الـگوریتم ترکیبی KMPCA برای انتخـاب فناوری با اسـتفاده از خوشه‌بندی و تحلیل مولفه‌های اصلی

■ عباس سرافرازی *+
دکتری مهندسی صنایع، عضو هیات علمی، گروه مهندسی صنایع، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۶/۸، تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۷/۲ و تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۷/۱۷
صفحات: ۱۰۰-۸۵
10.22034/jtd.2022.697426

چکیده

انتخاب فناوری مناسب، مسئله مهمی است که بنگاه‌های تولیدی و صنعتی با آن مواجه هستند. این درحالی است که، دسترسی به فناوری‌های جدید، مجموعه انتخاب را وسـیع کرده اسـت؛ به‌طوری‌که حل مسـئله انتخاب فناوری با وجود معیارهای تصـمیم متعدد، بیش از پیش مشـکل و پیچیده شده است. از طرفی، فناوری مناسب می‌تواند مزایای رقابتی قابل توجهی را برای یک شرکت در یک محیط پیچیده کسـب و کار ایجاد نماید. تاکنون روش‌های مختلفی جهت حل مسـئله انتخاب فناوری ارائه گردیده است که هر یک دارای مزایا و معایبی هستند. ولی هیچ یک از روش‌های پیشنهادی به‌طور واحد کلیه قابلیت‌های لازم را ندارند. در این مقاله با به‌کارگیری روش تحلیل مولفه‌های اصـلی، روش ترکیبی خوشـه بندی و تحلیل مولفه‌های اصـلی به همراه تئوری فازی، الگوریتم ترکیبی KMPCA در حل مسـئله انتخاب فناوری توسـعه داده شـده اسـت. تعداد متغیرهای انتخاب فناوری از ۶ به ۱۴ متغیر با پوشـش کامل‌تری از ابعاد تصـمیم ارتقاء یافت و داده‌ها از ۴۹ فناوری رایج صـنعت سنگ ایران جمع‌آوری و در مدل آزمون گردید. نتایج این تحقیق ضمن بهبود حل، کاهش ابعاد مسئله و کاهش روابط چند همخطی میان داده‌ها را در فرآیند انتخاب فناوری نشان می‌دهد.

واژگان کلیدی: انتخاب فناوری، خوشه بندی، K-Means، تحلیل مولفه‌های اصلی، PCA، KMPCA.

* عهده دار مکاتبات
+ آدرس پست الکترونیکی: A_Sarafrazi@pnu.ac.ir

۱- مقدمه

انتخاب فناوری مناسب یکی از تصمیمات مهم، راهبردی و پرچالش مدیران است؛ چرا که وجود و دسترسی به فناوری‌های جدید، مجموعه انتخاب فناوری را گسترش داده است و با توجه به تفاوت شرایط محیطی و شرایط داخلی شرکت‌ها، نمی‌توان یک فناوری را برای همه مناسب دانست[۳۸]. به عبارتی، تعداد در حال رشد فناوری‌ها و همچنین پیچیده شدن بیش از پیش آنها، تشخیص گزینه مناسب را دشوار کرده است. این در حالی است که فناوری مناسب می‌تواند مزایای رقابتی درخوری را برای یک شرکت در یک محیط پیچیده کسب و کار ایجاد نماید[۳۹].

ممکن است تصور شود، انتخاب فناوری، مربوط به تولید محصول نهایی است، اما در عمل مدیران، بیشتر درگیر تصمیمات مربوط به مولفه‌ها و سیستم‌ها، جهت افزایش کارآیی فرآیند تولید می‌شوند. بنابراین در زمان انتخاب فناوری، وجود نگرشی سیستمی به محیط ضروری است. به‌طورکلی، می‌توان گفت که فناوری مناسب، لزوماً به معنای فناوری ساده یا پیشرفته، مقیاس بزرگ یا کوچک، کاربر یا سرمایه‌بر نیست؛ بلکه براساس اهداف، عوامل محیطی، امکانات و نیازها در مقطع زمانی خاص مفهوم می‌یابد. همچنین عملی بودن طرح از جهات فنی و اقتصادی باید مورد توجه قرار گیرد[۹]. در مرجع [۶] در این رابطه آمده است که هر فناوری، با زمان پیدایش خویش، امکان و محیطی که در آن متولد شده و با هدفی که به خاطر آن پدیدار گشته، مناسب است. یک فناوری در یک مکان معین، ممکن است در یک زمان، مناسب و در زمان دیگر نامناسب باشد؛ زیرا احتمال تغییر در محیط یا اهداف اصلی وجود دارد. بنابراین مناسب بودن، یک ویژگی ذاتی خود فناوری نیست، بلکه در ارتباط با محیطی که در آن مورد استفاده قرار می‌گیرد و نیز نسبت به هدفی که دارد، معنی می‌یابد[۱]. به عبارتی، ممکن است تفاوت در تصمیم گیری و گزینش مربوط به تفاوت در شرایط و محیط تصمیم‌گیری باشد. برای کنترل این تأثیرها، متغیرهای تعریف کننده محیط تصمیم‌گیری، مانند میزان نیاز به فناوری، نوع فرآورده و محصول، صنعت، بازار، مالکیت شرکت و مانند آنها نیز باید مورد توجه قرار گیرد[۹]. از این رو، گزینش فناوری مناسب، مسئله‌ای مهم است که شرکت‌ها با آن روبرو هستند و این موضوع در این مقاله مورد توجه قرار گرفته است. از آن جایی که برای تامین یک نیاز خاص، می‌توان از فناوری‌های گوناگون استفاده کرد، ممکن است یک شرکت با انتخاب گزینه نامناسب، در زمان نامناسب، مزایای رقابتی خود را از دست بدهد. بنابراین موضوع انتخاب فناوری مناسب یا انتخاب اصلح مطرح می‌گردد و انتخاب دقیق فرآیند انتخاب برای یک مسئله خاص، ضرورت پیدا می‌کند[۳۹].

