Archive of SID

ارزیابی سطح بلوغ فناوری و برآورد هزینه‌های مرتبط با آن در زیردریایی کلاس سبک

ام‌البنین یوسفی[1*]
مهدی قاسمیان[2]
ندا حاج‌حیدری[3]

چکیده

فرایند تعیین و اندازه‌گیری سطح بلوغ فناوری و برآورد هزینه توسعه آن برای سازمان‌های پیشرو در تحقیق و توسعه، امری مهم تلقی می‌شود. در این رابطه نیاز است تا رویکردهای بومی متناسب با شرایط حاکم بر فضای کشور، ایجاد شده و توسعه داده شوند. این پژوهش، به دنبال ایجاد و توسعه چنین رویکردی برای دستیابی به فناوری‌های دومنظوره در یک زیردریایی کلاس سبک انجام شد. فناوری مذکور، نتیجه تحقیق و توسعه داخلی در بازه سال‌های ۹۷- ۹۶ در یکی از صنایع نظامی بوده است. بدین منظور، ابتدا با استفاده از دو ماتریس خانه کیفیت، خواسته‌های اصلی مشتریان و الزامات کارکردی-عملکردی تشریح و سطح فناوری مشخص شد. سپس، به تعیین و تجزیه‌وتحلیل شکاف موجود در سطح فناوری فعلی پرداخته شد و با استفاده از مشخصه‌های فنی فناوری، آمادگی آن به‌صورت کمّی مورد ارزیابی قرار گرفت. درنهایت، با تعیین سطح آمادگی فناوری، هزینه‌های موجود فناوری حاضر، توسط تکنیک هزینه بر مبنای فعالیت محاسبه شد. نتایج نشان داد که فناوری مذکور سطح ۴ را به پایان رسانده و اکنون در سطح ۵ قرار دارد. رویکرد ارائه‌شده را می‌توان به‌عنوان راهنمایی برای بخش تحقیق و توسعه سازمان‌ها مورد استفاده قرار داد.

واژه‌های کلیدی:

توسعه فناوری، بلوغ فناوری، ارزیابی آمادگی فناوری، سطوح آمادگی فناوری.

---

۱ . عضو هیئت علمی، مهندسی صنایع، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، شاهین شهر، اصفهان.
* نویسنده عهده‌دار مکاتبات: yousefi_1302@yahoo.com
۲ . کارشناسی ارشد، مهندسی صنایع، واحد نجف آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف آباد، اصفهان.
۳ . کارشناسی ارشد، مهندسی صنایع، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، شاهین شهر، اصفهان.

www.SID.ir

Archive of SID

مقدمه

انتخاب و اکتساب فناوری‌های پیچیده و نوظهور، برای سازمان‌های صنعتی یا نظامی دارای اهمیت راهبردی است. اغلب سازمان‌های صنعتی برای حفظ جایگاه خود در عرصه رقابت داخلی و جهانی و کسب بازار بیش‌تر از فناوری‌های جدید استفاده می‌کنند. صنایع نظامی نیز به‌منظور بالا بردن توان امنیتی و دفاعی کشور و افزایش استقلال و اقتدار درصدد دستیابی به جدیدترین و کارآمدترین فناوری‌ها می‌باشند (صادق‌عمل‌نیک، ۱۳۸۴).

در سازمان‌های صنعتی ایران به دلایل مختلف (فرهنگی، تاریخی، تحریم و غیره)، اکتساب فناوری‌ها اغلب به شکل انتقال فناوری از خارج (البته با تأخیر زمانی زیاد) صورت می‌گیرد. استفاده از این رویکرد برای صنایع دفاعی امکان‌پذیر نبوده و این صنایع برای حفظ و ارتقای قدرت بازدارندگی دفاعی (با توجه به تهدیدهای روزافزون در حوزه فناوری‌های نظامی)، ناگزیر به انتخاب رویکرد اکتساب فناوری‌های نوظهور از طریق شیوه‌هایی مانند تحقیق و توسعه هستند (محمدی و همکاران، ۱۳۹۵).

اکتساب فناوری از طریق تحقیق و توسعه، به‌طورمعمول چالش‌های متعددی را پیش روی سازمان‌ها قرار می‌دهد. از جمله این موارد، هزینه‌های سنگین و زمان‌بر بودن آن‌ها است. بر اساس اسناد منتشره ناسا، به‌طور میانگین توسعه یک فناوری جدید (از ابتدا تا زمانی که بتوان آن را مورد استفاده قرار داد) ۱۲ سال به طول می‌انجامد (فولادی و نپوری‌زاده، ۱۳۹۱). از دیگر چالش‌های اکتساب از طریق تحقیق و توسعه، مسئله انتخاب مناسب‌ترین فناوری با توجه به اهداف حال و آینده سازمان است. تصمیم نادرست می‌تواند فاجعه‌بار باشد. چراکه علاوه بر صرف زمان و اعتبارها، به خارج شدن از گردونه رقابت یا سلب فرصت پاسخ به تهدیدها نیز منجر خواهد شد. در این میان، داشتن ارزیابی درست از وضعیت بلوغ فناوری و کسب اطمینان از امکان‌پذیری توسعه آن در داخل سازمان یا کشور و نیز وجود برآورد واقع‌بینانه از هزینه‌های توسعه، دو فاکتور اساسی در تحلیل موضوعات یاد شده است. نکته قابل‌توجه این است که با توجه به تحقیقات انجام‌شده در مطالعه‌های داخلی و خارجی، مسائل بسیاری چه از نظر ساختاری و چه از نظر سازمان‌دهی در مواجهه با ارزیابی فناوری ایجاد می‌شود؛ بنابراین، استفاده از یک سیستم اندازه‌گیری مناسب برای تخمین وضعیت آمادگی فناوری امری ضروری تلقی می‌شود. علاوه بر این، در بیش‌تر موارد به‌منظور ارزیابی یک فناوری تنها عوامل فنی را اندازه‌گیری می‌کنند و به جنبه‌های دیگر برنامه نظیر هزینه و سایر موارد نمی‌پردازند (منکینس[1]، ۲۰۰۹). در صنایع و

1 . Mankins

www.SID.ir

Archive of SID

مراکز تحقیقاتی ایران برخلاف سایر کشورها (که فعالیت‌های تحقیق و توسعه آن‌ها بر پایه اصول و فرآیند مهندسی سیستم انجام می‌شود) ادبیات یکسانی در امر تحقیق و توسعه وجود نداشته و کلیه این فعالیت‌ها بر اساس ذهنیات یا تجربه‌های مشابه انجام می‌شود. همچنین در کشورهای پیشرفته، جغرافیای ارزیابی فناوری کل جهان است؛ به این معنی که ممکن است یک فناوری در کشورهای دیگر بالغ شده باشد، اما برای کشوری نظیر ایران به علت شرایط حاکم بر آن (اعم از تحریم‌ها و فشارهای جهانی) در دسترس نباشد (فولادی و نپوری‌زاده، ۱۳۹۱).

با توجه به مسائل مطرح‌شده فوق و مسائلی که سازمان‌های فناوری محور دنبال می‌کنند، بحث بومی‌سازی و اکتساب فناوری در اولویت قرار می‌گیرد. لذا، سیر و توسعه فناوری‌های برتر، بلوغ فناوری و همچنین دسته‌بندی و برآورد هزینه‌های فناوری مورد نظر از مباحث مهم در صنایع فناوری محور است. سازمان دفاعی، از جمله صنایعی است که برخلاف سایر صنایع برای توسعه محصولات خود نیازمند اکتساب فناوری‌های نوظهور است. از طرف دیگر، در بیش‌تر موارد پروژه‌های کاربردی و صنعتی از فناوری‌های بالغ شده در سطح دنیا استفاده می‌کنند و معمولاً با فناوری‌هایی که موجود نیستند و یا باید به وجود بیایند، سروکار ندارند. محصولی که در این پژوهش مورد بررسی گرفته است، از جمله این فناوری‌ها است. این فناوری در نوع خود نوظهور، زیرساختی و با کاربردی دومنظوره (تجاری-نظامی) است. محققان این سازمان موفق شده‌اند طی چندین سال تلاش و در شرایط تحریم همه‌جانبه، نمونه‌ای آزمایشگاهی و اولیه از این محصول را ساخته و امکان‌پذیری فنی طراحی و ساخت داخلی این فناوری پیشرفته را تا حد زیادی به اثبات برسانند. آنچه در تحقیق حاضر به‌عنوان سؤال اصلی مطرح می‌شود این است که؛ «چگونه می‌توان به‌صورت تقریبی سطح آمادگی فعلی برای این فناوری نوظهور را شناسایی و تعیین کرد» و «چگونه می‌توان برآورد هزینه دستیابی به سطح بلوغ فناوری را به همراه تجزیه‌وتحلیل و دسته‌بندی هزینه‌ها انجام داد؟».

در ادامه تحقیق حاضر، ابتدا مروری بر پیشینه تحقیق انجام می‌شود. سپس مراحل انجام تحقیق تشریح شده و پس‌ازآن، یافته‌های تحقیق به‌صورت گام‌به‌گام تجزیه‌وتحلیل شده‌اند. درنهایت نیز نتایج حاصل از انجام پژوهش و محدودیت‌های آن مورد بحث و بررسی قرار گرفته و پیشنهادهایی برای تحقیقات آتی ارائه شده است.

www.SID.ir

Archive of SID

مبانی نظری و پیشینه پژوهش

تعیین سطح فناوری

بر اســاس تحقیقات صورت گرفته توســط وهاب و همکاران[1] (۲۰۱۲)، فناوری همواره با دســتیابی به نتایج خاص، حل برخی از مشکل‌ها و انجام برخی از وظایف همراه بوده و در این زمینه از مهارت‌های خاص، دانش و دارایی‌ها اســتفاده می‌کند. از طرف دیگر، فناوری را می‌توان متشکل از دو مؤلفه اصلی در نظر گرفت: مؤلفه فیزیکی که شــامل مواردی مانند محصولات، ابزار، تجهیزها، طرح‌ها، تکنیک‌ها و فرایندهاســت و مؤلفه اطلاعاتی که شامل مهارت در مدیریت، بازاریابی، تولید، کنترل کیفیت، قابلیت اطمینان و زمینه‌های کارکردی است.

مطابق با نظر لزاما نیکولاس و همکاران[2] (۲۰۱۸)، اســتفاده از فناوری‌های جدید دارای پتانســیل رقابتی زیادی هســتند. ازاین‌رو، همــواره خطرهای زیادی در این زمینه وجــود دارد. به‌منظور تعیین میزان موفقیت یک فناوری، می‌توان بلوغ آن فناوری[3] را مورد بررســی قرار داد. ارزیابی بلوغ فناوری و تجزیه‌وتحلیل‌های مربوط به آن نشــان می‌دهد که آیا توسعه یک فناوری می‌تواند وظیفه مورد انتظار را بــرآورده ســازد یا خیــر؟. بلوغ فناوری، عملکرد فعلــی و فرضی فناوری را در بــر می‌گیرد. عملکرد فناوری بر اساس پارامترهای عملکردی خاص آن فناوری و در طی دوره بلوغ آن تعیین می‌شوند. این پارامترها در طول یک منحنی s شکل از سطح بسیار پایین به سمت حداکثر عملکرد توسعه می‌یابند (آلبــرت[4]،۲۰۱۶). لیلجاندر و همکاران[5] (۲۰۰۶)، ارزیابی آمادگی فناوری[6] را فرایندی نظام‌مند در نظر می‌گیرنــد. این فرایند به ارزیابی و اندازه‌گیری بلوغ فناوری‌های معینی که در ســامانه‌ها یا محصولات مورد استفاده قرار می‌گیرد، کمک می‌کند. یکی از روش‌هایی که به کمک آن می‌توان بلوغ یک فناوری را ارزیابی نمود، مدل سطح آمادگی فناوری (TRL)[7] است. مدل سطح آمادگی فناوری، با هدف ارزیابی سطح بلوغ یک فناوری خاص برای اولین بار توسط سازمان ناسا[8] مطرح گردید و تحت عنوان سیستم

1 . Wahab et al.
2 . Lezama-Nicolas et al.
3 . Technology Maturity
4 . Albert
5 . Liljander et al.
6 . Technology Readiness of Assessment
7 . Technology Readiness Level (TRL)
8 . National Aeronautics and Space Administration (NASA)

www.SID.ir

Archive of SID

اندازه‌گیـری در نظر گرفته شـد (آلتونک و ککمک[1]، ۲۰۱۰). کنلی و الخـوری[2] (۲۰۱۲)، این مدل را به‌عنوان ابزاری در نظر می‌گیرند که می‌تواند به تعیین سطح مشخصی از وضعیت خاص یک سیستم پرداخته و به‌عنوان اسـتانداردی مفید و کوتاه برای ارزیابی و طبقه‌بندی بلوغ فناوری (در چرخه عمر) استفاده شود. مطابق با نظر این نویسندگان، گسترش این مدل به‌صورت گسترده به ایجاد یک استاندارد عمومی منجر خواهد شد که می‌تواند به مدل‌های سه‌بعدی مرتبط شود.

