

بهبود روش فناوری‌های کلیدی با استفاده از گسترش عملکرد کیفیت، تحلیل پوششی داده‌ها و منطق فازی

علی محقر^۱

محمدهادی خلوصی^{۲*}

سمیه خلوصی^۳

چکیده:

روش فناوری‌های کلیدی یک رویکرد مفید برای ارزیابی و رتبه‌بندی فناوری‌ها و یا مسیرهای تحقیقاتی است که به شکل گسترده‌ای در کشورهای متعددی بکار رفته است. از آن جا که در این روش ارزیابی فناوری‌ها بر اساس قضاوت افراد متخصص صورت می‌گیرد، دقت نتایج بسیار متأثر از نظرات خبرگان خواهد بود. بکارگیری روش گسترش عملکرد کیفیت فازی و استفاده از عبارات کلامی بجای اعداد قطعی می‌تواند نتایج روش مرسوم فناوری‌های کلیدی را بهبود بخشد. همچنین استفاده از روش تحلیل پوششی داده‌ها این امکان را فراهم می‌کند تا با درنظر گرفتن تمامی معیارها و برآیندگیری از نمرات ارزیابی، یک امتیاز کارایی برای هر فناوری محاسبه شود و رتبه‌بندی آن‌ها با سهولت بیشتری صورت پذیرد. رویکرد پیشنهادی به منظور شناسایی و اولویت‌بندی فناوری‌های توسعه‌ای در سازمان توسعه و نوسازی معادن و صنایع معدنی ایران پیاده‌سازی شده و کارکردهای آن مورد آزمون قرار گرفته است و بهبود نتایج نسبت به روش مرسوم مورد تایید خبرگان بخش می‌باشد. به این ترتیب فناوری‌ها با عناوین "فرآوری سنگ آهن به روش مغناطیسی"، "فرآوری سنگ آهن به روش خردایش و دانه‌بندی" و "تولید آهن اسفنجی به روش پرد" در سه اولویت اول قرار گرفته‌اند.

واژه‌های کلیدی:

فناوری‌های کلیدی، اولویت‌بندی فناوری، گسترش عملکرد کیفیت، تحلیل پوششی داده‌ها، منطق فازی

۱. عضو هیئت علمی دانشکده مدیریت دانشگاه تهران

۲. کارشناس ارشد مدیریت صنعتی، دانشکده مدیریت دانشگاه تهران

* نویسنده عهده دار مکاتبات: kholusi@ut.ac.ir

۳. کارشناس ارشد مدیریت صنعتی، دانشگاه تربیت مدرس

۱- مقدمه

شناسایی فناوری‌های نوظهور و سرمایه‌گذاری بر روی آن‌ها نقش مهمی در دستیابی به مزیت اقتصادی برای کشورها ایفا می‌کند به همین دلیل بسیاری از کشورها و سازمان‌ها به اجرا و پیاده‌سازی آینده‌نگری فناوری می‌پردازند (پارک و سان^۱، ۲۰۱۰). هدف اصلی از آینده‌نگری فناوری این است که فناوری‌های عمومی در حال ظهور شناسایی شود تا با سرمایه‌گذاری بر روی آن‌ها بزرگ‌ترین مزایای اجتماعی، اقتصادی ایجاد گردد (یونیدو^۲، ۲۰۰۵). اروین و مارتین، آینده‌نگری فناوری را یک تمرین سیستماتیک می‌دانند که هدف آن مشاهده بلند مدت‌تری از آینده فناوری علم و نوآوری است که در نهایت منجر به ایجاد تصمیمات سیاسی آگاهانه‌تر می‌شود (کارلو و فرمندا^۳، ۲۰۱۵). اکتشاف فرصت‌های آتی به منظور اولویت‌بندی سرمایه‌گذاری در فعالیت‌های علمی و نوآورانه، تغییر مسیر سیستم‌های علم و فناوری، در نظر گرفتن بازیگران جدید در مناظرات استراتژیک و ایجاد شبکه‌ها و پیوندهای جدید میان بازارها، بخش‌ها و زمینه‌های مختلف برخی از اهدافی هستند که با آینده‌نگری فناوری محقق خواهد شد (یونیدو، ۲۰۰۵).

ژاپن به عنوان کشور پیشرو در حوزه آینده‌نگری فناوری، اولین کشوری است که آینده‌نگری فناوری را در سطح ملی پیاده‌سازی کرد و این تمرین را از سال ۱۹۷۰ تاکنون به صورت منظم ادامه داده است (پارک و سان، ۲۰۱۰). بعد از ژاپن در اوایل ۱۹۸۰، کشور فرانسه شروع به اجرای تمرینات آینده‌نگری فناوری نمود. سپس در اواخر دهه ۱۹۸۰ کشورهایی مانند استرالیا، کانادا و سوئد تمرینات آینده‌نگری فناوری را پیاده‌سازی نمودند (یونیدو، ۲۰۰۵). سازمان توسعه صنعتی سازمان ملل متحد از سال ۲۰۰۱ با برپایی کارگاه‌های آموزشی در ایالات تازه استقلال یافته و اروپای مرکزی و شرقی به تبادل دانش و تجربیات در حوزه آینده‌نگری فناوری پرداخته‌اند (پارک و سان، ۲۰۱۰). کشورهای آسیایی نیز در این حوزه نیز فعالیت‌هایی انجام داده‌اند. وزارت علم و فناوری چین تمرینات آینده‌نگری فناوری در سطح ملی و با افق‌های زمانی متفاوت با استفاده از تحلیل دلفی پیاده‌سازی نمودند. آینده‌نگری فناوری که توسط وزارت علم و فناوری چین صورت گرفت مستقیماً به پروژه‌های تحقیق و توسعه در سطح ملی می‌پرداخت (یانگ^۴ و همکاران، ۲۰۰۴-اسکلوستینو و پارک^۵، ۲۰۰۶).

1 . Park & Son

2 . UNIDO

3 . Carlo & Fernanda

4 . Yang

5 . Schlosstein & Park

پارک و سان، ۲۰۱۰).

بررسی تاریخی تحول اقتصادی کشورهای توسعه یافته امروزی موید آن است که فناوری نقش محوری را در پیشرفت این جوامع ایفا نموده است و پیشرفت اقتصادی در گرو فناوری‌های نوین تولید است. در حال حاضر بخش اعظم تولیدات این کشورها را کالاهای صنعتی تشکیل می‌دهد (بانک جهانی، ۲۰۰۵). ادبیات مدیریت استراتژیک همواره به صورت کلی به مدیران توصیه می‌کند که برای حفظ مزیت رقابتی، فناوری‌های در حال اشباع را رها کنند و به سوی فناوری‌های جدید بروند (اسماعیلیان و همکاران، ۲۰۱۷).

از آنجا که بخش معدن و صنایع معدنی کشور بسیار متنوع و وسیع است پروژه‌های بهره برداری و توسعه‌ای متعددی نیز در این حوزه تعریف می‌شود به گونه‌ای که اجرای هر پروژه خود نیازمند بکارگیری فناوری جدیدی است. پیچیدگی فناوری‌های نوظهور و امکان‌پذیر بودن آن‌ها از یک طرف، جذابیت فناوری‌ها از طرف دیگر سیاست‌گذاران را با این سوال مواجه می‌سازد که کدام یک از فناوری‌های در حال ظهور می‌تواند به بهترین شکل پتانسیل‌های موجود در حوزه معدن و صنایع معدنی را شکوفا نماید و در عین حال ریسک‌های ناشی از انتخاب و سرمایه‌گذاری نامناسب در فناوری‌هایی که زمینه کافی برای توسعه و بهره برداری از آن‌ها وجود ندارد تا حد ممکن به حداقل برساند. یکی از اهدافی که سازمان توسعه و نوسازی معادن و صنایع معدنی ایران (ایمیدرو)^۱ دنبال می‌کند ارزیابی، انتخاب و توسعه فناوری‌هایی است که موجب توسعه هر چه بیشتر معادن و صنایع معدنی ایران شود. بنابراین مساله انتخاب فناوری‌های کلیدی، امری ضروری و بسیار حائز اهمیت می‌باشد.

روش فناوری‌های کلیدی یکی از متدهای روش آینده‌نگری فناوری است که به تعیین اولویت برای توسعه فناوری و یا هزینه‌های تحقیق می‌پردازد و به شکل گسترده‌ای در کشورهای متعددی مانند جمهوری چک، فرانسه، هلند و آمریکا استفاده شده است (یونیدو، ۲۰۰۵). وجود نظرات و قضاوت‌های خبرگان و ارزش‌گذاری این نظرات با اعداد قطعی می‌تواند دقت خروجی‌های این روش را به شکل قابل ملاحظه‌ای کاهش دهد. این پژوهش برای برطرف نمودن این مشکل روش گسترش عملکرد کیفیت فازی را پیشنهاد می‌کند. از طرف دیگر روش فناوری‌های بحرانی برای هر فناوری یک امتیاز امکان‌پذیر بودن و جذابیت تعیین می‌نماید. با رسم نمودار دو بعدی از تمامی فناوری‌ها، آن‌ها به سه گروه تقسیم‌بندی می‌شوند. گروه اول که در بالا و سمت راست نمودار قرار دارند، فناوری‌های کلیدی نامیده