به‌طور کلی، بنا بر آنچه که بیان شد، مسئله انتخاب فناوری، یک مسئله تصمیم‌گیری چندمعیاره پیچیده است که در تحقیقات قبلی به آن پرداخته شده است. در این میان دو رویکرد اصلی در تحقیقات مربوط به انتخاب فناوری وجود دارد. اولین رویکرد بر تعیین معیارهای موثر تمرکز دارد که تاکنون تحقیقات زیادی در این حوزه انجام شده است که در قسمت مرور تجربی تحقیق به آن اشاره شده است. دومین رویکرد بر روش‌های انتخاب برای انتخاب فناوری تمرکز دارد که تاکنون روش‌های زیادی برای آن ارائه شده است. اگر چه تعدادی از این روش‌ها بر روی کیفیت نتایج تأثیرگذار بوده‌اند اما توجه به چند نکته ضروری است. اول اینکه روش‌های ارائه شده به همبستگی‌های درونی داده‌ها، که سبب ایجاد روابط چند همخطی و افزایش پیچیدگی میان معیارها در فرآیند انتخاب فناوری می‌شود، توجهی نکرده‌اند؛ در نتیجه نادیده گرفتن این فاکتورها، اشتباهاتی را به دنبال خواهد داشت که بر روی خروجی نهایی انتخاب تأثیر می‌گذارد. دوم اینکه، اغلب تخصیص وزن معیارها به نظرات و قضاوت‌های ذهنی وابسته است که دقیقاً مدنظر تصمیم گیرندگان نبوده‌اند. این خطاهای ذهنی بر خروجی نهایی تصمیم گیری و انتخاب تأثیر خواهند گذاشت. سوم، در طول فرآیند انتخاب، اغلب روش‌های موجود، درگیر تعداد زیاد معیار انتخاب هستند که اجرای این حجم زیاد از معیارها در عمل به آسانی امکان‌پذیر نیست، چراکه به‌کارگیری آنها نیازمند محاسبات زیاد و تخصیص زمان بالا است. در این مقاله با به‌کارگیری روشی مناسب و کارآ جهت انتخاب فناوری، محدودیت‌های روش‌های قبلی حذف می‌گردد.

۲- مرور نظری و پیشینه تجربی تحقیق

پیشینه نظری(مرور نظریه‌ها) و تجربی(مرور تحقیقات داخلی و خارجی) پیرامون مسئله انتخاب فناوری، در این قسمت انجام می‌شود.

۲-۱- مرور مبانی نظری تحقیق

در این قسمت به مبانی نظری فناوری(تعاریف مفاهیم و موضوعات مرتبط) پرداخته شده است.

- تعریف فناوری: فناوری مجموعه‌ای از سخت افزار و نرم افزار است که باید به شکل مناسب ترکیب شود تا کاملاً موثر باشد [انتخاب فناوری][۸]. زمانی که فناوری برای یک سیستم یا مجموعه تولیدی ایجاد شود، شکل‌های اولیه آن عبارتند از:

■ شکل فیزیکی: از قبیل مواد، ابزار تولید، تجهیزات و ماشین آلات و نوع محصول.

- شکل منابع انسانی: اساساً بیانگر دانش چرایی است و شامل مهارت‌ها و تجربه فردی انسان‌ها یا گروه‌هاست.
- شکل داده: شامل نوع دانش چگونگی، از قبیل فرآیندها، فنون، روش‌ها و مانند اینهاست.
- شکل سازمانی: به‌طور فزاینده‌ای به‌عنوان عامل تسریع کننده در کمک به کل مجموعه شناخته شده است و تعامل سیستم را با محیط فعال می‌کند[۸]. لازم به ذکر است که دو جزء انسان افزار و اطلاعات افزار، وسیله‌های انتقال و جذب دانش‌های فنی و سازمان افزار، بیشتر نقش بارورسازی و افزایش بازدهی فرآیند جذب فناوری را برعهده دارد[۲]. شکل‌های عملی فناوری، ترکیب متفاوتی از چهار جزء تشریح شده در بالا است؛ به‌طوری‌که هر فناوری باید در کل، از این اجزاء ترکیب مناسبی داشته باشد تا کاملا موثر واقع شود.