باچنر و همکاران[3] (۲۰۱۸)، نیز سطح آمادگی فناوری را به‌عنوان یک مفهوم رایج در ارزیابی بلوغ تحقیق و توسـعه در نظر گرفته‌اند که بر مبنای اطلاعات موجود بلوغ فناوری را اندازه‌گیری می‌نماید و در پروژه‌های تحقیق و توسـعه صنعتی، دانشـگاهی و دولتی مورد استفاده قرار می‌گیرد. از نظر آنان تعیین معیارهای یکسـان برای جمع‌آوری اطلاعات سطوح مختلف فناوری در صنایع گوناگون اشتباه رایجی اسـت. ازاین‌رو، باید برای هر صنعت معیارهای خاصـی در نظر گرفت (معیارهایی که برای هر صنعت بومی‌سازی شده‌اند) و اطلاعات موجود برای تجزیه‌وتحلیل بلوغ فناوری در این صنعت را مطابق با این معیارها جمع‌آوری نمود. بر اساس نظر منکینس[4] (۱۹۹۵)، مقیاس سطح آمادگی فناوری یک‌باره ظاهر نشد، بلکه در طی سه مرحله ظهور یافت و به همین ترتیب در طول چند دهه در جامعه مدیریت هوافضا و سیستم‌های پیشرفته فناوری مورد پذیرش قرار گرفت. سطح آمادگی فناوری، برای اولین بار در دهه ۸۰ میلادی مطرح گردید. در این زمان، سطوح آمادگی فناوری شامل هفت سطح بود و توسط سادین و همکاران[5] تعریف شده بود (نولت[6]، ۲۰۰۸). پس‌ازآن، این سطوح توسط منکینس (۲۰۰۲) تا نُه سطح افزایش یافت. مطابق جدول ۱ هر یک از این سطوح دارای تعاریف مشخصی می‌باشند.

مطابق با تحقیقات صورت گرفته توسـط شنسی و همکاران[7] (۱۹۹۹)، سازمان حسابداری آمریکا (گائو)[8] بررسی گسترده‌ای در خصوص استفاده از سطح آمادگی فناوری در پروژه‌ها و طرح‌های تحقیقاتی دفاعی انجام داده و در نهایت به وزارت دفاع آمریکا پیشنهاد کرده است که از این ابزار در ارزیابی بلوغ فناوری برنامه‌های دفاعی خود استفاده کند. سازمان مذکور، در بررسی‌های خود به این نتیجه رسیده

1 . Altunok & Cakmak
2 . Kenley & El-Khoury
3 . Buchner et al.
4 . Mankins
5 . Sadin et al.
6 . Nolte
7 . Schinasi et al.
8 . Government Accountability Office (GAO)

www.SID.ir

Archive of SID

است که هرچه فناوری در شروع بالغ‌تر باشد موفقیت برنامه در دستیابی به اهدافش محتمل‌تر است و استفاده از فناوری‌های نابالغ در توسعه یک محصول باعث افزایش قیمت و تأخیر در برنامه خواهد شد. بررسی پروژه‌های مختلف دفاعی و غیر دفاعی توسط بخش‌های مختلف سازمان دفاع آمریکا نشان داده است که چنانچه سطح آمادگی یک فناوری پایین‌تر از سطح شش یا هفت باشد احتمال بروز خطر در پروژه بالا خواهد بود اما پس از گذر از این سطح به‌شدت کاهش می‌یابد.

جدول ۱: توصیف سطوح نه‌گانه آمادگی فناوری توسط ناسا (منکینس، ۲۰۰۲)

ردیف	سطح آمادگی فناوری	توصیف
۱	اصول پایه مشاهده و گزارش شد	این سطح، پایین‌ترین سطح بلوغ فناوری است. در این سطح تحقیقات علمی پایه انجام می‌گردد و به‌عنوان مبنایی برای تحقیقات و توسعه‌های کاربردی در نظر گرفته می‌شود.
۲	شکل‌گیری مفهوم / کاربرد فناوری	در این سطح، می‌توان کاربردهای عملی مشخصه‌های فناوری مورد نظر را شناسایی کرد. گفتنی است که در این سطح، کاربردها هنوز ذهنی و گمانی هستند و تجزیه‌وتحلیل مفصل در خصوص اثبات آن‌ها صورت نگرفته است.
۳	اثبات مفهومی مشخصه‌های کلیدی به‌صورت نظری و تجربی	این سطح با فرایند بلوغ تحقیق و توسعه فعال شروع می‌شود. فعالیت‌های تحقیق و توسعه باید شامل مطالعه‌های تحلیلی و آزمایشگاهی باشند و نتایج حاصل از مفاهیم و کاربردهای فرموله شده در سطح ۲ را به اثبات برسانند.
۴	تأیید مؤلفه/ نمونه تابلویی[1] در محیط آزمایشگاه	در این سطح، مؤلفه‌های اصلی فناوری مورد نظر یکپارچه شده و اثبات می‌شود که اجزا با یک‌دیگر کار کرده و عملکرد موردنظر را در محیط آزمایشگاه مهیا می‌سازند. به‌عبارت‌دیگر، در این سطح اجزا به‌صورت دستی، موقت و مجزا بر روی میز آزمایشگاه به هم وصل شده‌اند.
۵	تأیید مؤلفه/ نمونه تابلویی در محیط مرتبط با کاربرد	در این سطح، مؤلفه‌های اصلی فناوری بر عناصر واقعی متکی شده و می‌توان در یک محیط شبیه‌سازی‌شده کاربردها را در سطح مؤلفه، زیرسامانه و سامانه آزمون نمود.
۶	نمایش مدل سامانه/ زیرسامانه یا نمونه در محیط مرتبط با کاربرد	در این سطح، مدلی از سامانه یا نمونه اولیه از آن در یک محیط مرتبط آزمون می‌شود. درصورتی‌که محیط مرتبط یک محیط فضایی باشد می‌بایست مدل یا نمونه در فضا به نمایش گذاشته شود.

1 . Breadboard

www.SID.ir

Archive of SID

ردیف	سطح آمادگی فناوری	توصیف
۷	نمایش نمونه سامانه در محیط عملیاتی	در این سطح، نمونه‌ای از سامانه واقعی در محیط واقعی به نمایش گذاشته می‌شود. این نمونه باید نزدیک به سامانه عملیاتی اصلی یا در مقیاس همانند آن بوده و در محیط عملیاتی مورد آزمایش قرار گیرد.
۸	بررسی کیفیت سامانه واقعی کامل شده از طریق آزمون و نمایش	این سطح، پایان فرایند توسعه فناوری را نشان می‌دهد. در این حالت فناوری جدید با سامانه موجود یکپارچه می‌شود.
۹	اثبات عملکرد سامانه واقعی در مأموریت‌های عملیاتی	در این سطح، عیب و ایرادهای احتمالی برطرف می‌گردد.

در جدول فوق، منظور از نمونه آزمایشگاهی[1] عبارت است از اجزای یکپارچه‌ای که نمایشی از یک سیستم/ زیرسیستم را ارائه کرده و می‌تواند برای تعیین شدنی بودن سیستم و توسعه داده‌های فنی، مورد استفاده قرار گیرد. معمولاً چنین نمونه‌ای برای استفاده‌های آزمایشگاهی طراحی می‌شود تا کارکردها و اصول فنی را بدون توجه به شکل و اندازه، در معرض نمایش قرار دهد. این نمونه، شباهتی به محصول نهایی ندارد اما در کارایی همانند سیستم/ زیرسیستم نهایی عمل می‌کند.

نمونه اولیه[2] کارایی محصول نهایی را نشان می‌دهد و از نظر شکل و اندازه باید در مقیاسی باشد که بتوان موارد حیاتی مورد نیاز در محصول نهایی را بررسی کرد. این نمونه را می‌توان به‌عنوان اولین نمونه مهندسی در نظر گرفت.

محیط عملیاتی[3]، محیطی است که دارای تمام نیازمندی‌های عملیاتی و مشخصه‌های مورد نیاز برای سیستم نهایی بوده و قرار است محصول نهایی در آن به کار گرفته شود. محیط مرتبط[4]، محیطی برای آزمون کردن است که جنبه‌های کلیدی محیط عملیاتی، مانند مشخصه‌های فیزیکی و شیمیایی را شبیه‌سازی می‌کند. محیط آزمایشگاهی[5] نیز محیطی است که برای آزمون مفاهیم اولیه مورد استفاده قرار می‌گیرد و شباهتی به محیط عملیاتی ندارد (فولادی و نپوری زاده، ۱۳۹۱).

1 . Breadboard
2 . Prototype
3 . Operational Environment
4 . Relevant Environment
5 . Laboratory Environment

www.SID.ir

Archive of SID

مطابق با نظر گریتینجر و همکاران[1] (۲۰۰۲)، به‌منظور تعیین سطح فناوری مورد نظر می‌توان از ابزار محاسبه‌کننده سطح آمادگی فناوری[2] استفاده کرد. این ابزار به‌منظور ارزیابی فناوری از مجموعه سؤال‌هایی در نرم‌افزار اکسل استفاده می‌کند. با پاسخ به این سؤال‌ها (به‌صورت بله/ خیر) می‌توان سطح آمادگی فناوری را تعیین کرد. لازم به ذکر است که این سؤال‌ها استاندارد بوده و می‌توانند برای هر فناوری درحال‌توسعه‌ای، اعم از سخت‌افزاری و نرم‌افزاری مورد استفاده قرار گیرند. نسخه اصلی محاسبه‌کننده مدل سطح آمادگی فناوری توسط دپارتمان انرژی[3] (۲۰۰۷) ارائه شده و محدود به سؤال‌هایی تا TRL۶ است؛ زیرا هدف اصلی مرکز تحقیقات نیروی هوایی ایالت متحده رسیدن فناوری به TRL۶ بوده است. این در حالی است که در نسخه کامل آن‌که در ویرایش AFRL ۲,۲[4] ارائه شده، سؤال‌های مربوط به سطوح نُه‌گانه فناوری آورده شده است. مطابق این ویرایش تعداد سؤال‌های TRL۱ تا TRL۹ به‌ترتیب عبارت است از: ۱۲، ۲۶، ۳۱، ۴۴، ۴۷، ۴۶، ۲۹، ۲۲ و ۱۴ عدد.

نکته حائز اهمیت این است که این سؤال‌ها دارای دسته‌بندی خاصی نمی‌باشند و این مسئله خودارزیابی فناوری را دچار مشکل می‌کند. مطابق با تحقیقات انجام‌شده در این پژوهش در گزارش شرکت نیکسوز (در خروجی یکی از جداول آن) به دسته‌بندی سؤال‌های مدل سطح آمادگی فناوری اشاره شده است. این دسته‌بندی، بر اساس معیارهای ارائه شده در جدول ۲ صورت گرفته است (گزارش رولین[5]، ۲۰۱۴).

