریت		
		۲-امکان سنجی و استخراج مشخصات سیستم	۲- بازنگری فناوری های مورد نیاز و الزامات سیستم ۳- بازنگری مفهومی ماموریت	۱-تصمیم گیری امکان پذیری محصول	(بازنگری طراحی اولیه) PDR
	یکپارچه‌سازی آمادگی فناورانه، سند بیانیه نیاز و ویژگی‌های محصول				
	طراحی و توسعه سیستم	۳-طراحی مقدماتی و توسعه فناوری	۴- بازنگری طراحی مقدماتی و توسعه فناوری ۵ -نقاط بازنگری ایمنی		
		۴-طراحی تفصیلی	۶- بازنگری طراحی تفصیلی و آمادگی ساخت نمونه تحقیقاتی		
		۵-ساخت و یکپارچه سازی و آزمون زیرسامانه ها	۷- بازنگری آزمون زیر سامانه ها ۸- بازنگری آمادگی آزمون پروازی		
		۶-تصدیق، صحه گذاری و آزمون نمونه تحقیقاتی	۹- بازنگری تحلیل نتایج آزمون پروازی	۲-تصمیم گیری انتقال فناوری برای تولید	(بازنگری طراحی بحرانی/خاص) CDR
	یکپارچه‌سازی آمادگی فناورانه، سند بیانیه نیاز و ویژگی‌های محصول				
تولید و بهره‌برداری و ارتقاء و از رده خارج کردن	تولید	۷-آماده سازی برای تولید	۱۰- بازنگری اتمام تحقیقات پروژه و آمادگی نمونه تولید		
		۸-ساخت و آزمون نمونه تولیدی	۱۱- بازنگری آمادگی تولید انبوه	۳-تصمیم گیری تولید محصول	
		۹-تولید انبوه و تست تحویل دهی			
	بهره برداری و ارتقاء	۱۰-بهره برداری و پشتیبانی	۱۲- بازنگری رضایت کاربر ۱۳- بازنگری آمادگی بهینه سازی و ارتقاء		
		۱۱-بهینه سازی و ارتقاء			
		۱۲-تصدیق و صحه گذاری ارتقاء	۱۴- بازنگری بهینه سازی و ارتقاء		
		۱۳-بهره برداری محصول ارتقاء یافته	۱۵- بازنگری آمادگی از رده خارج کردن ۱۶- نقاط بازنگری ایمنی		
	وارهایی	۱۴-از رده خارج کردن	۱۷- بازنگری از رده خارج کردن		

تحویل تدریجی محصول علاوه بر تعامل بهره بردار در ۸ بازنگری بیان شده و احیاناً تعاملات نوبعی، حداقل در دو نقطه تصمیم‌گیری کلیدی امکان‌پذیر است.



شکل ۳- مدل وی[۱۶] [۲۷]

[16] .Vee

همان‌گونه که در توصیف فعالیت‌های مربوط به فازهای مختلف چرخه عمر مشاهده میشود، یکپارچه‌سازی در کنار سایر ابزارهای مهم پشتیبانی، در بسیاری از تصمیم‌گیری‌های مهندسی سیستم‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد تا از میان گزینه‌های مختلفی که هر یک در ویژگی خاصی نسبت به یکدیگر برتری دارد، یک گزینه به‌عنوان گزینه برتر انتخاب شود. با توجه به اهمیت حیاتی تصمیم‌گیری در حوزه مهندسی سیستم‌ها، فرایند انتخاب گزینه یا راه حل برتر معمولاً بر اساس مجموعه‌ای از معیارهای ارزیابی صورت می‌گیرد و درجایی که امکان تعریف معیارهای ارزیابی و درنتیجه، امکان ارزش‌گذاری و مقایسه عددی گزینه‌ها وجود ندارد، صرفاً تجارب موفق گذشته مبنای تصمیم‌گیری قرار می‌گیرد. اما یکپارچه‌سازی، به‌ویژه زمانی که قرار است پشتوانه یک تصمیم یا انتخاب مهم قرار گیرد، تابع یک فرایند رسمی و حساب‌شده است. نقاطی از بال سمت راست مدل وی که جهت انجام یکپارچه‌سازی و تحویل تدریجی محصول ماموریت محور پیشنهاد می شود در شکل ۲ نشان داده شده است.

این نقاط به‌عنوان یکی از گزینه‌های تصمیم‌گیری و راه حل برتر واحیاناً تحویل تدرجی محصولات کلان و پیچیده قابل تعامل هستند.

فرضیه‌های تحقیق بر اساس مدل مفهومی تحقیق، شامل عوامل یکپارچه‌سازی و فازها و ارتباطات بین آنها به شرح ذیل می باشند.

فرضیه ۱: مرحله(عامل) سند بیانیه نیاز تاثیر معناداری بر ویژگی‌های محصول در مدیریت طراحی سیستمی کلان محصولات هواپایه دفاعی دارد.

فرضیه ۲: مرحله(عامل) ویژگی‌های محصول بر آمادگی فناورانه تاثیر معناداری در مدیریت طراحی سیستمی کلان محصولات هواپایه دفاعی دارد.

