طراحی مدل انتخاب فناوری مناسب (موردمطالعه: شرکت گاز استان فارس)

عباس جعفری[۱]
سید هادی میرقادری[۲*]
علینقی مصلح شیرازی[۲]
فاطمه صادق‌زاده[۳]

چکیده

اگرچه فناوری یکی از اساسی‌ترین ارکان فعالیت هر سازمانی است، انتخاب فناوری مناسب همیشه یک تصمیم دشوار می‌باشد؛ بنابراین هدف پژوهش حاضر تدوین مدلی برای ارزیابی میزان مناسب‌بودن فناوری‌ها برای استفاده در شرکت گاز استان فارس است. روش پژوهش مورداستفاده، آمیخته کیفی-کمّی با هدف ابزارسازی و به‌کارگیری ابزار طراحی‌شده است. در این پژوهش، ابتدا با بررسی مطالعات داخلی و خارجی، شاخص‌های انتخاب فناوری استخراج، ارزیابی و پالایش شد. سپس شاخص‌های غیرضروری با روش نسبت روایی محتوا حذف و ۳۳ شاخص باقیمانده در سه بُعد راهبردی، مالی و فنی دسته‌بندی شدند. نهایتاً با استفاده از تکنیک آر-سوارا، وزن شاخص‌های مذکور مشخص شد و اعتبار مدل با پرسش از خبرگان تضمین شد. در ادامه سه فناوری قابل‌جایگزینی مربوط به بازرسی و آزمون جوش‌های خطوط لوله، با استفاده از مدل طراحی‌شده مورد ارزیابی قرار گرفتند و امتیاز هریک با استفاده از مدل پیشنهادی، مشخص شد. نتایج این بخش نشان داد که مناسب‌ترین فناوری، فناوری فراصوتی با امتیاز میانگین ۱۳/۲ از ۲۰ می‌باشد.

واژگان کلیدی

انتخاب فناوری، فناوری مناسب، شرکت گاز، آر-سوارا

---

۱ . دانشجوی کارشناسی ارشد، مدیریت کسب‌وکار، دانشکده اقتصاد، مدیریت و علوم اجتماعی، دانشگاه شیراز، شیراز.
۲ . عضو هیئت‌علمی، دانشکده اقتصاد، مدیریت و علوم اجتماعی، دانشگاه شیراز، شیراز.
*. نویسنده مسئول: Mirghaderi@shirazu.ac.ir
۳ . کارشناس پژوهش، واحد پژوهش، شرکت گاز استان فارس، شیراز.

مقدمه

انتخاب فناوری[1] در ایجاد و مدیریت مزیت‌های رقابتی سازمان‌ها و صنایع نقش بسیار مهمی را ایفا می‌کند زیرا فناوری یکی از مهم‌ترین عوامل اثرگذار بر رقابت کسب‌وکارها می‌باشد و توانایی تغییر فرآیندهای صنعتی موجود جهت خلق صنایع جدید را دارد (براوی[2]، ۲۰۱۸). امروزه مسئله انتخاب فناوری تبدیل به یکی از فرآیندهای حیاتی هر سازمانی شده است (رایس[3] و همکاران، ۲۰۲۰) به‌طوری‌که در غیاب آن ممکن است فناوری‌ها عملکرد موردنظر را نداشته باشند یا اثرات منفی پیش‌بینی‌نشده‌ای ایجاد کنند (الی[4] و همکاران، ۲۰۱۱). تلاش برای حل این مسئله منجر به ظهور مفهوم فناوری مناسب[5] شد که در مجامع علمی و صنایع مختلف توجه فراوانی را به‌خود جلب کرده است (پاتنایک و بهومیک[6]، ۲۰۱۹). در صنعت گاز نیز با افزایش رشد مصرف گاز و گسترده‌شدن این صنعت، نیاز به ارزیابی و انتخاب فناوری بیشتر احساس می‌شود (نخعی‌نژاد و صفاری[7]، ۱۳۹۸). تنوع فناوری‌ها مسئله انتخاب فناوری را پیچیده‌تر و اثرگذارتر کرده است؛ به‌عنوان‌مثال هم‌اکنون برای بازرسی و عیب‌یابی جوش‌های خطوط لوله، سه فناوری مختلف مبتنی بر رادیوگرافی، امواج مافوق صوت و ذرات مغناطیسی، با نشان‌های تجاری مختلف و ویژگی‌ها و عملکرد متفاوت وجود دارد که انتخاب فناوری مناسب را برای شرکت‌های گاز استانی به مسئله‌ای دشوار تبدیل کرده است. همچنین وجود چنین معضلی در انتخاب سایر فناوری‌ها، مسئله انتخاب فناوری مناسب را به موضوعی با اثرات راهبردی بلندمدت تبدیل کرده است.

پاتنایک و بهومیک (۲۰۱۸) فناوری مناسب را نوعی فناوری کوچک‌مقیاس می‌دانند که به‌وسیله یک جامعه طراحی و تولید می‌شود تا نیازهای آن را برآورده کند. فناوری مناسب، بهره‌برداری از مهارت‌ها به‌منظور رفع نیازهای پایه‌ای بشر را در جامعه‌ای دنبال می‌کند که استفاده از فناوری پیشرفته در آن دشوار است. این فناوری می‌تواند مشکلات گوناگون در بخش‌های مختلف جهان را به‌صورت موفقیت‌آمیزی حل کند. بااین‌حال ظرفیت این نوع فناوری هنوز عیان نشده است و نیاز است تا در عصر

1 . Technology Selecting
2 . Berawi
3 . Rais
4 . Ely
5 . Appropriate Technology
6 . Patnaik & Bhowmick
7 . Nakhaeinejad & Safari

پیشرفت‌های فناورانه مدرن در راستای بحث پایداری، بازتعریف و مفهوم‌سازی شود. به‌اعتقاد تورکلی و تومینـــن[1] (۲۰۰۲) انتخاب فناوری مناســـب کمک می‌کند تا تصمیم‌گیری‌های فناورانه ســـازمان‌ها در محیط پیچیده امروز به‌درســـتی انجام پذیرد. علی‌رغم اهمیت انتخاب فناوری مناســـب، مطالعات محدودی وجود دارد که معیارهای ارزیابی مناســـب‌بودن فناوری را در قالب مدلی کاربردی ارائه دهد (جولی[2]، ۲۰۱۲). این شکاف در مطالعات داخلی بیشتر به چشم می‌خورد و باوجود مطالعات ارزشمند انجام‌شـــده در زمینه مدیریت فناوری در داخل کشـــور، پژوهشـــی که مدل بومی برای انتخاب فناوری مناسب در صنعت گاز ارائه دهد، انجام نشده است.

از طرفی به‌دلیل شـــرایط خاص هر صنعت و تفاوت روش‌شناســـی انتخاب فناوری مناســـب از یک کشور به کشور دیگر و از یک صنعت یا بخش به صنعت یا بخش دیگر نمی‌توان ابزار و روش‌های انتخاب فناوری را از سازمان دیگری کپی‌برداری کرد؛ به‌عبارت‌دیگر، مدل انتخاب فناوری نیاز به سفارشی‌سازی دارد تا بتوان آن را در یک زمینه خاص اجرا کرد. از آنجا که صنعت گاز یک زنجیره ارزش چندمنظوره و پیچیده دارد، عوامل مختلفی در انتخاب فناوری‌های آن باید لحاظ شود و مدلی اختصاصی برای هر شرکت این صنعت توسعه داده شود (یون[3] و همکاران، ۲۰۱۸).

شرکت گاز استان فارس نیز به مدل اختصاصی انتخاب فناوری مناسب نیاز دارد تا عدم‌یکپارچگی و ناهماهنگی‌های بین‌واحدی در انتخاب فناوری‌ها و عملکرد جزیره‌ای آن‌ها را از بین ببرد و از هدررفت منابع شـــرکت جلوگیری کند. به‌طور ســـنتی، انتخاب و خرید فناوری تنها براساس یک یا چند معیار ذهنی منجربه خریداری و به‌کارگیری طیف وســـیعی از فناوری‌های مشـــابه در این شـــرکت شده که هریک مشـــکلات خاص خود را دارد. این موضوع در ســـطح ملی نیز مشکل‌آفرین شده است. ازاین‌رو، شـــرکت ملی گاز ایران شرکت‌های اســـتانی را ملزم به تدوین نظام‌نامه‌ها و دستورالعمل‌های مرتبط با مدیریت فناوری نموده است. این امر منجربه انتخاب و بهره‌گیری بهتر از فناوری می‌شود که درراستای سیاست‌های اقتصاد مقاومتی نیز می‌باشد. پژوهش حاضر بخشی از پروژه کلان مدیریت فناوری است که به شـــرکت این امکان را می‌دهد تا با ارزیابی فناوری‌ها، به انتخاب فناوری ســـازگار با شـــرایط خود بپردازد. هدف این پژوهش تدوین مدل انتخاب فناوری مناســـب برای شـــرکت گاز استان فارس است تا امکان اســـتفاده بهینه از فناوری و ایجاد هم‌افزایی بین آن‌ها را فراهم کند و درصورت منسوخ‌شـــدن

1 . Torkkeli & Tuominen
2 . Jolly
3 . Yoon

فناوری‌های فعلی، مجدداً فناوری‌های مناسب جدید را انتخاب کند و به‌کارگیرد. دراین‌راستا استفاده از مجموعه اعداد راف[1] به‌عنوان روش جدید انتخاب و وزن‌دهی به معیارها استفاده شده است که بخشی از نوآوری پژوهش حاضر است.