– تغییرات فناوری: رشد فناوری، نتیجه ابداعات یا ترکیب جدیدی از اجزای فناوری موجود است. ابداعی که تأثیر کمی بر روی الگوی رفتاری دارد، ابداع مداوم نامیده می‌شود. در این حالت، کالای موجود تغییر می‌یابد، نه اینکه کالای جدیدی ایجاد شود. همچنین ابداع پیوسته‌ای وجود دارد که درگیر الگوی جدید مصرفی نمی‌شود، اما به ایجاد یک محصول جدید یا تغییر کالای موجود می‌انجامد. نوآوری‌های ناپیوسته‌ای نیز وجود دارند که به الگوهای جدید مصرفی و ایجاد محصولاتی منجر می‌شود که قبلاً ناشناخته بوده‌اند[۸].

در همین زمان، مزیت‌ها به رشته فعالیتی منتقل می‌شود که بتواند با کارآیی بسیار، حجم زیادی را تولید نماید[۳۱]. در این موقعیت نقش و اهمیت فناوری جدید روشن می‌شود.

عوامل بسیاری در ایجاد نیاز به فناوری های جدید موثرند. مهمترین آنها عبارتند از: افزایش بهره‌وری، افزایش رقابت جهانی، پیشرفت‌های فناوری‌محور، روندهای بازار و روندهای تولید[۸].

۲-۲- مرور سوابق و پیشینه تجربی تحقیق

همانطور که در مقدمه اشاره شد، دو رویکرد اصلی در تحقیقات مربوط به انتخاب فناوری وجود دارد. رویکرد اول مبتنی بر انتخاب معیارها و رویکرد دوم مبتنی بر انتخاب روش و متدولوژی جهت تصمیم گیری و انتخاب فناوری است. در این قسمت نیز مرور سوابق و پیشینه تجربی تحقیق، از این دو بعد بررسی و تفکیک شده‌اند.

رویکرد اول: معیارهای انتخاب فناوری

در این قسمت تحقیقات مرتبط با موضوع انتخاب فناوری مرور خواهد شد که معیارهای مختلفی را جهت تصمیم‌گیری در این رابطه شناسایی و مهم دانسته‌اند. عوامل بررسی شده در این تحقیقات در جدول شماره ۱، آورده شده است. توجه به چند نکته در رابطه با جدول شماره ۱ قابل اهمیت است: نخست اینکه موضوع مورد بحث بیشتر این تحقیقات، انتخاب فناوری سرمایه بر یا کاربر بوده و عامل مورد توجه بیشتر آنها، اندازه شرکت و یا حجم تولید بوده است. به تدریج عوامل دیگری مانند اندازه شرکت گزینش کننده و به‌کارگیرنده فناوری، حجم تولید آن، میزان به‌کارگیری عوامل تولید و این که محصول در چه گامی از چرخه حیات خود است مورد توجه قرار گرفت. در چند سال گذشته نیز عوامل راهبردی مانند رقابت، شرایط محیطی و محیط زیستی، شرایط بازار و اهداف راهبردی شرکت نیز به جمع عوامل بالا اضافه شده است. دومین نکته اینکه، با توجه به آمار نشان داده شده در تحقیقات مروری در زمینه معیارهای انتخاب فناوری تا سال ۱۳۷۷[۹] و همچنین مطالعه پژوهش‌های پیشین بعد از این تاریخ که در این تحقق انجام شده است، تاکنون عوامل زیادی شناسایی شده‌اند که این عوامل در پنج گروه اقتصادی، فنی، مالی، استراتژیک(راهبردی)، سیاسی- اجتماعی و محیطی قابل طبقه‌بندی هستند[۱۱]. نکته آخر اینکه، تعداد قابل توجه تحقیقات در رابطه با موضوع این مقاله یعنی انتخاب فناوری حاکی از اهمیت بالای آن است، اما همانطور که از جدول شماره ۱ مشخص است در هر یک از تحقیقات، دسته‌ای از عوامل مبنای تصمیم گیری بوده است.

رویکرد دوم: روش‌های انتخاب فناوری

به‌طورکلی روش‌هایی که تاکنون جهت انتخاب فناوری به‌کار گرفته شده‌اند را می‌توان به صورت زیر دسته‌بندی کرد:

- روش‌های قطعی

- روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی: فرایند تحلیل سلسله مراتبی منعکس کننده رفتار طبیعی و تفکر انسانی است. این تکنیک، مسائل پیچیده را براساس آثار متقابل آنها مورد بررسی قرار می‌دهد و آنها را به شکلی ساده تبدیل کرده است. سپس به حل آن می‌پردازد. فرایند تحلیل سلسله مراتبی در هنگامی که عمل تصمیم گیری با چند گزینه رقیب و معیار تصمیم گیری روبروست می‌تواند استفاده گردد. معیارهای مطرح شده می‌تواند هم کمی و هم کیفی باشند. اساس این روش تصمیم گیری بر مقایسات زوجی نهفته است. تصمیم گیرنده با فرآهم آوردن درخت سلسله مراتبی تصمیم آغاز می‌کند. درخت سلسله مراتب تصمیم، عوامل مورد مقایسه و گزینه‌های رقیب مورد ارزیابی تصمیم را نشان می‌دهد. سپس یک سری مقایسات زوجی انجام می‌گیرد. این مقایسات وزن هر یک از فاکتورها را در راستای گزینه‌های رقیب مورد ارزیابی تصمیم را نشان می‌دهد. در نهایت

منطق فرآیند تحلیل سلسله مراتبی به گونه‌ای ماتریس‌های حاصل از مقایسات زوجی را با یکدیگر تلفیق می‌سازد که تصمیم بهینه حاصل آید.