فرضیه۳: مرحله(عامل) آمادگی فناورانه تاثیر معناداری بر یکپارچه‌سازی در مدیریت طراحی سیستمی کلان محصولات هواپایه دفاعی دارد.

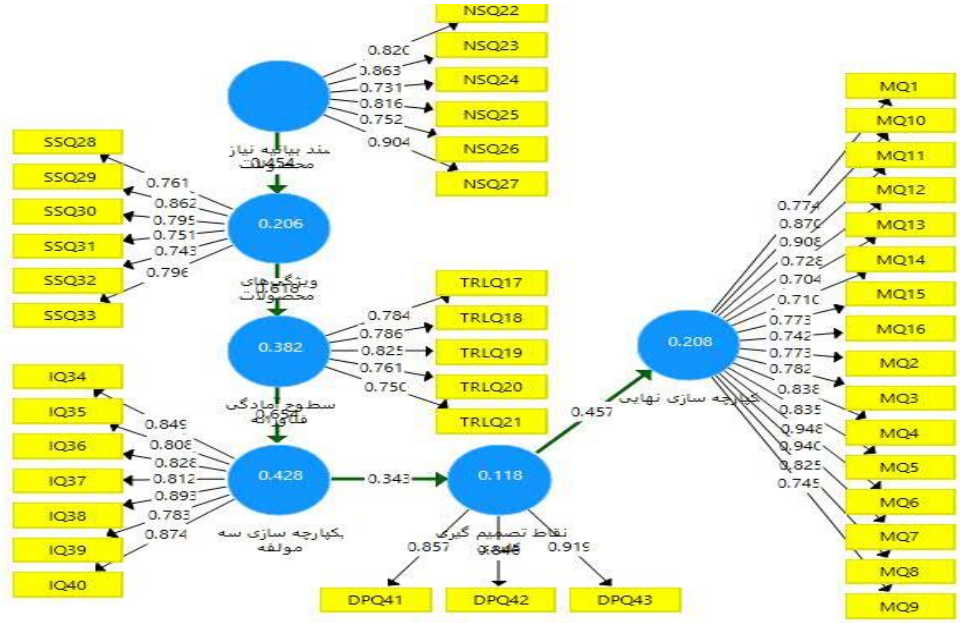
فرضیه ۴: مرحله(عامل) یکپارچه‌سازی تاثیر معناداری بر نقاط تصمیم‌گیری کلیدی در مدیریت طراحی سیستمی کلان محصولات هواپایه دفاعی دارد.

برای آزمون فرضیات، تحلیل عاملی تائیدی شکل ۴، ارتباط گویه‌ها را با سازه‌های تحقیق مورد بررسی قرار می‌دهد.

یکی از شاخص‌های تأیید روابط در مدل ساختاری، معنادار بودن ضرایب مسیر می‌باشد، چنانچه مقدار به‌دست‌آمده بالای حداقل آماره در سطح مورد اطمینان در نظر گرفته‌شده باشد، آن رابطه یا فرضیه تأیید می‌شود. خروجی گرافیکی مدل مسیر در نرم‌افزار PLS نشان می‌دهد که ضرایب مسیر بر روی روابط ایجاد شده بین متغیرهای برون‌زا و درون‌زا (مدل ساختاری) و روابط بین متغیرهای مشاهده‌پذیر و پنهان (مدل اندازه‌گیری) محاسبه‌شده‌اند و محقق می‌تواند در سطح معناداری مدنظرش نسبت به رد یا تأیید روابط نتیجه‌گیری نماید. مسیر گرافیکی در واقع معناداری کل مدل را نشان می‌دهد که دربرگیرنده مدل ساختاری و مدل‌های اندازه‌گیری می‌باشد.

نتایج خروجی تحلیل مدل بیانگر این است که ضریب معناداری ۵ مسیر میان مؤلفه‌های تعیین‌شده در مدل مفهومی تحقیق از ۱.۹۶ بیشتر است که این مطلب حاکی از معنی‌دار بودن تأثیر مستقیم عوامل مدل بر سایر مؤلفه‌ها می‌باشد و در سطح اطمینان ۹۵ درصد باعث تأیید فرضیه‌های تحقیق می‌شود. (شکل۴). تحلیل رابطه میان متغیرهای اصلی(عوامل یا مدل پیشنهادی) به شرح ذیل هستند.

شدت رابطه میان متغیر بیانیه نیاز با متغیر ویژگی‌های محصول برابر ۰.۴۵۴ بدست آمده است که مقدار قابل قبولی محسوب می شود و بیانگر این مطلب است که متغیر بیانیه نیاز به میزان ۴۵ درصد از تغییرات متغیر ویژگی‌های محصول در مدل پیشنهادی را تبیین می‌کند. آماره آزمون نیز ۷.۲۶۹ بدست آمده که بزرگ تر از مقدار t در سطح خطای ۵٪ یعنی ۱/۹۶ است. بنابراین فرضیه اول مبنی بر تاثیر معنادار بیانیه نیاز بر ویژگی‌های محصول در یکپارچه‌سازی سامانه‌های هوایی تایید می‌شود.



