

تاریخ دریافت: ۹۷/۱/۲۸

تاریخ پذیرش: ۹۸/۲/۲۲

ارائه مدل تدوین نقشه راه فناوری‌های یک سامانه پیشرفته

امیرحسین اخروی^{۱*}

علیرضا شکیبامنش^۲

چکیده

با توجه به سرعت پیشرفت فناوری، برخورداری از نقشه راه فناوری امری ضروری است. هدف از این تحقیق، ارائه مدل گام‌به‌گام تدوین نقشه راه فناوری همراه با جزئیات است تا در تحقیقات مشابه نیز با تغییرات و متناسب‌سازی، قابل بهره‌برداری باشد. بدین منظور، در تحقیق حاضر گام‌های تدوین نقشه راه فناوری یک سامانه پیشرفته (شامل سخت‌افزار، نرم‌افزار و پلتفرم) بیان شد. در راستای انجام این پژوهش، پس از دریافت نظرات خبرگان برون‌سازمانی (دوازده نفر از مدیران سطح ملی) و خبرگان درون‌سازمانی در قالب اعضای کمیته‌های تخصصی (۲۷ نفر از صاحب‌نظران صنعتی) و تحلیل نظرات آن‌ها در قالب ماتریس‌های شکاف موزون-توانمندی و نمودار راداری، نسخه اولیه نقشه راه فناوری سامانه با افق ۱۰ ساله، در چهار لایه (۲۲ پیشران، ۱۹ قابلیت، ۴۸ ویژگی و ۱۰۰ فناوری) تدوین شد. این نقشه پس از گذشت یک یا دو سال از اجرای آن، نیاز به بازنگری و به‌روزرسانی دارد تا مطابق با آخرین تغییرات فناوری در کشور و دنیا و نیز با توجه به نیازمندی‌ها و اولویت‌های جدید، تغییرات احتمالی در آن اعمال شود.

واژه‌های کلیدی:

نقشه راه فناوری، سامانه پیشرفته، ماتریس شکاف موزون-توانمندی، سطح آمادگی فناوری، آینده‌پژوهی.

۱. عضو هیئت‌علمی، گروه مدیریت، مجتمع آموزش عالی گناباد، خراسان رضوی، ایران.

* نویسنده مسئول؛ okhravi@gonabad.ac.ir

۲. کارشناس ارشد، مهندسی کامپیوتر، آزمایشگاه تلفیق اطلاعات، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.

مقدمه

مدیریت فناوری، مدیریت راهبردی و پویای سبب‌داری‌های فناورانه سازمان است که با توجه به نوع فناوری، چرخه عمر آن و سازمان‌دهی فرآیندهای مختلف به‌منظور راهبری، شناسایی، توسعه، اکتساب و بهره‌برداری، یادگیری و مدیریت منابع و حفاظت مؤثر از دارایی‌های فناوری سازمان به کار می‌رود (امینی و همکاران، ۱۳۹۵). هدف تهیه نقشه راه برای سازمان‌ها و شرکت‌های مختلف، متفاوت است؛ از همین رو، روش استاندارد و ثابتی برای تهیه آن وجود ندارد (توکلی، ۱۳۸۹). کارکرد اصلی نقشه‌های راه فناوری عبارت است از: ارائه و نمایش، ارتباط و انتقال معنا، برنامه‌ریزی و ایجاد هماهنگی و تا اندازه‌ای پیش‌نگری و گزینش. نقشه‌های راه فناوری عموماً نمایه‌های حاوی مقیاس زمانی در خصوص رابط میان فناوری‌ها و محصولات را فراهم می‌آورند (پایا، ۱۳۸۹).

مسئله‌ای که این تحقیق با آن روبروست، آن است که با توجه به ادبیات حوزه نقشه راه و با استفاده از ابزارها و تکنیک‌های تصمیم‌گیری مناسب، مدلی را جهت تدوین و ترسیم نقشه راه فناوری‌های یک سامانه پیشرفته (شامل سخت‌افزار، نرم‌افزار و پلتفرم) ارائه نماید؛ به‌نحوی که نظرات خبرگان برون‌سازمانی و درون‌سازمانی در تدوین آن اخذ و اعمال گردیده، ارتباط بین عناصر لایه‌ها و اولویت‌بندی آن‌ها به‌خوبی مشخص شده و در هر بازه‌ای از افق زمانی نقشه، وضعیت سازمان قابل ره‌گیری بوده و بتوان برنامه‌های اصلاحی و بازنگری موردنیاز را در نقشه انجام داد. این تحقیق، از حیث اشاره دقیق و جزئی به مراحل تدوین نقشه راه با توجه به جمع‌بندی سایر تحقیقات و بومی‌سازی آن و نمایش مدل اجرای گام‌به‌گام آن تا رسیدن به مرحله نهایی ترسیم نقشه راه فناوری، برای مخاطبان مورد استفاده خواهد بود.

پیشینه تحقیق

تهیه نقشه راه فناوری یک مهارت انعطاف‌پذیر است که به‌صورت گسترده در صنایع مختلف، جهت حمایت از برنامه‌ریزی‌های راهبردی و بلندمدت استفاده می‌شود. تهیه نقشه راه می‌تواند به صنایع مختلف از طریق تمرکز بر تحلیل‌های محیطی و ردیابی فناوری‌ها، به پیش‌بینی آینده یک صنعت و بازارهای بالقوه آن بپردازد و فناوری‌های متناسب با نیازهای مشتریان آینده را فراهم کند (عرب‌زوزنی و همکاران، ۱۳۹۶). در حوزه فناوری‌های دفاعی نیز توجه به این موضوع، مورد تأکید بوده است (لو و یو، ۲۰۱۸؛

بوکر^۱، ۲۰۱۵؛ کیانی، ۱۳۹۲).

در تحقیقات صورت گرفته، ۸ هدف را برای تدوین نقشه راه فناوری بیان کرده‌اند (پورمحمد و همکاران، ۱۳۸۹) که عبارت‌اند از: برنامه‌ریزی محصول، برنامه‌ریزی توانمندی خدمات، برنامه‌ریزی راهبردی، برنامه‌ریزی بلندمدت، برنامه‌ریزی دارائی دانش، برنامه‌ریزی طرح، برنامه‌ریزی فرآیند، برنامه‌ریزی ادغام. برخی از تحقیقات اخیر نیز در جدول ۱ معرفی شده است:

جدول شماره ۱: برخی از تحقیقات جدید در حوزه نقشه راه فناوری

ردیف	عنوان	نویسنده (گان)
۱	ضرورت تهیه نقشه راه فناوری برای نظام سلامت ایران: یک مطالعه مروری روایی	عرب‌زوزنی و همکاران، ۱۳۹۶
۲	نگاشت نقشه راه فناوری اطلاعات: رویکردی برای هم‌راستایی راهبردهای فناوری اطلاعات با راهبردهای کسب‌وکار	محبی و حیدری، ۱۳۹۵
۳	ارزیابی ریسک‌های توسعه فناوری در لایه‌های مختلف نقشه راه فناوری (مورد مطالعه: مته‌های حفاری)	نقی‌زاده و همکاران، ۱۳۹۵
۴	نقشه راه فناوری حوزه بالادستی نفت و گاز در کشورهای پیشرو (مطالعه موردی: نروژ-ژاپن)	کریمی، ۱۳۹۲
۵	رویکرد مدل‌سازی و ارزیابی نقشه راه سیستم فناوری‌های دفاعی سامانه‌ها	لو و یو، ۲۰۱۸
۶	تدوین نقشه راه فناوری‌های شرکت صنایع هواپیمایی برای ۸ سال	سوراو و همکاران ^۲ ، ۲۰۱۸
۷	نقشه راه فناوری صنعتی برای پشتیبانی از برنامه‌ریزی عمومی تحقیق و توسعه	چو و همکاران ^۳ ، ۲۰۱۶

در تحقیق صورت گرفته توسط عرب‌زوزنی و همکاران (۱۳۹۶) سه مرحله برای تدوین نقشه راه مطرح شده است:

(۱) فعالیت‌های مقدماتی، شامل: (۱) پرداختن به وضعیت‌های ضروری، (۲) تدارک مدیریت و ضمانت،

1 . Boecker
2 . Sourav et al.
3 . Cho et al.

۳) تعریف حیطة عمل و حدود نقشه

۲) توسعه بسط نقشه راه، شامل: ۱) شناسایی محصولی که نقطه تمرکز نقشه راه است، ۲) شناسایی نیازهای بحرانی سیستم و اهداف آن، ۳) معین کردن قلمرو فناوری‌های عمده، ۴) معین کردن برنامه راه‌اندازی فناوری و اهداف آن، ۵) شناسایی جایگزین‌های احتمالی و خط سیر زمانی آن‌ها، ۶) معرفی جایگزین‌های فناوری که نیاز به پیگیری دارند و ۷) تهیه گزارش نقشه راه فناوری ۳) فعالیت‌های پشتیبان، شامل: ۱) نقد و تأیید اعتبار نقشه راه، ۲) توسعه طرح پیاده‌سازی و ۳) بازبینی و به‌روزرسانی نقشه راه.

در کتاب مورل و همکاران^۱ (۲۰۱۳) نیز کار جامعی نسبت معرفی انواع و سطوح مختلف نقشه راه فناوری، ابزارهای مورد استفاده در آن و سایر دسته‌بندی‌های مرتبط انجام شده است. تفاوت تحقیق حاضر با سایر تحقیقات، آن است که در این تحقیق، در تبیین جزئیات مراحل اجرایی، استفاده از درخت فناوری (شکست فناوری)، استفاده از TRL و طبقه‌بندی رنگی فناوری‌ها، استفاده از کمیته‌های تخصصی چندگانه در کنار خبرگان سطح ملی، استفاده شده است. همچنین، در این تحقیق، روش جدید و واقع‌بینانه‌ای برای اولویت‌بندی عناصر لایه‌های مختلف، ارائه شده است که جزئیات بیشتر آن در تحقیق اخروی (۱۳۹۲) آمده است.

یکی از معیارهایی که جهت سنجش آمادگی و بلوغ فناوری‌ها مورد استفاده قرار گرفته است، سطوح آمادگی فناوری TRL^۲ است. این سطوح برای اولین بار در دهه ۸۰ میلادی توسط سازمان ناسا مطرح شد. تعاریف اولیه (۱۹۸۹) شامل ۷ سطح بود که بعد از آن (۱۹۹۵) تا ۹ سطح افزایش یافت و در حال حاضر نیز از همین تعاریف استفاده می‌شود که در جدول ۲ آمده‌اند (فولادی، ۱۳۹۰).

در این تحقیق، در مواردی که TRL یک فناوری از توانمندی صنعت مورد مطالعه در آن فناوری بیشتر باشد، یعنی، صنعت به‌راحتی می‌تواند با استفاده از تجربیات سایرین، خلأ خود را در این بخش کامل کند و نیاز به کار بنیادی در خصوص آن فناوری ندارد؛ و بالعکس.