شده و در مرحله اول انتخاب می‌شوند. گروه سوم که در قسمت پایین و سمت چپ نمودار قرار می‌گیرند فناوری‌هایی هستند که دارای امکان‌پذیری کم و جذابیت پایین هستند. این گروه از فناوری‌ها حذف می‌گردند. گروه دوم که در قسمت میانی نمودار قرار می‌گیرند فناوری‌هایی هستند که برخی از آن‌ها دارای امکان‌پذیری بالا و جذابیت کم و برخی دیگر دارای امکان‌پذیری کم و جذابیت بالا هستند. انتخاب از میان این مجموعه کار مشکلی است زیرا با افزایش یک معیار، معیار دیگر کاهش می‌یابد. بنابراین اینکه کدام معیار نسبت به معیار دیگر ارجحیت داشته باشد تصمیم حساسی است که توسط خبرگان اتخاذ می‌شود. انتخاب گزینه‌های مناسب برای فناوری‌های کلیدی به صورت کیفی صورت می‌گیرد و از طریق بحث و گفتگو میان خبرگان حاصل می‌شود. ارائه روشی که بتواند هر دو معیار جذابیت و امکان‌پذیر بودن را با هم در نظر بگیرد و به هر فناوری یک امتیاز از برآیند دو معیار جذابیت و امکان‌پذیر بودن تخصیص دهد می‌تواند به ارزیابی خبرگان در این مرحله بسیار کمک کند و دقت نتایج نهایی را با حذف خطای انسانی تا حد مطلوبی افزایش دهد. این پژوهش برای برطرف نمودن این مساله تحلیل پوششی داده‌ها و منطق فازی را پیشنهاد می‌کند. هدف تحقیق حاضر بهبود روش فناوری‌های کلیدی و برطرف نمودن نقاط ضعف این روش است تا در نهایت با بکارگیری رویکرد پیشنهادی، فرآیند ارزیابی و انتخاب فناوری‌های کلیدی با دقت و سهولت بیشتری صورت پذیرد. در ادامه مروری بر روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره در آینده‌نگری فناوری ارائه می‌شود سپس روش فناوری‌های کلیدی، گسترش عملکرد کیفیت فازی، تحلیل پوششی داده‌ها و رتبه‌بندی واحدهای تصمیم‌گیری با استفاده از مفهوم فازی تشریح می‌گردد (بخش ۲). رویکرد پیشنهادی در بخش ۳ و مطالعه موردی در بخش ۴ ارائه می‌گردد. نتیجه‌گیری و تحلیل نتایج در بخش پایانی (بخش ۵) ارائه می‌شود.

۲- مروری بر ادبیات موضوع

۲-۱- استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره در آینده‌نگری فناوری

سالو^۱ و همکاران معتقدند که روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره دارای پتانسیلی هستند که می‌توانند موجب قوی‌تر شدن و شفاف‌تر شدن فرآیند آینده‌نگری شوند. آن‌ها همچنین معتقدند که یکی از نقاط قوت روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره مبانی نظری این روش‌ها است که به عنوان یک مزیت در مقایسه با کارهایی که قبلاً در حوزه آینده‌نگری فناوری انجام شده است در نظر گرفته می‌شود (سالو و

همکاران، ۲۰۰۳- اندروس^۱ و همکاران، ۲۰۱۴). روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره به طور گسترده‌ای به استقرار فرآیندهای سیستماتیک می‌پردازد تا در نهایت مسائلی که دارای اهداف غیر قابل مقایسه و دارای چندین ذی نفع و تعارض منافع هستند را حل نماید (اندروس و همکاران، ۲۰۱۴). در اینجا به مرور تعدادی از مقالاتی که از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره در آینده‌نگری فناوری استفاده کرده‌اند پرداخته می‌شود.

محقق منتظری و همکاران در مقاله خود به بهینه‌سازی فرآیند انتخاب فناوری مورد نیاز برای سیستم شبکه هوشمند برق می‌پردازند. آن‌ها با استفاده از تصمیم‌گیری چندمعیاره و بکارگیری روش وزن‌دهی افزایشی ساده مهم‌ترین فناوری‌های مورد نیاز شبکه هوشمند برق را تعیین می‌کنند (محقق منتظری و همکاران ۲۰۱۷). زلفانی و همکاران در پژوهش دیگری مدلی ارائه می‌دهند که به انتخاب پروژه‌های تحقیق و توسعه از دیدگاه آینده‌نگری فناوری می‌پردازد. آن‌ها با استفاده از تکنیک نسبت ارزیابی وزن‌دهی تدریجی^۲ که یکی از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره است، معیارها و زیرمعیارهای تصمیم را ارزیابی و اهمیت هر معیار را به صورت اوزان نسبی مشخص می‌کنند (زلفانی و همکاران، ۲۰۱۵). اندروس و همکاران معتقدند که روش‌های آینده‌نگری فناوری که به جمع‌آوری نظرات خبرگان می‌پردازند اغلب به صورت غیر کامپیوتری بوده از اینرو آن‌ها با ترکیب روش‌های الکترونیک^۳ و مدل مجموع وزنی^۴ اقدام به طراحی یک سیستم پشتیبانی آینده‌نگری فناوری کرده‌اند. رویکرد پیشنهادی به صورت یک تمرین آینده‌نگری فناوری در بازار پرداخت‌های موبایل سوئیس اجرا شده است و نتایج نشان می‌دهد که استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره در کنار ابزارهای کامپیوتری می‌تواند فرآیند آینده‌نگری فناوری را بهبود بخشد (اندروس و همکاران، ۲۰۱۴). استریمکین^۵ و همکاران در تحقیق خود یک چارچوب پشتیبانی از تصمیم چندمعیاره ارائه می‌دهند و به کمک آن پایدارترین فناوری‌های تولید برق را انتخاب می‌کنند. از آنجا که انتخاب منابع انرژی پایدار یک مساله تصمیم‌گیری چندمعیاره با معیارهای متضاد می‌باشد آن‌ها از روش‌های مولتی‌مورا و تاپسیس^۶ در تحقیق خود استفاده کرده‌اند (استریمکین و همکاران، ۲۰۱۲). شن^۷ و همکاران در مقاله خود با بکارگیری روش‌های

1. Ondrus

2. SWARA

3. ELECTRE

4. Weight Sum Model

5. Streimikiene

6. MULTI MOORA & TOPSIS

7. Shen

دلفی فازی، دیمتل و فرآیند تحلیل شبکه^۱ یک مدل انتخاب فناوری را ارائه می دهند که با در نظر گرفتن جنبه های اقتصادی و صنعتی بتوان مناسب ترین فناوری ها را انتخاب نمود. همچنین آن ها با استفاده از رویکرد ثبت اختراع به شناسایی فناوری های کلیدی از میان داده های ثبت اختراع می پردازند (شن و همکاران ۲۰۱۱).

هکیون و چانگیون لی^۲ در پژوهش دیگری یک رویکرد سیستماتیک برای اولویت بندی پروژه های تحقیق و توسعه ارائه می دهند. آن ها از دو روش تحلیل پوششی داده ها و فرآیند تحلیل شبکه برای این منظور استفاده می کنند. به این صورت که ابتدا تحلیل فایده هزینه و تحلیل اجتماعی اقتصادی توسط روش تحلیل پوششی داده ها انجام می شود. تعدادی از فرآیندها در این مرحله غربالگری شده و فناوری های باقی مانده در مرحله دوم توسط روش فرآیند تحلیل شبکه و با معیارهایی جزئی تر ارزیابی و انتخاب می شود (هکیون و چانگیون لی، ۲۰۰۸).

۲-۲- روش فناوری های کلیدی

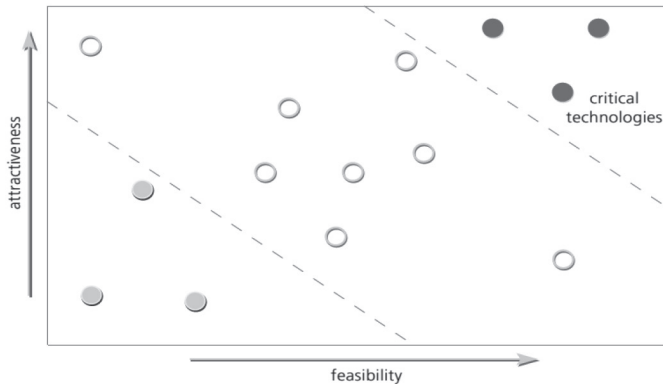
مطالعات آینده نگری فناوری معمولاً با هدف اولیه تعیین اولویت برای توسعه فناوری و یا اولویت بندی هزینه های تحقیقات انجام می شود. روش فناوری های کلیدی یکی از روش هایی است که به شناسایی فناوری های کلیدی و اولویت بندی آن ها می پردازد. این روش یک رویکرد مفید برای ارزیابی فناوری های گوناگون و یا مسیرهای تحقیقاتی است هنگامی که انتخاب اولویت ها وظیفه اصلی تمرینات آینده نگری فناوری باشد. استفاده از روش فناوری های کلیدی در موقعیت هایی که توصیه های مستقیم مجزا برای بحث در سطح سیاسی، اهداف اصلی هستند بسیار مفید است (یونیدو، ۲۰۰۵).

روش فناوری های کلیدی از چهار مرحله اصلی تشکیل می شود که شامل: ۱- انتخاب گروه خبرگان ۲- تهیه لیست اولیه از تمامی فناوری ها ۳- خوشه بندی و اولویت بندی فناوری ها که معمولاً با استفاده از روش های رای گیری انجام می شود ۴- جمع آوری و تهیه لیست نهایی فناوری های کلیدی در این روش فناوری ها بر اساس دو معیار جذابیت و امکان پذیر بودن ارزیابی شده و سپس در یک ماتریس دوبعدی نشان داده می شوند. میزان جذابیت یک فناوری از طریق مزایای اجتماعی، اقتصادی و فرصت های علمی مرتبط با هر فناوری تعیین می گردد و امکان پذیر بودن فناوری ها شامل

1 . DEMATEL & ANP

2 . Hakyeon & Changyong Lee

پتانسیل‌های پژوهشی و فناوری و توانمندی هر فناوری در جذب مزایای اجتماعی و اقتصادی می‌باشد. فرآیند ارزیابی به این صورت است که افراد خبره ارتباط بین فناوری‌ها را با معیارهای تعریف شده در یک طیف پنج تایی به صورت یکی از اعداد ۱، ۳، ۵، ۷، ۹، نمره‌دهی می‌کنند. پس از اتمام فرآیند ارزیابی، فناوری‌ها به صورت شکل ۱ طبقه‌بندی می‌شوند (یونیدو، ۲۰۰۵).



