مدیریت برنامه تکنولوژی براساس رویکرد سطوح آمادگی

■ مهندس قاسم فولادی
کارشناس اداره نظارت بر پروژه‌های تحقیقاتی
مؤسسه آموزشی و تحقیقاتی صنایع دفاعی

چکیده

به‌راستی فرآیند توسعه تکنولوژی از چه مراحلی تشکیل می‌شود و هریک از این مراحل از چه ویژگی‌هایی برخوردار است؟ و به تناسب درک ما از این مراحل، چه رویکردی‌هایی برای مدیریت یک برنامه تکنولوژی قابل اتخاذ است؟

واقعیت این است که هر روز، با رویکردها و تکنیک‌های متفاوتی در مدیریت تکنولوژی روبرو می‌شویم و طبیعتاً مایلیم در مراحل اولیه، اطلاعات اجمالی راجع به آن بدست آوریم. در این نوشتار خواننده با رویکرد «سطوح آمادگی» در مدیریت تکنولوژی آشنا می‌شود و امید است با توسعه این آگاهی، که با کاربرد آن در مدیریت پروژه‌های تحقیقاتی حاصل می‌آید، بتوان برخی از منافع بهره‌گیری از این رویکرد را در قالب موارد زیر برشمرد:

۱ . تعیین ویژگی‌های تکنولوژی در هر سطح از آمادگی
۲ . مشخص کردن سطح ریسک در هر سطح از آمادگی
۳ . تعیین نقش هر یک از بازیگران عرصه تکنولوژی در هر سطح از آمادگی
٤ . ارائه الگوی توزیع اعتبارات تحقیقاتی در سطوح مختلف آمادگی
۵ . تعیین تکنولوژی‌های گلوگاهی در سیستم‌ها

کلید واژه :

مدیریت برنامه تکنولوژی، سطوح آمادگی تکنولوژی، ارزیابی تکنولوژی، خط سیر تکنولوژی

مقدمه

تحلیل و توسعه تکنولوژی سال‌ها است که ادامه دارد و اندازه‌گیری میزان یا سطح توسعه یافتگی تکنولوژی، یکی از چالش‌های مهم در پیش روی مدیران برنامه‌های تکنولوژی است . اندازه‌گیری میزان توسعه یافتگی تکنولوژی، در واقع، وضعیت پیشرفت تکنولوژی را از زمان ظهور مفاهیم اولیه تا زمانی که به جزئی از یک سیستم عملیاتی تبدیل می‌شود، نشان می‌دهد.

رویکرد سطح آمادگی تکنولوژی[1]، کوششی برای اندازه‌گیری سطح توسعه یافتگی تکنولوژی و توصیف مراحل مختلف آن است. البته درک و تطبیق این مراحل در تئوری و عمل تا حدی دشوار است و تلاش‌های فراوانی برای ساده‌تر کردن آن‌ها انجام شده و می‌شود .

برنامه تکنولوژی

به نظر می‌رسد پیش نیاز تعریف برنامه (توسعه) تکنولوژی، تعریف تکنولوژی است . تکنولوژی از بسیاری جهات شبیه به هنر است . هیچکس دقیقاً ماهیت آن را نمی‌شناسد، اما وقتی آن را می‌بینیم، برایمان آشنا به نظر می‌رسد . تعریف زیر، از طرح تکنولوژی سازمان ناسا اقتباس شده است . این تعریف، یک تعریف کلاسیک از دیدگاه تکنولوژیست‌ها بوده و عمومی نمی‌باشد. **تکنولوژی** عبارت از کاربرد عملی دانش جهت خلق قابلیت یا قابلیت‌هایی برای انجام کاری کاملاً جدید یا به روشی کاملاً جدید است . این تعریف را می‌توان از مفاهیمی نظیر تحقیقات علمی (که حاصل آن کشف دانش جدید و ظهور تکنولوژی جدید است) و مهندسی که استفاده از تکنولوژی خلق شده برای حل مسائل فنی و تکنیکی خاص است متفاوت دانست .»

برای عمومی کردن بحث، از تعریف ارائه شده در American Heritage Dictionary نیز بهره می‌گیریم.

الف) کاربرد علم، بخصوص در راستای اهداف صنعتی یا تجاری

ب) کل روش‌های به‌کارگرفته شده جهت دستیابی به اهداف صنعتی یا تجاری

جامعه مهندسی معمولاً مفهوم قسمت دوم را به عنوان تعریف تکنولوژی بر می‌گزینند . در این مفهوم، تکنولوژی می‌تواند «قدیمی»، «جاری (قابل دسترسی)» و یا «جدید (براساس سطوح آمادگی تکنولوژی)» باشد .تعریف ارائه شده توسط ناسا از «توسعه تکنولوژی» سخن می‌گوید. در اصطلاح تکنولوژیست‌ها، تکنولوژی و توسعه تکنولوژی صریحاً به یکدیگر قابل تبدیل بوده و هر دو از توسعه تکنولوژی‌های «نو» سخن می‌گویند . این مفهوم در قالب تعریف « نخست » می‌گنجد.