1 . Moehrl et al.

2 . Technology Readiness Levels

جدول شماره ۲: تعریف سطوح آمادگی فناوری (فولادی، ۱۳۹۰)

توصیف	سطح آمادگی فناوری
این پایین‌ترین سطح بلوغ فناوری است. در این سطح تحقیقات علمی به‌منظور انتقال به تحقیقات کاربردی و توسعه شروع می‌شود.	۱- اصول پایه مشاهده و گزارش شده
وقتی اصول فیزیکی پایه مشاهده شد، در سطح بلوغ بعدی، کاربردهای عملی این مشخصه‌ها را می‌توان شناسایی کرد. کاربردها هنوز ذهنی هستند.	۲- فرموله شدن مفهوم/ کاربرد فناوری
در این مرحله از بلوغ، تحقیق و توسعه فعال (شامل مطالعات تحلیلی و آزمایشگاهی جهت اثبات مفاهیم سطح ۲) شروع می‌شود.	۳- اثبات مفهومی مشخصه‌های کلیدی به‌صورت نظری و تجربی
مؤلفه‌های اصلی باید یکپارچه شوند تا نشان داده شود که اجزا با یکدیگر (در محیط آزمایشگاه به‌صورت موقتی و دستی) کار می‌کنند.	۴- تأیید مؤلفه و/یا بردبرد در محیط آزمایشگاه
مؤلفه‌های اصلی فناوریانه باید به‌گونه‌ای بر عناصر واقعی متکی شوند که بتوان کل کاربردها را در سطح مؤلفه، زیرسامانه و سامانه با شبیه‌سازی، آزمون نمود.	۵- تأیید مؤلفه و/یا بردبرد در محیط مرتبط با کاربرد
مدلی از سامانه یا نمونه اولیه‌ای از آن در یک محیط مرتبط آزمون می‌شود.	۶- نمایش مدل سامانه/ زیرسامانه یا نمونه در محیط مرتبط با کاربرد
نمونه‌ای از سامانه واقعی باید در محیط واقعی (نزدیک به سامانه عملیاتی اصلی و یا در مقیاس همانند آن در محیط عملیاتی) به نمایش گذاشته شود.	۷- نمایش نمونه سامانه در محیط عملیاتی
غالباً این مرحله نمایانگر پایان توسعه سامانه برای بیشتر عناصر فناوری است. در این حالت، فناوری جدید با سامانه موجود یکپارچه شده است.	۸- بررسی کیفیت سامانه واقعی کامل شده از طریق آزمون و نمایش
در مرحله عیب و ایرادهای احتمالی برطرف می‌شود.	۹- اثبات عملکرد سامانه واقعی در مأموریت عملیاتی

در مورد طبقه‌بندی رنگی فناوری‌ها که گاهی تحت عنوان «اهمیت خوداتکایی» نیز مطرح می‌شود،

آن‌ها را به سه دسته تقسیم می‌کنند (اسناد پشتیبان، ۱۳۹۱):

قرمز: فناوری‌هایی که باید با قطبیت بخش خاص توسعه یابد: - امنیت اطلاعات آن‌ها نقش

اساسی در امنیت ملی دارد. - تحریم آن‌ها توسط استکبار جهانی حتمی است. - دانش فنی و مدیریتی

آن‌ها باید در بخش خاص رسوب کند. - عدم توسعه آن‌ها تخریب جدی محیط زیست را دربر دارد

(عمدتاً مواد). وجهه اجتماعی و سیاسی تأثیرگذار ایجاد نماید.

زرد: باید با حمایت بخش خاص در بخش عمومی توسعه یابد: امنیت اطلاعات آن‌ها نقش بسیار کمی در امنیت ملی دارد. تأمین آن‌ها به‌عنوان زیرساخت توسط سایر بخش‌ها ایجاد مشکل نمی‌کند. - دانش مدیریت فناوری آن باید در بخش خاص رسوب کند. - برای سایر بخش‌ها توجه اقتصادی دارد.

سبز: فناوری‌هایی که باید خریداری شود: - امنیت اطلاعات آن‌ها نقشی در امنیت ملی ندارد. - تحریم آن‌ها توسط استکبار جهانی نامحتمل است. - رسوب دانش بازرگانی در بخش خاص کفایت می‌کند. - تأمین آن‌ها موجب تخریب جدی محیط‌زیست نمی‌شود و خرید آن‌ها برای بخش خاص مقرون به‌صرفه است. - تأمین آن‌ها تأثیر منفی بر وجهه اجتماعی و سیاسی ندارد. فناوری‌های احصاء شده در این تحقیق نیز، مطابق با تعاریف فوق توسط خبرگان دسته‌بندی شدند. از جمله نوآوری‌های این تحقیق، استفاده از طبقه‌بندی‌های فناوری و سطوح TRL در تدوین نقشه راه است.

روش‌شناسی تحقیق

برحسب نوع موضوع، می‌توان نقشه راه کوتاه‌مدت (۱ تا ۲)، میان‌مدت (۲ تا ۵) تا بلندمدت (۵ تا ۱۰) تدوین نمود (عباسی و همکاران^۱، ۲۰۱۷). از آنجاکه رویکرد این تحقیق بیشتر در حوزه برنامه‌ریزی بلندمدت (۱۰ ساله) برای حرکت آتی در حوزه فناوری یک سامانه پیشرفته است، لذا این تحقیق یک تحقیق کاربردی است. همچنین به لحاظ ماهیت تحقیق، جامعه آماری در این تحقیق شامل دو گروه تصمیم‌گیری است. دسته اول، خبرگان سطح کلان و خارج از سازمان می‌باشند که با مسیر حرکت کشور آشنا هستند. دسته دوم، خبرگان و صاحب‌نظران داخل سازمان هستند که توانایی ترجمه اطلاعات به‌دست‌آمده از خبرگان برون‌سازمانی را به زبان فناوری و منابع دارا هستند.

برای کسب اطلاعات از خبرگان خارجی از مصاحبه نیمه‌باز استفاده شد که سؤالات این مصاحبه به تصویب کمیته اجرایی رسید. همچنین برای استفاده از نظرات صاحب‌نظران داخلی در قالب کمیته‌های تخصصی، از پرسشنامه و برگزاری جلسات مشترک استفاده شد. روایی محتوایی پرسشنامه‌ها با استفاده از نظرات خبرگان مورد تأیید قرار گرفت و در مورد پایایی آن از روش‌های کیفی اطمینان حاصل شد.

1 . Abbasi et al.

از آنجا که عمده فعالیت صورت گرفته در خروجی نقشه راه، اولویت‌بندی عناصر موجود در هر لایه است، در این بخش به نحوه اولویت‌بندی این عناصر اشاره شده است.

در مورد روش تجزیه و تحلیل داده‌ها، ابتدا در مورد عناصر بالاترین لایه، سه نوع عدد از صاحب‌نظران در قالب پرسشنامه اخذ گردید که عبارت‌اند از: جذابیت، توانمندی و وضع موجود؛ یعنی افراد برای هر کدام از عناصر سه عدد را در مقیاس ده‌تایی ارائه دادند. عدد ۱ بیانگر کمترین و عدد ۱۰ بیانگر بیشترین میزان (جذابیت، توانمندی و وضع موجود) است. در مورد وضع موجود، فاصله بین عدد اختصاص یافته تا عدد ۱۰، بیانگر شکاف (فاصله) تا سطح مطلوب است. چنانچه جذابیت را در شکاف ضرب نماییم، به شکاف موزون خواهیم رسید و به ازای هر لایه یک ماتریس دوبعدی خواهیم داشت (ناظمی و همکاران، ۱۳۹۰؛ اخروی ۱۳۹۲).

پس از مشخص شدن قابلیت‌های متناظر با هر پیشران توسط خبرگان، جذابیت آن پیشران در جذابیت قابلیت متناظر ضرب می‌شود تا ارتباط بین لایه‌ها برقرار شود. سه عدد مذکور برای هر یک از ویژگی‌ها و فناوری‌ها نیز از صاحب‌نظران اخذ گردید و برای عناصر هر لایه، ماتریس دوبعدی مذکور ترسیم شد. برای نمایش بهتر داده‌ها، نمودار راداری عناصر هر لایه نیز ترسیم شده است. سپس با توجه به وضعیت عناصر، رعایت پیش‌نیازی و زمان‌بندی آن‌ها خبرگان، عناصر در لایه‌های چهارگانه نقشه راه مدنظر قرار گرفتند.

پیش از بررسی این گام‌ها، نکته حائز اهمیت، وجود زیرساخت‌های لازم برای اجرای آن‌ها است؛ که از جمله این زیرساخت‌ها، درک عمیق از اهمیت وجود یک نقشه راه برای سازمان متقاضی توسط مسئولین و مجریان و نیز پشتیبانی همه‌جانبه (انسانی، مادی، معنوی و...) از این برنامه‌ریزی راهبردی تا رسیدن به نسخه نهایی نقشه و پس از آن نیز ضمانت اجرایی قوی برای ابلاغ آن به بخش‌های مختلف و عمل به برنامه‌ها، است.

یکی از ابزارهای سودمند در تدوین نقشه راه فناوری، استفاده از ماتریس‌های تحلیلی است (گریتمن و همکاران، ۲۰۱۶؛ لی و گیوم، ۲۰۱۷) که ترسیم لایه‌های خروجی نقشه راه را تسهیل می‌نماید. به‌عنوان مثال یک ماتریس تحلیلی ارتباط بین لایه‌های اهداف با محصول و نیز ارتباط محصول با فناوری را مطابق جدول شماره ۳ تعیین می‌کند.

1 . Greitemann et al.

2 . Lee & Geum

جدول شماره ۳: شمای کلی ماتریس‌های تحلیلی

اهداف	هدف ۱	هدف ۲	هدف ۳	هدف ۴	هدف ۵	هدف ۶	هدف ۷	هدف ۸	هدف ۹	هدف ۱۰
ویژگی‌ها										
۱										
۲										
۳										
۴										
۵										
۶										
۷										
۸										
۹										
۱۰										

اهداف	هدف ۱	هدف ۲	هدف ۳	هدف ۴	هدف ۵	هدف ۶	هدف ۷	هدف ۸	هدف ۹	هدف ۱۰
ویژگی‌ها										
۱										
۲										
۳										
۴										
۵										
۶										
۷										
۸										
۹										
۱۰										

در این جدول، چنانچه بین هر کدام از عناصر یک لایه با لایه بالاتر ارتباطی وجود داشته باشد، در محل تقاطع آن‌ها با یکدیگر مشخص می‌شود. با توجه به تعداد لایه‌های نقشه راه (N)، تعداد ماتریس‌های تحلیلی یکی کمتر (1-N) خواهد بود.

