



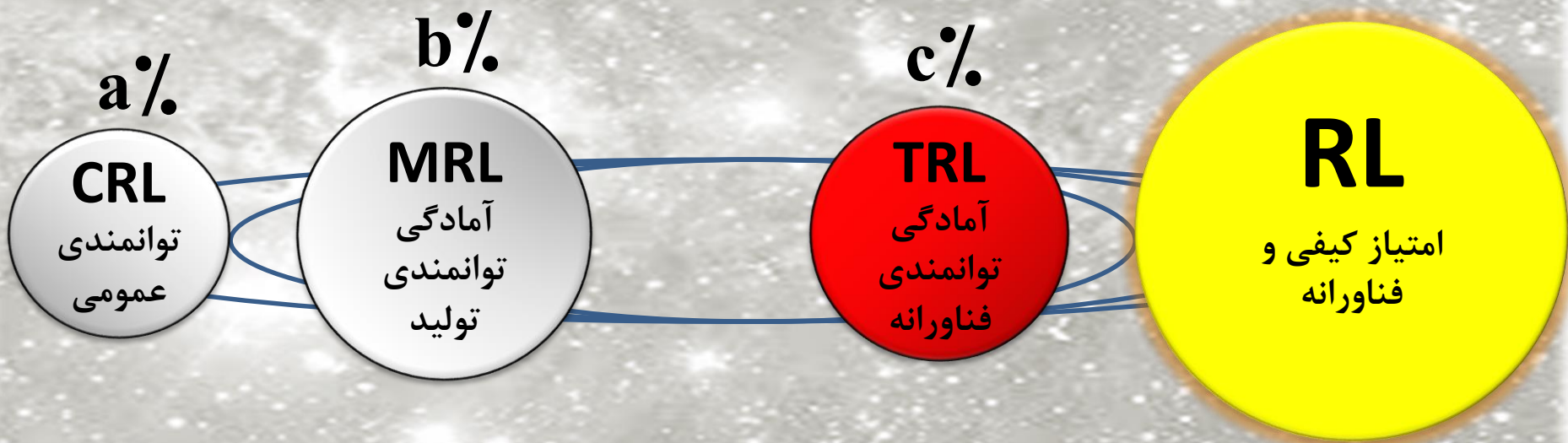
# ارزیابی توانمندی فناورانه (TRL)

## سازندگان صنعت نفت

**توجه:** تعدادی از اسلایدهای این فایل به جهت اختصار موضوع، حذف شده اند.  
فایل اصلی در فضای مجازی موجود می باشد.

اسفند ۱۳۹۳

# ارزیابی صلاحیت کیفی و توانمندی فناوریانه و تولید



**T**echnology

**R**eadiness

**L**evels



# T echnology

ساده ترین تعریف:  
تکنولوژی کاربرد علم است.

تعریف اسکاپ:

تکنولوژی به عنوان عامل تبدیل کننده عوامل تولید به کالاها و خدمات ، از چهار عنصر **فن افزار** ، **اطلاعات افزار** ، **سازمان افزار** و **انسان افزار** تشکیل شده است.

تعریف مستین:

تکنولوژی مجموعه معرفت یا شناخت علمی برای دستیابی به هدف های علمی است.

تعریف از دیدگاه یونیدو (مدل کپ تک):

مجموعه همه لوازم مورد نیاز برای تبدیل یک ایده مهندسی به محصول که موجب کسب منفعت شود.