شکل ۴: مدل مفهومی تحقیق و ضرایب استاندارد بار عاملی- خروجی تحلیل مدل در PLS

شدت رابطه میان ویژگی‌های محصول با متغیر سطح آمادگی فناورانه (فرضیه اول) برابر ۰.۶۱۸بدست آمده است که مقدار قابل قبولی محسوب شده و بیانگر این مطلب است که متغیر ویژگی‌های محصول به میزان ۶۱.۸ درصد از تغییرات متغیر سطح آمادگی فناورانه در مدل پیشنهادی یکپارچه‌سازی را تبیین می‌کند. آماره آزمون نیز ۱۱.۸۶۹ بدست آمده که بزرگ تر از مقدار t در سطح خطای ۵٪ یعنی ۱/۹۶ است. بنابراین فرضیه دوم مبنی بر تاثیر معنادار ویژگی‌های محصول با متغیر سطح آمادگی فناورانه و تبیین در مدل یکپارچه‌سازی سامانه‌های هوایی تایید می‌شود. شدت رابطه میان متغیر سطح آمادگی فناورانه با متغیر یکپارچه‌سازی برابر ۰.۶۵۴ بدست آمده که مقدار قابل قبولی محسوب می شود و بیانگر این مطلب است که متغیر سطح آمادگی فناورانه به میزان ۶۵.۴ درصد از تغییرات متغیر یکپارچه‌سازی در مدل پیشنهادی یکپارچه‌سازی را تبیین می‌کند. آماره آزمون نیز ۱۲.۲۲۵ بدست آمده که بزرگ تر از مقدار t در سطح خطای ۵٪ یعنی ۱/۹۶ است. بنابراین فرضیه سوم مبنی بر تاثیر معنادار سطح آمادگی فناورانه با متغیر یکپارچه‌سازی در مدل یکپارچه‌سازی سامانه‌های هوایی تایید می‌شود. شدت رابطه میان متغیر یکپارچه‌سازی با متغیر نقاط تصمیم‌گیری کلیدی برابر ۰.۳۴۳بدست آمده است که مقدار قابل قبولی محسوب می گردد و بیانگر این مطلب است که متغیر یکپارچه‌سازی به میزان ۳۴.۳ درصد از تغییرات متغیر از نقاط تصمیم گیری کلیدی در مدل پیشنهادی یکپارچه‌سازی را تبیین می‌کند. آماره آزمون نیز ۴.۱۹۳ بدست آمده که بزرگ تر از مقدار t در سطح خطای ۵٪ یعنی ۱/۹۶ است. بنابراین فرضیه چهارم مبنی بر تاثیر معنادار یکپارچه‌سازی بر متغیر نقاط تصمیم‌گیری کلیدی در مدل پیشنهادی یکپارچه‌سازی سامانه‌های هوایی تایید می‌شود.

جدول ۲: ضرایب معناداری بارهای عاملی و ضرایب مسیر و نتیجه آزمون متغیرهای تحقیق

	مسیر		ضریب مسیر	معناداری	نتیجه آزمون
۱	NSQ (بیانیه نیاز)	SSQ	0.454	7.269	تایید
۲	SSQ (ویژگی‌های محصول)	TRL	0.618	11.869	تایید
3	TRL (سطح‌آمادگی‌فناورانه)	IQ	0.654	12.225	تایید
4	IQ (یکپارچه‌سازی)	DPQ	۰.۳۴۳	۴.۱۹۳	تایید

نتایج حاصل از ضرایب معناداری بارهای عاملی و ضرایب مسیر و متغیرهای تحقیق که در جدول ۲ ارائه شده بیانگر این است که ضریب معناداری 6 مسیر میان متغیرهای مشاهده پذیر و پنهان و مؤلفه‌های تعیین‌شده در مدل مفهومی تحقیق، ز ۱.۹۶ بیشتر است که این مطلب حاکی از معنی‌دار بودن تأثیر مستقیم عوامل مدل بر سایر مؤلفه‌ها می‌باشد و در سطح اطمینان ۹۵ درصد باعث تأیید

فرضیه‌های تحقیق و اعتبار مناسب مدل یکپارچه‌سازی سامانه‌های هوایی ارائه شده می‌شود. مابقی نتایج و جزئیات آن‌ها در رساله محقق آمده است.

۸- دستاوردهای تحقیق

مطالعه پژوهش های انجام شده در حوزه مهندسی سیستم بیانگر این مطلب است که مدل های یکپارچه‌سازی عناصر اصلی توسعه محصولات تحقیقاتی پیچیده شامل نیاز مشتری ، ویژگی محصول و مرور فناوری‌های مورد نیاز، عمدتا مربوط به سامانه‌های هوافضایی نظیر موشک، ماهواره بر و ماهواره بوده و برای سامانه‌های هوایی نظیر هواپیما، بالگرد و پهپاد فعالیت مدون و سازمان یافته‌ای با رویکرد مهندسی سیستم، انجام نشده و در حد پژوهش‌های موردی به این مهم پرداخته شده است. در این تحقیق، با رویکرد مهندسی سیستم و با توجه به الگوهای معتبر یکپارچه-سازی و مولفه های بکار رفته در آنها، یکپارچه‌سازی سامانه‌های هوایی، متناسب با ساختار سازمانی، الزامات، محدودیت‌ها، مقتضیات و شرایط خاص بومی طراحی و توسعه سامانه‌های هوایی پیچیده و به ویژه تحویل تدریجی محصول در ایران تدوین شده است. جامعیت یکپارچه‌سازی آمادگی فناورانه، سند بیانیه نیاز و ویژگی‌های محصول که در تحقیق حاضر تبیین شده، از ویژگی ها و دستاورد اصلی این تحقیق است.

نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل استنباطی داده‌ها و یافته های تحقیق حاضر، بیانگر روایی، پایایی و اعتبار مناسب مدل تحقیق می باشد و می توان مدل یکپارچه‌سازی ارائه شده را در سازمان ها و مراکز تحقیقاتی طراحی و توسعه سامانه‌های هوایی مورد استفاده قرار داد و در صورتی که کلیه فعالیت ها و فرایندهای مهندسی سیستم و نیز نقاط تصمیم‌گیری کلیدی و خروجی‌های اصلی که در مدل ارائه شده است، رعایت و پیاده سازی شود، محصولاتی تدریجی مطابق استاندارد و با کیفیت مطلوب و مورد نظر مشتری خلق می شود. مدل یکپارچه‌سازی آمادگی فناورانه، سند بیانیه نیاز و ویژگی‌های محصول در مدیریت طراحی سیستم‌های کلان محصولات هواپایه تاثیر مهم و بسزایی در افزایش توان بهره‌بردار خواهد داشت.

مدل مفهومی یکپارچه‌سازی سامانه‌های هوایی پیچیده شکل ۲، شامل ۳ مرحله اصلی آمادگی فناورانه، سند بیانیه نیاز و ویژگی‌های محصول در مدیریت طراحی سیستم‌های کلان محصولات هواپایه دفاعی بومی می باشد. از ویژگی‌های بارز این الگو، بلوغ تدریجی، تکامل مرحله به مرحله، پاسخ مرحله‌ای سریعتر به نیازهای عملیاتی در صحنه عملیات، تزریق فناوری‌های توسعه یافته به محصول در طی فرایند بلوغ سیستم، ایجاد بستر آموزش کاربری و پشتیبانی سیستم همزمان با ایجاد و یا توسعه محصول نهایی، ایجاد بستر ارزیابی اثربخشی سیستم قبل از ادامه مسیر طراحی، ایجاد و توسعه محصولات مختلف منشعب از طرح اصلی و بکارگیری همزمان نمونه‌های مختلف طرح در محیط‌های بهره‌بردار و پشتیبانی است. کاربرد این مدل در صنایع و محصولات مشابه و ترکیب مدل یکپارچه‌سازی با روش‌ها و متدهای دیگر از جمله تصمیم‌گیری چند معیاره می‌تواند مضوعات تحقیقات آتی باشد.

۹- منابع

[1] Van Horn, D., Olewnik, A., & Lewis, K. (2012). Design analytics: capturing, understanding, and meeting customer needs using big data. International Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference.

[2] Mir Fakhredini, S., & Shabani, A. (2015). Customer participation in new product development, scientific-research journal of business management, 8th year, 16. (in Persian)

[3] Li, L., Wang, Z., Li, Y., & Liao, A. (2021). Impacts of consumer innovativeness on the intention to purchase sustainable products. Sustainable Production and Consumption, 27, 774-786.

[4] Ghasem, F. (2017). Evaluation and use of technology levels, Defense Industries Educational and Research Institute publication, 2017. (in Persian)

[5] Sauser, B., Ramirez-Marquez, J. E., Magnaye, R., & Tan, W. (2008). A system approach to expanding the technology readiness level within defense acquisition.

[6] Conrow, E. H. (2011). Estimating technology readiness level coefficients. Journal of Spacecraft and Rockets, 48(1), 146-152.

[7] Jimenez, H., & Mavris, D. N. (2014). Characterization of technology integration based on technology readiness levels. Journal of Aircraft, 51(1), 291-302.

[8] Straub, J. (2015). In search of technology readiness level (TRL) 10. Aerospace Science and Technology, 46, 312-320.

[9] Héder, M. (2017). From NASA to EU: the evolution of the TRL scale in Public Sector Innovation. The Innovation Journal, 22(2), 1-23.

[10] Bates, C. A., & Clausen, C. (2020). Engineering readiness: How the TRL Figure of Merit coordinates technology development. Engineering studies, 12(1), 9-38.

[11] Ma, J. (2021). Data-driven TRL Transition Predictions for Early Technology Development in Defence. Defence Science Journal, 71(6).

[12] Zutin, G. C., Barbosa, G. F., de Barros, P. C., Tiburtino, E. B., Kawano, F. L. F., & Shiki, S. B. (2022). Readiness levels of Industry 4.0 technologies applied to aircraft manufacturing—a review, challenges and trends. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 120(1-2), 927-943.

