

ارزیابی آمادگی ساخت و تولید در چرخه عمر دستیابی

محمد حسین کریمی گوارشکی
رامتین احمدی بنکدار

چکیده:

تاریخ دریافت: ۹۲/۱۱/۲۸
تاریخ پذیرش: ۹۳/۲/۱۵

سطح آمادگی ساخت و تولید^۱ (MRL)، یک مقیاس اندازه‌گیری است که برای آمادگی ساخت و تولید به کار می‌رود تا درباره‌ی بلوغ و مخاطره‌ی ساخت و تولید یک سیستم، ارزیابی و بحث نماید. این ابزار برای اطمینان از پیشرفت صحیح مرحله‌های چرخه‌ی عمر دستیابی دفاعی و دستیابی بلوغ ساخت و تولید در سیستم‌های پیچیده طراحی شده است. ۱۰ نوع سطح آمادگی تولید (MRL) در ارتباط با نه سطح آمادگی فناوری تعریف می‌شوند. تعیین سطوح آمادگی تولید توسط ارزیابی نه حوزه، شامل پایه‌ی فناوری و صنعتی، بودجه و سرمایه‌گذاری، کیفیت، مدیریت تولید، تجهیزات، کارکنان تولید، بلوغ طراحی، امکان‌سنجی و کنترل فرایند و مواد انجام می‌شود. هر کدام از این حوزه‌ها به موضوعات جزئی‌تر تقسیم می‌شوند و متناسب با سطوح MRL راهنمایی برای ارزیابی آن‌ها و امتیازدهی در قالب ماتریس تدوین شده است. سطوح آمادگی ساخت و تولید قصد دارند تا انتظارات را برای یک برنامه در هر فاز چرخه‌ی عمر دستیابی دفاعی در مدیریت اکتساب تعیین کنند. اگر یک برنامه به هدف سطوح آمادگی تولید خود دست نیابد، طرح بلوغ ساخت و تولید و برنامه‌ی کاهش مخاطره تعیین می‌شود. با ارزیابی آمادگی ساخت و تولید از بدو طراحی می‌توان قابلیت تولید سامانه‌ها را در سازمان‌های دفاعی افزایش داد.

واژگان کلیدی:

مدیریت اکتساب، آمادگی تولید، قابلیت تولید، مهندسی سیستم، چرخه‌ی عمر دستیابی، آمادگی فناوری

۱) مقدمه

آمده‌اند. چه بسا طرح‌هایی که پس از تحقیقات و طراحی و صرف زمان و هزینه در مرحله تولید اجرایی نشده‌اند. ارزیابی آمادگی تولید در طول فرآیند دستیابی کمک می‌کند که طرح‌ها قابلیت تولید داشته باشند و از صرف هزینه و زمان بیهوده در سیستم‌های پیچیده جلوگیری می‌کند.

تتالی و جان، قرن ۲۱ را به خاطر پیچیدگی و یکپارچه‌سازی بالای محصولات فناورانه قرن سیستم‌ها نامیده‌اند. آن‌ها دریافته‌اند که ارزیابی بلوغ و آمادگی طی چرخه‌ی عمر توسعه‌ی سیستم برای موفقیت کل آن الزامی است. در سال‌های اخیر اقبال زیادی به شاخص‌هایی مانند سطح آمادگی فناوری

پیچیدگی سیستم‌های دفاعی در سال‌های اخیر به شدت در حال افزایش بوده است. مواد و فناوری‌های نوظهور به‌طور مداوم در حال توسعه یافتن هستند و به‌همراه آن‌ها، روش‌های جدید تولید به‌وجود آمده‌اند. با وجود اینکه رشد و پیشرفت مواد و فناوری در موارد بسیاری موفقیت‌آمیز بوده است، توسعه‌ی فرایندهای بلوغ ساخت در بسیاری از برنامه‌ها نتوانسته است همراستا با آن حرکت کند. برای اطمینان از پیشرفت صحیح مرحله‌های چرخه عمر دستیابی دفاعی و اینکه تکامل ساخت به‌دست آمده است، سطوح آمادگی ساخت و تولید به‌وجود

1. Manufacturing Readiness Level
2. Technology Readiness Level

3. System Readiness Level

(TRL)^۱، سطح آمادگی سیستم (SRL)^۲، سطح آمادگی ساخت و تولید (MRL)^۳، سطح آمادگی یکپارچه‌سازی (IRL)^۴ و دیگر شاخص‌های اندازه‌گیری بلوغ و آمادگی سیستم‌ها و فناوری‌ها شده است. این شاخص‌ها برای ارزیابی مخاطرات مرتبط با توسعه و عملیات سیستم‌ها و فناوری‌ها به کار می‌روند [1].

ادبیات موضوع، تمیزی بین واژه‌ی بلوغ^۵ و آمادگی^۶ نمی‌دهد و به‌طور کلی این دو واژه به‌جای هم استفاده می‌شوند. به ندرت می‌توان تشخیص داد که روش برای سیستم طراحی شده است یا فناوری. در حال حاضر فنون مختلفی برای تعیین سطح بلوغ فرایندها ارائه شده است که می‌توان به مدل‌های بلوغ قابلیت CMMI^۵ در حوزه‌های فرایندی سازمان OPM3^۶ در حوزه‌ی مدیریت پروژه، ابزار بررسی فرایند فیلیپس PST^۷ در تعالی سازمان، که بیشتر تمرکز بر سازمان دارند و حوزه‌ی بلوغ فرایندها را پوشش می‌دهند [14,16,17]. از طرف دیگر فونونی مانند سطح آمادگی فناوری (TRL)، سطح آمادگی سیستم (SRL)، سطح آمادگی ساخت و تولید (MRL)، سطح آمادگی یکپارچه‌سازی (IRL) بیشتر متمرکز بر سامانه طرح‌ریزی شده و حوزه‌ی آمادگی سیستم‌ها را مورد ارزیابی قرار می‌دهند. در این مقاله تکنیک MRL مورد بررسی قرار گرفته که دارای حوزه‌ی سامانه‌ای بوده و ناظر بر آمادگی ساخت و تولید در چرخه‌ی عمر سیستم است. این تکنیک در ارزیابی آمادگی تولید در سامانه‌های دفاعی آمریکا استفاده می‌شود و به‌عنوان یکی از مراحل اصلی در چرخه دستیابی وزارت دفاع آمریکا DOD^۸ تعریف شده است [2]. در این تحقیق الگوی ارزیابی آمادگی تولید به‌کار گرفته شده در چرخه‌ی دستیابی DOD مورد بررسی قرار می‌گیرد.

وضعیت فرایند ساخت و ارزیابی‌های مخاطرات در سال‌های متمادی به‌عنوان قسمتی از برنامه‌های

دستیابی دفاعی آمریکا به شکل‌های گوناگونی مانند: بازنگری‌های آمادگی ساخت، بازنگری‌های توانایی مدیریت ساخت، تولید و غیره انجام شده‌اند. این بازنگری‌ها که گاهی وقت‌ها به‌نحو مناسبی سازماندهی و مدیریت شده‌اند از معیارهای اندازه‌گیری یکسانی جهت سنجش و برقراری ارتباط با مخاطرات و آمادگی تولید بهره‌مند نبوده‌اند. به علاوه بر مبنای تلاش‌های علمی و فناوری (S&T)^۹ نبودند و یا در مرحله‌های ابتدایی دستیابی تحقق می‌یافتند. همچنین فراوانی و تکرار این نمونه از بازنگری‌ها از سال ۱۹۹۰ میلادی به‌شدت کاهش یافته است [9]. به موازات این کاهش، تأثیرات مرتبط با ساخت و تولید روی هزینه، زمان‌بندی و عملکرد رشد کرده‌اند. اداره‌ی حسابرسی دولت آمریکا (GAO)^{۱۰} با مطالعه‌های انجام شده از کمبود وجود دانش ساخت و تولید در نقاط تصمیم‌گیری کلیدی سخن گفت تا علت اصلی رشد هزینه‌های برنامه‌های دستیابی در وزارت دفاع را مشخص کند. در نتیجه خط‌مشی‌ای جهت تقویت راهکاری برای توجه بیشتر به مخاطرات و مسائل مربوط به ساخت در سامانه‌ی دستیابی دفاعی به وجود آورد [10,12].