- فرآیند تحلیل شبکه: روش جامع و قدرتمندی برای تصمیم گیری دقیق، با استفاده از اطلاعات تجربی و قضاوت‌های شخصی هر تصمیم گیرنده در اختیار قرار می‌دهد. سپس برای فراهم آوردن یک ساختار جهت سازماندهی معیارهای متفاوت، ارزیابی اهمیت و ارجحیت هر یک از آنها نسبت به گزینه‌ها، فرآیند تصمیم گیری را آسان می‌نماید. این مدل تصمیم گیری، از ماتریس مقایسات زوجی برای دستیابی به مقیاس‌های نسبی استفاده نموده و از هر سه روش کیفی، کمی و مقایسه‌ای به صورت همزمان برای جمع‌آوری داده‌ها و تحلیل نتایج بهره می‌گیرد.

- تحلیل پوششی داده: تکنیکی جهت محاسبه کارایی نسبی یک مجموعه از واحدهای تصمیم گیرنده در مقایسه با یکدیگر، با استفاده از یک برنامه ریاضی است.

- تئوری مطلوبیت چند شاخصه

مرور سوابق و پیشینه تجربی تحقیق در این قسمت نشان می‌دهد که یک روش انتخاب فناوری بهینه باید دارای چندین قابلیت و ویژگی باشند[۲۶] که در ستون اول جدول شماره ۲ آورده شده است. حال براساس این هفت ویژگی، روش‌های انتخاب فناوری بهینه، در جدول شماره ۲ با یکدیگر مقایسه شده‌اند. اگرچه هر یک از روش‌های انتخاب فناوری بهینه که تاکنون بکارگرفته‌اند دارای ویژگی‌ها و قابلیت‌هایی است؛ اما هیچ یک از آنها به‌صورت واحد، کلیه هفت ویژگی را ندارند. بنابراین به‌کارگیری یک روش بهینه با ویژگی‌های مذکور، جهت کمک به تصمیم گیرندگان درانتخاب فناوری ضروری است.

جدول ۱: عوامل بررسی شده در پیشینه پژوهش انتخاب فناوری

منبع	عوامل مورد بررسی
[۸]	عملکرد بالا در مقایسه با رقبا، تمایز در کیفیت و قیمت محصول، استفاده از منابع، انرژی و دانش داخلی، انطباق با شرایط محلی، انعطاف پذیری و توانایی تطبیق با تغییرات پیش بینی نشده، حداقل مشکلات حمل و نقل، امکان‌پذیری استقرار و اجرا، هماهنگ با سیاست‌های توسعه‌ای دولت
[۳۷]	سود، میزان به‌کارگیری عوامل(سرمایه، نیروی کار)
[۱۳]	اندازه، میزان به‌کارگیری عوامل، دسترسی به بازار سرمایه و نیروی کار
[۲۲]	اندازه، عوامل مالی و بازاریابی، میزان به‌کارگیری عوامل
[۱۲]	تعدا ماشین، تعداد نیروی انسانی، میزان سرمایه گذاری و دستمزد
[۲۷]	هزینه ها، درآمدها، ارزش فرآورده نهایی
[۲۴]	اندازه، میزان به‌کارگیری عوامل
[۳۴]	اندازه، روش احداث
[۱۷]	سیکل حیات فرآورده، دسترسی به کارکنان مدیریتی، مشخصات فرآورده
[۱۹]	بهای عوامل، دسترسی به نیروی کار ماهر و سرپرستی، اندازه، بازار، انتظارها در مورد تغییر نرخ های دستمزد، مشخصات فرآورده، هزینه تولید
[۴۱]	سیاست های عمومی، دسترسی به نیروی کار ماهر، تصمیم دیگر شرکت ها
[۲۳]	توجه به زمان، مکان، بخش خاص
[۱۴]	اهداف مدیریت، چرخه حیات پروژه، پیچیدگی تیم
[۱۰]	برنامه استراتژیک
[۴۰]	شرایط محیطی، اهداف
[۷]	برنامه راهبردی، تنگناهای اجرایی در سطح واحد، روندهای جدید بازار و تولید
[۲۸]	خواست مصرف کننده، مشخصات فرآورده انعطاف پذیری، هزینه ها، فواید و ارزیابی راهبردی فناوری
[۳۵]	قیمت عوامل، گرایش به فن سرمایه برگزینش مصرف کننده، اشتغال
[۳۰]	اشتغال، بهای عوامل، محدود بودن فناوری ها، توانایی مهندسان مدیر، محیط رقابتی
[۳۶]	اشتغال، بهره وری به‌کارگیری فناوری، توانمندی‌های فناوری
[۱۵]	شرایط تقاضا، عرضه سرمایه و نیروی کار، کیفیت فناوری
[۱۶]	اشتغال، بازدهی
[۱۸]	شرایط عرضه فرآورده، به‌کارگیری فناوری، آموزش
[۵]	عامل زیست محیطی، ملاحضات مکان یابی، صرفه جویی ارزی، بررسی ملاحظات انسانی، سرمایه ثابت، ارزبری مواد اولیه