شکل ۱. جذابیت - امکان‌پذیری فناوری‌ها

تیگارت^۱ معتقد است که مزیت اصلی این روش پیاده‌سازی راحت آن است (تیگارت، ۲۰۰۳). کلوساسک^۲ در سال ۲۰۰۴ به پیاده‌سازی روش فناوری‌های کلیدی در کشور چک پرداخته است. این در حالی است که روش دلفی در آن زمان ستون فقرات چندین مطالعه آینده‌نگری فناوری در کشورهایی مانند ژاپن، انگستان و آلمان بود. وی علت استفاده نکردن از روش دلفی را زمان بر بودن این روش در مقایسه با روش فناوری‌های کلیدی عنوان می‌کند (کلوساسک، ۲۰۰۴). این روش دارای معایبی هم می‌باشد. تیگارت روش فناوری‌های کلیدی را یک روش غیر ساختار یافته می‌داند و معتقد است که نتایج بدست آمده از این روش متأثر از قوی‌ترین نظرات گروه خواهد بود (تیگارت، ۲۰۰۳).

قاضی نوری و همکاران در پژوهش خود از ماتریس توسعه یافته امکان‌پذیری - جذابیت روش فناوری‌های کلیدی استفاده کرده و فناوری‌ها را به چهار گروه کلی تقسیم می‌کنند به نحوی که به هر گروه از فناوری‌ها یک استراتژی عمومی تخصیص می‌یابد. آن‌ها معتقدند که بکارگیری ماتریس امکان‌پذیری - جذابیت برای تعیین استراتژی‌های عمومی هنگامی با مشکل مواجه می‌شود که تعدادی

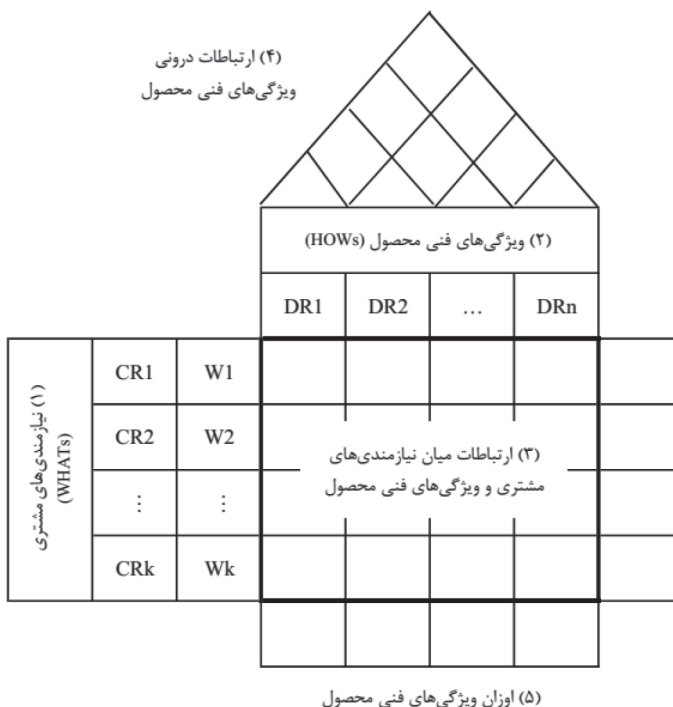
1 . Tegart

2 . Klusacek

از فناوری‌ها در نواحی حاشیه‌ای و مرز مشترک بین گروه‌ها قرار می‌گیرند. آن‌ها استفاده از اعداد فازی را برای رفع این مشکل پیشنهاد می‌کنند (قاضی نوری و همکاران، ۲۰۰۹).

۲-۳- گسترش عملکرد کیفیت فازی (FQFD)

گسترش عملکرد کیفیت یکی از مهمترین ابزارهای مدیریت کیفیت است که برای طراحی و توسعه محصول بکار می‌رود. هنگامی که در طراحی محصول از گسترش عملکرد کیفیت استفاده شود، بین خواسته‌های مشتریان و مشخصات فنی محصول ارتباط برقرار می‌شود و این ارتباط از طریق ماتریسی به نام خانه کیفیت (شکل ۲) به وجود می‌آید (راماناتان و یونفنگ^۱، ۲۰۰۹).



شکل ۲. ماتریس خانه کیفیت

۲-۳-۱- خواسته‌های مشتری: در قسمت (۱)، خواسته‌های مشتری و وزن مربوط به هر خواسته

نوشته می‌شود (مومنی، ۱۳۹۲).

۲-۳-۲- تشکیل ماتریس مقایسات زوجی: خواسته‌های مشتری به صورت دو به دو با هم مقایسه و میزان ارجحیت هر کدام نسبت به دیگری به صورت عبارات کلامی مشخص می‌گردد.
۲-۳-۳- محاسبه S_i : برای هر سطر از ماتریس مقایسات زوجی، مقدار S_i بر اساس رابطه (۱) محاسبه می‌گردد که در آن M_{ij} عنصر سطر i ام و ستون j ام در ماتریس مقایسات زوجی است.

$$S_i = \sum_{j=1}^n M_{ij} \otimes \left[\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n M_{ij} \right]^{-1} \quad (1)$$

۲-۳-۴- محاسبه درجه بزرگی: به طور کلی اگر $M_1 = (l_1, m_1, u_1)$ و $M_2 = (l_2, m_2, u_2)$ دو عدد فازی مثلثی باشند درجه بزرگی M_1 بر M_2 را با $V(M_1 \geq M_2)$ نشان می‌دهیم و به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$V(M_1 \geq M_2) = \begin{cases} 1 & m_1 \geq m_2 \\ \frac{u_1 - l_2}{(u_1 - l_2) + (m_2 - m_1)} & otherwise \end{cases} \quad (2)$$

میزان بزرگی یک عدد فازی مثلثی از k عدد فازی مثلثی دیگر نیز از رابطه (۳) بدست می‌آید:

$$V(M_1 \geq M_2, \dots, M_k) = \min[V(M_1 \geq M_2), \dots, V(M_1 \geq M_k)] \quad (3)$$

و برای محاسبه وزن خواسته‌های مشتری در ماتریس مقایسه زوجی از رابطه (۴) استفاده می‌شود:

$$W'(CR_i) = \min\{V(S_i \geq S_k)\} \quad k = 1, 2, \dots, n \quad k \neq i$$

$$W' = [W'(CR_1), W'(CR_2), \dots, W'(CR_n)]^T \quad (4)$$

۲-۳-۵- ویژگی‌های فنی محصول: در قسمت (۲)، ویژگی‌های فنی محصول نوشته می‌شود که هدف محاسبه وزن هر ویژگی فنی محصول می‌باشد.

۲-۳-۶- ماتریس ارتباطات (R): در قسمت (۳)، میزان ارتباط ویژگی‌های فنی محصول با خواسته‌های مشتری به صورت یک عبارت کلامی مطابق جدول ۱ تکمیل می‌شود.

جدول ۱. عبارات کلامی و اعداد فازی (منبع: بویلاکوا و همکاران، ۲۰۰۶)

ماتریس ارتباطات				
خیلی زیاد	زیاد	متوسط	کم	خیلی کم
(۸,۹,۱۰)	(۶,۷,۸)	(۴,۵,۶)	(۲,۳,۴)	(۰,۱,۲)

از آنجا که این ارتباطات توسط خبرگان تعیین می‌شود، ابتدا عبارات کلامی به اعداد فازی تبدیل شده و سپس از نظرات خبرگان مطابق رابطه (۵) میانگین‌گیری می‌شود:

$$r_{ij} = \frac{1}{n} \otimes (r_{ij1} + r_{ij2} + \dots + r_{ijn}) \quad (5)$$

وزن هر یک از ویژگی‌های فنی محصول با توجه به ارتباط خصوصیت مورد نظر با خواسته‌های مشتری به وسیله رابطه (۶) تعیین می‌گردد (بویلاکوا و همکاران، ۲۰۰۶).

$$W_j = \frac{1}{k} \otimes (r_{j1} \otimes w_1 + r_{j2} \otimes w_2 + \dots + r_{jk} \otimes w_k) \quad (6)$$

۲-۳-۷- قطعی‌سازی اعداد فازی: برای بدست آوردن مقدار قطعی وزن هر ویژگی فنی محصول که به صورت یک عدد فازی مثلی می‌باشد از رابطه (۷) استفاده می‌شود:

$$\frac{l + 2m + u}{4} \quad (7)$$

۲-۴- تحلیل پوششی داده‌ها و منطق فازی

تحلیل پوششی داده‌ها، روشی مبتنی بر برنامه ریزی خطی است. این روش برای ارزیابی کارایی نسبی واحدهای تصمیم‌گیری که وظایف یکسانی انجام می‌دهند، بکار می‌رود (مومنی، ۱۳۹۲). چنانچه n واحد تصمیم‌گیری داشته باشیم به طوری که هر واحد تصمیم‌گیری دارای m ورودی و s خروجی باشد آنگاه مدل CCR برای واحد P به صورت زیر تعریف می‌شوند:

(۸)

$$\begin{aligned}
 & \max \sum_{r=1}^s U_r y_{rp} \\
 & \text{s. t} \quad \sum_{i=1}^m v_i x_{ip} = 1 \\
 & \quad \sum_{r=1}^s U_r y_{rj} - \sum_{i=1}^m v_i x_{ij} \leq 0
 \end{aligned}$$

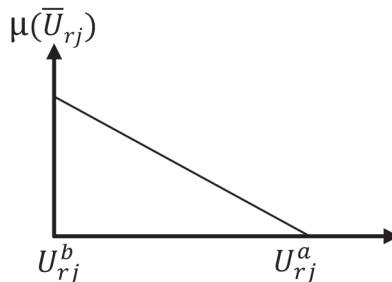
وزن داده شده به خروجی r ام، v_i : وزن داده شده به ورودی i ام، x_{ij} : مقدار ورودی i ام مربوط به واحد j ام، y_{ij} : مقدار خروجی i ام مربوط به واحد j ام. برای محاسبه کارایی تمامی واحدها، باید n مدل تشکیل و حل شود (راماناتان و یونفنگ، ۲۰۰۹). در بکارگیری مدل‌های کلاسیک معمولاً دو مشکل رخ می‌دهد. این دو مشکل شامل ضعف قدرت تفکیک و توزیع غیر واقعی وزن به ورودی و خروجی‌های مدل می‌باشد (مهرگان، ۱۳۹۱).