- مقایسه مدیریت برنامه تکنولوژی ومدیریت برنامه پرواز

تفاوت‌های قابل توجهی بین مدیریت یک برنامه تکنولوژی و مدیریت یک برنامه پرواز وجود دارد . در وحله نخست، برنامه تکنولوژی را نمی‌توان همانند یک برنامه پرواز مدیریت کرد . اگر این موضوع در آغاز به‌خوبی درک نشود، درحالت خوشبینانه، زمان‌بندی توسعه تکنولوژی بهم‌ریخته و هزینه‌ها به شدت افزایش خواهد یافت و در حالت بدبینانه نیز برنامه ناکام خواهد ماند .برای نمونه، اصطلاح «نیازهای برآورده نشده[2]» را در نظر بگیرید. این اصطلاح برای افرادی که با توسعه تکنولوژی سرو کار دارند یک معنی و برای افرادی که با توسعه سخت افزار پرواز[3] درگیر هستند؛ معنای دیگری دارد . دریک برنامه تکنولوژی، نیازهای برآورده نشده اهدافی هستند که احتمال دستیابی یا عدم دستیابی به آن‌ها وجود دارد . مسائل در بهترین حالت خود تنها تا حدی شناخته شده هستند، زمان‌بندی‌ها با نوعی پیشگویی همراه بوده و در شروع برنامه، برخورد با شرایطی خاص، به منظور حل مسائل ناشناخته، هزینه‌هایی را تحمیل خواهد کرد. در یک برنامه پرواز انتظار آن است که نیازهای برآورده نشده، به مجموعه‌ای از هزینه‌ها و زمانبندی‌هایی با نقاط عطف معین[4] منجر گردد. انتظار داریم که از این نقاط عطف، با

روشی منظم و در قالب زمانبندی و هزینه معین با موفقیت عبور کنیم . البته منظور آن نیست که در یک برنامه پرواز با هیچ معضلی روبرو نخواهیم شد ؛ اما مسائل ایجاد شده در یک برنامه تکنولوژی متفاوت هستند . در سناریوی یک برنامه پرواز اگر نیازهای برآورده نشده به درستی مشخص شوند، سرمایه‌گذاری برای برنامه به‌طور مناسب انجام شده و نیازی به توسعه تکنولوژی‌های جدید نخواهد بود . بنابراین بطور معقول انتظار می‌رود که مشکلات مهندسی ایجاد شده، در همان محدوده مالی و زمانی برنامه حل شوند .

بدیهی است که باید توجه بیشتری را به اصطلاح «انتظارات»[5] مبذول ساخت . انتظار یا انتظارات یک برنامه پرواز، آن است که نیازهای برآورده نشده، هزینه‌ها و زمان را مشخص سازد و در صورتی که طبق زمانبندی انجام شده پیش برویم، محصول به‌دست آمده نیازهای برآورده نشده را برآورده خواهد ساخت. البته در یک برنامه تکنولوژی، ممکن است که محصول به‌دست آمده، نیازهای برآورده نشده را برآورده سازد ویا حتی برآورده نسازد و همین احتمال است که نیروی محرکه طرح‌ریزی برای یک برنامه تکنولوژی را تشکیل می‌دهد .

یک برنامه تکنولوژی خوب، دارای مسیرهای متعددی برای موفقیت و در صورت لزوم دارای نقاط عقب نشینی و نقاط عطف کمی با دروازه‌های مختلف جهت تغییر سمت و سوی برنامه است. بنابراین اختلاف کلیدی بین برنامه تکنولوژی و برنامه پرواز، در « انتظارات اولیه » مستتر است . آن انتظارات است که طرح‌ها را تولید می‌کند و طرح‌ها هستند که موفقیت را به دنبال می‌آورند . اگر یک برنامه تکنولوژی با « انتظارات » مربوط به یک برنامه پرواز مدیریت شود، در مواجه‌ی با مشکلات، مسیرهای متعدد و دروازه‌های تصمیم‌گیری مختلفی را در اختیار نخواهد داشت . این فرآیند شبیه به یک بازی میز[6] است که در آن به صورتی غیر منتظره با یک دیوار آجری (مانع) روبرو می‌شویم و می‌بایست در همان لحظه، مسیر دیگری را انتخاب کنیم؛ فرآیندی که متأسفانه بسیاری از برنامه‌ها از آن پیروی کرده و می‌کنند. باید همیشه به خاطر داشت که برنامه‌های تکنولوژی، همگی در راستای بیشینه کردن احتمال موفقیت قرار دارند و یک مدیر موفق، باید به هر روشی که می‌تواند« اهداف معنا داری را وضع نماید »، «زمانبندی را به گونه‌ای تنظیم کند که فرصت موفقیت را بیشینه نماید» و «با هزینه‌های اختصاص داده شده به برنامه، بقای خود را حفظ کند ».در دنیای یک مهندس توسعه، عدم قطعیت جایی ندارد، مگر در حل مسائل مهندسی در حین توسعه. بنابراین بروز هر گونه خطا و انحراف در برنامه‌ریزی، ناشی از تعریف نامناسب نیازهای برآورده نشده خواهد بود. به همین دلیل با داشتن مجموعه نیازهای برآورده نشده مناسب به سادگی می‌توان :

- نیازهای برآورده نشده سطح پایین‌تر را استخراج کرد،
- هزینه‌ها را تخمین زد ؛
- ساختار خرد شده کار (WBS) را ارائه کرد ؛
- برنامه زمانبندی را ارائه داد ؛
- سرمایه را جذب کرد ؛
- کار را شروع کرد ؛
- محصول را تحویل داد .