پیشینه پژوهش

از اصطلاح فناوری در مطالعات گذشته تعاریف گوناگونی ارائه شده است، اما فناوری را می‌توان تمام دانش، محصولات، فرایندها، ابزارها، روش‌ها و نظام‌هایی تعریف کرد که در جهت خلق و ساخت کالاها و ارائه خدمات به‌کارگرفته می‌شوند. به‌عبارت‌دیگر، فناوری شامل روش انجام کارها توسط انسان است (لان و یانگ[2]، ۱۹۹۶). به‌دلیل تنوع در فناوری‌ها، انتخاب فناوری امروزه یک نیاز اساسی است. گرگوری[3] (۱۹۹۵) انتخاب فناوری را چنین تعریف می‌کند: «جمع‌آوری اطلاعات از منابع گوناگون درمورد گزینه‌های فناورانه و ارزیابی آن‌ها با یکدیگر یا دربرابر مجموعه‌ای از معیارها». به‌اعتقاد وی هدف از انتخاب فناوری، بیشینه‌سازی نتایج مثبت و کمینه‌سازی نتایج منفی یک فناوری در حال و آینده است. این تعریف دربردارنده مفهوم فناوری مناسب است که برای اولین بار توسط شوماخر[4] (۱۹۷۳) در کتاب «کوچک زیباست: اقتصاد با ابعاد انسانی[5]» مطرح شد.

ازآنجاکه درک و به‌کارگیری فناوری پیشرفته و توسعه‌یافته در کشورهای پُردرآمد و صنعتی‌شده، برای کشورهای کم‌درآمد و به‌اصطلاح درحال‌توسعه، دشوار و زیان‌آور است (لی[6] و همکاران، ۲۰۱۸؛ ژو[7] و همکاران، ۲۰۱۷)، شوماخر بر مفهوم فناوری میانجی[8] یا متوسط تأکید کرد که با سطوح درآمدی و شرایط زندگی گروه‌های کم‌درآمد در اقتصادهای نوظهور همخوانی داشته باشد (ژو و همکاران، ۲۰۱۷). کاپلینسکی[9] (۲۰۱۱) براساس تعریف شوماخر، فناوری‌های مناسب برای اقتصادهای نوظهور کم‌درآمد را فناوری‌هایی با مقیاس کوچک، مبتنی بر نیروی کار، دارای روش استفاده راحت، دارای سهولت در تعمیر و بی‌ضرر برای محیط‌زیست می‌داند؛ بنابراین در تعریف فناوری مناسب، تأکید بر استفاده از نوعی

1 . Rough
2 . Lan & Young
3 . Gregory
4 . Schumacher
5 . Small is Beautiful: Economics as if People Mattered
6 . Lee
7 . Zhou
8 . Intermediate Technology
9 . Kaplinsky

فناوری است که برای یک مکان و شرایط خاص بهتر کار می‌کند (زلنیکا[1]، ۲۰۱۱).

به‌منظور ارزیابی مناسب‌بودن یک فناوری، شاخص‌های گوناگون و متنوعی با دسته‌بندی‌های متفاوت ازسوی پژوهشگران مطرح شده است. به‌عنوان‌مثال، خدابنده‌لو[2] (۲۰۱۱) ۴۹ عامل را به‌منظور انتخاب فناوری مناسب ازمیان فناوری‌های معرفی‌شده به بانک صنعت و معدن شناسایی و در چهار دسته فناورانه، فنی و تولیدی، اقتصادی و مالی طبقه‌بندی کرد. یاسری[3] (۲۰۱۲) ۳۵ عامل مؤثر برای انتخاب فناوری اکتشاف و استخراج نفت از بستر دریا شناسایی و در شش گروه معماری و طراحی، قابلیت اعتماد، آمادگی فناوری، قابلیت نگهداری، قابلیت اطمینان و ایمنی و الکترونیک و ارتباطات دسته‌بندی کرد. وانگ[4] و همکاران (۲۰۱۹) جهت انتخاب فناوری تبدیل انرژی پایدار برای پسماندهای کشاورزی از مدلی با ۱۵ عامل در چهار طبقه محیطی، فناورانه، اقتصادی و اجتماعی استفاده کردند. آدنوگا[5] و همکاران (۲۰۲۰) برای انتخاب فناوری مدیریت پسماندهای شهری از مدلی سلسله‌مراتبی با چهار شاخص اصلی فنی، اقتصادی، اجتماعی-فرهنگی و زیست‌محیطی استفاده کردند. جک‌هو و کوتای[6] (۲۰۲۰) بااستفاده‌از مدل‌سازی سیستم‌های پویا، ۳۰ متغیر اثرگذار بر انتخاب فناوری مناسب توسط بومیان اندونزی را بدون دسته‌بندی مشخص بررسی نمودند. سایر پژوهش‌ها نیز شاخص‌هایی را ارائه کرده‌اند که انتخاب شاخص و طبقه‌بندی آن‌ها به‌دلیل عدم‌وجود اتفاق‌نظر در این موضوع مشکل است. جدول ۱ خلاصه پژوهش‌های اخیر انجام‌شده در این حوزه را نشان می‌دهد.

جدول ۱: خلاصه مرور پژوهش‌های پیشین (محدود به ۱۱ سال اخیر)

پژوهشگران	سال	روش تحلیل داده‌ها در مدل ارزیابی فناوری	موردمطالعه	تعداد ابعاد مدل	تعداد شاخص در مدل
اجلی[1] و همکاران	۲۰۰۹	پرومته[2]	شرکت صنعتی نوشین	-	۶
انصاری و زارع[3]	۲۰۰۹	تحلیل محتوا	خط تولید بدنه ایران‌خودرو	۶	۲۳
فرنودی[4]	۲۰۰۹	فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی[5]	نظام بهداشت و درمان ایران	۶	۱۲

1 . Zelenika
2 . Khodabandehloo
3 . Yasseri
4 . Wang
5 . Adenuga
6 . Jokhu & Kutay

پژوهشگران	سال	روش تحلیل داده‌ها در مدل ارزیابی فناوری	موردمطالعه	تعداد ابعاد مدل	تعداد شاخص در مدل
چو[۶]	۲۰۰۹	تصمیم‌گیری چندشاخصه فازی[۷]	صنعت دوچرخه‌سازی تایوان	۲	۸
دیم و اینتارود[۸]	۲۰۰۹	فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی	شرکت تولیدی مواد ساختمانی	۳	۱۱
دیم[۹] و همکاران	۲۰۰۹	فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی	انرژی‌های پاک	۶	۱۳
خدابنده‌لو	۲۰۱۱	تاپسیس[۱۰]	بانک صنعت و معدن	۴	۴۹
شن[۱۱] و همکاران	۲۰۱۱	دیمتل[۱۲] و فرایند تحلیل شبکه[۱۳]	تولید لامپ دیود ارگانیکی	۴	۱۸
یاسری	۲۰۱۲	فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی	تولید زیردریایی	۶	۳۵
ما[۱۴] و همکاران	۲۰۱۳	فن دلفی	تولید سامانه‌های نیروزای نوری[۱۵]	۳	۱۰
علی‌اکبری نوری و شفیعی نیک‌آبادی[۱۶]	۲۰۱۴	فرایند تحلیل شبکه فازی و آراس[۱۷] فازی	شرکت خزر الکتریک	۳	۱۲
بائر و براون[۱۸]	۲۰۱۴	فن دلفی	کوره‌های خورشیدی کلرادو	-	۷
لی و همکاران	۲۰۱۵	فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی فازی	صنعت باتری‌سازی وسایل نقلیه الکترونیکی	-	۹
آخوندزاده[۱۹] و همکاران	۲۰۱۶	فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی فازی	صنعت پالپ و کاغذسازی	۶	۲۰
محقق و شیرازی[۲۰]	۲۰۱۶	ساو[۲۱]	شبکه هوشمند توزیع برق	-	۹
هانگ و لی[۲۲]	۲۰۱۶	فن دلفی	تولیدکننده مدارهای مجتمع در تایوان	-	۱۸
خراط[۲۳] و همکاران	۲۰۱۹	دلفی فازی، تحلیل سلسله‌مراتبی فازی و تاپسیس فازی	دفع زباله و ضایعات زیست‌محیطی	-	۱۱

پژوهشگران	سال	روش تحلیل داده‌ها در مدل ارزیابی فناوری	موردمطالعه	تعداد ابعاد مدل	تعداد شاخص در مدل
وانگ و همکاران	۲۰۱۹	فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی و ویکور[۲۴] فازی	فناوری‌های تبدیل انرژی پایدار برای پسماندهای کشاورزی	۴	۱۵
آدنوگا و همکاران	۲۰۲۰	تحلیل سلسله‌مراتبی	فناوری‌های بازیافت پسماندها در شهرداری غرب کیپ‌تاون و شش منطقه شهری دیگر	۴	۱۶
جک‌هو و کوتای	۲۰۲۰	مدل‌سازی سیستم‌های پویا[۲۵]	فناوری‌های مورداستفاده بومیان اندونزی	-	۳۰

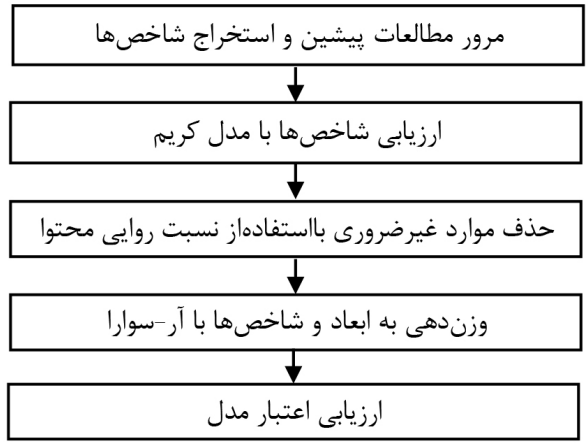
1 . Ajalli
2 . PROMETHEE
3 . Ansari & Zare
4 . Farnoodi
5 . Analytic Hierarchy Process (AHP)
6 . Chuu
7 . Multiple-Criteria Decision-Making (MCDM)
8 . Daim & Intarode
9 . Daim
10 . TOPSIS
11 . Shen
12 . DEMATEL
13 . Analytical Network Process (ANP)
14 . Ma
15 . Photovoltaic
16 . Aliakbari Noori & Shafiei Nikabadi
17 . ARAS
18 . Bauer & Brown
19 . Akhundzadeh
20 . Mohaghegh & Shirazi
21 . SAW
22 . Hung & Lee
23 . Kharat
24 . VIKOR
25 . System Dynamics Modeling