[13] Mittal, V., & Gillespie, S. (2022). Using Model-Based Systems Engineering to Avoid Unnecessary Technology Resulting From Dynamic Requirements. IEEE Transactions on Engineering Management.

[14] Shawalpour, S., & Tayibi Javed, E. (2019). typology of factors affecting the success of knowledge integration in production and development projects of complex products and systems, Technology Development Management Quarterly / Volume 8, Number 1. (in Persian)

[15] Lu, S.-Y., ElMaraghy, W., Schuh, G., & Wilhelm, R. (2007). A scientific foundation of collaborative engineering. CIRP annals, 56(2), 605-634.

[16] ElMaraghy, W. (2009). Knowledge Management in collaborative engineering. International Journal of Collaborative Engineering, 1(1-2), 114-124.

[17] Guo, X., Liu, Y., Zhao, W., Wang, J., & Chen, L. (2021). Supporting resilient conceptual design using functional decomposition and conflict resolution. Advanced Engineering Informatics, 48, 101262.

[18] Jiao, R., Commuri, S., Panchal, J., Milisavljevic-Syed, J., Allen, J. K., Mistree, F., & Schaefer, D. (2021). Design engineering in the age of industry 4.0. Journal of Mechanical Design, 143(7), 070801.

[19] Wolff, C., Tendyra, P., & Wiecher, C. (2021). Agile Systems Engineering in Complex Scenarios. 2021 11th IEEE International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications (IDAACS).

[20] NASA-SP 6105 .(2007). NASA Systems Engineering Handbook. s.l : National Aeronautics and Space Administration (NASA).

[21] Azar, A., Ghadir Khaljani, J., & Hashemi Majumard, S. (2014). presenting a model for evaluating conceptual design options in complex defense product development projects considering the continuity and mutual influence of risks, Scientific-Research Journal of Management Improvement Year 9, No. 3, Piyai 29. (in Persian)

[22] Dmitriev, A., & Mitroshkina, T. (2019). Improving the efficiency of aviation products design based on international standards and robust approaches. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering.

[23] Yousefi, O., Ghasemian, M., & Haj Heydari, N. (2018). "Evaluation of technology readiness level and estimation of costs related to it in light class submarine", Evaluation of technology readiness level and estimation of costs related to it. (in Persian)

[24] Yu, J. C., Wahls, R. A., Esker, B. M., Lahey, L. T., Akiyama, D. G., Drake, M. L., & Christensen, D. P. (2021). Total Technology Readiness Level: Accelerating Technology Readiness for Aircraft Design. AIAA AVIATION 2021 FORUM.

[25] Vik, J., Melås, A. M., Stræte, E. P., & Søraa, R. A. (2021). Balanced readiness level assessment (BRLa): A tool for exploring new and emerging technologies. *Technological Forecasting and Social Change*, *169*, 120854.

[26] Rodionov, N. (2022). Analysis and graphical visualization of the dependence of the quality parameters of the UAV airframe in the conditions of additive manufacturing based on QFD analysis.

[27] Esadi, M. (2017). presentation of the design and development model of complex aerial systems for the special case of high-flying drones with a system engineering approach, Ph.D., Imam Hossein University, Tehran. (in Persian).

Technology Readiness Level, Mission Need Statement and Product Specification Balance Pattern in Macro System Design Management of Native Defense Aviation Products - A Case Study of Aircraft Design

Mahdi Googerdchian[17]
(Corresponding Author) Ph.D. student of Industrial, Department of Industrial Engineering & Systems Center, Techno-Engineering Faculty and Research Center, Imam Hossein Comprehensive University, Tehran, Iran.
mahdigoogerdchi1402@gmail.com

Mahdi Asadi
Assistant Prof. Department of Industrial Engineering & Systems Center, Techno-Engineering Faculty and Research Center, Imam Hossein Comprehensive University, Tehran, Iran. masadi@ihu.ac.ir

Seyed Ziauddin Ghazizade Fard
Associate Prof. Department of Industrial Engineering and Systems Center, Techno-Engineering Faculty and Research Center, Imam Hossein Comprehensive University, Tehran, Iran. szghazizadeh2041@gmail.com

Sohail Emamian
Assistant Prof. Department of Industrial Engineering & Systems Center, Techno-Engineering Faculty and Research Center, Imam Hossein Comprehensive University, Tehran, Iran. imsoheil2041@gmail.com

Abstract: Cost, quality and design time of macro integrated products are important and necessary factors in design management. The aim of the current research is to provide an integration model for technological readiness, requirements statement document and also description of product features in the management of macro system design in domestic air base products. In particular, the research intends to reduce the time required for the final delivery of the product by identifying and prioritizing the real and prospective needs of customers/users, while applying gradual changes and evolutionary measures. The research method is survey-descriptive in terms of execution. In fact, the approach of data survey and analysis is carried out quantitatively using exploratory and confirmatory factor analysis. The results obtained from the significant factor loading coefficient and path coefficients as well as the test results of the research variables show the following. The significant coefficient of six paths - among the visible and hidden variables in addition to the components determined in the research conceptual model - is higher than 1.96 at the 95% reliability level. These numerical results confirm the research hypothesis and validity of the model fit.