جدول ۲: مقایسه ویژگی‌های روش‌های انتخاب[۲۶]

روش / ویژگی ها	روش‌های قطعی	فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP)	فرآیند تحلیل شبکه (ANP)	تحلیل پوششی داده (DEA)	تئوری مطلوبیت چند شاخصه (MAUT)
۱- حذف روابط چند همخطی میان معیارهای انتخاب	×	×	×	×	✓
۲- اختصاص خودکار وزن به معیار	×	×	×	✓	×
۳- کاهش ابعاد مسئله با از بین رفتن حجم زیاد اطلاعات	×	×	×	×	×
۴- کاربرآشنا/کاربر دوست	✓	✓	×	×	✓
۵- قابل اجرا برای معیارهای کیفی و کمی	×	✓	✓	×	✓
۶- توانایی حل مسائل با ابعاد بزرگ	×	×	×	✓	✓
۷- کاهش خطاهای ذهنی	×	×	✓	✓	×

۳- کاربرد روش تحلیل مولفه‌های اصلی در انتخاب فناوری تولید

۳-۱- تعیین متغیرهای انتخاب فناوری مناسب در بنگاه‌های تولیدی(متغیرهای ورودی در PCA)

بدیهی است که در فرآیند انتخاب فناوری مناسب، بنگاه‌ها به دنبال انتخاب فناوری‌ای هستند که کیفیت را بهبود دهد. همچنین مواد و هزینه‌های سربار را کاهش دهد و بالاتر از همه، کارخانه ها را انعطاف پذیر سازد به طوریکه در نهایت قابلیت رقابت بنگاه را در بازار افزایش دهد. از طرفی، مسئله انتخاب فناوری، تنها به سطح فناوری محدود نمی‌شود؛ بلکه به‌طور عمده امکان‌پذیری فنی و اقتصادی آن نیز باید مورد توجه قرار گیرد. علاوه بر مسائل فنی و اقتصادی، لازم است ابعاد مالی، سیاسی، اجتماع، فرهنگی و سازمانی نیز مورد توجه قرار گیرد.

لازم به ذکر است که گاهی، یک فناوری که برای یک بنگاه سودآور بوده است، برای بنگاه دیگر، کاملاً نتیجه عکس داده است. در مواردی هم، یک فناوری نوین با مقیاس انبوه، نسبت به فناوری قدیمی‌تر، مناسبت کمتری داشته است. بنابراین نمی‌توان ادعا کرد که مزایای یکسانی در همه فناوری‌های مناسب وجود دارد. تعیین مناسب بودن، معمولاً نیازمند قضاوتی در مورد مزایای جدی یک فعالیت است و مزایای ارائه شده توسط فناوری‌های مناسب در هر فعالیت متفاوت است. مناسب بودن یک فناوری، تابعی است از زمان، مکان و بخشی که در آن استفاده می‌شود. با توجه به مطالب ذکر شده، لازم است که هنگام انتخاب فناوری، ملاحظات فراوانی مورد توجه قرار گیرد و ارزشیابی عمیقی صورت پذیرد تا این انتخاب، مزیت‌های بلندمدتی به همراه داشته باشد. در این قسمت با توجه به عوامل مهم در فرآیند انتخاب فناوری مناسب یک بنگاه تولیدی[۳۳، ۲۹، ۲۰، ۲۵، ۳۲ و ۴]، ۱۴ متغیر به‌صورت زیر به‌عنوان ورودی‌های روش PCA، تعریف می‌گردند:

X_1 : هزینه اولیه: کلیه هزینه‌های اولیه شامل تهیه سخت افزار و نرم افزار(IC).

X_2 : میانگین هزینه سالیانه: هزینه‌های عملیات و نگهداری شامل هزینه‌های بیمه تجهیزات و هزینه به‌روز کردن سخت افزار و نرم افزار(AC).

X_3 : میزان کاهش زمان پیشبرد تولید(MLT).

X_4 : میزان کاهش موجودی و قطعات نیمه تمام در مسیر تولید(WIP).

X_5 : میزان افزایش کیفیت: شامل کاهش ضایعات و دوباره کاری منطبق بر فناوری های سبز و زیست محیطی(QUA).

X_6 : میزان ظرفیت تولید: ظرفیت تولید یک محصول مشخص در واحد زمان (CPI).

X_7 : میزان افزایش بهره وری(PRO).