1 . Graettinger et al.
2 . Technology Readiness Level Calculator
3 . Department of Energy
4 . Air Force Research Laboratory (AFRL)
5 . Rolin

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۲: معیارهای دسته‌بندی سؤال‌های مدل سطح آمادگی فناوری (گزارش رولین، ۲۰۱۴)

ردیف	معیارهای دسته‌بندی سؤال‌های مدل سطح آمادگی فناوری	توضیحات
۱	نیازهای مشتری و بازار	متولی فناوری، خواسته‌های مشتری و نماینده مشتری در توسعه فناوری، تعیین نقاط عطف کنترل، دسترسی به زمان‌بندی مشخص‌شده و ...
۲	طراحی و توسعه	فرضیه‌های پژوهش، زمان و مکان پژوهش، اجزا و سیستم‌ها، توسعه استراتژی اولیه به‌منظور دستیابی به TRL۶، تشخیص و تخمین ویژگی‌های عملکردی و اندازه‌گیری، نمونه مهندسی، تجزیه‌وتحلیل داده‌ها، تعیین محرک‌های هزینه، مستندسازی، طراحی مبسوط و ...
۳	آزمون و تأیید	تشخیص اجزای فناوری به‌صورت جزئی، آزمون اجزای فناوری، مطالعه‌های تحلیلی و آزمایشی، آزمون اجزای زیرسیستم‌ها در محیط آزمایشگاهی، آزمون سیستم در محیط مربوطه و...
۴	یکپارچه‌سازی	بخش‌های بحرانی فناوری، مدل‌سازی و شبیه‌سازی، مونتاژ مقیاس آزمایشگاهی، تشخیص الزامات ارتباط سیستم، یکپارچه‌سازی در محیط مقیاس الگو، ارتباط بین مجموعه سیستم‌ها و زیرسیستم‌ها در مقیاس مهندسی، تکمیل طراحی‌های اولیه و ...
۵	محیطی و ایمنی	شناسایی فرآیندهای اصلی خطر، شناسایی و ارزیابی خطرهای اولیه، شناسایی محدوده مشخصه‌های فیزیکی و شیمیایی، تهیه لیست نهایی از خطرهای شناسایی شده و راهکارهای مقابله با آن‌ها و ...
۶	ساخت و معیار پذیری	انجام مطالعه‌های مقیاس‌پذیری، قابلیت ساخت‌پذیری، شناسایی فرایندهای تولید و ارزیابی در محیط آزمایشگاهی، چگونگی ارتقا از محیط آزمایشگاهی به محیط‌های دیگر، تعیین تکنیک‌های ساخت، بلوغ فرایندها و زیرساخت‌های تولید و ...

برآورد هزینه‌های فناوری

فرآیند ارزیابی فناوری و به‌تبع آن مدل سطح آمادگی فناوری و سطوح نه‌گانه آن دارای هزینه‌هایی می‌باشند که باید برآورد شوند. مطابق با بررسی‌های صورت گرفته توسط اسموکر و اسمیت[1] (۲۰۰۷)، در وزارت دفاع، ناسا و نیروی هوایی (ایالات‌متحده) تخمین هزینه‌ها در چرخه بلوغ فناوری، بسیار

1 . Smoker & Smith

www.SID.ir

Archive of SID

زودتر از آنچه باید، صورت می‌گیرد. در فاصله بین TRL۳ تا TRL۵ که دانش لازم برای فناوری به حد بلوغ می‌رسد، مهندسان و افرادی که وظیفه تخمین هزینه را بر عهده دارند، دید روشن‌تری نسبت به هزینه‌های واقعی فناوری پیدا می‌کنند. بررسی گزارش‌های منتخب به دست آمده (SAR)[1] از نیروی هوایی و وزارت دفاع (ایالات‌متحده) در این پژوهش نیز گواه همین مطلب است. مطابق این گزارش‌ها، به دلیل این‌که تا TRL۳ و سطوح پایین‌تر از آن، هنوز فناوری به سطح آمادگی مطلوب نرسیده است، پیش‌بینی هزینه‌ها برای اولین بار از TRL۴ آغاز و به TRL۹ ختم می‌شود.

محدوده مدل سطح آمادگی فناوری بین TRL۵ تا TRL۷ به‌عنوان «دره مرگ» شناخته می‌شود، زیرا پیشرفت فناوری‌ها در این سطوح مشکل است. علت بارز این مشکل وجود فناوری‌هایی است که تا TRL۲، TRL۳، TRL۴ و در موارد محدودی تا TRL۵ (قبل از آزمایش نمونه اولیه) در داخل دانشگاه‌ها پیشرفت می‌کنند اما توسط صنعت مورد استفاده قرار نمی‌گیرند. علاوه بر این، فقدان سرمایه‌گذار برای تأمین مالی در TRL۵ تا TRL۷ و افزایش شدید بودجه موردنیاز نسبت به سرمایه‌گذاری در سطوح قبلی، از عوامل دیگری هستند که به نام‌گذاری سطوح TRL۴، TRL۵ و TRL۶ به نام دره مرگ منجر خواهند شد (تریله و همکاران[2]، ۲۰۱۵).

یکی از روش‌های تخمین هزینه، تکنیک هزینه‌های مبتنی بر فعالیت (ABC)[3] است. کانایا[4] (۲۰۱۵)، تکنیک هزینه‌های مبتنی بر فعالیت را به‌عنوان روشی معرفی می‌کند که فعالیت‌های یک سازمان را مشخص کرده و به هر یک از آن‌ها هزینه‌ای اختصاص می‌دهد. به کمک این تکنیک هزینه‌ها بر اساس منابع مورد نیاز متمایز می‌شوند. اغلب سازمان‌هایی که مدیریت مبتنی بر فعالیت دارند از این روش استفاده می‌کنند. در این‌گونه از سازمان‌ها تکنیک هزینه‌های مبتنی بر فعالیت به تصمیم‌گیری مناسب برای قیمت‌گذاری، اضافه یا حذف موارد از سبد محصول، انتخاب بین برون‌سپاری و تولید داخلی و ارزیابی طرح‌های بهبود فرایند کمک می‌کند. استفاده از این روش، ابزار حسابداری در یک سازمان را به سیستم پشتیبان تصمیم‌گیری مدیریت تغییر داده و اطلاعاتی فراهم می‌کند که ضمن کمک به تصمیم‌های عملیاتی، تاکتیکی و استراتژیک کنترل هزینه‌های شرکت را نیز بهبود می‌بخشد. در این روش، محرک‌های هزینه با توجه به سربارهای مربوط به فعالیت‌های تولیدی خاص ایجاد

1 . Selected Acquisition Reports, Various Programs, 1970 to 2003
2 . Terrile et al.
3 . Activity Based Cost (ABC)
4 . Kannaiah

www.SID.ir

Archive of SID

می‌شود (بریمسون[1]، ۱۹۹۸).

هزینه برآورد شده برای یک محصول جدید می‌تواند بر اساس مصرف محصولات در این فعالیت‌ها تعیین شود (ژانگ و همکاران[2]، ۱۹۹۶). تعداد فعالیت‌هایی مورد نیاز و اینکه از کدام‌یک از محرک‌های هزینه باید اســتفاده شود، از جمله مشکل‌های اصلی کاربران در پیاده‌سازی تکنیک هزینه‌های مبتنی بر فعالیت است. جواب ساده‌ای برای این سؤال‌ها وجود ندارد. مطابق با نظر للکس[3] (۲۰۰۹)، پاسخ این سؤال‌ها به تعداد محصولات، مجموعه هزینه فعالیت‌ها، تنوع اندازه بسته‌های محصولات و سهولت در دسترسی به داده‌های محرک هزینه‌ها وابسته است.

هرکدام از این عوامل در مورد سازمان‌های مختلف، متفاوت خواهد بود؛ بنابراین، راه‌حل انتخاب‌شده برای یک سازمان با راه‌حل یک سازمان دیگر متفاوت است. سیستم هزینه‌های مبتنی بر فعالیت وابسته به جزئیات فعالیت‌ها و محرک هزینه‌های منتخب اســت. محرک هزینه‌ها می‌تواند به‌صورت مستقیم و از طریق مشــاهده عملکرد فرایند یا به‌صورت غیرمســتقیم و از طریق بررسی و مصاحبه با کارکنان به‌دست آید. کوپر[4]، (۲۰۰۶)، به‌منظور افزایش درستی سیستم‌های هزینه‌های مبتنی بر فعالیت محرک هزینه فعالیت‌ها را به سه دسته تقسیم نموده است. این سه دسته عبارت‌اند از محرک تراکنش، محرک مدت‌زمان و محرک حجم. محرک تراکنش، زمانی محاسبه می‌شود که فعالیتی اتفاق بیفتد. محرک‌های تراکنش برجسته عبارت‌اند از: تعداد جایگزین‌سازی‌ها و تعداد سفارش‌ها. محرک مدت‌زمان، طول زمان فعالیت مورد نظر را ارائه می‌دهد. اگرچه اندازه‌گیری و ثبت این محرک نسبت به محرک تراکنش بسیار پرهزینه‌تر است ولی نتایج بسیار دقیق‌تری ارائه می‌دهد.

خدارحمی (۱۳۹۳)، عوامل اصلی بهای تمام‌شده در روش هزینه‌های مبتنی بر فعالیت را به‌طورکلی در ســه دسته طبقه‌بندی می‌نماید. دســته اول مواد اولیه هستند که به‌عنوان رکن اصلی تولید کالا و محصولات در نظر گرفته شده‌اند. این مواد به‌صورت مستقیم یا به‌صورت غیرمستقیم و به‌منظور تکمیل ســاخت کالا (با مصرف ناچیز) مورد اســتفاده قرار می‌گیرند. دسته دوم هزینه‌های مربوط به دستمزد (کار) است. منظور از دستمزد، حقوق و حق‌الزحمه‌ای است که در جریان تولید و ساخت و برای تبدیل مواد به کالا به کارگران پرداخت می‌شود. دستمزد نیز به دو بخش تقسیم خواهد شد: دستمزد مستقیم

1 . Brimson
2 . Zhang et al.
3 . Lelkes
4 . Cooper

www.SID.ir

Archive of SID

که بابت تبدیل مواد اولیه به کالای ساخته‌شـده به افراد پرداخت می‌شـود و دستمزد غیرمستقیم که به‌صورت مستقیم در ساخت و ترکیب کالای ساخته شده نقش نداشته است؛ مانند حقوق نگهبانان و سرکارگران کارخانه و غیره. نهایتاً دسته سوم تحت عنوان سایر هزینه‌ها (سربار خدمت) در نظر گرفته شده‌اند. این هزینه‌ها عبارت‌اند از کلیه هزینه‌هایی که در جریان تولید اتفاق می‌افتد، ولیکن نمی‌توان آن‌ها را به‌طور مستقیم و مشخص به اقلامی از تولید یا محصولی خاص اختصاص داد. هزینه‌های مواد غیرمستقیم تولید، دستمزد غیرمستقیم، هزینه تعمیرات، هزینه‌های استهلاک ماشین‌آلات، هزینه بیمه و سایر موارد مشابه از جمله این هزینه‌ها هستند.

به‌منظور تعیین فعالیت‌ها در سیستم هزینه‌های مبتنی بر فعالیت، می‌توان از ساختار شکست کار (WBS)[1] استفاده نمود. ساختار شکست کار، داده‌های مختلف را برای سطوح مدیریت خلاصه می‌کند و اطلاعات مناسب را در مورد وضعیت پیش‌بینی‌شده، واقعی و فعلی فعالیت‌ها فراهم می‌نماید. ساختار شکسـت کار وضعیت برنامه را به‌طور مداوم مشـخص می‌نماید و در این صورت مدیر برنامه، می‌تواند تغییرهای لازم برای اطمینان از عملکرد مطلوب را شناسایی و اجرا کند. شناسایی و تعیین فعالیت‌ها به این شکل علاوه بر آن‌که محدوده پروژه را مشخص می‌سازد، مانع ازقلم‌افتادگی فعالیت‌ها نیز می‌شود. علاوه بـر تکنیک هزینه‌های مبتنی بر فعالیت، از تکنیک‌های دیگـری نیز به‌منظور تخمین هزینه‌ها استفاده می‌شود. تکنیک پارامتری[2]، تکنیک قیاس[3]، تکنیک پایین به بالا[4]، تکنیک رجوع به خبرگان[5]، تکنیک مبتنی بر ویژگی و تکنیک مبتنی بر قانون[6] از جمله این موارد می‌باشند.

