Industrial Management Perspective

Print ISSN: 2251-9874, Online ISSN: 2645-4165
Volume 11, Serial Number 41, Spring 2021, Pages 211-245 (Original Article)
DOI: 10.52547/JIMP.11.1.211

Integration of MDM and Fuzzy Inference System in Designing, Creating, and Developing TRM for Systems

Seyed Mohammad Sajadiyan[*], Reza Hosnavi[**], Morteza Abbasi[***], Mehdi Karbasian[****], Mohammad Hossein Karimi Gavareshki [*****]

Abstract

Roadmap and especially technology roadmap is a management tool and technique to achieve future goals in order to link business to technology. With the increasing trend and the need to use different types of roadmaps, new tools are needed to analyze the complex relationships between layers and roadmap elements. The purpose of this study is to focus on a new tool for analyzing the relationships between roadmap layers with a combined method with a proposed framework. Previous research has addressed relationships between layers only with tools such as quality function deployment (QFD) and the linking grid. Although DSM and TRM have been extensively studied independently so far, this study, therefore, proposes an integrated six-step framework combining a multi-domain matrix and design structure matrix and fuzzy set theory in designing, creating, and developing technology roadmaps for Suggest systems to support decision making and case studies. In this study, multi-domain MDM matrix and fuzzy inference, and network theory were used in designing the technology roadmap. The advantage of using a multi-domain matrix is the simultaneous analysis of each domain specifically in the DSM format as well as the entire domain in the MDM format. The results of the present study indicate the provision of detailed instructions for managers to prepare a suitable roadmap.

Keywords: Technology Roadmap; Design Structure Matrix; Relationship and Dependency Analysis; Multi-Domain Matrix; Fuzzy Inference.

Received: Nov. 01, 2020; Accepted: May. 01, 2021.
* Ph.D student, Malek Ashtar University of Technology.
** Professor, Malek Ashtar University of Technology (Corresponding Author).
Email: hosnavi@mut.ac.irr
*** Assistant Professor, Malek Ashtar University of Technology.
**** Associate Professor, Malek Ashtar University of Technology.
***** Assistant Professor, Malek Ashtar University of Technology.

چشم‌انداز مدیریت صنعتی

شاپای چاپی: ۹۸۷۴-۲۲۵۱، شاپای الکترونیکی: ۴۱۶۵-۲۶۴۵

سال یازدهم، شماره ۴۱، بهار ۱۴۰۰، ص‌ص ۲۱۱ – ۲۴۵ (**نوع مقاله: پژوهشی**)

DOI: 10.52547/JIMP.11.1.211

یکپارچه‌سازی ماتریس چنددامنه و سیستم استنتاج فازی در طراحی، ایجاد و توسعه نقشه راه فناوری برای سیستم‌ها

سید محمد سجادیان*، رضا حسنوی، مرتضی عباسی***،**

مهدی کرباسیان**، محمدحسین کریمی گوارشکی*****

چکیده

نقشه راه و به‌ویژه نقشه راه فناوری یک ابزار و تکنیک مدیریتی برای رسیدن به اهداف در آینده به‌منظور پیوند دادن کسب‌وکار به فناوری‌ها است؛ بنابراین با روند افزایش و لزوم استفاده از انواع نقشه‌های راه، ابزارهایی جدید برای تجزیه‌وتحلیل روابط پیچیده بین لایه‌ها و عناصر نقشه راه، بیش‌ازپیش موردنیاز است. هدف این مطالعه تمرکز بر ابزار جدید تحلیل روابط بین لایه‌های نقشه راه با یک روش ترکیبی با یک چارچوب پیشنهادی است. پژوهش‌های قبلی، تنها با ابزارهایی چون گسترش‌عملکردکیفیت و ماتریس‌ارتباطی به روابط بین لایه‌ها پرداخته‌اند. هرچند DSM و TRM به‌طور مستقل تاکنون بسیار موردمطالعه قرارگرفته‌اند، اما این مطالعه یک چارچوب پیشنهادی یکپارچه شش‌مرحله‌ای از ترکیب ماتریس چنددامنه و ماتریس ساختار طراحی و نظریه مجموعه فازی در طراحی، ایجاد و توسعه نقشه راه فناوری برای سیستم‌ها به‌منظور پشتیبانی از تصمیم‌گیری و مطالعه موردی انجام‌شده را پیشنهاد می‌دهد. در این مطالعه از ماتریس چنددامنه MDM و استنتاج فازی و نظریه شبکه در طراحی نقشه راه فناوری هم‌زمان استفاده شد. مزیت استفاده از ماتریس چنددامنه تحلیل هم‌زمان هر حوزه به‌طور خاص در قالب DSM و نیز کل حوزه‌ها در قالب MDM است. نتایج پژوهش حاضر حاکی از ارائه دستورالعمل دقیق برای مدیران به‌منظور تهیه نقشه راه مناسب است.

کلیدواژه‌ها: نقشه راه فناوری؛ ماتریس ساختار طراحی؛ تحلیل ارتباطات و وابستگی؛ ماتریس چنددامنه؛ استنتاج فازی.

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۹/۰۸/۱۱، تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۰/۰۲/۱۱.

* دانشجوی دکتری، دانشگاه صنعتی مالک اشتر.

** استاد، دانشگاه صنعتی مالک اشتر (نویسنده مسئول).

Email: hosnavi@mut.ac.ir

*** استادیار، دانشگاه صنعتی مالک اشتر.

**** دانشیار، دانشگاه صنعتی مالک اشتر.

***** استادیار، دانشگاه صنعتی مالک اشتر.

۱. مقدمه

برنامه‌ریزی یکپارچه به یک مزیت رقابتی و کلید موفقیت در طراحی سیستم‌ها تبدیل‌شده است. از ابزارهای مناسب برای چنین برنامه‌ریزی یکپارچه نوآوری و استراتژی، نقشه راه فناوری TRM[1] است [۴۹]. TRM ابزاری برای مدیریت فناوری استراتژیک است که با هماهنگی برنامه‌ریزی فناوری با راهبردهای شرکتی و سازمانی و با بصری‌سازی تعاملات و روابط بین عناصر فناوری، به توسعه استراتژی فناوری کمک می‌کند. TRM به‌طور گسترده‌ای در بخش‌های مختلف و سازمان‌های مختلف استفاده‌شده است [۷]؛ به‌ویژه به‌دلیل انعطاف‌پذیری، TRM برای زمینه‌ها و اهداف مختلف سفارشی‌شده است [۳۱]. ابزارهایی که تابه‌حال برای TRM مورداستفاده قرار گرفته‌اند، معمولاً عبارت‌اند از: گسترش عملکرد کیفیت QFD[2] و ماتریس ارتباطی (شبکه پیوندی)[3]. این ابزارها برای بررسی روابط میان لایه‌های اصلی محصولات، خدمات و فناوری‌ها به‌کار می‌روند [۲، ۱۶]. هرچند سان[4] و همکاران (۲۰۱۷) در یکی از نخستین مطالعات برای توسعه TRM از ماتریس ساختار طراحی[5] استفاده کردند [۴۹]، بااین‌حال QFD و شبکه ارتباطی نمی‌توانند روابط هم‌زمان بین عناصر،لایه‌ها و دامنه‌های محصولات، خدمات و فناوری را در نظر بگیرند. آن‌ها اطلاعات ارتباطی را در میان سه دامنه بر اساس سه ماتریس متفاوت، متمایز و مستقل، «ماتریس محصول و فناوری»، «ماتریس خدمت و فناوری» و «ماتریس محصول و خدمت» جمع‌آوری می‌کنند. هرچند روابط میان سه دامنه نباید به‌عنوان سه مجموعه‌ای از روابط بین دو عناصر، بلکه به‌صورت هم‌زمان بین سه دامنه یا بیشتر از سه دامنه موردبررسی قرار گیرد؛ زیرا برنامه‌ریزی باید تحت راهبرد هماهنگ در میان سه دامنه ایجاد شود؛ بنابراین ابزاری که بتواند هم‌زمان انواع روابط متقابل بین محصولات، خدمات و فناوری را بررسی کند، موردنیاز است [۴۹]. هدف این پژوهش با تمرکز بر روابط بین لایه‌های TRM، تهیه یک ابزار پشتیبانی از تصمیم‌گیری برای تحلیل این روابط است. بدین منظور از نظریه مجموعه فازی برای تبدیل عبارات زبانی به مقادیر عددی نظرات متخصصان، برای تجزیه‌وتحلیل روابط بین عناصر TRM، استفاده شده است. به‌طور خاص، استنتاج فازی برای تعیین اهمیت نسبی پیوند بین عناصر TRM، مورداستفاده قرار می‌گیرد که در آن اساس شکل‌گیری پیوندها بین عناصر، با توجه به درجه اهمیت دو عنصر و میزان ارتباط این دو عنصر است (برای مثال، اهمیت نسبی یعنی حداقل یکی از عناصر از اهمیت بالایی برخوردار است، یا هر دو عنصر تا حدی قابل‌قبول هستند و درجه ارتباط بین دو عنصر یعنی یک عنصر باید از

1. TRM: Technology Roadmap
2. QFD: Quality Function Deployment
3. Linking Grid
4. Son
5. DSM : Design Structure Matrix.

عنصر دیگر پیروی کند، یا یک عنصر باید عنصر دیگر را رصد کند). انتظار می‌رود با شناسایی این‌گونه پیوندها هنگام تهیه TRM فناوری، کیفیت و قابلیت اطمینان اطلاعاتی که در TRM درج شده است، به میزان زیادی بهبود یابد. برای غلبه بر محدودیت‌های چارچوب‌های پیشین و برآورده‌ساختن نیازهای موجود، این مطالعه ماتریس ساختار طراحی DSM و MDM را به‌عنوان ابزاری برای حمایت از TRM و به‌منظور ایجاد و توسعه یک راهنما و دستورالعمل برای TRM ارائه می‌دهد.

DSM یک ماتریس مربعی است و گروه‌هایی از عناصر سیستم را شناسایی می‌کند که بسیار وابسته‌اند و همچنین عناصر را با توجه به وابستگی‌ها مجدد مرتب می‌کند؛ بنابراین اگر DSM برای TRM فناوری اعمال شود، لایه‌ها همچون محصولات، خدمات و فناوری را در گروه‌ها و خوشه‌های مختلف وابسته‌به‌هم در نظر خواهد گرفت و می‌توان آن‌ها را با توجه به ضرورت توسعه اولویت‌بندی کرد. با توجه به اینکه یکی از سخت‌ترین وظایف در TRM، تعیین اولویت‌ها برای توسعه است، انتظار می‌رود که ویژگی‌های DSM یک فرآیند TRM سیستماتیک و قوی ایجاد کند.

این پژوهش محدودیت‌هایی نیز در انتخاب مطالعه موردی داشته است؛ بنابراین به علت نبود دسترسی به TRM واقعی چندلایه، با توجه به محدودیت سازمان‌ها در کشور، همچون محرمانگی و یا نبود TRM چندلایه (حداقل سه‌لایه) به‌منظور پیاده‌سازی و آزمودن چارچوب از یک نمونه TRM در مطالعه سان و همکاران (۲۰۱۷) استفاده شده است.

سازمان‌دهی مقاله حاضر به شرح زیر است:

بخش دوم به پیشینه پژوهش و مبانی نظری اختصاص دارد و در بخش سوم روش‌شناسی این پژوهش ارائه می‌شود و چارچوب پیشنهادی با استفاده از استنتاج فازی و تحلیل شبکه توضیح داده خواهد شد. در بخش چهارم، کاربرد چارچوب پیشنهادی با مطالعه موردی توضیح داده شده است. درنهایت بحث و نتیجه‌گیری و پیشنهادها در بخش پنجم ارائه شده است.

۲. مبانی نظری و پیشینه پژوهش

در این بخش پس از مرور مبانی نظری، به DSM، MDM، TRM، روابط بین لایه‌های TRM و نظریه مجموعه فازی و در پایان به مدل سیستم تطابق TRM با MDM و DSM پرداخته خواهد شد؛ بنابراین در ابتدا مقاله‌های مرتبط و به‌ویژه دو مقاله که چارچوب پیشنهادی برگرفته از ترکیب این دو مطالعه است، مرور خواهد شد و در ادامه مبانی نظری پژوهش و در پایان مدل سیستم که تطبیق TRM با MDM را مدل می‌کند، ارائه می‌شود.

تاکنون پژوهش‌های متعددی در خصوص TRM انجام شده است که از پژوهش‌های مروری اخیر می‌توان به مطالعات پارک و همکاران (۲۰۲۰)، دی آلکانتارا و مارتنز (۲۰۱۹)، اولیویرا والریو و همکاران (۲۰۲۱) و وینکوفسکی (۲۰۲۰) اشاره کرد [۸، ۵۶، ۴۰، ۳۸].

از پژوهش‌های داخلی می‌توان مطالعات مقبل (۲۰۱۳)، رضایی و همکاران (۲۰۲۰) و نریمانی (۲۰۲۱) را نام برد [۳۶، ۳۷، ۴۵].

مطالعات اخیر با تمرکز بر TRM و ارتباطات[1] شامل موارد زیر است:

آن[2] و همکاران (۲۰۰۸)، یک ساختار نقشه راه یکپارچه و یک ابزار پشتیبانی برای نقشه راه کارآمد خدمت - محصول با استفاده از گسترش کیفیت فراگیر تغییریافته و شبکه پیوندی ارائه دادند [۲].