X_8 : افزایش انعطاف پذیری: میزان قابلیت تغییر در ترکیب تولید، مسیر تولید و برنامه زمانبندی(FLEX).

X_9 : میزان افزایش یکپارچگی در شرکت(INT).

X_{10} : میزان سهم و مشارکت در استراتژی رقابتی (CS).

X_{11} : میزان سهم در دستیابی اهداف شرکت (CO).

X_{12} : استفاده از منابع، دانش و انرژی داخلی: فناوری انتخابی باید کمترین حد وابستگی به خارج از کشور را داشته و در یک ارتباط منطقی با صنعت داخلی باشد(KE).

X_{13} : قابلیت تطبیق با اوضاع محلی: فناوری انتخابی باید با توجه به وضعیت جغرافیایی، فرهنگی و امکانات زیربنایی محلی، مناسب و قابل تطبیق باشد(GC).

X_{14} : حداقل مشکلات حمل و نقل: لازم است حمل و نقل مواد طوری باشد که احتمال وقفه در تولید کاهش یابد و اداره حمل و

نقل به تجهیزات و توانایی های پیچیده نیاز نداشته باشد(TS).

۳-۲- فازی سازی مثلثی اعداد و داده‌ها(TFN)

بـه‌طور عملی توسـعه‌دهندگان معیارها و متغیرهای انتخاب فناوری، نیازها و صـلایق مبهم و نامعلومی همانند شهرت و رابطه دارنـد. چنین اطلاعـات مبهم و ذهنی نیازمند ترجمه به داده‌های کمیتی برای تصـمیم گیری هستند. مجموعه های فازی اولین بار توسـط پرفسـور لطفی زاده معرفی شـد که از روش‌های پرکاربرد برای حل این مسـئله اسـت. در این مطالعه یکی از مهمترین و گسـترده ترین روش‌های فازی مثلثی اسـت که با $\tilde{A}$ نمایش داده می‌شـود. دلیل اسـتفاده از اعداد مثلثی سـادگی در اسـتفاده و محاسـبات است. براساس نظر لام تابع عضویت (μ) به صورت زیر تعریف می‌شود[۲۶]:

$$\mu_{\tilde{A}}(x) = \begin{cases} \frac{(x-a)}{(b-a)}, & a \le x \le b, \\ \frac{(c-x)}{(c-b)}, & b \le x \le c, \\ 0 & \text{Otherwise.} \end{cases} \qquad (۱)$$

$$-\infty < a \le b \le c < \infty$$

که a حد پایین متغیر x، b درجه عضـویت قوی، c حد پایین متغیر x اسـت. متغیرهـای زبـانی جهـت وزن اهمیت معیارها و رتبه‌بندی مثلثی با عدد کمی آن در جداول شـماره ۳ و ۴ آمده است.

جدول۳- متغیرهای زبانی جهت وزن اهمیت هر معیار

Linguistic variables for the importance weight of each criterion

Very low (VL)	(0, 0, 0.1)
Low (L)	(0, 0.1, 0.3)
Medium low (ML)	(0.1, 0.3, 0.5)
Medium (M)	(0.3, 0.5, 0.7)
Medium high (MH)	(0.5, 0.7, 0.9)
High (H)	(0.7, 0.9, 1.0)
Very high (VH)	(0.9, 1.0, 1.0)

جدول۴- متغیرهای زبانی جهت رتبه بندی

Linguistic variables for the ratings

Very poor (VP)	(0, 0, 1)
Poor (P)	(0, 1, 3)
Medium poor (MP)	(1, 3, 5)
Fair (F)	(3, 5, 7)
Medium good (MG)	(5, 7, 9)
Good (G)	(7, 9, 10)
Very good (VG)	(9, 10, 10)

رابطه محاسبه مقدار فازی هر معیار انتخاب در هر فناوری $\tilde{F}_i$ که W_k ، S_{ik} مقادیر وزن اهمیت تصمیم گیرنده و متغیر زبانی آن است.

$$\tilde{F}_i = \left[\left(\tilde{S}_{i1} \otimes \tilde{W}_1\right) \oplus \left(\tilde{S}_{i2} \otimes \tilde{W}_2\right) \oplus \ldots \oplus \left(\tilde{S}_{ik} \otimes \tilde{W}_k\right)\right] \qquad (۲)$$

جهـت تبـدیـل فازی به عدد F_i دیفازی نمودن از چهار روش استفاده می شود که شامل روش(centroid, Mean of maximal, α-cut , signed distance) اسـت که هر کدام نقاط قوت و ضعفی دارنـد امـا روش مرکز ثقـل بـه دلیل سـادگی و کاربرد وسـیع درنظرگرفته شد. بعد دیفازی نمودن مقدار F_i عبارتست از:

$$F_i = \frac{X_i + Y_i + Z_i}{3} \qquad (۳)$$

۳-۳- تجزیه و تحلیل خوشه‌بندی داده‌ها(CA)