برای تدوین نقشه راه فناوری، تشکیل کمیته (پنل)های تخصصی و اخذ اطلاعات از ذینفعان موردنیاز است (قاضی نوری و همکاران^۱، ۲۰۱۷؛ دسترنج و همکاران^۲، ۲۰۱۸). البته در این تحقیقات، تنها ۲ کمیته در انجام تحقیق مشارکت داشته‌اند، اما در تحقیق مورد مطالعه، یک کمیته اجرایی (مشکل از خبرگان حوزه نقشه راه در موضوع مورد مطالعه)، مسئول تدوین نقشه راه فناوری گردید که این کمیته، به‌منظور دریافت اطلاعات صحیح در حوزه‌های مختلف سامانه پیشرفته (شامل سخت‌افزار، نرم‌افزار و پلتفرم)، اعضای یک کمیته راهبردی و ۴ کمیته تخصصی را تعیین (شکل ۱) و گام‌های تدوین نقشه راه را با استفاده از ادبیات موضوع، مشارکت این افراد و نیز دریافت نظرات خبرگان برون‌سازمانی (در سطح ملی) طراحی و نسخه اولیه نقشه راه را تدوین نمودند که مسلماً پس از گذشت زمان و دریافت اطلاعات و نظریات جدید، نیازمند بازنگری و به‌روزرسانی است. اعضای کمیته‌های اجرایی، راهبردی و تخصصی با ترکیبی که در شکل ۱ مشخص شده‌اند، در تحقیق حضور داشتند.

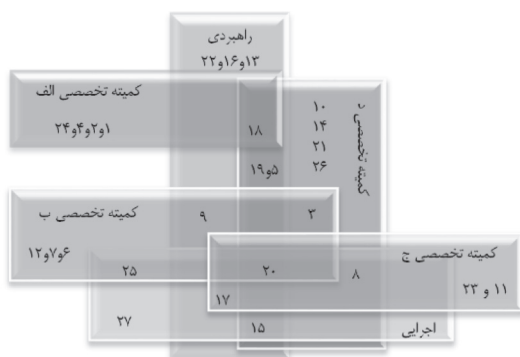
همان‌طور که در این شکل مشخص است، برخی از افراد در چند کمیته به‌عنوان صاحب‌نظر حضور داشته‌اند. شماره‌های مشخص شده در این شکل، نمایانگر کد هر یک از خبرگان درون‌سازمانی است. به‌ازای تفکیک فناوری به بخش‌های تخصصی، ترکیب پنل‌های تخصصی نیز به‌تناسب تعیین شد تا با مشارکت همه‌جانبه، نقشه راه با اطلاعات کامل تدوین شود. در این تحقیق، کمیته تخصصی الف در زمینه حس‌گرها، کمیته ب در زمینه پلتفرم، کمیته ج در زمینه نرم‌افزار و کمیته د در حوزه

1 . Ghazinoory et al.

2 . Dastranj et al.

سخت‌افزار، تخصص دارند. همچنین خبرگانی که در سطح کلان از نظراتشان استفاده گردید، دوازده نفر از مدیران و فرماندهان بودند.

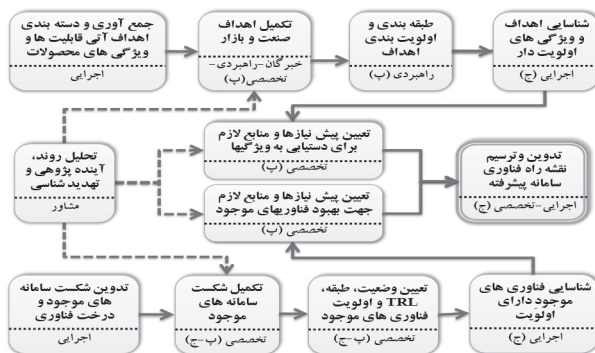
شکل شماره ۱: ترکیب اعضای کمیته‌های مشارکت‌کننده



با توجه به توضیحات فوق، در تحقیق مورد مطالعه، با رعایت اصول کلی نقشه راه و بومی‌سازی و جمع‌بندی روش‌های ارائه‌شده (مورل و همکاران، ۲۰۱۳)، انجام تحقیق در پنج فاز برنامه‌ریزی شد که عناوین کلی فعالیت‌های صورت گرفته (به‌منظور استفاده در تحقیقات مشابه) عبارت‌اند از:

- فاز اول: مطالعات اولیه
- فاز دوم: مقدمات و برنامه‌ریزی
- تدوین شرح وظایف کمیته اجرایی و شرایط انجام آن‌ها
- تدوین و تکمیل سند نگاشت نهادی (جدولی که در سطرهای آن وظایف و در ستون‌های آن مجریان وظایف مشخص و با استفاده از سلول‌های جدول، ارتباط بین مجریان و وظایف تعیین می‌گردد).
- تعیین گروه‌ها (خبرگان درون سازمانی) جهت تکمیل پرسشنامه‌ها
- تهیه نرم‌افزار ماتریس جذابیت-توانمندی
- تدوین مدل اجرایی پروژه، پرسشنامه‌ها (مصاحبه با خبرگان - ماتریس‌های تحلیلی) و نرم‌افزار تحلیل آن‌ها
- فاز سوم: آینده‌پژوهی، تحلیل روند و تهدید شناسی
- فاز چهارم: احصاء و اولویت‌بندی اولیه فناوری‌ها

- شکست سامانه (تدوین، تکمیل و تحلیل پرسشنامه TRL و نسخه اول درخت فناوری «شکست سامانه»)
 - مصاحبه با خبرگان و جمع‌بندی نتایج
 - اولویت‌بندی عناصر لایه‌ها در قالب ماتریس‌های تحلیلی
 - مستندسازی و جمع‌بندی مطالبات نیرو و اهداف سازمان (پیشران‌ها)
 - شناسایی و سطح‌بندی اولیه قابلیت‌ها، ویژگی‌ها و فناوری‌ها
 - ارسال ماتریس‌های تحلیلی به کمیته‌های تخصصی و دریافت و تحلیل نظرات
 - تهیه خروجی هر ماتریس در قالب نمودارها و تعیین زمان تقریبی دستیابی به هر فناوری جهت برنامه‌ریزی
- فاز پنجم: اولویت‌بندی و جمع‌بندی نهایی و ترسیم



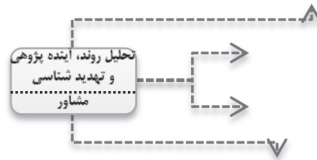
شکل شماره ۲: مدل اجرایی و گام‌های تدوین نقشه راه فناوری

همان‌گونه که در شکل شماره ۲ مشاهده می‌شود، فعالیت‌های کلی برای تدوین نقشه راه (از فاز ۳) به همراه کمیته‌هایی که مسئول اجرای آن فعالیت‌ها می‌باشند و نیز ابزار مورد استفاده این کمیته‌ها (شامل پ: پرسشنامه؛ ج: جلسه) مشخص شده است. مدل اجرایی تحقیق که برگرفته از مجموع روش‌های مطرح‌شده در تحقیقات مشابه (مورل و همکاران، ۲۰۱۳، آریانتو و سورندرو، ۲۰۱۷) و نظرات خبرگان است، در شکل شماره ۲ و توضیحات بخش‌های مختلف آن در ادامه بیان شده است.

نکته قابل توجه در این نمودار آن است که در مراحل اجرای تحقیق، هم به دستیابی به اهداف آتی و هم به بهبود فناوری‌های موجود، توجه و اشاره شده و برنامه‌ریزی نهایی در راستای تحقق این دو مهم انجام می‌شود.

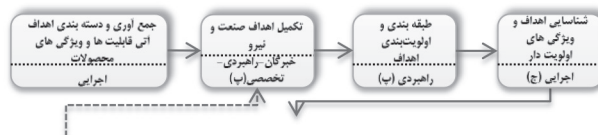
می‌توان این مدل را به چهار بخش تقسیم نمود:

الف) بخش اول؛ که در آن تحلیل روند، آینده‌پژوهی و تهدید شناسی انجام می‌شود و برخی از اطلاعات موردنیاز در بخش‌های دوم و چهارم را پشتیبانی می‌نماید. همچنین اطلاعات به‌دست‌آمده از این بخش تا حدودی بخش سوم را نیز تحت تأثیر قرار می‌دهد. این بخش در سمت چپ مدل آمده است و در فاز سوم پروژه انجام می‌شود (شکل ۳).



شکل شماره ۳: بخش اول مدل اجرایی

ب) بخش دوم؛ که مربوط به شناسایی و اولویت‌بندی نیازهای آینده است و عمده فعالیت‌های آن در فاز چهارم انجام می‌شود. بیشتر اطلاعات به‌دست‌آمده در این بخش از نظرات خبرگان استخراج شده است. این بخش از مدل اجرایی در قسمت فوقانی مدل نشان داده شده است (شکل ۴). فعالیت دومی که در این بخش مشاهده می‌شود به‌طور ضمنی با اطلاعاتی که از بخش اول (تحلیل روند و...) به‌دست‌آمده، مرتبط است (فلش خط‌چین) و با استفاده از آن‌ها، نیازهای دقیق‌تر و جدیدتری را به‌عنوان اهداف آتی موردبررسی قرار می‌دهد. پس از اجرای فعالیت چهارم در این بخش، اطلاعات آن به بخش چهارم مدل، رفته و در آنجا مورد استفاده قرار می‌گیرد.



شکل شماره ۴: بخش دوم مدل اجرایی

ج) **بخش سوم**؛ که این بخش موازی بخش دوم بوده و به دنبال اطلاعات فناوری‌های موجود (شناسایی دقیق وضع موجود) است، لذا در آن از نظرات کمیته‌های تخصصی که آشنایی نزدیک و بهتری با وضعیت فعلی دارند، استفاده شده است (شکل ۵). در این بخش نیز، فعالیت دوم، با توجه به اطلس فناوری به‌دست‌آمده از بخش تحلیل روند انجام می‌شود. خروجی و اطلاعات به‌دست‌آمده از فعالیت چهارم، به بخش چهارم مدل منتقل می‌شود.



شکل شماره ۵: بخش سوم مدل اجرایی

د) **بخش چهارم**؛ که آخرین بخش مدل اجرایی پروژه است، دربردارنده سه فعالیت کلی است که در شکل ۶ نشان داده شده است. می‌توان گفت در این بخش، با تعیین پیش‌نیازهای دستیابی به فناوری به‌دست‌آمده از بخش دوم و سوم و نیز مطالبی که در بخش اول درباره روند گذشته و پیش‌بینی‌های آینده ارائه شده است، اقدامات نهایی جهت ترسیم نقشه راه و ایجاد هماهنگی بین لایه‌های آن صورت می‌پذیرد.



شکل شماره ۶: بخش چهارم مدل اجرایی

عمده فعالیت‌های مربوط به تدوین نقشه راه فناوری، در فاز چهارم واقع شده‌اند. در این فاز پس از احصاء فناوری‌ها، اولویت‌بندی آن‌ها نکته‌ای حائز اهمیت است.