اولین توجه در حوزه‌ی آمادگی تولید در سیستم دستیابی وزارت دفاع (DOD) آمریکا در سال ۲۰۰۰ بود که این روند سیر صعودی پیدا کرد. در سال ۲۰۰۶ طبق بررسی سالانه، برنامه‌های اصلی دفاعی (MDAPs)^{۱۱}، مشخص شد که فقط داده‌های فرایند تولید ۱۰ درصد از سیستم‌ها جمع‌آوری شده و صفر درصد تحت کنترل فرایندهای تولیدی بودند که نشان‌دهنده‌ی فقدان عظیمی در بلوغ تولید است [11]. اخیراً در سال ۲۰۰۹ در بررسی سالانه‌ی MDAP، که طراحی، فناوری و بلوغ تولیدی توسط اداره‌ی حسابرسی عمومی (GAO) مورد بررسی قرار گرفته بود، فقدان بلوغ تولیدی تقریباً در تمام برنامه‌ها

1. Manufacturing Readiness Level
2. Integration Readiness Level
3. Maturity
4. Readiness
5. Capability Maturity Model Integration
6. Organizational project management maturity model (OPM3)

7. Process survey tools
8. DEPARTMENT OF DEFENSE
9. Science and technology
10. Government Accountability Office
11. Major defense acquisition programs

مشخص شد. این فقدان بلوغ در کل سه حوزه ۳۰۰ میلیارد دلار (سال مالی ۲۰۱۰) افزایش هزینه دربرداشت و زمان‌بندی تولید را ۲۲ ماه بیشتر از محاسبات تخمینی افزایش داد [13,19,20,7,3].

از زمانی که یافته‌های GAO منتشر شد، وزارت دفاع توجهش را بر ارزیابی بلوغ تولیدی افزایش داده است. در تجدید نظر اخیر دستورالعمل DoD (DoDI 5000.02) که در دسامبر سال ۲۰۰۸ چاپ شد، DoD نیاز به بررسی تولید را از ابتدای چرخه عمر دستیابی دفاعی ارجاع می‌دهد. برای پیشرفت از یک مرحله به مرحله‌ی بعدی در چرخه‌ی عمر دستیابی دفاعی، مراحل (A,B,C) باید بررسی و کامل شود و توسط مقام مسئول تصمیمات مهم (MDA) اداره و سرپرستی شود. MDA تصمیم می‌گیرد که آیا معیارهای از پیش تعیین شده ورودی برآورده شده است تا به تأیید اقدام کمک کند. از نقطه نظر تولیدی، MDA باید مسلح به دانش تمام مخاطرات تولیدی و شدت آن‌ها شود که می‌تواند در فرایند تصمیم به حساب بیاید. تجدید نظر DoDI در دسامبر ۲۰۰۸ در مورد 5000.02 همچنین شامل تغییر نام با افزایش تأکید بر اهمیت بلوغ تولیدی است. مرحله توسعه اصلی چرخه‌ی عمر دستیابی دفاعی، طراحی و توسعه‌ی سیستم نامیده می‌شود که به توسعه مهندسی و تولید (EMD) تغییر نام پیدا کرده است که مشخص کند تلاش‌ها برای توسعه تولید باید هم‌زمان با طراحی محصول رخ دهد. طی EMD، در دستورالعمل 5000.02 وزارت دفاع احتیاج دارد که سیستم تسلیحاتی با توجه به داشتن قابلیت ساخت طراحی شود. به‌علاوه فرایندهای تولیدی حیاتی باید بالغ شوند و فرایندهای تولیدی در محیط خط پایلوت (آزمایشی) به تجربه به اثبات برسند. برای ورود به مرحله تولید با نرخ پایین (LRIP)^۲ که شامل تحویل ۱۰ درصد کل تعداد مورد انتظار است، برنامه نباید مخاطرات تولیدی مهمی

داشته باشد. برای شروع مرحله تولید با نرخ کامل (FRP)^۳ که تعداد باقی‌مانده تولید می‌شود، برنامه باید کنترل فرایندهای تولیدی را نشان دهد. واژه‌ی کنترل برای توصیف راهبردی فرایندهای تولیدی با ثبات در خروجی قابل پیش‌بینی بیان می‌شود. برای تضمین اینکه پیشرفت مناسب در مراحل چرخه عمر دستیابی دفاعی و بلوغ تولیدی‌اش به‌دست آمده است، سطوح آمادگی تولیدی (MRLs) ابزارهای خوبی برای ارزیابی معیار چرخه‌ی عمر دستیابی دفاعی و معرفی مخاطرات تولیدی هستند [8].

GAO پیشنهاد کرد که وزارت دفاع از MRL ها برای ارزیابی آمادگی تولید در برنامه‌هایش استفاده کند. دفتر وزیر دفاع آمریکا خط‌مشی MRL را برای همه خدمات بررسی می‌کند [18,1].

در این مقاله به ابعاد ارزیابی آمادگی تولید خواهیم پرداخت. در بخش دو سطوح آمادگی تولید تعریف می‌شوند. بخش سه به سطوح آمادگی تولید در چرخه‌ی عمر دستیابی پرداخته است، در بخش چهار موضوعات آمادگی تولید تشریح شده است و در بخش پنجم فرایند ارزیابی آمادگی تولید ارائه می‌شود.

۲) سطوح‌های آمادگی ساخت و تولید

سطح آمادگی ساخت (MRL)، یک مقیاس اندازه‌گیری است که برای آمادگی ساخت به‌کار می‌رود تا درباره بلوغ و مخاطرات ساخت و تولید یک سامانه، ارزیابی و بحث نماید. این ابزار برای اطمینان از پیشرفت صحیح مرحله‌های چرخه‌ی عمر دستیابی دفاعی و دستیابی بلوغ ساخت و تولید به‌دست آمده است. ۱۰ نوع سطح آمادگی تولید (MRL) در ارتباط با نُه سطح آمادگی فناوری تعریف می‌شوند. مقیاس عددی، این امکان را فراهم می‌آورد که برای همگان میزان بلوغ فعلی فرایند ساخت و همچنین انتظارات آینده‌ی آن‌ها قابل درک باشد. سطوح آمادگی تولید

1. Milestone Decision Authority
2. Engineering and Manufacturing Development
3. Low Rate Initial Production
4. Full-Rate Production

قصد دارند تا انتظارات را برای یک برنامه در هر فاز چرخه‌ی عمر دستیابی دفاعی تعیین کنند. اگر یک برنامه به هدف سطوح آمادگی تولید خود دست نیابد، توصیه می‌شود یک برنامه‌ی تکمیلی ساخت (به‌عنوان مثال برنامه کاهش مخاطره) فراهم شود.

۱-۲) سطوح آمادگی فناوری و ارتباط آن‌ها با سطوح آمادگی ساخت و تولید

سطح‌های آمادگی فناوری یک سامانه‌ی منظم، متریک/اندازه‌گیری را برای ارزیابی بلوغ یک فناوری خاص فراهم می‌آورد. سطح‌های آمادگی فناوری یک مقایسه‌ی همسان از بلوغ بین انواع مختلف فناوری را ارائه می‌دهند. سال‌های بسیاری رویکرد سطح‌های آمادگی فناوری (TRL) در سازمان ملی هوانوردی و فضایی آمریکا (NASA)^۱ استفاده شده است و رویکرد سنجش بلوغ فناوری برای تمامی برنامه‌های جدید وزارت است. در ابتدا سطح‌های آمادگی فناوری به‌عنوان ابزاری برای کمک به ردیابی فناوری‌ها در توسعه و انتقال آن‌ها به تولید بوده‌اند. ^۱نه مورد TRL به شرح زیر هستند [11]:

- 1• TRL: اصول پایه‌ای مشاهده و گزارش شده
 - 2• TRL: مفهوم فناوری یا کاربرد فرموله شده
 - 3• TRL: تابع اصلی تحلیلی و تجربی و اثبات مفهوم
 - 4• TRL: اعتبار جزء یا نمونه در محیط آزمایشگاهی
 - 5• TRL: اعتبار جزء یا نمونه در یک محیط مرتبط
 - 6• TRL: مدل سامانه، زیرسامانه یا نمونه‌ی اثبات شده در محیط مرتبط
 - 7• TRL: نمایش نمونه آزمایشی سامانه در یک محیط عملیاتی
 - 8• TRL: سامانه‌ی واقعی تکمیل شده و "صلاحیت پروازی" از طریق آزمون و اثبات
 - 9• TRL: سامانه‌ی واقعی دارای تأییدیه‌ی صلاحیت پروازی در عملیات مأموریتی موفق
- آمادگی ساخت و آمادگی فناوری با یکدیگر در ارتباط هستند. سطح‌های آمادگی تولید در ارتباط با سطح‌های آمادگی فناوری، مقیاس‌های کلیدی