در این مقاله رویکردی بکار می‌رود که در آن با استفاده از منطق فازی به رفع این مشکلات می‌پردازد. این رویکرد شامل مراحل زیر می‌شود:

۱. امتیاز کارایی برای تمام واحدهای تصمیم‌گیری با استفاده از مدل کلاسیک تحلیل پوششی داده‌ها محاسبه می‌شود (مدل ۸).

۲. برای هر یک از اوزان مثبت مربوط به متغیرهای خروجی واحدهای تصمیم‌گیری یک تابع درجه عضویت به شرح زیر تعریف می‌گردد:

چنانچه $\bar{U}_{rj}$ ، متغیر فازی مرتبط با خروجی r ام از واحد تصمیم‌گیری j ام باشد آنگاه می‌توان آن را به صورت یک عدد فازی مثلثی با حد پایین U_{rj}^b و حد بالای U_{rj}^a و تابع درجه عضویت $\mu(\bar{U}_{rj})$ تعریف نمود (شکل ۳).



شکل ۳. عدد فازی مثلثی مرتبط با خروجی r ام

$$\mu(\bar{U}_{rj}) = \frac{U_{rj}^a - \bar{U}_{rj}}{U_{rj}^a - U_{rj}^b} \quad r \in k \quad k = \{r | U_{rj}^a > 0\} \quad (9)$$

در تشکیل توابع درجه عضویت فرض می‌شود که $U_{rj}^a = U_{rj}^*$ و $U_{rj}^b = 0$ جواب بهینه بدست آمده برای واحد تصمیم‌گیری است)

۳. تابع عضویت جدید به همراه یک محدودیت، به مدل ۸ اضافه می‌گردد (مدل ۱۰).

$$\begin{aligned} \text{Max} \quad & \mu(\bar{U}_{rp}) = \frac{U_{rp}^a - \bar{U}_{rp}}{U_{rp}^a - U_{rp}^b} \\ \text{max} \quad & \sum_{r=1}^s \bar{U}_{rp} y_{rp} \\ \text{s.t} \quad & \sum_{i=1}^s v_i x_{ip} = 1 \\ & \sum_{r=1}^s \bar{U}_{rp} y_{rp} - \sum_{i=1}^m v_i x_{ij} \leq 0 \\ & \bar{U}_{rp} \leq U_{rp}^a \\ & v_i \geq 0 \quad i = 1, 2, \dots, m \end{aligned} \quad (10)$$

۴. از آنجا که مدل ۱۰، یک مدل با چندین تابع هدف می‌باشد بنابراین برای حل آن نیاز است که ابتدا به مدل برنامه‌ریزی خطی با یک تابع هدف تبدیل شود (مدل ۱۱).

$$\begin{aligned} \text{Max} \quad & \alpha \\ \text{s.t} \quad & \sum_{i=1}^s v_i x_{ip} = 1 \\ & \sum_{r=1}^s \bar{U}_{rp} y_{rp} - \sum_{i=1}^m v_i x_{ij} \leq 0 \\ & \mu(\bar{U}_{rp}) \geq \alpha \\ & \sum_{r=1}^s \bar{U}_{rp} y_{rp} \geq \alpha \\ & \bar{U}_{rp} \leq U_{rp}^a \\ & v_i \geq 0 \quad i = 1, 2, \dots, m \end{aligned} \quad (11)$$

با حل مدل ۱۱ مجدداً امتیاز کارایی برای تمامی واحدها محاسبه می‌شود. چنانچه بر اساس امتیازات کارایی بدست آمده بتوان تمامی واحدها را رتبه‌بندی نمود آنگاه الگوریتم متوقف می‌شود در غیر اینصورت به مرحله بعد می‌رویم.

۵. برای اوزان غیرصفر متغیرهای خروجی واحدهای کارا، یک تابع درجه عضویت جدید تعریف و به مدل اضافه می‌شود. مدل جدید مجدداً حل شده و امتیاز کارایی محاسبه می‌گردد. چنانچه بر اساس امتیازات بدست آمده بتوان تمامی واحدها را رتبه‌بندی نمود آنگاه توقف می‌کنیم در غیر اینصورت مجدداً این مرحله تکرار می‌شود (ظرافت انگیز و همکاران، ۲۰۱۰).

۲-۵- توسعه خانه کیفیت به کمک تحلیل پوششی داده‌ها

در ماتریس خانه کیفیت (شکل ۲)، وزن ویژگی‌های فنی محصول با توجه به اوزان خواسته‌های مشتری و ماتریس ارتباطات بدست می‌آید. چنانچه بجای استفاده از محاسبات خانه کیفیت از مدل تحلیل پوششی داده‌ها استفاده شود می‌توان عوامل اثرگذار متعددی را در محاسبه وزن ویژگی‌های فنی محصول وارد کرد. در این روش هر ویژگی فنی محصول از ماتریس خانه کیفیت به عنوان یک واحد تصمیم در مدل تحلیل پوششی در نظر گرفته می‌شود و هدف این است که وزن نسبی هر واحد تصمیم محاسبه گردد. از آنجا که در ماتریس خانه کیفیت به افزایش هرچه بیشتر اهمیت خواسته‌های مشتری پرداخته می‌شود و این معیارها از نوع افزایشی هستند بنابراین خواسته‌های مشتری را به عنوان خروجی‌های مدل تحلیل پوششی در نظر می‌گیریم و عواملی مانند هزینه که معیارهایی کاهش‌ی محسوب می‌شوند به عنوان ورودی‌های مدل در نظر گرفته می‌شود (گلانی و رل ۱۹۸۹، ۱). جدول ۲ حالت کلی این وضعیت را نمایش می‌دهد. پس از تعریف متغیرهای ورودی و خروجی در مدل تحلیل پوششی، مدل حل و کارایی واحدها بدست می‌آید. این امتیاز کارایی به عنوان وزن ویژگی فنی محصول در نظر گرفته می‌شود (راماناتان و یونفنگ، ۲۰۰۹).

جدول ۲. متغیرهای ورودی و خروجی رویکرد QFD-DEA

	ورودی ۱	ورودی ۲	...	ورودی m	خروجی ۱ (خواسته مشتری ۱)	خروجی ۲ (خواسته مشتری ۲)	...	خروجی s (خواسته مشتری s)
DMU _۱ (ویژگی فنی ۱)	$x_{۱۱}$	$x_{۲۱}$	...	$x_{m۱}$	$y_{۱۱}$	$y_{۲۱}$	...	$y_{s۱}$
DMU _۲ (ویژگی فنی ۲)	$x_{۱۲}$	$x_{۲۲}$	...	$x_{m۲}$	$y_{۱۲}$	$y_{۲۲}$	...	$y_{s۲}$
⋮	⋮	⋮		⋮	⋮	⋮		⋮
DMU _n (ویژگی فنی n)	$x_{۱n}$	$x_{۲n}$	...	x_{mn}	$y_{۱n}$	$y_{۲n}$	...	y_{sn}

۲-۶- چارچوب نظری

پس از مطالعه و جمع‌بندی تحقیقاتی که در این حوزه صورت گرفته‌اند و با نظرسنجی از خبرگان، معیارهایی برای ارزیابی جذابیت و امکان‌پذیری فناوری‌های توسعه بخش معدن و صنایع معدنی استخراج شدند که به صورت خلاصه در جدول ۳ آورده شده است. همچنین با توجه به ماهیت هر معیار، افزایشی یا کاهشی بودن آن‌ها تیز مشخص شده است. فناوری‌های مطلوب فناوری‌هایی هستند که در مرحله ارزیابی نمرات بالاتری از معیارهای افزایشی و نمرات کمتری از معیارهای کاهشی بدست آورده باشند.

جدول ۳. معیارهای ارزیابی فناوری‌ها

نوع معیار	منبع	امکان‌پذیر بودن
افزایشی	(شن و همکاران، ۲۰۱۱)	۱ زمان مناسب توسعه فناوری
افزایشی	(شن و همکاران، ۲۰۱۱)	۲ در دسترس بودن منابع و دانش فنی و اطلاعات مورد نیاز
افزایشی	(زلفانی و همکاران، ۲۰۱۵) (مید و پرسلی، ۲۰۰۲)	۳ احتمال موفقیت فنی
کاهشی	(زلفانی و همکاران، ۲۰۱۵) (کومار، ۲۰۰۴)	۴ امکان‌پذیر نبودن از نظر مالی
افزایشی	(قاضی نوری و همکاران، ۲۰۰۹)	۵ در دسترس بودن نیروی کار متخصص مورد نیاز
افزایشی	(قاضی نوری و همکاران، ۲۰۰۹)	۶ دسترسی به تجهیزات و سخت‌افزارهای مورد نیاز
افزایشی	خبرگان	۷ وجود ساختار مناسب جهت توسعه فناوری

نوع معیار	منبع	جذابیت
افزایشی	(شن و همکاران، ۲۰۱۱)	۱ نوآوری فناوری در استفاده از منابع معدنی کم عیار
افزایشی	(شن و همکاران، ۲۰۱۱)	۲ فناوری عمومی برای بخش معدن یا صنایع معدنی
افزایشی	(زلفانی و همکاران، ۲۰۱۵) (هوانگ و همکاران، ۲۰۰۸) (موهنتی و همکاران، ۲۰۰۵) (کلدریک و همکاران، ۲۰۰۵)	۳ سهم بازار داخلی و بین المللی فناوری
افزایشی	(محقق منتظری و بیشه، ۲۰۱۷)	۴ ارزش افزوده مرتبط با توسعه فناوری
افزایشی	(محقق منتظری و بیشه، ۲۰۱۷)	۵ امکان صادرات فناوری پس از دسترسی کامل به آن
افزایشی	(محقق منتظری و بیشه، ۲۰۱۷)	۶ فوریت و ضرورت داشتن فناوری
افزایشی	(محقق منتظری و بیشه، ۲۰۱۷)	۷ توسعه و بهبود فرآیندهای بخش معدن و صنایع معدنی
کاهشی	(محقق منتظری و بیشه، ۲۰۱۷)	۸ احتمال جایگزینی فناوری با فناوری جدیدتر