یافته‌های تحقیق (گام‌های تدوین نقشه راه فناوری)

داده‌های به‌دست‌آمده از خبرگان برای اولویت‌بندی فناوری‌ها، عبارت‌اند از:

۱- سطوح آمادگی فناوری (TRL)؛ ۲- طبقه‌بندی رنگی فناوری‌ها؛ ۳- تعیین «اهمیت»، «وضع موجود» و «توانمندی سازمان در بهبود وضع موجود» به‌منظور تهیه ماتریس شکاف موزون-توانمندی برای هر لایه از نقشه راه (پیشران‌ها، قابلیت‌ها، ویژگی‌ها و فناوری‌ها) از خبرگان و صاحب‌نظران، درخواست شد تا فناوری‌های موجود و نیز فناوری‌هایی را که در نقشه راه به‌عنوان فناوری‌های آتی استخراج شده‌اند، با توجه به این تعاریف، دسته‌بندی نمایند. در این تحقیق تعداد عناصر استخراج‌شده برای لایه‌های چهارگانه در افق زمانی ۱۰ ساله، به شرح جدول ۴ است.

جدول شماره ۴: تعداد عناصر لایه‌های چهارگانه نقشه راه

عنوان لایه	بخش‌های لایه و تعداد عناصر
پیشران‌ها (اهداف)	در سطح بازار (۱۷ مورد) و در سطح کسب‌وکار (مأموریت) صنعت (۵ مورد)
قابلیت‌ها	۱۹ مورد
ویژگی‌ها	۴۸ مورد
فناوری‌ها	قرمز (۶۸ مورد) - زرد (۱۷ مورد) - سبز (۱۵ مورد)

در مورد ارتباط عناصر با یکدیگر که در پرسشنامه نظرسنجی شده بود، ارتباطات زیر مشخص گردید. ارتباط پیشران‌ها با قابلیت‌ها در جدول ۵ نشان داده شده است که همین موارد در نرم‌افزار و سایر تحلیل‌ها مورد استفاده قرار گرفت. برای ارتباطات عناصر سایر لایه‌ها نیز به همین ترتیب ماتریس‌های تحلیلی به دست آمد که نمایش آن‌ها در اینجا ضرورتی ندارد.

همان‌طور بیان شد، سومین موضوع در فاز چهارم، مربوط به تهیه ماتریس شکاف موزون-توانمندی می‌شود. این ماتریس به همراه نمودارهای راداری برای هر لایه از نقشه راه ترسیم شده است. نقشه راه در تحقیق حاضر شامل چهار لایه (پیشران‌ها، قابلیت‌ها، ویژگی‌ها و فناوری‌ها) است. داده‌هایی که جهت تهیه ماتریس فوق و نیز نمودارهای راداری مورد نیاز است، عبارت‌اند از:

جدول شماره ۵: ماتریس تحلیلی ارتباط بین قابلیت‌ها با پیشران‌ها

پیشران‌های مرتبط																	قابلیت‌ها					
کسب و کار					بازار																	
۵	۴	۳	۲	۱	۱۷	۱۶	۱۵	۱۴	۱۳	۱۲	۱۱	۱۰	۹	۸	۷	۶		۵	۴	۳	۲	۱
			✓														✓	✓	✓	✓	✓	۱
✓																	✓			✓	✓	۲
✓			✓									✓								✓	✓	۳
					✓		✓											✓	✓	✓	✓	۴
✓			✓		✓			✓				✓		✓	✓			✓	✓	✓	✓	۵
✓			✓									✓						✓	✓	✓	✓	۶
					✓	✓														✓	✓	۷
		✓				✓	✓	✓	✓				✓	✓	✓					✓	✓	۸
✓			✓			✓			✓	✓					✓						✓	۹
✓			✓						✓			✓									✓	۱۰
✓			✓				✓														✓	۱۱
			✓		✓			✓	✓						✓		✓	✓		✓	✓	۱۲
✓			✓				✓	✓	✓			✓									✓	۱۳
			✓				✓		✓	✓							✓		✓	✓	✓	۱۴
			✓			✓						✓	✓	✓	✓		✓		✓	✓	✓	۱۵
		✓	✓	✓		✓						✓				✓				✓	✓	۱۶
			✓													✓					✓	۱۷
						✓									✓	✓						۱۸
	✓																					۱۹

الف) تعیین «وزن» یا اهمیت هر کدام از عناصری که در لایه‌ها مطرح شده‌اند. برای این منظور، خبرگان اهمیت هر مورد را بین ۱ تا ۱۰ تعیین می‌نمایند. وزن هر عنصری که مرتبط با یک لایه بالاتر است، در وزن آن عنصر بالایی ضرب می‌شود تا وزن کلی به دست آید (اخروی، ۱۳۹۲). به‌عنوان مثال اگر «پیشران» ۱ دارای وزن ۸ باشد و «ویژگی» ۳ با وزن ۷ یکی از موارد مرتبط با «پیشران» ۱ باشد، وزن کلی «ویژگی» ۳ برابر است با ۵۶. نحوه این محاسبات در جداول بعدی، ملموس‌تر و دقیق‌تر بیان شده‌اند.

ب) تعیین «وضع» موجود هر کدام از عناوینی که در لایه‌ها مطرح شده‌اند. در اینجا، خبرگان با توجه به وضعیت موجود هر مورد، امتیازی بین ۱ تا ۱۰ را به آن‌ها اختصاص می‌دهند. با توجه به آنکه امتیاز وضع موجود هر مورد قرار است در وزن کلی آن ضرب شود، بنابراین، شکاف هر مورد از سطح مطلوب محاسبه می‌شود. این شکاف در واقع حاصل تفاضل امتیاز هر مورد از عدد ۱۰ (همان سطح مطلوب) است (ناظمی و همکاران، ۱۳۹۰؛ اخروی ۱۳۹۲). در مورد لایه فناوری‌ها، بجای «وضع موجود» از سطح آمادگی فناوری یا همان «TRL» استفاده شده است.

ج) آخرین داده‌ای که برای تهیه ماتریس موردنیاز است، میزان «توانمندی» سازمان برای بهبود وضع موجود هر مورد است. در این قسمت نیز، خبرگان نظرات خود را در طیف ۱۰ تایی ارائه نمودند. به عبارت دیگر، هرچه توانمندی سازمان برای بهبود وضع موجود یک مورد بیشتر باشد، امتیاز آن به عدد ۱۰ نزدیک‌تر است و هرچه این توانمندی کمتر باشد، امتیاز آن مورد به عدد ۱ نزدیک‌تر خواهد بود.

نظرات افراد راجع به سه پارامتر (وزن-وضع-توان) برای هر کدام از عناصر لایه‌ها در نرم‌افزار وارد گردید. طبق نظر اعضای کمیته اجرایی به هر کدام از صاحب‌نظران نیز وزنی اختصاص یافت. نظرات افراد در مورد عناصر لایه پیشران‌ها در جدول ۶ (که بخشی از نرم‌افزار است) نشان داده شده است.

جدول شماره ۶: ورود و تحلیل داده‌های صاحب‌نظران در لایه پیشران‌ها

اولویت شکاف موزون	شکاف موزون	ارزیابی پیشران‌ها با توجه به اظهارنظر خبرگان و اختصاص «وزن اعتبار» به هریک از اعضا													
		توان بهبود پیشران‌ها						وضع موجود پیشران‌ها			وزن پیشران‌ها			رتبه	
		رتبه توان	رتبه	۳	۲	۱	رتبه	۳	۲	۱	رتبه	۳	۲		۱
				۶	۷	۱۰		۶	۷	۱۰		۶	۷		۱۰
۱۶	۳۷.۹۱	۶	۸.۰۰	۸	۸	۸	۵.۴۳	۵	۵	۶	۸.۳۰	۸	۹	۸	۱ب
۱۳	۳۹.۸۶	۲	۸.۵۲	۱۰	۸	۸	۵.۷۰	۶	۵	۶	۹.۲۶	۱۰	۹	۹	۲ب
۶	۴۷.۰۰	۸	۷.۷۰	۸	۷	۸	۵.۱۷	۴	۵	۶	۹.۷۴	۹	۱۰	۱۰	۳ب
۱۱	۴۲.۵۸	۱۶	۷.۵۲	۹	۷	۷	۵.۶۱	۴	۵	۷	۹.۷۰	۱۰	۹	۱۰	۴ب
۲۰	۲۹.۱۸	۱۲	۷.۶۱	۷	۹	۷	۶.۳۹	۷	۵	۷	۸.۰۹	۱۰	۸	۷	۵ب
۵	۴۷.۸۲	۱۷	۷.۳۹	۹	۸	۶	۴.۶۱	۳	۴	۶	۸.۸۷	۸	۸	۱۰	۶ب
۹	۴۲.۸۴	۳	۸.۳۰	۸	۹	۸	۵.۵۲	۳	۷	۶	۹.۵۷	۱۰	۱۰	۹	۷ب
۲۳	۱۸.۲۰	۱	۸.۸۷	۹	۱۰	۸	۶.۰۹	۴	۸	۶	۴.۶۵	۸	۷	۱	۸ب
۱۹	۳۲.۶۷	۳	۸.۳۰	۸	۹	۸	۵.۸۳	۳	۸	۶	۷.۸۳	۸	۶	۹	۹ب
۱۲	۴۲.۲۴	۱۴	۷.۵۷	۸	۸	۷	۴.۹۱	۳	۵	۶	۸.۳۰	۸	۹	۸	۱۰ب
۱۰	۴۲.۶۰	۱۲	۷.۶۱	۷	۹	۷	۴.۸۷	۴	۴	۶	۸.۳۰	۷	۷	۱۰	۱۱ب
۳	۵۲.۱۷	۲۳	۵.۴۳	۶	۷	۴	۳.۴۸	۲	۴	۴	۸.۰۰	۸	۸	۸	۱۲ب
۱۷	۳۷.۶۷	۱۴	۷.۵۷	۴	۱۰	۸	۵.۳۹	۳	۸	۵	۸.۱۷	۷	۸	۹	۱۳ب
۴	۵۰.۰۲	۲۲	۵.۴۸	۵	۸	۴	۴.۳۰	۴	۵	۴	۸.۷۸	۷	۱۰	۹	۱۴ب
۲	۵۶.۱۴	۲۰	۶.۸۷	۷	۸	۶	۳.۴۸	۲	۴	۴	۸.۶۱	۷	۸	۱۰	۱۵ب
۸	۴۴.۰۱	۲۱	۶.۳۵	۵	۸	۶	۴.۷۸	۳	۶	۵	۸.۴۳	۸	۸	۹	۱۶ب
۱	۶۴.۶۹	۱۸	۷.۳۰	۷	۸	۷	۲.۰۴	۲	۵		۸.۱۳	۸	۷	۹	۱۷ب
۱۸	۳۵.۱۳	۸	۷.۷۰	۸	۷	۸	۵.۶۱	۵	۷	۵	۸.۰۰	۷	۶	۱۰	۱ک
۲۱	۲۴.۰۴	۵	۸.۱۳	۸	۷	۹	۶.۴۸	۵	۷	۷	۶.۸۳	۷	۵	۸	۲ک
۲۲	۲۰.۵۶	۷	۷.۹۶	۹	۷	۸	۶.۷۸	۵	۸	۷	۶.۳۹	۷	۵	۷	۳ک
۷	۴۵.۰۰	۱۹	۷.۰۰	۷	۷	۷	۵.۰۰	۵	۵	۵	۹.۰۰	۹	۹	۹	۴ک
۱۴	۳۸.۷۶	۱۰	۷.۶۵	۵	۸	۹	۵.۵۷	۵	۴	۷	۸.۷۴	۸	۹	۹	۵