Keywords: Integration, technological readiness, requirement statement document, product features, macro system design management, air base products.

[17] Corresponding Author: mahdigoogerdchi1402@gmail.com

Aim and Introduction

Time, quality and cost of realizing the design of an air product are three decisive factors in the management of such projects. These three basic factors constitute design management, which should be controlled and optimally managed during all design stages. One of the characteristics of these projects is the time-consuming execution, very high cost, and the continuous change of technology and user needs due to the change of environmental conditions such as the operation scene. which has caused the realization of the design quality of air products after a long time and spending considerable resources, and because of this, sometimes the output of the new product does not have the appropriate power to carry out the defined missions and defend against the desired missions. On the other hand, although speeding up the completion of these projects is a main need, haste in the design can lead to loss of quality, reduction of safety, and the production of a dangerous or low-efficiency, non-updated, or customer-less product. Among the solutions while maintaining quality and cost management considerations, it can have a great impact on reducing the time of technology-oriented product design and production, is the process of gradual delivery of products. This solution can be effective in the user's scene according to the mission of the product. The method of integrating technological readiness, document of requirement statement and product features in the management of macro system design of indigenous airbase products, with the approach of gradual delivery of the product in key revisions, believes that while reducing time, costs, quality and maintaining the key features of the product, current needs and the future of the beneficiary is fulfilled. This model has four document sections: statement of need (customer need), technological readiness (technology assessment), product features and integration, which will be briefly explained.

1. The requirement statement or customer requirement document is the correct understanding of the latent and manifest needs of operational users. Wen et al. (2012) described the analysis of designing, capturing, understanding and meeting customer needs using big data. They believe that meeting customer needs occurs in three stages during the design process. In simple terms, the initial, middle and final stages of the design process are planned in order of preparation to develop an understanding of customer needs, reach the final design concept and analyze and support the performance and usage specifications of the product [13]. In 2016, Mir Fakhredini et al. investigated the role of customer participation in the development of new products. They considered the purpose of their research to investigate the role of customer participation on new product development. The results of this research show a positive and meaningful relationship between customer participation on new product development [10]. Li et al. (2021), expressed the effects of consumer innovation with the aim of purchasing sustainable products. They believe that the concept of consumer (customer) innovation expresses the desire to buy and use new products in the shortest time and earlier than other competitors, and they have evaluated this as an important characteristic [7]. The requirement statement document is a tool that can clearly extract the real needs of the customer in the interaction of the company or the operator.
2. Technology readiness or technology evaluation is one of the pillars of integration [5]. Suzer et al. (2009) presented a systemic approach to expand the level of technology readiness in defense acquisition. They claimed that additional criteria are needed in technology transfer. One of these criteria is the level of technological readiness, which is provided to evaluate the readiness of technologies [12]. Conroe (2011) stated the scales of technology readiness level. Technology readiness level scales are 9 common levels and have composite

coefficients that are obtained to estimate the values of the main technology readiness level scale and using the Analytical Hierarchy Process (AHP) [1]. Ma (2021), proposes a framework for predicting technology readiness level transitions for early technology development in defense. Evaluating the level of technological readiness in large and complex products will make it possible to plan the gradual delivery of the product during the design and final delivery in addition to the final delivery of the product and if the user agrees [9].

3. The importance of product features and systems in complex products play a vital and increasing role in the development of the modern economy and shape the competitive advantage of countries [13]. Lu et al. (2007) presented a new design method to manage the complexity of the product design and development phase. This method is known as collaborative engineering (ECN), which is based on the research theories taken from the studies of engineering groups and the socio-technical framework and the processes of reaching joint decisions [8]. In (2009), ElMaraghy has presented the design and architecture framework for the development of complex products and their detailed and detailed design. This framework, which is called V model, is one of the most widely used diagrams in the design of air systems [3]. Goa et al., in (2021), presented flexible conceptual design using functional analysis and resolving contradictions in the product design phase. They believe that concept generation plays an important role in product design, especially in the early design phase and when functional requirements are unclear or partially known. In order to avoid the uncertainty imposed in a different work environment, flexible design is often used to increase the system capacity from the perspective of functional requirements [6]. As stated, identifying the characteristics of large and complex products during the design time (and production etc.) will make it possible to gradually deliver the product in interaction with the customer according to the user's Possible.
4. Product integration, which is one of the product realization processes in system engineering, builds the system structure. The goal of the integration process is to systematically integrate products from lower levels or subsystems to higher levels (such as product, related units, subsystems, or user tasks), ensure the correct functioning of the integrated product, and transfer the product. Product integration is required at every level of the product hierarchy. Activities related to product integration occur throughout the product life cycle. These activities include all the gradual steps, including tests related to each level, which are necessary to complete the assembly of each product and make it possible to test a higher product [11]. Dmitriev (2019) presented the improvement of the design efficiency of aviation products based on international standards and strong approaches. This article considers the possibility of using QFD, robust design and other advanced approaches to design innovative air products [2]. Yu et al. (2021) expressed the level of total technological readiness to accelerate technological readiness for aircraft design [15]. The product review process can be done at 17 points of the product life cycle process, of which 2 points are more important and necessary. The integration of the target of this research can be done at least in these two critical points. In this case, performing this integration, according to the user's opinion, can achieve the gradual delivery of the Maorit-oriented product before the delivery of the final product.