ویژ گی‌های یک برنامه تکنولوژی

یک برنامه تکنولوژی موفق باید دارای چند خصوصیت باشد :

۱ . وجود اهداف امکان پذیر و متهورانه: تعیین این اهداف و نیازهای برآورده نشده، یک مرحله کلیدی و بحرانی بوده و مستلزم صرف وقت و تلاش زیادی است . در بسیاری از موارد، اهداف و نیازهای برآورده نشده در شروع کار به مدیر برنامه دیکته می‌شود . بهتر است نیازهای برآورده نشده‌ی غیر واقع بینانه را در آغاز کار، کنار گذاشت تا در انتها باعث ناکامی نشود . به همین دلیل، برای مدیر برنامه، ترسیم چشم اندازی

واقع‌بینانه و بی‌طرفانه از اهداف و نیازهای برآورده نشده بسیار ضروری است.

۲. همراهی مدیرتوسط یک گروه مشاور مستقل: وجود چنین گروهی بسیار حیاتی است و اولین وظیفه آن بررسی اهداف و نیازهای برآورده نشده‌ی برنامه است .

۳. وجود یک هدف مشترک: بسیاری از برنامه‌های تکنولوژی نتیجه ترکیب فعالیت‌های چند گروه است که تحت یک رهبری واحد قرار دارند . برای موفق شدن کل برنامه لازم است تمام عناصر بر روی یک هدف مشترک متمرکز شوند

٤ . ارزیابی برنامه: لازم است ارزیابی داخلی و خارجی، بصورت پیوسته، از پیشرفت برنامه و حرکت آن به سمت اهداف وجود داشته باشد .

٥ . تعبیه راه‌کارهای متعدد: لازم است مسیرهای چند گانه را برای به حداکثر رساندن احتمال موفقیت ایجاد نمود. این مسیرها می‌بایست در یک خط سیر مناسب قرار داده شوند .

٦ . ارائه طرح اجرایی مناسب با روند برنامه: طرح اجرایی باید دارای نقاط عطف با معیارهای کمّی برای ارزیابی باشد .

۷. تصمیم گیری مناسب : دروازه‌های تصمیم باید در محل شکاف‌ها و پیوندگاه‌های بحرانی، به منظور به اتمام رساندن مسیرها یا جهت دادن به تلاش‌ها، قرار گیرند.

۸ . درک عمیق اعضاء: اعضای برنامه می‌بایست درک عمیقی از تکنولوژی‌های کلیدی مورد نیاز و سطوح آمادگی تکنولوژی (TRL) داشته باشند.

سطوح آمادگی تکنولوژی

سطح آمادگی تکنولوژی در واقع تاریخچه عملکردی یک سیستم، زیر سیستم یا مؤلفه است که توسط ۹ سطح مختلف توصیه می‌شود . این سطوح که برای اولین بار توسط سادن[۷] در دهه ۸۰ میلادی شرح داده شد؛ وضعیت جاری یک تکنولوژی مفروض را شرح داده و خط پایه‌ای را برای توسعه آن فراهم می‌سازد . بدون داشتن یک درک شفاف از خطوط پایه، فهم حجم، اندازه و افق دید یک برنامه توسعه تکنولوژی غیر ممکن است. در شکل شماره (۱) این سطوح نه‌گانه نمایش داده شده‌اند . استفاده از این نمودار، بدون وجود درک مشترک از عبارات و اصطلاحات مورد استفاده در آن مشکل است . لذا، اولین قدم برای ارائه و توسعه TRL، تعریف اصطلاحات بکار گرفته شده است . البته ممکن است تعاریف تا حدی اختیاری باشند، اما بعد از اختیار این تعاریف، مسأله مهم، استفاده یکسان از تعاریف توسط همه افراد و اعضاءاست.

تعاریف

قبل از بحث در خصوص سطوح آمادگی تکنولوژی، لازم است برخی از اصطلاحات مرتبط را تعریف نماییم .

۱. تکنولوژی بلند مدت (Far Term Technology): تکنولوژی که در یک بازه زمانی ٦ الی ۲۰ سال مورد نیاز خواهد بود . عموماً این تکنولوژی در سطوح پایین آمادگی (TRL1-TRL3) قرار دارد .

۲ . تکنولوژی میان مدت (Mid Term Technology): تکنولوژی در یک بازه ۳ الی ٦ سال مورد نیاز خواهد بود و عموماً در سطوح میان آمادگی (TRL3-TRL5) قرار دارد و کاربردی است .

۳ . تکنولوژی کوتاه مدت (Near Term Technology): این تکنولوژی در یک بازه زمانی ۱ الی ۳ سال مورد نیاز خواهد بود . تکنولوژی کوتاه مدت به‌دلیل محدودیت زمانی، حداقل می‌بایست در سطوح آمادگی (TRL5-TRL8) قرار گیرد.

٤ . نمونه اولیه (Prototype) : این مدل برای ارزیابی طراحی، عملکرد و قابلیت تولیدی شدن مناسب است . اما عناصر آن به احتمال بسیار زیاد در جریان تجربیاتی که از تست و توسعه آن به‌دست می‌آید، تغییر خواهندکرد .