امروزه خوشه‌بندی به‌عنوان یک روش یادگیری بدون ناظر در کاربردهای بسـیاری توانسـته است ارزش خود را نشان دهد. یکی از روش‌هـای حیاتی کنترل و مدیریت داده‌ها، کلاس بندی یا گروه بنـدی داده‌هـای با خواص مشـابه درون مجموعه‌ای از دسـته‌ها یا خوشـه‌هاسـت. خوشه بندی نسبت به سایر روش‌های طبقه بندی از قدرت بالاتری برخوردار اسـت. هدف خوشـه بندی حـداقل نمودن فاصـله داده‌ها در یک خوشـه و حداکثر نمودن داده‌های خوشـه‌ها نسـبت به همدیگر اسـت. مسـئله اصـلی، گروه‌بندی بدون نظارت مجموعه‌ای از الگوهای بدون برچسـب، درون گروه‌هـای معنی‌دار اسـت. پس خوشـه‌بندی منجر به فشـرده‌سـازی و کاهش اطلاعات می‌شود[۳۸، ۳۹، ۹ و ۶]. برای این منظور لازم است که الگوهای با بیشترین میزان شباهت، در یـک خوشـه قرار گیرنـد. معیارهای مختلفی برای اندازگیری شباهت مورد استفاده قرار می‌گیرند که به ماهیت داده‌ها وابسته هسـتند. الگوریتم های خوشـه بندی به طور وسـیعی به دو گروه تقسیم می‌شوند: سلسله مراتبی و افزاربندی. الگوریتم‌های سلسله مراتبی از یک نقطه از داده‌ها با اندازه گیری شـباهت و فاصـله مشـاهدات شـروع می‌شـود و از پایین به بالا با تعداد خوشـه‌های برابر تعداد مشـاهدات به سـمت یک خوشـه حرکت می‌کند یا از روش بالا به پایین برعکس قبل از یک خوشـه شـروع و تا تمام مشـاهدات پیش می‌رود. در روش افراز بندی در شـروع تصـمیم گیری می‌شـود که چند خوشه تقسیم بندی شود و عملیات تکرار براساس رسیدن به شرط توقف پایان می‌یابد. الگوریتم K-Means محبوب‌ترین و پرکاربردترین روش خوشـه‌بندی افرازی است[۶ و ۳]. اندازه گیری فاصله بین داده‌ها از رابطه زیر تعیین می‌شود:

$$J = \sum_{j=1}^{k} \sum_{i=1}^{n} \left\| x_i^{(j)} - c_j \right\|^2 \qquad (۴)$$

که $\| \|$ معیار فاصـلهٔ بین نقاط c_j و مرکز خوشـهٔ jام و x_i مشـاهده iام اسـت. در این رابطه از فاصـله‌های مختلف اسـتفاده می‌شـود که در اینجا از فاصله اقلیدسی به‌طور رایج استفاده شده است[۲۱].

۳-۴- معرفی روش تحلیل مولفه‌های اصلی(PCA)

روش تحلیل مولفه‌های اصـلی یکی از انواع روش‌های تحلیل داده‌های چندمتغیره اسـت که هدف اصـلی آن تقلیل بعد مسـاله مورد مطالعه اسـت. با استفاده از تحلیل مولفه‌های اصلی می‌توان تعداد زیادی متغیر توضـیحی همبسته را با تعداد محدودی متغیر توضـیحی جـدیـد کـه مولفـه‌های اصـلی نامیده می‌شـوند و

ناهمبسته‌اند، جایگزین نمود. به این ترتیب نه تنها بعد مساله تقلیل می‌یابد بلکه مسئله چند همخطی پیش نمی‌آید. به عبارتی دیگر، هدف از تجزیه و تحلیل مولفه‌های اصلی، استخراج مولفه‌های اصلی یک مجموعه از متغیرهای اولیه بوده که اولین مولفه استخراجی دارای بیشترین واریانس از واریانس مجموعه اولیه داده‌ها بوده و مولفه‌های استخراجی بعدی واریانس کمتری از مجموعه اولیه داده‌ها را لحاظ کرده و مولفه‌های استخراج شده نسبت به هم مستقل باشند. به‌طورکلی در فضای p بعدی از طریق روش فوق P مولفه اصلی برحسب ترکیب خطی P متغیر اولیه قابل استخراج است. هر مولفه از مولفه‌های دیگر مستقل بوده و مولفه اول دارای بیشترین واریانس کل داده‌ها است. مولفه‌های بعدی به ترتیب درصد کمتری از واریانس کل داده‌ها را لحاظ نموده و واریانس کل P مولفه استخراج شده مساوی واریانس کل داده‌های اولیه است. بنابراین تنها با انتخاب تعدادی از مولفه‌های استخراجی به‌منظور کاهش ابعاد مسئله، درصدی کمی از کل اطلاعات از دست می‌رود، چرا که واریانس مولفه‌های استخراجی نزولی است.