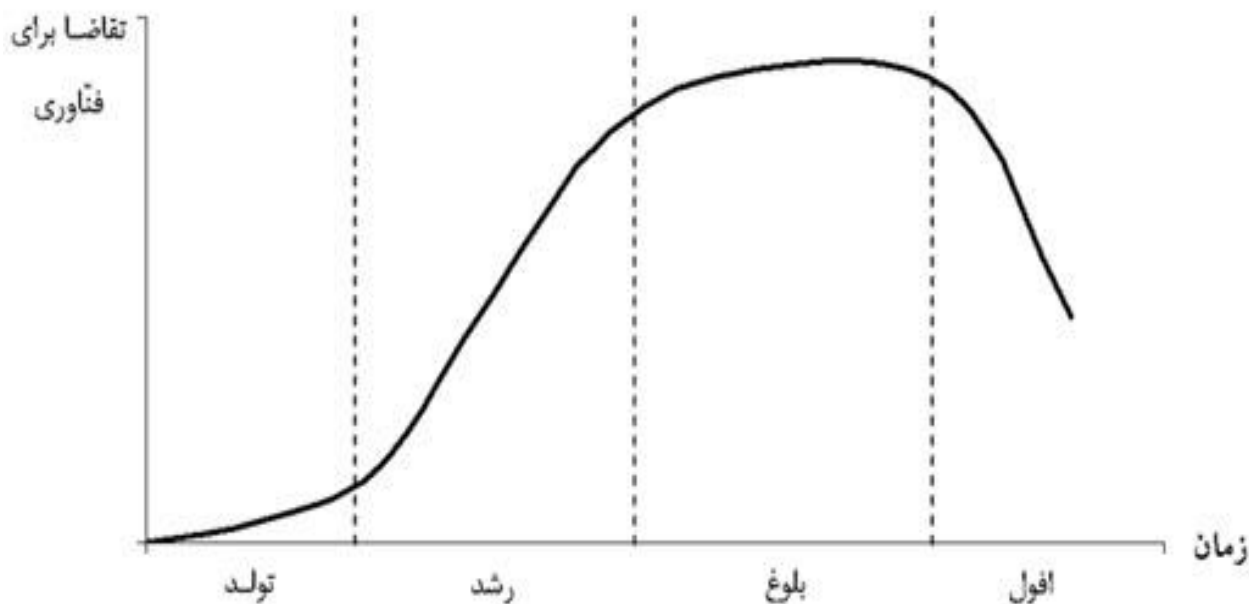


$$T \text{ echnology} = K + S + E + X$$

**توانایی** بکارگیری دانش، مهارت، تجهیزات  
و امکانات برای تولید و توسعه محصولات و  
خدمات



# Readiness Levels



برای اینکه بتوان گفت فناوری بالغ هست، باید در قالب یک پروتوتایپ یا نمونه مهندسی مورد استفاده قرار گرفته، عملکرد مطلوب آن در محیط عملیاتی یا مشابه تصدیق شود.



# TRL

TRL مجموعه‌ای از **معیارها** به منظور ارزیابی میزان **بلوغ و آمادگی فناوری** است که امکان مقایسه سازگاری بین انواع مختلف فناوری را در چارچوب **محصولی خاص** و در یک **محیط عملیاتی و کاربردی** میسر می‌کند.



# تاریخچه TRL



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، در قالب مقاله‌ای با عنوان «سطوح آمادگی فناوری در ناسا» پیشنهاد استفاده از این سطوح در صنایع و فناوری‌های مختلف مطرح شد و پیرو آن سازمان حسابرسی ایالات متحده، 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 پروژه‌های فناوری و تعدیل هزینه‌های ناشی از آزمون فناوری‌ها و پروژه‌های ارتقای فناوری آمریکا بود.**







# سطوح آمادگی فناوری در مدل TRL

## TRL 9

•Actual system "flight proven" through successful mission operations

## TRL 8

•Actual system completed and "flight qualified" through test and demonstration (ground or space)

## TRL 7

•System prototype demonstration in a space environment

## TRL 6

•System/subsystem model or prototype demonstration in a relevant environment (ground or space)

## TRL 5

•Component and/or breadboard validation in relevant environment

## TRL 4

•Component and/or breadboard validation in laboratory environment

## TRL 3

•Analytical and experimental critical function and/or characteristic proof-of-concept

## TRL 2

•Technology concept and/or application formulated

## TRL 1

•Basic principles observed and reported





# حوزه تمرکز سطوح TRL

سطوح پایینی TRL (۱ و ۲ و ۳)  
مطالعات نظری، علمی و پایه

سطوح میانی TRL (۴ و ۵ و ۶)  
ساخت و آزمون نمونه در  
محیط آزمایشگاهی

سطوح فوقانی  
TRL (۷ و ۸ و ۹)  
ساخت و آزمون محصول در  
شرایط واقعی



# اجزا و سطوح TRL

اهمیت نسبی (درصد)	عنوان	سطح آمادگی فناوری
۵	شناسایی و تثبیت اصول و ایده‌های 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 بهره‌گیری از آن با ضریب اطمینان بالا	TRL8
۲۰	تثبیت فناوری در آزمون عملیاتی کامل	TRL9
۱۰۰		



