



پارک علم و فناوری دانشگاه آزاد اسلامی
Science and Technology Park

سطح آمادگی فناوری

به بیانی ساده

TRL

Technology

Readiness Level

پارک علم و فناوری دانشگاه آزاد اسلامی

زمستان ۱۳۹۶

درباره پارک علم و فناوری

امروزه با رشد تکنولوژی های نوین و گسترش دسترسی به شبکه های ارتباطی و اجتماعی، انفجار حوزه فناوری اطلاعات (IT/ICT)، توسعه روزافزون دانش کار آفرینی، فزونی کسب و کارهای نوپا بر پایه تکنولوژی، انقلابی نو در کشور به ویژه در بخش دانشگاه و صنعت در حال شکل گیری و تکامل است. در این راستا و در تحقق نهضت تولید علم و تجلی در چشم انداز ۲۰ ساله جمهوری اسلامی ایران، ایجاد مراکز کارآفرینی تخصصی از جمله وجود پارک های علم و فناوری، پلی است سیال در مسیر خلق ارزش افزوده که در توسعه و تعالی هر کشور از اهمیت خاصی برخوردار است.

در حرکت به سوی اهداف کلان دانشگاه ها، دانشگاه آزاد اسلامی نیز به عنوان یکی از مراکز علمی برتر که شالوده آن با دانش برتر تجاری در زمان خود، بنیانگذاری شده است، توانست با تدوین و ارائه طرح تجاری، (Business Model)، موافقت اصولی راه اندازی پارک علم و فناوری خود را از وزارت علوم، تحقیقات و فناوری دریافت نماید و اولین پارک غیر دولتی این دانشگاه با همیاری و افتخار حضور اندیشمندان راه گشای دانشگاهی، در دو مرکز حرفه ایی، با وجود داشتن ظرفیت های لازم و همچنین سهم نسبتاً زیاد این دانشگاه در تولید علم، راه اندازی شد که می تواند با استفاده از زیر ساخت های عظیم و موجود دانشگاه آزاد اسلامی، در توسعه مبتنی بر دانایی و علم فن آفرینی برای رشد فعالیت های دانش محور موثر واقع گردد.

پارک علم و فناوری دانشگاه آزاد اسلامی با وجود بیش از ۹۰۰ واحد، هسته فناور و شرکت دانش بنیان مستقر در ۱۰۰ مرکز رشد این دانشگاه در سراسر کشور با هدف حمایت، پشتیبانی، سرمایه گذاری و توسعه بیشتر خدمات تجاری در عرصه علمی و دانشگاهی تشکیل شده است.

مدل پارک علم و فناوری دانشگاه آزاد اسلامی، پس از مطالعه و پژوهش در خصوص انواع تعاریف ساختاری، راهبرد های عملیاتی، سطوح عملکرد و ارزیابی پارک های علم و فناوری و همچنین مکانیزم های حمایتی از کارآفرینان در سایر کشور های پیشرو در این زمینه، طراحی گردید. در طراحی این مدل، ساختار پارک، شبکه کارآفرینی و مکانیزم های حمایتی از کارآفرینان، با ملاحظه شرایط خاص کشور از یک سوی و خصوصیات سازمانی دانشگاه آزاد اسلامی از سوی دیگر، با هدف دستیابی به ساختاری قدرتمند، یادگیرنده، چابک و غیردولتی، بومی سازی گردیده است.

در همین راستا فعالیت های ارزیابی ابعاد مختلف از چرخه زندگی و تکامل فناوری های نو، تولیدات و ساخته های روز مبتنی بر این فناوری ها، آمادگی بازار و مشتریان یک کالا یا خدمت و برآورد ریسک های موجود در مسیر تجاری سازی، در سازمان های پیشرو جهان مانند سازمان ملی هوانوردی و فضایی آمریکا (NASA) و حوزه دفاعی آمریکا (DoD) و شرکت هایی که در تدوین و بهره گیری استانداردهای تدوین شده با ایشان همکاری می نمایند، با دقت ویژه ای مورد بررسی و ملاحظه قرار گرفت.