According to most of the research presented, so far no model or method for integration between the three components of the research has been done and in some cases it has been done between two components or each of them. Also, the gradual delivery of the product has not been paid. Based on this, in the previous researches, a model that can integrate or balance the three components of technological readiness, document of need statement and product features in the management of macro system design has not been done. As a result, the necessity of doing this

model, especially for organizations with complex product design, is the suggestion of this research.
The hypotheses of this research include integration factors and phases and the connections between them as follows.
Hypothesis 1: The stage (factor) of the requirement statement document has a significant effect on the product features in managing the macro system design of defense air base products.
Hypothesis 2: The stage (factor) of product characteristics has a significant effect technological readiness in the management of the macro-systemic design of defense air base products.
Hypothesis 3: The stage (factor) of technological readiness has a significant effect on integration in the management of the macro system design of defense air base products.
Hypothesis 4: The stage (factor) of integration has a significant impact on the key decision points in managing the macro system design of defense air base products.

Methodology

As stated in the previous section, technological integration, customer needs and product features that are planned in accordance with the arrangements and in interaction with the operator, which can lead to the gradual delivery of the product and the time to access the product at the stage of use. Reduce the vector, it has not been evaluated as a model. In this research, the integration model, after defining the customer's needs, the possibility of designing and carrying out the project according to the phases of the project's life cycle and his approach in system engineering is examined, in order to determine and compile the product features, the feasibility of the project and also, the ability and permission to enter the design and development phases should also be determined. Among the salient features of this model are gradual maturity, step-by-step evolution, faster step-by-step response to operational needs in the operation scene, the possibility of injecting and applying developed technologies to the product during the system maturation process, creating a platform for user training and Simultaneously with the creation or development of the final product, system support is the creation of a basis for evaluating the effectiveness of the system before proceeding with the design process, the creation and development of different products branching from the main design, and the simultaneous use of different samples of the design in the operating and support environments. This integration creates an opportunity to review the customer's pre-defined demands, and on the other hand, it provides the possibility of delivery and use in the review user stage, as well as the necessary platform to ensure entering the next steps.
The key decision points (KDP) in this research are the points of the project's life cycle where, in accordance with the planned arrangements in interaction with the user, the possibility of gradual product delivery in the present and future has been examined, and in order to deliver the primary, intermediate and... Or the final decision is made.
In the proposed model of integration of technological readiness, document of need statement and product features in managing the design of macro systems of indigenous defense airbase products for airbase systems, from the current research focused on 2 points of key decision points from 6 design and engineering phases of It is the life cycle of the product, although it is possible to make decisions in other points according to this model [4]. In this research, available documents, interviews and questionnaires were used to collect the required data. Questionnaire tool was used for model validation and reliability. The statistical population of the research

consisted of 202 industry and university experts who had the necessary experience and background in the field of design and development of air systems and system issues. which is suitable according to the type of research society. The content validity of the questionnaire was confirmed according to Lavshe's method (CVR > 0.49). Cronbach's alpha method was used to determine the reliability of the questionnaire as well as the reliability of the factors and components used in the conceptual model. The results of the analysis related to the reliability values of the factors, components and also the reliability of the whole research based on Cronbach's alpha value was (0.954), indicating the appropriate validity and reliability of this model.

The inferential analysis process of the research data should be done according to the type of data, the size of the statistical sample and the goal of the researcher, with the approach of structural equations using the partial least squares method and the reflective measurement model and with Smart PLS and SPSS software.

Findings

The proposed model for the integration of air systems includes three main parts of technological readiness, the requirement statement document and product features in the management of the macro system design of air base products and a stage called key decision points. To test hypotheses, confirmatory factor analysis examines the relationship between items and research constructs. One of the indicators of confirming the relationships in the structural model is the significance of the path coefficients, if the value obtained above the minimum statistic is considered at the confidence level, that relationship or hypothesis is confirmed. The graphical output of the path model in PLS software shows that the path coefficients are calculated on the relationships between exogenous and endogenous variables (structural model) and relationships between observable and hidden variables (measurement model). The researcher can draw conclusions regarding the rejection or confirmation of relationships at the desired level of significance. The graphic path actually shows the significance of the whole model, which includes the structural model and measurement models. The output results of the model analysis indicate that the coefficient of significance of 5 paths among the components determined in the conceptual model of the research is greater than 1.96, which indicates the significance of the direct effect of the factors of the model on other components, and at the 95% confidence level, it confirms the hypotheses of the research. The analysis of the relationship between the main variables (proposed factors or model) are as follows.