همان‌گونه که در پژوهش‌های پیشین دیده می‌شود، تعداد ابعاد و شاخص‌های ارزیابی فناوری مناسب در مدل‌های مختلف متفاوت است که می‌تواند به‌دلیل متفاوت‌بودن موردمطالعه در این پژوهش‌ها باشد. براین‌اساس می‌توان استنباط کرد که به‌دلیل متفاوت‌بودن نیاز و کانون توجه سازمان‌های موردمطالعه، مدل‌های انتخاب فناوری آن‌ها دارای شاخص‌های متفاوتی است و بنابراین برای هر نوع سازمان باید مدل خاصی تدوین شود. ازسوی‌دیگر روش‌های تحلیل داده در مدل‌های مختلف را می‌توان براساس برخورد قطعی یا غیرقطعی با داده‌ها تقسیم‌بندی کرد. دراین‌راستا مدل‌هایی که عدم‌قطعیت در داده‌ها را با روش‌های فازی لحاظ کرده‌اند، به‌واقعیت نزدیک‌ترند. ولی به‌جز منطق فازی، نظریه اعداد راف نیز قابلیت انعکاس عدم‌قطعیت در داده‌ها را دارد. پاولاک[1] و همکاران (۱۹۹۵) بیان می‌دارند که مزیت اصلی این نظریه این است که نیاز به اطلاعات کمتری درمورد داده‌ها دارد؛ به‌عنوان‌مثال نیازی به دانستن توزیع احتمال داده‌ها یا تابع عضویت مقادیر نیست و بنابراین کاربرد آن، آسان‌تر از روش‌های فازی است.

روش‌شناسی پژوهش

این مطالعه رویکرد استقرایی داشته و دررابطه‌با ماهیت و عوامل انتخاب فناوری مناسب، به اکتشاف، فهم و درنهایت تدوین مدل با روش پژوهش آمیخته می‌پردازد. مبتنی بر فرایند پژوهش (شکل ۱)، برای استخراج عوامل و شاخص‌های انتخاب فناوری ابتدا مرور پیشینه و مطالعات پیشین در دستورکار قرار گرفت. سپس این شاخص‌ها براساس ابعاد مدل کریم[2] ازطریق پرسشنامه (دارای طیف لیکرت پنج‌نقطه‌ای) باتکیه‌بر نظرسنجی از خبرگان موردارزیابی و پالایش قرار گرفتند. پس از تعیین ابعاد و شاخص‌ها، بااستفاده‌از نسبت روایی محتوا[3]، ابعاد و شاخص‌های غیرضروری (با دریافت نظر خبرگان به‌وسیله پرسشنامه نسبت روایی محتوا) حذف شده و با کمک تکنیک آر-سوارا[4] به آن‌ها وزن داده شد. بدین‌منظور طی پرسشنامه‌ای از هر خبره خواسته شد تا عوامل را رتبه‌بندی کنند و سپس این داده‌ها به‌عنوان ورودی روش آر-سوارا مورداستفاده قرار گرفتند. درنهایت با ارزیابی مدل بانظر خبرگان، مقایسه مدل با مطالعات پیشین و به‌کارگیری مدل در ارزیابی سه فناوری مشابه، اعتبار مدل موردارزیابی قرار گرفت.

1 . Pawlak
2 . Clear, Relevant, Economic, Adequate, Monitorable (CREAM)
3 . Content Validity Ratio (CVR)
4 . R-SWARA (Rough Step-wise Weight Assessment Ratio Analysis)



شکل ۱- فرایند پژوهش

خبرگان این پژوهش از دو گروه تشکیل شده بودند؛ گروه اول شامل اساتید دانشگاه بود که دارای تحصیلات یا پژوهش‌های مرتبط با موضوع مدیریت فناوری بودند و گروه دوم شامل متخصصان شرکت گاز بود که حداقل دارای مدرک کارشناسی بوده و حداقل ۵ سال سابقه خدمت در شرکت را داشتند. در مرحله ارزیابی شاخص‌ها، از نظرات هر دو گروه استفاده شد ولی در حذف موارد غیرضروری و وزن‌دهی به شاخص‌ها از نظرات گروه دوم بهره‌برداری شد.

در این پژوهش برای ارزیابی کیفیت شاخص‌ها و پالایش آن‌ها از مدل کریم استفاده شد. هدف مدل کریم، کمک به انتخاب شاخص‌های خوب است. براساس این مدل، هر شاخص باید شفاف[1] یعنی دقیق و بدون‌ابهام، مرتبط[2] یعنی مناسب برای موضوع دردست‌بررسی، مقرون‌به‌صرفه[3] یعنی دردسترس با هزینه معقول، مکفی[4] یعنی فراهم‌کننده مبنای کافی جهت سنجش عملکرد و قابل‌پایش[5] یعنی پذیرای اعتبارسنجی مستقل باشد. اگر هر یک از این پنج معیار برآورده نشوند، شاخص‌های تدوین‌شده چندان مفید نخواهند بود (زالکاسک و ریست[6]، ۲۰۰۴).

نسبت روایی محتوا روش دیگری است که برای پالایش شاخص‌ها استفاده شد. این نسبت معیاری

1 . Clear
2 . Relevant
3 . Economic
4 . Adequate
5 . Monitorable
6 . Zall Kusek & Rist

برای حذف یا ابقای یک شاخص است که از مزایایی نظیر سهولت محاسبه، ارائه نتیجه برای هر مورد، مقیاس سنجش ساده و وجود نقطه برش براساس تعداد پاسخگو برخوردار است (المناسره[1] و همکاران، ۲۰۱۹). در روش نسبت روایی محتوا از هر خبره خواسته می‌شود یکی از گزینه‌های «ضروری»، «مفید اما غیرضروری» یا «غیرلازم» را برای هر شاخص انتخاب کند. اگر n تعداد کل خبرگان و nA تعداد خبرگانی باشد که یک شاخص مدنظر را ضروری ارزیابی کرده‌اند، آنگاه نسبت روایی محتوا آن شاخص از فرمول زیر محاسبه می‌شود. براین‌اساس نسبت روایی محتوا باید از یک مقدار حداقل بزرگ‌تر باشد تا شاخص مدنظر حذف نشود؛ مقداری حداقلی که براساس تعداد خبرگان مشارکت‌کننده در پژوهش طبق جدول لاوشی[2] (۱۹۷۵) محاسبه می‌شود.

$$CVR = \frac{n_A - \frac{n}{2}}{\frac{n}{2}} \qquad (1)$$

روش آر-سوارا یکی از روش‌های نوین در مجموعه تکنیک‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره است که از تلفیق نظریه اعداد راف با یکی از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره به نام سوارا به‌منظور مدیریت بهتر عدم‌اطمینان در تصمیمات دنیای واقعی ایجاد شده است. نمادهای مورد استفاده در توضیح این روش، به‌شرح زیر است:

U: مجموعه شامل کلیه اشیای ممکن

Y: یک شیء اختیاری از U

R: مجموعه‌ای شامل t کلاس $\{G_1, G_2, \ldots, G_t\}$

R(Y): کلاس مربوط به شیء Y

q: اندیس شمارنده کلاس‌ها

$\underline{Apr}(G_q)$: تقریب پایین کلاس G

$\overline{Apr}(G_q)$: تقریب بالای کلاس G

$Bnd(G_q)$: ناحیه مرزی کلاس G

M_L: تعداد اشیای موجود در تقریب پایین کلاس G

M_U: تعداد اشیای موجود در تقریب بالای کلاس G

1 . Almanasreh
2 . Lawshe

$\underline{Lim}(G_q)$: کران پایین عدد راف مربوط به کلاس G

$\overline{Lim}(G_q)$:کران بالای عدد راف مربوط به کلاس G

$RN(G_q)$: عدد راف مربوط به کلاس G

C_j: ماتریس راف از پاسخ‌های خبرگان

C_j^l: کران پایین پاسخ‌های خبرگان

C_j^u: کران بالای پاسخ‌های خبرگان

گام‌های این روش به‌شرح زیر است (زاوادسکاس[1] و همکاران، ۲۰۱۸):

گام اول: تعریف مجموعه‌ای از شاخص‌های مهم در فرآیند تصمیم‌گیری

گام دوم: رتبه‌بندی شاخص‌ها براساس نظرات خبرگان

گام سوم: تبدیل پاسخ‌های فردی خبرگان به یک ماتریس راف بااستفاده‌از روابط ۲ تا ۸

$$\underline{Apr}(G_q) = \{Y \in U \mid R(Y) \leq G_q\} \quad (۲)$$

$$\overline{Apr}(G_q) = \{Y \in U \mid R(Y) \geq G_q\} \quad (۳)$$

$$Bnd(G_q) = \{Y \in U \mid R(Y) \neq G_q\} = \{Y \in U \mid R(Y) > G_q\} \cup \{Y \in U \mid R(Y) < G_q\} \quad (۴)$$

$$\underline{Lim}(G_q) = \frac{1}{M_L} \sum_{Y \in \underline{Apr}(G_q)} R(Y) \quad (۵)$$

$$\overline{Lim}(G_q) = \frac{1}{M_U} \sum_{Y \in \overline{Apr}(G_q)} R(Y) \quad (۶)$$

$$RN(G_q) = [\underline{Lim}(G_q), \overline{Lim}(G_q)] \quad (۷)$$

$$RN(C_j) = [C_j^L, C_j^U]_{1 \times m} \quad (۸)$$

گام چهارم: نرمال‌کردن ماتریس $RN(C_j)$ بدین‌صورت که برای اولین عنصر $RN(s_1)=[1 \quad 1]$و برای بقیه عناصر $j>1$ از رابطه ۹ محاسبه می‌شود.