درک و شناسایی نیاز مشتری

همان‌گونه که در ابتدا گفته شد، شناسایی نیاز مشتری یکی از شرایط ورود به فناوری است. مطابق با نظر آتش‌سوز (۱۳۹۴)، رویکردهای مختلفی برای شناسایی نیازهای مشتریان وجود دارد. مدل زنجیره ارزش پورتر، مدل گسترش عملکرد کیفیت (QFD)[7]، نقشه راه فناوری و رویکرد فرایند محور از جمله این رویکردهاست. گسترش عملکرد کیفیت تکنیکی پیشرفته و جالب برای طراحی محصول و خدمات

1 . Work Breakdown Structure (WBS)
2 . Parametric
3 . Analogy
4 . Bottoms-Up
5 . Expert Judgment
6 . Rule Based
7 . Quality Function Deployment (QFD)

www.SID.ir

Archive of SID

اســت که با استفاده از آن کلیه خواسته‌ها و نیازهای مشتریان، شناسایی می‌شود. این روش با عناوین دیگری نظیر صدای مشــتری (VOC)[1] و خانه کیفیت نیز معرفی می‌شــود. غالباً تکنیک گســترش عملکرد کیفیت به‌عنوان یک فعالیت مدیریتی و متناســب با دیدگاه مشــتری‌گرا شناخته می‌شود و با یک روش تجزیه‌وتحلیل سامان‌مند قادر به انتقال خواسته‌های مشتریان به واحدهای مختلف بازاریابی و فروش، برنامه‌ریزی تولید و سایر بخش‌های سازمان است.

مطابق با نظر جیسوال[2] (۲۰۱۲)، گسترش عملکرد کیفیت ابزاری کیفی است که به ترجمه صدای مشــتری کمک کرده و به‌طور واقعی می‌تواند نیازهای آنان را تأمین کند. به‌عبارت‌دیگر، خواســته‌ها و نیازهای مشتریان در طراحی محصول جدید لحاظ شده و محصول نهایی مطابقت بیش‌تری با نظر آنان خواهد داشت. علاوه بر این درک بهتری از تمام عملیات ساخت و طراحی (از مرحله طراحی مفهومی تا تولید نهایی) فراهم آورده و با رفع مشکلات در اوایل مراحل طراحی به افزایش بهره‌وری منجر خواهد شــد. این ابزار در اواخر دهه ۱۹۶۰ در ژاپن تکوین یافت و در ســال ۱۹۸۳ به کشورهای آمریکا و اروپا معرفی شد.

شــاهین (۲۰۰۵)، نیز پس از انجام مطالعه بر روی گســترش عملکرد کیفیت و مقایسه آن با سایر روش‌های کیفی اذعان می‌دارد که این روش مناسب‌ترین روش در طراحی و جلب رضایت مشتری بوده و بر مبنای مباحث کنترل کیفیت بنا شده است. مطابق با مطالعه‌های صورت گرفته در این مقاله روش گســترش عملکرد کیفیت رویکردی چهار مرحله‌ای است که با استفاده از دو ماتریس، فرآیند طراحی محصولات را پشتیبانی می‌کند. نتایج ماتریس اول به‌عنوان ورودی ماتریس دوم در نظر گرفته می‌شود. مطابق با ماتریس اول خانه کیفیت و طی دو مرحله، مجموعه‌ای از خواســته‌ها، انتظارهای مشــتریان و الزامات مشــخص شــده و اهمیت آن‌ها تعیین می‌گردد. در این روش به‌منظور تعیین میزان اهمیت اغلب از طیف ۱ و ۳ و ۹ یا ۱ و ۳ و ۵ اســتفاده می‌شــود. به‌عنوان‌مثال، عدد ۵ نشان‌دهنده بیش‌ترین اهمیت و عدد ۱ نشــان‌دهنده کم‌ترین اهمیت اســت. ماتریس دوم خانه کیفیت نیز طی مراحل سوم و چهارم و با اســتفاده از نتایج ماتریس اول خانه کیفیت به تعیین میزان اهمیت هر یک از تجهیزها/ فرایندها/ فعالیت‌ها/... می‌پردازد. به‌منظور تعیین ماتریس دوم خانه کیفیت می‌توان از ساختار شکست پروژه (PBS)[3] اســتفاده کرد. ساختار شکســت پروژه عبارت است از ساختار درختی حاصل از تجزیه

1 . Voice Of Customer (VOC)
2 . Jaiswal
3 . Project Breakdown Structure (PBS)

www.SID.ir

Archive of SID

سلسله‌مراتبی و سطح به سطح اقلام یا موضوع‌های اصلی یک پروژه به اقلام قابل‌تحویل یا موضوع‌های تشکیل‌دهنده آن. در این ساختار اقلام در سطر اول و زیر اقلام در سطوح بعدی نمایش داده می‌شوند.

به عبارت کلی، می‌توان گفت که گسترش عملکرد کیفیت روش کاملاً تثبیت‌شده‌ای است که برای طراحـــی و اصلاح محصولات، خدمات و یا فرایندها (که مطابق با آن‌ها محصولی تولید یا خدمتی ارائه می‌شود) مورد استفاده قرار می‌گیرد. در برخی از موارد داده‌های مورد استفاده در این روش با استفاده از طیف لیکرت[1] ((۱): بســیار کم، (۳): کم، (۵): متوســط، (۷): زیاد و (۹): بسیار زیاد) تکمیل شده و مطابق با آن نظرات افراد به داده‌های کمّی تبدیل می‌شود. (ایکبال و همکاران[2]، ۲۰۱۷)

بر اســاس تحقیقات صورت گرفته در پژوهش‌های داخلی و خارجی، این نتیجه حاصل شد که در بیش‌تر پژوهش‌ها به‌منظور ارزیابی بلوغ فناوری از ســطح آمادگی فناوری نُه سطحی یا هفت سطحی استفاده شده است. علاوه بر این تنها در برخی از سیستم‌ها نظیر سازمان نیروی هوایی آمریکا از محاسبه کننده ســطح آمادگی فناوری بهره گرفته شده اســت. در اکثر این موارد تنها به تعیین سطح آمادگی فناوری پرداخته شــده و تلاشــی برای تخمین هزینه‌های مربوط به اکتساب فناوری آن‌هم با استفاده از روش هزینه‌های مبتنی بر فعالیت صورت نگرفته است. گفتنی است که در برخی از موارد به‌منظور تعیین هزینه‌های فرایند از روش‌هایی مانند دلفی استفاده می‌شود. روش دلفی حاصل تصورات ذهنی افراد بوده و به‌تبع آن‌ها احتمال بروز خطا در برآورد هزینه‌ها امری طبیعی است. پژوهش حاضر، با در نظر گرفتن تمامی این موارد سعی در ارائه رویکردی دارد که با استفاده از بومی‌سازی ساختار شکست پروژه نُه ســطحی و ابزار محاســبه کننده ســطح آمادگی فناوری به ارزیابی بلوغ یک فناوری اکتسابی پرداخته و هزینه‌های مربوط به آن را با استفاده از روش هزینه‌های مبتنی بر فعالیت تخمین می‌زند.

روش‌شناسی پژوهش

پژوهش حاضر، بر روی یک زیردریایی کلاس ســبک انجام شــده اســت. این محصول به‌عنوان یکی از محصولات صنایع نظامی در نظر گرفته شده و دارای ابعاد به نسبت کوچکی است. اغلب زیردریایی‌های کلاس سبک (برخلاف زیردریایی‌های کلاس سنگین) در آب‌های کم‌عمق مورد استفاده قرار می‌گیرند و دارای کاربردهای بســیار گســترده‌ای هستند. تاریخچه استفاده از این محصولات به بیش از نیم‌قرن پیش بازمی‌گردد اما تنها در طول دو دهه گذشته به‌عنوان سیستم‌های عملی مؤثر و ارزشمند معرفی

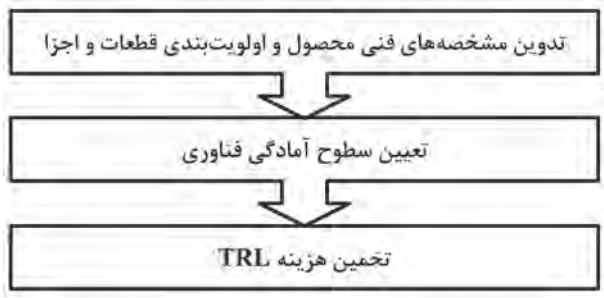
1 . Likert scales
2 . Iqbal et al.

www.SID.ir

Archive of SID

گردیده‌اند. گفتنی است که به‌دلایل امنیتی نام محصول مورد مطالعه، تجهیزات و مشخصه‌های اصلی آن ذکر نشده است.

این پژوهش، به دلیل متمرکز بودن بر روی یک محصول از نظر هدف در زمره تحقیقات کاربردی قــرار دارد. از نظر ماهیت نیز به دلیل توجه به آثار مشــهود یــک تحقیق توصیفی و از نظر جمع‌آوری داده‌ها از نوع پیمایشی- مقطعی است. مطابق شکل ۱ این پژوهش در طی سه مرحله انجام شده است.



شکل ۱: مراحل انجام پژوهش

بر اساس شکل ۱، در مرحله اول، ابتدا با استفاده از دو ماتریس استاندارد گسترش عملکرد کیفیت داده‌ها از طریق مصاحبه جمع‌آوری شــده است. این مصاحبه‌ها به‌صورت نیمه ساختاریافته و با ۴ نفر از ۱۰ نفر دفتر طراحی صنعت مورد نظر انجام شده است. چهار نفر مذکور تحت عنوان گروه گسترش کیفی عملکرد معرفی شده و عبارت‌اند از: رئیس دفتر طراحی (کارشناس ارشد الکترونیک با ۱۸ سال سابقه کار)، طراح سیستم‌های الکتریکی (دکتری برق قدرت با ۱۵ سال سابقه کار)، کارشناس فناوری ساخت (کارشناس ارشد مکانیک با ۱۲ سال سابقه کار) و کارشناس دفتر مطالعات (کارشناس مهندس صنایع با ۱۰ ســال ســابقه کار). علت انتخاب این چهار نفر این است که همه آن‌ها در زمینه محصول مورد بررسی و فرایندهای مرتبط با آن دارای مطالعه‌های لازم و کافی بوده‌اند. هدف از جمع‌آوری این داده‌ها استخراج الزامات مربوط به محصول مورد نظر و تعیین سطوح آمادگی فناوری است. در مرحله دوم با مبنا قرار دادن ســطح آمادگی فناوری ناســا که یک مدل و مقیاس استانداردسازی شده است، ابتدا تعاریف مربوطه بومی‌سازی و سپس بلوغ فناوری به‌صورت اولیه تعیین و ارزیابی شده است. سپس به‌منظور تخمین دقیق سطح آمادگی فناوری محصول مورد نظر، از ابزار محاسبه کننده سطح آمادگی فناوری استفاده شده و سؤال‌های مربوط به سطحی که بر اساس تخمین اولیه به دست آمده است در

www.SID.ir

Archive of SID

اختیار خبرگان قرار می‌گیرد. در صورت پاسخگویی ناقص به سؤال‌های سطح مربوطه، سؤال‌های سطح پایین‌تر بررسی خواهد شد. در این مرحله مصاحبه‌ها و اسناد راهنما به‌عنوان منبع اصلی جمع‌آوری اطلاعات در نظر گرفته شده است. گفتنی است که مصاحبه‌ها در این مرحله نیز به‌صورت ساختاریافته و با ۷ نفر از کارشناسان موجود در گروه ساخت محصول مورد نظر انجام شده است. این افراد عبارت‌اند از: مدیر دفتر مطالعات راهبردی، کارشناس ارشد مدیریت فناوری، کارشناس ارشد مدیریت بازرگانی، کارشناس ارشد برق قدرت، کارشناس ارشد الکترونیک، کارشناس ارشد ساخت و سرپرست مرکز توسعه. تمامی این افراد به‌صورت مستقیم مسئول بلوغ فناوری محصول مورد نظر هستند و چندین سال درگیر مباحث مربوط به آن بوده‌اند. پس‌ازآن، به‌منظور تعیین شکاف موجود برای گذار از سطح آمادگی فناوری تخمینی، مطابق با پیشینه تحقیق تعدادی معیار معرفی شده، سؤال‌های مربوط به آن دسته‌بندی گردیده و در جلسه‌ای با حضور خبرگان مورد ارزیابی و تائید قرار گرفته است. سپس با استفاده از سند الزامات و تلفیق آن با سؤال‌هایی که دارای پاسخ منفی بوده‌اند شکاف‌های موجود شناسایی گردیده و با استفاده از طیف لیکرت مشخص شده است که فناوری مذکور چه مقدار از سطح مطلوب فاصله دارد. در این صورت، درک مشترکی از فعالیت‌های مربوط به تکمیل سطح آمادگی فناوری تخمینی مشخص خواهد شد. در مرحله سوم با استفاده از تکنیک هزینه‌های مبتنی بر فعالیت بهای تمام‌شده فناوری مربوطه در سطح مورد نظر تعیین گردیده است. در این مرحله نیز بخش عمده‌ای از داده‌ها از طریق مصاحبه گردآوری شده‌اند.