گیوم[3] و همکاران (۲۰۰۸)، یک ساختار کلی از نقشه راه یکپارچه محصول و خدمات توسعه دادند و درنهایت با استفاده از گسترش کیفیت فراگیر، پیکربندی‌های نوع نقشه راه یکپارچه را پیشنهاد کردند. آن‌ها با توجه به ساختار عمومی، شش نوع نقشه راه یکپارچه با توجه به نقش فناوری در تلفیق محصولات و خدمات پیشنهاد دادند و از گسترش کیفیت فراگیر و شبکه پیوندی نیز برای ارتباطات بین لایه‌ها استفاده کردند [۱۷، ۱۸].

لی[4] و همکاران (۲۰۱۵) با ادغام نقاط قوت تحلیل حساسیت در نقشه‌برداری فناوری مبتنی بر سناریو، یک رویکرد سیستماتیک برای ارزیابی تأثیرات آینده در برنامه‌های سازمانی ارائه دادند. آن‌ها با مطالعه موردی از روابط علّی مدل‌سازی کمّی و کیفی استفاده کردند [۲۸].

کیم[5] و همکاران (۲۰۱۶)، یک روش اسکن بصری برای کاوش سیگنال‌های بالقوه مخرب از داده‌های آینده و استفاده از آن‌ها در TRM را پیشنهاد کردند و نقشه ارتباطات کلیدواژه‌ها و خوشه‌بندی را به‌کار بردند [۲۵].

سان[6] و همکاران (۲۰۱۷)، در پژوهشی با عنوان «استفاده از یک ماتریس ساختار طراحی برای پشتیبانی از نقشه‌برداری فناوری برای سیستم‌های خدمت ـ محصول» به این نتیجه رسیدند که مطالعه آن‌ها از نظر روش‌شناختی، نخستین تلاش برای پیونددادن DSM و TRM است. آن‌ها برای تجزیه‌وتحلیل روابط پیچیده بین محصولات، خدمات و فناوری‌ها یک چارچوب TRM فناوری مبتنی بر DSM و یک مطالعه موردی در مورد خدمات تلفن همراه ارائه دادند [۴۹].

1. Relationships
2. An
3. Geum
4. Lee
5. Kim
6. Son

سان و لی[1] (۲۰۱۸) در پژوهشی با عنوان «ادغام نظریه مجموعه فازی در توسعه TRM فناوری برای پشتیبانی از تصمیم‌گیری» هدف از مطالعه خود را ایجاد یک ابزار پشتیبانی از تصمیم‌گیری برای بررسی روابط لایه‌های نقشه عنوان کردند و بدین منظور از استنتاج فازی برای تعیین اهمیت نسبی پیوند بین عناصر TRM با درنظرگرفتن درجه اهمیت و همچنین درجه ارتباط بین این دو استفاده کردند. پژوهش آن‌ها ارائه یک فرایند توسعه TRM مبتنی بر فازی است که در آن نظریه مجموعه فازی و تجزیه‌وتحلیل شبکه ترکیب شده‌اند. به نظر آن‌ها چارچوب پیشنهادی در مقایسه با رویکردهای توسعه TRM مرسوم دارای مزایای مختلفی همچون استفاده از استنتاج فازی و کاهش پیچیدگی روند توسعه TRM و ارزیابی روابط بین عناصر TRM توسط دو عامل درجه اهمیت دو عنصر و قدرت روابط بین دو عنصر است [۵۰].

یکی از اشکالات وارد بر دو مطالعه سان (۲۰۱۷، ۲۰۱۸) عدم‌استفاده از MDM به‌جای DSM است؛ زیرا DSM ماتریسی مربعی برای تحلیل تنها یک حوزه (دامنه) است؛ درصورتی‌که با توجه به اینکه MDM شامل DSM نیز است، برای تحلیل هم‌زمان یک، دو و یا بیش از دو حوزه نیز قابل‌استفاده بوده و ماهیت TRM چندحوزه‌ای است [۵۰].

نوآوری مطالعه‌ی حاضر، استفاده هم‌زمان از DSM و MDM در TRM است تا خلأ مطالعه سان و همکاران (۲۰۱۷) که تحلیل هم‌زمان یک، دو و یا بیش از دو حوزه است، برطرف شود. همچنین سان و لی (۲۰۱۸)، برای بررسی روابط لایه‌های نقشه تنها از ترکیب استنتاج فازی و نظریه شبکه استفاده کرده‌اند؛ بنابراین نوآوری دیگر کاربرد هم‌زمان DSM، استنتاج فازی و نظریه شبکه است. بیشتر مطالعات تنها به نحوه استخراج لایه‌ها پرداخته‌اند؛ ولی در این مطالعه، دقیق‌تر یک چارچوب پیشنهادی سیستماتیک استفاده‌شده است. در این پژوهش به این سؤال مهم پاسخ داده می‌شود که چگونه می‌توان به کمک چارچوب پیشنهادی به یک نقشه راه واقع‌بینانه‌تر با ایجاد و تحلیل روابط دقیق‌تر بین لایه‌های نقشه راه دست یافت؟

طبق جدول ۱، پژوهش‌های پیشین از مبحث هم‌زمانی کاربرد MDM و تحلیل شبکه و استنتاج فازی برای داده‌های غیرقطعی و استفاده از MDM غافل بوده‌اند؛ بنابراین برای برجسته کردن نوآوری‌های این پژوهش و شکاف‌های پژوهش‌های پیشین، جدول ۱، ارائه شده است.

جایگاه پژوهش حاضر نسبت به پژوهش‌های مهم مشابه انجام شده در این حوزه در سال‌های اخیر در جدول ۱، مشاهده می‌شود. نتایج جست‌وجو از پایگاه وب آو ساینس[2] با رشته جست‌وجوی "technology roadmap" or "technology roadmapping" and relationship or dependency، ۱۳مقاله بود که ۶ مقاله اصلی زیر انتخاب شد. طبق جدول ۱، تنها سان و همکاران (۲۰۱۷) از DSM استفاده کرده و دیگر پژوهش‌ها نیز از روش‌های

1. Son & Lee
2. Web of Science

گسترش کیفیت فراگیر و شبکه پیوندی استفاده کرده‌اند و هم‌زمان هیچ‌کدام از فازی و تحلیل شبکه و MDM استفاده نکرده‌اند.

جدول ۱. مروری بر مطالعات مرتبط با پژوهش حاضر

پژوهشگر	قطعی/ فازی	روش	ابزار	هدف	مطالعه موردی
آن و همکاران، (۲۰۰۸) [۲]	قطعی	گسترش کیفیت فراگیر تغییریافته	گسترش کیفیت فراگیر[1] شبکه پیوندی[2]	ساختار نقشه راه یکپارچه و یک ابزار پشتیبانی برای نقشه راه کارآمد خدمت – محصول	موبایل سیستم خدمت محصول
گیوم و همکاران، (۲۰۱۱) [۱۷، ۱۸]	قطعی	ابتدا شبکه پیوندی و سپس گسترش کیفیت فراگیر	گسترش کیفیت فراگیر شبکه پیوندی	نقشه راه یکپارچه برای ادغام کالا و خدمات	U- خدمات healthcare
لی و همکاران، (۲۰۱۵) [۲۸]	قطعی	تعریف توپولوژی نقشه راه	روابط علّی مدل‌سازی کمّی و کیفی	ارائه نقشه راه فناوری مبتنی بر سناریو	سیستم فتوولتائیک
کیم و همکاران، (۲۰۱۶) [۲۵]	قطعی	رویکرد پنج مرحله‌ای	ماتریس سند کلیدواژه[3] نقشه ارتباطات کلید واژها خوشه‌بندی	ایجاد یک سیستم پشتیبانی برای نقشه راه فناوری که از داده‌های آینده‌نگرانه استفاده می‌کند.	فناوری محاسبات پوشیدنی
سان و همکاران، (۲۰۱۷) [۴۹]	قطعی	رویکرد پنج مرحله‌ای	ماتریس ساختار طراحی و سیستم خدمت محصول[4]	توسعه نقشه راه با مجموعه فازی و استنتاج فازی	چاپگر سه بعدی
سان و لی، (۲۰۱۸) [۵۰]	فازی	رویکرد چهار مرحله‌ای	مجموعه فازی و تحلیل شبکه	ارائه فرآیند جدید طراحی نقشه راه	چاپگر سه بعدی
پژوهش حاضر	فازی قطعی	رویکرد شش مرحله‌ای	ماتریس ساختار طراحی و چند دامنه استنتاج فازی و تحلیل شبکه	ارائه رویکرد نقشه راه با تمرکز مدل‌سازی ارتباطات لایه‌ها	چاپگر سه بعدی برگرفته از سان و لی (۲۰۱۸)

1. QFD
2. Linking grid
3. Keyword-document matrix (KDM)
4. PSS

نقشه راه فناوری و لایه‌های آن. موتورولا در سال ۱۹۸۷ برای نخستین بار مفهوم TRM را گزارش کرد [۴۴، ۵۵]؛ سپس در شرکت‌ها و سازمان‌های مختلف به‌عنوان یک ابزاری پشتیبانی برای برنامه‌ریزی، پیش‌بینی و مدیریت فناوری به‌کار رفت [۱۴، ۳۱].

TRM استاندارد متشکل از دو جزء و عنصر است. نخستین عنصر دوره زمانی است و عنصر دوم لایه‌ها هستند. TRM شامل چند لایه است که اجازه برنامه‌ریزی یکپارچه را می‌دهد؛ بنابراین ارتباط بین عناصر در لایه‌های مختلف باید با دقت و به‌درستی تحلیل شود. بزرگ‌ترین مزیت TRM این است که فناوری را به کسب‌وکار پیوند می‌دهد[۴۲]. مطالعات قبلی در مورد TRM را می‌توان به سه دسته طبقه‌بندی کرد: مطالعات موردی، روش‌شناسی و کاربردها [۵۰].

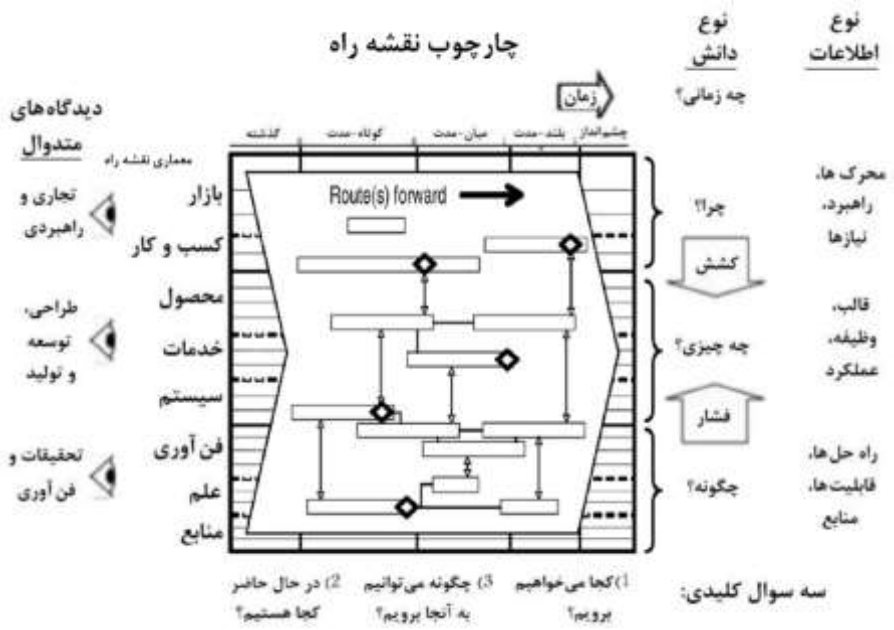
پارک و همکاران[1] (۲۰۲۰)، در مطالعه‌ای با عنوان «بیست سال پژوهش نقشه‌های فناوری و راهبردی: چشم‌انداز مکتب فکری» به مرور روش‌ها، مکاتب، چشم‌اندازها و صاحب‌نظران این حوزه پرداختند. آن‌ها هفت مکتب فکری نقشه راه را در سه بعد چشم‌انداز پژوهش[2]، روش پژوهش[3] و سهم علمی[4] به انواع زیر تقسیم کردند:

چشم‌انداز پژوهش: علم ↔ مهندسی و تئوری ↔ راه‌حل؛ روش تحقیق: داده‌های کوچک ↔ داده‌های بزرگ، کمی↔ کیفی، آزمون آلفا درون خانه ↔ آزمون میدانی و سهم علمی: گذشته‌نگر ↔ آینده‌نگر و زمینه خاص ↔ عمومی [۴۰]. TRM با رویکردهای دیگر مانند QFD تلفیق شده است [۳۵]. روش‌های تجزیه‌وتحلیل اختراع و پویایی سیستم‌ها نیز برای TRM استفاده‌شده‌است [۵۲، ۱۶]. در میان این ابزارها، QFD که از شیوه‌های مدیریت فناوری پیروی می‌کند، از رایج‌ترین روش‌ها برای پیوند لایه‌های مختلف در TRM است [۲۰] و در TRM نیز مورداستفاده قرار گرفته است [۲، ۱۷]. پژوهشگران با پیشنهاد تکنیک‌های جدید یا بهبود روش‌های موجود، به پیشرفت روند توسعه TRM کمک کرده‌اند. تمرکز پیشرفت‌های روش‌شناختی بر کاهش عدم‌قطعیت در برنامه‌ریزی فناوری بوده است. برای مثال، کائتانو[5] و همکاران (۲۰۱۱)، TRM را در زمینه نوآوری باز استفاده کردند [۵] و رویکردی را برای ادغام یک استراتژی فناوری‌محور با برنامه‌ریزی مشارکتی ارائه دادند [۴۶].

این پژوهش تلاشی برای ترکیب TRM با رویکردهای دیگر خواهد بود. MDM که یک ابزار پذیرفته‌شده برنامه‌ریزی مدیریت پروژه در عمل است، برای برنامه‌ریزی در این مطالعه در نظر گرفته می‌شود.