هستند که مخاطره را تعریف می‌کنند هنگامی که یک فناوری یا فرایند به بلوغ می‌رسد و به یک سامانه منتقل می‌شود. این برای آمادگی ساخت کاملاً یک امر عادی است که با آمادگی فناوری یا ثبات طرح هماهنگ باشد. فرایندهای ساخت تا زمانی که فناوری و طراحی محصول پایدار نشوند نمی‌توانند به بلوغ برسند. سطح‌های آمادگی تولید می‌توانند برای تعریف آمادگی و مخاطرات ساخت در سطح سامانه و یا زیرسامانه مورد استفاده قرار گیرند. به این دلایل، تعاریف سطوح آمادگی تولید طراحی شده‌اند تا شامل یک سطح نامی از آمادگی فناوری به‌عنوان یک پیش شرط برای هر سطح آمادگی ساخت باشند.

۲-۲) سطوح‌های آمادگی ساخت و تولید

ده سطح آمادگی تولید (از شماره ۱ تا ۱۰) وجود دارند که با نه سطح آمادگی فناوری موجود در ارتباط هستند. مرحله‌ی نهایی (MRL 10)، سامانه‌های در حال تولید را برای جنبه‌های عملیات ناب و بهبود مستمر اندازه‌گیری می‌کند.

1 TRL: مفاهیم پایه‌ای ساخت تعریف می‌شوند

این پایین‌ترین سطح آمادگی تولید است. تمرکز بر کمبودهای تولید و فرصت‌های مورد نیاز برای رسیدن به اهداف برنامه است. تحقیقات پایه (به‌عنوان مثال، سرمایه‌گذاری شده از طریق فعالیت بودجه) در قالب مطالعه‌ها آغاز می‌شوند.

2 TRL: تعریف مفاهیم ساخت

این سطح با توصیف کاربرد مفاهیم جدید ساخت شناخته می‌شود. تحقیق‌های کاربردی، تحقیقات پایه را به راه‌حلهایی برای نیازهای سامانه‌ای گسترده و معین تبدیل می‌کنند. این سطح از آمادگی به‌طور معمول شامل شناسایی، مطالعه‌های تحقیقاتی و تجزیه و تحلیل راهکار و رویکردهای فرایند است. درکی از امکان و مخاطرات ساخت در حال به وجود آمدن است.

3 TRL: توسعه‌ی اثبات مفهوم ساخت

1. National Aeronautics and Space Agency

این سطح با اعتبارسنجی مفاهیم تولید از طریق آزمایش‌های تحلیلی یا آزمایشگاهی شروع می‌شود. این سطح از آمادگی به نوعی از فناوری در دسته‌بندی‌های سرمایه‌گذاری تحقیقات کاربردی و توسعه پیشرفته است. مواد یا فرایندها برای توانمندی تولید و در دسترس بودن مشخص شده‌اند، اما نیاز به ارزیابی و اثبات بیشتری است. مدل‌های سخت‌افزاری آزمایشی در محیط آزمایشگاهی توسعه داده شده‌اند که می‌توانند عملکردهای محدودی را به تأیید برسانند.

TRL 4: توانایی تولید فناوری در محیط آزمایشگاهی این سطح از آمادگی برای برنامه‌های علم و فناوری، معمول است و به‌عنوان یک معیار خروجی برای مرحله‌ی تجزیه و تحلیل راهکار عمل می‌کند که بر مرحله‌ی نقطه‌ی عطف تصمیم‌گیری A متمرکز می‌شود. فناوری‌ها باید کمینه تا TRL 4 به بلوغ برسند. این سطح نشان می‌دهد که فناوری‌ها برای مرحله‌ی توسعه‌ی فناوری در دستیابی آماده هستند. در این مرحله، سرمایه‌گذاری مورد نیاز از جمله توسعه‌ی فناوری تولید، مشخص شده‌اند. فرایندها برای توانمندی ساخت، تولید و کیفیت مناسب و برای اثبات فناوری تولید کافی هستند. مخاطرات ساخت مشخص شده‌اند و برای ساخت، نمونه‌ها و طرح‌های تعدیل وجود دارند. اهداف هزینه‌ها تعیین و پیش‌رانه‌های هزینه‌ی ساخت و تولید شناسایی شده‌اند. ارزیابی‌های قابلیت تولید مفاهیم طرح تکمیل شده‌اند. به‌علاوه پارامترهای عملکردی و کلیدی طراحی مانند ابزارهای خاص، امکانات ویژه، حمل مواد و مهارت‌های خاص مورد نیاز، مشخص شده‌اند.

TRL 5: توانایی تولید اجزای نمونه‌ی اولیه در محیط مرتبط با ساخت این مرحله‌ی بلوغ به نوعی نقطه‌ی میانی مرحله توسعه فناوری مراحل دستیابی، یا در مورد فناوری‌های کلیدی، نزدیک به نقطه‌ی میانی پروژه اثبات فناوری پیشرفته است. فناوری‌ها باید کمینه در TRL 5 باشند. پایگاه صنعتی برای شناسایی منابع

بالموقع تولید ارزیابی شده‌اند. یک راهبرد ساخت و تولید تصحیح شده و با طرح مدیریت مخاطرات یکپارچه شده‌اند. شناسایی فناوری‌ها و اجزای بحرانی/توانمندساز تکمیل شده است. مواد، ابزار و تجهیزات آزمون نمونه آزمایشی و همچنین مهارت کارکنان روی اجزا در محیط مرتبط با تولید اثبات شده است، اما بسیاری از فرایندها و روش‌های تولید هنوز در حال توسعه هستند. تلاش‌های توسعه‌ی فناوری ساخت آغاز شده است و یا ادامه دارند. ارزیابی توانمندی تولید فناوری‌ها و اجزای کلیدی ادامه دارد. یک مدل برای ارزیابی هزینه‌ی ساخت، توسعه داده شده است. TRL 6: توانایی تولید یک سامانه یا زیرسامانه نمونه‌ی آزمایشی در محیط مرتبط با تولید

این MRL با آمادگی برای تصمیم‌گیری نقطه عطف B مرتبط است که برنامه دستیابی را برای ورود به مرحله‌ی توسعه مهندسی و ساخت کنترل می‌نماید. فناوری‌ها باید تا کمینه سطح TRL 6 تکمیل باشند. این سطح آمادگی ساخت نشان دهنده تکمیل توسعه و پذیرش علم و فناوری در طرح اولیه سامانه است. یک رویکرد ابتدایی تولید ایجاد شده است، بیشتر فرایندهای ساخت تعریف و شناخته شده‌اند، اما هنوز هم تغییرات مهم مهندسی یا طراحی در خود سیستم وجود دارد. با این حال، طراحی اولیه اجزاء ضروری تکمیل شده و ارزیابی توانمندی تولید فناوری‌های کلیدی به انجام رسیده است. مواد، ابزار و تجهیزات آزمون نمونه آزمایشی و همچنین مهارت کارکنان روی سامانه‌ها و یا زیرسامانه‌ها در محیط مرتبط با تولید اثبات شده است. تجزیه و تحلیلی از هزینه‌ها برای ارزیابی هزینه‌های تولید طرح در مقابل اهداف هزینه‌ای انجام شده است و برنامه دارای کاهش مخاطرات مناسبی است که برای رسیدن به نیازهای هزینه و یا خط مبنای جدیدی ارائه شده است. این تجزیه و تحلیل باید شامل مبادلات طرح باشد. ملاحظه‌های توانمندی تولید، طرح‌های توسعه سامانه را شکل داده‌اند. ارزیابی توانمندی‌های صنعتی (ICA)^۱ برای نقطه عطف B تکمیل شده است و عناصر اصلی زنجیره تأمین مشخص شده‌اند.