چکیده حاضر در خصوص TRL (Technology Readiness Level) یا «سطح آمادگی فناوری» با هدف دستیابی به راهنمایی خلاصه و کاربردی از تعاریف کلی اولیه و سطوح مورد توجه در شناخت این شاخه از

ارزیابی، تهیه گردیده است، تا با مد نظر قرار دادن آن هر یک از تولید کنندگان فناوری در قدم اول بتوانند از روال منطقی و گام های تعریف شده و لازم برای یک ایجاد یک فناوری جدید و موفق اطلاع پیدا کنند و در قدم بعدی بتوانند با خود ارزیابی به وسیله سامانه تهیه شده از طریق پایگاه اینترنتی (park.iau.ir), از سطح عملکرد خود مطلع گردند.

تهیه کننده: علیرضا حسین معمار

نظارت و تایید: دکتر حمید مهدی و دکتر محسن قیصری

زمستان ۱۳۹۶

کلیات TRL

به توانایی بکارگیری دانش، مهارت، تجهیزات و امکانات برای تولید و توسعه محصولات و خدمات فناوری گفته می شود. برای اینکه بتوان گفت یک فناوری بالغ است، باید در قالب یک پروتوتایپ یا نمونه مهندسی، مورد استفاده قرار گرفته و عملکرد مطلوب آن در محیط عملیاتی یا مشابه تصدیق شود.

در این ارزیابی تکنولوژی به صورت کلی ۲ سوال اساسی می تواند طرح گردد.

۱- آیا فناوری مورد نظر بالغ است و دارای طراحی پایداری گردیده است؟

۲- آیا به کارگیری فناوری مورد نظر در زمینه یک پروژه خاص به اثبات رسیده است؟

پرسش: به عنوان مثال در سال ۱۹۶۱ که اولین لیزر یاقوت ساخته شد، آیا امکان تعریف پروژه ای برای ساخت یک اشاره گر لیزری با ریسک قابل قبول، وجود داشت؟

پاسخ: خیر. به دلایل زیر.

۱- هرچند فناوری تولید لیزر در آزمایشگاه به دست آمده بود، ولی دستگاه های مولید لیزر حتی در محیط آزمایشگاهی، پایداری کافی نداشته و به راحتی از تنظیم خارج می شدند. دلایلی از این دست نشان می داد که تکنولوژی لیزر در آن زمان به بلوغ کافی برای پروژه تولید اشاره گر لیزری نرسیده است.

۲- به توجه به حجم دستگاه مولد لیزر که بسیار عظیم تر از آن بود تا بتواند در یک اشاره گر لیزری جاسازی گردد. به کارگیری آن در پروژه مذکور امکان پذیر نمی نمود.

نتیجه: در سال ۱۹۶۱ سرمایه گذاری برای ساخت اشاره گر لیزری بسیار پرخطر بوده است!

TRL یا «سطح آمادگی فناوری» یک سیستم اندازه گیری است که سطح بلوغ یک فناوری خاص را ارزیابی می کند. هر پروژه فناوری به وسیله پارامترهای هر یک از فناوری هایی که در آن بکار گرفته شده و همچنین سازگاری این فناوری ها را با یکدیگر، ارزیابی می نماید. ارزیابی سطح آمادگی فناوری به کاهش ریسک به کارگیری تکنولوژی در یک پروژه کمک می کند.