فال و مولر[6] (۲۰۰۹)، چارچوب نقشه راه TRM را به‌صورت شکل ۱، ارائه داده‌اند [۴۱].

1. Park
2. Research perspective
3. Research method
4. Contribution
5. Caetano
6. Phaal and Muller



شکل ۱. ساختار کلی نقشه راه [۴۱]

در بالاترین سطح، TRM شامل سه لایه است: لایه بالا به روندها و محرک‌ها مربوط می‌شود؛ لایه میانی به‌طورکلی مربوط به سیستم‌های ملموس است که برای پاسخ به روندها و محرک‌ها نیاز به توسعه دارند؛ لایه پایین مربوط به منابعی است که برای توسعه محصولات، خدمات و سیستم‌های موردنیاز باید دارای ترتیب باشند.

تجزیه‌وتحلیل ارتباطات برای طراحی و توسعه TRM. تجزیه‌وتحلیل ارتباطات بین عناصر نقشه‌راه در تهیه TRM از اهمیت بالایی برخوردار است. به‌طورکلی دو رویکرد برای ایجاد چنین روابطی وجود دارد: رویکردهای مبتنی بر رایانه و مبتنی بر متخصص یا خبره.

بیشتر رویکردهای مبتنی بر رایانه بر پیوندهای موجود بین عناصر فناوری متمرکز شده‌اند؛ جایی که تکنیک‌های گوناگونی ازجمله متن‌کاوی، تجزیه‌وتحلیل شبکه، تجزیه‌وتحلیل استناد و تجزیه‌وتحلیل فهرست، برای اختراعات به‌منظور شناسایی عناصر اصلی فناوری و ارزیابی ارتباط بین آن‌ها استفاده می‌شود [۳۰].

در این پژوهش از MDM و نیز تحلیل شبکه، همزمان برای تجزیه‌وتحلیل ارتباطات بین لایه‌ها وعناصر نقشه‌راه استفاده‌شده است. مطالعات اخیر برای تجزیه‌وتحلیل و انجام پیش‌بینی فناوری، از فرآیندی که «نقشه‌برداری از اختراع» نامیده می‌شود، استفاده کرده‌اند [۳۵، ۲۳]. بااین‌حال تجزیه‌وتحلیل مبتنی بر اختراع به مناطق گسترده‌تر، مانند برنامه‌ریزی جدید تجارت

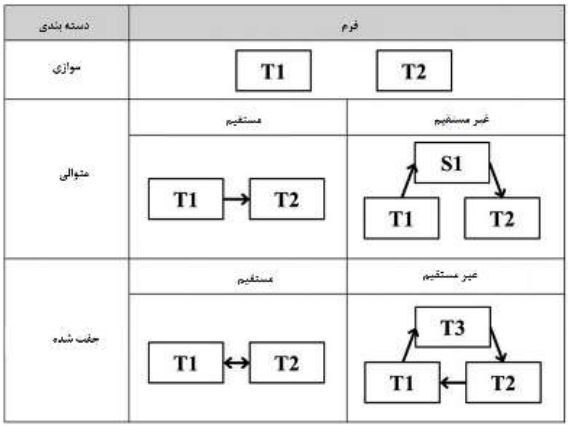
جین[1] و همکاران (۲۰۱۵)، گسترش یافته است و فقط به برنامه‌ریزی فناوری محدود نمی‌شود [۲۴]. در مقابل، رویکردهای متخصص‌محور بیشتر برای تعریف عناصر TRM و تعیین پیوندهای بین آن‌ها به بینش متخصصان متکی هستند. این مطالعه مبتنی بر رویکرد متخصص‌محور است که در عمل متداول‌تر از رویکرد مبتنی بر رایانه است. ساختار اصلی TRM، پیوند و ارتباط بین لایه‌هایی چون بازار، محصول، فناوری و تحقیقات و توسعه است؛ بنابراین مزیت TRM با اتصال انواع لایه‌ها به روشی منظم می‌تواند به میزان زیادی افزایش یابد. اولویت توسعه یک فناوری خاص با روابط بین عناصر درون و در سراسر لایه‌های TRM تعیین می‌شود و وظیفه ارتباط این عناصر به‌عنوان بخش اساسی و مهم در فرایند توسعه TRM در نظر گرفته می‌شود؛ بااین‌حال با وجود تحول قابل‌توجه نقشه‌های راه فناوری از نظر روش‌شناسی، تاکنون توجه نسبتاً کمی به رویکردهای مربوط به پیوند سیستماتیک لایه‌های متنوع یک TRM شده است. در مطالعات قبلی فقط از ابزارهای ساده مانند QFD و اتصال شبکه برای اتصال لایه‌ها استفاده‌شده است [۲، ۱۸]. بااین‌حال استفاده از این ابزارها محدود به برنامه‌ریزی است که مستلزم افزایش پیچیدگی است. در ابزارهای موجود، تأکید بر تحلیل اینکه آیا بین عناصر لایه TRM روابط معناداری وجود دارد یا خیر، وجود دارد؛ اما با پیونددادن عناصر می‌توان اطلاعات مفیدی مانند نوع یا قدرت روابط را در نظر گرفت. تعیین روابط معنادار و استفاده از روابط گروهی برای دستیابی به نتیجه‌گیری معنادار، هر دو کار دشواری است. بر این اساس، متخصصان درگیر در تدوین TRM ممکن است با پیونددادن عناصر TRM در عمل به مبارزه بپردازند؛ درنتیجه بسیاری از نقشه‌های راه ممکن است روابط واضح بین عناصر را نشان ندهد و چنین روابطی به‌ندرت در تجزیه‌وتحلیل بیشتر برای حمایت از تصمیم‌گیری با توجه به برنامه‌ریزی‌های فناوری مورداستفاده قرار می‌گیرند.

اگرچه ابزارهای تصمیم‌گیری، مانند ماتریس ارتباطی یا QFD برای حمایت از روند توسعه TRM مبتنی بر کارشناسان پیشنهاد شده است؛ اما این ابزارهای ساده فقط می‌توانند درجه ارتباطات را در نظر بگیرند، درحالی‌که به اهمیت واقعی روابط در برنامه‌ریزی کلی توجه نمی‌کنند [۱۷، ۱۸].

این ابزارها ممکن است ظرفیت TRM را برای تبدیل‌شدن به ابزاری برای برنامه‌ریزی یکپارچه محدود کند. با افزایش پیچیدگی و تنوع عناصر TRM، یافتن راهی برای پیوند سیستماتیک این عناصر ضروری است. بدین منظور در این پژوهش برای ارزیابی میزان اهمیت پیوندها بین دو عنصر TRM، بر اساس درجه اهمیت هر عنصر و درجه قدرت هر رابطه، از نظریه مجموعه فازی و استنتاج فازی استفاده‌شده است؛ همچنین از تجزیه‌وتحلیل شبکه و نیز قابلیت‌های MDM برای خوشه‌بندی عناصر بر اساس اهمیت روابط بین آن‌ها و تولید اولویت‌ها

1. Jin

از نظر تخصیص منابع استفاده شده است که این امر به تعیین موقعیت اولویت‌ها در TRM کمک می‌کند. همچنین از قابلیت‌های DSM و MDM نیز استفاده شد.
انواع ارتباطات در TRM در شکل ۲، نشان داده شده است [۲۸].



شکل ۲. انواع ارتباطات در TRM

یکی از ابزارهای سودمند در تدوین TRM، استفاده از ماتریس‌های ارتباطی[1] است که ترسیم لایه‌های خروجی TRM را ساده می‌کند [۲۷، ۱۹]. شمای کلی ماتریس‌های ارتباطی در شکل ۳، مشاهده می‌شود.

اهداف / ویژگی ها	هدف ۱	هدف ۲	هدف ۳	...
ویژگی ۱				
ویژگی۲				
ویژگی۳	✓			
ویژگی۴	✓			
...				

ویژگی‌ها / فناوری‌ها	ویژگی ۱	ویژگی۲	ویژگی۳	ویژگی۴	...
فناوری ۱					
فناوری					
فناوری					
فناوری					
...					

شکل ۳. شمای کلی ماتریس‌های ارتباطی

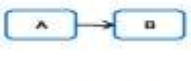
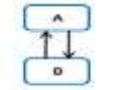
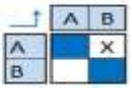
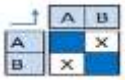
1. Linking Grid

ماتریس ساختار طراحی DSM[۱]. DSM که به آن ماتریس ساختار وابستگی[۲]، روش ساختار وابستگی[۳]، ماتریس منبع وابستگی[۴]، ماتریس حل مسئله[۵] PSM، ماتریس برخورد یا مجاورت[۶]، ماتریس N2[۷]، ماتریس تعاملات[۸]، نقشه وابستگی[۹] یا ماتریس تقدم طراحی[۱۰] نیز گفته می‌شود، یک نمایش ساده، جمع‌وجور و بصری از یک سیستم یا پروژه در قالب یک ماتریس مربع است. این معادل یک ماتریس مجاورت در نظریه گراف است و در مهندسی سیستم و مدیریت پروژه برای مدل‌سازی ساختار سیستم‌ها یا فرآیندهای پیچیده، به‌منظور انجام تجزیه‌وتحلیل سیستم، برنامه‌ریزی پروژه و طراحی سازمان استفاده می‌شود. تکنیک‌های مدل‌سازی ساختاری و وابستگی (DSM) که به «ماتریس ساختار طراحی» نیز معروف است، با توجه به عناصر یک سیستم پیچیده و چگونگی ارتباط آن‌ها با یکدیگر، مدیریت پیچیدگی را پشتیبانی می‌کنند.

دون استوارد[۱۱] (۱۹۸۱)، اصطلاح «ماتریس ساختار طراحی» را با استفاده از ماتریس‌ها برای حل سیستم‌های دستگاه معادلات ریاضی به کاربرد [۵۱]. روش‌های معادل از دهه ۱۹۶۰ استفاده می‌شوند. برای شناسایی جریان‌های اطلاعاتی مستقل (جفت‌نشده و به‌هم‌نپیوسته)، وابسته (جداشده) و وابستگی متقابل (زوج‌شده) که در ذات فرآیندهای پیچیده است، DSM ارائه‌شده توسط استوارد (۱۹۸۱ a، b) یک ابزار مفید است [۵۱]. پژوهش‌های بسیاری، به‌ویژه پژوهش برانینگ (۲۰۱۵)، اثربخشی آن را در گذشته نشان داده‌اند [۳]. مزایای استفاده از DSM عبارت‌اند از: ۱. DSM بر اندازه و پیچیدگی محدودیت‌های گراف‌های جهت‌دار غلبه می‌کند؛ ۲. DSM به‌راحتی قابل‌درک است و قادر است فرآیندها را در سرتاسر خود انجام دهدو ۳. قالب ماتریس برای برنامه‌ریزی و محاسبه با استفاده از رایانه‌ها مناسب است [۳۲، ۳۳، ۳۴].

DSM رابطه بین دو عنصر سیستم را در سه راه توضیح می‌دهد: موازی[۱۲]، متوالی[۱۳] و جفت شده[۱۴]. شکل ۴، روابط را نشان می‌دهد [۵۴].

1. Design Structure Matrix
2. Dependency Structure Matrix
3. Dependency Structure Method
4. Dependency Source Matrix
5. Problem Solving Matrix (PSM)
6. Incidence Matrix
7. N2 matrix
8. Interaction Matrix
9. Dependency Map
10. Design Precedence Matrix
11. Steward
12. Parallel
13. Sequential
14. Coupled

نوع ارتباط	موازی(مستقل)	متوالی (وابسته)	زوجی (جفت‌شده)
نمودار			
ماتریس			

شکل ۴. سه نوع رابطه بین دو عنصر در DSM

بر اساس این مفهوم، DSM یک طراحی بهینه از فرآیند توسعه سیستم یا سیستم را از چندین نقطه به‌دست می‌آورد و یک ابزار مفید مدل‌سازی و طراحی فرآیند است [۴].

DSM عناصری را که باید به‌طور هم‌زمان برای طراحی محصول در نظر گرفته شوند، مشخص می‌کند [۴] و یا وظایفی که قبل از وظایف دیگر برای توسعه محصول باید اجرا شود را تعیین می‌کند؛ بنابراین ابزاری ارزشمند برای مدیریت پروژه است [۱۰] و به همین دلیل بسیار در زمینه ساخت و تولید استفاده می‌شود [۱۳].

DSM همراه با QFD برای اولویت‌بندی وظایف پروژه مورداستفاده قرار گرفته است [۵۳]؛ همچنین نظریه فازی با DSM در مرحله تحلیل رابطه به‌کار رفته است [۴۸].

ماتریس چنددامنه[1] MDM. DMM ماتریس نقشه‌برداری (نگاشت) دامنه[2] یا ماتریس رهگیری دامنه، این نوع ماتریس، یک ماتریس مستطیلی است که روابط بین دو دامنه را نشان می‌دهد. یک ماتریس نگاشت دامنه، روابط داخلی هر یک از دامنه‌ها را نشان نمی‌دهد و تنها نگاشت بین دامنه‌ها را نشان می‌دهد [۱۱].

ماتریس چنددامنه، دو یا چند ماتریس ساختار طراحی و ماتریس نگاشت دامنه را در داخل یک الگوی چندسامانه‌ای ترکیب می‌کند. به نظر لیندرمن و مائورر[3] (۲۰۰۷)، MDM یک ترکیب برآیند بهبودیافته از DMM و DSM است و یک ماتریس مربعی یا غیرمربعی می‌باشد که از ترکیب ماتریس DSM و DMM ایجاد می‌شود (شکل‌های ۵ و ۶). در این ماتریس عناصر قطر اصلی DSM تک‌دامنه است و سایر سلول‌های ماتریس، DMM هستند (شکل ۶). این ماتریس تحلیل کل سیستم را امکان‌پذیر می‌سازد و برای نشان‌دادن مدل کاملی از سیستم به‌منظور تفسیر و مدیریت آن به‌کار می‌رود. هرچقدر اندازه ساختار سیستم بزرگ‌تر شود، استفاده از این ماتریس برای تحلیل اهمیت بیشتری می‌یابد [۳۳، ۳۴].