پیشران‌های بازار

پیشران‌های کسب‌وکار

همان‌طور که در جدول ۶ مشاهده می‌شود، برای هر کدام از سه پارامتر سه نفر اظهارنظر نموده‌اند که

وزن هر کدام نیز مشخص شده است. به‌عنوان مثال وزن نظرات صاحب‌نظر ۱ برابر ۱۰ و وزن نظرات صاحب‌نظر دوم برابر با ۷ است. درنهایت وزن هر پیشران از میانگین وزنی نظرات افراد محاسبه شده است. به‌عنوان مثال، وزن پیشران اول از طریق رابطه زیر محاسبه شده است:

$$\frac{(8 \times 10) + (9 \times 7) + (8 \times 6)}{10 + 7 + 6} = 8,30$$

بنابراین امتیاز سایر موارد در وزن، وضع موجود و توان بهبود پیشران‌ها به همین شیوه محاسبه شده است.

در ستونی که با نام «رتبه توان» مشخص شده است، طبق امتیازی که هر پیشران در توان بهبود کسب نموده است، رتبه‌ای به آن اختصاص داده شده است؛ به‌این ترتیب که بیشترین امتیاز «توان بهبود» (پیشران شماره ۸) دارای رتبه ۱ و کمترین آن (پیشران شماره ۱۲) دارای رتبه ۲۲ شده است. از آنجا که امتیازات داده‌شده در هر سلول بر مبنای صفر تا ده است، بنابراین حاصل تفاضل «وضع موجود» از عدد ۱۰ برابر «شکاف» وضع موجود تا وضع مطلوب تعریف شده است. شاخصی که به‌عنوان «شکاف موزون» تعریف شده است، حاصل ضرب وزن هر عنصر در شکاف آن است؛ که نشانگر عددی است که هر چه این عدد برای عنصری بیشتر باشد، آن عنصر هم اهمیت بیشتری دارد و هم وضع موجودش نسبت به سایر عناصر نامطلوب‌تر است و لذا نیاز به تمرکز بیشتری داشته و در اولویت بالاتری قرار می‌گیرد. به‌عنوان مثال، شکاف موزون پیشران اول، به‌صورت زیر محاسبه شده است:

$$8,30 \times (10 - 5,43) = 37,9$$

همچنین رتبه‌بندی شکاف موزون نیز در ستون آخر انجام شده است. بالاترین اولویت مربوط به پیشران ۱۷ و پایین‌ترین اولویت مربوط به پیشران ۸ است.

در جدول ۷ نظرات افراد در مورد عناصر لایه قابلیت‌ها نشان داده شده است. اعداد «۱» که در وسط جدول استفاده شده‌اند نشان‌دهنده ارتباط قابلیت با پیشران می‌باشند (مانند جدول ۶) که جهت محاسبه شکاف موزون کلی از این اطلاعات استفاده شده است.

در این جدول نیز محاسبات مربوط به وزن، وضع، توان، شکاف موزون و رتبه توانمندی، مانند جدول قبل انجام شده است. در این جدول چند ستون نسبت به جدول قبل اضافه شده است. یک

ستون، پیشران‌های مرتبط است که خود آن شامل $22 = (5+17)$ ستون است و نشان‌دهنده ارتباط هر قابلیت با پیشران‌ها است و نحوه تکمیل آن قبلاً مطرح شد.

ستونی که با نام «شکاف موزون کلی» نشان داده شده است، بیانگر حاصل ضرب وزن پیشران‌های مرتبط با آن قابلیت در شکاف موزون خود قابلیت است. به‌عنوان مثال برای محاسبه شکاف موزون کلی قابلیت اول، از آنجاکه این قابلیت زمینه‌ساز پیشران‌های ۱ و ۲ و ۳ و ۴ و ۵ (بازار) و ۱ (کسب‌وکار) است، لذا شکاف موزون این قابلیت در میانگین شکاف موزون پیشران‌های مرتبط ضرب می‌شود و حاصل آن بیانگر شکاف موزون کلی قابلیت (۱۴۱۹,۴) است:

$$\begin{aligned} & \text{شکاف موزون قابلیت ۱: } 38,6 & \text{شکاف موزون پیشران ۱ (بازار): } 37,91 \\ & \text{شکاف موزون پیشران ۲ (بازار): } 39,86 & \text{شکاف موزون پیشران ۳ (بازار): } 47,00 \\ & \text{شکاف موزون پیشران ۴ (بازار): } 42,58 & \text{شکاف موزون پیشران ۵ (بازار): } 29,18 \\ & \text{شکاف موزون پیشران ۱ (سازمان): } 35,13 \end{aligned}$$

$$38,6 \times \frac{37,91 + 39,86 + 47,00 + 42,58 + 29,18 + 35,13}{5} = 1419,4$$

با استفاده از این رابطه، ارتباط بین لایه‌ها با یکدیگر به‌خوبی برقرار می‌شود و عناصر هر لایه اهمیت (شکاف موزون) خود را بر پیش‌نیازهایش نیز القا می‌نماید. به‌عبارت‌دیگر چنانچه مثلاً پیشرانی مهم باشد، قابلیت‌های موردنیاز آن هم دارای اهمیت خواهند بود؛ جدا از اینکه برای هر قابلیت یک اهمیت ذاتی نیز در نظر گرفته شده است. لذا این اهمیت ذاتی با اهمیت عنصر مرتبط لایه بالایی هم‌افزایی خواهند نمود تا آن قابلیت در اولویت قرار گیرد.

یکی دیگر از ستون‌هایی که در جدول ۷ وجود دارد، ستون مربوط به اولویت شکاف موزون است که دربردارنده رتبه‌بندی شکاف موزون کلی از بزرگ به کوچک است. به‌این‌ترتیب، قابلیت ۱۸ دارای بیشترین مقدار و قابلیت ۷ دارای کمترین مقدار شکاف موزون کلی است. دو ستون هم در آخر جدول اضافه شده است که نشان‌دهنده هم‌نیازها و یا پیش‌نیازهای هر قابلیت است. درواقع با استفاده از این دو ستون، از چندلایه شدن نقشه راه و پیچیدگی بیش‌ازحد آن کاسته شده است. به‌عنوان مثال قابلیت ۱۰ پیش‌نیاز قابلیت ۱۲، ۱۵ و ۱۶ تشخیص داده شده است. ماتریس‌های تحلیلی برای لایه قابلیت‌ها

و فناوری‌ها نیز به لحاظ شکل کلی و نحوه محاسبات با جدول قبل یکسان است؛ اما نکته قابل توجه در این دو مورد آن است که برای محاسبه شکاف موزون کلی هر ویژگی دیگر از میانگین «شکاف موزون» قابلیت‌ها استفاده نمی‌شود، بلکه میانگین «شکاف موزون کلی» آن‌ها در محاسبات لحاظ می‌گردد.