$$RN(s_j) = \left[\frac{c_j^L}{\max(c_r^L)}; \frac{c_j^U}{\max(c_r^U)}\right]_{1 \times m} \quad j = 2,3, \dots, m \quad (۹)$$

گام پنجم: محاسبه ماتریس $RN(K_j)$ طبق رابطه ۱۰

$$RN(K_j) = [S_j^L + 1, S_j^U + 1]_{1 \times m} \quad j = 2,3, \dots, m \quad (۱۰)$$

1 . Zavadskas

گام ششم: تعیین ماتریس وزن‌های محاسبه‌شده بااستفاده‌از رابطه ۱۱

$$RN(Q_j)=\left[q_j^L=\begin{cases}۱.۰۰ & j=۱\\ \frac{q_{j-۱}^L}{K_j^U} & j>۱\end{cases},q_j^U=\begin{cases}۱.۰۰ & j=۱\\ \frac{q_{j-۱}^U}{K_j^L} & j>۱\end{cases}\right] \quad (۱۱)$$

گام هفتم: محاسبه ماتریس مقادیر نسبی ($RN(W_j)$) باتوجه‌به رابطه ۱۲

$$RN(W_j)=\left[w_j^L,w_j^U\right]=\left[\frac{\left[q_j^L,q_j^U\right]}{\sum_{j-۱}^{m}\left[q_j^L,q_j^U\right]}\right] \quad (۱۲)$$

درنهایت برای به‌دســت‌آوردن وزن نهایی راف دو مقدار $RN_۱$ و $RN_۲$، از معادله ضرب اعداد راف ارائه‌شده توسط ژاوو[1] و همکاران (۲۰۱۵) به‌شرح رابطه ۱۳ می‌توان استفاده کرد:

(۱۳)

$$RN_۱.RN_۲=\Big[\min(\underline{R_۱}\times\underline{R_۲},\underline{R_۱}\times\overline{R_۲},\overline{R_۱}\times\underline{R_۲},\overline{R_۱}\times\overline{R_۲}),max(\underline{R_۱}\times\underline{R_۲},\underline{R_۱}\times\overline{R_۲},\overline{R_۱}\times\underline{R_۲},\overline{R_۱}\times\overline{R_۲})\Big]$$

این پژوهش از منظر توسعه یک مدل بومی برای حل مسئله سنجش میزان مناسب‌بودن فناوری‌های موردنیاز شــرکت گاز و درنظرگرفتن عدم‌قطعیت در این مســئله با به‌کارگیری نظریه مجموعه‌های راف دارای نوآوری است. در مجموعه‌های راف وقتی اطلاعات برای نمایش دقیق مقادیر مجموعه کافی نباشد، از اعدادی با تقریب‌های بالا و پایین استفاده می‌شود. به‌کارگیری نظریه مجموعه‌های راف برای حل مسائل پیچیده یکی از موضوعات پژوهشی جذاب است (وو[2] و همکاران، ۲۰۰۴). رهیافت مجموعه‌های راف در تحلیل داده‌ها مزایای مهم بسیاری دارد که ازآن‌جمله می‌توان به استفاده از هر دو نوع داده کمّی و کیفی، سادگی درک عملکرد و ارائه تفسیرهای سرراست از نتایج به‌دست‌آمده اشاره کرد (پاولاک، ۱۹۹۸). مزیت اصلی نظریه مجموعه‌های راف در تحلیل داده‌ها، عدم‌نیاز آن به اطلاعات اولیه یا اضافی درباره داده‌ها نظیر احتمال در نظریه رخداد آماری یا درجه عضویت در نظریه مجموعه‌های فازی اســت (اســکوران و دوتا[3]،

1 . Zhu
2 . Wu
3 . Skowron & Dutta

۲۰۱۸).از ترکیب نظریه مجموعه‌های راف و روش تصمیم‌گیری چندمعیاره ســوارا، روش آر-ســوارا ایجاد شــده که در این پژوهش ازآن برای وزن‌دهی به معیارها اســتفاده شده است. این روش در سال ۲۰۱۸ معرفی شــده و قادر اســت ابهام در اطلاعات را با درنظرگرفتن اعداد بازه‌ای به‌جای اعداد دقیق مدیریت کند.

تجزیه‌وتحلیل یافته‌ها

بررسی دقیق پیشینه پژوهش منجر به استخراج ۲۷۵ شاخص شد (پرتکرارترین شاخص‌ها در جدول ۲) که با حذف موارد تکراری و رفع هم‌پوشانی‌ها، تعداد ۱۳۷ شاخص منحصربه‌فرد و مرتبط با انتخاب فناوری شناسایی شد.

جدول ۲: پرتکرارترین شاخص‌های انتخاب فناوری در پیشینه پژوهش

شاخص‌ها	پژوهشگران
وضعیت جریان‌های مالی و نقدینگی شرکت	خدابنده‌لو (۲۰۱۱)، علی‌اکبری نوری و شفیعی نیک‌آبادی (۲۰۱۴)، محقق و شیرازی (۲۰۱۶)، آخوندزاده و شیرازی (۲۰۱۶) و آدنوگا و همکاران (۲۰۲۰)
وضعیت بازار ازلحاظ ثبات مشتری و توانایی بالقوه رشد سهم بازار	آخوندزاده و شیرازی (۲۰۱۶)، شن و همکاران (۲۰۱۱)، ما و همکاران (۲۰۱۳) و هانگ و لی (۲۰۱۶)
قیمت و ارزش فناوری	خدابنده‌لو (۲۰۱۱)، انصاری و زارع (۲۰۰۹)، اجلی و همکاران (۲۰۰۹)، خراط و همکاران (۲۰۱۹)، وانگ و همکاران (۲۰۱۹) و آدنوگا و همکاران (۲۰۲۰)
سازگاری و قابلیت تطابق با سطح فناوری داخلی	فرنودی (۲۰۰۹)، دیم و اینتارود (۲۰۰۹)، خدابنده‌لو (۲۰۱۱)، یاسری (۲۰۱۲)، بائر و براون (۲۰۱۴) و آخوندزاده و شیرازی (۲۰۱۶)
ریسک قابلیت تأمین و دسترسی به مواد اولیه	خدابنده‌لو (۲۰۱۱)، یاسری (۲۰۱۲)، ما و همکاران (۲۰۱۳)، بائر و براون (۲۰۱۴) و هانگ و لی (۲۰۱۶)
هزینه نگهداری و تعمیرات	انصاری و زارع (۲۰۰۹)، اجلی و همکاران (۲۰۰۹)، دیم و همکاران (۲۰۰۹)، یاسری (۲۰۱۲)، علی‌اکبری نوری و شفیعی نیک‌آبادی (۲۰۱۴)، رن و لوزن[1] (۲۰۱۵) و آخوندزاده و شیرازی (۲۰۱۶)

شاخص‌ها	پژوهشگران
انعطاف‌پذیری فناوری	انصاری و زارع (۲۰۰۹)، چو (۲۰۰۹)، خدابنده‌لو (۲۰۱۱)، یاسری (۲۰۱۲)، علی‌اکبری نوری و شفیعی نیک‌آبادی (۲۰۱۴) و آخوندزاده و شیرازی (۲۰۱۶)
قابلیت اعتماد به فناوری	دیم و همکاران (۲۰۰۹)، علی‌اکبری نوری و شفیعی نیک‌آبادی (۲۰۱۴)، آخوندزاده و شیرازی (۲۰۱۶) و خراط و همکاران (۲۰۱۹)
امکان نوآوری و توسعه در فناوری	خدابنده‌لو (۲۰۱۱)، شن و همکاران (۲۰۱۱)، یاسری (۲۰۱۲)، ما و همکاران (۲۰۱۳)، لی و همکاران (۲۰۱۵) و هانگ و لی (۲۰۱۶)
اثرات مخرب جسمی و روحی فناوری بر کارکنان	فرنودی (۲۰۰۹)، اجلی و همکاران (۲۰۰۹)، دیم و همکاران (۲۰۰۹)، چو (۲۰۰۹)، خدابنده‌لو (۲۰۱۱)، شن و همکاران (۲۰۱۱)، یاسری (۲۰۱۲)، علی‌اکبری نوری و شفیعی نیک‌آبادی (۲۰۱۴)، هانگ و لی (۲۰۱۶) و خراط و همکاران (۲۰۱۹)
سطح عملکرد، بهره‌وری و کارایی فناوری	خدابنده‌لو (۲۰۱۱)، یاسری (۲۰۱۲)، علی‌اکبری نوری و شفیعی نیک‌آبادی (۲۰۱۴)، دیم و همکاران (۲۰۰۹) و هانگ و لی (۲۰۱۶)
میزان سرمایه‌گذاری به اشتغال	انصاری و زارع (۲۰۰۹)، دیم و همکاران (۲۰۰۹)، خدابنده‌لو (۲۰۱۱)، لی و همکاران (۲۰۱۵)، آخوندزاده و شیرازی (۲۰۱۶) و آدنوگا و همکاران (۲۰۲۰)
ارائه ضمانت‌های بازگشت و تعمیر[2]	انصاری و زارع (۲۰۰۹)، خدابنده‌لو (۲۰۱۱)، شن و همکاران (۲۰۱۱)، یاسری (۲۰۱۲)، ما و همکاران (۲۰۱۳) و آخوندزاده و شیرازی (۲۰۱۶)

شاخص‌های مذکور با روش کریم و ازطریق دریافت نظرات خبرگان باتکیه‌بر پرسشنامه موردارزیابی قرار گرفتند. جدول ۳ بخشی از نتیجه ارزیابی شاخص‌ها را نشان می‌دهد؛ بدین‌صورت که اعداد جدول، میانگین نظرات خبرگان در طیف لیکرت پنج نقطه‌ای می‌باشد.