1. Multi Domain Matrix (MDM)
2. Domain Mapping Matrix (DMM)
3. Lindeman and Maurer

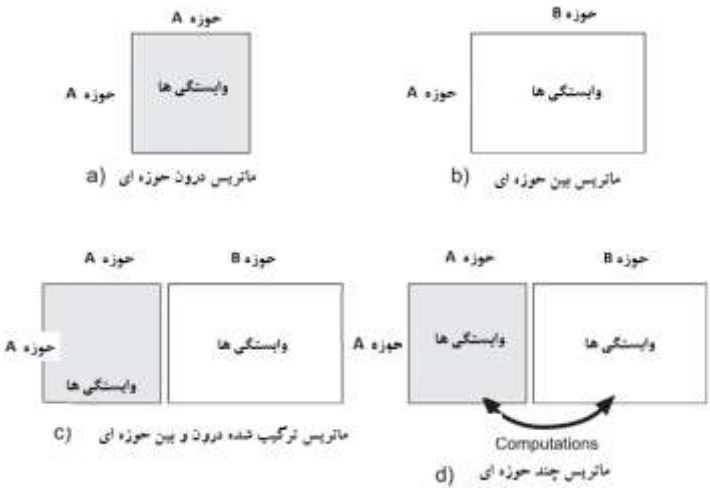
ماتریس‌های غیرمربعی نیز برای برنامه‌ریزی و تجزیه‌وتحلیل محصول و پروژه به‌طور گسترده استفاده می‌شوند. کوسیاک[1] و وانگ (۱۹۹۳)، برای ترسیم پارامترها از یک ماتریس همسایگی استفاده کردند [۳۶]. ساه[2] (۱۹۹۰)، به‌طور مشابه از ماتریس نقشه‌برداری بین مشتری، حوزه‌های عملکردی، فیزیکی و فرآیندی در طراحی سیستم‌های مکانیکی استفاده کرد [۵۲].

با توجه به محدودیت‌های مربعی بودن DSM، یک ماتریس مستطیل‌شکل که نقشه‌برداری از یک دامنه به حوزه دیگر را انجام دهد، لازم است. فقط با چنین ماتریس مستطیل‌شکلی می‌توان پویایی بین حوزه‌های مختلف را تعریف‌کرد، رابطه‌ها و وابستگی‌ها را شناسایی کرد و اطلاعاتی را که نیاز به تبادل دارند، نشان داد.

دانیلوویچ[3] (۲۰۰۱)، مطالعاتی در مورد وابستگی بین حوزه‌ها در PD[4] انجام داد [۱۰]. وی در دو پژوهش به بررسی معماری محصول در مقابل ساختار سازمان و ساختار وظیفه در مقابل ساختار سازمان پرداخت. دانیلوویچ و سیگمیت[5] (۲۰۰۳)، تجزیه‌وتحلیل دامنه دوگانه از الزامات محصول، مشخصات محصول، الزامات عملکردی و اجزای تولید را ارائه دادند [۱۲]. این پژوهش-ها به تجزیه‌وتحلیل دامنه دوگانه به‌عنوان تحلیل DSM مستطیل اشاره داشتند. لیندرمن و مائورر[6] (۲۰۰۷)، ماتریس مستطیل‌شکل مربوط به معماری محصول و نیازهای مشتری را نشان دادند. لیندرمن[7] وهمکاران(۲۰۰۹) و لیندرمن و مائورر[8] (۲۰۰۷)، برای ایجاد تمایز واضح بین ماتریس‌های مربع، که نقشه‌برداری از روابط بین عناصر یک سیستم در یک دامنه واحد را انجام می‌دهد و ماتریس‌های مستطیل‌شکل که عناصر یک دامنه را به دامنه دیگر، نگاشت می‌کنند، اصطلاح «ماتریس نقشه‌برداری دامنه» را ایجاد کردند [۳۲، ۳۳].

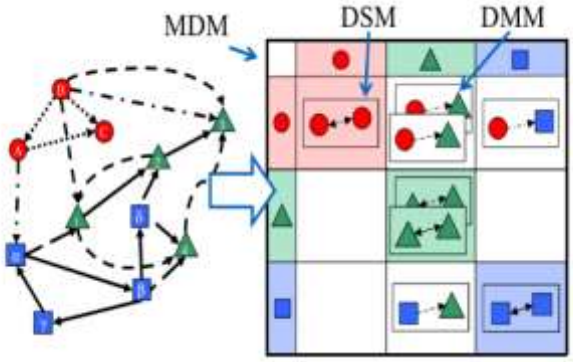
شکل ۶، ارتباط MDM، DMM و DSM را به‌سادگی نشان می‌دهد [۳۳]. در شکل ۵، دسته‌بندی روش‌های بر پایه ماتریس (ماتریس‌محور) آورده شده است.

1. Kusiak
2. Suh
3. Danilovic
4. Product Design
5. Danilovic and Sigemyr
6. Lindemann and Maurer
7. Lindemann
8. Lindemann and Maurer



شکل ۵. دسته‌بندی روش‌های بر پایه ماتریس (ماتریس محور) [۳۳]

به‌طورکلی انواع ماتریس قابل‌استفاده برای تحلیل سیستم‌های پیچیده مطابق شکل به سه نوع زیر تقسیم‌بندی می‌شوند.



شکل ۶ انواع ماتریس‌های MDM، DMM و DSM

نظریه مجموعه فازی و سیستم استنتاج فازی. نظریه مجموعه فازی برای موضوعاتی که مستلزم عدم‌قطعیت و اطمینان است، توسط توصیف موقعیت چیزها، به‌جای ارائه یک جواب واحد برای آن‌ها به‌کار می‌رود؛ بنابراین این امکان را برای تبدیل عبارات زبانی نسبتاً مبهم به مقادیر عددی از صفر تا ۱ فراهم می‌کند. این نظریه برای نخستین بار در رشته مهندسی معرفی شد؛ اما به‌طور گسترده‌ای برای اهداف مختلف دیگری، مانند سیستم‌های خبره و بررسی‌ها، مورداستفاده

قرار گرفته است. یک مقدار فازی با سه ویژگی ارائه می‌شود: مجموعه فازی، تابع عضویت و اعداد فازی [۵۸].

یک مجموعه فازی مجموعه‌ای است که یک عنصر تا حدی به آن تعلق دارد و درجه عضویت در یک مجموعه فازی به اینکه تا چه حد این عنصر متعلق به آن است، اشاره دارد. مجموعه‌ی فازی را می‌توان به‌عنوان مجموعه‌ای با مرز مبهم تعریف کرد؛ به‌جای اینکه به‌عنوان یک مجموعه مشخص و معین مطابق با قضیه دوگانگی تعریف شود [۲۱]. در پژوهش حاضر از استنتاج فازی برای تبدیل عبارات زبانی متخصصین و خبرگان به ارزش‌های عددی استفاده‌شده است. در حقیقت، چنین متغیرهای زبانی که مقداری نه به شکل یک عدد، بلکه به شکلی متشکل از کلمات یا جملات می گیرند، اغلب در مدل های تصمیم‌گیری فازی پذیرفته شده‌اند. در میان انواع اعداد فازی، معمولاً از عدد فازی مثلثی برای نشان‌دادن مقدار فازی در مدل‌های تصمیم‌گیری استفاده می‌شود [۲۱].

اجزای اصلی تشکیل‌دهنده یک سیستم فازی عبارت‌اند از: پایگاه دانش؛ موتور استنتاج؛ فازی‌ساز و غیرفازی‌ساز. بنابراین در این مطالعه نیز از عدد فازی مثلثی و ذوزنقه‌ای استفاده شده است. اخروی و همکاران (۲۰۱۹)، برای نقشه راه سامانه پیشرفته از استنتاج فازی استفاده کرده و از ماتریس وزن دار شکاف –قابلیت استفاده نمودند [۳۹].

تطابق TRM با MDM و DSM (مدل سیستم). روش تطبیق TRM با MDM و DSM از نظر ساختار آن‌ها به یک مدل سیستم نیاز دارد تا دامنه‌ها و وابستگی‌های مربوطه را تعریف کند. تطبیق TRM با MDM و DSM بر چهار حوزه و وابستگی آن‌ها متمرکز است. شکل ۷، دامنه‌ها و وابستگی‌هایی که برای توصیف سیستم تطبیق TRM با MDM و DSM لازم است را خلاصه می‌کند.

MDM		M	P	T	
بازار	M	DSM	DMM	DMM	
محصول	P	DMM	DSM	DMM	
فناوری	T	DMM	DMM	DSM	
نقشه راه فناوری					TRM

شکل ۷. مدل سیستم MDM

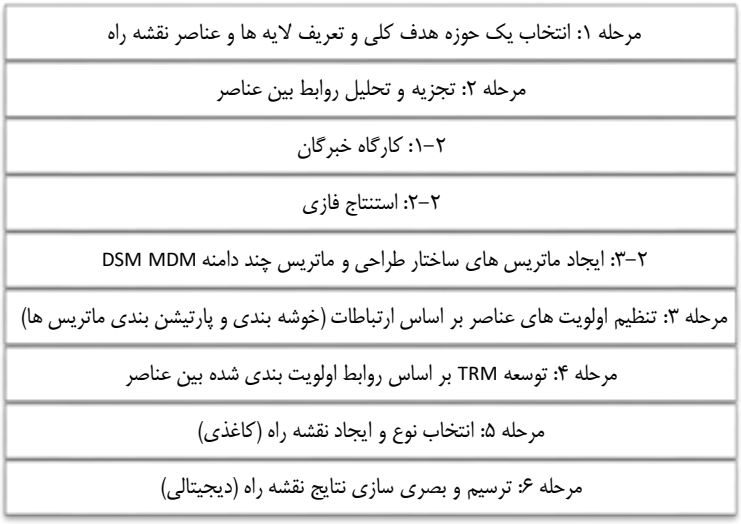
۳. روش‌شناسی پژوهش

در این بخش چارچوب ترکیبی پیشنهادی ارائه می‌شود و مراحل به‌تفصیل فرآیند آن تشریح خواهد شد.

چارچوب ترکیبی پیشنهادی ارائه‌شده. بر پایه شکل ۷. مدل سیستم MDM، یک روال شش‌مرحله‌ای را برای تطبیق TRM با MDM و DSM پیشنهاد می‌کند. فرآیند کلی چارچوب ترکیبی پیشنهادی ارائه‌شده شامل ۶ مرحله است:

در مرحله نخست، یک حوزه هدف کلی انتخاب و لایه‌ها و عناصر برای توسعه TRM تعریف می‌شوند. برای عناصر، در این مرحله می‌توان از رویکردهای سنتی نقشه‌برداری برای شناسایی بازار، محصول و عناصر فناوری استفاده کرد. معمولاً سه لایه‌ی فناوری، محصول (خدمت)، بازار در نظر گرفته می‌شود و یا از نظر فال[1] (۲۰۰۹)، می‌توان لایه‌ها را منابع، علوم، فناوری، سیستم، خدمت، محصول، کسب‌وکار و بازار و یا بسته به شرایط سازمان در نظر گرفت. در مرحله دوم، تجزیه‌وتحلیل عمیق انجام می‌شود. در این مرحله، روابط و تعاملات بین این عناصر بر اساس چارچوب ترکیبی قانون استنتاج فازی و ماتریس چنددامنه و DSM با توجه ویژه به تعیین اهمیت نسبی پیوند بررسی می‌شود؛ بنابراین برای شناسایی دقیق روابط و تعاملات بین عناصر و نیز تکمیل ماتریس‌ها ابتدا ازکارگاه خبرگان[2] و سپس استنتاج فازی استفاده می‌شود و خروجی آن پس از فازی‌زدایی در جدول‌های MDM و DSM قرار می‌گیرد. در مرحله سوم، برای تعیین اولویت عناصر، تجزیه‌وتحلیل شبکه و نیز خوشه‌بندی و پارتیشن‌بندی صورت می‌گیرد. در مرحله چهارم، TRM بر اساس روابط اولویت‌بندی‌شده بین عناصر در مرحله ۳ و ساختار نهایی لایه‌ها توسعه می‌یابد. در مرحله پنجم، نوع نقشه راه نهایی می‌شود و در مرحله ششم، نتایج TRM ترسیم و بصری‌سازی انجام می‌شود. چارچوب ترکیبی پیشنهادی در شکل ۸، ارائه شده است.

1. Phaal
2. Expert Workshop



شکل ۸ فرایند کلی برای نقشه‌برداری فناوری

مراحل چارچوب پیشنهادی در بخش زیر به‌تفصیل بیان شده است:

فرآیند TRM

مراحل کلی:

مرحله ۱: انتخاب یک حوزه هدف کلی و تعریف لایه‌ها و عناصر TRM؛

مرحله ۲: تجزیه‌وتحلیل روابط بین عناصر: ۲-۱: کارگاه خبرگان؛ ۲-۲. استنتاج فازی؛ ۲-۳. ایجاد ماتریس‌های ساختار طراحی و ماتریس چنددامنه DSM MDM؛

مرحله ۳: تنظیم اولویت‌های عناصر بر اساس ارتباطات (خوشه‌بندی و پارتیشن‌بندی)؛

مرحله ۴: توسعه TRM بر اساس روابط اولویت‌بندی‌شده بین عناصر؛

مرحله ۵: انتخاب نوع TRM؛

مرحله ۶: ترسیم و بصری‌سازی نتایج TRM.