تجزیه‌وتحلیل یافته‌ها

در این قسمت مراحل پیشنهادی در شکل ۱، مدنظر قرار گرفته و داده‌ها و اطلاعات گردآوری‌شده به‌صورت مرحله‌به‌مرحله شرح داده شده است.

مرحله اول: تدوین مشخصه‌های فنی محصول و اولویت‌بندی قطعات و اجزا

به‌منظور تدوین مشخصه‌های فنی محصول مورد مطالعه، در ابتدا مصاحبه‌هایی با گروه گسترش کیفی عملکرد انجام شده است. مطابق با مصاحبه‌های صورت گرفته با این افراد و همچنین مراجعه به مستندها در زمینه پیشنهادهای رسیده، ندای مشتریان شنیده شده و مطابق با آن‌ها و بررسی‌های صورت گرفته توسط گروه خبرگان، ۶ نیاز (خواسته) از طرف آنان شناسایی شده است. این نیازها

www.SID.ir

Archive of SID

عبارت‌اند از: سرعت، سطح ولتاژ شبکه قدرت، سروصدا، توانمندی ساخت، پایش و ترمز. سپس با استفاده از ماتریس مقایسات زوجی و طیف پنج نقطه‌ای لیکرت وزن هر یک از نیازها (مطابق با نظر خبرگان) مشخص گردیده است. گفتنی است که میزان نرخ ناسازگاری ماتریس مقایسات زوجی تکمیل شده برابر با ۰/۰۹ بوده و نشان‌دهنده سازگاری این ماتریس است.

پس‌ازآن، با بهره‌گیری از استانداردهای سازمان و مطرح کردن موارد موجود با گروه گسترش کیفی عملکرد (گروه خبرگان)، ۹ الزام فنی و مهندسی مرتبط با خواسته‌های مشتریان شناسایی شده است. لازم به توضیح است که الزامات فنی و مهندسی مورد اشاره، همان خواسته‌های مشتریان است، زیرا که استاندارد خاصی در این حوزه در دسترس نبوده است. این الزامات عبارت‌اند از: توان خروجی نامی، محدوده ولتاژ، سرعت نامی، حداکثر سرعت، کلاس عایقی، برای چرخش، حداکثر گشتاور قابل‌تحمل در لحظه راه‌اندازی، راندمان کل در بار نامی و اختلال صوتی و ساختاری کم.

بر اساس خواسته‌های مشتریان و الزامات فنی استخراج‌شده ماتریس خانه کیفیت مطابق جدول ۳، ترسیم گردیده و الزامات فنی اولویت‌بندی شده‌اند. در این ماتریس میزان تأثیرگذاری هر یک از الزامات بر روی خواسته‌های مشتریان در قالب طیف ۵ نقطه‌ای لیکرت مشخص شده و وزن مطلق هر یک از الزامات مطابق با مجموع حاصل‌ضرب هر یک از خواسته‌های مشتریان در امتیاز کسب‌شده مربوط به آن ستون به دست آمده است. به‌عنوان‌مثال، در مورد الزام توان خروجی نامی وزن مطلق و وزن نسبی برابر است با (رابطه ۱ و ۲):

رابطه (۱) وزن مطلق = (۹ × ۰/۲۷) + (۷ × ۰/۰۷) = ۲/۹۲

رابطه (۲) وزن نسبی = (۲/۹۲ ÷ ۱۰/۰۹) =۰/۲۹

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۳: ماتریس خانه کیفیت اول برای اولویت‌بندی الزامات فنی

الزامات فنی / خواسته مشتری	وزن نسبی	توان خروجی نامی (kw)	محدوده ولتاژ (V)	سرعت نامی	نویز صوتی و ساختاری کم	راندمان کل در بار نامی	برای چرخش	مجموع
سرعت	٪۲۷	۹	–	–	–	–	–	–
سطح ولتاژ شبکه قدرت	٪۲۱	–	۷	–	–	–	–	–
اختلال	٪۲۳	–		۷	۷	–	–	–
توانمندی ساخت	٪۱۳	–	–	–	۵	۹	–	–
مانیتورینگ	٪۷	۷	–	–	–	–	۳	–
ترمز	٪۹	–	–	–	–	–	۵	–
اوزان مطلق	–	۲/۹۲	۱/۴۷	۱/۶۱	۲/۲۶	۱/۱۷	۰/۶۶	۱۰/۰۹
وزن نسبی	–	۰/۲۹	۰/۱۵	۰/۱۶	۰/۲۲	۰/۱۲	۰/۰۷	۱
اولویت	–	۱	۴	۳	۲	۵	۶	–

پس از اولویت‌بندی الزامات، ساختار شکست فناوری بر حسب اقلام قابل‌تحویل (با استفاده از مستندها و همچنین برگزاری مصاحبه با خبرگان) ترسیم شده است. این ساختار، شامل پنج سیستم اصلی بوده که هر یک دارای تجهیزاتی می‌باشند. سیستم‌های اصلی عبارت‌اند از سازه، سیستم مکانیکی، سیستم الکتریکی، سیستم خنک‌کاری و تهویه و سیستم خودکارسازی. پس‌ازآن، بر اساس نتایج حاصل از ماتریس خانه کیفیت اول و ساختار شکست پروژه ماتریس خانه کیفیت دوم تهیه شده است. در این ماتریس مشخصه‌هایی از اجزا و قطعات تشکیل‌دهنده محصول (که در دستیابی به انتظارات مشتریان کمک خواهد نمود) مورد بررسی و تحلیل قرار گرفته است و با استفاده از طیف لیکرت و نظرات خبرگان (گروه گسترش کیفی عملکرد) به بررسی ارتباط هر یک از مشخصه‌های کارکردی- عملکردی با تجهیزات فناوری مربوطه پرداخته شده است. به‌عنوان‌مثال، ماتریس خانه کیفیت دوم سیستم مورد مطالعه (سیستم سازه) که دارای دو تجهیز است در جدول ۴ نمایش داده

www.SID.ir

Archive of SID

شـــده اســـت. هر یک از تجهیزات دارای دو زیر تجهیز می‌باشند. لازم به توضیح است که شناسایی این روابط به ارزیابی سطح آمادگی فناوری به‌صورت کمی و از لحاظ فنی کمک خواهد کرد.

جدول ۴: ماتریس خانه کیفیت دوم برای اولویت‌بندی تجهیزات

نام سیستم: سازه						
الزامات فنی	وزن نسبی	تجهیزات				مجموع با در نظر گرفتن همه سیستم‌ها
		۱		۲		
		۱-۱	۱-۲	۲-۱	۲-۲	
توان خروجی نامی (kw)	۰/۲۹	۱	۱	۱	۱	–
محدوده ولتاژ (V)	۰/۱۵	–	–	–	–	–
سرعت نامی	۰/۱۶	–	–	–	–	–
نویز صوتی و ساختاری کم	۰/۲۲	۵	۵	۵	۵	–
راندمان کل در بار نامی	۰/۱۲	–	–	–	–	–
برای چرخش	۰/۰۷	–	–	–	–	–
وزن مطلق	–	۱/۳۹	۱/۳۹	۱/۳۹	۰	۱۳۶/۹۲
وزن نسبی	–	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰	۱

همان‌گونه که در جدول ۴ مشـــاهده می‌شود، برخی از سلول‌های ماتریس خانه کیفیت دوم خالی است (با علامت – نشان داده شده است). دلیل این امر تأثیر نداشتن پارامترهای مربوطه بر زیر تجهیز مورد بررســـی است. به‌عبارت‌دیگر، این زیر تجهیزات هیچ‌گونه ارتباطی با الزامات فنی تعریف شده در ســـتون اول ندارند. گفتنی اســـت که ماتریس خانه کیفیت دوم نشـــان داده شده در جدول ۴ به‌عنوان نمونه تنها برای سیستم سازه ترسیم گردیده است و به دلیل مشابه بودن روند کار بقیه سیستم‌ها در این ماتریس آورده نشده‌اند. به همین دلیل، مجموع ردیف وزن نسبی در این جدول برابر با یک نیست و چنانچه همه سیســـتم‌ها در کنار یکدیگر در این ماتریس قرار بگیرند دارای مجموع وزن نســـبی یک خواهند بود. به‌عنوان‌مثال، در این جدول نحوه محاسبه وزن مطلق الزام توان خروجی نامی برابر است

www.SID.ir

Archive of SID

با (رابطه ۳):

رابطه (۳) وزن مطلق = (۱ × ۰/۲۹) + (۵ × ۰/۲۲) = ۱/۳۹

وزن نسبی این سیستم نیز با توجه به اینکه مجموع اوزان نسبی (همه سیستم‌ها) برابر است با ۱۳۶/۹۲ به‌صورت رابطه (۴) محاسبه می‌شود:

رابطه (۴) وزن نسبی = (۱/۳۹ ÷ ۱۳۶/۹۲) =۰/۰۱

در ادامه، برای تعیین مشخصه‌های کامل محصول مورد مطالعه مصاحبه‌هایی با خبرگان (گروه گسترش کیفی عملکرد) صورت گرفته و مشخصه‌های نهایی تدوین شده‌اند. به‌صورت کلی، این مشخصه‌ها شامل مشخصه‌های کارکردی و عملکردی اصلی (الزامات فنی)، میزان مصرف، شرایط محیطی، چگونگی تعامل با زیرسامانه‌ها و تجهیزات دیگر، تأثیرهای نامطلوب متقابل، قابلیت نگهداری و تعمیرات و ملاحظه‌های ایمنی، بهداشت و امنیت و غیره می‌باشند.

مرحله دوم: تعیین سطوح آمادگی فناوری

در این مرحله، تعاریف کلی مربوط به مدل آمادگی فناوری ناسا، مورد بازبینی قرار گرفته و بومی‌سازی گردیده است و ازاین‌رو، برای محصول مورد مطالعه قابل استفاده است. این امر به کارشناسان کمک می‌کند تا به‌راحتی بتوانند مصادیق هر سطح را در ذهن خود تداعی نمایند. لازم به ذکر است که پژوهش حاضر ماحصل یک پروژه کاربردی واقعی است و با توجه به نظرات کارشناسان در صنعت مربوطه، مفاهیم کلی فقط تا TRL۶ تدقیق گردیده و بیش‌تر از آن در یک پژوهش دیگر ادامه داده شده است. لذا در این پژوهش الزامی برای تهیه سایر سطوح نیست. این سطوح به همراه توضیحات در جدول ۵ ارائه گردیده است.

