



پارک علم و فناوری دانشگاه آزاد اسلامی
Science and Technology Park

سطح آمادگی ساخت

به بیانی ساده

MRL

**Manufacturing
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 MRL (Manufacturing Readiness Level) یا «سطح آمادگی ساخت» 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 در قدم اول بتوانند از روال منطقی و گام های تعریف شده و لازم برای یک تولید 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.

لازم به ذکر است که در برخی مستندات ، MRL (Market Readiness Level) به «سطح آمادگی بازار» اشاره داشته و اساسا مفهومی متفاوت می باشد.

تهیه کننده: علیرضا حسین معمار

نظارت و تایید: دکتر حمید مهدی و دکتر محسن قیصری

زمستان ۱۳۹۶

کلیات MRL

آمادگی تولید؛ ساخت، تولید، تضمین کیفیت و عملکردهای بحرانی صنعتی را برای دستیابی به قابلیت های عملیاتی، که نیازهای هدف را برآورده می کند، (در کمیت و کیفیت مورد نیاز برای انجام مأموریت های تعیین شده در "بهترین مقادیر") تحت کنترل در می آورد.

سطوح آمادگی تولید (MRLs) تحت برنامه DoD ManTech توسط یک گروه کاری دولتی / صنعتی برای بازتاب دادن ساختار و پروسه TRL توسعه داده شد. MRLs شامل ۱۰ سطح از مفاهیم تولید اولیه تا تولید کامل و ۹ معیار متمرکز (یا موضوعات) برای هر سطح است که با فرایند کسب و کار وابسته است.

MRL ارائه یک زبان مشترک و استاندارد برای موارد زیر است:

- ارزیابی بلوغ تولید تکنولوژی، محصول یا فرآیند تولید
- درک سطح ریسک تولید برای تولید یک سیستم یا انتقال تکنولوژی به یک سیستم (محصول)
- یکپارچگی تولید با فرایند یادگیری و نقاط عطف تصمیم گیری
- ایجاد دستورالعمل برای مدیریت ریسک ساخت، در فرآیندهای مهندسی سیستم های موجود و بررسی های فنی
- دستیابی به بلوغ تولید در نقاط تصمیم گیری حیاتی حاصل شده.
- تعیین مناطق خطر بالقوه از طریق ارزیابی آمادگی ساخت مطلق (MRAs)

مراحل MRL

MRL1: تعیین مفاهیم مقدماتی ساخت

این مرحله بر ارزیابی امکان پذیری و کاستی های ساخت برای دستیابی به اهداف برنامه متمرکز است. در این سطح اصول اولیه ساخت تعریف شده و تحقیقات بنیادین به شکل مطالعات صورت می پذیرد.

MRL2: تعریف مفاهیم ساخت

تحقیقات کاربردی در این مرحله، نتایج تحقیقات بنیادی را به راه حل هایی برای رفع نیازهای صنعت مورد نظر تبدیل می کند. این سطح آمادگی شامل شناسایی، مطالعه منابع، تجزیه و تحلیل مواد و فرآیندها می باشد. در این سطح درکی از امکان پذیری و ریسک ساخت حاصل می گردد.

MRL3: اثبات مفاهیم ساخت

این مرحله با صحه گذاری مفاهیم ساخت از طریق تجارب تحلیلی یا آزمایشگاهی آغاز می شود. مواد یا فرآیندها از منظر قابلیت ساخت و دسترسی شناسایی می شوند و البته ممکن است ارزیابی و بررسی های

بیشتری مورد نیاز باشد. مدلهای سخت افزاری تجربی در یک محیط آزمایشگاهی توسعه داده می شوند که ممکن است شامل قابلیت کارکرد محدودی باشد.