# TRL 1



## شناسایی و تثبیت اصول و ایده‌های اولیه

### مرحله تحقیقات علمی و آغاز توسعه فناوری

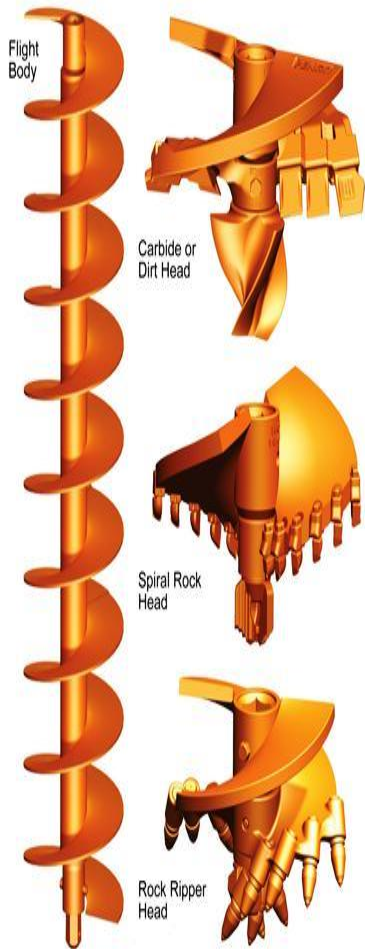
این مرحله نخستین سطح از سطوح فناوری است، کمی فراتر از علوم پایه که در آن یک ارزیابی از آمادگی تکنولوژی انجام میشود. در این سطح، تحقیقات علمی که از مشاهدات و گزارش اصول بنیادی به دست آمده، به زبان تحقیقات کاربردی ترجمه می‌شود. انجام مطالعات پایه خواص مواد (استحکام کششی، ...) مثالی از TRL1 است.

## درک و نهادینه شدن اصول پایه

در TRL2 اجزای اولیه فناوری شناسایی و تعیین می‌شوند.

مطالعات تحلیلی مفصلی در مورد اصول علمی پایه انجام می‌گیرد به نحویکه این مطالعات منجر به جذب و درک اصول پایه در سازمان می‌شوند. آزمایشات مورد نیاز (همراه با محل یا شرایط انجام آنها) مشخص می‌شوند 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.

# TRL 3



## 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 روش هایی 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 نسبتا ساده باشند. با این حال، برخی فناوری ها 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.

## 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 می گیرد. 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.

# TRL 5

## 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 مهم‌ترین جنبه‌های محیط مرتبط می‌پردازد.
- در TRL5 باید اجزای اساسی تکنولوژیکی با عناصر منطقی و واقعی پشتیبانی کننده یکپارچه شوند بطوری که کاربرد نهایی (در سطح اجزا، سطح زیر سیستم، و/یا در سطح سیستم) بتواند در "شبه 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.





# TRL 6

## 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 5 است که آزمون محیط واقعی را با موفقیت پشت سر گذاشته اند.
- مثال این سطح، محصول نسل اول معرفی شده در یک نمایشگاه است که قابلیت به کارگیری مطمئن در محیط نمایشگاهی را دارد.

# TRL 7

## 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 می شود.
- این مرحله که سطح بلوغ یافته TRL6 به حساب می آید، 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.



# TRL 8

## تکمیل فناوری واقعی و امکان بهره‌گیری از آن با ضریب اطمینان بالا

- TRL8 پایان توسعه واقعی اکثر اجزای فناوری محسوب می‌شود و تمام اجزای تکنولوژی در سیستم‌های واقعی به کار رفته‌اند.
- فناوری آماده بهره‌برداری 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 تکنولوژی‌های مختلف در درون سیستم به خوبی درک شده است.
- مسیر پیشرفت فناوری شناسایی شده است.

## تثبیت فناوری در آزمون عملیاتی کامل

- TRL9 سطحی که یک فناوری 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 TRL 8 و TRL 9 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.