TRL 7: توانایی تولید سامانه‌ها، زیرسامانه‌ها و یا اجزا در محیط نماینده‌ی تولید
این سطح از آمادگی معرف نقطه میانی مرحله توسعه مهندسی و ساخت است. فناوری‌ها باید در مسیر رسیدن به TRL 7 باشند. کار طراحی دقیق سامانه در حال انجام است مشخصات مواد مورد تأیید قرار گرفته‌اند و مواد برای مطابقت با زمان‌بندی آزمایش طراحی شده در دسترس هستند. فرایندها و روش‌های ساخت در یک محیط نمونه‌ی تولید اثبات شده‌اند. ارزیابی مخاطرات و مطالعه‌های دقیق تبادل توانمندی تولید در حال انجام هستند. مدل هزینه با طراحی‌های دقیق به‌روزرسانی شده، با سطح سامانه جمع‌بندی شده‌اند و اهداف تعیین شده را دنبال می‌کنند. تلاش‌های کاهش هزینه واحد اولویت‌بندی شده و در حال اجرا هستند. زنجیره تأمین و تضمین کیفیت تأمین‌کننده ارزیابی شده است و طرح‌های بلند مدت تأمین مناسب هستند. ابزار تولید و طراحی تجهیزات آزمون و توسعه آغاز شده‌اند.
TRL 8: قابلیت خط آزمایشی اثبات شده؛ آماده شروع تولید اولیه با سرعت کم است
این سطح آمادگی برای نقطه عطف تصمیم‌گیری C و ورود به تولید با سرعت کم (LRIP) ارتباط دارد. فناوری‌ها باید در کمینه TRL 7 به بلوغ رسیده باشند. طراحی دقیق سامانه جهت ورود به تولید اولیه با سرعت کم کامل و کافی است. تمام مواد برای مطابقت با برنامه‌ی تولید با سرعت کم طرح‌ریزی شده و در دسترس هستند. فرایندها و روش‌های ساخت و کیفیت در یک محیط آزمایشی اثبات شده و تحت کنترل هستند و برای تولید سرعت کم آماده‌اند. مخاطرات توانمندی تولید شناخته شده هیچ چالش مهمی را برای تولید سرعت کم نشان نمی‌دهند. مدل هزینه مهندسی با طراحی دقیق ایجاد شده و با اطلاعات واقعی تأیید شده است. ارزیابی توانایی صنعتی برای نقطه عطف C انجام شده و نشان می‌دهد که زنجیره‌ی تأمین، ایجاد شده و با ثبات است.

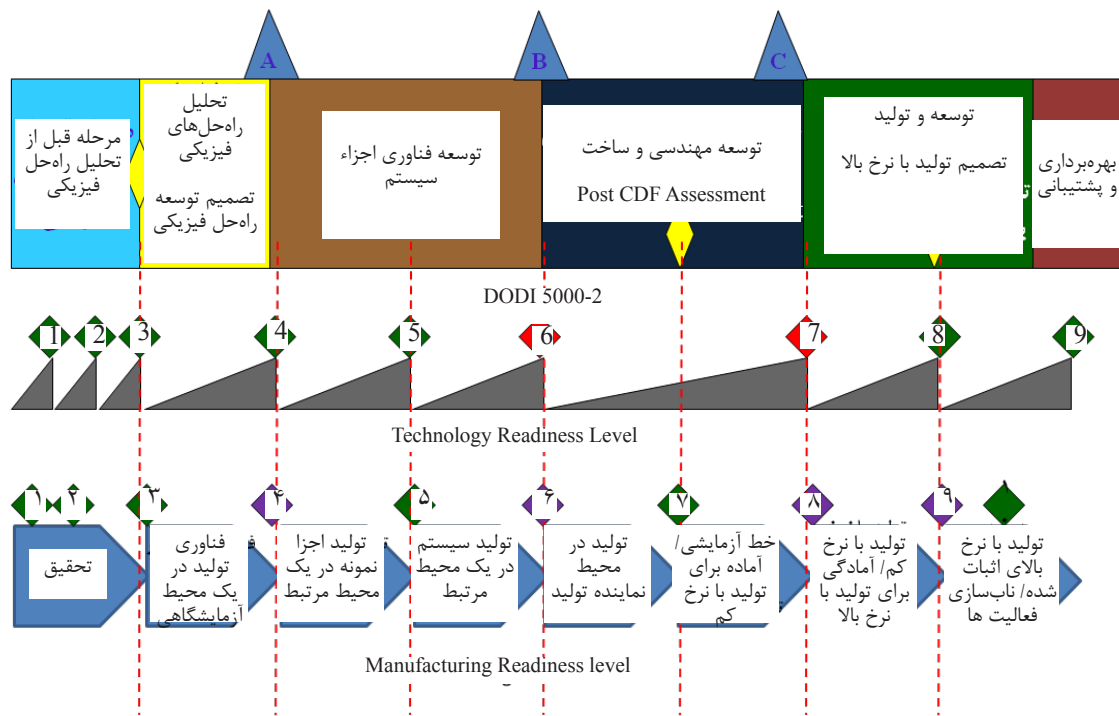
TRL 9: تولید سرعت کم اثبات شده؛ توانمندی مناسب برای شروع به تولید با سرعت تمام در این سطح، سامانه‌ی جزء و یا قطعه‌ی قبلاً تولید شده، یا در حال تولید بوده و یا با موفقیت به تولید اولیه سرعت کم دست یافته است. فناوری‌ها باید در TRL 9 باشند. این سطح آمادگی به‌طور معمول با آمادگی برای ورود به تولید با سرعت تمام (FRP) ارتباط دارد. تمام نیازهای مهندسی طراحی سامانه‌ها باید طوری تطبیق داده شوند که کمینه تغییرات در سامانه ایجاد شود. ویژگی‌های اصلی طرح سامانه پایدار بوده و در آزمون و ارزیابی تأیید شده‌اند. مواد آماده تطبیق با برنامه‌های تولید با سرعت معین هستند. قابلیت روند ساخت در محیط تولید کم سرعت در سطح کیفی مناسب برای مطابقت با تغییرات مشخصه‌های اصلی طرح است. پایش مخاطرات تولید در حال انجام است. اهداف تولید با هزینه کم محقق شده و منحنی‌های یادگیری با داده‌های واقعی تجزیه و تحلیل شده‌اند. مدل هزینه برای محیط تولید با سرعت تمام ایجاد شده است و تأثیر بهبود مستمر را منعکس می‌کند.
TRL 10: تولید با سرعت تمام اثبات و تجربه‌های تولید ناب اجرا شده‌اند
این بالاترین سطح آمادگی تولید است. فناوری‌ها باید در TRL 9 باشند. این سطح از تولید به‌طور معمول با مراحل تولید و یا پایداری چرخه عمر دستیابی ارتباط دارند. تغییرات مهندسی/ طراحی کم و به‌طور کلی محدود به بهبود کیفیت و هزینه هستند. سامانه، اجزا و یا اقلام، در حال تولید با سرعت تمام هستند و با تمام نیازهای مهندسی، عملکرد، کیفیت و قابلیت اطمینان مطابقت دارند. قابلیت فرایند تولید در سطح کیفی مناسبی است. تمام مواد، ابزار، بازرسی و آزمایش تجهیزات، امکانات و نیروی انسانی حاضر هستند و با نیازهای تولید با سرعت تمام تطابق دارند. هزینه‌های واحد تولید با اهدافش مطابقت دارند، و سرمایه‌گذاری برای تولید با سرعت مطلوب

کافی است. تجربه‌های نابسازی به‌خوبی انجام شده و بهبود مستمر فرایندها در حال انجام است.

۳) سطح‌های آمادگی ساخت و تولید و مدیریت دستیابی

مدیریت مخاطرات ساخت جزء لاینفک دستیابی به تمام سیستم‌های تسلیحاتی در سراسر کل چرخه عمر آنهاست. اگر این مخاطرات به‌خوبی مدیریت نشوند، ارائه‌ی چنین سامانه‌هایی با شیوه‌ای مقرون به‌صرفه و دقیق امکان‌پذیر نیست. مقایسه سطوح آمادگی تولید تعیین شده واقعی با هدف، از طریق ارزیابی آمادگی ساخت، اساس مدیریت

مخاطرات تولید است. این اقدام‌ها حوزه‌هایی را که نیاز به توجه مدیریت دارند، برجسته می‌سازد و کمکی به دستیابی اطمینان اجرای موفق و انتقال برنامه/ پروژه به مرحله بعدی است. این حوزه‌های مخاطره باید در کل چرخه عمر شناخته شوند و هنگامی که اهداف برآورده نشوند، باید یک طرح بلوغ (MMP)^۱ ساخت وجود داشته باشد تا اطمینان حاصل شود سطح‌های آمادگی تولید مناسب در نقطه تصمیم‌گیری بعدی به‌دست می‌آید. ارتباط MRها با مواعید کلیدی سامانه، TRLها و بازرسی‌های فنی در شکل (۱) نمایش داده شده است [6,5,4,15,1].