MRL 4: توانمندی تولید فناوری در محیط آزمایشگاهی

این مرحله آخرین گام از مرحله آنالیز امکان پذیری تحقق نیاز و خواسته می باشد. در این سطح فناوری ها برای توسعه، آماده می باشند و سرمایه گذاری های مورد نیاز مانند توسعه فناوری ساخت، تعیین شده اند. فرآیندها برای اطمینان از قابلیت ساخت، قابلیت تولید و کیفیت مهیا شده اند و برای نمایش اثبات فناوری از کیفیت لازم برخوردار هستند. ریسک های ساخت و برنامه کاهش و کنترل آنها در ارتباط با ایجاد پروتوتایپ تعیین شده اند. اهداف تحقق قیمت تمام شده (مورد نظر) تعیین و در عوامل هزینه ای ساخت، شناسایی شده اند. براساس طراحی، ارزیابی قابلیت ساخت محصول انجام و تکمیل شده است. پارامترهای کلیدی عملکرد محصول به همراه ابزارهای مخصوص، تجهیزات، انتقال مواد و مهارتهای مورد نیاز تعیین شده اند.

MRL 5: توانمندی تولید اجزای نمونه اولیه در محیط مرتبط با تولید

این مرحله به عنوان نقطه میانی فاز توسعه فناوری شناخته می شود. به منظور شناسایی منابع بالقوه ساخت، زمینه و پشتوانه های مرتبط در صنعت شناسایی و ارزیابی می شوند. در این سطح می باید یک استراتژی مناسب جهت ساخت، تهیه شده و با برنامه مدیریت ریسک ادغام گردد. مهمترین فناوری ها و اجزای اصلی محصول به طور کامل شناسایی شده اند. عملکرد مناسب اجزا پروتوتایپ، ابزارها و تجهیزات آزمون همراه با مهارتهای کارکنان در یک محیط مرتبط با تولید، به نمایش گذاشته و به اثبات رسیده ولی بسیاری از روشها و فرآیندهای ساخت هنوز در حال توسعه هستند. اقداماتی برای توسعه فناوری ساخت و ارزیابی های قابلیت تولید فنی اجزای کلیدی انجام شده است. همچنین مدلی برای ارزیابی هزینه های پیش بینی شده ساخت، ایجاد گردیده است.

MRL 6: توانمندی تولید سیستم (و یا زیرسیستم) نمونه اولیه در محیط مرتبط با تولید

این مرحله سطح ورود به مهندسی و توسعه ساخت می باشد. در این سطح، طراحی مقدماتی سیستم مورد قبول واقع شده است. عمده فرآیندهای ساخت، تعیین و مشخص شده اند، ولی هنوز تغییرات طراحی و یا مهندسی مهمی در سیستم وجود دارد. طراحی مقدماتی، ارزیابی قابلیت تولید و مطالعات تجاری فناوری ها و اجزای کلیدی تکمیل شده اند. عملکرد مناسب اجزا پروتوتایپ، ابزارها و تجهیزات آزمون همراه با مهارت های کارکنان، در خصوص سیستم (یا زیرسیستم) در محیط مرتبط با تولید، به نمایش گذاشته شده و به اثبات رسیده است. هزینه، نرخ و راندمان تحلیل می شوند تا معلوم شود که داده های حاصل از پروتوتایپ، اهداف مورد نظر را برآورده نموده و ریسک ها به مقادیر قبول برای دستیابی به اهداف هزینه کاهش یافته اند.

MRL 7: توانمندی تولید سیستم ها، زیرسیستم ها یا مولفه ها در محیط تولیدی

این مرحله نقطه میانی فاز توسعه مهندسی و ساخت بوده و به ارزیابی عوامل بحرانی طرح می پردازد. در این

سطح فعالیت طراحی تفصیلی سیستم، مراحل پایانی تکمیل را طی می نماید. مشخصه های مواد، تأیید شده و از دسترسی به مواد برای استفاده در خط تولید پایلوت در زمان مقرر، اطمینان حاصل می گردد. روشها و فرآیندهای ساخت در یک محیط تولیدی به بوته آزمایش گذاشته شده اند. مدل هزینه متناسب با طرح های تفصیلی به روزرسانی شده تا در سطح بعدی مورد استفاده قرار گیرد. اقداماتی برای کاهش قیمت تمام شده صورت می گیرد. تحلیل های نرخ و راندمان تولید بر اساس داده های به دست آمده از محیط تولیدی به روزرسانی می شود. زنجیره تأمین و تضمین کیفیت تأمین کنندگان مورد ارزیابی قرار گرفته و برنامه های خرید مواد و ملزومات مورد نیاز تهیه می گردند. برنامه های ساخت و هدفهای کیفی تهیه می شوند. طراحی و توسعه ابزارآلات تولیدی و تجهیزات آزمون آغاز می گردد.