۳- رویکرد پیشنهادی

اگر مجموعه $T = \{T_1, T_2, \dots, T_n\}$ یک مجموعه گسسته، متشکل از n فناوری باشد و متغیرهای ورودی و خروجی مدل تحلیل پوششی داده‌ها را به ترتیب با $I = \{I_1, I_2, \dots, I_m\}$ و $O = \{O_1, O_2, \dots, O_s\}$ نمایش دهیم، آنگاه برای ارزیابی و رتبه‌بندی فناوری‌ها باید قدم‌های زیر را طی نماییم:

قدم (۱) تعریف معیارهایی برای ارزیابی جذابیت و امکان‌پذیری فناوری‌ها

قدم (۲) تشکیل ماتریس ارتباطات (R): به کمک این ماتریس ارتباط میان هر فناوری با تک تک معیارهای ارزیابی از طریق پرسشنامه و با نظرسنجی از خبرگان به صورت یک عبارت کلامی تعیین می‌شود. عناصر این ماتریس پس از میانگین‌گیری فازی از نظرات خبرگان و سپس قطعی‌سازی اعداد فازی بدست می‌آید.

قدم (۳) تعیین متغیرهای ورودی و خروجی مدل تحلیل پوششی داده‌ها: نمرات بدست آمده از معیارهای افزایشی در ماتریس R را به صورت ماتریس Y در نظر می‌گیریم که شامل متغیرهای

خروجی و نمرات بدست آمده از معیارهای کاهشی را به صورت ماتریس X در نظر می گیریم که شامل متغیرهای ورودی مدل تحلیل پوششی می شود.

$$Y = \begin{bmatrix} y_{11} & y_{21} & \cdots & y_{s1} \\ y_{12} & y_{22} & \cdots & y_{s2} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ y_{1n} & y_{2n} & \cdots & y_{sn} \end{bmatrix} \quad (11)$$

$$X = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{21} & \cdots & x_{m1} \\ x_{12} & x_{22} & \cdots & x_{m2} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{1n} & x_{2n} & \cdots & x_{mn} \end{bmatrix} \quad (12)$$

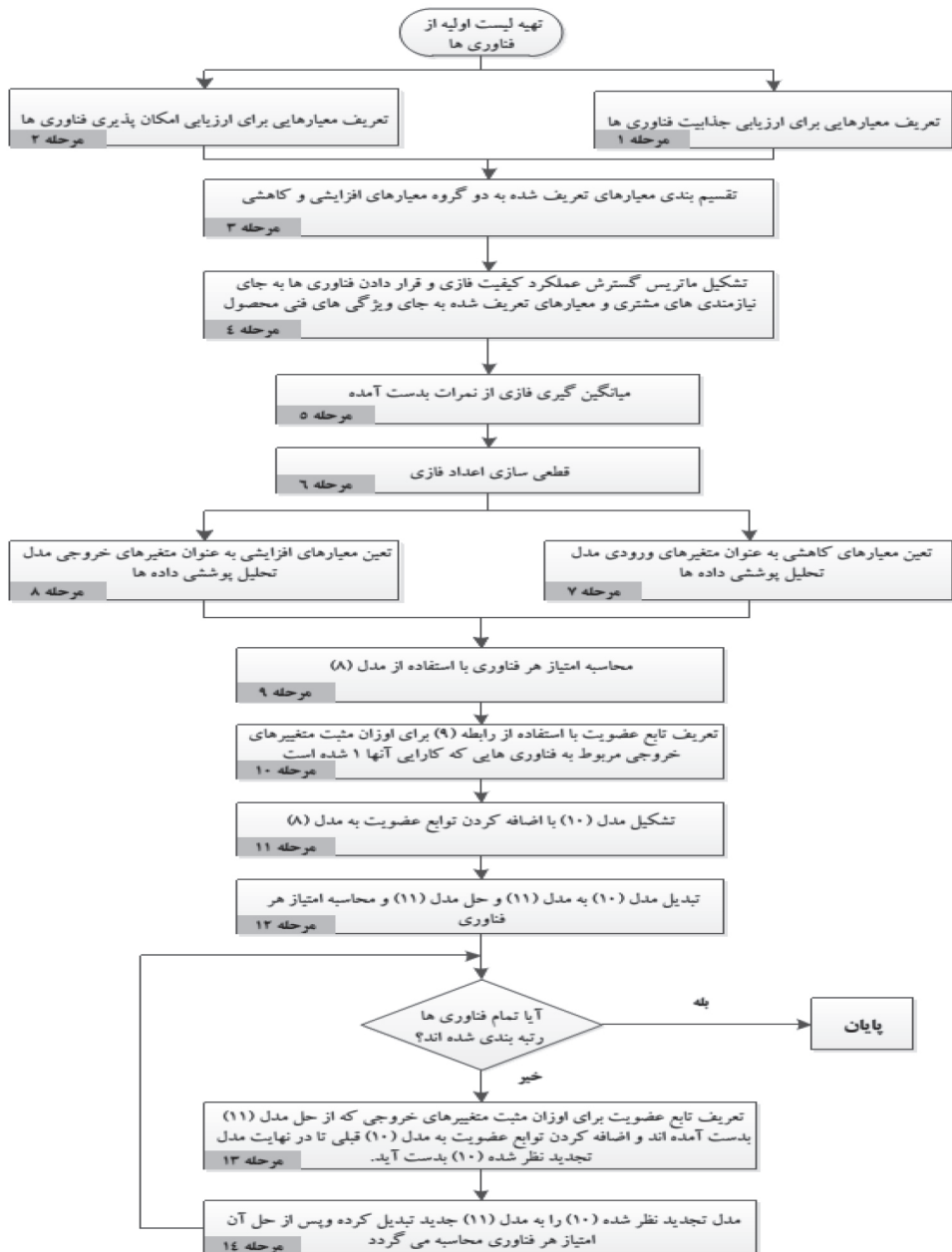
قدم ۴) تشکیل مدل تحلیل پوششی داده ها : با استفاده از ماتریس های X , Y مدل ۸ را تشکیل داده و امتیاز کارایی مربوط به هر فناوری را محاسبه می کنیم.

قدم ۵) تعریف تابع عضویت: برای اوزان مثبت متغیرهای خروجی مربوط به فناوری هایی که کارایی آن ها یک شده است با استفاده از رابطه ۹ یک تابع عضویت تعریف می شود.

قدم ۶) محاسبه مجدد کارایی برای واحدهای کارا: با تشکیل مدل ۱۱ و حل آن مجدداً امتیاز کارایی واحدهای کارا محاسبه می گردد. قدم های ۵ و ۶ آن قدر تکرار می شوند تا تمامی واحدهای کارا رتبه بندی شوند. مراحل انجام کار در شکل ۴ به صورت خلاصه آورده شده است.

۴- مطالعه موردی و تحلیل نتایج

یکی از اهدافی که سازمان ایمیدرو دنبال می کند ارزیابی و انتخاب فناوری هایی است که موجب توسعه هر چه بیشتر معادن و صنایع معدنی ایران شود. این سازمان در بخش توسعه و انتقال فناوری اقدام به تعریف ۱۷ فناوری نموده است. این فناوری ها بر اساس معیارهای استخراج شده از چارچوب نظری ابتدا با روش فناوری های کلیدی و سپس رویکرد بهبود یافته روش فناوری های کلیدی ارزیابی و رتبه بندی می شوند.



شکل ۴. مراحل انجام کار رویکرد پیشنهادی

۴-۱- روش مرسوم فناوری های کلیدی

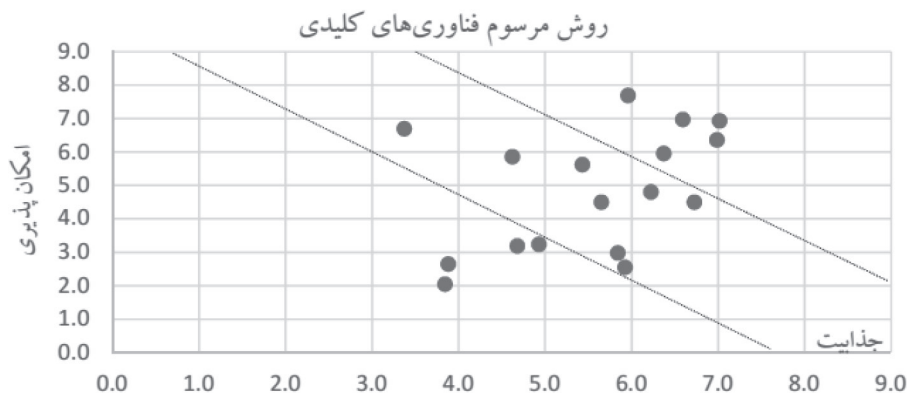
ابتدا گروهی از افراد خبره با تجربیات و تخصص های گوناگون انتخاب شدند. با برگزاری جلسات طوفان ذهنی و با بررسی مطالعات پیشین انجام شده یک لیست اولیه متشکل از ۱۷ فناوری مرتبط با حوزه معدن و صنایع معدنی تهیه شد. سپس ارتباط میان هر فناوری با معیارهای بدست آمده از چارچوب نظری از طریق پرسشنامه و با نظرسنجی از خبرگان در یک طیف پنج تایی به صورت یکی از اعداد ۱، ۳، ۵، ۷، ۹ مشخص گردید. از آنجا که در ماتریس امکان پذیری- جذابیت، تمامی معیارها باید از نوع افزایشی باشند بنابراین دو معیار "امکان پذیر نبودن از نظر مالی" و "احتمال جایگزینی فناوری با فناوری جدیدتر" که معیارهایی کاهش می دهند را به معیارهای افزایشی تبدیل می کنیم. برای این منظور عناوین آن ها به "امکان پذیر بودن از نظر مالی" و "عدم احتمال جایگزینی فناوری با فناوری جدیدتر" تغییر می یابد و نمرات بدست آمده برای این معیارها از عدد ده کم می شود تا نمرات نیز متناسب با تغییر نام معیارها، تغییر کنند. نتایج بدست آمده در شکل ۵ و اولویت مربوط به هر فناوری در جدول ۴ آورده شده است.