۵ . **نمونه تولیدی** (Production Prototype): مدل نهایی یک طراحی قبل از دریافت تأییدیه برای تولید است و می‌بایست تا حد بسیار بالایی نشان دهنده سیستم نهایی باشد ؛ با این تفاوت که هنوز فرآیند ساخت و تولید آن نهایی نشده است.

٦ . **نمونه مهندسی**(Engineering Prototype): مدل توسعه یافته‌ای است که به تولید نزدیک شده و جنبه‌های کلیدی و بحرانی فرآیند مهندسی را به نمایش می‌گذارد.

۷ . **بورد برنجی** (Brass board) : این مدل تجربی، جهت تعیین امکان‌پذیری و توسعه داده‌های تکنیکی و عملیاتی مورد استفاده قرار می‌گیرد و ممکن است با نوع نهایی مشابهت داشته باشد . از این مدل می‌توان خارج از محیط آزمایشگاه، برای نمایش اصول تکنیکی و عملیاتی استفاده نمود . این مدل معمولاً در طی مطالعات پیشرفته طراحی پیش مفهومی و طراحی مفهومی فاز تحلیل‌های مقدماتی ساخته می‌شود و ممکن است در فاز طراحی مقدماتی نیز ادامه یابد . این مدل را می‌توان حد واسط Breadboard و نمونه اولیه دانست که در آن سعی می‌شود تا حد امکان از سخت افزارها و نرم افزارهای اصلی استفاده شود.

۸ . Breadboard: یک مدل تجربی است که جهت تعیین امکان‌پذیری و توسعه داده‌های تکنیکی مورد استفاده قرار می‌گیرد . این مدل معمولاً در آزمایشگاه برپا می‌شود و احتمالاً شباهتی با نوع نهایی ندارد و معمولاً در طی مطالعات پیشرفته یا طراحی مفهومی ساخته می‌شود . این مدل، تنها عمل سیستم را نشان می‌دهد.

۹ . **مدل مقیاس** (Scale Model): مدلی است که در یک مقیاس معین ساخته می‌شود و به لحاظ ظاهری شبیه مدل نهایی به نظر می‌رسد . ابعاد این مدل ممکن است کوچک‌تر از مدل نهایی و یادر ابعاد طبیعی ساخته شود . همچنین در این مدل ممکن است همه جنبه‌های نوع نهایی (شکل و اندازه) در نظر گرفته نشود.

۱۰. Mass Model: مدلی است که تنها شکل و اندازه را نمایش می‌دهد.

۱۱ .**محیط مرتبط** (Relevant Environment): همیشه لازم نیست تمامی سیستم‌ها، زیر سیستم‌ها و مؤلفه‌ها را در یک محیط کامل تست کرد . به همین دلیل، محیط‌هایی ویژه (مرتبط با آن سیستم، زیر سیستم یا مؤلفه) جهت اینگونه تست‌ها ایجاد می‌شود.

۱۲. **محیط آزمایشگاهی** (laboratory Environment): محیطی که به هیچ وجه شباهتی با محیط عملیاتی ندارد و سیستم هیچگاه در عمل، با آن مواجه نخواهد شد .

۱۳. Flight Proven : سخت افزار- نرم افزاری یکسان با سخت افزار - نرم افزاری که در یک مأموریت با موفقیت عمل کرده است.

۱٤. Unit Flight Qualified : سخت افزار - نرم افزار پرواز واقعی که در مرحله تست‌های پذیرش قرار دارد.

۱۵. Proto-Flight Unit : واحد پروازی که می‌بایست در یک شرایط محیطی خاصی تقریباً بین ۵ تا ۱۰ درصد سخت‌تر از شرایط محیطی مورد انتظار تست شود .

۱٦. Proof of Concept : نمایش تحلیلی و تجربی مفاهیم سخت افزار ـ نرم افزار که ممکن است در مدل‌ها به کار گرفته شده و یا به کار گرفته نشوند .

برای درک بهتر مطلب به مثال زیر توجه کنید :

موضوع بحث، توسعه رادار Bistatic برای هواپیماهای جنگنده است . تفسیر سطوح مذکور به‌صورت زیر است :

TRL۱ : گزارش و مقاله‌ای که مفهوم سیستم رادار Bistatic و نقش آن در ایجاد تصاویری با تفکیک بالا و به‌صورت لحظه‌ای، توصیف کند.

TRL ۲ : گزارشی که کاربردهای آینده این سیستم ها را به تصویر کشیده است .

TRL ۳ : گزارشی که تحلیلی از عمل و عملکود سیستم را ارائه می‌دهد و جمع‌آوری و تحلیل تجربی داده‌ها با استفاده از امکانات آزمایشگاهی

برای اثبات تحلیل‌های ادعا شده را به عهده دارد. استخراج نیازهای برآورده نشده، قیدها و محدودیت‌ها برای به‌کارگیری آن در آینده به عنوان یک وظیفه جدید در رادارهای طیف گسترده با توجه به نتایج حاصل از تحلیل‌ها و آزمایشات از دیگر وظایف آن است.