MRL 8: توانمندی تولید آزمایشی (خط پایلوت)، آمادگی برای شروع تولید در مقیاس کم

در این مرحله طراحی تفصیلی سیستم تکمیل شده و به میزان کافی برای ورود به مرحله تولید در مقیاس کم پایدار شده است. تمامی مواد، نیروی انسانی، ابزار، تجهیزات آزمون و امکانات در خط پایلوت مورد تأیید واقع شده و از دسترسی به آنها برای استفاده در مرحله تولید در مقیاس کم، اطمینان حاصل می گردد. روش ها و فرآیندهای ساخت و کیفیت در یک خط پایلوت تأیید شده و برای استفاده در مرحله تولید در مقیاس کم آماده و تحت کنترل می باشند. ریسک های مطرح در خصوص قابلیت تولید، چالش جدی برای مرحله تولید در مقیاس کم نخواهد بود. مدل هزینه و تحلیل های نرخ و راندمان تولید بر اساس نتایج حاصل از خط پایلوت به روزرسانی می گردند. آزمون کیفی تأمین کننده و اولین مورد بازرسی محصول تکمیل شده است. پایان این سطح، آمادگی برای ورود به سطح تولید در مقیاس کم خواهد بود.

MRL 9: تولید در مقیاس کم، آمادگی برای شروع تولید با ظرفیت کامل

در این مرحله اجزا یا اقلامی که قبلاً ساخته شده اند، در دست تولید هستند یا مرحله تولید اولیه در مقیاس کم را با موفقیت پشت سر گذارده اند. این سطح آمادگی معادل با آمادگی برای ورود به تولید با ظرفیت کامل است. تمام الزامات طراحی / مهندسی سیستم ها باید به گونه ای تحقق یابند که حداقل تغییرات را در پی داشته باشند. ویژگی های اصلی طراحی سیستم تثبیت شده و در آزمایش و ارزیابی تأیید شده اند. مواد، قطعات، نیروی انسانی، ابزار، تجهیزات آزمون و امکانات به منظور تحقق برنامه های پیش بینی شده تولید در دسترس می باشند. توانمندی فرآیند ساخت در یک محیط تولید در مقیاس کم، از حداقل سطح کیفی مقتضی برای تحقق تیران سهای مشخص ههای کلیدی طراحی برخوردار م یباشد. پایشریسکتولید در حال انجام است. اهداف هزینه ای تولید در مقیاس کم محقق گردیده اند و منحن یهای یادگیری با داد ههای واقعی مورد تحلیل قرار گرفته اند. مدل هزینه برای تولید با ظرفیت کامل به دست آمده که در آن رویکرد بهبود مستمر نیز نمایان است.

MRL 10: تولید با ظرفیت کامل و استقرار الگوهای تولید بهینه

در این محله تغییرات مهندسی / طراحی بسیار کم و معمولاً محدود به بهبود کیفیت و هزینه می باشند. سیستم، اجزا یا اقلام با ظرفیت کامل تولید شده و تمامی الزامات مهندسی، عملکردی، کیفی و قابلیت اطمینان را برآورده می کنند. تمام مواد، ابزار، تجهیزات بازرسی و آزمون، امکانات و نیروی انسانی مهیا شده اند تا الزامات تولید با ظرفیت کامل محقق شود. هزینه های هر واحد تولیدی مطابق با اهداف از قبل تعیین شده بوده و منابع مالی لازم برای تولید با ظرفیت مطلوب تخصیص یافته اند. الگوهای بهینه به خوبی استقرار یافته و بهبود مستمر در فرآیندها صورت می پذیرد.