با استفاده از جدول شماره ۵ و معیارهایی همچون نمایش فناوری (نمونه تابلویی، پیش‌نمونه[1] و ...)، توصیف فیزیکی (مقیاس، کارکرد و ...) و محیط آزمون؛ سطح آمادگی فناوری اولیه تخمین زده شده است. مطابق با نظر متخصصان و جدول ۶، این فناوری TRL۴ را پشت سر گذاشته و در حال حاضر در TRL۵ قرار دارد. چراکه نمونه اولیه (پیش‌نمونه) در مقیاس یک‌به‌یک ساخته شده است و در حال حاضر، تحت انجام آزمون در محیط مرتبط است.

1 . Prototype

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۵: بازبینی و بومی‌سازی سطح آمادگی فناوری کلی

سطح آمادگی فناوری	توضیحات
۱	مطالعه و بررسی اسناد و منابع علمی و نظامی نشان می‌دهد که از سال ۲۰۰۰ میلادی استفاده از محصول مورد بررسی به دلیل مزایایی همچون چگالی گشتاور بالا، راندمان بالا، اختلال کم و قابلیت کنترل سرعت پیوسته نسبت به محصولات مشابه رو به افزایش است؛ بنابراین به‌کارگیری این نوع محصول امری معقول و منطقی است.
۲	مشخصه‌ها و قابلیت‌های مورد نظر می‌بایست در طراحی لحاظ شوند.
۳	برای طراحی و تحلیل این محصول، پارامترهایی همچون سطح ولتاژ، توان مورد نیاز و محدودیت‌های ابعادی تعیین و طراحی بر اســاس این پارامترها صورت می‌پذیرد. پس از طراحی تحلیل‌های مورد نیاز به همراه شبیه‌سازی انجام می‌گیرد.
۴	برای امکان‌سنجی و اثبات قابلیت‌های کارکردی و عملکردی در ابتدا در محیط آزمایشگاه نمونه‌ای از محصول در حدود توان ۲۰ کیلووات طراحی و ساخته می‌شود.
۵	برای بررسی عملکرد محصول مورد نظر، یک نمونه یک‌به‌یک ساخته شده و آزمون‌های عملکردی و کارکــردی در محیطی شــبیه به محیط عملیاتی اجرا می‌گردند. عــلاوه بر این آزمون‌هایی نظیر رابط‌های الکترومغناطیســی، الزامات ســازگاری، ارتعاش، محدودیت‌های شــوک، محدودیت دما، الزامات ضربه و کجی نیز انجام خواهد شد.
۶	پس از بازطراحی و ساخت نمونه اولیه آزمون‌ها در محیط عملیاتی انجام می‌پذیرد. آزمون‌ها شامل آزمون‌های مرحله قبل به انضمام آزمون‌هایی است که در شرایط واقعی صورت می‌گیرد.

جدول ۶: تخمین اولیه سطح آمادگی فناوری

نمایش (نمونه ساخته‌شده)					محیط آزمون				توصیف فیزیکی		
بردبورد	بردبورس	پروتوتایپ	نمونه مهندسی	نمونه عملیاتی	محیط آزمایشگاه	محیط مرتبط	محیط واقعی	محیط عملیاتی	شکل واقعی	اندازه واقعی	کارکرد
		✓				✓				✓	

www.SID.ir

Archive of SID

پس از تعیین اولیه سطح آمادگی فناوری و به‌منظور تخمین دقیق فناوری محصول مورد نظر، سؤال‌های جزئی‌تر TRL۵ از طریق مصاحبه مورد بررسی قرار گرفته است. تجزیه‌وتحلیل‌های صورت گرفته بر روی ۴۷ سؤال (که مطابق با پیشینه تحقیق و به‌صورت مصاحبه با گروه کارشناسان انجام شده و دارای پاسخ‌هایی به‌صورت بله/خیر است) حاکی از آن بوده که اعتبارسنجی مشخصه‌های کارایی فناوری و نقشه طراحی محصول تقریباً کامل شده است. همچنین نمونه اولیه در محیط مرتبط، با درجه صحت بالا در حال آزمون بوده و اغلب سخت‌افزارهای مربوط به پیش‌تولید، در دسترس بوده‌اند. علاوه بر این مشخصه‌های سیستم فناوری کامل شده و ابزار و فرایندها به سطحی از بلوغ رسیده‌اند که قابلیت کاربردی شدن را دارند. نمایش یکپارچه‌سازی سیستم نیز تقریباً تکمیل گردیده است.

در ادامه به‌منظور تعیین شکاف و ضعف‌های موجود در حوزه‌های مختلف سطح آمادگی فناوری تخمین زده شده، سؤال‌های مربوط به این سطح آمادگی دسته‌بندی شده‌اند. دسته‌بندی مطابق با ۶ معیار ارائه شده در شرکت نیکسوز (که در جدول ۲ به آن اشاره شد) و پس از مشورت با کارشناسان و تائید شباهت‌های لازم با محصول مربوطه انجام شده است. این معیارها عبارت‌اند از: نیازهای مشتری و بازار، طراحی و توسعه، آزمون و تأیید، یکپارچه‌سازی، محیط و ایمنی و ساخت و معیار پذیری. پس‌ازآن، تعداد ۴۷ سؤال TRL۵ به تعداد ۱۲ سؤال تعدیل یافته و هر یک از سؤال‌ها در یکی از دسته‌بندی‌ها قرار گرفته است. لازم به ذکر است که تعدیل سؤال‌ها به معنای حذف سؤال خاصی نبوده و نشان می‌دهد که سؤال‌های مذکور در دسته‌بندی جدید تمام سؤال‌های قبلی را پوشش داده است. این سؤال‌ها به همراه دسته‌بندی‌های انجام شده و پاسخ آن‌ها در جدول ۷ نمایش داده شده است.

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۷: پاسخگویی به سؤال‌های TRL۵ پس از دسته‌بندی آن‌ها

ردیف	معیارهای سطح آمادگی فناوری	سؤال‌ها	بله/ خیر
۱	نیازهای مشتری و بازار	آیا تعریف تقاضاها/ الزامات در نقاط شروع اجرا/ عملکرد و اهداف برای طرح نهایی مقرر شده است؟	بله
۱-۲	طراحی و توسعه	آیا نمونه‌های مهندسی ساخته شده و طراحی مهندسی اولیه انجام شده است؟	بله
۲-۲		آیا طراحی‌های مبسوط برای حمایت از سیستم مقیاس مهندسی و توانایی در دستیابی به اجزا برای نمونه مهندسی نهایی کامل شده است؟	خیر
۳-۲		آیا هزینه‌های اولیه محصول تجاری تخمین زده شده است؟	خیر
۱-۳	آزمون و تأیید	آیا نیاز/ تقاضا برای تصدیق فناوری (شامل آزمون، اعتبارسنجی، عملکرد ایمنی) ایجاد شده است؟	خیر
۲-۳		آیا آزمون‌های مقیاس آزمایشگاهی در تکمیل نمونه مهندسی، معتبر ساختن نتایج طراحی و آماده بودن برای آزمون در محیط مربوط انجام گرفته است؟	خیر
۱-۴	یکپارچه‌سازی	آیا الزامات ارتباط سیستم و ارتباط بین سیستم‌های بزرگ و نوعی در مقیاس آزمایشگاهی با اجزا مشخص شده‌اند؟	خیر
۲-۴		آیا یکپارچه‌سازی مدل/ کاربردها در محیط مقیاس الگو توضیح داده شده‌اند؟	خیر
۵	محیطی و ایمنی	آیا محدوده مشخصه‌های فیزیکی و شیمیایی مربوطه در حد ممکن مشخص شده است؟	بله
۱-۶	ساخت و معیار پذیری	آیا موضوعات افزایش به نسبت ثابت از آزمایشگاه به مقیاس مهندسی درک و حل شده است؟	بله
۲-۶		آیا فرایندهای ساخت برای ایجاد اجزایی که جدید هستند از طریق آزمایشگاه ارزیابی شده‌اند؟	خیر
۳-۶		آیا تکنیک‌های ساخت برای مرحله نمونه مهندسی تعریف شده است؟	خیر

www.SID.ir

Archive of SID

سپس سؤال‌هایی که دارای پاسخ منفی بوده‌اند مورد بررسی قرار گرفته، به یکی از مشخصه‌های فنی (مشخصه‌های کارکردی و عملکردی که در مرحله اول به‌صورت کلی تعیین شد) نسبت داده شده و شکاف مربوطه تعیین گردیده است. این مشخصه‌ها عبارت‌اند از: پارامترهای عملکردی، پارامترهای محیطی و ایمنی، پارامترهای فیزیکی، الزامات یکپارچگی و پارامترهای فنی. به‌عنوان‌مثال سؤال ۲-۲ دارای پاسخ منفی و مربوط به پارامترهای عملکردی راندمان و سرعت و پارامترهای فنی فشار، شکل موج و فرکانس است. لازم به ذکر است که هرچند میزان تحقق مواردی که دارای پاسخ منفی می‌باشند، در سند مشخصه‌های فنی و در محیط مربوطه به ۱۰۰ درصد نرسیده است، ولی این مطلب را می‌توان اذعان نمود که صفر درصد هم نیست؛ بنابراین پس از مشخص شدن ارتباط سؤال‌های TRL۵ و سند مشخصه‌های فنی با استفاده از نتایج به دست آمده در آزمون‌های انجام شده و طیف ۵ نقطه‌ای لیکرت ((۱): خیلی بد، (۳): بد، (۵): متوسط، (۷): خوب و (۹): مطلوب) درصد تحقق سؤال‌های منفی توسط خبرگان مشخص گردیده و بدین‌صورت داده‌های کیفی به کمی تبدیل شده است. به‌عنوان‌مثال، الزام فنی سرعت در شرایط فعلی برابر با ۱۶۰ تا ۱۸۰rpm بوده است، این در حالی است که این الزام فنی در شرایط مطلوب باید برابر با ۲۰۰rpm باشد. مطابق با نظر خبرگان و بر اساس طیف لیکرت الزام فنی سرعت در وضعیت خوب قرار داشته و برای رسیدن به وضعیت مطلوب نیازمند راهی دشوار و پرهزینه است. در خصوص پارامترهای محیطی و عملکردی نیز شرایط به نسبت خوب است (مطابق با مصاحبه‌هایی که با خبرگان انجام شده)، اما برای گذار از وضعیت خوب به مطلوب نیازمند ساخت یک محصول دیگر با مقیاس یک‌به‌یک یا اصلاح نمونه حاضر خواهیم بود.

مرحله سوم: تعیین هزینه سطح آمادگی فناوری

همان‌گونه که پیش‌تر شرح داده شد، عوامل اصلی بهای تمام‌شده برای ایجاد یک فناوری شامل هزینه دستمزد مستقیم، هزینه مواد و تجهیزات و هزینه‌های سربار است. در مورد این فناوری هزینه دستمزد مستقیم عبارت است از هزینه‌های نیروی انسانی خارجی و هزینه‌هایی که به‌صورت قرارداد برون‌سپاری شده‌اند. هزینه مواد و تجهیزات نیز شامل هزینه‌های ساخت نمونه‌ها و زیرساخت‌های لازم و مواد اولیه بوده و هزینه‌های سربار هم از ۹ گروه هزینه نشئت گرفته است. لازم به ذکر است که هزینه دستمزد مستقیم و هزینه مواد و تجهیزات با استفاده از داده‌های ثبت‌شده در بخش حسابداری مشخص گردیده است. به‌منظور تعیین هزینه سربار نیز از روش هزینه‌یابی بر مبنای فعالیت استفاده

www.SID.ir

Archive of SID

شده است. فعالیت‌های اصلی برای تولید این محصول عبارت‌اند از: مهندسی، حمل‌ونقل، مونتاژ، آزمون، تأمین و پشتیبانی.