مراحل تفصیلی:

مرحله ۱: انتخاب یک حوزه هدف کلی و تعریف لایه‌ها و عناصر TRM

TRM در حوزه‌های کلیدی و هسته‌های فناوری و کسب‌وکار توسعه می‌یابد که در آن یک سازمان ممکن است بر منابع انسانی و مالی و همچنین زمان آن تمرکز کند. یک منطقه هدف باید هر سه عنصر محصولات، خدمات و فناوری‌هایی که در آن تعاملات میان سه نوع عنصر نسبتاً قوی و ضروری برای ایجاد ارزش برای مشتریان هستند را شامل شود.

هنگامی‌که یک هدف TRM ایجاد شد، یک چارچوب زمانی TRM تعیین می‌شود و چشم‌انداز هدف TRM در انتهای قاب زمان ایجاد می‌گردد. این چشم‌انداز نقش مهمی در

برنامه‌ریزی ایفا می‌کند که اساس آن محصول، عناصر خدماتی و فناوری است و سازمان باید در آینده به‌دست آورد؛ ازاین‌رو باید اهدافی را که سازمان در حال طراحی است با راهبرد بلندمدت سازمان‌دهی هم‌تراز کند. علاوه بر این باید به‌درستی بیان و تفسیر شود تا بتوان آن را به‌صورت صریح‌تر توضیح داد؛ زیرا TRM یک ابزار ارتباطی است.

در مرحله نخست، مراحل به‌ترتیب حوزه هدف، چارچوب زمانی، چشم‌انداز، برگزاری کارگاه تخصصی برای شناسایی لایه‌ها و عناصر TRM هستند و در پایان پس از تعیین عناصر نقشه راه با استفاده از اصطلاحات و ارزش‌های زبانی اهمیت هر عنصر و نیز ارتباط مطابق جدول ۲، در کارگاه خبرگان مشخص می‌شود و نتایج با استفاده از اعداد مثلثی و ذوزنقه‌ای فازی می‌شوند.

جدول ۲. اصطلاحات و ارزش‌های زبانی و دامنه هر یک و متغیرهای تعریف‌شده

اهمیت عناصر y x				**روابط بین عناصر z**				**اهمیت نسبی s**	
اصطلاحات زبانی	ارزش عددی	عنوان		اصطلاحات زبانی		ارزش عددی		اصطلاحات زبانی	ارزش عددی
		X	Y			Z			S
اصلاً مهم نیست	۱، ۲، ۳	A1	B1	خیلی کم	۱، ۲، ۳	S1	خیلی کم	۱، ۲، ۳	D1
خیلی مهم نیست	۲، ۳، ۴	A2	B2	کم	۳، ۴، ۵	S2	کم	۳، ۴، ۵	D2
تقریباً مهم	۴، ۵، ۶، ۷	A3	B3	متوسط	۴، ۵، ۶، ۷	S3	متوسط	۴، ۵، ۶، ۷	D3
بسیار مهم	۷، ۸، ۹	A4	B4	بالا	۵، ۶، ۷، ۸	S4	بالا	۵، ۶، ۷، ۸	D4
بسیار بسیار مهم	۸، ۹، ۱۰	A5	B5	بسیار بالا	۷، ۸، ۹، ۱۰	S5	بسیار بالا	۷، ۸، ۹، ۱۰	D5

مرحله ۲: تجزیه‌وتحلیل روابط بین عناصر

این مرحله از مهم‌ترین مراحل ایجاد TRM است؛ بنابراین با تعداد زیاد عناصر و نیز پیچیدگی ارتباطات و تعاملات بین عناصر و لایه‌ها این مرحله، مهم‌ترین و پیچیده‌ترین بخش در TRM است. ازاین‌رو ابزارهای پیچیده همچون استنتاج فازی و نیز MDM مورداستفاده قرار می‌گیرند.

در این مرحله به بررسی و تجزیه‌وتحلیل اهمیت نسبی روابط و تعاملات بین این عناصر بر اساس چارچوب استنتاج فازی و ماتریس چنددامنه و DSM با توجه ویژه به تعیین اهمیت نسبی پیوند پرداخته می‌شود؛ بنابراین برای شناسایی دقیق روابط و تعاملات بین عناصر و نیز تکمیل ماتریس‌ها ابتدا کارگاه خبرگان و سپس استنتاج فازی (نوع ممدانی با نرم‌افزار متلب) انجام گرفته و خروجی آن پس از دی‌فازی کردن در جدول‌های MDM و DSM قرار می‌گیرد و با تحلیل شبکه بررسی می‌شود. در پایان مرحله دوم MDM آماده می‌گردد.

برای استفاده از چارچوب سیستم استنتاج فازی، ابتدا بین هر دو عنصری که در کارگاه خبرگان ارتباطی بین آن‌ها وجود دارد، درجه اهمیت با قوانین «اگر، آنگاه» بر اساس دو اصل درجه اهمیت و درجه ارتباط اندازه‌گیری می‌شود، درجه اهمیت دو عنصر (X و Y) و درجه ارتباط بین دو عنصر که Z نام‌گذاری شده است.

متغیرهای ورودی برای محاسبه اهمیت عناصر، درجه اهمیت عنصر قبلی، یعنی X و میزان اهمیت عنصر بعدی، یعنی Y و درجه ارتباط بین دو عنصر، یعنی z هستند؛ درحالی‌که متغیر خروجی متغیر S اهمیت نسبی پیوند(ها) و ارتباط خواهد بود که سه حالت بالا، متوسط و پایین را خواهد گرفت؛ سپس برای هر عنصر، دو قاعده «اگر، آنگاه» برای تحلیل اهمیت نسبی استفاده می‌شود. در پیوند X-Y اولین قانون بر اهمیت X و Y تمرکز دارد (قاعده ۱)؛ درحالی‌که مورد دوم اهمیت X و میزان رابطه X و Y را در نظر می‌گیرد (قاعده ۲). جدول ۳، نمونه‌ای از این قوانین را نشان می‌دهد.

جدول ۳ . مثال قواعد استنتاج فازی

Rule 1: If x is A5 and y is B5 Then S is S5	قاعده ۱: اگر x=A5 و y=B5 باشد S = S5 اهمیت نسبی بسیار بالا است.
Rule 2: If x is A4 and z is S3 Then S is S3	قاعده ۲: اگر x=A4 و Z=S3 باشد S = S3 اهمیت نسبی متوسط است.

این قوانین به‌طورکلی توسط خبرگان بر اساس تجربه‌ها و بینش‌های آن‌ها تدوین می‌شود. سرانجام عملیاتی با تابع هدف حداکثر حداقل پیشنهادشده توسط ممدانی برای محاسبه مقدار خروجی اتخاذ می‌شود که در این عمل، ارزش‌های مهم توسط این دو قانون ارزیابی شده و در یکدیگر ادغام می‌شوند. مقدار خروجی حاصل از استنتاج فازی نرم‌افزار متلب با استفاده از روش مرکز ثقل COG فازی‌زدایی می‌شود. یک روند دقیق از استنتاج فازی از نوع ممدانی در پژوهش امین‌دوست و همکاران (۲۰۱۲)، توضیح داده شده است [۱]. در پایان این مرحله اعداد پس از فازی‌زدایی در ماتریس DSM و MDM قرار می‌گیرند.

مرحله ۳: تنظیم اولویت‌های عناصر بر اساس ارتباطات (خوشه‌بندی و پارتیشن‌بندی)

در مرحله سوم اولویت عناصر بر اساس تجزیه‌وتحلیل شبکه با خوشه‌بندی و پارتیشن‌بندی DSM و ماتریس چنددامنه انجام می‌شود. هدف این مرحله، اولویت‌بندی عناصر بر اساس روابط مشخص‌شده در گام دوم است، جایی که تکنیک‌های پارتیشن‌بندی (بازمرتب‌سازی) خوشه‌بندی اعمال می‌شود و اولویت‌های عناصر بر اساس آن مرتب‌سازی می‌شوند. در این مرحله از نرم‌افزارهای نتدراو[۱]، یوسی نت[۲]، اکسل[۱]، وسویوور[۲]، لومئو[۳] و متلب[۴] استفاده‌شده است.

1. Netdraw
2. Ucinet

تجزیه‌وتحلیل پارتیشن‌بندی تعیین می‌کند که کدام عناصر به‌ترتیب بیشترین اولویت را در بین هر دو عنصر دارند؛ بنابراین پارتیشن‌بندی، عناصر را دوباره مرتب می‌کند تا مقادیر بیشتر از ۱ در بخش پایین قطر اصلی مثلث قرار گیرند؛ بنابراین مقادیر ۱ در یک ماتریس مرتب‌شده در قسمت پایین یا در اطراف قطر اصلی ماتریس قرار می‌گیرد[۵۱].

در مطالعه موردی سعی شده است از روش‌های مختلف خوشه‌بندی ماتریس DSM و MDM استفاده شود.

مرحله ۴: توسعه TRM بر اساس روابط اولویت‌بندی‌شده بین عناصر

گام بعدی پیاده‌سازی TRM بر اساس روابط اولویت‌بندی‌شده بین عناصر است. برای انجام این کار، ساختار لایه‌ها و زیرلایه‌ها باید بر اساس ماتریس و شبکه پارتیشن‌بندی و خوشه‌بندی‌شده طراحی نهایی شود.

معمولاً لایه‌ی فناوری در پایین TRM قرار می‌گیرد. پس‌ازآن، لایه های محصول و لایه خدمات و لایه های دیگر در صورت وجود قرار می‌گیرند.

معمولاً TRM یک فرم مرتب از سه لایه را به‌ترتیب خدمات، محصول و فناوری از بالا به پایین به خود می‌گیرد؛ سپس عناصر TRM بر روی نقشه قرار می‌گیرند.

مرحله ۵: انتخاب نوع و ایجاد TRM

در این مرحله نوع، فرمت، هدف و کاربرد، راهبردها و ابعاد زمانی و لایه‌ها نهایی شده و بر اساس خروجی گام ۴ نقشه اکثراً به‌صورت دستی روی کاغذ نهایی می‌شود (شکل ۹).

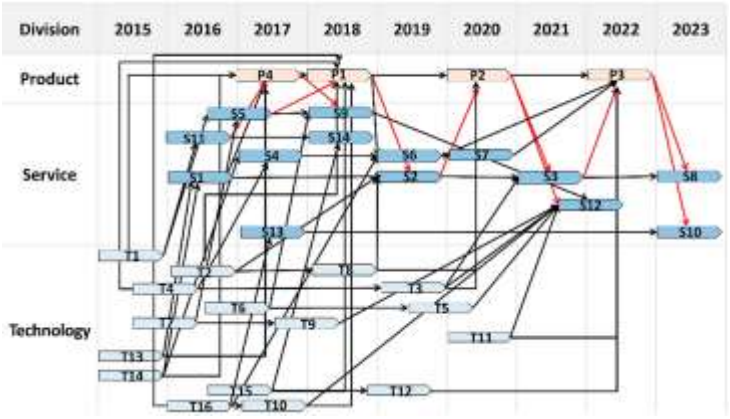
شکل ۹. نمونه TRM کاغذی

مرحله ۶: ترسیم و بصری سازی نتایج TRM

در مرحله پایانی نتایج طراحی و توسعه TRM با فرمت و هدف و کاربرد در نظر گرفته شده با ابزار مناسب ترسیم می‌شود (شکل۱۰).

---

1. Excel
2. Vosviewer
3. Loomeo
4. Matlab



شکل ۱۰. نمونه TRM/الکترونیکی

مزایای چارچوب پیشنهادی. چارچوب پیشنهادی بر اهمیت تحلیل روابط بین عناصر نقشه راه تأکید کرده و تحلیل روابط بین عناصر TRM را بیش‌ازپیش نمایان می‌کند؛ بنابراین می‌تواند به شرکت‌ها و سازمان‌ها کمک کند تا عناصر اصلی TRM خود را بر اساس استنتاج فازی، شبکه و تحلیل ماتریسی بر اساس ساختار عناصر و انواع روابط بین عناصر که می‌تواند به سه شکل روابط مستقل، وابسته و جفت شده باشند، شناسایی کنند. این مقاله در مقایسه با رویکردهای متعارف طراحی نقشه راه که تنها به‌صورت صفر و یک (آیا رابطه‌ای وجود دارد یا خیر) به وجود رابطه می‌پردازند، یک روش تفصیلی با درجه اهمیت ارتباطات ارائه کرده است؛ به‌علاوه این رویکرد مبتنی بر تکنیک‌هایی است که پیاده‌سازی آن‌ها نسبتاً آسان است و فرایند تصمیم‌گیری مدیران را در کنار متخصصان و خبرگان نقشه راه ساده‌تر می‌کند. استفاده از تکنیک‌های بسیار پیچیده در هنگام تهیه نقشه راه ممکن است ارزش عملی آن‌ها را کاهش دهد. در مقایسه خروجی چارچوب پیشنهادی با مطالعه سان و همکاران (۲۰۱۸)، با توجه به مراحل و داده‌های بیشتر، با استفاده توأم از ابزارها، نتایج به واقعیت نزدیک‌تر است و نیز تحلیل‌های بیشتری را در اختیار مدیران قرار می‌دهد؛ همچنین مزایای بصری‌سازی و تحلیل نقشه MDM نیز از دیگر مزایا در مقایسه با دیگر مطالعات هستند. این رویکرد را می‌توان در کنار روش‌های دیگر نقشه راه به‌طور مستقل استفاده کرد.