جدول شماره ۷: ورود و تحلیل داده‌های صاحب‌نظران در لایه قابلیت‌ها

ردیف	وزن قابلیت‌ها	وضع موجود قابلیت‌ها			توان بهبود قابلیت‌ها			پیشران‌های مرتبط															شکاف موزون کلی	رتبه توانمندی	اولویت شکاف موزون	هم‌بازها	پیش‌بازها				
		۱	۲	۳	۱	۲	۳	بازار																							
								کسب و کار																							
								۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵						۱۶	۱۷		
۱	۸۰۰	۸۰۰	۸۰۰	۸۰۰	۸۰۰	۸۰۰	۷۳۵	۶۹۷	۵۱۷	۱۹۵	۱۱۱	۱۱۱	۱۱۱	۱۱۱	۱۱۱	۱۱۱	۱۱۱	۱۱۱	۱۱۱	۱۱۱	۱۱۱	۱۱۱	۱۱۱	۱۱۱	۱۱۱	۱۱۱	۲۸۶	۱۴۹۴	۱۱	۱۷	۴
۲	۷۷۰	۷۷۰	۷۷۰	۷۷۰	۷۷۰	۷۷۰	۷۵۷	۸۰۸	۴۵۷	۱۷۵	۱۱۱	۱۱۱	۱۱۱	۱۱۱	۱۱۱	۱۱۱	۱۱۱	۱۱۱	۱۱۱	۱۱۱	۱۱۱	۱۱۱	۱۱۱	۱۱۱	۱۱۱	۱۱۱	۴۵۱	۱۶۴۴	۸	۱۰	۹
۳	۹۰۰	۹۰۰	۹۰۰	۹۰۰	۹۰۰	۹۰۰	۸۳۰	۸۰۸	۶۰۰	۲۸۷	۱۱۱	۱۱۱	۱۱۱	۱۱۱	۱۱۱	۱۱۱	۱۱۱	۱۱۱	۱۱۱	۱۱۱	۱۱۱	۱۱۱	۱۱۱	۱۱۱	۱۱۱	۱۱۱	۳۹۰	۱۴۲۴	۴	۱۶	
۴	۸۷۴	۸۷۴	۸۷۴	۸۷۴	۸۷۴	۸۷۴	۸۵۷	۹۰۸	۵۴۳	۲۹۶	۱۱۱	۱۱۱	۱۱۱	۱۱۱	۱۱۱	۱۱۱	۱۱۱	۱۱۱	۱۱۱	۱۱۱	۱۱۱	۱۱۱	۱۱۱	۱۱۱	۱۱۱	۱۱۱	۳۹۹	۱۹۶۲	۲	۲	۱
۵	۸۰۰	۸۰۰	۸۰۰	۸۰۰	۸۰۰	۸۰۰	۶۵۷	۸۰۸	۴۵۲	۴۹۴	۱۱۱	۱۱۱	۱۱۱	۱۱۱	۱۱۱	۱۱۱	۱۱۱	۱۱۱	۱۱۱	۱۱۱	۱۱۱	۱۱۱	۱۱۱	۱۱۱	۱۱۱	۱۱۱	۲۵۸	۱۴۵۶	۱۴		
۶	۷۷۴	۷۷۴	۷۷۴	۷۷۴	۷۷۴	۷۷۴	۶۳۰	۷۰۸	۴۲۶	۳۹۴	۱۱۱	۱۱۱	۱۱۱	۱۱۱	۱۱۱	۱۱۱	۱۱۱	۱۱۱	۱۱۱	۱۱۱	۱۱۱	۱۱۱	۱۱۱	۱۱۱	۱۱۱	۱۱۱	۳۶۷	۱۴۳۳	۱۷	۱۵	
۷	۷۷۷	۷۷۷	۷۷۷	۷۷۷	۷۷۷	۷۷۷	۶۰۴	۶۹۸	۵۰۴	۵۸۳	۱۱۱	۱۱۱	۱۱۱	۱۱۱	۱۱۱	۱۱۱	۱۱۱	۱۱۱	۱۱۱	۱۱۱	۱۱۱	۱۱۱	۱۱۱	۱۱۱	۱۱۱	۱۱۱	۲۴۷	۱۶۱۷	۱۹	۱۱	
۸	۹۰۰	۹۰۰	۹۰۰	۹۰۰	۹۰۰	۹۰۰	۷۷۰	۹۰۸	۴۴۳	۱۸۴	۱۱۱	۱۱۱	۱۱۱	۱۱۱	۱۱۱	۱۱۱	۱۱۱	۱۱۱	۱۱۱	۱۱۱	۱۱۱	۱۱۱	۱۱۱	۱۱۱	۱۱۱	۱۱۱	۴۶۰	۱۷۸۳	۷	۵	
۹	۹۰۰	۹۰۰	۹۰۰	۹۰۰	۹۰۰	۹۰۰	۷۱۷	۷۰۸	۵۷۴	۶۸۴	۱۱۱	۱۱۱	۱۱۱	۱۱۱	۱۱۱	۱۱۱	۱۱۱	۱۱۱	۱۱۱	۱۱۱	۱۱۱	۱۱۱	۱۱۱	۱۱۱	۱۱۱	۱۱۱	۳۷۸	۱۴۹۸۷	۱۲	۱۳	۷
۱۰	۷۲۰	۷۲۰	۷۲۰	۷۲۰	۷۲۰	۷۲۰	۶۱۷	۶۰۸	۵۷۴	۶۸۴	۱۱۱	۱۱۱	۱۱۱	۱۱۱	۱۱۱	۱۱۱	۱۱۱	۱۱۱	۱۱۱	۱۱۱	۱۱۱	۱۱۱	۱۱۱	۱۱۱	۱۱۱	۱۱۱	۲۱۰	۱۱۴۲۷	۱۸	۱۸	۶
۱۱	۸۰۰	۸۰۰	۸۰۰	۸۰۰	۸۰۰	۸۰۰	۸۰۰	۸۰۸	۴۸۳	۲۷۵	۱۱۱	۱۱۱	۱۱۱	۱۱۱	۱۱۱	۱۱۱	۱۱۱	۱۱۱	۱۱۱	۱۱۱	۱۱۱	۱۱۱	۱۱۱	۱۱۱	۱۱۱	۱۱۱	۴۳۶	۱۷۱۶۹	۵	۷	۹
۱۲	۷۸۰	۷۸۰	۷۸۰	۷۸۰	۷۸۰	۷۸۰	۶۷۴	۷۰۸	۴۷۰	۲۸۴	۱۱۱	۱۱۱	۱۱۱	۱۱۱	۱۱۱	۱۱۱	۱۱۱	۱۱۱	۱۱۱	۱۱۱	۱۱۱	۱۱۱	۱۱۱	۱۱۱	۱۱۱	۱۱۱	۴۵۷	۱۸۷۱	۱۳	۳	۱۰
۱۳	۷۷۷	۷۷۷	۷۷۷	۷۷۷	۷۷۷	۷۷۷	۷۷۴	۷۸۸	۷۰۰	۷۷۷	۱۱۱	۱۱۱	۱۱۱	۱۱۱	۱۱۱	۱۱۱	۱۱۱	۱۱۱	۱۱۱	۱۱۱	۱۱۱	۱۱۱	۱۱۱	۱۱۱	۱۱۱	۱۱۱	۲۳۶	۹۶۴۰	۶	۱۹	
۱۴	۹۰۰	۹۰۰	۹۰۰	۹۰۰	۹۰۰	۹۰۰	۶۵۲	۸۰۸	۳۷۰	۱۷۳	۱۱۱	۱۱۱	۱۱۱	۱۱۱	۱۱۱	۱۱۱	۱۱۱	۱۱۱	۱۱۱	۱۱۱	۱۱۱	۱۱۱	۱۱۱	۱۱۱	۱۱۱	۱۱۱	۴۳۶	۱۷۶۵۰	۱۶	۶	۵
۱۵	۹۰۰	۹۰۰	۹۰۰	۹۰۰	۹۰۰	۹۰۰	۸۳۹	۹۰۸	۵۲۲	۴۸۴	۱۱۱	۱۱۱	۱۱۱	۱۱۱	۱۱۱	۱۱۱	۱۱۱	۱۱۱	۱۱۱	۱۱۱	۱۱۱	۱۱۱	۱۱۱	۱۱۱	۱۱۱	۱۱۱	۴۶۴	۱۶۵۹۹	۳	۹	۱۰
۱۶	۸۰۰	۸۰۰	۸۰۰	۸۰۰	۸۰۰	۸۰۰	۷۴۳	۸۰۸	۴۹۶	۳۸۴	۱۱۱	۱۱۱	۱۱۱	۱۱۱	۱۱۱	۱۱۱	۱۱۱	۱۱۱	۱۱۱	۱۱۱	۱۱۱	۱۱۱	۱۱۱	۱۱۱	۱۱۱	۱۱۱	۴۵۶	۱۷۱۴۲	۱۰	۸	۱۰
۱۷	۹۰۰	۹۰۰	۹۰۰	۹۰۰	۹۰۰	۹۰۰	۶۵۷	۸۰۸	۴۵۷	۲۹۳	۱۱۱	۱۱۱	۱۱۱	۱۱۱	۱۱۱	۱۱۱	۱۱۱	۱۱۱	۱۱۱	۱۱۱	۱۱۱	۱۱۱	۱۱۱	۱۱۱	۱۱۱	۱۱۱	۴۸۹	۱۸۲۱۵	۱۴	۴	۲
۱۸	۸۰۰	۸۰۰	۸۰۰	۸۰۰	۸۰۰	۸۰۰	۸۶۱	۸۰۸	۴۳۰	۱۹۳	۱۱۱	۱۱۱	۱۱۱	۱۱۱	۱۱۱	۱۱۱	۱۱۱	۱۱۱	۱۱۱	۱۱۱	۱۱۱	۱۱۱	۱۱۱	۱۱۱	۱۱۱	۱۱۱	۴۴۸	۲۰۱۱۹	۱	۱	۷
۱۹	۸۰۰	۸۰۰	۸۰۰	۸۰۰	۸۰۰	۸۰۰	۷۴۸	۸۰۸	۵۷۸	۴۷۶	۱۱۱	۱۱۱	۱۱۱	۱۱۱	۱۱۱	۱۱۱	۱۱۱	۱۱۱	۱۱۱	۱۱۱	۱۱۱	۱۱۱	۱۱۱	۱۱۱	۱۱۱	۱۱۱	۲۵۶	۱۶۰۰۸	۹	۱۲	

با توجه به تعاریفی که در بخش‌های قبل از طبقه‌بندی رنگی فناوری‌ها (قرمز-زرد-سبز) بیان شد، در جدول مربوط به عناصر لایه فناوری، طبقه‌بندی رنگی فناوری‌ها نیز انجام شده است که در یک ستون اضافه شده است. با استفاده از داده‌ها و نیز تحلیل‌های صورت گرفته در جداول بخش قبل، دو نوع نمودار کلی برای هر لایه ترسیم شده است.

نوع اول، نمودار «شکاف موزون-توانمندی» که محور افقی بیانگر توانمندی برای بهبود وضع موجود در هر عنصر است و محور عمودی نشان‌دهنده میزان شکاف موزون کلی است. به عبارت دیگر، با استفاده از این نمودار، عناصری در اولویت قرار می‌گیرند که هم شکاف موزون بالایی داشته باشند و هم سازمان برای بهبود یا تحقق آن عناصر، زیرساخت‌ها و توانمندی لازم را داشته باشد. نمای کلی این نمودار در شکل ۷ نشان داده شده است. این ماتریس، از ماتریس توانمندی-جذابیت برگرفته شده که در تحقیقات مختلفی -بیشتر در حوزه سیاست‌گذاری و مدیریت فناوری- از آن استفاده شده است. درباره مناطق چهارگانه ماتریس شکاف موزون-توانمندی، می‌توان موارد زیر را مطرح نمود:

شکاف موزون	زیاد	۱	۲
	کم	۳	۴
		توانمندی	

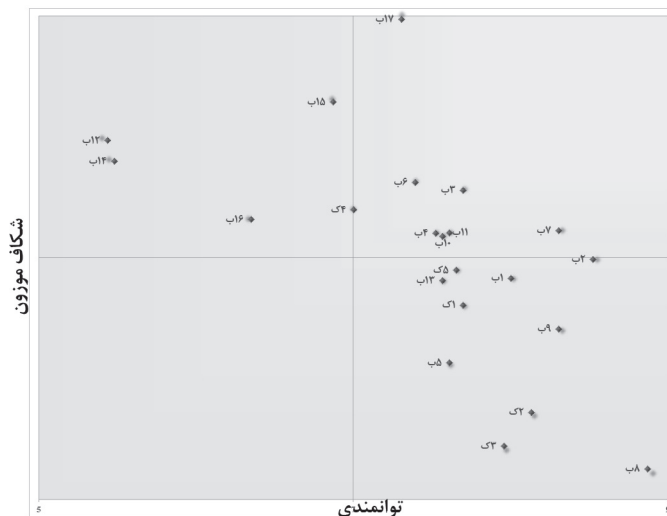
شکل شماره ۷: ماتریس شکاف موزون-توانمندی و نواحی چهارگانه آن

منطقه اول: عناصر موجود در این منطقه، اولاً از اهمیت بالایی برخوردارند؛ ثانیاً شکاف آن تا سطح مطلوب زیاد است. ثالثاً صنعت از توانمندی خوبی برای بهبود آن برخوردار است و زیرساخت‌های لازم مهیاست؛ بنابراین این عناصر در اولویت قرار دارند.

منطقه دوم: شکاف موزون عناصر بالاست اما صنعت باید توانمندی خود را برای بهبود این مسائل ارتقا بخشد و زیرساخت‌های لازم را مهیا نماید.

منطقه سوم: هرچند سازمان توانمندی خوبی برای بهبود عناصر این بخش دارد اما آن‌ها به اندازه ناحیه ۱ و ۲ نیاز به تمرکز و بهبود ندارند؛ چراکه شکاف موزون کمتری نسبت به آن‌ها دارند؛ یعنی یا اهمیت مسئله خیلی کم است یا وضع موجود آن خوب و یا این‌که هر دو مورد وجود دارد.