۹ گروه هزینه‌های سربار نیز عبارت‌اند از:

- گروه حقوق و دستمزد شامل حقوق کارمندان، مزایای کارمندان و پاداش کارمندان
- گروه کالا شامل کالای اختصاصی پروژه، لوازم‌یدکی و وسایل ایمنی
- گروه اجاره، آب و برق شامل اجاره اماکن، آب و برق و سوخت و مخابرات
- گروه آموزش شامل هزینه سفر آموزشی، هزینه شرکت در هم‌اندیشی‌ها
- گروه کرایه ماشین شامل هزینه ایاب و ذهاب و کرایه وسایط نقلیه
- هزینه‌های اداری و تشکیلاتی شامل هزینه غذا، کتاب‌ها و نشریات و هزینه مأموریت
- گروه خدمات دریافتی شامل خدمات دریافتی از شرکت‌های وابسته و طراحی و مهندسی
- گروه سایر هزینه‌ها شامل هزینه تبلیغات و هزینه‌های حقوقی و ثبت
- گروه استهلاک شامل استهلاک خودرو، کامپیوتر و ساختمان

بررسی‌های صورت گرفته، نشان می‌دهد که انجام هر یک از فعالیت‌ها به ایجاد کدام‌یک از گروه‌های هزینه منجر خواهد شد. مطابق جدول ۸، به‌منظور نشان دادن این ارتباط از ماتریس وابستگی هزینه-فعالیت استفاده شده است. علامت «✓» در سلول i و j از این جدول بیانگر آن است که انجام فعالیت i به ایجاد هزینه در گروه j منجر خواهد شد.

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۸: ماتریس وابستگی هزینه- فعالیت

هزینه / فعالیت	حقوق و دستمزد	کالا	خدمات دریافتی	اداری و تشکیلاتی	استهلاک	کرایه ماشین	آموزش	اجاره، آب و برق	سایر هزینه‌ها
مهندسی و طراحی	✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓
حمل‌ونقل	✓		✓	✓	✓	✓			✓
مونتاژ	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
آزمون	✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓
تأمین	✓	✓	✓	✓		✓		✓	✓
تنظیم و راه‌اندازی	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
پشتیبانی	✓	✓	✓	✓				✓	✓

پس از تعیین رابطه بین فعالیت و هزینه‌ها، تخصیص هزینه‌ها بر حسب هزینه‌یابی بر مبنای فعالیت مطابق جدول ۹ انجام شده است. به‌عنوان‌مثال، در مورد فعالیت مهندسی و طراحی مقدار هزینه‌یابی بر مبنای فعالیت به‌صورت زیر حاصل گردیده است:

(۱۰۶۹×۰/۴) + (۳۵۹×۰/۱) + (۸۰×۰/۳) + (۴۲×۰/۱) + (۱۹۴×۰/۲) + (۶۲۶۷ ×۰/۳)

+ (۵۰×۰/۲) + (۴۲ ×۰/۱) = ۲۴۲۴

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۹: تخصیص هزینه‌ها به فعالیت‌ها

هزینه / فعالیت	حقوق و دستمزد	کالا	خدمات دریافتی	اداری و تشکیلاتی	استهلاک	کرایه ماشین	آموزش	اجاره، آب و برق	سایر هزینه‌ها	ABC (میلیون تومان)
مهندسی و طراحی	۰/۳	۰/۲	۰/۱	۰/۳		۰/۱	۰/۴	۰/۲	۰/۱	۲۴۲۴
حمل‌ونقل	۰/۰۱		۰/۱	۰/۱	۰/۲	۰/۳			۰/۱	۹۳۳
مونتاژ	۰/۲	۰/۱	۰/۳	۰/۰۸۵	۰/۳	۰/۱	۰/۲	۰/۲	۰/۲	۲۶۸۰
آزمون	۰/۳	۰/۲	۰/۲	۰/۰۸۵		۰/۱	۰/۲	۰/۳	۰/۲	۲۲۰۸
تأمین	۰/۱	۰/۳	۰/۱	۰/۰۳		۰/۲		۰/۱	۰/۱	۷۷۳
تنظیم و راه‌اندازی	۰/۰۱	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۰/۵	۰/۲	۰/۲	۰/۱	۰/۱	۲۲۵۵
پشتیبانی	۰/۰۸	۰/۱	۰/۱	۰/۳				۰/۱	۰/۲	۵۶۲
هزینه	۶۲۶۷	۱۹۴	۴۲	۸۰	۳۷۳۲	۳۵۹	۱۰۶۹	۵۰	۴۲	۱۱۸۳۵

هزینه سربار (جدول ۹)، هزینه دستمزد مستقیم و هزینه مواد و تجهیزات (بر اساس داده‌های موجود در بخش حسابداری) در جدول ۱۰ قابل مشاهده است. با استفاده از این سه هزینه، بهای تمام‌شده برای پیاده‌سازی TRL۵ تا این زمان محاسبه گردیده است.

جدول ۱۰: بهای تمام‌شده تا TRL۵

ردیف	عنوان هزینه	هزینه (میلیون تومان)
۱	دستمزد مستقیم	۲۰۶۹۰
۲	مواد و تجهیزات	۳۱۶۰۰
۳	سربار	۱۱۸۳۵
	مجموع	۶۴۱۲۵

با توجه به بهای تمام‌شده فناوری (طبق جدول ۱۰) و مصاحبه انجام شده با خبرگان در خصوص

www.SID.ir

Archive of SID

هزینه اتمام فناوری تا انتهای سطح بلوغ ۵، در جدول ۱۱، هزینه تکمیل سطح آمادگی فناوری ۵ به تفکیک حوزه مربوطه ارائه گردیده است.

جدول ۱۱: برآورد هزینه TRL۵

ردیف	عنوان هزینه	هزینه (میلیون تومان)
۱	دستمزد مستقیم	۱۰۰۰
۲	مواد و تجهیزات	۱۰۰۰۰
۳	سربار	۲۰۰۰
	مجموع	۱۳۰۰۰

در نهایت، با توجه به هزینه انجام شده و برآورد هزینه تکمیل TRL۵ می‌توان حدس زد که هزینه انجام سطح آمادگی فناوری ۵ برابر با ۷۷۱۲۵۰۰۰۰۰۰ تومان است.

بحث

تحقیق حاضر به‌منظور ارزیابی سطح و برآورد هزینه‌های مربوط به سطح بلوغ فناوری یک زیردریایی کلاس سبک انجام گرفته است. در این زمینه پس از تعیین نیازها و الزامات محصول مورد مطالعه به‌منظور ارزیابی بلوغ فناوری از مدل سطح آمادگی فناوری نُه سطحی استفاده شده است. سطح آمادگی فناوری روشی است که به کمک آن می‌توان میزان موفقیت یک فناوری را ارزیابی کرد. مطابق با تحقیقات صورت گرفته تا سال‌های اخیر حدود ۳۰ مدل بلوغ فناوری موجود است. در این زمینه هیچ‌گونه استانداردی برای انتخاب مدل بلوغ فناوری وجود نداشته و باید مدلی انتخاب شود که از یک رویکرد مدیریت استراتژیک برخوردار باشد و بتواند فناوری موردنظر را به‌درستی ارزیابی کند. سطح آمادگی فناوری، امکان ارزیابی بلوغ فناوری را در مراحل توسعه محصول امکان‌پذیر ساخته و به‌صورت گسترده در سطح کشورهای پیشرفته کاربرد دارد. این مدل برخلاف سایر مدل‌ها، سطحی که فناوری در آن قرار دارد را به‌صورت کاربردی شناسایی می‌کند و برای ارزیابی فناوری‌ها، تخمین هزینه‌ها و لغو برنامه‌ها بسیار مفید است (فولادی و نپوری‌زاده، ۱۳۹۱). مطابق با پیشینه تحقیق منکینس (۱۹۹۵) در شرکت ناسا، سازمان حسابداری آمریکا (۱۹۹۹) در وزارت دفاع این کشور، اسمیت (۲۰۰۷) در وزارت

www.SID.ir

Archive of SID

دفاع استرالیا و فولادی (۱۳۹۱) در وزارت دفاع ایران نیز به‌منظور ارزیابی سطح بلوغ فناوری از سطح آمادگی فناوری نُه سطحی استفاده نموده‌اند. در اغلب این تحقیقات سطح فناوری با استفاده از سطح آمادگی فناوری تخمین زده شده و تحقیقات دقیق‌تری بر روی سطح فناوری تخمینی صورت نگرفته است. تحقیق حاضر با استفاده از ابزار محاسبه‌کننده سطح آمادگی فناوری سؤال‌های جزئی‌تر سطح تخمینی را همراه با دقت بیش‌تری مورد بررسی قرار داده است. این روش یکی از سخت‌گیرانه‌ترین روش‌ها به شمار می‌رود. مطابق با تحقیقات صورت گرفته، از این ابزار در هیچ‌یک از مطالعات داخلی استفاده نشده و تنها در نیروی هوایی و زمینی آمریکا برای فناوری‌های سخت و نرم دارای کاربرد بوده است. سپس به‌منظور تعیین شکاف موجود برای گذار از سطح آمادگی فناوری فعلی به تجزیه‌وتحلیل و دسته‌بندی سؤال‌های این سطح پرداخته شده است. مطابق با تحقیقات انجام شده در پژوهش‌های داخلی و خارجی هیچ‌گونه استاندارد خاصی در خصوص نحوه دسته‌بندی این سؤال‌ها وجود ندارد. ازاین‌رو مطابق با نظرات خبرگان و با توجه به شباهت‌های موجود، دسته‌بندی سؤال‌ها بر اساس معیارهای در نظر گرفته شده در شرکت نیکسوز انجام شده است. به کمک این معیارها و دسته‌بندی سؤال‌ها مطابق با آن‌ها درک مشترکی از فعالیت‌های تکمیلی سطح آمادگی فناوری تخمینی فراهم می‌آید. پس از تعیین سطح فناوری و شکاف‌های آن، هزینه‌های مربوط به سطح بلوغ فناوری با استفاده از روش ABC برآورد گردیده است. مطابق با تحقیقات انجام شده در پیشینه پژوهش در بیش‌تر پروژه‌ها از روش‌های سنتی و مبتنی بر تصورات ذهنی افراد استفاده می‌شود. این‌گونه از روش‌ها دارای نتایج دقیقی نبوده و ممکن است سبب ایجاد اشتباه شود. به‌عنوان‌مثال، تریله و همکاران (۲۰۱۵) هزینه‌های مؤثر بر سطح آمادگی فناوری مانند اندازه اولیه سرمایه، زمان انتظار راه‌اندازی، خطر، تأخیرها و غیره را مدنظر قرار داده و هزینه‌ها را پیش‌بینی کرده‌اند. این در حالی است که مطابق با نظر کوپر (۲۰۰۶)، بسیاری از سازمان‌ها تا زمان از دست رفتن سودآوری و قدرت رقابتی خود، تشخیص نمی‌دهند که سیستم‌های هزینه‌یابی سنتی اطلاعات غیرواقعی و نادرستی ارائه می‌دهد. به همین منظور در این پژوهش از روش ABC که یکی از روش‌های جدید بوده و به تصمیم‌گیری عملیاتی، تاکتیکی و استراتژیک کمک می‌کند استفاده شده است. این روش در هیچ‌یک از تحقیقات داخلی مربوط به سطح آمادگی فناوری کاربرد نداشته و برخلاف سایر مدل‌ها، هزینه‌یابی دقیق‌تری بر حسب فعالیت‌ها انجام می‌دهد. کلیه این موارد مطابق با رویکرد سه مرحله‌ای انجام و نتایج حاصل از آن به شرکت مذکور معرفی گردیده است.

www.SID.ir

Archive of SID

نتیجه‌گیری

در بازار رقابتی امروز، اکتساب فناوری‌های پیچیده دارای اهمیت زیادی است. ازاین‌رو، سازمان‌های بزرگ صنعتی و نظامی به‌منظور حفظ جایگاه خود همواره توجهات لازم را بدین مسئله مبذول داشته‌اند. در برخی از سازمان‌ها نظیر صنایع نظامی دستیابی به فناوری‌های نوظهور از طریق انتقال فناوری از خارج صورت نگرفته و با توجه به تهدیدهای روزافزون در حوزه فناوری‌های نظامی، ناگزیر به انتخاب رویکرد اکتساب فناوری از طریق تحقیق و توسعه هستند. ارزیابی وضعیت آمادگی فناوری چالش اساسی برای سازمان‌هایی به شمار می‌رود که از رویکرد اکتساب فناوری بهره می‌گیرند. بیش‌تر پروژه‌های کاربردی و صنعتی از فناوری‌های بالغ استفاده می‌کنند و با فناوری‌هایی که در سطح دنیا موجود نیستند و باید به وجود بیایند سروکار ندارند. ازاین‌رو، مدل‌ها و ادبیات مربوط به رویکرد اکتساب فناوری در مراکز دانشگاهی و صنعتی داخلی نهادینه نشده است.