۴. تحلیل داده‌ها و یافته‌های پژوهش

مطالعه موردی. با توجه به عدم‌دسترسی به TRM چندلایه به‌منظور پیاده‌سازی چارچوب پیشنهادی، یک مثال فرضی با سه فناوری (T1, T2, T3) و سه محصول (P1, P2, P3) و سه خدمت (S1, S2, S3) در نظر گرفته شده است. در ادامه، مراحل چارچوب پیاده‌سازی می‌شود و نتایج تجزیه‌وتحلیل به‌منظور پیاده‌سازی چارچوب در عمل ارائه خواهد شد. در مراحل مختلف

چارچوب پیشنهادی، نرم‌افزارهای نتدراو، یوسی نت، اکسل، وسویوور، لومئو و متلب به‌کار رفته است.

در ادامه مراحل طراحی و توسعه نقشه با جزئیات ارائه می‌شود:

مرحله ۱: انتخاب یک حوزه هدف کلی و تعریف لایه‌ها و عناصر TRM. مطابق جدول ۴، پس از تعیین عناصر و لایه‌ها توسط خبرگان، درجه اهمیت هر یک از عناصر با طیف لیکرت از ۱ تا ۱۰ مشخص می‌شود.

جدول ۴. درجه اهمیت هر یک از عناصر توسط خبرگان

عنوان عنصر	t1	t2	t3	p1	p2	p3	s1	s2	s3
اهمیت هر عنصر	۹	۸/۹	۹/۶	۹/۰	۸/۲	۸	۹/۸	۹	۸/۵

درجه اهمیت هر یک از ارتباطات بین عناصر با طیف لیکرت از ۱ تا ۱۰، مطابق جدول ۵، توسط خبرگان مشخص می‌شود که در اینجا ۱۵ ارتباط وجود دارد.

جدول ۵. درجه اهمیت هر یک از ارتباطات بین عناصر توسط خبرگان

عنوان ارتباط	t1p1	t2t3	t2s2	t3t1	t3s2	t3s3	p1t1	p1s1	p2p3	p2s3	s1p1	s2t1	s2t3	s2p1	s2s1	s3p2
اهمیت ارتباط	۹	۸/۸	۸/۵	۹/۵	۹/۶	۹/۷	۹/۸	۸/۸	۷/۲	۷	۹/۹	۹/۳	۸/۵	۹/۷	۹/۴	۸/۱

مرحله ۲: تجزیه‌وتحلیل روابط بین عناصر

ـ کارگاه خبرگان؛

ـ استنتاج فازی؛

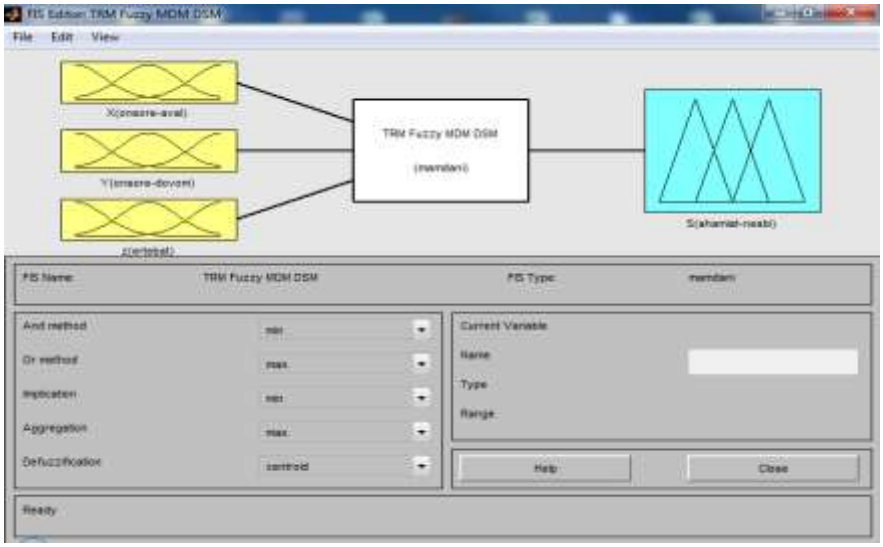
ـ ایجاد ماتریس‌های ساختار طراحی و ماتریس چنددامنه DSM MDM.

در این مرحله، اهمیت نسبی روابط با روش‌های استنتاج فازی تجزیه‌وتحلیل و بررسی می‌شود. نتایج اهمیت نسبی روابط (حاصل از استنتاج فازی) در جدول ۶ ارائه شده است.

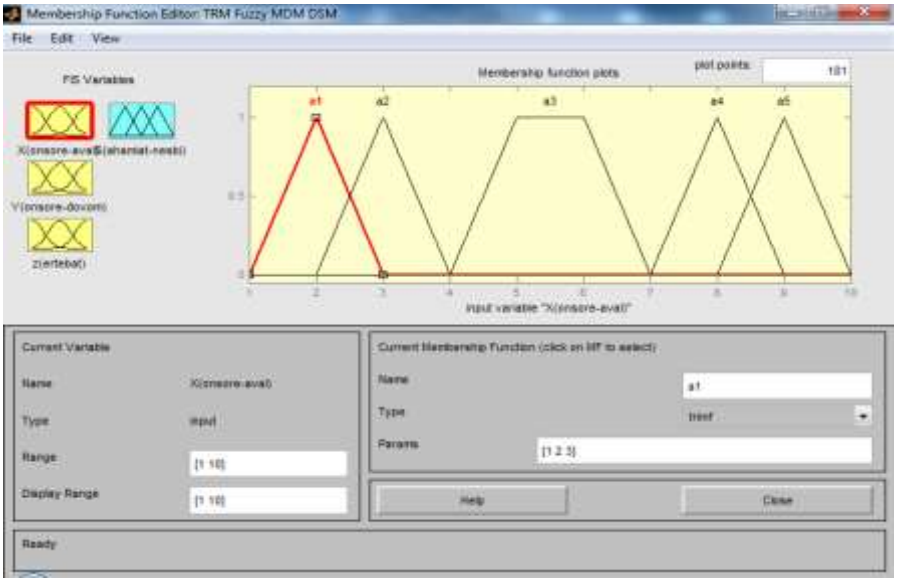
جدول ۶. نتایج اهمیت نسبی روابط (حاصل از استنتاج فازی)

عنوان ارتباط	t1p1	t2t3	t2s2	t3t1	t3s2	t3s3	p1 t1	p1s1	p2p3	p2s3	s1p1	s2t1	s2t3	s2p1	s2s1	s3p2
اهمیت نسبی روابط (حاصل از استنتاج فازی)	۸/۵	۸/۵	۸	۷/۴	۷/۳	۸/۱	۷/۹	۸/۵	۸/۲	۷/۵	۷/۸	۸/۱	۷/۶	۷	۷/۴	۷/۱

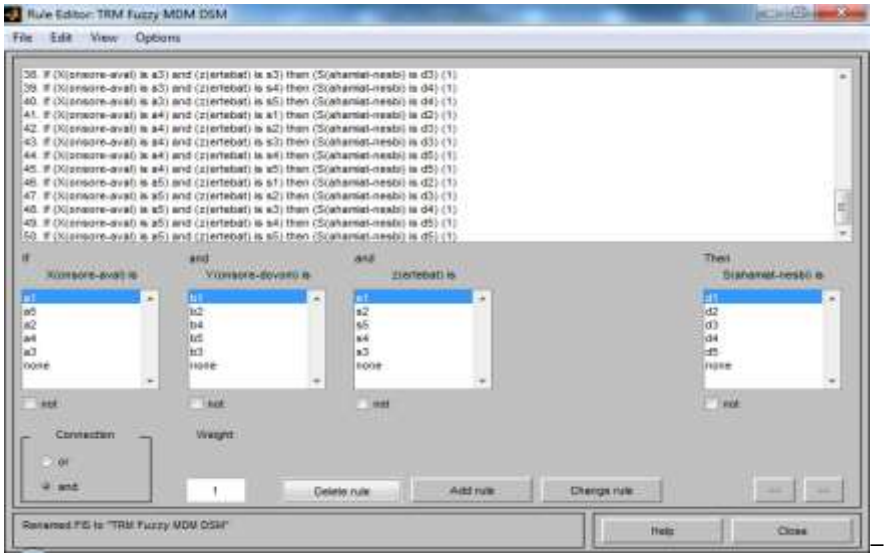
خروجی نتایج پیاده‌سازی با نرم‌افزار متلب مطابق شکل‌های ۱۱ تا ۱۸ است. شکل ۱۱، تعریف متغیرهای ورودی استنتاج فازی و شکل ۱۲، تعریف توابع عضویت هر یک از متغیرهای استنتاج فازی است. برای استنتاج فازی ۴ متغیر (سه متغیر ورودی X، Y، Z) و یک متغیر خروجی S مطابق شکل ۱۰ و شکل ۱۱، با توابع عضویت در نظر گرفته شده است. شکل ۱۲، تعریف قواعد را نشان می‌دهد و شکل‌های ۱۳ و ۱۴، خروجی قواعد هستند.



شکل ۱۱. تعریف متغیرهای ورودی استنتاج فازی



شکل ۱۲. تعریف توابع عضویت هر یک از متغیرهای استنتاج فازی



تعریف قواعد در نرم‌افزار

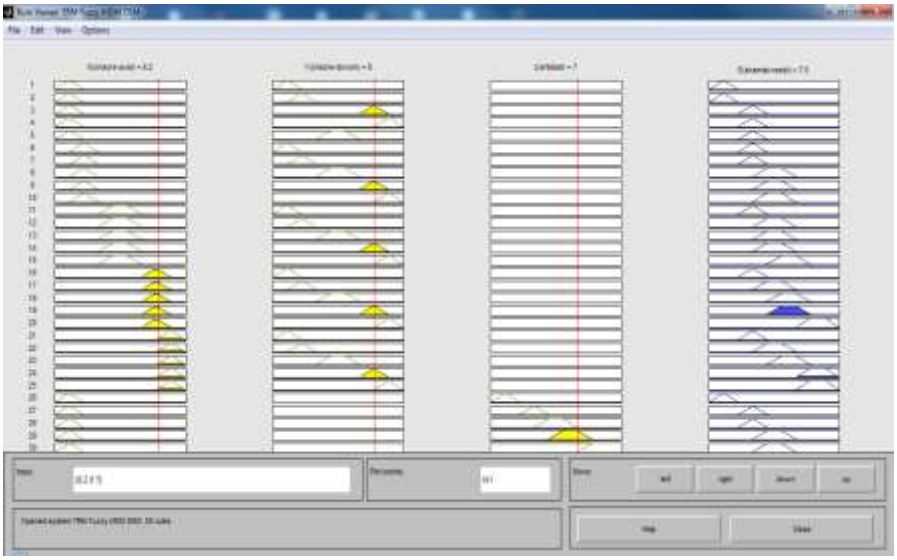
x y	A1	A2	A3	A4	A5
B1	D1	D2	D2	D2	D2
B2	D1	D2	D3	D3	D3
B3	D2	D3	D3	D4	D4
B4	D2	D3	D3	D4	D5
B5	D2	D3	D4	D5	D5

قواعد نوع ۱

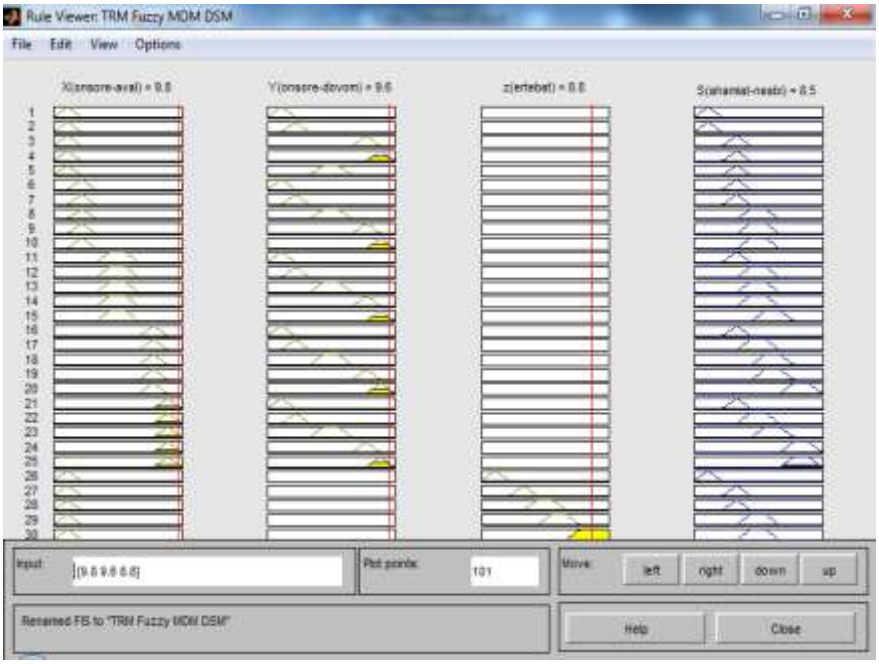
x z	A1	A2	A3	A4	A5
S1	D1	D1	D2	D2	D2
S2	D2	D2	D2	D3	D3
S3	D2	D3	D3	D3	D4
S4	D3	D3	D4	D5	D5
S5	D3	D4	D4	D5	D5

قواعد نوع ۲

شکل ۱۳. تعریف ۵۰ قاعده نوع ۱ و ۲



شکل ۱۴. خروجی استنتاج فازی



شکل ۱۵ . خروجی استنتاج فازی

ماتریس‌های MDM و DSM در جدول‌های ۷ و ۸، ارائه شده است.