1 . Ren & Lützen
2 . Guarantee & Warranty

جدول ۳: میانگین نظرات خبرگان با توجه به معیارهای کریم

شماره	شاخص	شفافیت	مرتبط بودن	هزینه سنجش	مناسب بودن	قابلیت پایش
۱	توانایی مالی شرکت برای خرید فناوری	۴/۸	۴/۲	۲/۸	۴/۲	۴
۲	وضعیت جریان‌های مالی و نقدینگی شرکت	۲/۶	۳/۴	۳/۴	۴	۳/۸
۳	نسبت‌های مالی	۳/۸	۳/۸	۲/۸	۳/۶	۴/۶
. . .	. . .	. . .	. . .	. . .	. . .	. . .
۱۳۵	امکان کسب فناوری	۲/۴	۲/۸	۲	۳/۲	۳/۲
۱۳۶	میزان زمان انتقال و دستیابی به فناوری	۳	۲/۸	۲/۲	۳/۶	۲/۸
۱۳۷	مدت‌زمان پیش‌بینی‌شده جهت دوران ساخت و کسب فناوری	۲/۴	۲/۴	۱/۶	۳/۸	۳

شاخص‌هایی که میانگین حداقل یکی از معیارهای کریم در آن‌ها کمتر از ۳ بود (به‌جز معیار هزینه سنجش که مقدار بیشتر از ۳ برای آن نامطلوب است) حذف شدند. در نتیجه این پالایش، ۶۱ شاخص حذف شد و ۷۶ شاخص باقی ماند. در گام بعد میزان ضرورت وجود هر شاخص در مدل نهایی بااستفاده‌از ضریب نسبت روایی محتوا ارزیابی شد. بدین‌منظور، طبق گام‌های این روش، نظرات خبرگان پیرامون نسبت روایی محتوا بااستفاده‌از پرسشنامه جمع‌آوری شد. جدول ۴ بخشی از اطلاعات جمع‌آوری‌شده ازطریق پرسشنامه مذکور را نشان می‌دهد؛ بدین‌صورت که هر عدد درون جدول، تعداد خبره‌ای را نشان می‌دهد که گزینه واقع در ستون را برای شاخص واقع در ردیف انتخاب نموده‌اند.

جدول ۴: ارزیابی شاخص‌ها باتوجه‌به ضریب نسبت روایی محتوا

شماره	شاخص	ضروری است	مفید است اما ضروری نیست	ضرورتی ندارد
۱	توانایی مالی شرکت برای خرید فناوری	۱۰	۱	۰
۲	نسبت‌های مالی	۷	۴	۰
۳	میزان عرضه کالا و خدمات شرکت به بازار	۳	۴	۴
۰ ۰ ۰	۰ ۰ ۰	۰ ۰ ۰	۰ ۰ ۰	۰ ۰ ۰
۷۴	وابستگی ارزی صنعت در طول بهره‌برداری	۷	۴	۰
۷۵	مؤلفه‌های کلان اقتصادی حاکم بر کشور	۳	۸	۰
۷۶	اعطای اعتبارات از طرف دولت به سازمان	۸	۲	۱

براســاس فرمول نسبت روایی محتوا، ضریب مذکور بــرای هر شاخص محاسبه شد که محاسبات مربوط به اولین شاخص درادامه آمده است:

$$CVR = \frac{n_A - \frac{n}{۲}}{\frac{n}{۲}} = \frac{۱۰ - ۵.۵}{۵.۵} = ۰.۸۱$$

در محاسبــات انجام‌شــده، عدد ۱۰ در این فرمول تعداد نفراتی اســت که برای این شاخص پاسخ «ضروری است» را انتخاب کرده‌اند و عدد ۵/۵ هم از تقسیم ۱۱ (تعداد خبره) بر ۲ به دست آمده است. ازآنجاکه جواب حاصل، بیشــتر از ۰/۶۲ است (طبق جدول لاوشــی) این شاخص موردقبول و درواقع ضروری می‌باشد. به‌همین‌روش بقیه شاخص‌ها موردبررسی قرار گرفتند. براساس ارزیابی نسبت روایی محتوا، ۳۳ شاخص انتخاب فناوری مناسب در شرکت گاز استان فارس تأیید شد و براساس مشــابهت زمینه‌ای و مفهومی، در سه بُعد مالی، راهبردی و فنی به‌شرح زیر تقسیم شدند:

۱. بُعــد مالــی شامل شاخص‌هــای «توانایی مالی شرکت بــرای خرید فنــاوری»، «نرخ استهلاک فناوری»، «هزینه‌هــای ایجاد تغییر»، «قیمت و ارزش فناوری»، «هزینه پیاده‌سازی فناوری» و

«هزینه نگهداری و تعمیرات».

۲. بُعد راهبردی شامل شاخص‌های «منافع سازمانی ناشی از به‌کارگیری فناوری»، «میزان توسعه و بهبود کیفیت خدمات شرکت توسط فناوری»، «اثر بالقوه فناوری بر صنعت»، «میزان برآورده‌سازی الزامات و رضایت مشتری»، «سهل‌بودن شرایط انتقال فناوری توسط عرضه‌کننده آن» و «میزان زمان انتقال و دستیابی به فناوری».

۳. بُعد فنی شامل شاخص‌های «ارائه ضمانت‌های بازگشت و تعمیر»، «زیرساخت‌های موردنظر موجود»، «طول عمر و عمر مفید فناوری»، «موقعیت فعلی فناوری در چرخه عمر»، «مشخصات فنی استاندارد فناوری»، «کیفیت و نشان تجاری اجزای تشکیل‌دهنده فناوری»، «سازگاری با ظرفیت موردنیاز»، «تعداد کارکنان موردنیاز، سطح مهارت و دردسترس‌بودن آن‌ها»، «سهولت استفاده از فناوری»، «امکانات لازم برای بهره‌برداری، تعمیر و نگهداری»، «برنامه تعمیرات و نگهداری پیش‌بینی‌شده»، «انعطاف‌پذیری فناوری»، «قابلیت اعتماد به فناوری»، «سرعت فناوری»، «امکان بومی‌سازی فناوری و هزینه آن»، «قابلیت کاربرد فناوری در محیط عملیاتی شرکت»، «میزان نیاز به نظام‌های اطلاعاتی داخلی شرکت»، «سطح عملکرد، بهره‌وری و کارایی فناوری»، «قابلیت دسترسی به منابع فنی»، «ریسک قابلیت تأمین و دسترسی به مواد اولیه» و «زمان پاسخ‌گویی تأمین‌کننده».

درنهایت رتبه این ابعاد و شاخص‌های هر بُعد براساس نظرسنجی از خبرگان و به‌صورت مقایسه‌ای دریافت شد. جدول ۵ رتبه‌بندی ابعاد توسط خبرگان را نشان می‌دهد. سپس بااستفاده‌از روش آر-سوارا، وزن ابعاد و شاخص‌ها براساس رتبه‌های کسب‌شده محاسبه شد.

جدول ۵: رتبه‌بندی ابعاد سه‌گانه توسط خبرگان

بعد / خبره	E_1	E_2	E_3	E_4	E_5	E_6	E_7	E_8	E_9
C_1	۲	۲	۳	۲	۲	۲	۳	۳	۱
C_2	۳	۳	۱	۱	۳	۳	۱	۱	۳
C_3	۱	۱	۲	۳	۱	۱	۲	۲	۲

در این جدول C_1 به بُعد مالی، C_2 به بُعد راهبردی و C_3 به بُعد فنی اشاره دارد. بااستفاده‌از روابط ذیل یک گروه، C_j ماتریس راف به‌شرح زیر به‌دست می‌آید:

$$C_1 = \{2,2,3,2,2,2,3,3,1\}$$

$$\underline{Lim}(2) = \frac{1}{6}(2+2+2+2+2+1) = 1.833\ ,\ \overline{Lim}(2) = \frac{1}{8}(2+2+3+2+2+2+3+3) = 2.375$$

$$\underline{Lim}(3) = \frac{1}{9}(2+2+3+2+2+2+3+3+1) = 2.222\ ,\ \overline{Lim}(3) = 3$$

$$\underline{Lim}(1) = 1\ ,\ \overline{Lim}(1) = \frac{1}{9}(2+2+3+2+2+2+3+3+1) = 2.222$$