سطوح آمادگی فناوری (TRL) را نخستین بار، آژانس ملی هوافضای آمریکا (ناسا) در دهه ۸۰ میلادی مطرح کرد. در آن زمان، سطوح آمادگی فناوری در ۷ مرحله مطرح شده بود و با سپری شدن زمان در آغاز هزاره جدید، مراحل این مدل به ۹ مرحله ارتقا یافتند. نخستین بار تعریف TRL در پروژه ANSER در ناسا صورت گرفت. در ۱۹۹۵ پیشنهاد استفاده از این «سطوح آمادگی فناوری در ناسا»، در قالب مقاله ای با عنوان سطوح در صنایع و فناوریهای مختلف مطرح شد و پیرو آن سازمان حسابرسی ایالاتمتحده، در قالب یک گزارش رسمی، دستورالعمل استفاده از سطوح آمادگی فناوری را در صنایع و بخش خصوصی ابلاغ کرد. هدف از این

کار، کاهش ریسک پروژه های فناوری و تعدیل هزینه های ناشی از آزمون فناوریها و پروژه های ارتقای فناوری آمریکا بود.

به صورت کلی سطوح ۹ گانه آن را می توان به صورت زیر دسته بندی نمود:

سطوح ۱، ۲ و ۳ یا سطوح پایینی: مطالعات نظری، علمی و پایه
 سطوح ۴، ۵ و ۶ یا سطوح میانی: ساخت و آزمون نمونه در محیط آزمایشگاهی
 سطوح ۷، ۸ و ۹ یا سطوح فوقانی: ساخت و آزمون محصول در شرایط واقعی

اهمیت نسبی سطوح فناوری

اهمیت نسبی (درصد)	عنوان	سطح آمادگی فناوری
۵	شناسایی و تثبیت اصول و ایده های اولیه	TRL1
۵	درک و نهادینه شدن اصول پایه	TRL2
۵	شناسایی علمی اجزای اصلی فناوری و اثبات کارکرد آنها به طور جداگانه	TRL3
۵	یکپارچه سازی اجزای اصلی فناوری	TRL4
۱۰	تثبیت عملکرد مطلوب اجزای یکپارچه شده فناوری در محیط آزمایشگاهی	TRL5
۲۰	تثبیت عملکرد مطلوب اجزای یکپارچه شده فناوری در محیط عملیاتی مورد نظر	TRL6
۱۰	تثبیت عملکرد مطلوب اجزای یکپارچه شده فناوری در محیط عملیاتی متفاوت	TRL7
۲۰	تکمیل فناوری واقعی و امکان بهره گیری از آن با ضریب اطمینان بالا	TRL8
۲۰	تثبیت فناوری در آزمون عملیاتی کامل	TRL9
۱۰۰	جمع	

TRL1، شناسایی و تثبیت اصول و ایده های اولیه:

مرحله تحقیقات علمی و آغاز توسعه فناوری. این مرحله نخستین سطح از سطوح فناوری است، کمی فراتر از علوم پایه که در آن یکارزیابی از آمادگی تکنولوژی انجام میشود. در این سطح، تحقیقات علمی که از مشاهدات و گزارش اصول بنیادی به دست آمده، به زبان تحقیقات کاربردی ترجمه می شود. انجام مطالعات پایه (خواص مواد) استحکام کششی، ... (مثالی از TRL1 است).

TRL2، درک و نهادینه شدن اصول پایه:

در TRL2 اجزای اولیه فناوری شناسایی و تعیین می شوند. مطالعات تحلیلی مفصلی در مورد اصول علمی پایه انجام می گیرد به نحوی که این مطالعات منجر به جذب و درک اصول پایه در سازمان می شوند. آزمایشات مورد نیاز) همراه با محل یا شرایط انجام آنها (مشخص می شوند هرچند که هیچ مدرک تجربی خاص و یا تجزیه و تحلیل دقیقی برای اطمینان از کفایت آزمایشات شناسایی شده وجود ندارد. هنوز لازم است که تکنولوژی و یا مفهوم جدید به اندازه کافی توضیح داده شود و شامل جزئیات ثابتی باشد که هر فرد ماهر در آن زمینه بتواند آن را درک و سودمندی بالقوه آن را بسنجد.