جدول ۷. *MDM*

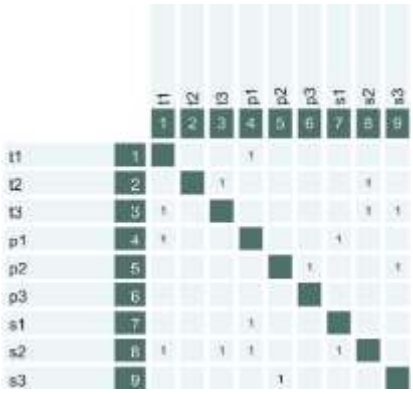
		حوزه۱ فناوری			حوزه۲ محصول			حوزه۳ خدمات		
	MDM	t1	t2	t3	p1	p2	p3	s1	s2	s3
حوزه ۱ فناوری	t1	۰	۰	۰	۱	۰	۰	۰	۰	۰
	t2	۰	۰	۱	۰	۰	۰	۰	۱	۰
	t3	۱	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۱	۱
حوزه ۲ محصول	p1	۱	۰	۰	۰	۰	۰	۱	۰	۰
	p2	۰	۰	۰	۰	۱	۰	۰	۰	۱
	p3	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
حوزه ۳ خدمات	s1	۰	۰	۰	۱	۰	۰	۰	۰	۰
	s2	۱	۰	۱	۱	۰	۰	۱	۰	۰
	s3	۰	۰	۰	۰	۱	۰	۰	۰	۰

جدول ۸. *DSM*

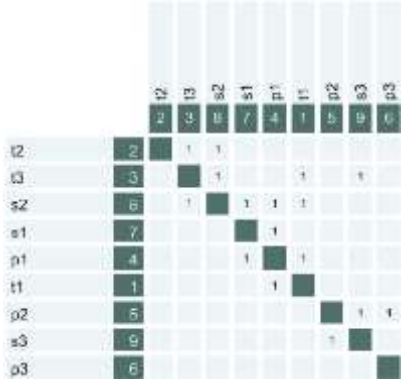
Dsm	t1	t2	t3	p1	p2	p3	s1	s2	s3
t1	۰	۰	۰	۱	۰	۰	۰	۰	۰
t2	۰	۰	۱	۰	۰	۰	۰	۱	۰
t3	۱	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۱	۱
p1	۱	۰	۰	۰	۰	۰	۱	۰	۰
p2	۰	۰	۰	۰	۱	۰	۰	۰	۱
p3	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
s1	۰	۰	۰	۱	۰	۰	۰	۰	۰
s2	۱	۰	۱	۱	۰	۰	۱	۰	۰
s3	۰	۰	۰	۰	۱	۰	۰	۰	۰

مرحله ۳: تنظیم اولویت‌های عناصر بر اساس ارتباطات (خوشه‌بندی و پارتیشن‌بندی).

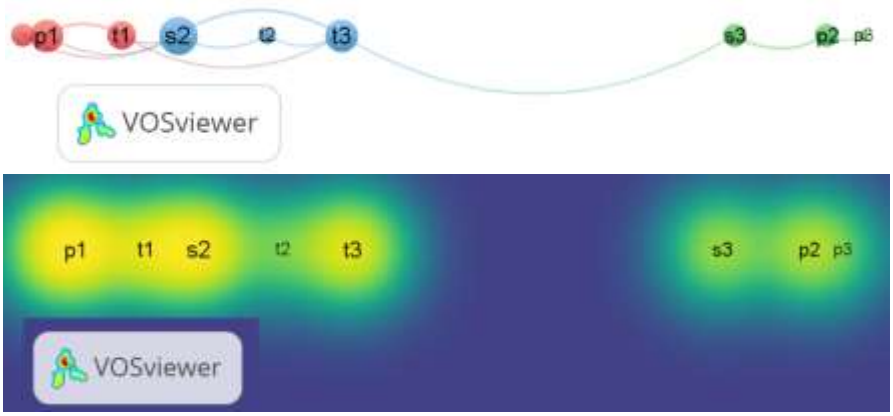
مطابق شکل ۱۸، نرم‌افزار ۳ خوشه (t2, t3, s2) خوشه (t1, p1, s1) خوشه (p2, p3, s3) را محاسبه کرده است.



شکل ۱۶ . شبکه اصلی قبل از پارتیشن‌بند



شکل ۱۷. شبکه اصلی بعد از پارتیشن‌بندی



شکل ۱۸. خوشه‌بندی شبکه با نرم‌افزار وسویور

مطابق شکل ۱۸، پس از پارتیشن‌بندی، ردیف و اولویت عناصر نیز مشخص می‌شود؛ بنابراین با توجه به الگوریتم پارتیشن‌بندی که به‌نوعی مرتب‌کردن مجدد ماتریس است (به‌طوری‌که مقادیر به عناصر قطر اصلی نزدیک شده و بازخوردها کمتر شود)، می‌توان ترتیب و اولویت‌بندی عناصر را نیز در نظر گرفت. برای نمونه، با توجه به شکل ۱۷، چون ردیف t2 قبل از ردیف t3 می‌باشد، اولویت فناوری ۲ بیشتر از فناوری ۳ است و در ادامه اولویت فناوری ۱ محاسبه شده است. برای تحلیل‌های بیشتر نیز می‌توان از ابزارهای تحلیل شبکه، همچون شاخص‌های کلان و خُرد استفاده کرد که در تحلیل نتایج نقشه به استفاده‌کنندگان و ارزیابی نقشه کمک می‌کند. تحلیل شبکه برای شاخص‌های کلان در جدول ۹، محاسبه شده است.

جدول ۹. مشخصات کلی گراف (شبکه) در نرم‌افزار نود ایکس ال

مشخصات گراف (شبکه)	مقدار
نوع نمودار	جهت‌دار
رئوس	۹
یال (لبه‌های) منحصربه‌فرد	۱۶
لبه‌ها با موارد تکراری	۰
مجموع لبه	۱۶
خود حلقه Self-Loop	۰
نسبت رأس جفت متقابل	۰/۳۳۳۳۳۳
نسبت لبه متقابل	۰/۵
اجزای متصل	۱
قطعات تک‌رأس متصل	۰
رئوس حداکثر در یک جزء متصل	۹
لبه حداکثر در یک جزء متصل	۱۶
حداکثر فاصله اقلیدسی (قطر)	۵
میانگین فاصله اقلیدسی	۲/۰۲۴۶۹۱
تراکم نمودار	۰/۲۲۲۲۲۲
ماژولار بودن	–

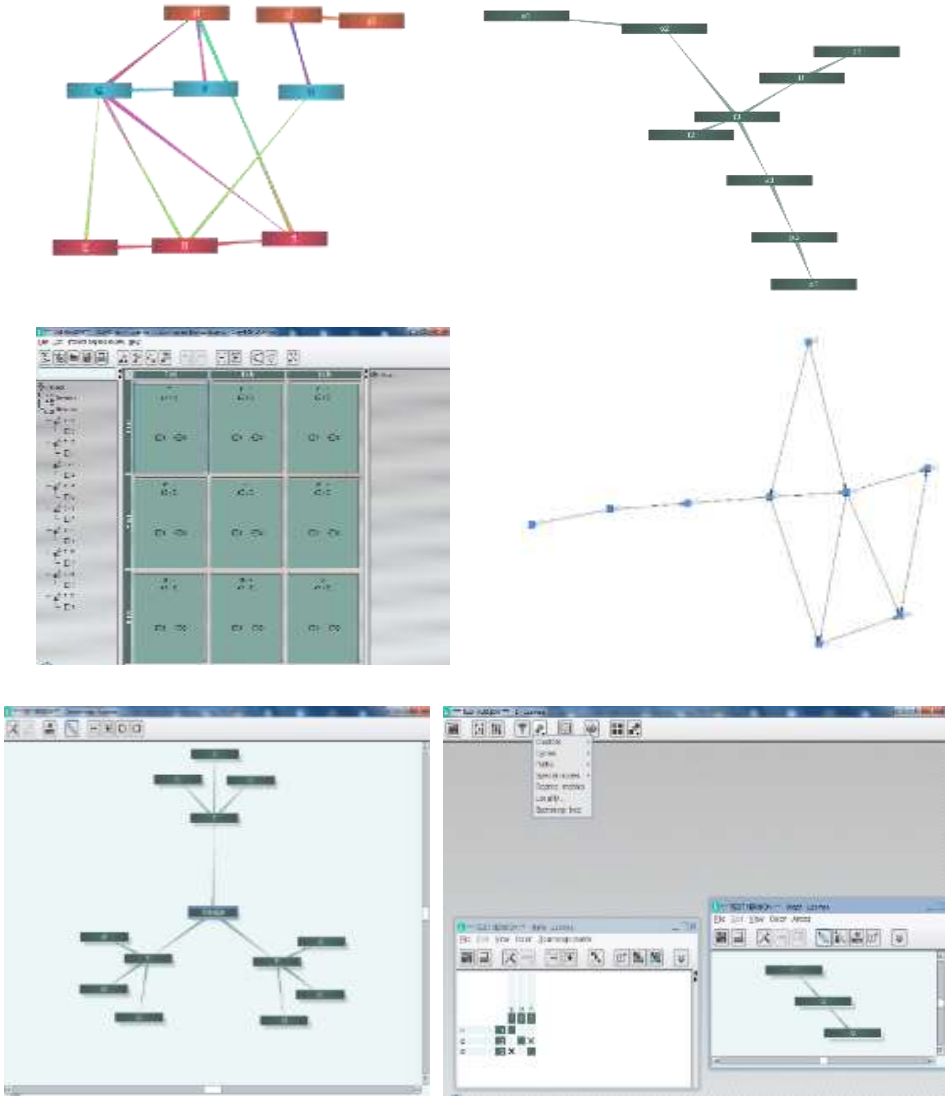
مرحله ۴: توسعه TRM بر اساس روابط اولویت‌بندی‌شده بین عناصر. در این مرحله، TRM بر اساس روابط اولویت‌بندی‌شده حاصل از مرحله‌ی ۳، بین عناصر پیاده‌سازی می شود. بدین منظور، ساختار لایه‌ها و همچنین محل قرارگیری لایه‌ها باید بر اساس ماتریس و شبکه‌ی خوشه‌بندی‌شده از شکل ۱۷، طراحی نهایی شد.

مرحله ۵: انتخاب نوع TRM.

در این مرحله نوع، فرمت، هدف و کاربرد، راهبردها و ابعاد زمانی و لایه‌ها نهایی می‌شود.

مرحله ۶: ترسیم و بصری‌سازی نتایج TRM.

در این مرحله، مطابق شکل ۱۹، خروجی نهایی نقشه با توجه به پارتیشن‌بندی و اولویت‌بندی و اهمیت روابط ترسیم شده است.



شکل ۱۹. خروجی نهایی نقشه با توجه به پارتیشن‌بندی و اولویت‌بندی و اهمیت روابط

۵. نتیجه‌گیری و پیشنهادها

این مطالعه یک فرایند توسعه TRM مبتنی بر فازی است که در آن هم‌زمان ترکیبی از استنتاج فازی، MDM و DSM و تحلیل شبکه برای بررسی اولویت‌بندی روابط بین عناصر TRM استفاده‌شده است. انتظار می‌رود چارچوب پیشنهادی تکمیل‌کننده رویکردهای نقشه‌برداری موجود باشد که بیشتر بر شناسایی عناصر TRM تمرکز دارند. هرچند در پژوهش‌های مختلفی به مبانی نظری و انواع نقشه راه فناوری و روش‌های مختلف تدوین آن اشاره شده است، اما یکی از

جنبه‌های نوآوری این پژوهش، استفاده هم‌زمان از استنتاج فازی و MDM با یک روش ترکیبی است. برخلاف مطالعات قبلی که از QFD یا شبکه ارتباطی برای بررسی روابط بین جفت لایه‌های محصول، خدمات و فناوری استفاده کرده‌اند، در این پژوهش MDM و DSM در TRM به‌کار رفت و به‌طور هم‌زمان روابط بین سه لایه بررسی شد. برای غلبه بر محدودیت‌های مطالعات قبلی، در این پژوهش با تمرکز بر روابط بین لایه‌ها با ترکیب مطالعه سان و لی (۲۰۱۸) و سان و همکاران (۲۰۱۷)، یک چارچوب پیشنهادی شش‌مرحله‌ای ارائه شده است. چارچوب پیشنهادی این مطالعه در مقایسه با رویکردهای توسعه TRM مرسوم و مطالعه قبلی مزیت‌هایی چون استفاده از قابلیت‌های MDM، استفاده هم‌زمان از MDM و استنتاج فازی و تحلیل شبکه و کاهش پیچیدگی روند توسعه TRM و ارزیابی روابط بین عناصر TRM توسط دو عامل، درجه اهمیت دو عنصر و قدرت روابط بین دو عنصر را دارا است. هرچند مراحل بیشتر چارچوب و نیاز به داده‌های بیشتر شاید از معایب آن باشد، ولی درنهایت اطلاعات دقیق‌تری برای طراحان نقشه و تصمیم گیران در اختیار می‌گذارد.