TRL ٤ : گزارشی بر مبنای تعریف یک سیستم رادار برای هر دو حالت mono static و Bistatic بر اساس معماری‌های تعریف شده در TRL3 است. طراحی و ساخت ماژول‌ها و یا زیر سیستم‌ها برای شبیه سازی جنبه‌های کلیدی سخت افزار و نرم افزار، تست ماژول‌ها در محیط مناسب آزمایشگاهی با استفاده از تجهیزات حقیقی و شبیه‌سازی شده، ارزیابی مجدد سازگاری مفاهیم و پیشگویی‌های عملکردی ارائه شده در TRL3 نیز در این گزارش دیده می‌شود.

TRL5 : توسعه ماژول‌های سخت افزاری و نرم افزاری بر اساس نتایج حاصل از TRL3 به منظور انجام تست در محیط مرتبط با کاربرد را انجام می‌دهد.

TRL6 : در این مرحله، بازبینی و تغییر کل معماری سیستم و ماژول‌ها در صورت لزوم بر اساس نتایج حاصل از TRL4، یکپارچه کردن مؤلفه‌ها، استفاده از تجهیزات موجود در هر جای لازم، تست نمونه اولیه در محیط مرتبط (شامل ECM (شرایط جنگ الکترونیک) و گرفتن تأییدیه مسئولان ذیربط انجام می‌شود.

TRL7 : این مرحله شامل توسعه یک سیستم نمونه‌ای شامل معماری‌ها و نرم افزارها، نمایش کارکرد سیستم تحت شرایط جنگ الکترونیک (ECM) مورد توافق روی یک هواپیمای مدل و به‌دست آوردن داده‌های عملکردی سیستم است. این داده‌ها می‌بایست با اهداف تعریف شده و مورد توافق سازگار باشند.

در این مرحله سیستم باید مجموعه‌ای از اهداف جنگ مورد نظر را با موفقیت پیدا نموده و ردگیری نماید. دریافت تأییدیه از مسئولان ذیربط نیز در همین قسمت انجام می‌شود.

TRL8 : در این مرحله نمایش موفقیت‌آمیز یک سیستم کامل، تحت شرایط کامل مأموریتی، تمام شرایط آب و هوایی، روز، شب و هماهنگی کامل با دیگر تجهیزات هواپیما انجام می‌شود که نشان‌دهنده دستیابی موفقیت‌آمیز به تمامی اهداف از پیش تعریف شده است.

TRL9 : در مرحله پایانی، عملکرد رادار در تمام مأموریت‌ها در محیط عملیاتی به اثبات رسیده و تمام نیازها را برآورده ساخته است (شکل شماره ۲).

ارزیابی تکنولوژی

ارزیابی تکنولوژی بحرانی ترین مرحله اولیه در یک برنامه موفق است. این فعالیت در واقع یک فرآیند پیوسته و تکراری در طی دوره حیات برنامه و شامل دو مرحله می‌باشد:

۱. تعیین دقیق TRL تکنولوژی‌های بحرانی و کلیدی

۲. تعیین دقیق درجه مشکلی پیشرفت[۸] آن دسته از تکنولوژی‌هایی که می‌بایست از مرحله TRL فعلی خود به TRL مورد نظر برنامه برسند. ارزیابی تکنولوژی از آن جهت مهم است که بدون داشتن درک روشنی از این‌که خط پایان کجاست و فعلاً در کجای کار هستیم؛ درک مقدار و میدان دید برنامه توسعه تکنولوژی غیر ممکن است.

همان‌طور که گفته شد، ارزیابی تکنولوژی، یک فرآیند چند سطحی است و در سطح سیستم، زیر سیستم و مؤلفه به‌صورت یکسان انجام می‌شود. ارزیابی TRL، ارزیابی وضعیت یک تکنولوژی نسبت به حالات توصیف شده توسط TRLها است. انجام این‌مرحله از کار، نیازمند وجود یک تیم با تجربه است. کار ارزیابی از بالاترین سطحی که آن تکنولوژی خاص می‌بایست به آن برسد، شروع می‌شود. برای این منظور، می‌توان سؤالاتی به صورت متوالی مطرح نمود (شکل شماره۳)

این فرآیند به صورت جداگانه می‌بایست برای سیستم، تمام زیر سیستم‌ها و تمام مؤلفه‌های هر

یک از زیر سیستم‌ها انجام پذیرد همان‌طور که مشاهده می‌شود، در طرف چپ ماتریس سیستم‌ها، زیر سیستم‌ها و مؤلفه‌هایی که می‌بایست ارزیابی شوند، فهرست شده است. ستون‌ها شامل دسته‌هایی هستند که برای تعیین TRL استفاده می‌شوند . مثلاً چه مدل‌هایی باید ساخته شوند، با چه مقیاسی و در کدام محد تست شوند؟

پاسخ این سؤال‌ها، TRL موضوع مورد ارزیابی را مشخص می‌سازد . TRL سیستم، برابر پایین‌ترین TRL به‌دست آمده در ماتریس (که معمولاً مربوط به یک عنصر می‌باشد) خواهد بود .

- درجه مشکلی تحقیق و توسعه (R&D3) و درجه مشکلی پیشرفت (AD2)

آقای John C .Mankins در راستای TRLها موضوعی را تحت عنوان درجه مشکلی تحقیق و توسعه[9] به صورت زیر مطرح نمود. در واقع، او فعالیت تحقیق و توسعه یک تکنولوژی را بر اساس درجه مشکلی دستیابی به اهداف R&D رتبه‌بندی کرده است.