مرحله	عنوان	درصد سهم
MRL1	تعیین مفاهیم مقدماتی ساخت	۲
MRL2	تعریف مفاهیم ساخت	۳
MRL3	اثبات مفاهیم ساخت	۴
MRL4	توانمندی تولید فناوری در محیط آزمایشگاهی	۶
MRL5	توانمندی تولید اجزای نمونه اولیه در محیط مرتبط با تولید	۱۰
MRL6	توانمندی تولید سیستم (و یا زیرسیستم) نمونه اولیه در محیط مرتبط با تولید	۱۵
MRL7	توانمندی تولید سیستم ها، زیرسیستم ها یا مولفه ها در محیط تولیدی	۱۰
MRL8	توانمندی تولید آزمایشی (خط پایلوت)، آمادگی برای شروع تولید در مقیاس کم	۲۰
MRL9	تولید در مقیاس کم، آمادگی برای شروع تولید با ظرفیت کامل	۲۰
MRL10	تولید با ظرفیت کامل و استقرار الگوهای تولید بهینه	۱۰
جمع		۱۰۰

مراحل اصلی تولید	گام MRL	تعاریف مرحله ای MRL	TRL هم نیاز	تمرکز	شرایط گذار از این مرحله
تحلیل راه حل های مواد اولیه	MRL1	تعیین مفاهیم مقدماتی ساخت	TRL1 TRL2 TRL3	- مفاهیم تولید تعریف شده است. - پژوهش های پایه - پژوهش های پیشرفته - توسعه فناوری پیشرفته	- تعریف منابع صنعت پایه - مشخص کردن نیازهای اساسی ساخت - معرفی نیازهای نگران کننده - معرفی منابع مالی - معرفی ابتکارات فناوری ساخت - هماهنگی با طرح فناوری
	MRL2	تعریف مفاهیم ساخت			
	MRL3	اثبات مفاهیم ساخت			
تحلیل راه حل های مواد اولیه	MRL4	توانمندی تولید فناوری در محیط آزمایشگاهی	TRL4	- تعیین امکانپذیری ساخت - معرفی فرایندهای ساخت - معرفی فرایندهای کلیدی - آغاز ارزیابی قابلیت تولید	- تعریف شکاف های صنعت پایه - ارزیابی طراحی ساخت - امکانات و مسائل بنیادی - منابع مالی و بودجه مطالعات تجاری - تعریف فناوری ساخت و یا سایر ابتکارات - راهبرد توسعه فناوری باید به عناصر راهبردهای ساخت و تضمین کیفیت افزوده شود.
	نقطه عطف A - نقطه پیشنهادی برای بازبینی و مرور				
توسعه فناوری	MRL5	توانمندی تولید مولفه نمونه اولیه در محیط مرتبط با تولید	TRL5	- پیدایش فرایند تولید - ارزیابی قابلیت تولید در حال انجام است. - تامین کنندگان هزینه تولید شناسایی شده اند.	- پایان تحلیل صنعت پایه - معرفی پارامترهای کلیدی بازدهی - معرفی شاخص های کلیدی - طرح مهندسی سیستم به رویکردهای تولید و تضمین کیفیت افزوده شود. - منابع مالی برای سطح بعد - آغاز ابتکارات فناوری ساخت - ارزیابی اولیه زنجیره تامین
	MRL6	توانمندی تولید سیستم (یا زیرسیستم) نمونه اولیه در محیط مرتبط با تولید	TRL6	- تولید سیستم (یا زیرسیستم) نمونه اولیه در محیط مرتبط با تولید - تحلیل تامین کنندگان هزینه تولید - معرفی موارد زمانبر - تجهیزات در یک محیط مرتبط با تولید	- ارزیابی قابلیت صنعت پایه - آغاز مطالعات تجاری - بلوغ مواد مانند طرح ها - منابع مالی برای سطح بعد - توسعه راه حل های فناوری تولید در محیط مرتبط با تولید. - راهبردهای به دست آمده به راهبردهای ساخت و تضمین کیفیت افزوده شود. - آستانه کیفیت مقرر شده است.
نقطه عطف B - نقطه پیشنهادی برای بازبینی و مرور					