۴-۲- روش بهبود یافته فناوری های کلیدی

قدم ۱ و ۲) ارتباط میان هر فناوری با معیارهای بدست آمده از چارچوب نظری از طریق پرسشنامه و با نظرسنجی از خبرگان تعیین شده است. عناصر این ماتریس پس از میانگین گیری فازی و سپس قطعی سازی در جدول ۵ نشان داده شده است.

قدم ۳) تعیین متغیرهای ورودی و خروجی مدل تحلیل پوششی داده ها: نمرات بدست آمده از معیارهای افزایشی در ماتریس R را به صورت ماتریس Y در نظر می گیریم که دارای ۱۷ سطر و ۱۳ ستون است. به همین ترتیب ماتریس X که یک ماتریس با ۱۷ سطر و ۲ ستون می باشد به عنوان مقدار متغیرهای ورودی مدل در نظر گرفته می شود.

قدم ۴) با ماتریس های X ، Y مدل ۸ را تشکیل داده و با حل این مدل در نرم افزار متلب کارایی هر فناوری محاسبه می شود. در این مرحله ۱۵ فناوری که کارایی آن ها مخالف یک بدست آمده است مطابق جدول ۶ رتبه بندی می شوند.



جدول ۴. رتبه‌بندی فناوری‌ها بر اساس روش مرسوم فناوری‌های کلیدی

رتبه هر فناوری	فناوری
۲	T۱ فرآوری مس به روش بایولیچینگ
۱	T۲ فرآوری سنگ آهن به روش مغناطیسی
۵	T۳ فرآوری طلا به روش سیانیداسیون
۱۵	T۴ فرآوری زغالسنگ
۱۶	T۵ تولید چدن در روش کوره بلند
۶	T۶ فرآوری روی به روش پیرومتالوژی
۹	T۷ تولید فولاد خام در کوره قوس الکتریکی
۸	T۸ تولید آهن اسفنجی به روش پرد
۱۱	T۹ تکنولوژی اکتشافات عمیق
۱۷	T۱۰ تکنولوژی تجهیز معادن زیرزمینی زغالسنگ
۱۲	T۱۱ فرآوری روی به روش هیدرومتالوژی
۱۳	T۱۲ فرآوری مس به روش لیچینگ
۱۴	T۱۳ تولید فولاد خام در کنورتور
۳	T۱۴ فرآوری مس به روش پیرومتالوژی
۴	T۱۵ تولید آهن اسفنجی به روش میدرکس
۷	T۱۶ فرآوری سنگ آهن به روش خردایش و دانه‌بندی
۱۰	T۱۷ فرآوری طلا به روش هیدرومتالوژی

جدول ۵. میانگین نظرات خبرگان پس از قطعی سازی-ماتریس R

فناوری	امکان پذیر بودن											جذابیت				
	وجود ساختار مناسب جهت توسعه فناوری	دسترسی به تجهیزات وسخت افزارهای مورد نیاز	در دسترس بودن نیروی کار متخصص مورد نیاز	امکان پذیر نبودن از نظر مالی	احتمال موفقیت فنی	اطلاعات مورد نیاز	در دسترس بودن منابع و دانش فنی و	زمان مناسب توسعه فناوری	احتمال جایگزینی فناوری با فناوری جدیدتر	توسعه و بهبود فرایندهای بخش معدن و صنایع معدنی	فوریت و ضرورت داشتن فناوری	امکان صادرات فناوری پس از دسترسی کامل به آن	ارزش افزوده مرتبط با توسعه فناوری	سهم بازار داخلی و بین المللی فناوری	فناوری عمومی برای بخش معدن یا صنایع معدنی	نوآوری فناوری در استفاده از منابع معدنی کم عیار
	افزایشی	افزایشی	افزایشی	کاهشی	افزایشی	افزایشی	افزایشی	افزایشی	کاهشی	افزایشی	افزایشی	افزایشی	افزایشی	افزایشی	افزایشی	افزایشی
T ₁	۶.۶۴۷	۶.۱۷۶	۶.۲۹۴	۶.۱۷۷	۷.۳۵۳	۶.۸۸۲	۷.۳۵۳	۷.۳۵۳	۶.۱۷۷	۷.۱۱۸	۶.۸۸۲	۷.۹۴۱	۷.۹۴۱	۷.۹۴۱	۷.۸۲۴	۶.۴۱۲
T ₂	۷.۲۳۶	۶.۷۶۵	۶.۸۸۳	۲.۸۸۲	۶.۰۵۹	۷.۳۵۳	۷.۱۱۸	۲.۰۵۸	۶.۸۸۳	۷.۲۳۶	۶.۶۴۷	۶.۰۵۹	۶.۰۵۹	۷.۳۵۳	۷.۳۵۳	۶.۶۴۷
T ₃	۶.۲۹۴	۶.۸۸۲	۵.۹۴۱	۴.۴۱۲	۶.۴۱۲	۵.۱۱۸	۵.۴۷۱	۴.۸۸۳	۷.۱۱۸	۶.۶۴۷	۶.۲۹۴	۶.۲۹۴	۵.۷۰۶	۷.۲۳۵	۶.۸۸۲	۵.۹۴۱
T ₄	۱.۹۴۱	۳.۱۱۸	۳.۵۸۸	۶.۸۸۳	۳.۵۸۸	۳.۷۰۶	۳.۲۳۵	۴.۵۳۰	۴.۵۲۹	۵.۵۸۸	۵.۴۷۱	۳.۷۰۶	۳.۸۲۴	۵.۱۱۸	۳.۷۰۶	۳.۷۰۶
T ₅	۳.۲۳۵	۱.۴۷۱	۲.۷۶۵	۷.۳۵۳	۲.۲۹۴	۳.۷۰۶	۲.۴۱۲	۳.۲۳۵	۳.۲۳۵	۲.۵۲۹	۵.۴۷۱	۳.۲۳۵	۲.۵۲۹	۲.۶۴۷	۲.۶۴۷	۴.۵۲۹
T ₆	۴.۵۲۹	۴.۰۵۹	۴.۰۵۹	۵.۵۸۸	۴.۸۸۲	۴.۶۴۷	۴.۸۸۲	۴.۶۴۷	۷.۱۱۸	۷.۵۸۸	۷.۱۱۸	۷.۳۵۳	۶.۰۵۹	۶.۰۵۹	۶.۰۵۹	۷.۱۱۸
T ₇	۵.۱۱۸	۶.۰۵۹	۶.۲۹۴	۳.۴۷۱	۵.۱۱۸	۵.۵۸۸	۶.۲۹۴	۳.۹۴۱	۴.۲۹۴	۴.۱۷۶	۴.۷۶۵	۴.۸۸۲	۴.۶۴۷	۳.۹۴۱	۴.۱۷۶	۴.۱۷۶
T ₈	۳.۷۰۶	۴.۸۸۲	۵.۱۱۸	۳.۳۵۳	۴.۲۹۴	۴.۲۹۴	۴.۲۹۴	۶.۱۷۷	۵.۸۲۴	۶.۱۷۷	۶.۸۸۲	۶.۸۸۲	۶.۱۷۶	۶.۶۴۷	۶.۶۴۷	۶.۸۸۲
T ₉	۷.۱۱۸	۷.۸۲۴	۷.۵۸۸	۵.۴۷۱	۶.۴۱۲	۶.۷۶۵	۶.۶۴۷	۵.۴۷۱	۲.۸۸۲	۱.۹۴۱	۲.۸۸۲	۲.۸۸۲	۴.۵۲۹	۱.۸۲۴	۳.۸۲۴	۴.۵۲۹
T ₁₀	۱.۲۳۵	۱.۲۳۵	۱.۹۴۱	۳.۸۲۴	۱.۲۳۵	۱.۲۳۵	۱.۲۳۵	۵.۴۷۱	۴.۴۱۲	۳.۴۷۱	۳.۰۰۰	۴.۴۱۲	۳.۰۰۰	۴.۲۹۴	۲.۶۴۷	۳.۹۴۱
T ₁₁	۲.۲۹۴	۲.۵۲۹	۳.۸۲۴	۵.۱۱۸	۱.۵۸۸	۳.۵۸۸	۲.۱۷۶	۵.۴۷۱	۶.۲۹۴	۶.۴۱۲	۵.۸۲۴	۶.۱۷۶	۵.۱۱۸	۶.۰۵۹	۶.۰۵۹	۶.۲۹۴
T ₁₂	۲.۵۲۹	۲.۶۴۷	۲.۶۴۷	۴.۸۸۳	۱.۲۳۵	۲.۷۶۵	۱.۲۳۵	۱.۲۳۵	۵.۳۲۵	۶.۵۲۹	۶.۸۸۲	۶.۷۶۵	۵.۵۸۸	۶.۴۱۲	۶.۴۱۲	۵.۲۳۵
T ₁₃	۳.۵۸۸	۳.۲۳۵	۲.۵۲۹	۶.۷۶۵	۲.۲۹۴	۴.۰۵۹	۳.۵۸۸	۴.۲۹۴	۴.۶۴۷	۴.۲۹۴	۴.۲۹۴	۴.۴۱۲	۴.۷۶۵	۵.۸۲۴	۵.۴۷۱	۵.۴۷۱
T ₁₄	۸.۴۱۲	۷.۸۲۴	۶.۶۴۷	۵.۰۰۰	۷.۳۵۳	۶.۸۸۲	۶.۶۴۷	۵.۲۳۵	۷.۲۳۵	۷.۱۱۸	۶.۴۱۲	۶.۸۸۲	۶.۴۱۲	۷.۵۸۸	۶.۲۹۴	۶.۲۹۴
T ₁₅	۸.۰۵۹	۷.۱۱۸	۸.۵۲۹	۵.۱۱۸	۸.۵۲۹	۸.۲۹۴	۸.۴۱۲	۸.۸۲۴	۵.۷۰۶	۵.۷۰۶	۵.۷۰۶	۵.۵۸۸	۶.۴۱۲	۷.۱۱۸	۶.۵۲۹	۶.۴۱۲
T ₁₆	۶.۴۱۲	۵.۷۰۶	۶.۱۷۶	۳.۸۲۳	۵.۷۰۶	۳.۹۴۱	۵.۲۳۵	۲.۱۷۷	۵.۲۳۵	۵.۱۱۸	۵.۱۱۸	۵.۱۱۸	۶.۷۶۵	۴.۸۸۲	۳.۳۵۳	۵.۱۱۸
T ₁₇	۴.۵۲۹	۴.۸۸۲	۳.۹۴۱	۴.۵۳۰	۳.۵۸۸	۵.۴۷۱	۳.۵۸۸	۵.۳۵۳	۵.۹۴۱	۶.۷۶۵	۴.۸۸۲	۴.۸۸۲	۴.۸۸۲	۵.۱۱۸	۶.۶۴۷	۶.۲۹۴