شکل ۱: ارتباط MRLها با مواعید کلیدی سامانه، TRLها و بازرسی‌های فنی

تمرکز دارند. در حین تحقیقات کاربردی این مواد و فرایندهای مورد نیاز جدید بهتر شناسایی می‌شوند. MRL 4 تا MRL 6 هرکدام تعاریف دقیقی دارند و به‌گونه‌ای طراحی شده‌اند که برای فناوری‌ها در سطح‌های TRL مرتبط با آنها مناسب باشند.

MRL 1 تا MRL 3 به بررسی موضوعات ساخت که نیازمند توجه ویژه تا انتهای فاز تحلیل راه‌حل فیزیکی MSA^۲ هستند پرداخته است. موضوعات ساخت در طی تحقیقات بنیادی عموماً بر مشخص کردن مواد جدید یا فرایندهای ساخت جدید

1. Manufacturing Maturation Plan
2. MATERIAL SOLUTION ANALYSIS

برخی المان‌های تعاریف MRL به‌طور مستقیم به پروژه‌های S&T مانند ATDها¹ و برنامه‌های فناوری ساخت اعمال می‌شوند، اما بیشتر المان‌ها برای دستیابی به آمادگی سامانه‌های تسلیحاتی مناسب‌تر هستند.

MRL 7 تا MRL 10 به‌طور معمول به پروژه‌های S&T وابسته نیستند زیرا از یک پروژه S&T انتظار نمی‌رود که برای رسیدن به این سطوح بالاتر آمادگی ساخت تلاش کند. MRL 6 به‌طور معمول برای حمایت و پشتیبانی از انتقال فناوری کافی است. برخی المان‌های سخت‌افزاری یک فناوری S&T ممکن است شامل المان‌های برون‌ی (مانند مقاومت‌ها، ورق‌های فلزی و غیره) باشند که مخاطرات ساخت کمتری را به همراه دارند و ممکن است سطح بلوغی بالای MRL 6 داشته باشند و بنابراین نیازمند اهمیت کمتری هستند.

معیارهای موفقیت ساخت باید در بررسی‌های فنی مهندسی سیستم² و قبل از نقاط عطف در چرخه‌ی عمر دستیابی مورد ارزیابی قرار گیرند [9]. معیارهای موفقیت برای پیش از نقطه عطف A به شرح زیر است:

• آیا فرایندها و مخاطرات تولید اولیه برای نمونه‌های آزمایشی شناسایی شده‌اند؟
• آیا سرمایه‌های ضروری برای توسعه‌ی فناوری جهت بلوغ طراحی و فناوری‌های مرتبط با ساخت، شناسایی و بودجه‌بندی شده‌اند؟
• آیا ارزیابی‌های توانمندی تولید اولیه‌ی مفاهیم طرح، کامل شده است؟

قبل از نقطه عطف B سؤالات زیر را بپرسید:

• آیا بلوغ فرایندهای تولیدی تعریف و مشخص شده‌اند؟
• آیا رویکردهای اولیه تولید مستند هستند؟
• آیا ارزیابی توانمندی تولید فناوری‌های کلیدی کامل شده‌اند؟
• آیا مدل هزینه تولید ساخته شده است؟

• آیا پایگاه صنعتی می‌تواند از تولید راهکار توسعه حمایت کند؟

• آیا عناصر زنجیره تأمین، اصلی و بلند مدت شناخته شده‌اند؟

سؤالات مطرح شده پیش از توانمندی سامانه و نمایش فرایند تولید عبارتند از:

• آیا فرایندهای تولید حیاتی که بر ویژگی‌های کلیدی تأثیر می‌گذارند شناسایی شده و توانایی آن‌ها در مطابقت با دامنه تغییرات طرح تعیین شده است؟
• آیا برنامه‌های کنترل فرایند برای فرایندهای ساخت بحرانی ایجاد شده است؟

• آیا فرایندهای تولید در یک محیط نمونه نشان داده شده است؟

• آیا مطالعه تبادل دقیق و ارزیابی‌های توانمندی تولید سامانه در دست اقدام است؟

• آیا مواد و قالب برای مطابقت با برنامه‌ی آزمایشی در دسترس است؟

• آیا مدل هزینه‌ی تولید سیستم، به روز شده، به سطح زیرسیستم اختصاص داده شده و منطبق با اهداف است؟

• آیا تدارکات به‌طور مناسب طرح‌ریزی شده و زنجیره‌ی تأمین ارزیابی شده است؟

معیارهای موفقیت زیر پیش از نقطه عطف C مرتبط شده‌اند:

• آیا این طرح دقیق در این بودجه تولید قابل اجرا است؟

• آیا امکانات تولید آماده و کارگران مورد نیاز آموزش دیده‌اند؟

• آیا طرح دقیق تکمیل شده و برای ورود به تولید با تعداد کم آماده و پایدار است؟

• آیا زنجیره‌ی تأمین ایجاد شده و با مقتضیات موجود برای مطابقت تولید با تعداد کم استوار است؟

• آیا فرایندهای تولید تعیین شده و در یک محیط آزمایشی ثابت شده است؟

- آیا تمامی مطالعات تبادلی توانمندی تولید و ارزیابی‌های مخاطره کامل شده است؟
- آیا مدل هزینه‌ی تولید براساس طرح دقیق پایدار و اعتبار آن تأیید شده است؟

۴) موضوعات سطح‌های آمادگی ساخت و تولید

تولید موفق دارای ابعاد بسیاری است. موضوعات سطح‌های آمادگی تولید برای سازماندهی این ابعاد در نه حوزه‌ی مخاطرات ساخت تعریف شده‌اند. این موضوعات عبارتند از:

- فناوری و پایه صنعتی: نیازمند تجزیه و تحلیل قابلیت فناوری ملی و پایه صنعتی برای حمایت از طرح، توسعه، تولید، بهره‌برداری، پشتیبانی تعمیر و نگهداری بی‌وقفه از سامانه و دفع نهایی (اثرات زیست‌محیطی) است.

• طراحی: نیازمند درک بلوغ و ثبات طراحی سامانه در حال تکامل و هرگونه تأثیر مربوط به آمادگی ساخت است.

- هزینه و بودجه: نیازمند تجزیه و تحلیل سرمایه‌گذاری کافی برای رسیدن به سطح‌های بلوغ ساخت هدف است و مخاطرات مرتبط با رسیدن به اهداف هزینه تولید را بررسی می‌کند.

• مواد: نیازمند تجزیه و تحلیل مخاطرات مرتبط با مواد (از جمله مواد اولیه/ خام، قطعات، قطعات نیمه تمام و زیرمونتازها) است.

- قابلیت فرایند و کنترل: نیازمند تجزیه و تحلیل مخاطراتی است که فرایندهای ساخت را قادر به انعکاس مفاد طرح (تکرارپذیری و تأمین‌پذیری) ویژگی‌های کلیدی می‌کند.

• مدیریت کیفیت: نیازمند تجزیه و تحلیل مخاطرات و تلاش‌های مدیریت برای کنترل کیفیت و بهبود مستمر است.

- کارکنان تولید: نیازمند ارزیابی مهارت‌های مورد نیاز، در دسترس بودن و تعداد کارکنان مورد نیاز برای حمایت از تولید است.

• امکانات: نیازمند تجزیه و تحلیل توانمندی و ظرفیت

امکانات تولید اصلی (اولیه، مقاطعه کار فرعی، تأمین‌کننده، فروشنده و نگهداری/ تعمیر) است.

- مدیریت تولید: نیازمند تجزیه و تحلیل، تنظیم و هماهنگی تمام عناصر مورد نیاز برای انتقال طرح به نظامی یکپارچه (تحقق اهداف برنامه برای تأمین‌پذیری و در دسترس بودن) است.