TRL3، شناسایی علمی اجزای اصلی فناوری و اثبات کارکرد آنها به طور

جداگانه:

- اجزای اصلی فناوری و عملکرد آنها به خوبی مشخص و تعریف شده است.
- این مرحله شامل مطالعه دقیق علمی / تحلیلی و بررسیهای آزمایشگاهی (منجمله آزمون های اعتبارسنجی فیزیکی) است تا حدی که از کفایت مطالعات علمی و تحلیلی اطمینان حاصل شود.
- در این مرحله بکارگیری روشهایی همچون شبیه سازی منجر به تعمیق و درک بهتر مطالعات تحلیلی یا تجربی صورت گرفته، می شود.
- TRL3 شامل هر دو رویکرد تحلیلی و تجربی برای اثبات مفاهیم علمی مرتبط با فناوری مورد نظر است. انتخاب نوع روش مناسب (تحلیل یا تجربه) به نوع فناوری بستگی دارد. ممکن است تحلیل های ساده قادر به اثبات مفاهیم نسبتاً ساده باشند. با این حال، برخی فناور یها به اعتبارسنجی فیزیکی تجربی نیاز دارند، مانند آنهایی که شامل مفاهیم بسیار پیچیده هستند و یا با پدیده های وابسته به محیط و یا اثرات مواد جدید درگیر هستند.

TRL4، یکپارچه سازی اجزای اصلی فناوری:

- در TRL4 یکپارچه ساختن اجزای اصلی فناوری مدنظر است.
- این یکپارچه سازی می بایست مطابق با نتایج TRL3 و کاربردهای فناوری طراحی شود. با کنار هم قرار گرفتن اجزای یک سیستم، فناوری آماده به کار شکل میگیرد. با این حال یکپارچگی در این سطح از قابلیت اطمینان بسیار پایینی نسبت به کاربردهای نهایی فناوری برخوردار است.
- در TRL4 شرح روشن و نسبتاً دقیقی از محیط کاربردی تکنولوژی و تعامل اجزای اصلی تکنولوژی در محیط عملیاتی داده می شود. شرحی از تمام مراجع مستند از نتایج تجزیه و تحلیل و مدل سازی، اثبات آزمایشگاهی

انجام شده توسط دیگران گردآوری و تحلیل می شود که در آن امکانسنجی اقتصادی و فنی فناوری مورد نظر معین شده است.

• نتایج حاصل از این مطالعات برای تعریف اهداف آزمایشگاهی و تدوین مسیر بالقوه پیشرفت تکنولوژی، مورد استفاده قرار میگیرد.

TRL5، تثبیت عملکرد مطلوب اجزای یکپارچه شده فناوری در محیط آزمایشگاهی:

- در TRL5 با انجام آزمایشهای تکمیلی، سطح اطمینان بالاتری به دست میآید.
- اجزای اولیه فناوری در ابعاد و دقت واقعی و غیر آزمایشگاهی تهیه شده و برای آزمون نهایی و واقعی در کنار یکدیگر قرار میگیرند.
- TRL5 به اعتبارسنجی نمونه در مهم ترین جنبه های محیط مرتبط می پردازد.
- در TRL5 باید اجزای اساسی تکنولوژیکی با عناصر منطقی و واقعی پشتیبانی کننده یکپارچه شوند بطوری که کاربرد نهایی (در سطح اجزاء، سطح زیر سیستم، و/یا در سطح سیستم) بتواند در "شبیه سازی" و یا محیط تا حدودی واقعی مورد آزمایش قرار بگیرد.
- هر قسمت از یک تا چند فناوری ممکن است در اثبات نقش داشته باشند. در این مرحله، قابلیت تصدیق نمونه مورد آزمون به مراتب فراتر از سطح TRL4 است.