جدول ۶. نتایج بدست آمده از حل مدل ۸ و محاسبه رتبه تعدادی از فناوری‌ها

فناوری	امتیاز کارایی	رتبه	اوزان غیرصفر متغیرهای خروجی	
			۷۴	۷۱۲
T۱	فرآوری مس به روش بایولیچینگ	۰.۶۱۱	۱۰	-
T۲	فرآوری سنگ آهن به روش مغناطیسی	۱.۰۰۰	-	۰.۱۶۵
T۳	فرآوری طلا به روش سیانیداسیون	۰.۶۹۱	۷	-
T۴	فرآوری زغالسنگ	۰.۳۷۴	۱۷	-
T۵	تولید چدن در روش کوره بلند	۰.۵۲۴	۱۵	-
T۶	فرآوری روی به روش پیرومتالوژی	۰.۶۲۶	۹	-
T۷	تولید فولاد خام در کوره قوس الکتریکی	۰.۷۵۹	۵	-
T۸	تولید آهن اسفنجی به روش پرد	۰.۹۴۳	۳	-
T۹	تکنولوژی اکتشافات عمیق	۰.۶۰۹	۱۱	-
T۱۰	تکنولوژی تجهیز معادن زیرزمینی زغالسنگ	۰.۵۴۹	۱۴	-
T۱۱	فرآوری روی به روش هیدرومتالوژی	۰.۵۷۴	۱۳	-
T۱۲	فرآوری مس به روش لیچینگ	۰.۶۵۹	۸	-
T۱۳	تولید فولاد خام در کنورتور	۰.۳۹۴	۱۶	-
T۱۴	فرآوری مس به روش پیرومتالوژی	۰.۶۹۹	۶	-
T۱۵	تولید آهن اسفنجی به روش میدرکس	۰.۷۹۳	۴	-
T۱۶	فرآوری سنگ آهن به روش خردایش و دانه‌بندی	۱.۰۰۰	-	۰.۱۲۲
T۱۷	فرآوری طلا به روش هیدرومتالوژی	۰.۶۰۲	۱۲	-

قدم ۵) برای اوزان مثبت متغیرهای خروجی ۷۴، ۷۱۲، مربوط به فناوری‌های ۲ و ۱۶ که کارایی آن‌ها یک شده است با استفاده از رابطه ۸ تابع عضویت تعریف می‌شود (جدول ۷).

جدول ۷. توابع درجه عضویت اوزان غیر صفر متغیرهای خروجی

فناوری	y_{12}	y_4
T_2	.	$y_4 - 0.165$ 0.165
T_{16}	$y_{12} - 0.30$ 0.30	$y_4 - 0.122$ 0.122

قدم ۶) با تشکیل مدل ۱۱ و حل آن مجددا امتیاز کارایی واحدهای کارا محاسبه می‌گردد. در این مرحله امتیاز کارایی فناوری T_{16} مخالف یک شده و رتبه تمامی واحدها مشخص می‌گردد و الگوریتم خاتمه می‌یابد (جدول ۸).

جدول ۸. رتبه‌بندی نهایی فناوری‌ها (بر اساس روش بهبود یافته فناوری‌های کلیدی)

رتبه هر فناوری	امتیاز کارایی	فناوری
۱۰	۰.۶۱۱	T_1 فرآوری مس به روش بایولیچینگ
۱	۱.۰۰۰	T_2 فرآوری سنگ آهن به روش مغناطیسی
۷	۰.۶۹۱	T_3 فرآوری طلا به روش سیانیداسیون
۱۷	۰.۳۷۴	T_4 فرآوری زغالسنگ
۱۵	۰.۵۲۴	T_5 تولید چدن در روش کوره بلند
۹	۰.۶۲۶	T_6 فرآوری روی به روش پیرومتالوژی
۵	۰.۷۵۹	T_7 تولید فولاد خام در کوره قوس الکتریکی
۳	۰.۹۴۳	T_8 تولید آهن اسفنجی به روش پرد
۱۱	۰.۶۰۹	T_9 تکنولوژی اکتشافات عمیق
۱۴	۰.۵۴۹	T_{10} تکنولوژی تجهیز معادن زیرزمینی زغالسنگ
۱۳	۰.۵۷۴	T_{11} فرآوری روی به روش هیدرومتالوژی
۸	۰.۶۵۹	T_{12} فرآوری مس به روش لیچینگ

رتبه هر فناوری	امتیاز کارایی	فناوری
۱۶	۰.۳۹۴	T۱۳ تولید فولاد خام در کنورتور
۶	۰.۶۹۹	T۱۴ فرآوری مس به روش پیرومتالوژی
۴	۰.۷۹۳	T۱۵ تولید آهن اسفنجی به روش میدرکس
۲	۰.۹۰۳	T۱۶ فرآوری سنگ آهن به روش خردایش و دانه‌بندی
۱۲	۰.۶۰۲	T۱۷ فرآوری طلا به روش هیدرومتالوژی

با توجه به نتایج بدست آمده از روش بهبود یافته، فناوری‌های شماره ۲، ۱۶، ۸، ۱۵، ۷ با عناوین "فرآوری سنگ آهن به روش مغناطیسی"، "فرآوری سنگ آهن به روش خردایش و دانه‌بندی"، "تولید آهن اسفنجی به روش پرد"، "تولید آهن اسفنجی به روش میدرکس"، "تولید فولاد خام در کوره قوس الکتریکی" در پنج اولویت اول قرار گرفته‌اند که اولویت این فناوری‌ها نیز مورد تایید خبرگان می‌باشد.

۵- نتیجه‌گیری

روش فناوری‌های کلیدی یکی از روش‌های آینده‌نگری فناوری است که هدف اصلی آن شناسایی و تهیه فهرستی از فناوری‌های کلیدی است. این روش یک رویکرد مفید برای ارزیابی فناوری‌های گوناگون و یا مسیرهای تحقیقاتی است هنگامی که انتخاب اولویت‌ها، وظیفه اصلی تمرینات آینده‌نگری فناوری باشد.

دقت نتایج بدست آمده از روش فناوری‌های کلیدی بسیار متأثر از نظرات افراد گروه در ارزیابی فناوری‌ها می‌باشد. از آنجا که در روش مرسوم فناوری‌های کلیدی بجای استفاده از عبارات کلامی از اعداد قطعی استفاده می‌شود این امر ممکن است سبب شود که نمرات بدست آمده برای جذابیت و امکان‌پذیری فناوری‌ها بیش از حد آرمانی شود و در نهایت تمایز فناوری‌ها را با مشکل مواجه سازد. استفاده از گسترش عملکرد فازی در کنار مدل تحلیل پوششی داده‌ها برای بهبود روش فناوری‌های کلیدی در این مقاله پیشنهاد شده است تا در نهایت با بکارگیری این رویکرد ترکیبی بتوان علاوه بر افزایش دقت نتایج، رتبه‌بندی فناوری‌ها را نیز با سهولت بیشتری انجام داد.

رویکرد ارائه شده در مقایسه با روش مرسوم فناوری‌های کلیدی دارای مزایایی می‌باشد که

مهم‌ترین آن‌ها عبارتند از:

- امکان استفاده از شاخص‌های متعددی از نوع کمی و کیفی در فرآیند ارزیابی و رتبه‌بندی فناوری وجود دارد
- الگوریتم پیشنهادی با در نظر گرفتن همزمان دو معیار امکان‌پذیری و جذابیت یک امتیاز کارایی از برآیند دو معیار ارائه می‌دهد که سبب می‌شود رتبه‌بندی با سهولت بیشتری صورت پذیرد و یک رتبه‌بندی کامل از تمامی فناوری‌ها ارائه می‌دهد
- استفاده از منطق فازی، ابهام موجود در قضاوت‌های انسانی را در فرآیند ارزیابی لحاظ می‌کند که خود موجب افزایش دقت نتایج روش پیشنهادی شده است
- رویکرد پیشنهادی برای اولویت‌بندی فناوری‌های توسعه‌ای در سازمان ایمیدرو بکار رفته است و نتایج بدست آمده نشان‌دهنده بهبود نسبت به نتایج روش مرسوم می‌باشد.