با مشخص شدن TRL عناصر مختلف سیستم، زیر سیستم یا مؤلفه‌ها که می‌بایست توسعه یابند؛ انجام یک ارزیابی از آنچه که برای رساندن تکنولوژی به سطح مورد نظر برنامه نیاز است، ضروری می‌نماید. این مرحله بسیار مهم است و همه چیز به آن بستگی دارد. لذا می‌بایست زمان و انرژی کافی برای انجام آن اختصاص یابد. یک روش برای دستیابی به این هدف، استفاده از فرآیند ارزیابی درجه مشکلی پیشرفت (رسیدن به TRL مورد نظر از TRLموجود) است .

ارزیابی درجه مشکلی دستیابی به TRL به سؤالات ذیل پاسخ می‌دهد.

- آیا ما به داده‌ها، ابزار و امکانات جدید نیاز داریم؟
- آیا باید مواد جدیدی را توسعه دهیم؟
- مطالبات تست چه هستند؟
- آیا بردبوردها، مدل‌های توسعه‌ای و نمونه‌ها را بسازیم ؟

هر مؤلفه بر اساس R&D3 درجه‌بندی می‌شود و نتیجه در جدول ثبت می‌شود . ستون ماقبل آخر، ارزیابی عددی از مشکل کل و ستون آخر ارزیابی، متناسب با سطح اهمیت، موضوع را به وسیله رنگ‌های مختلف نمایش می‌دهد. این ارزیابی تا حدی ذهنی است. درجه مشکلی هرگز پایین‌تر از بالاترین مقدار موجود در ردیف مربوطه نیست. اگر تمام دسته‌ها دارای مقدار یکسانی باشند، به اندازه ۱۰٪ مقدار سطح به عدد سطح اضافه می‌شود.

	معمولی	تقویت شده
سطح V	۵	۵،۵
سطح IV	٤	٤،٤
سطح III	۳	۳،۳
سطح II	۲	۲،۲
سطح I	۱	۱،۱

موفقیت اجرای فرآیند درجه مشکلی پیشرفت، در گرو وجود افراد ماهر و منحصر بفرد در تیم ارزیابی است. ارزیابی TRL تنها نیازمند دانش آنچه که تا کنون انجام داده‌ایم و انجام نداده‌ایم است. لذا در این مرحله به افرادی نیاز است که این اطلاعات را دارا باشند. اما برای ارزیابی درجه مشکلی پیشرفت به افرادی متخصص و با تجربه نیاز است که قادر به ارزیابی باشند. در بسیاری از موارد تجربه‌ای نیز وجود ندارد و می‌بایست تیم یا تیم های ارزیاب، مدتی را برای شناخت موضوع (که ممکن است طولانی نیز باشد) اختصاص دهند. تشکیل تیم ارزیاب یکی از مهم‌ترین چالش‌های مدیر برنامه تکنولوژی و کلیدی‌ترین عامل موفقیت برنامه است .

خط سیر تکنولوژی

قدم بعدی، تهیه خط سیر تکنولوژی است. خط سیر تکنولوژی طرحی است که مسیر توسعه یک تکنولوژی خاص یا دسته‌ای از تکنولوژی‌ها را ترسیم می‌کند. خط سیر تکنولوژی، تکنولوژی‌های کلیدی را مشخص نموده و مراحل لازم جهت

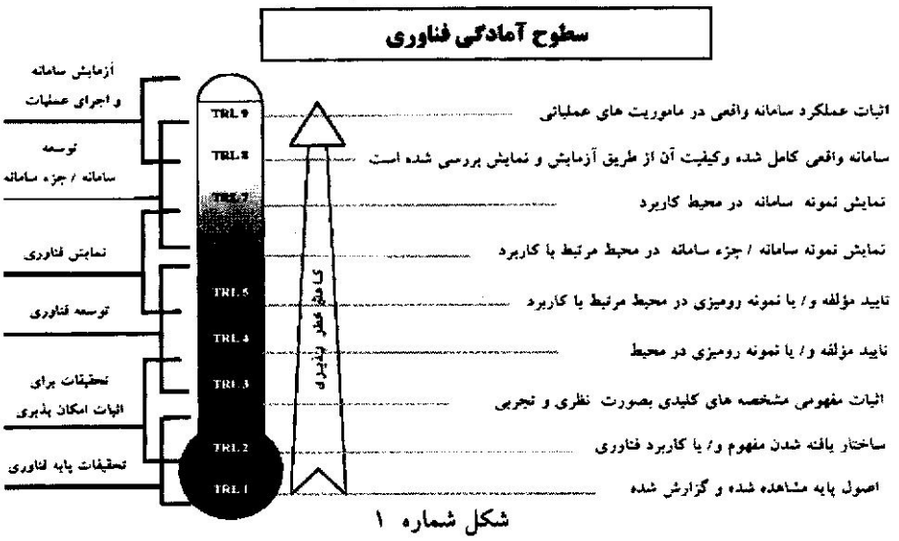
رساندن آن‌ها به TRL مورد نظر را توصیف می‌کند. در یک برنامه تکنولوژی، خط سیر، نقش راهنمای اولیه را بازی می‌کند و فعالیت‌هایی را که می‌بایست انجام شوند کمّی می‌نماید، مراحل و سمت و سوی فعالیت‌ها را تعیین می‌کند و اساس و پایه طرح اجرایی برنامه را نیز تشکیل می‌دهد. دو فرآیند ارزیابی TRL و ارزیابی درجه مشکلی، اطلاعات لازم برای خط سیر را فراهم می‌سازند. ارزیابی TRL، تکنولوژی‌های کلیدی راکه می‌بایست به برنامه متصل شوند؛ تعیین می‌کند و ارزیابی درجه مشکلی (AD2) نیز مهم‌ترین جنبه را برای تعیین اولویت‌های نسبی این تکنولوژی‌های کلیدی، فراهم می‌سازد. طبق قاعده، مشکل‌ترین عنصر نیازمند طولانی‌ترین زمان، جهت توسعه است و در نهایت، بالاترین اولویت را به خود اختصاص خواهد داد. کاربرد دیگر AD2 تعیین جاهایی است که نیاز به اتخاذ رویکردهای موازی دارند. برای بیشینه کردن احتمال موفقیت در فعالیت‌های سخت، تاکید بسیاری بر اتخاذ چندین رویکرد می‌شود. همچنین ارزیابی AD2 بینش قابل توجهی در خصوص نوع برد بوردها، مدل‌های مهندسی و نمونه‌هایی مورد نیاز، نوع تست و همچنین امکانات تست، ایجاد می‌کند. ارزیابی AD2 نقش سنگینی در تعیین هزینه‌ها و زمانبندی برنامه دارد.