انتظار می‌رود که چارچوب پیشنهادی با ارائه راهنمایی در جهت اتصال عناصر TRM و قرارگیری لایه‌های TRM، پیچیدگی روند توسعه TRM را کاهش دهد؛ بنابراین چارچوب پیشنهادی، به‌ویژه در نقشه‌های راهبردی در مقیاس بزرگ که با انواع لایه‌های درهم‌تنیده مشخص می‌شوند، مفیدتر خواهد بود؛ ازاین‌رو با استفاده از نتایج استنتاج فازی از خبرگان در مرحله دوم، اطلاعات MDM و DSM دقیق‌تر و قابل استناد هستند. MDM هم‌زمان تجزیه‌وتحلیل کل نقشه و نیز تک‌تک ماتریس‌های ساختار طراحی و نیز ماتریس‌های نگاشت دامنه را در اختیار می‌گذارد. این پژوهش با محدودیت‌های مختلفی همراه بود: نخست اینکه حتماً روش پیشنهادی قابل‌بهبود است. قوانین استنتاج TRM امکان توسعه خواهند داشت. جمع‌آوری معیارهای دقیق و سفارشی برای ارزیابی اهمیت عناصر TRM به‌منظور پشتیبانی بهتر از فرایند تصمیم‌گیری متخصصان در هنگام تهیه TRM موردنیاز است. این چارچوب با تجزیه‌وتحلیل شبکه ادغام شد و بنابراین عناصر اصلی در ساختار شبکه شناسایی و شبکه بر اساس شاخص‌ها تحلیل شد. چارچوب پیشنهادی تنها یک برش اول TRM را ارائه می‌دهد؛ زیرا کاملاً تنها مبتنی بر اطلاعات ارتباطی است و TRM نهایی باید اطلاعات مربوط به زمان و هزینه همچون بودجه سالانه و منابع انسانی موجود و هدف محصولات و معرفی خدمات و غیره را در نظر گیرد. در یک محیط واقعی، اطلاعات بیشتری باید به نخستین برش TRM با برنامه‌ریزی دقیق اضافه شود. درنهایت روش‌های متعددی برای تسهیل و حمایت از چارچوب پیشنهادشده وجود دارد. ابزارهای تجاری مدیریت پروژه و ابزارهای نرم‌افزاری ماتریس طراحی محصول DSM برای توسعه ماتریس ارتباطی در دسترس هستند و برای تجزیه‌وتحلیل و تقسیم‌بندی و پارتیشن‌بندی می‌توان از آن‌ها استفاده کرد. پیشنهاد می‌شود با توجه به وجود ماهیت هم‌پوشانی بین برخی از لایه‌ها و

عناصر می‌توان انواع دیگر خوشه‌بندی را انجام داد. بااین‌حال این چارچوب را می‌توان به‌خوبی در یک سیستم TRM نیز ترسیم و مجسم کرد. در این پژوهش، استفاده از یک پنل متخصص و خبرگان برای تنظیم روابط میان عناصر TRM پیشنهاد شد؛ درحالی‌که مقادیر دودویی ۱ و صفر برای تعریف آن استفاده‌شده است؛ اما در طول فرایند، مشخص شد که همیشه این امکان تعریف روابط با سیستم عددی دودویی وجود ندارد. پیشنهاد دیگر استفاده از یک DSM عددی به‌جای DSM دودویی است؛ همچنین می‌توان از MDM فازی نیز در پژوهش‌های آتی بهره برد. برای اطمینان از اعتبار بیرونی چارچوب پیشنهادی باید مطالعات بیشتری صورت گیرد و نیز در شرکت‌ها و صنعت استفاده شود. چارچوب پیشنهادی را می‌توان با روش‌های مختلف دیگری مانند PERT و CPM بهبود بخشید. سیستم‌های موجود TRM عمدتاً بر نمایش و بصری‌سازی کردن مسیریابی و ارتباطات در TRM متمرکز شده است؛ درحالی‌که چارچوب پیشنهادی از جمع‌آوری داده‌ها برای نقشه‌برداری، به‌ویژه از کاربران مختلف در زمان تهیه TRM، پشتیبانی می‌کند.

منابع

1. Amindoust, A., Ahmed, S., Saghafinia, A., & Bahreininejad, A. (2012). Sustainable supplier selection: A ranking model based on fuzzy inference system. *Applied Soft Computing, 12(6),* 1668-1677.
2. An, Y., Lee, S., & Park, Y. (2008). Development of an integrated product-service roadmap with QFD. *International Journal of Service Industry Management, 19(5),* 621-638.
3. Browning, T. R. (2016). Design Structure Matrix Extensions and Innovations: A Survey and New Opportunities. *IEEE Transactions on Engineering Management, 63(1),* 27-52.
4. Browning, T. R., & Eppinger, S. D. (2002). Modeling impacts of process architecture on cost and schedule risk in product development. *IEEE Transactions on Engineering Management, 49(4),* 428-442.
5. Caetano, M., & Amaral, D. C. (2011). Roadmapping for technology push and partnership: A contribution for open innovation environments. *Technovation, 31(7),* 320-335.
6. Carlos, R., Amaral, D. C., & Caetano, M. (2018). Framework for continuous agile technology roadmap updating. *Innovation & Management Review, 15(3),* 321-336.
7. 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.
8. de Alcantara, D. P., & Martens, M. L. (2019). Technology Roadmapping (TRM): a systematic review of the literature focusing on models. *Technological Forecasting and Social Change, 138,* 127-138.
9. Daim, T. U., & Oliver, T. (2008). Implementing technology roadmap process in the energy services sector: A case study of a government agency. *Technological Forecasting and Social Change, 75(5),* 687-720.
10. Danilovic, M., & Browning, T. R. (2007). Managing complex product development projects with design structure matrices and domain mapping matrices. *International Journal of Project Management, 25(3),* 300-314.
11. Danilovic, M., & Sandkull, B. (2005). The use of dependence structure matrix and domain mapping matrix in managing uncertainty in multiple project situations. *International Journal of Project Management, 23(3),* 193-203.
12. Danilovic, M., & Sigemyr, T. (2003, October). DSM approach in early product development phases. In Proceedings of the 5th International Design Structure Matrix (DSM) Workshop, Oct (pp. 22-23).
13. Dunn, T. P., & Sussman, J. M. (2006). Design Structure Matrices to Improve Decentralized Urban Transportation Systems. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, 1978(1),* 193-200.
14. Garcia, M. L., & Bray, O. H. (1997). Fundamentals of technology roadmapping. Retrieved from http://dx.doi.org/10.2172/471364
15. Geum, Y., Jeon, J., & Seol, H. (2013). Identifying technological opportunities using the novelty detection technique: a case of laser technology in semiconductor manufacturing. *Technology Analysis & Strategic Management, 25(1),* 1-22.

16. Geum, Y., Lee, S., & Park, Y. (2014). Combining technology roadmap and system dynamics simulation to support scenario-planning: A case of car-sharing service. *Computers & Industrial Engineering, 71,* 37-49.
17. Geum, Y., Lee, S., Kang, D., & Park, Y. (2011). Technology roadmapping for technology-based product–service integration: A case study. *Journal of Engineering and Technology Management, 28(3),* 128-146.
18. Geum, Y., Lee, S., Kang, D., & Park, Y. (2011). The customisation framework for roadmapping product-service integration. *Service Business, 5(3),* 213-236.
19. 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.
20. Groenveld, P. (1997). Roadmapping Integrates Business and Technology. *Research-Technology Management, 40(5),* 48-55.
21. Herrera-Viedma, E., & Peis, E. (2003). Evaluating the informative quality of documents in SGML format from judgements by means of fuzzy linguistic techniques based on computing with words. *Information Processing & Management, 39(2),* 233-249.
22. Jeon, J., Lee, H., & Park, Y. (2011). Implementing technology roadmapping with supplier selection for semiconductor manufacturing companies. *Technology Analysis & Strategic Management, 23(8),* 899-918.
23. Jeong, Y., & Yoon, B. (2015). Development of patent roadmap based on technology roadmap by analyzing patterns of patent development. *Technovation, 39-40,* 37-52.
24. Jin, G., Jeong, Y., & Yoon, B. (2015). Technology-driven roadmaps for identifying new product/market opportunities: Use of text mining and quality function deployment. *Advanced Engineering Informatics, 29(1),* 126-138.
25. Kim, J., Park, Y., & Lee, Y. (2016). A visual scanning of potential disruptive signals for technology roadmapping: investigating keyword cluster, intensity, and relationship in futuristic data [Article]. *Technology Analysis & Strategic Management, 28(10), 1225*-1246.
26. Kusiak, A., & Wang, J. (1993). Decomposition of the Design Process. *Journal of Mechanical Design, 115(4),* 687-695.
27. 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.
28. Lee, C., Song, B., & Park, Y. (2015). An instrument for scenario-based technology roadmapping: How to assess the impacts of future changes on organisational plans. *Technological Forecasting and Social Change, 90,* 285-301.
29. Lee, J. H., Phaal, R., & Lee, S.-H. (2013). An integrated service-device-technology roadmap for smart city development. *Technological Forecasting and Social Change, 80(2),* 286-306.
30. Lee, S., Yoon, B., Lee, C., & Park, J. (2009). Business planning based on technological capabilities: Patent analysis for technology-driven roadmapping. *Technological Forecasting and Social Change, 76(6),* 769-786.
31. Lee, S., & Park, Y. (2005). Customization of technology roadmaps according to roadmapping purposes: Overall process and detailed modules. *Technological Forecasting and Social Change, 72(5),* 567-583.

32. Lindemann, U., & Maurer, M. (2007). Facing Multi-Domain Complexity in Product Development The Future of Product Development (pp. 351-361): Springer Berlin Heidelberg.
33. Lindemann, U., Maurer, M., & Braun, T. (2009). Methods for managing complex data in product design Structural Complexity Management (pp. 43-60): Springer Berlin Heidelberg.
34. Lindemann, U., Maurer, M., & Braun, T. (2009).Product design application Structural Complexity Management (pp. 143-154): Springer Berlin Heidelberg.
35. Martin, H., & Daim, T. U. (2012). Technology roadmap development process (TRDP) for the service sector: A conceptual framework. *Technology in Society, 34(1),* 94-105.
36. Moghbel Baarz, A., Azar, A., Taghavi, A., & Nahavandi, B. (2013). Representing a Methodology for Refinement of Strategic Objectives in Strategy Map Establishment: Combining Quality Function Deployment and Fuzzy Screening. J*ournal of Industrial Management Perspective, 3(Issue 3),* 9-38. (In Persian)
37. Narimani Ghutlar, E., Fegh-hi Farahmand, N., pilevar, N., Rahmani, K., Motadel, M. (2021). Design of fuzzy inference system for green supply chain evaluation of export manufacturing companies. *Journal of Industrial Management Perspective*, (In Persian)
38. Oliveira Valério, K. G. d., Sanches da Silva, C. E., & Neves, S. M. (2021). Overview on the technology roadmapping (TRM) literature: gaps and perspectives. *Technology Analysis & Strategic Management, 33(1),* 58-69.
39. Okhravi, A., & Shakibamanesh, A. (2019). Provide the model of technology roadmapping for an advanced system. *Journal of Technology Development Management, 7(1),* 91-118. (In Persian)
40. Park, H., Phaal, R., Ho, J.-Y., & O'Sullivan, E. (2020). Twenty years of technology and strategic roadmapping research: A school of thought perspective. *Technological Forecasting and Social Change, 154,* 119965.
41. Phaal, R., & Muller, G. (2009). An architectural framework for roadmapping: Towards visual strategy. *Technological Forecasting and Social Change, 76(1),* 39-49.
42. Phaal, R., Farrukh, C. J. P., & Probert, D. R. (2004). Technology roadmapping—A planning framework for evolution and revolution. *Technological Forecasting and Social Change, 71(1-2),* 5-26.
43. Phaal, R., Farrukh, C., & Probert, D. R. (2013). Technology Management and Roadmapping at the Firm Level Technology Roadmapping for Strategy and Innovation (pp. 13-29): Springer Berlin Heidelberg.
44. Phaal, R., O'Sullivan, E., Routley, M., Ford, S., & Probert, D. (2011). A framework for mapping industrial emergence. *Technological Forecasting and Social Change, 78(2),* 217-230.
45. Rezaei, E., Paydar, M., & Safaei, A. (2020). Implementation of Accelerating Benders Decomposition Algorithm for Supply Chain Considering New Product Development and Customer Relationship Management. *Journal of Industrial Management Perspective, 10(Issue 1),* 41-63 (In Persian)
46. Saritas, O., & Aylen, J. (2010). Using scenarios for roadmapping: The case of clean production. *Technological Forecasting and Social Change, 77(7),* 1061-1075.

47. Schafer, T., & Mezini, M. (2005). Towards More Flexibility in Software Visualization Tools. Paper presented at the 3rd IEEE International Workshop on Visualizing Software for Understanding and Analysis.
48. Shi, Q., & Blomquist, T. (2012). A new approach for project scheduling using fuzzy dependency structure matrix. *International Journal of Project Management, 30(4),* 503-510.
49. Son, H., Kwon, Y., Park, S. C., & Lee, S. (2017). Using a design structure matrix to support technology roadmapping for product–service systems. *Technology Analysis & Strategic Management, 30(3),* 337-350.
50. Son, W., & Lee, S. (2018). Integrating fuzzy-set theory into technology roadmap development to support decision-making. *Technology Analysis & Strategic Management, 31(4),* 447-461.
51. Steward, D. V. (1965). Partitioning and Tearing Systems of Equations. *Journal of the Society for Industrial and Applied Mathematics Series B Numerical Analysis, 2(2),* 345-365.
52. Suh, J. H., & Park, S. C. (2009). Service-oriented Technology Roadmap (SoTRM) using patent map for R&D strategy of service industry. *Expert Systems with Applications, 36(3),* 6754-6772.
53. Tseng, C. C., Torng, C. C., & Lin, S. C. (2010). Prioritization of product design tasks using QFD, TRIZ and DSM. *Paper presented at the 2010 IEEE 17Th International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management*.
54. Warfield, J. N. (1973). Binary Matrices in System Modeling. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, SMC-3(5),* 441-449.
55. Willyard, C. H., & McClees, C. W. (1987). Motorola's Technology Roadmap Process. *Research Management, 30(5),* 13-19.
56. Winkowski, C. (2020). Technology development roadmaps: a bibliometric analysis of scientific literature.
57. Yoon, B., & Phaal, R. (2013). Structuring technological information for technology roadmapping: data mining approach. *Technology Analysis & Strategic Management, 25(9), 1*119-1137.
58. Zadeh, L. A. (1965). Fuzzy sets. *Information and Control, 8(3),* 338-353.