منابع:

- اکبریان، مجتبی؛ نجفی، امیرعباس (۱۳۸۸). *هم‌استاسازی مدل تعالی کیفیت اروپایی و مدیریت استراتژیک برای رسیدن به بهبود عملکرد*. نشریه مدیریت صنعتی، دوره ۱، شماره ۲، تهران، ۱۹-۳۴.
- دیوید، فردا. (۱۳۸۳). *مدیریت استراتژیک*. پارسایان، علی؛ اعرابی، سید محمد، تهران، دفتر پژوهش‌های فرهنگی.
- رضایی، کامران؛ حسینی آشتیانی، حمیدرضا؛ هوشیار، محمد (۱۳۸۰). *QFD رویکردی مشتری مدار به طرح‌ریزی و بهبود کیفیت محصول*، تهران، شرکت مشارکتی ار و توف ایران.
- طباطباییان، حبیب الله (۱۳۷۹). *طراحی مدل تصمیم‌گیری در انتخاب پروژه‌های انتقال تکنولوژی رویکرد فازی نظریه امکان*، انتشارات دانشکده مدیریت دانشگاه تهران.
- طباطباییان، سید حبیب الله (۱۳۷۲). *جایگاه تکنولوژی در توسعه، مجموعه مقالات دومین سمینار علم تکنولوژی و توسعه، دانشگاه امیرکبیر*.
- علی احمدی، علیرضا؛ فتح الله، مهدی؛ تاج الدین، ایرج (۱۳۸۲). *نگرشی جامع بر مدیریت استراتژیک*، تهران، انتشارات تولید دانش.
- فردانی، سعید؛ شحمت نژاد، مجتبی؛ روفیگری حقیقت، علی (۱۳۸۹). *فرایند برنامه‌ریزی استراتژیک در شهرداری اصفهان*. مقاله ارائه شده در پنجمین کنفرانس بین المللی مدیریت استراتژیک، تهران.
- کاپلان، رابرت؛ نور تون، دیوید (۱۳۸۶). *نقشه استراتژی: تبدیل دارایی‌های نامشهود به پیامدهای مشهود*.

- اکبری، حسین؛ سلطانی، مسعود؛ ملکی، امیر، تهران، گروه پژوهشی صنعتی آریانا.
- گزارش توسعه جهانی (۲۰۰۵). بانک جهانی.
- مومنی، منصور (۱۳۹۲) *مباحث نوین تحقیق در عملیات*، تهران، انتشارات دانشکده مدیریت دانشگاه تهران.
- مهرگان، محمدرضا (۱۳۹۱). *ارزیابی عملکرد سازمان‌ها: رویکردی کمی با استفاده از تحلیل پوششی داده‌ها*، تهران، نشر کتاب دانشگاهی.
- هریسون، جفری؛ جان، کارون (۱۳۸۶). *مدیریت/استراتژیک، قاسمی، بهروز، تهران، انتشارات هیات*.
- Bal, Hasan; Orkcü, H. Hasan; Celebioglu, Sali (2010). *Improving the Discrimination Power and Weights Dispersion in the Data Envelopment Analysis*, Computers & Operations Research 37:99-107.
- Bevilacqua, M., Ciarapica, F.E. Giacchetta, G (2006). *A fuzzy-QFD approach to supplier selection*, Journal of Purchasing & Supply Management 12, 14 – 27.
- Coldrick, S., Longhurst, P., Ivey, P., & Hannis, J (2005) *An R&D options selection model for investment decisions* Technovation, 25, 185–193.
- Dikmen, Irem; Birgonul, Talat; Kiziltas, Semiha (2004). *Strategic use of quality function deployment (QFD) in the construction industry*, Building and Environment, 40: 245–255.
- Esmaelian, Majid; Tavana, Madjid; Di Caprio, Debora; Ansari, Reza (2017). *A multiple correspondence analysis model for evaluating technology foresight methods*, Technological Forecasting & Social Change.
- Ghazinoory, Sepehr; Divsalar, Ali; Soofi, Abdol S (2009). *A new definition and framework for the development of a national technology strategy: The case of nano-technology for Iran* Technological Forecasting & Social Change 76 835–848.
- Golany B, Roll Y. (1989) *An application procedure for DEA*, Omega; 17(3):237–50.
- Gonzalez, Marvin; Quesada, Gioconda; Mueller, Rene; Mora-Monge, Carlo (2004). *QFD strategy house: an innovative tool for linking marketing and manufacturing strategies*, Marketing Intelligence & Planning, Vol. 22 No. 3, pp. 335-348.
- Hosseini Nasab, Hasan; Milani, Abbas (2012). *An improvement of quantitative strategic planning matrix using multiple criteria decision making and fuzzy numbers*, Applied Soft Computing 12, 2246–2253.
- Huang, C. C., Chu, P. Y., & Chiang, Y. H (2008). *A fuzzy AHP application in govern-*

- ment-sponsored R&D project selection* Omega, 36, 1038–1052.
- Klusacek, Karel (2004). *Technology foresight in the Czech Republic*, Int. J. Foresight and Innovation Policy, Vol. 1, Nos. 1/2.
 - Khademi-Zare, Hassan; Zarei, Mahnaz; Sadeghieh, Ahmad; Saleh Owlia, Mohammad (2010). *Ranking the strategic actions of Iran mobile cellular telecommunication using two models of fuzzy QFD*, Telecommunications Policy, 34 : 747–759.
 - Killen, Catherine; Walker, Mike; Hunt, Robert (2005). *Strategic planning using QFD*, International Journal of Quality & Reliability Management, Vol. 22 No. 1, pp. 17-29.
 - Kriemadis, A (1997). *Strategic planning in higher education athletic departments*, International journal of educational management, Vol.11, no.6, pp.238-247.
 - Kumar, S. S (2004). *AHP-based formal system for R&D project evaluation*, Journal of Scientific & Industrial Research, Vol 63, 888–896.
 - Li, Xiao-Bai; Reeves, Gary R (1999). *A Multiple Criteria Approach to Data Envelopment Analysis*, European Journal of Operational Research, 115 :507 – 517.
 - Lee, Hakyeon; Lee, Changyong (2008). *On the R&D priority setting in technology foresight: a DEA and ANP approach*, International Journal of Innovation and Technology Management Vol . 5, No.2, 201–219.
 - Meade, L. M., & Presley, A (2002). *R&D Project Selection Using the Analytic Network Process*, IEEE Transactions on Engineering Management, 9(1), 59–66.
 - Mohaghegh Montazeri, Maral; Najjartabar-Bisheh, Mohammad (2017). *Optimizing Technology Selection for Power Smart Grid Systems: a Case Study of Iran Power Distribution Industry (IPDI)*, Technol Econ Smart Grids Sustain Energy.
 - Manteghi, Nikzad; Zohrabi, Abazar (2011). *A proposed comprehensive framework for formulating strategy: a Hybrid of balanced scorecard, SWOT analysis, porter's generic strategies and Fuzzy quality function deployment*, Procedia-Social and Behavioral Sciences, 15: 2068–2073.
 - Mohammad Pur, Mehdi; Alem Tabriz, Akbar (2012). *SWOT Analysis using of Modified Fuzzy QFD – A Case Study for Strategy Formulation in Petrokaran Film Factory*, Procedia-Social and Behavioral Sciences, 41: 322 – 333.
 - Mohanti, R. P., Agarwal, R., Choudhury, A. K., & Tiwari, M. K (2005). *A fuzzy ANP based approach to R&D project selection: a case study*. International Journal of Production Research, 43(24), 5199–5216.

- Nouri, J; Karbassi, A.R.; Mirkia, S (2008). *Environmental management of coastal regions in the Caspian Sea*, International Journal of Environmental Science and Technology 5 (1) 43–52.
- Ondrus, Jan; Bui, Tung; Pigneur, Yves (2014). *A Foresight Support System Using MCDM Methods*, Group Decis Negot, DOI 10.1007/s10726-014-9392-8.
- Pietrobelli, Carlo; Puppato, Fernanda (2015). *Technology foresight and industrial strategy*, Technological Forecasting & Social Change.
- Park, Byeongwon; Son, Seok-Ho (2010). *Korean Technology Foresight for national S&T planning*, Int. J. Foresight and Innovation Policy, Vol. 6, Nos. 1/2/3.
- Ramanathan, Ramakrishnan; Yunfeng, Jiang (2009). *Incorporating Cost and Environmental Factors in Quality Function Deployment Using Data Envelopment Analysis*, Omega, 37: 711-723.
- Schlosstein, D. and Park, B (2006). *Comparing recent technology foresight studies in Korea and China: towards foresight-minded governments*, Foresight, Vol. 8, pp.48–70.
- Salo A, Gustafsson T, Ramanathan R (2003). *Multicriteria methods for technology foresight*, J Forecast 22(2):235–255.
- Streimikiene, Dalia; Balezentis, Tomas; Krisciukaitiene, Irena; Balezentis, Alvydas (2012). *Prioritizing sustainable electricity production technologies: MCDM approach*, Renewable and Sustainable Energy Reviews 16, 3302–3311.
- Shen Yung-Chi; Lin, Grace T.R.; Tzeng, Gwo-Hshiung (2011). *Combined DEMATEL techniques with novel MCDM for the organic light emitting diode technology selection*, Expert Systems with Applications 38, 1468–1481.
- Tegart, Greg (2003). *Technology foresight: Philosophy and principles*, Innovation Management, Policy & Practice.
- UNIDO (2005). *Technology Foresight Manual, Organization and Methods* vol. 1.
- Yang, Q-Q., Gong, Z-M., Cheng, J-Y. Wang, G (2004). *Technology foresight and critical technology selection in China*, Int. J. Foresight and Innovation Policy, Vol. 1, pp.168–180.
- Zangi Abadi, ali; Ahmadi, Dariush (2012). *Strategic planning for waste management: a case study of Shiraz waste management*, Management Science Letters 2-1563–1570.
- Zare Mehrjerdi, Yahia (2014). *Strategic system selection with linguistic preferences*

and grey information using MCDM, Applied Soft Computing, 18: 323–337.

- Zerafat Angiz, Majid; Mustafa, Adli; Emrouznejad, Ali (2010). *Ranking efficient decision making units in data envelopment analysis using fuzzy concept*, Computers & Industrial Engineering 59, 712–719.
- Zolfani, S; Maknoon, R; Salimi, J; Kildiene, Simona (2015). *Technology Foresight about R&D Projects Selection: application of SWARA method at the policy making level* Engineering Economics.