بسیاری از موضوعات سطح‌های آمادگی تولید به زیرمجموعه‌هایی تجزیه شده‌اند. این موضوع درکی دقیق‌تر از آمادگی ساخت و مخاطره را فراهم می‌سازد، در نتیجه از استمرار تکمیل تولید از یک سطح به سطح دیگر اطمینان حاصل می‌شود. به طور مثال:

- فناوری و پایگاه صنعتی از جمله: انتقال فناوری به توسعه فناوری تولید و ساخت؛

- طراحی از جمله: قابلیت تولید و بلوغ؛

- هزینه و سرمایه‌گذاری از جمله: دانش هزینه تولید (مدل‌سازی هزینه)، تجزیه و تحلیل هزینه و ایجاد بودجه سرمایه‌گذاری تولید؛

- مواد از جمله: بلوغ، در دسترس بودن، مدیریت زنجیره تأمین و حمل و نقل ویژه (یعنی اموال و تجهیزات دولتی، عمر مفید، امنیت، مواد خطرناک، محیط ذخیره‌سازی و غیره)؛

- قابلیت فرایند و کنترل از جمله: مدل‌سازی و شبیه‌سازی (محصول و فرایند)، بلوغ فرایند ساخت و نرخ و بازده فرایند؛

- مدیریت کیفیت از جمله: کیفیت تأمین‌کنندگان؛

- مدیریت تولید از جمله: برنامه‌ریزی و زمان‌بندی تولید، برنامه‌ریزی مواد و آزمایش ابزار ویژه و تجهیزات بازرسی.

ماتریس ارزیابی معیارهای دقیقی برای هر یک از ۱۰ سطح آمادگی تولید توسط موضوع و زیرموضوع در سراسر چرخه عمر دستیابی فراهم می‌کند. این ماتریس به کاربر اجازه می‌دهد به‌صورت جداگانه پیشرفت بلوغ هر کدام از موضوعات و زیرموضوعات را به‌عنوان سطح‌های آمادگی از MRL 1 تا MRL 10 درک و پیگیری کند. این معیار موضوع و زیرموضوع MRL، باید متناسب با وضعیت خاص، بومی‌سازی شود.

طرح شماره گذاری سطوح آمادگی تولید برای ارزیابی آمادگی ساخت مهم نیست. درجه‌ی رشد و بلوغ یک عنصر از برنامه‌ای که در حال ارزیابی است، آیا به بلوغ هدف نائل شده است و یا اینکه به منظور افزایش سطح بلوغ چه باید انجام دهد، مهم است.

۵) ارزیابی آمادگی ساخت و تولید

ارزیابی آمادگی ساخت، ابزاری مهم برای ارزیابی بلوغ و مخاطرات ساخت است. این ارزیابی‌ها باید منجر به اقدام‌هایی از قبیل: تنظیم اهداف برای افزایش بلوغ تولید و کاهش مخاطرات تولید، ایجاد طرح‌های عملیاتی و پیش‌بینی بودجه برای رسیدن به این اهداف،

تصمیم‌گیری‌هایی در مورد آمادگی فناوری یا فرایند برای انتقال به یک طرح سامانه و یا در محدوده صنعت و هسته دستیابی، و تصمیم‌گیری‌هایی درباره آمادگی سامانه برای ادامه در مرحله بعدی اکتساب شود. بنابراین ارزیابی آمادگی تولید وضعیت عناصر کلیدی برنامه را باید با سطح‌های آمادگی تولید اسمی مناسب، برای این مرحله از برنامه مقایسه کند. همچنین مخاطرات مرتبط با عناصری را توصیف کند که برای رسیدن به هدف با مشکل مواجه هستند و مبنایی را برای طرح‌ریزی و سرمایه‌گذاری کاهش مخاطرات تولید وضع نماید. ماتریس ارزیابی برای کل موضوعات تهیه شده که در جدول (۱) نمونه‌ای از آن آمده است.

نسخه ۱۱.۳		۱۴-ژوئن-۱۲			
سطوح آمادگی تولید DoD(MRLs)					
مرحله دستیابی		تحلیل راه حل فیزیکی (MSA)		توسعه فناوری (TD)	
بررسی های فنی		بررسی سیستم جایگزین		بررسی نیازمندی‌های سیستم / بررسی عملکردی سیستم	
بند		MRL 4		MRL 5	
بند		زیرشاخه‌های بند		MRL 6	
I مدیریت ساخت و تولید	I-1 زمان بندی و برنامه ریزی ساخت و تولید	راهبرد تولید توسعه داده و با راهبرد دستیابی یکپارچه شده است. فعالیت‌های کاهش مخاطرات زمان بندی نمونه اولیه با راهبرد توسعه فناوری ادغام می‌شود.		راهبرد تولید براساس مفاهیم ترجیحی قبلی اصلاح می‌شود. عملیات سازماندهی شده برای کاهش مخاطرات برنامه ریزی و زمان بندی طرح اولیه شناسایی می‌شود.	
	I-2 برنامه ریزی مواد	فهرست اجزای بند توسعه فناوری با تخمین زمان‌های تدارک مربوطه توسعه داده می‌شود.		لیست اجزای توسعه فناوری در حال بلوغ است، ارزیابی ساخت یا خرید انجام می‌شود، و شامل ملاحظات تولید طی الزامات خط آزمایشی، FRP و LRIP است. زمان‌های تدارک و دیگر مخاطرات شناسایی می‌شوند.	
				رویکردهای تولیدی اولیه توسعه یافته است. همه طراحی‌های سیستم مرتبط با وقایع تولیدی، در برنامه ریزی و زمان بندی ادغامی اصلی شامل شده است. رویکرد کاهش مخاطرات تولید برای خط تولید آزمایشی یا برنامه‌های به کارگیری فناوری تعریف شده است.	
				بیشتر تصمیمات درباره مواد کامل شده است (ساخت یا خرید)، مخاطرات مواد شناسایی شده است و برنامه‌های کاهش آن‌ها توسعه یافته است. فهرست مواد (BOM) تعیین شده است.	

جدول ۱: ماتریس ارزیابی آمادگی تولید نمونه

آمادگی تولید قابل اجرا برای تمام عناصر در این سلسله مراتب را تعیین کند و آزمایش سطح سامانه و فرایندهای مونتاژ ضروری که نیازمند به تخصیص MRL هستند را شناسایی کند. این امر شامل مراحل آزمایش و مونتاژی می‌شود که در یک زیرسیستم یا ساخت جزء گنجانده شده است.

در هنگام انجام ارزیابی آمادگی تولید، باید سلسله مراتب به خوبی تعریف شده‌ای در میان عناصر ارزیابی شده باشد. این سلسله مراتب باید در سطح سامانه شروع شود و به طرف پایین به سمت پایین‌ترین جزء جریان یابد که کوچک‌ترین واحد بررسی را تشکیل می‌دهد. تیم ارزیابی باید موضوع‌های سطح

1. Technology Development
2. Preliminary Design Review

در طول فرایند ارزیابی، یک جزء و یا زیرسیستم ممکن است پیچیده‌تر از آنچه در ابتدا تصور می‌شده یافت شود؛ بنابراین یک تجزیه و تحلیل دقیق‌تر و یا "تفحص عمیق" ضروری است. اگر تیم ارزیابی تصمیم بگیرد که بررسی بیشتری از اجزای حیاتی لازم است، موضوعات سطوح آمادگی تولید باید در آن مرحله به کار روند. زیر اجزا، همراه با مراحل فرایند مورد بررسی قرار می‌گیرند و یک سطح آمادگی تولید برای این زیر لایه عنصر نهایی تعیین می‌شود.

تیم ارزیابی در نهایت باید اقدامات لازم برای بالا بردن آمادگی تا سطح مورد نظر در زمان انتقال یک فناوری و یا حمایت از یک نقطه عطف تصمیم‌گیری با مخاطره‌ی قابل کنترل را تعیین کند.

این بازنگری‌ها به‌طور معمول به وسیله تیم‌های کوچک از دو تا شش کارشناس ساخت، مهندسی و کیفیت تشکیل می‌شوند. در بیشتر موقعیت‌های تأمین‌کنندگان، بازنگری‌ها بسته به طبیعت و پیچیدگی فرایند ساخت، یک یا دو روز به طول می‌انجامد.

ارزیابی آمادگی ساخت مستقیم و بی‌پرده است.