توسعه مهندسی و ساخت	MRL7	توانمندی تولید سیستم ها، زیرسیستم ها یا مولفه ها در محیط تولیدی نمونه	TRL7	<ul style="list-style-type: none"> - راهبردهای ساخت در حال توسعه - انجام ارتقای کارایی - مطالعات تجاری - اجرای مدیریت زنجیره تامین 	<ul style="list-style-type: none"> - نظارت بر صنعت پایه - کامل شدن طرح مهندسی کارایی - مواد به اثبات رسیده اند - منابع مالی برای سطح بعد - راه حل های فناوری ساخت نمایانده شده است. - زنجیره تامین ارزیابی شده است. - تعریف لیست مواد اولیه - داده های تضمین کیفیت جمع آوری شده است.
	MRL8	توانمندی تولید آزمایشی (خط پیلوت)، آمادگی برای شروع تولید در مقیاس کم		<ul style="list-style-type: none"> - نمایاندن بلوغ فناوری - آماده بودن تمامی مواد برای مرحله تولید با ظرفیت کم - فرایند تولید به اثبات رسیده است. - زنجیره تامین برای تولید با ظرفیت کم پایدار است 	<ul style="list-style-type: none"> - شناسایی منابع چندگانه - اعتبارسنجی سازه های خط تولید آزمایشی - مواد پایدار شده اند. - منابع مالی برای سطح بعد - اعتبار سنجی را حل های فناوری تولید - اعتبار سنجی شاخص های کیفیت - پشتیبانی لیست مواد از تولید یا ظرفیت کم
نقطه عطف C - نقطه پیشنهادی برای بازبینی و مرور					
تولید و توسعه	MRL9	تولید در مقیاس کم، آمادگی برای شروع تولید با ظرفیت کامل	TRL8	<ul style="list-style-type: none"> - فرایند ساخت برای کیفیت نهایی به کار گرفته می شود. - زنجیره تامین شناسایی شده و زمانبندی مقرر را تامین می کند. 	<ul style="list-style-type: none"> - صنعت پایه برنامه زمانبندی را پشتیبانی می کند. - ارتقای پیوسته فرایندها در حال اجراست. - مواد تحت نظارت هستند. - منابع مالی برای سطح بعد - اعتبار سنجی کیفیت محصولات تولید شده با ظرفیت کم - پشتیبانی ساخت و فروش از تولید با تمام ظرفیت - ارزیابی قابلیت صنعت پایه
	MRL10	تولید با ظرفیت کامل و استقرار الگوهای تولید بهینه	TRL9	<ul style="list-style-type: none"> - نظارت / ۶ سیگمای تولیدات در حال اجراست. - تلاقی یا فرا روی هزینه ها، زمانبندی و اهداف بازدهی 	<ul style="list-style-type: none"> - نظارت و مدیریت تمامی شاخص های کلیدی سطح ۶ سیگما - منابع مالی برای رسیدن به اهداف ۶ سیگما - بدون تغییر در تولید و یا فروش - تمامی تامین کنندگان کلیدی و حیاتی به اهداف ۶ سیگما رسیده اند.

پیوست ها

1. [MRL Deskbook 2016.pdf](http://www.dodmrl.com/MRL_Deskbook_2016.pdf)
(http://www.dodmrl.com/MRL_Deskbook_2016.pdf)
2. [MRL Overview Chart V7.pdf](http://www.apcorp-us.com/images/MRL_Overview_Chart_V7.pdf)
(http://www.apcorp-us.com/images/MRL_Overview_Chart_V7.pdf)
3. [mrl_presentation.pdf](http://kalanaft.com/uploads/mrl_presentation.pdf)
(http://kalanaft.com/uploads/mrl_presentation.pdf)

کتابنامه

Manufacturing Readiness Levels. (2017, 12 01). Retrieved from Advanced Product Transitions Corp.: <http://www.apcorp-us.com/mrlintroduction.html>

ارزیابی توانمندی ساخت سازندگان صنعت نفت. (2017, 12 01). Retrieved from مدیریت پشتیبانی ساخت و تامین کالای وزارت نفت : http://kalanaft.com/uploads/mrl_presentation.pdf