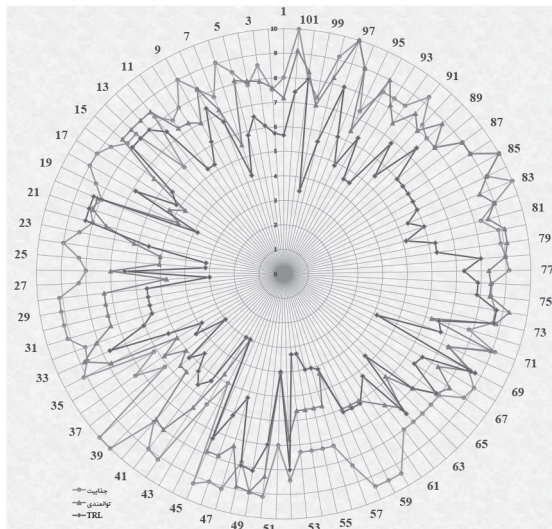
منطقه چهارم: چنان‌چه مسئله‌ای در این ناحیه قرار گیرد به آن معناست که از یک‌سو بهبود آن چندان ضرورت نداشته؛ از سوی دیگر نیز زیرساخت و توانمندی کافی برای بهبود آن وجود ندارد.



شکل شماره ۸: ماتریس شکاف موزون-توانمندی مربوط به عناصر لایه «پیشران‌ها»

نوع دوم، نمودار راداری است که نشان‌دهنده مقدار به دست آمده سه پارامتر برای هر عنصر است. این سه پارامتر عبارت‌اند از: جذابیت، توانمندی و وضع موجود. البته در مورد نمودار راداری در لایه فناوری‌ها، وضع موجود به TRL تبدیل شده است.

نمودار شکاف موزون-توانمندی و نیز نمودار راداری به ازای هر کدام از لایه‌ها به دست آمد که در اشکال ۹ و ۸ فقط به‌عنوان نمونه، نمودارهای لایه اول (پیشران‌ها) و لایه آخر (فناوری‌ها) ترسیم شده است.



شکل شماره ۹: نمودار راداری مربوط به عناصر لایه «فناوری‌ها»

در مواردی که TRL یک فناوری از توانمندی صنعت مورد مطالعه در آن فناوری بیشتر باشد، یعنی، صنعت به راحتی می‌تواند با استفاده از تجربیات سایرین، خلأ خود را در این بخش کامل کند و نیاز به کار بنیادی در خصوص آن فناوری ندارد؛ و بالعکس.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

هرچند در تحقیقات مختلفی به ادبیات و انواع نقشه راه فناوری و روش‌های مختلف تدوین آن اشاره شده است (کارلوس و همکاران^۱، ۲۰۱۸؛ شهریاری و همکاران، ۱۳۸۹) و یا خروجی نهایی نقشه راه فناوری در یک حوزه خاص ارائه شده است (سوراو و همکاران، ۲۰۱۸؛ اسمیرنوا و همکاران^۲، ۲۰۱۸؛ ریچاردسون و همکاران^۳، ۲۰۱۷؛ علائی، ۱۳۹۵) و یا فقط به ضرورت تدوین نقشه راه فناوری در حوزه پرداخته شده است (عرب‌زوزنی و همکاران، ۱۳۹۶)، اما یکی از جنبه‌های نوآوری این تحقیق، اشاره هم‌زمان به ارائه و نحوه به‌کارگیری یک روش بومی از مجموع منابع مرتبط و ذکر دقیق مراحل اجرایی تدوین آن برای استفاده مخاطبین علاقه‌مند در این حوزه و طراحی نرم‌افزاری برای این موضوع است.

1 . Carlos et al.
2 . Smirnova et al.
3 . Richardson et al.

هرچند که به‌اختصار به برخی از خروجی‌های نقشه راه نیز اشاره شده است. برای ترسیم خروجی نهایی نقشه راه، زمان‌بندی هر کدام از فناوری‌ها نیز از تجمیع نظرات خبرگان، اسناد بالادستی و سیاست‌گذاری‌های کلان موجود، با رعایت تقدم و تأخر و نیز زمان پیش‌بینی شده برای دستیابی به هر یک از فناوری‌ها به دست آمد. با توجه به ماتریس شکاف موزون-توانمندی، فناوری‌هایی که در ناحیه اول مختصات قرار بگیرند، از اولویت بالاتری برخوردارند. زمان‌بندی‌های صورت گرفته نیز با توجه به این ماتریس و همچنین، توانمندی‌های سازمان، شتاب فناوری در کشور و تعیین حدود زمانی که رسیدن به یک فناوری نیاز دارد، انجام شده است.

درواقع در ترسیم نقشه راه فناوری موارد زیر لحاظ شده است:

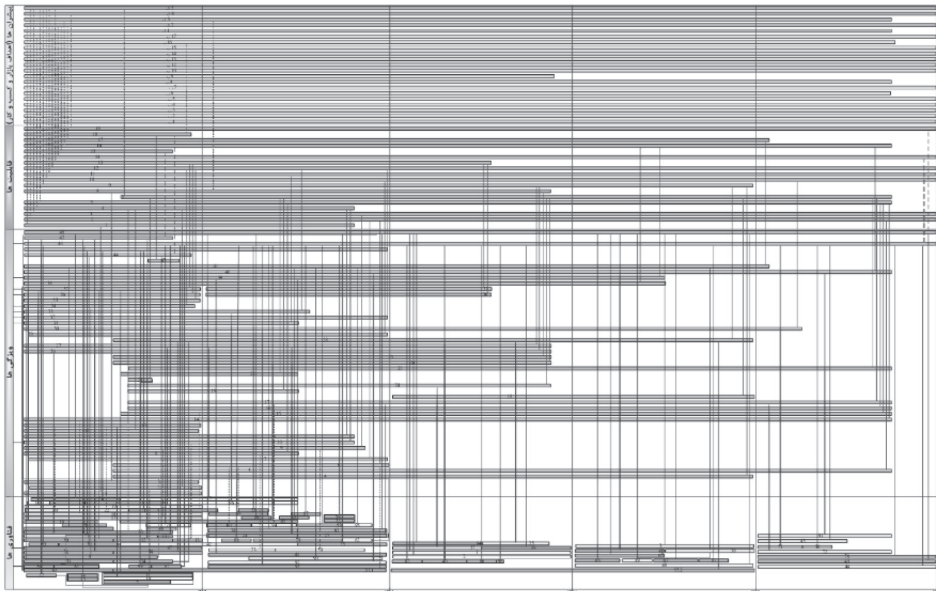
۱. اولویت عناصر موجود در هر لایه با توجه به ماتریس جذابیت-توانمندی (شکل ۷ و ۸)
۲. توجه و رعایت پیش‌نیازی در مورد رسیدن به فناوری‌ها (مثلاً شاید فناوری ۱۳ از ۱۴ اولویت بالاتری داشته باشد، اما از لحاظ فنی، فناوری ۱۴ پیش‌نیاز فناوری ۱۳ باشد)
۳. زمان موردنیاز برای ساخت یا تکمیل هر فناوری با توجه به توانمندی و سطح TRL (با کمک شکل ۹) که در روی محور افقی مشخص می‌شود و در لایه منابع نیز مشخص می‌شود که با توجه به سطح فناوری (قرمز، زرد یا سبز) شرکت با چه منابعی برای تأمین آن موردنیاز خواهد بود.

با توجه به نظر خبرگان راجع به دوره زمانی نقشه راه، دوره میان‌مدت ۱۰ ساله برای آن در نظر گرفته شد که دستیابی به فناوری‌ها، ویژگی‌ها، قابلیت‌ها و پیشران‌ها در این مدت برنامه‌ریزی شده‌اند. تعداد عناصر هر کدام از لایه‌ها نیز، به شرح زیر است: الف) لایه پیشران‌ها: شامل ۱۷ مورد اهداف بازار و ۵ مورد اهداف کسب‌وکار؛ ب) لایه قابلیت‌ها: شامل ۱۹ مورد قابلیت از قابلیت‌های محصول؛ ج) لایه ویژگی‌ها: شامل ۴۸ مورد از ویژگی‌های محصول؛ د) لایه فناوری‌ها: شامل ۱۰۰ مورد از فناوری‌های موردنیاز در محصولات

شکل ۱۰ و جدول شماره ۸، شمای کلی نقشه راه فناوری سامانه پیشرفته را در بازه ۱۰ ساله و در ۴ لایه نشان می‌دهد. با عنایت به ضرورت رعایت طبقه‌بندی اطلاعات تنها به شماره هر عنصر اکتفا شده است. درواقع زمانی که در هر بخش از مقاله مثلاً فناوری شماره ۲۵ ذکر شده است، از ابتدا تا انتها تمامی محاسبات و تحلیل‌هایی که صورت گرفته به همین نام بوده و درنهایت هم در خروجی نقشه راه، فناوری شماره ۲۵ بیانگر همان موردی است که در سایر جداول و نمودارهای قبلی محاسبات آن

نشان داده شده است. هر چند اعداد موجود در تصویر (شکل ۱۰) و نیز ارتباطات بین عناصر در این نقشه به وضوح مشخص نیست، اما هدف از آوردن این تصویر، تنها نمایش شمای کلی خروجی در نقشه راه فناوری مورد مطالعه است.

شکل شماره ۱۰: شمای کلی نقشه راه ۱۰ ساله (محور افقی) فناوری های یک سامانه پیشرفته در ۴ لایه (محور عمودی)



با توجه به نقشه، میزان دستیابی به هر کدام از عناصر لایه های این نقشه در هر سال، در جدول ۸ بیان شده است. با تغییر شرایط، خبرگان، ضرورت بازنگری و بروز رسانی این نقشه راه را مطرح نمودند؛ که این امر توسط سایر محققین در تحقیقات مشابه نیز مورد تأکید قرار گرفته است.

جدول شماره ۸: میزان دستیابی به هر کدام از عناصر لایه‌های نقشه راه

جمع کل	میزان تحقق عناصر موجود در لایه‌های نقشه راه تا ابتدای سال										سال‌ها لایه‌ها
	۱۴۰۷	۱۴۰۶	۱۴۰۵	۱۴۰۴	۱۴۰۳	۱۴۰۲	۱۴۰۱	۱۴۰۰	۱۳۹۹	۱۳۹۸	
۱۰۰	۵	۳	۶	۴	۶	۴	۱۷	۱۴	۲۲	۱۹	فناوری‌ها
۴۹	۱۰	۰	۶	۰	۷	۰	۱۳	۰	۱۳	۰	ویژگی‌ها
۱۸	۱۱	۰	۱	۰	۲	۰	۲	۰	۲	۰	قابلیت‌ها
۲۱	۲۰	۰	۰	۰	۱	۰	۰	۰	۰	۰	پیشران‌ها

با توجه به نتایج و دستاوردهای تحقیق، پیشنهادهای راهبردی زیر ارائه می‌گردد:

۱. از آنجاکه تراکم فناوری‌ها در سال‌های ابتدایی افق زمانی نقشه راه بیشتر است (که البته به علت وجود ابهام در افق‌های بلندمدت این امری طبیعی است) لذا پیشنهاد می‌گردد، نقشه راه فعلی حداقل هر دو سال یکبار مورد بازنگری و تجدیدنظر قرار بگیرد. همچنین چنانچه راهبردها و سیاست کشور بنا به هر دلیل دستخوش تغییراتی شود که در مسیر فعلی تدوین شده برای فناوری‌های این سامانه پیشرفته اثرگذار باشد، مسلماً تجدیدنظر در این نقشه راه اجتناب‌ناپذیر خواهد بود.