مرحله‌ای که ارزیابی را به بحران می‌برد برنامه‌ریزی ابتدایی است که دامنه کاری و هدف ارزیابی را مشخص می‌کند. تیم پیمانکار نیاز دارد اجزای تأمین‌کنندگان یا فناوری‌هایی که ارزیابی را ضمانت می‌کنند، انتخاب کند. گاهی دامنه و بزرگی مخاطرات بالقوه ساخت، تعیین می‌کند که آیا یک ارزیابی لازم است اجرا شود یا خیر؟

این مسئله بسیار بحرانی است که ارزیابی‌های سطح‌های آمادگی تولید در درخواست‌های پروپوزال‌ها گنجانده شوند و در نهایت باید به شکل بخشی از قرارداد کاری آورده شوند که شامل تعریف روشنی از روش انجام کار و حوزه ارزیابی باشند. یک نقشه‌ی سطح‌های آمادگی تولید که این اطلاعات را مستند می‌سازد می‌تواند به‌عنوان ضمیمه‌ی قرارداد گنجانده شود.

وقتی که ارزیابی به پایان رسید و یکی از سطح‌های آمادگی تولید اختصاص داده شد، تیم باید برنامه‌های رشد و بلوغ ساخت را برای هر بند تعیین نماید تا در سطح‌های آمادگی تولید هدف عددی را به خود اختصاص ندهد.

فرایند کلی ارزیابی در شکل (۲) آمده است.

تعیین حوزه ارزیابی اولیه
تعیین طبقه‌بندی ارزیابی و برنامه‌ریزی
شکل‌دهی و توجیه تیم ارزیابی
توجیه هسته‌های دستیابی / پیمانکاران جهت ارزیابی
درخواست از هسته‌های دستیابی / پیمانکاران جهت انجام خود ارزیابی
قرار دادن دستور جلسه جهت بازدید از محل
هدایت ارزیابی
آماده کردن گزارش

جدول ۲: جریان فرایند نمونه برای انجام ارزیابی آمادگی ساخت

۵-۱) طرح‌های بلوغ ساخت و مدیریت ریسک

هدف از ارزیابی مبتنی بر MRL، تجزیه و تحلیل شرایط کنونی و شناسایی مخاطرات تولید به‌منظور کمک به مدیر برنامه/ پروژه در ایجاد برنامه یا گزینه‌ای برای کاهش یا حذف مخاطرات است. شناسایی مخاطرات، بخش مهمی از توسعه کاهش آن بوده و یک عامل کلیدی قدرتمند در موفقیت برنامه است. مدیریت ریسک شامل برنامه‌ریزی، ارزیابی، بررسی و راهبردهای کاهش انتقال آن و همچنین روش‌های نظارت بر مخاطرات است. از طریق ارزیابی بلوغ، توسعه‌ی برنامه‌های آن و استفاده از طرح‌های انتقال فناوری ابزارهایی اساسی برای کاهش مخاطرات هستند.

یک محصول کلیدی ارزیابی آمادگی ساخت، طرح بلوغ آن است که به مخاطرات ساخت می‌پردازد. در تمام طول مدت زمان برنامه/ پروژه، یک طرح کاهش مخاطره برای تمام مناطق ریسک از جمله: کمبودهای مدیریت ریسک تأمین‌کنندگان و تأمین‌کنندگان رده‌ی زیرین را فراهم می‌کند. برای آن دسته از مناطق که سطح‌های آمادگی تولید به مرحله هدف خود دست نیافته است تمام ارزیابی‌های آمادگی تولید باید با طرح بلوغ ساخت مرتبط باشند.

یک سطح آمادگی تولید پایین اختصاص یافته به یک جزء لزوماً در هر بلوغ مرحله دستیابی بد نیست. با شناخت مناطق مخاطره، سرمایه‌گذاری لازم می‌تواند برای رسیدن به سطوح آمادگی تولید هدف در زمان انتقال به مرحله بعدی برنامه/ پروژه مؤثر باشد. به‌عنوان نتیجه‌ای از شناسایی مخاطره برنامه/ پروژه می‌تواند پیش از شدید شدن مخاطرات طرح بلوغ ساخت‌ها را تنظیم و اجرا کند. اطلاعات زیر برای تصمیم‌گیری درباره‌ی اینکه آیا یک فناوری یا سیستم جنگ‌افزاری برای حرکت به مرحله بعدی چرخه‌ی عمرش آماده است یا خیر ضروری است:

- شناسایی هر عنصر (فناوری‌ها، قطعات، مونتاژها، زیرسامانه‌ها، فرایندها و غیره) که به سطح‌های آمادگی تولید هدف نرسیده باشد.

- درک تأثیر بالقوه در صورتی که این عنصر نتواند

سطح هدف را کامل کند و همچنین رساندن عنصرها تا سطحی قابل قبول از بلوغ و یا توسعه‌ی کار مناسب، چقدر دشوار، زمانبر، و پرهزینه خواهد بود. دفتر برنامه/ پروژه در شروع همکاری با پیمانکار باید یک طرح بلوغ ساخت را ارائه دهد که شامل تمام مناطق مخاطرات ساخت است. طرح بلوغ ساخت باید همراه با نتایج حاصل از ارزیابی آمادگی ساخت تحویل داده شود. رئوس مطالب زیر برای طرح بلوغ ساخت شامل ضروری‌ترین موارد در برنامه‌ریزی بلوغ یک عنصر خاص که سطح آمادگی تولید آن کمتر از MRL هدف بوده، است:

۱. عنوان

۲. بیان مسئله:

- توصیف عناصر ارزیابی و وضعیت بلوغ آن؛
- شرح چگونگی استفاده‌ی این عنصر از ارزیابی در کل سامانه؛
- نمایش مناطقی که در آن آمادگی ساخت کمتر از آمادگی تولید هدف بوده است از جمله عوامل کلیدی و جنبه‌های پیشران آن؛
- ارزیابی نوع و اهمیت مخاطره برای هزینه، زمان‌بندی و یا عملکرد.

۳. گزینه‌های راه‌حل:

- مزایای استفاده از رویکرد ترجیحی؛
- گزینه‌های عقب‌نشینی و عواقب ناشی از هر گزینه.
- ۴. طرح بلوغ با برنامه‌ریزی و سرمایه‌گذاری
- ۵. فعالیت‌های کلیدی برای رویکرد ترجیحی
- ۶. آماده‌سازی برای استفاده از یک روش جایگزین
- ۷. آخرین زمانی که یک روش جایگزین می‌تواند انتخاب شود.

۸. وضعیت بودجه برای اجرای طرح تولید

۹. انجام اقدام‌های خاص (چه کاری خواهد شد و توسط چه کسی؟)

۱۰. ساخت نمونه‌ها و یا مواد آزمایشی که باید ساخته شود.

۱۱. انجام آزمایش‌هایی که باید انجام شود:

- توصیف چگونگی ارتباط محیط آزمایشی با محیط تولید.

۱۲. آستانه‌ی عملکردی که باید تحقق یابد.

۱۳. دستیابی به سطح‌های آمادگی تولید و زمان دستیابی به آن

۶) جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

سطوح آمادگی تولید جهت منعکس ساختن سطوح آمادگی فناوری (TRL) طراحی شده‌اند. سطح آمادگی ساخت (MRL)، یک مقیاس اندازه‌گیری است که برای آمادگی ساخت به‌کار می‌رود تا درباره بلوغ و مخاطرات ساخت، ارزیابی و بحث نماید. این ابزار برای اطمینان از پیشرفت صحیح مرحله‌های چرخه عمر دستیابی دفاعی و دستیابی بلوغ ساخت به‌دست آمده است. ۱۰ نوع سطح آمادگی تولید (MRL) در ارتباط با نه سطح آمادگی فناوری تعریف می‌شوند. مقیاس عددی این امکان را فراهم می‌آورد که برای همگان میزان بلوغ فعلی فرایند ساخت و همچنین انتظارات آینده‌ی آن‌ها قابل درک باشد. سطوح آمادگی تولید قصد دارند تا انتظارات را

برای یک برنامه در هر فاز چرخه‌ی عمر دستیابی دفاعی تعیین کنند. اگر یک برنامه به هدف سطوح آمادگی تولید خود دست نیابد، توصیه می‌شود یک برنامه‌ی تکمیلی ساخت (به‌عنوان مثال برنامه کاهش مخاطرات) فراهم شود. این نکته حائز اهمیت است که سطوح آمادگی تولید به دید برنامه‌ها و معیارهای پیشروی برنامه نباید دیده شوند. انجام این کار ممکن است منجر به فشار غیرضروری بر تیم ارزیابی شده و مانع توانایی‌های تیم برای تأمین ارزیابی مناسبی از مخاطرات شود.