$$C_1^L = \frac{1.833+1.833+2.222+1.833+1.833+1.833+2.222+2.222+1}{9} = 1.870$$

$$C_1^U = \frac{2.375+2.375+3+2.375+2.375+2.375+3+3+2.222}{9} = 2.566$$

$RN(C_3) = [1.00, 1.00]$ $RN(C_2) = [1.61, 2.60]$ $RN(C_1) = [1.87, 2.56]$

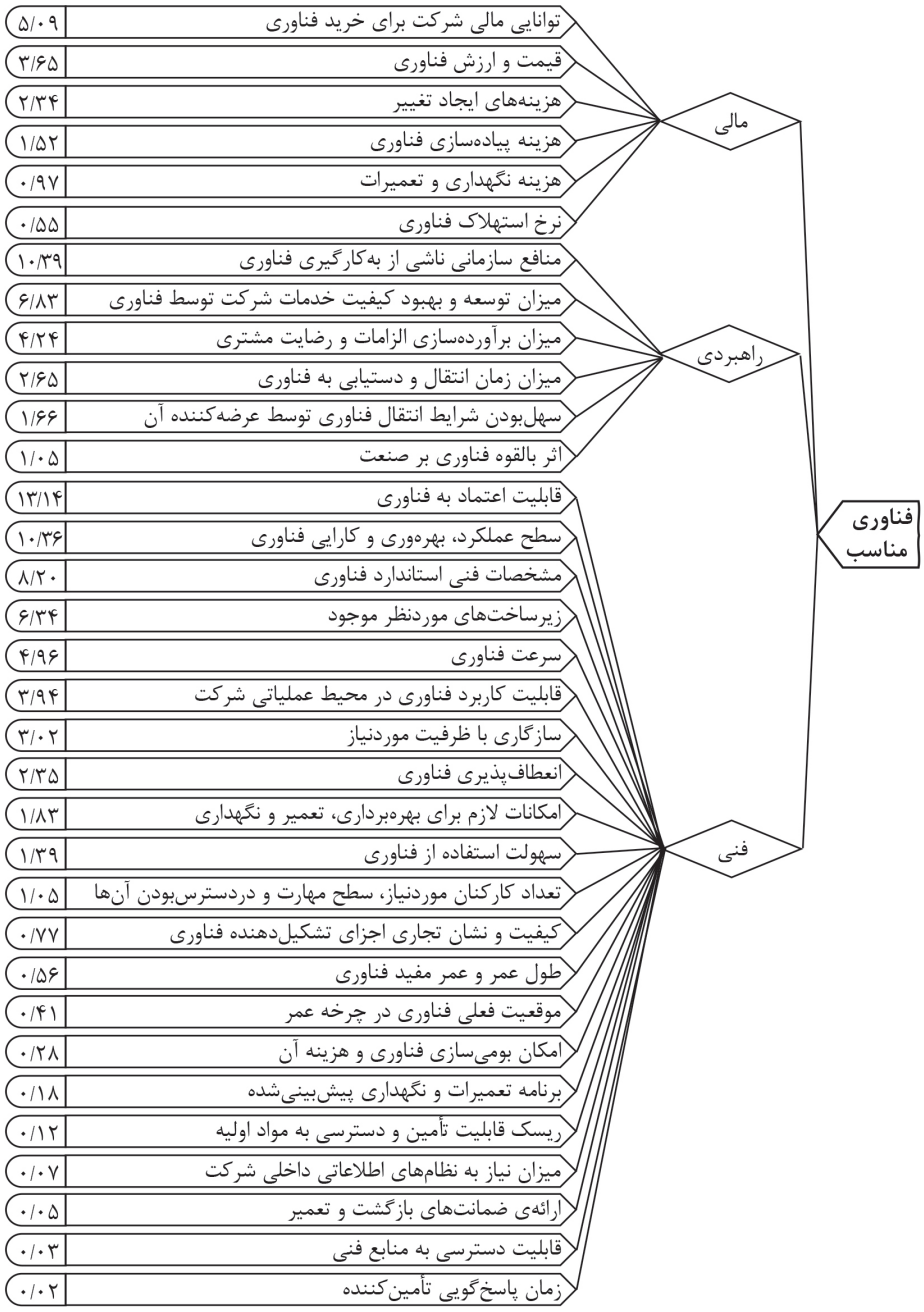
$RN(S_3) = [1.00, 1.00]$ $RN(S_2) = [0.63, 1.39]$ $RN(S_1) = [0.72, 1.37]$

$RN(K_3) = [1.00, 1.00]$ $RN(K_2) = [1.63, 2.39]$ $RN(K_1) = [1.72, 2.37]$

$RN(q_3) = [1.00, 1.00]$ $RN(q_2) = [0.417, 0.613]$ $RN(q_1) = [0.176, 0.354]$

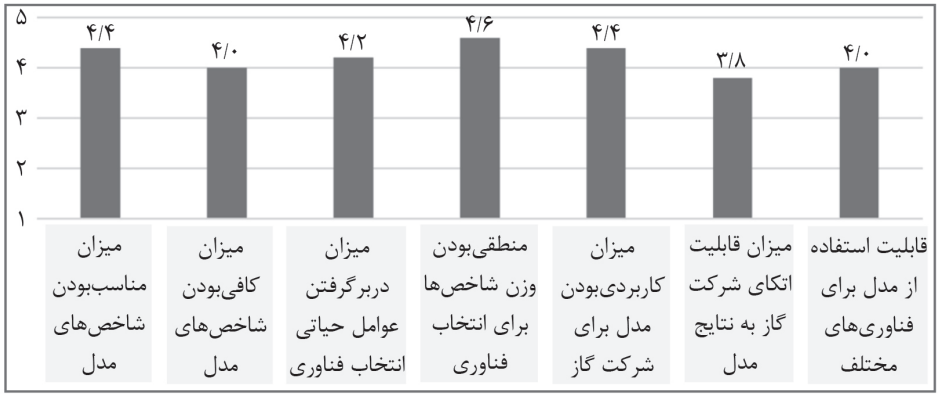
$RN(w_3) = [0.508, 0.627]$ $RN(w_2) = [0.212, 0.384]$ $RN(w_1) = [0.089, 0.222]$

همین مراحل برای شاخص‌های واقع در ذیل ابعاد مالی، راهبردی و فنی انجام شد تا وزن موضعی شاخص‌هـای هر بُعـد حاصل شود. سپس برای به‌دست‌آوردن وزن نهایـی راف، از معادله ضرب اعداد راف استفاده شد و وزن بُعد در وزن موضعی هر شاخص زیرمجموعه ضرب شد. آنگاه برای محاسبه‌ی وزن نهایـی به‌صورت قطعی ابتـدا میانگین حد بالا و پایین وزن نهایی راف هر شاخص محاسبه و بعد از آن بـه‌روش ساعتـی نرمال شد تـا وزن قطعی به‌دست آید. درنهایت مجمـوع وزن شاخص‌های هر بُعـد، به‌عنـوان وزن آن بُعد لحاظ شد. شکل ۲ نتیجه بخش کیفی و محاسبه درصد وزن‌ها را به‌تصویر می‌کشـد. براین‌اساس در این مدل وزن بُعد مالی، راهبردی و فنی به‌ترتیب ۱۴/۱۲، ۲۶/۸۲ و ۵۹/۰۶ درصد می‌باشد.



شکل ۲: مدل پیشنهادی انتخاب فناوری مناسب

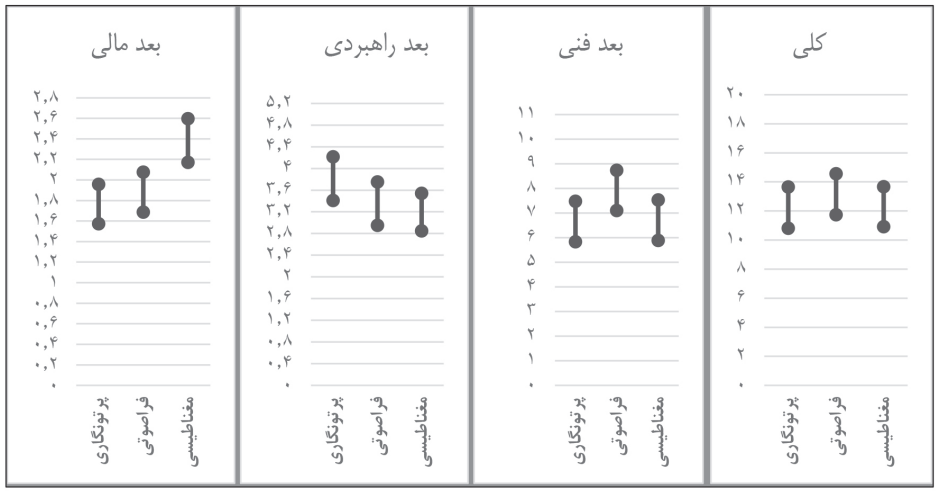
به‌منظور ارزیابی اعتبار مدل طراحی‌شده، این مدل درنهایت به خبرگان شرکت ارائه شد و از هفت منظر براساس طیف لیکرت پنج نقطه‌ای موردارزیابی قرار گرفت؛ ابعادی که از مصاحبه‌های باز و تعامل با متخصصان شرکت و اساتید دانشگاهی پیش‌تر استخراج شده بود. میانگین نظرات خبرگان در شکل ۳ نمایش داده شده است که همگی بالاتر از میانگین هستند.



شکل ۳: نمودار میزان اعتبار مدل از مناظر مختلف

به‌منظور درک بهتر مدل طراحی‌شده و ارزیابی میزان اعتبار آن، این مدل با سایر مدل‌های موجود در پیشینه پژوهش مقایسه شد. براساس این مقایسه، مدل پیشنهادی بیشترین شباهت را با مدل خدابنده‌لو (۲۰۱۱) دارد زیرا ۶۷٪ شاخص‌ها مشترک هستند که به‌نظر می‌رسد به‌دلیل تعدد شاخص‌های مطالعه یادشده (۴۹ شاخص) باشد. علی‌رغم این شباهت، صنعت موردمطالعه کاملاً متفاوت است. همچنین درراستای اعتباریابی عملی مدل طراحی‌شده، سه فناوری جایگزین در حوزه بازرسی و عیب‌یابی جوش‌های خطوط لوله شامل دستگاه آزمایش پرتونگاری[1]، دستگاه آزمایش فراصوتی[2] و دستگاه آزمایش ذرات مغناطیسی[3] توسط خبرگان آگاه به این فناوری‌ها و بااستفاده‌از این مدل موردبررسی قرار گرفتند. نتایج این ارزیابی در سه بُعد مالی، راهبردی و فنی به‌شرح شکل ۴ است. آخرین شکل این نمودار، وضعیت کلی این سه فناوری را نسبت به هم نشان می‌دهد.

1 . Radiography Test
2 . Ultrasonic Test
3 . Magnetic Test



شکل ۴: نمودار ارزیابی سه فناوری مشابه بااستفاده‌از مدل پیشنهادی

برای نشان‌دادن اعداد راف که دارای دو مقدار حداقل و حداکثر است، اعداد روی نمودار به‌صورت بازه‌ای نشان داده شده‌اند. به‌عبارتی برای هر بُعد یک فناوری، دو عدد نشان‌دهنده حدود وضعیت آن فناوری در آن بُعـد اسـت. براساس نمودار، در هر بُعد، یک فناوری برتر است ولی درمجموع، فناوری فراصوتی بـا امتیـاز راف (۱۱/۷۴ تا ۱۴/۵۷) از دو فناوری دیگر بهتر می‌باشـد. شایان ذکر است بررسی صحت نتیجه مدل نشـان داد که این نتیجه با برداشت ذهنی و تجربه‌های متخصصان شرکت سازگار است و براین‌اساس صحت خروجی مدل نیز موردتأیید قرار گرفت.