نتیجه‌گیری و توصیه‌ها

آنچه گذشت، تنها خلاصه‌ای از فرآیندی است که توسط ناسا و وزارت دفاع آمریکا به منظور مدیریت یک برنامه تکنولوژی به‌کارگرفته شده و تلاش‌های بسیاری برای اصلاح آن درجریان می‌باشد درس یا درس‌هایی که می‌توان به عنوان ایده از این روش گرفت، آن است که برای شروع، از چنین فرآیندی می‌توان برای تعریف پروژه‌ها و تعیین سطح فعالیتی که پروژه‌ها مدعی انجام آن هستند استفاده کرد. کار نظارت بر پروژه‌ها نیز بر همین اساس و سطح امکان‌پذیر است؛ چرا که در هر سطح، انتظارات کاملاً مشخص شده و شفاف می‌باشند و جالب آنکه در پایان، هر سطح می‌بایست مورد تأیید مسؤلان ذیربط قرار گیرد تا اجازه ورود به سطح بعدی را بیابد. از این الگو می‌توان در تدوین برنامه‌های توسعه تکنولوژی نیز استفاده کرد. البته با توجه به تجربه بسیار اندک ما، این کار ساده‌ای نیست اما می‌تواند فعالیت‌های ما را نظم و جهت دهد. طبق نوشته‌های به‌دست آمده، ناسا روشی را برای بودجه‌بندی سطوح و انتقال از یک سطح به سطوح دیگر نیز ارائه کرده است که متأسفانه هنوز این اطلاعات برای ما کافی نیستند. بهرحال ایجاد چنین روشی در حوزه دفاعی کشور، در عین راه‌گشایی، نیازمندیک همت عالی وکار گروهی است. ما امیدواریم با کسب نظرات و ایده‌های خوانندگان و صاحب‌نظران محترم، بتوانیم با همکاری هم این روش را توسعه دهیم. در مطالعات مکرراً توصیه شده است که؛ توسعه تکنولوژی باید با دقت فراوان از تکنولوژیست‌ها به مدیران برنامه تکنولوژی انتقال یافته و تا حد امکان، قبل از ورود به برنامه تولید، توسعه یابد. همچنین مطالعات بسیاری نشان می‌دهد که محیط علمی و سازمان‌های تکنولوژیکی، برای توسعه تکنولوژی مناسب‌تر از محیط‌های تولید محور هستند.

پی‌نوشت:

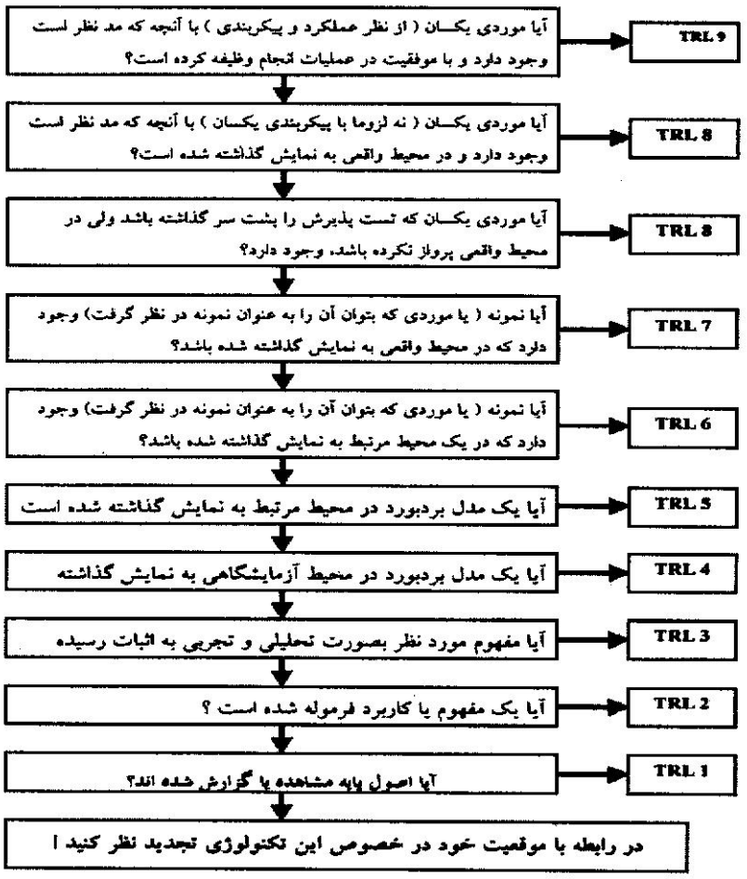
1. **Technology Readiness Levels (TRLS)**
2. **Requirements**
3. **Flight Hardware**
4. **Milestone**
5. **Expectation**
6. **Maze**
7. **Sadan**
8. **Adbancement pegree of Difficulty (AD2)**
9. **R & P Degree of Difficulty (R & D3)**