تعیین سطوح آمادگی تولید توسط ارزیابی نه حوزه، سرفصل یا بندهای آن انجام می‌شود که در شکل (۳) نشان داده شده است. این بندها مشابه سرفصل‌هایی هستند که به‌طور معمول طی بازنگری آمادگی تولید از آن‌ها استفاده می‌شود؛ همچنین پیش‌آمدهایی هستند که قبل از گره C بررسی می‌شوند تا مشخص کنند که آیا یک برنامه آماده ترقی به فاز تولید چرخه‌ی عمر دستیابی دفاعی هست یا خیر.



شکل ۲: حوزه‌های MRL

ماتریس‌های ارزیابی، معیارهای دقیقی برای هر یک از ۱۰ سطح آمادگی تولید، توسط موضوع و زیرموضوع، در سراسر چرخه‌ی عمر دستیابی فراهم می‌کنند. این ماتریس به کاربر اجازه می‌دهد تا به صورت جداگانه پیشرفت بلوغ هر کدام از موضوعات و زیرموضوعات را به عنوان سطوح آمادگی از MRL 1 تا MRL 10 درک و پیگیری کند. موضوع و زیرموضوع های MRL باید متناسب با وضعیت خاص بومی سازی شوند.

طرح شماره گذاری سطوح آمادگی تولید برای ارزیابی آمادگی ساخت مهم نیست. درجه‌ی رشد و بلوغ یک عنصر از برنامه‌ای که در حال ارزیابی است، آیا به بلوغ هدف نائل شده و یا اینکه به منظور افزایش سطح بلوغ چه باید انجام دهد، مهم است. این اطلاعات در فرایند ارزیابی با استفاده از ماتریس ارزیابی کشف می‌شود، نه با اختصاص یک عدد به عنصر در حال ارزیابی.

از MRL ها انتظار می‌رود که انتظارات برای هر برنامه از هر مرحله چرخه‌ی عمر دستیابی دفاعی را آماده و مرتب کنند. اگر برنامه‌ای به هدف MRL اش دست نیابد، یک برنامه بلوغ تولیدی (مثلاً برنامه کاهش مخاطرات) باید ایجاد شود. این موضوع مهم است که به MRL به عنوان معیاری ممکن یا غیرممکن نگاه نشود. انجام این کار می‌تواند فشار غیر لازمی را به تیم ارزیابی وارد و از قدرت تیم جلوگیری نماید که ارزیابی درستی از مخاطرات را فراهم کنند.

برای بررسی‌های براساس MRL که همچنین ارزیابی آمادگی تولیدی شناخته می‌شوند (MRA)، کارکنان آگاه به کار و باهوش برای اجرای معیارهای هدف در ماتریس MRL مورد نیاز هستند تا فرایند تولیدی مورد نظر، بلوغش را تعیین کند. این بررسی‌ها معمولاً توسط تیم‌های کوچکی از دو تا شش متخصص تولید، کیفیت و مهندسی سیستم اجرا می‌شود. در محل پیمانکار، بررسی‌ها وابسته به طبیعت و پیچیدگی فرایندهایی که بررسی می‌شود، یک یا دو روز طول می‌کشد.

با توجه به شکل‌گیری هسته‌های دستیابی در ودجا برای تولید اقتصادی، با کیفیت و به موقع

سامانه‌های دفاعی پیشنهاد می‌شود که در مراحل اولیه‌ی طراحی، مسأله توانمندی تولید طبق روش MRL مورد ارزیابی قرار گیرد. این اندازه‌گیری هم برای فناوری‌هایی که در هسته‌های دستیابی قرار دارند و هم برای شبکه بیرونی باید انجام شود تا توانمندی تولید سامانه مورد ارزیابی قرار گرفته و اقدامات بهبود برای ارتقای سطح آمادگی و توانمندی تولید سامانه از مراحل ابتدایی صورت گیرد تا تولید سامانه با کمترین مشکل و با سرعت بالا تحقق یابد. در تحقیقات آینده می‌توان بر مبنای این تحقیق الگوی بومی برای اندازه‌گیری سطح آمادگی ساخت در هسته‌های دستیابی دفاعی در ودجا، طراحی کرد.

1. Azizian N., Sarkani, S., Mazzuchi, T., A Comprehensive Review and Analysis of Maturity Assessment Approaches for Improved Decision Support to Achieve Efficient Defense Acquisition, Proceedings of the World Congress on Engineering and Computer Science 2009 Vol II, WCECS 2009, October 20-22, 2009, San Francisco, USA.
2. DoD, "MRL Guide," Joint Defense Manufacturing Technology Panel, Manufacturing Readiness Level Working Group, February 2007. <https://acc.dau.mil/GetAttachment.aspx>.
3. DoD, "Manufacturing Readiness Levels," http://www.dodmrl.com/MRL_Overview_Chart.pdf, accessed September 2010.
4. DoD, Defense Acquisition Guidebook , Production Date:15 May 2013, <https://dag.dau.mil>
5. DoD, Defense Acquisition Guidebook, (Jan. 10, 2012 ed.) published by United States Department of Defense Acquisition practices
6. DoD, Defense Acquisition Guidebook, Defense Acquisition University, December 17, 2009; <https://dag.dau.mil/Pages/Default.aspx>
7. DoD, Defense Acquisition University, "Major Defense Acquisition Programs (MDAP)," <https://acc.dau.mil/CommunityBrowser.aspx?id=141955&lang=en-US>, accessed September 2010.
8. DoD, Department of Defense Instruction (DoDI) 5000.2, Operation of the Defense Acquisition System, Undersecretary of Defense for Acquisition, Technology and Logistics (USD (AT&L)), December 8, 2008.
9. DoD, Manufacturing Readiness Level, Deskbook, January 2010 DRAFT Prepared by the, Office of the Director, Defense Research and Engineering. http://www.dodmrl.com/MRL_Deskbook.
10. DoD, Sub-Part 207.1, "Acquisition Plans," Defense Federal Acquisition Regulation Supplement (DFARS), revised July 29, 2009; <http://www.acq.osd.mil/dpap/dars/dfarspgi/current/index.html>.
11. DoD, Technology Readiness Assessment Deskbook, Office of the Director, Defense Research and Engineering (DDR&E), July 2009; http://www.dod.mil/ddre/doc/DoD_TRA_July_2009_Read_Version.pdf.
12. GAO , Defense Acquisitions: Assessment of Selected Weapon Programs, Government Accountability Office (GAO -09-326SP), March 30, 2009. <http://www.gao.gov/docsearch/agency.php>.
13. GAO, "Defense Acquisitions: Assessments of Selected Weapon Programs," United States Government Accountability Office, GAO Report No. GAO-07-406SP, March 2007.
14. James R. Perss, Implementing the Capability Maturity Model , John Wiley & Sons, 2001.
15. Karr D. M., Manufacturing Readiness Levels, US Air Force Materiel Command, Aeronautical Systems Center (AFMC ASC/ENSM) , Wright-Patterson Air Force Base, OH, <http://amm.tiac.af.mil/quarterly>
16. Project management institute, Organizational project management maturity model (OPM3), Newtown square Pennsylvania USA, 2003.
17. Röglinger, M., Pöppelbuß, J., Becker, J., Maturity Models in Business Process Management, Business Process Management Journal 18 (2012) 2.
18. Sullivan, M., "Best Practices: DoD Can Achieve Better Outcomes by Standardizing the Way Manufacturing

Risks Are Managed,” United States Government Accountability Office, GAO Report No. GAO-10-439, April 2010, pp. 28 & 43.

19. Sullivan, M.J., “Defense Acquisitions: Assessments of Selected Weapon Programs,” United States Government Accountability Office, GAO Report No. GAO-10-388SP, March 2010, p. 2.

20. Sullivan, M.J., “Defense Acquisitions: Assessments of Selected Weapon Programs,” United States Government Accountability Office, GAO Report.