نتیجه‌گیری و بحث

انتخاب فناوری مناسب به‌صورت علمی و معقول، برای هر کشور و هر سازمانی اهمیت راهبردی فراوانی دارد؛ اما درعمل این امر مبتنی بر تجارب گذشته است که به‌دلیل فقدان مطالعه عمیق نظری و به‌ویژه کمّـی می‌باشد (خـو و سُنگ[1]، ۲۰۱۱). فناوری مناسب ماهیتی بین‌رشتـه‌ای دارد و بنابراین می‌توان مدل‌هـای مختلفی بـرای آن ارائه داد (پاتنایک و بهومیـک، ۲۰۱۸). باتوجه‌به ضرورت تحلیل داده‌ها بـرای انتخاب فناوری مناسب، در این پژوهش از نظریه مجموعه‌های راف برای تحلیل داده‌ها استفاده و مـدل انتخاب فناوری مناسب بـرای شرکت گاز استان فارس تدوین شـد؛ بدین‌صورت که در ابتدا

1 . Xu & Song

مرور پیشـــینه و مطالعات پیشین برای استخراج شاخص‌های انتخاب فناوری در دستورکار قرار گرفت و براین‌اســـاس، ۱۳۷ شاخص منحصربه‌فرد برای انتخاب فنـــاوری استخراج شد. سپس این شاخص‌ها توســـط خبرگان و باتکیه‌بر معیارهای کریم ارزیابی شدند و پـــس از حذف شاخص‌های نامناسب، ۷۶ شاخـــص باقی ماندند که بااستفـــاده‌از ضریب نسبت روایی محتوا، شاخص‌های غیرضروری حذف و ۳۳ شاخص نهایی باقی ماندند که در ۳ بُعد مالی و اقتصادی، راهبردی و فنی طبقه‌بندی شدند. در مرحله بعد باکمک تکنیک آر-سوارا به این شاخص‌ها وزن داده شد و بدین‌ترتیب مدل انتخاب فناوری مناسب برای شرکت گاز اســـتان فارس تدوین شد. برای اعتباریابی مدل طراحی‌شده، نظرات خبرگان شرکت در مورد آن جمع‌آوری شد که تأییدکننده مدل بودند. به‌منظور آزمایش توان عملی مدل در تشخیص میزان مناسب بودن فناوری‌ها، سه فناوری مشابه مورداستفاده در شرکت موردمطالعه با آن ارزیابی شد و نتایج آن با نظر خبرگان مقایسه شد که نتایج مبین صحت عملکرد مدل بود.

در مـــدل طراحی‌شده، بیشـــترین وزن مربوط به بُعد فنی اســـت (۵۹/۰۶٪) و این می‌تواند به‌دلیل تخصصی‌بودن سازمان موردمطالعه و خاص‌بودن فناوری‌های مورداستفاده در آن باشد زیرا دانش فنی بالایی در این‌گونه فناوری‌ها نهفته است که ملاک مهمی در ارزیابی فناوری است. دومین بُعد مهم، بُعد راهبـــردی (۲۶/۸۲٪) است و درنهایت بُعد مالی، کمتریـــن وزن (۱۴/۱۲٪) را دارد که می‌تواند به‌دلیل توان مالی نسبتاً مناسب شرکت باشد. مهم‌ترین شاخص از بین ۳۳ شاخص، «قابلیت اعتماد به فناوری» با وزن ۱۳/۱۴٪ است که نشان از حساسیت بالای شرکت به توانمندی فناوری در ارائه عملکرد درست اســـت و ممکن است ناشی از ریسک بالای استفـــاده از فناوری‌های غیردقیق یا ضعیف در این صنعت باشد.

ازسوی‌دیگر این مدل با سایر مدل‌های مشابه مقایسه شد و شباهت‌ها و تفاوت‌های آن‌ها موردبررسی قـــرار گرفت. از شاخص‌های سی‌وسه‌گانه کـــه در مدل انتخاب فناوری مناسب در این پژوهش به‌دست آمـــده است، هیچ‌کدام در مطالعات فرنودی (۲۰۰۹)، ما و همکاران (۲۰۱۳) و لی و همکاران (۲۰۱۵) دیده نشـــده و از مطالعه اجلی و همکاران (۲۰۰۹) فقط یک شاخص در بین نتایج حاصله وجود دارد. حـــدود ۶٪ از این شاخص‌ها به‌طور جداگانه در مطالعه شیرازی و محقق (۲۰۱۶)، چو (۲۰۰۹)، دیم و اینتارود (۲۰۰۹)، شن و همکاران (۲۰۱۱) و هانگ و لی (۲۰۱۶) مشاهده می‌شود. ۹٪ از شاخص‌ها با مطالعات طیبا و شفیعا (۲۰۰۵) و دیم و همکاران (۲۰۰۹) مشترک است. همچنین ۱۲٪ از شاخص‌ها در پژوهش‌هـــای آخوندزاده و شیـــرازی (۲۰۱۶) و بائر و براون (۲۰۱۴) و حدود ۱۸٪ آن‌ها در پژوهش

یاسری (۲۰۱۲) تکرار شده‌اند. علاوه‌براین مطالعات انصاری و زارع (۲۰۰۹) و خدابنده‌لو (۲۰۱۱) دارای بیشـــترین اشتراک شاخص‌ها می‌باشند که به ترتیب به ۱۰٪ و ۱۱٪ از این ۳۳ شاخص اشاره کرده‌اند. علی‌رغم اینکه شاخص‌های حاصله در مطالعه انصاری و زارع (۲۰۰۹) و خدابنده‌لو (۲۰۱۱) بیشـــتری هم‌پوشانی را با پژوهش حاضر دارند اما شاخص‌های دارای بیشترین وزن، متفاوت هستند. این تفاوت و همچنین تفاوت حدود ۹۰ درصدی در شاخص‌ها را می‌توان به صنعت موردمطالعه ربط داد و منشأ آن را خاص‌بـــودن مـــدل انتخاب فناوری برای هر شرکت دانست کـــه در ادبیات نظری نیز به آن اشاره شده است.

هرچنـــد مدل طراحی‌شده دارای محدودیت نسبی جهت تعمیم‌پذیـــری به صنایع دیگر است، اما کماکان برای به‌کارگیری در سایر شرکت‌های گاز استانی و حتی سایر شرکت‌های فعال در صنعت گاز کشـــور نیز مناسب می‌باشد. ازسوی‌دیگر به‌نظر می‌رسد مدل طراحی‌شده این توان بالقوه را دارد که با تأیید شاخص‌ها و تغییر اوزان، بتواند به یک مدل مرجع در صنعت نفت و گاز کشور برای انتخاب فناوری مناسب تبدیل شود. سایر پیشنهادهای پژوهشی این مطالعه شامل پیشنهادهای مربوط به تغییر منطق و روش تحلیل داده‌ها و برقراری پیوند بین مفهوم فناوری مناسب و سایر مفاهیم مدیریت فناوری است. همچنین استفاده از منطق خاکستری به‌جای نظریه مجموعه‌های راف و ارزیابی اثر آن بر کارایی مدل می‌توانـــد در پژوهش‌هـــای آتی بررسی شود. همچنین می‌توان امتـــداد فرایند انتخاب فناوری مناسب یعنـــی انتقال مناسب فناوری مناسب را به‌عنوان موضوع کلان پژوهشـــی مدنظـــر قرار داد و چگونگی اکتســـاب فناوری مناسب را بررسی کـــرد. ازطرف‌دیگر باتوجه‌به اهمیت بهره‌گیـــری بهینه از فناوری، مدیریـــت مناسب فناوری با نگاه به آینده و ضمـــن درنظرگرفتن مباحث زیست‌محیطی در استفاده از فناوری مناسب می‌تواند به‌عنوان موضوع پژوهشـــی مدنظـــر قرار گیرد. درنهایت اثرات فناوری مناسب بـــر توسعه منطقه‌ای نیز موضوعی است که در مناطق کمترتوسعه‌یافته می‌تواند موردتوجه قرار گیرد.

تشکر و قدردانی

پژوهـــش حاضر با حمایت شرکت گـــاز استان فارس انجام شده اســـت و بدین‌طریق از همکاری کلیه مسئولان و متخصصان این شرکت تشکر و قدردانی می‌شود.

منابع

- Adenuga, O. T., Mpofu, K., & Modise, K. R. (2020). An approach for enhancing optimal resource recovery from different classes of waste in South Africa: Selection of appropriate waste to energy technology. *Sustainable Futures, 2*, 100033. https://doi.org/10.1016/j.sftr.2020.100033
- Ajalli, M., Jafarnejad, A. & Bitaraf, A. (2009). Introducing a unified model for identification and adoption an appropriate technology: Nooshin manufacturing firm [In Persian]. *Journal of Knowledge and Technology*, *1*(1), 48-68. Retrieved from http://magiran.com/p798885
- Akhundzadeh, M., Shirazi, B. & Soltanzadeh, J. (2015), *Evaluation and selection of appropriate technology in pulp section using AHP method: Case study Mazandaran wood & paper industries* [In Persian]. International Conference on Modern Research in Management & Industrial Engineering, IRIB International Conference Center, Tehran, Iran. Retrieved from https://civilica.com/doc/435110
- Aliakbari Noori, F. & Shafiei Nikabadi, M. (2014) Justification and selection of advanced technologies: Application of hybrid MCDM approach based on FANP and FARAS [In Persian]. *Journal of Technology Development Management*, *2*(3), 109-134. https://doi.org/10.22104/jtdm.2016.223
- Almanasreh, E., Moles, R., & Chen, T. F. (2019). Evaluation of methods used for estimating content validity. *Research in Social and Administrative Pharmacy*, *15*(2), 214-221. https://doi.org/10.1016/j.sapharm.2018.03.066
- Ansari, M., & Zare, A. (2009). Determination of factors affecting the technology selecting and transferring: Case study of car body production line in Iran Khodro [In Persian]. *Journal of Executive Management*, *1*(33), 37-56. http://jem.journals.umz.ac.ir/article_196.html
- Bauer, A. M., & Brown, A. (2014). Quantitative assessment of appropriate technology. *Procedia Engineering*, *78*, 345–358. https://doi.org/10.1016/j.proeng.2014.07.076
- Berawi, M. A. (2018). The fourth industrial revolution: Managing technology development for competitiveness. *International Journal of Technology, 9*(1), 1-4. https://doi.org/10.14716/ijtech.v9i1.1504
- Chuu, S. J. (2009). Selecting the advanced manufacturing technology using fuzzy multiple attributes group decision making with multiple fuzzy information. *Computers & Industrial Engineering*, *57*(3), 1033–1042.