۲. با توجه به آنکه طبق ادبیات نقشه راه، در پایین‌ترین لایه می‌توان منابع مختلف مورد نیاز برای دستیابی به فناوری‌ها را نیز تعیین نمود، لذا پیشنهاد می‌گردد یک لایه دیگر به این نقشه اضافه شده که در آن منابع مالی، انسانی، زیرساختی و ... برای دستیابی به هر یک از فناوری‌ها در آن مشخص شود و ارتباط آن با لایه فناوری‌ها برقرار گردد. هر چند اجرای این امر زمان‌بر است، اما برای ورود به فاز اجرایی، طی چنین گامی ضروری است.

۳. از آنجاکه دسترسی به برخی از فناوری‌ها، منوط به تحقق برنامه سایر سازمان‌ها به‌عنوان پیش‌نیاز دستیابی به آن فناوری خاص است، لذا لازم است تعامل نزدیک‌تر با سازمان‌های هدف برقرار نموده و یک نقشه راه جامع برای کلیه سازمان‌های مرتبط تدوین گردد تا زمان‌بندی آن‌ها با یکدیگر همخوانی داشته باشد.

۴. از آنجاکه مرزهای تدوین نقشه راه در هر حوزه، امری نسبی است، لذا در تحقیقات آتی می‌توان برای هر کدام از فناوری‌ها نیز به‌تنهایی یک نقشه راه تدوین نمود که زمان‌بندی‌های آن با الهام از زمان‌های ارائه شده در نقشه راه کلان در نظر گرفته شود.

منابع

- اخروی، امیرحسین، (۱۳۹۲). «راهکاری برای اولویت‌بندی واقع بینانه و کاربردی مسائل مختلف: تلفیق IPA-G-FGAHP و ماتریس جذابیت-توانمندی»؛ مجله تحقیق در عملیات در کاربردهای آن، سال ۱۰، شماره ۴، صص ۸۵-۹۶
- اسناد پشتیبان و پرسشنامه‌های مورد استفاده در پروژه تدوین نقشه راه فناوری‌های سامانه دفاعی، صنعت مورد مطالعه، ۱۳۹۱
- امینی، علی. بنیادی نایینی، علی. محمدی، مهدی؛ و احدزاده نمین، مهناز. (۱۳۹۵). ارزیابی عملکرد مدیریت فناوری و نوآوری در دو مرحله توانمند سازها و نتایج با استفاده از تحلیل پوششی داده‌ها. فصلنامه مدیریت توسعه فناوری، دوره ۴، شماره ۲، صص ۳۳-۶۸. doi: ۱۰.۲۲۱۰۴/jtdm.۲۰۱۷.۲۱۲۰.۱۷۳۷
- پایا، علی (۱۳۸۹)، «نقد و بررسی نقشه جامع علمی کشور»، فصلنامه توسعه تکنولوژی صنعتی، شماره ۱۴، صص ۲۱-۵
- پورمحمد، آیلر؛ پیمان خواه صادق؛ صدقی، نفیسه؛ غفارزادگان، مهشید و نیلفروشان، هادی (۱۳۸۹)، ترسیم نقشه راه تکنولوژی، تهران، انتشارات پژوهشگاه صنعت نفت، چاپ اول
- توکلی، امیر (۱۳۸۹)، الگوریتم تدوین نقشه راه فناوری برای محصولات نوظهور، شرکت مهندسی هوافضاها، صص ۱-۱۲
- حسینی نسب، سیدمحمد رضا؛ جوادی، حسن و ارباب شیرانی، بهروز (۱۳۸۹)، «مرور و مقایسه برخی کاربردهای نقشه راه فناوری»، فصلنامه توسعه تکنولوژی صنعتی، شماره ۱۶، صص ۳۱-۳۷
- سند دستورالعمل تهیه و تدوین نقشه راه، مؤسسه آموزشی و تحقیقاتی صنایع دفاعی، صص ۸-۳۶
- شهریاری، محسن؛ احمدی، آناهیتا؛ جوادی، حسن و ارباب شیرانی، بهروز، (۱۳۸۹)، مقایسه الگوهای مختلف تدوین نقشه راه فناوری، چهارمین کنفرانس مدیریت تکنولوژی، تهران، انجمن مدیریت تکنولوژی ایران
- عرب‌زوزنی مرتضی، موسوی نژاد مریم، بحرینی رونا. (۱۳۹۶)، ضرورت تهیه نقشه راه فناوری برای نظام سلامت ایران: یک مطالعه مروری روایی. مجله پژوهش سلامت؛ دوره ۲، شماره ۳، صص ۲۰۷-۲۱۵.
- علائی، مهسا (۱۳۹۵)، سند راهبردی و نقشه راه توسعه فناوری ربات‌های صنعت برق، طرح پژوهشی وزارت نیرو، پژوهشگاه نیرو
- فولادی، قاسم (۱۳۹۰)، ارزیابی و استفاده از سطوح آمادگی فناوری، انتشارات مؤسسه آموزشی و تحقیقاتی صنایع دفاعی، مرکز آینده‌پژوهی علوم و فناوری‌های دفاعی
- کریمی مجتبی (۱۳۹۲)، نقشه راه فناوری حوزه بالادستی نفت و گاز در کشورهای پیشرو (مطالعه موردی: نروژ-ژاپن). ماهنامه علمی- ترویجی اکتشاف و تولید نفت و گاز، شماره ۱۰۴، صص ۹-۱۴.

- کیانی فلاورجانی، فرهاد؛ (۱۳۹۲)، نقشه راه تکنولوژی، روشی برای آینده‌پژوهی و دید فناوری در تولید فناوری‌های نوین دفاعی در حوزه پدافند غیرعامل، ششمین کنگره انجمن ژئوپلتیک ایران - پدافند غیرعامل، مشهد
- کوستوف، رونالد (۱۳۸۶)، «مسیرنامه‌های علم و فناوری»، ترجمه: محمدرضا میرزا امینی و حمید علی‌اکبر زاده، رشد فناوری، سال سوم، شماره ۱۰، صص ۴۰-۵۱
- محبی، آزاده، و امیر حیدری. (۱۳۹۴). نگاشت نقشه راه فناوری اطلاعات: رویکردی برای هم‌راستایی راهبردهای فناوری اطلاعات با راهبردهای کسب‌وکار. فصلنامه مدیریت اطلاعات، دوره ۱، شماره ۱ و ۲؛ صص ۳۷-۱۵.
- ناظمی، شمس‌الدین؛ کاظمی، مصطفی و اخروی، امیرحسین. (۱۳۹۰). «ارائه مدل تلفیق شکاف عملکردی با AHP گروهی-فازی برای تعیین اولویت‌های بهبود»، مجله مدل‌سازی در مهندسی، سال ۹، شماره ۲۷، صص ۱۳-۱.
- نقی‌زاده، محمد؛ ابراهیمی، بتول؛ و پاک‌سرشت، سعید (۱۳۹۵)، ارزیابی ریسک‌های توسعه فناوری در لایه‌های مختلف نقشه راه فناوری (مورد مطالعه: مته‌های حفاری)، مدیریت توسعه فناوری، دوره ۴، شماره ۲ صص ۱۵۱-۱۷۵
- Abbasi, M., Vassilopoulou, P., & Stergioulas, L. (2017). Technology roadmap for the creative industries. *Creative Industries Journal*, 10(1), 40-58.
- Arianto, B. G., & Surendro, K. (2017). Implementation of building process integration of business model canvas and technology roadmap for strategic management: Case study: PT. XYZ. Paper presented at the *Information Technology Systems and Innovation (ICITSI), 2017 International Conference on*.
- Boecker, M. (2015). Enhancing the effectiveness and efficiency of control room operators—A roadmap-based approach for selecting interaction technologies for defence and safety-critical organisations and industries. *Procedia Manufacturing*, 3, 769-776
- Carlos, R., Amaral, D. C., & Caetano, M. (2018). Framework for continuous agile technology roadmap updating. *Innovation & Management Review*, 15(3), 321-336.
- Cho, Y., Yoon, S.-P., & Kim, K.-S. (2016). An industrial technology roadmap for supporting public R&D planning. *Technological Forecasting and Social Change*, 107, 1-12.
- Dastranj, N., Ghazinoory, S., & Gholami, A. A. (2018). Technology roadmap for social banking. *Journal of Science and Technology Policy Management*, 9(1), 102-122.

- Ghazinoory, S., Dastranj, N., Saghafi, F., Kulshreshtha, A., & Hasanzadeh, A. (2017). Technology roadmapping architecture based on technological learning: Case study of social banking in Iran. *Technological Forecasting and Social Change*, 122, 231-242.
- Greitemann, J., Hehl, M., Wagner, D., & Reinhart, G. (2016). Scenario and roadmap-based approach for the analysis of prospective production technology needs. *Production Engineering*, 10(3), 337-343.
- Lee, H., & Geum, Y. (2017). Development of the scenario-based technology roadmap considering layer heterogeneity: An approach using CIA and AHP. *Technological Forecasting and Social Change*, 117, 12-24.
- Lu, H., & You, H. (2018). Roadmap Modeling and Assessment Approach for Defense Technology System of Systems. *Applied Sciences*, 8(6), 806-908.
- Moehrle, M. G., Isenmann, R., & Phaal, R. (2013). *Technology Roadmapping for Strategy and Innovation. Charting the Route to Success*. Berlin et al.: Springer.
- Richardson, C., Tsuriya, M., & Fu, H. (2017). Technology roadmap overviews and future direction through technology gaps. Paper presented at the *Electronics Packaging (ICEP), 2017 International Conference* on.
- Smirnova, K., Golkar, A., & Vingerhoeds, R. (2018). A game-theoretic framework for concurrent technology roadmap planning using best-response techniques. Paper presented at the *Systems Conference (SysCon), 2018 Annual IEEE International*.
- Sourav, K., Daim, T., & Herstatt, C. (2018). Technology Roadmap for the Single-Aisle Program of a Major Aircraft Industry Company. *IEEE Engineering Management Review*, 46(2), 103-120.