TRL6، تثبیت عملکرد مطلوب اجزای یکپارچه شده فناوری در محیط عملیاتی مورد نظر:

- در سطح TRL6 نمونه اولیه فناوری در محیط عملیاتی تست می شود.
- ریسک فنی و اقدامات مورد نیاز برای پیشرفت به سطح بعدی TRL می بایست سنجیده شود.
- در TRL6 اجزای فناوری یکپارچه شده اند.
- این سطح شامل مدل نمایشی، محصول کامل نسل اول و نمونه اولیه خروجی سطح ۵ است که آزمون محیط واقعی را با موفقیت پشت سر گذاشتهاند.
- مثال این سطح، محصول نسل اول معرفی شده در یک نمایشگاه است که قابلیت به کارگیری مطمئن در محیط نمایشگاهی را دارد.

TRL7، تثبیت عملکرد مطلوب اجزای یکپارچه شده فناوری در محیط عملیاتی متفاوت:

- در TRL7 محصول فناوری در یک محیط عملیاتی متفاوت با شرایط اولیه آزمون واقعی به کار گرفته میشود.
- این مرحله که سطح بلوغ یافته TRL6 به حساب میآید، نیازمند وجود یک محیط و فضای عملیاتی متفاوت برای به کارگیری سیستم کامل فناوری و اجزا در آن است.
- مثال این مرحله، شامل آزمایش یک هواپیما یا خودروی جدید در محیطی متفاوت و واقعی است.

TRL8، تکمیل فناوری واقعی و امکان بهره گیری از آن با ضریب اطمینان بالا:

- TRL8 پایان توسعه واقعی اکثر اجزای فناوری محسوب می شود و تمام اجزای تکنولوژی در سیستم های واقعی به کار رفته اند.
- فناوری آماده بهره برداری تحت وضعیتهای مختلف است.
- در این مرحله، ارزیابی و آزمونهای نهایی به پایان رسیده و امکان اجرا و انتقال سیستم به صورت یک بسته کامل، وجود دارد.
- در این سطح نمونه تولید شده با موفقیت ساخته و به طور کامل شرح داده شده است و تعامل میان تکنولوژی های مختلف در درون سیستم به خوبی درک شده است.
- مسیر پیشرفت فناوری شناسایی شده است.

TRL9، تثبیت فناوری در آزمون عملیاتی کامل:

- TRL9 سطحی که یکفناوری جدید با موفقیت راه اندازی شده و عمل کند (همراه با تمام تکنولوژی های تشکیل دهنده آن)
- به طور معمول، برای این سطح از بلوغ نیاز است که سیستم در محیط برنامه ریزی شده اصلی و با ویژگی های عملکردی که الزامات سیستم و مأموریت را برآوردن می کند عمل کند.
- تمایز کلیدی بین TRL8 و TRL9 مرحله نهایی راه اندازی و عملیات است.
- به کارگیری واقعی در وضعیت های شبیه بحران و عملیات کامل که باعث رفع اشکالات احتمالی فناوری شده و اطمینان ۱۰۰ درصدی را در پی خواهد داشت.

فرایند ارزیابی TRK

۱- تعیین اجزای کلیدی

- ۲- تعیین اهمیت نسبی اجزاء کلیدی (تعیین درصد اهمیت)
- ۳- تعیین جداگانه TRL برای هر یک اجزاء
- ۴- محاسبه TRL برای کل فناوری به کار گرفته شده

پیوست ها

- 1- [trl_presentation_931218.pdf](http://kalanaft.com/uploads/trl_presentation_931218.pdf)
(kalanaft.com/uploads/trl_presentation_931218.pdf)
- 2- [company_name-contract_title-trl.xlsx](http://kalanaft.com/uploads/company_name-contract_title-trl.xlsx)
(kalanaft.com/uploads/company_name-contract_title-trl.xlsx)
- 3- [679006.pdf](http://www.gao.gov/assets/680/679006.pdf)
(www.gao.gov/assets/680/679006.pdf)