https://doi.org/10.1016/j.cie.2009.04.011

- Daim, T. U., & Intarode, N. (2009). A framework for technology assessment: Case of a Thai building material manufacturer. *Energy for Sustainable Development*, *13*(4), 280–286. https://doi.org/10.1016/j.esd.2009.10.006
- Daim, T., Yates, D., Peng, Y., Jimenez, B. (2009). Technology assessment for clean energy technologies: The case of the Pacific Northwest. *Technology in Society*, *31*(3), 232–243. https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2009.03.009
- Ely, A., Van Zwanenberg, P., & Stirling, A. (2011). *New models of technology assessment for development*. STEPS, Brighton, UK. https://steps-centre.org/anewmanifesto/wp-content/uploads/technology_assessment.pdf
- Farnoodi, S. (2009). Presenting a framework for evaluation of health technologies in health and medical system of Iran: Case Study of Robolens robot [In Persian]. *Journal of Science & Technology Policy*, *2*(3), 75-86. http://jstp.nrisp.ac.ir/article_12790.html
- Gregory, M. J. (1995). Technology management: A process approach. *Proceedings of the Institution Mechanical Engineers*, *Part B: Journal of Engineering Manufacture*, *209*(5), 347-356. https://doi.org/10.1243/PIME_PROC_1995_209_094_02
- Hung, C. Y., & Lee, W. Y. (2016). A proactive technology selection model for new technology: The case of 3D IC TSV. *Technological Forecasting and Social Change*, *103*, 191–202. https://doi.org/10.1016/j.techfore.2015.11.009
- Jokhu, P. D., & Kutay, C. (2020). Observations on appropriate technology application in indigenous community using system dynamics modelling. *Sustainability*, *12*(6), 2245. https://doi.org/10.3390/su12062245
- Jolly, D. R. (2012). Development of a two-dimensional scale for evaluating technologies in high-tech companies: An empirical examination. *Journal of Engineering and Technology Management*, *29*(2), 307-329. https://doi.org/10.1016/j.jengtecman.2012.03.002
- Kaplinsky, R. (2011). Schumacher meets Schumpeter: Appropriate technology below the radar. *Research Policy*, *40*(2), 193–203. https://doi.org/10.1016/j.respol.2010.10.003
- Kharat, M. G., Murthy, S., Kamble, S. J., Raut, R. D., Kamble, S. S., & Kharat, M. G. (2019). Fuzzy multi-criteria decision analysis for environmentally conscious solid waste treatment and disposal technology selection, *Technology in Society*, *57*, 20-29. https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2018.12.005

- Khodabandehloo, H. (2011) *Providing a model for appropriate industrial technology selection from technologies introduced by facility applicants of Bank of Industry and Mine*, [Unpublished master's thesis, in Persian]. Payam Noor University (Shemiranat Branch).
- Lan, P., & Young, S. (1996). International technology transfer examined at technology component level: A case study in China. *Technovation, 16*(6), 277–286. https://doi.org/10.1016/0166-4972(96)00005-3
- Lawshe, C. H. (1975). A quantitative approach to content validity. *Personnel Psychology, 28*(4), 563-575. https://doi.org/10.1111/j.1744-6570.1975.tb01393.x
- Lee, J., Kim, K., Shin, H., & Hwang, J. (2018). Acceptance factors of appropriate technology: Case of water purification systems in Binh Dinh, Vietnam. *Sustainability, 10*(7), 1-20. https://doi.org/10.3390/su10072255
- Lee, S. L., Chen, P. C., Chan, W. C., & Hung, S. W. (2015). A three-stage decision-making model for selecting electric vehicle battery technology. *Transportation Planning and Technology*, *38*(7), 761–776. https://doi.org/10.1080/03081060.2015.1059122
- Ma, D., Chang, C. C., & Hung, S. W. (2013). The selection of technology for late-starters: A case study of the energy-smart photovoltaic industry. *Economic Modelling*, *35*, 10-20. https://doi.org/10.1016/j.econmod.2013.06.030
- Mohaghegh, M. & Shirazi, B. (2016). Prioritization of power distribution smart grid technologies based on the attractiveness criteria: Case study on Mazandaran power distribution company [In Persian]. *Roshd–e-Fanavari Journal of Science & Technology Parks and Incubators*, *12*(48), 44-49. http://roshdefanavari.ir/Article/13951006917524325
- Nakhaeinejad, M. & Safari, M. (2019). Identification and ranking of technology risks in the field of natural gas energy distribution by the integrative approach of FMEA and TOPSIS: The Case of Chaharmahal and Bakhtiari Province Gas Company [In Persian]. *Journal of Production and Operations Management*, *10*(2). 143-159. https://jpom.ui.ac.ir/article_24484.html
- Patnaik, J., & Bhowmick, B. (2018). Appropriate Technology: Revisiting the Movement in Developing Countries for Sustainability. *International Journal of Urban and Civil Engineering*, *12*(3), 308-312. https://doi.org/10.5281/zenodo.1316135
- Patnaik, J., & Bhowmick, B. (2019). Revisiting appropriate technology with changing socio-technical landscape in emerging countries. *Technology in Society, 57*, 8-19.

https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2018.11.004

- Pawlak, Z. (1998). Rough set theory and its applications to data analysis. *Cybernetics and Systems*, *29*(7), 661-688. https://doi.org/10.1080/019697298125470
- Pawlak, Z., Grzymala-Busse, J., Slowinski, R., & Ziarko, W. (1995). Rough sets. *Communications of the ACM*, *38*(11), 88–95. https://doi.org/10.1145/219717.219791
- Rais, Somantri, O., Afriliana, I., Budihartono, E., & Khambali, M. (2020). An optimized model for classification of appropriate technology products using neural networks and genetic algorithms. *Journal of Physics: Conference Series, 1430*, 012035. https://doi.org/10.1088/1742-6596/1430/1/012035
- Ren, J., & Lützen, M. (2015). Fuzzy multi-criteria decision-making method for technology selection for emissions reduction from shipping under uncertainties. *Transportation Research*, *40*, 43–60. https://doi.org/10.1016/j.trd.2015.07.012
- Schumacher, E.F. (1973) *Small is beautiful: Economics as if people mattered*. HarperCollins.
- Shen, Y. C., Lin, G. T. R., & Tzeng, G. H. (2011). Combined DEMATEL techniques with novel MCDM for the organic light emitting diode technology selection. *Expert Systems with Applications*, *38*(3), 1468–1481. https://doi.org/10.1016/j.eswa.2010.07.056
- Skowron, A. & Dutta, S. (2018). Rough sets: Past, present, and future. *Natural Computing*, *17*(4), 855-876. https://doi.org/10.1007/s11047-018-9700-3
- Torkkeli, M. & Tuominen, M. (2002). The contribution of technology selection to core competencies. International Journal of Production Economics, 77(3), 271-284. https://doi.org/10.1016/S0925-5273(01)00227-4
- Wang, B., Song, J., Ren, J., Li, K., Duan, H., & Wang, X. (2019). Selecting sustainable energy conversion technologies for agricultural residues: A fuzzy AHP-VIKOR based prioritization from life cycle perspective. *Resources, Conservation and Recycling*, *142*, 78–87. https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2018.11.011
- Wu, C., Yue, Y., Li, M. & Adjei, O. (2004). The rough set theory and applications. *Engineering Computations*, *21*(5), 488-511. https://doi.org/10.1108/02644400410545092
- Xu, Z. J., & Song, Y. K. (2011, September). Selection of appropriate technology based on Fuzzy Comprehensive Evaluation. In *2011 IEEE 18th International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management* (pp. 834-838). IEEE.

https://doi.org/10.1109/ICIEEM.2011.6035288

- Yasseri, S. (2012). Subsea technologies selection using analytic hierarchy process. *Underwater Technology*, *30*(3), 151–164. https://doi.org/10.3723/ut.30.151
- Yoon, B., Shin, J., & Lee, S. (2018). Technology assessment model for sustainable development of LNG terminals. *Journal of Cleaner Production*, *172*, 927–937. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.10.187
- Zall Kusek, J., & Rist, R. (2004). *Ten steps to a results-based monitoring and evaluation system: A handbook for development practitioners*. World Bank Publications. https://doi.org/10.1596/0-8213-5823-5
- Zavadskas, E. K., Stevic, Z. Tanackov, I. Prentkovskis, O. (2018). A novel multicriteria approach rough step-wise weight assessment ratio analysis method (R-SWARA) and its application in logistics. *Studies in Informatics and Control*, *27*(1), 97-106. https://doi.org/10.24846/v27i1y201810
- Zelenika (2011). Barriers to appropriate technology growth in sustainable development. *Journal of Sustainable Development*, *4*(6), 12-22. https://doi.org/10.5539/jsd.v4n6p12
- Zhou, J., Jiao, H., & Li, J. (2017). Providing appropriate technology for emerging markets: Case study on China's solar thermal industry. *Sustainability, 9*(2), 1-21. https://doi.org/10.3390/su9020178
- Zhu, G.-N., Hu, J., Qi, J., Gu, C.-C., & Peng, Y.-H. (2015). An integrated AHP and VIKOR for design concept evaluation based on rough number. *Advanced Engineering Informatics*, *29*(3), 408–418. https://doi.org/10.1016/j.aei.2015.01.010