هدف این پژوهش ارزیابی سطح فناوری یک محصول نظامی نوظهور و برآورد هزینه‌های دستیابی به سطح بلوغ فناوری این محصول است. در این زمینه با توجه به مطالعات انجام شده و مطابق با نظر کارشناسان به‌منظور ارزیابی سطح بلوغ فناوری از مدل سطح آمادگی فناوری استفاده شد. به همین منظور در مرحله اول پس از تعیین نیازها و با استفاده از دو ماتریس استاندارد خانه کیفیت (QFD) الزامات یا مشخصات فنی محصول تعیین و اولویت‌بندی گردید. پس‌ازآن در مرحله دوم به کمک ابزار محاسبه‌کننده سطح آمادگی فناوری، سطح آمادگی فناوری محصول مورد بررسی تخمین زده شد. مطابق با این ابزار ابتدا برای هر یک از سطوح نُه‌گانه سطح آمادگی فناوری سؤالی مطرح می‌شود. سپس از سطوح بالا آغاز شده و اولین سطحی که در مصاحبه با کارشناسان دارای پاسخ مثبت است به‌عنوان سطح آمادگی فناوری فعلی در نظر گرفته می‌شود. بعدازآن، به سؤال‌های جزئی‌تر این سطح پرداخته می‌شود. به کمک این ابزار و با پاسخ خبرگان به سؤال‌های آن در نرم‌افزار اکسل سطح آمادگی فناوری به‌صورت دقیق تعیین می‌گردد. برای محصول مورد بررسی سطح TRL۴ به پایان رسیده و فناوری در حال گذار از TRL۵ به TRL۶ است. این مورد با تخمین اولیه سطح آمادگی فناوری موجود که بر اساس تعاریف بومی‌سازی شده سطوح آمادگی فناوری انجام شده بود دارای سازگاری است. سپس به‌منظور تعیین شکاف موجود برای گذار از سطح آمادگی فناوری به تجزیه‌وتحلیل و دسته‌بندی سؤال‌های این سطح بر اساس معیارهای در نظر گرفته شده در شرکت نیکسوز پرداخته شد. پس‌ازآن با استفاده از سند مشخصه‌های فنی و طیف لیکرت هر یک از پاسخ‌های کیفی به‌صورت کمی درآمده

www.SID.ir

Archive of SID

و میزان مطلوبیت آن‌ها مشخص گردید. به‌عبارت‌دیگر، تعیین شد که فناوری مذکور چه مقدار از سطح مطلـوب فاصله دارد و درک مشـترکی از فعالیت‌هایی که باید انجام پذیرد تا سـطح آمادگی فناوری مربوطه تکمیل گردد، به‌وجود آمد. در نهایت و در مرحله ۳، به‌منظور تخمین هزینه‌های سطح آمادگی فناوری محصول موجود از روش ABC اسـتفاده شـد. به کمک این روش هزینه انجام سطح آمادگی فناوری محصول مورد نظر برابر با ۷۷۱۲۵۰۰۰۰۰۰ تومان تخمین زده شـد. ازاین‌رو، سـازمان مذکور می‌تواند برنامه‌ریزی‌های مالی و عملیاتی لازم برای آن را انجام دهد. گفتنی است که برای پیاده‌سازی مدل پژوهش، از خبرگان مناسب در زمینه مهندسی سیستم، برآوردگر هزینه‌های فناوری و محققین برای ارزیابی و تعیین هزینه‌های توسـعه فناوری استفاده شـد. به‌منظور موفقیت سازمان در اکتساب فناوری مورد مطالعه، باید هزینه‌های محاسبه‌شده انجام پذیرد و برای مشتری برای استفاده از فناوری در محصولات مورد نظر اطمینان ایجاد گردد.

محدودیت‌های پژوهش

در این پژوهش، اسـتفاده از ابزار مصاحبه به‌منظور جمع‌آوری اطلاعات هم در مرحله شناسـایی و هم در مرحلـه وزن‌دهی الزامات کارکردی-عملکردی با پیچیدگـی روبرو بود. علاوه بر این، در جمع‌آوری اطلاعات مربوط به سطح آمادگی فناوری با توجه به کوچک بودن جامعه آماری (افرادی که به مسائل بلوغ فناوری آشنا هستند) تسلط لازم در برخی از افراد وجود نداشت.

پیشنهادهای پژوهش

بـرآورد هزینه‌ها با اسـتفاده از رویکرد نـوآوری باز، برآورد هزینه بلوغ فناوری بـا توجه به دوره زمانی طراحی محصول اولیه و پرداختن به مواردی همچون قابلیت اطمینان در سطح آمادگی فناوری از جمله پیشنهادهای پژوهش حاضر است.

www.SID.ir

Archive of SID

منابع

- آتش‌سوز، علی، مزروعی نصرآبادی، اسماعیل و بردبار، ماندانا. (۱۳۹۴). طراحی محصول با استفاده از رویکرد تلفیقی تحلیل سلسله‌مراتبی و گسترش عملکرد کیفیت. *فصلنامه مدیریت صنعتی*. ۹(۲۷)، ۸۲-۷۱.
- خدارحمی، بهروز. (۱۳۹۳). بررسی ساده‌سازی سیستم هزینه‌یابی بر مبنای فعالیت مبتنی بر محرک زمان گرا. *فصلنامه علمی و پژوهشی دانش حسابداری و حسابرسی مدیریت*، ۳(۱۰)، ۱۸۱-۱۶۵.
- صادق‌عمل‌نیک، مرتضی. (۱۳۸۴). بررسی عوامل مؤثر و ابعاد مختلف مدیریت توسعه تکنولوژی در هزاره سوم. *فصلنامه توسعه تکنولوژی*، ۳(۷)، ۳۶-۵.
- فولادی، قاسم و نپوری‌زاده، بهنام. (۱۳۹۱). *ارزیابی و استفاده از سطوح آمادگی فناوری* [پایان‌نامه]. موسسه آموزشی و تحقیقاتی صنایع دفاعی، مرکز آینده‌پژوهی علوم و فناوری‌های دفاعی.
- محمدی، مهدی، منطقی، منوچهر، الیاسی، مهدی، صابرفرد، علیرضا و سعدآبادی، علی‌اصغر. (۱۳۹۵). شناسایی شایستگی‌های عمومی مؤثر بر ارتقای ظرفیت جذب دانش فناورانه در صنایع پیشرفته دفاعی ج. ا. ایران. *فصلنامه راهبرد دفاعی*، ۴(۵۵)، ۱۹۳-۱۵۵.

- Albert, T. (2016) .Measuring technology maturity: Theoretical aspects measuring technology maturity. In *Measuring Technology Maturity: Operationalizing Information from Patents, Scientific Publications, and the Web* (pp. 9-113). Springer Gabler, Wiesbaden.
- Altunok, T., & Cakmak, T. (2010). A technology readiness levels (TRLs) calculator software for systems engineering and technology management tool. *Advances in Engineering Software*, 41(5), 769-778.
- Brimson, J. A. (1998). Feature costing: Beyond ABC. *Journal of cost management*, 12, 6-13.
- Buchner, G. A., Zimmermann, A. W., Hohgraave, A. E., & Schomäcker, R. (2018). Techno-economic assessment framework for the chemical industry—Based on technology readiness levels. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, *57*(25), 8502-8517.
- Cooper, R. G. (2006). Managing technology development projects. *Research Technology Management*, 49(46), 23–31.
- Graettinger, C. P., Garcia, S., Siviy, J., Schenk, R. J., & Van Syckle, P. J. (2002). *Using the technology readiness levels scale to support technology management in the DOD's ATD/STO environments* (No. CMU/SEI-2002-

www.SID.ir

Archive of SID

SR-027). Carnegie- Mellon UNIV Pittsburgh PA Software Engineering Institute.

– Iqbal, Z., Grigg, N. P., & Govindaraju, K. (2017). Performing competitive analysis in QFD studies using state multipole moments and bootstrap sampling. *Quality Engineering*, *29*(2), 311-321.

– Jaiswal, E. S. (2012). A case study on quality function deployment (QFD). *Journal of Mechanical and Civil Engineering*, 3(6), 27-35.

– Kannaiah, D. (2015). Activity based costing (ABC): Is it a tool for company to achieve competitive advantage?. *International Journal of Economics and Finance*, *7*(12), 275-281.

– Kenley, C. R., & El-Khoury, B. (2012). *An analysis of TRL-based cost and schedule models* (No. NPS-AM-12-C9P21R02-086). Massachusetts Institute of Technology Cambridge. 219-235.

– Lelkes, A. M. T. (2009). *Simplifying activity-based costing* [Doctoral dissertation, Oklahoma State University].

– Lezama-Nicolas, R., Rodríguez-Salvador, M., Río-Belver, R., & Bildosola, I. (2018). A bibliometric method for assessing technological maturity: The case of additive manufacturing. *Scientometrics*, *117*(3), 1425- 1452.

– Liljander, V., Gillberg, F., Gummerus, J., & Van Riel, A. (2006). Technology readiness and the evaluation and adoption of self-service technologies. *Journal of Retailing and Consumer Services*, 13(3), 177-191.

– Mankins, J, (1995). Technology Readiness Levels: A White Paper*., Office of Space Access and Technology NASA, Advanced Concepts Office.* Reaserch-Gate. https://www.researchgate.net/publication/247705707.

– Mankins, J.C. (2002). Approaches to strategic research and technology (R&T) analysis and road mapping. *Acta Astronautica*, 51(1-9), 3-21.

– Mankins, J. C. (2009). Technology readiness and risk assessments: A new approach. *Acta* Astronautica, 65(9-10), 1208-1215.

– Nolte, W. L. (2008). *Did I ever tell you about the whale?: Or measuring technology maturity*. Information Age Publishing (IPA).

– Rolin, J. F. (2014). NEXOS TRL Report-Work Package 3-Delivrable 3.1, *European Commission's 7th Framework Programme*.

www.SID.ir

Archive of SID

- Shahin, A. (2005). Quality function deployment: A comprehensive review. *Department of Management, University of Isfahan, Isfahan, Iran,* 1-25.
- Schinasi, K. V., Rodrigues, L., & Francis, P. (1999). Better management of technology development can improve weapon system outcomes. *Government Accountability Office (GAO), Washington, DC*, 76.
- Smoker, R. E., & Smith, S. (2007). System cost growth associated with technology-readiness level. *Journal of Parametrics*, 26(1), 8-38.
- Terrile, R. J., Doumani, F. G., Ho, G. Y., & Jackson, B. L. (2015). Calibrating the technology readiness level (TRL) scale using NASA mission data. In *2015 IEEE Aerospace Conference* (pp. 1-9). IEEE.
- Wahab, S. A., Rose, R. C., & Osman, S. I. W. (2012). Defining the concepts of technology and technology transfer: A literature analysis. *International business research*, 5(1), 61-71.
- Zhang, Y. F., Fuh, J. Y., & Chan, W. T. (1996). Feature-based cost estimation for packaging products using neural networks. *Computers in Industry*, 32(1), 95-11.

www.SID.ir