شکل شماره ۱

سطح آمادگی تکنولوژی	توصیف
۱ – اصول پایه مشاهده و گزارش شده	شروع تحقیقات علمی برای ارزیابی اینکه آیا کاربرد نظامی دارد یا نه . مثلا مطالعات پیشرفته در خصوص خواص پایه تکنولوژی مذکور
۲ – فرموله شدن مفهوم و / یا کاربرد تکنولوژی	شروع خلاقیت و نوآوری. ارائه کاربردهای عملی . این کاربردها هنوز ذهنی و گمانی هستند و تجزیه و تحلیل مفصل در خصوص اثبات آنها صورت نگرفته است. در این حالت نیز تکنولوژی هنوز در میان مقالات و نوشته ها است.
۳ – اثبات مفهومی مشخصه های کلیدی بصورت نظری و تجربی	شروع مطالعات تحلیلی و آزمایشگاهی برای اثبات فیزیکی پیشگویی های تحلیلی عناصر مختلف تکنولوژی مذکور.
٤ – تایید مؤلفه و/ یا Breadboard در محیط آزمایشگاه	مؤلفه های اصلی تکنولوژی مذکور یکپارچه می گردند. مثلا یکپارچه کردن سخت افزار به صورت موردی در آزمایشگاه.
٥ – تایید مؤلفه و/ یا Breadboard در محیط مرتبط با کاربرد	مؤلفه های اصلی تکنولوژیکی برعناصر واقعی متکی شده به گونه ای که می توان تکنولوژی مذکور را در یک محیط شبیه سازی شده تست نمود.
٦ – نمایش مدل سیستم / زیر سیستم یا نمونه در محیط مرتبط با کاربرد	مدلی از سیستم یا نمونه آن در یک محیط مرتبط تست می شود.
۷ – نمایش نمونه سیستم در محیط عملیاتی	نمونه به مدل اصلی نزدیک شده است و می بایست در محیط عملیاتی تست گردد.
۸ – بررسی کیفیت سیستم واقعی کامل شده از طریق تست و نمایش	اثبات می شود که تکنولوژی در شکل نهایی خود تحت شرایط مورد نظر عمل می کند. غالبا این مرحله نمایانگر پایان نمایش است. مثلا تست و ارزیابی سیستم در سیستم سلاح مربوطه برای تعیین آنکه مشخصه های طراحی برآورده شده است.
۹ – اثبات عملکرد سیستم واقعی در ماموریت های عملیاتی	بکارگیری تکنولوژی در شکل نهایی و تحت شرایط ماموریتی خود.

شکل شماره ۲: توصیف سطوح نه گانه آمادگی تکنولوژی توسط وزارت دفاع آمریکا



شکل شماره ۳

فهرست منابع

1. JohnC . Mankins, Research & Development Degree of Difficulty (NASA, 1998).
2. Jim. Bilbro & Bob Sackheim, Managing a Technology Program (NASA, 2001).
3. A structured Approach to RLV Technology Flight testing (NASA, 2002).
4. Deborah j . peisen & catherine L . Schulz Case studies: time required to .
5. Mature Aeronautic Technologies to operational Readiness (NASA , 1999).

Technology plan management based on the levels of readiness trend

■ *G. Fouladi. BSC.*
Member of research projects in the evaluation of education and research institute of defense industries

Abstract:

What steps truly does the process of technology development consist of ? And, what characteristics does each of the steps have? And, what kinds of trends can be taken by the management of a plan proportional to our perception of these steps?

In fact, we face everyday with different trends and techniques in technology management and we are naturally willing to obtain concise information about them in preliminary steps. In this article, you will get acquainted with "the levels of readiness" trend in technology management and it is hoped that by spreading this knowledge, which is achieved by its application in research projects management, some of the benefits of using this trend can be enumerated in the following forms:

Determining the specification of technology in every level of readiness
Specifying the level of risk in every level of readiness
Determining the role of each of the players in technology arena in every level of readiness
Representing the pattern of research credit distribution indifferent levels of readiness
Determining the bottle – neck technologies in systems.

Keywords:

Technology plan management, levels of readiness in technology, technology evaluation, technology path