The intensity of the relationship between the need statement variable and the product features variable is equal to 0.454, which is an acceptable value and indicates that the need statement variable explains 45% of the changes in the product features variable in the proposed model. The test statistic is also 7.269, which is greater than the t value at the 5% error level, i.e. 1.96. Therefore, the first hypothesis based on the significant impact of the statement of need on product features in the integration of air systems is confirmed. The intensity of the relationship between the product features and the technological readiness level variable (first hypothesis) is equal to 0.618, which is considered an acceptable value and indicates that the product features variable accounts for 61.8% of the changes in the technological readiness level variable in the proposed model. The test statistic is also 11.869, which is greater than the t value at the 5% error level, i.e. 1.96. Therefore, the second hypothesis based on the significant effect of product characteristics with the variable of technological readiness level and explanation in the air systems integration model is confirmed.

The intensity of the relationship between the technological readiness level variable and the integration variable is equal to 0.654, which is an acceptable value and indicates that the technological readiness level variable explains 65.4% of the changes in the integration variable in the proposed integration model. The test statistic is also 12.225, which is greater than the t value at the 5% error level, i.e. 1.96. Therefore, the third hypothesis based on the significant effect of the technological readiness level with the integration variable in the air systems integration model is confirmed. The results of the significance coefficients of the factor loadings and the path coefficients and the test results of the research variables indicate that the significance coefficient of the 6 paths between the observable and hidden variables and the components determined in the research conceptual model is greater than 1.96. This article indicates the significance of the direct effect of the model factors on other components and at the 95% confidence level, it confirms the research hypotheses and the appropriate validity of the presented air systems integration model.

Discussion and Conclusion

The results obtained from the inferential analysis of the data and findings of this research show the validity, reliability and validity of the research model, and the proposed integration model can be used in organizations and research centers for the design and development of air systems. If all activities and processes of system engineering, as well as key decision points and main outputs presented in the model, are observed and implemented, gradually products will be created according to the standard and with the desired quality and desired by the customer. The integration model of technological readiness, requirement statement document and product features in managing the design of macro systems of air base products will have an important and significant impact on increasing the user's ability. The conceptual model for the integration of complex air systems includes the 3 main stages of technological preparation, the requirement statement document and product features in the management of the design of macro-systems of indigenous defense air base products. Some of the prominent features of this pattern are: gradual maturity, step by step evolution, faster phased response to operational needs in the scene of operations, injection of developed technologies into the product during the system maturation process, creating a platform for user training and system support at the same time as creating or developing the final product, creating a platform for evaluating the effectiveness of the system before proceeding with the design process, creation and development of various branched products from the main design and simultaneous use of different design examples in operating and support environments. The application of this model in similar industries and products and the combination of the integration model with other methods including multi-criteria decision making can be the subject of future research.

Reference

[1] Conrow, E. H. (2011). Estimating technology readiness level coefficients. Journal of Spacecraft and Rockets, 48(1), 146-152.
[2] Dmitriev, A., & Mitroshkina, T. (2019). Improving the efficiency of aviation products design based on international standards and robust approaches. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering.
[3] ElMaraghy, W. (2009). Knowledge Management in collaborative engineering. International Journal of Collaborative Engineering, 1(1-2), 114-124.

[4] Esadi, Mohsen (2017), presentation of the design and development model of complex aerial systems for the special case of high-flying drones with a system engineering approach, Ph.D., Imam Hossein University, Tehran.
[5] Ghasem, F. (2017). Evaluation and use of technology levels, Defense Industries Educational and Research Institute publication, 2017. (in Persian)
[6] Guo, X., Liu, Y., Zhao, W., Wang, J., & Chen, L. (2021). Supporting resilient conceptual design using functional decomposition and conflict resolution. Advanced Engineering Informatics, 48, 101262.
[7] Li, L., Wang, Z., Li, Y., & Liao, A. (2021). Impacts of consumer innovativeness on the intention to purchase sustainable products. Sustainable Production and Consumption, 27, 774-786.
[8] Lu, S.-Y., ElMaraghy, W., Schuh, G., & Wilhelm, R. (2007). A scientific foundation of collaborative engineering. CIRP annals, 56(2), 605-634.
[9] Ma, J. (2021). Data-driven TRL Transition Predictions for Early Technology Development in Defence. Defence Science Journal, 71(6).
[10] Mir Fakhredini, S., & Shabani, A. (2015). Customer participation in new product development, scientific-research journal of business management, 8th year, 16. (in Persian)
[11] NASA-SP 6105 .(2007). NASA Systems Engineering Handbook. s.l : National Aeronautics and Space Administration (NASA).
[12] Sauser, B., Ramirez-Marquez, J. E., Magnaye, R., & Tan, W. (2008). A system approach to expanding the technology readiness level within defense acquisition.
[13] Shawalpour, S., & Tayibi Javed, E. (2019). typology of factors affecting the success of knowledge integration in production and development projects of complex products and systems, Technology Development Management Quarterly/ Volume 8, Number 1. (in Persian)
[14] Van Horn, D., Olewnik, A., & Lewis, K. (2012). Design analytics: capturing, understanding, and meeting customer needs using big data. International Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference.
[15] Yu, J. C., Wahls, R. A., Esker, B. M., Lahey, L. T., Akiyama, D. G., Drake, M. L., & Christensen, D. P. (2021). Total Technology Readiness Level: Accelerating Technology Readiness for Aircraft Design. AIAA AVIATION 2021 FORUM.