فرض کنید $\underline{X} = (X_1, X_2, ..., X_P)^T$ یک بردار تصادفی با ماتریس کواریانس معین نامنفی Σ و $\lambda_1 \geq \lambda_2 \geq ... \geq \lambda_P \geq 0$ مقادیر ویژه Σ باشد. همچنین $a_1, a_2, ..., a_P$ بردارهای ویژه یکتا متعامد به ترتیب متناظر با $\lambda_1, \lambda_2, ..., \lambda_P$ باشند. متغیرهای $Y_1, Y_2, ..., Y_P$ تعریف شده را مولفه‌های اصلی گویند.

$$\begin{aligned} Y_1 &= a_{11}X_1 + a_{21}X_2 + ... + a_{P1}X_P \\ Y_2 &= a_{12}X_1 + a_{22}X_2 + ... + a_{P2}X_P \\ &\vdots \\ Y_P &= a_{1P}X_1 + a_{2P}X_2 + ... + a_{PP}X_P \end{aligned} \quad (۵)$$

Y_i را مولفه اصلی iام گویند و بردار $\underline{Y} = (Y_1, Y_2, ..., Y_P)^T$ ،بردار مولفه‌های اصلی نام دارد.

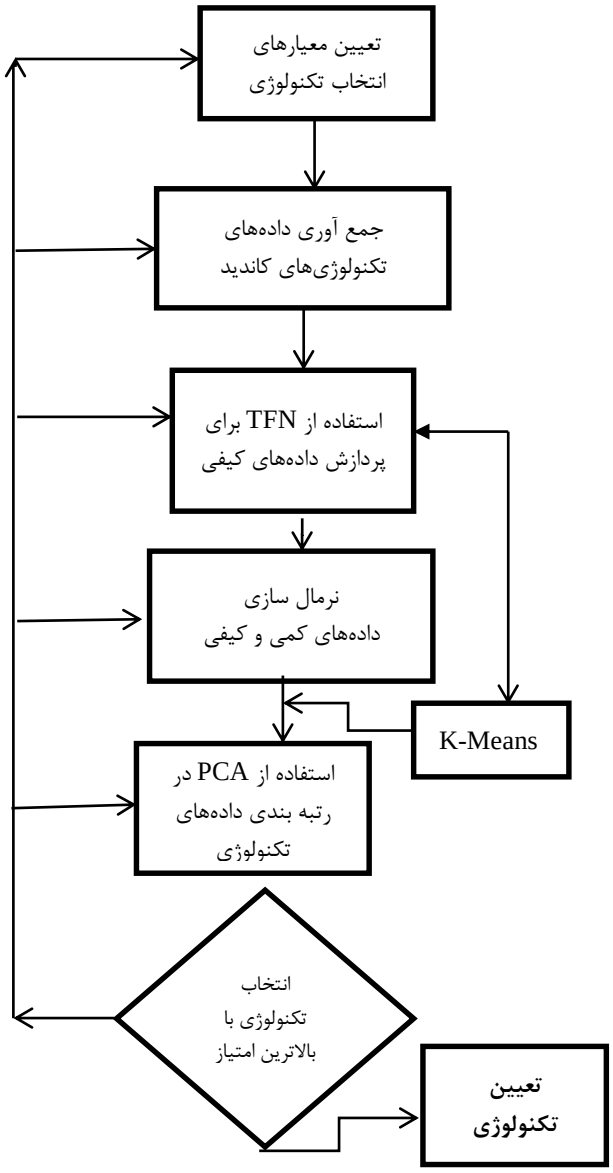
۳-۵- متدولوژی و چارچوب تحقیق

تاکنون انتخاب فناوری از روش‌های مختلفی که در پیشینه تحقیق آمد مورد استفاده قرار گرفته است. در این تحقیق یک متدولوژی جدید مبتنی بر مدل ترکیبی تکنیک‌های آماری چند متغیره شامل تجزیه و تحلیل مولفه‌های اصلی PCA و خوشه بندی K-Means توسعه داده شد و به نام KMPCA معرفی می‌شود. این تحقیق شامل دو بخش تعیین چهارده متغیر انتخاب فناوری و بخش دوم الگوریتم تجزیه و تحلیل آن است.

قالب پژوهشی انتخاب فناوری هفت گام دارد که به ترتیب مشتمل بر تعیین معیارها، جمع آوری داده‌ها، فازی سازی داده‌های کیفی مبتنی بر متغیرهای کلامی، نرمال سازی داده‌ها، خوشه بندی داده‌ها، تجزیه و تحلیل مولفه‌های اصلی و درنهایت تصمیم درباره انتخاب فناوری با بیشترین امتیاز است[۲۶ و ۲۱].

۴- مطالعه موردی

جهت انجام مطالعه موردی در این تحقیق یکی از صنایع مزیت دار و توسعه یافته در ایران با نام صنعت فراوری سنگ انتخاب شد. جهت جمع‌آوری داده‌ها با مطالعه پیشینه فناوری و همچنین با کمک سه نفر از خبرگان صنعت سنگ ۴۹ فناوری تولید و فراوری رایج تعیین گردید. فناوری‌های منتخب ۵ دسته محصول رایج و معروف این صنعت به ترتیب تایل(A)، اسلب(B)، آنتیک(C)، احجام (D) و سنگ مصنوعی(E) را شامل می‌شود. این فناوری‌ها از شش کشور مختلف شامل ایران، ایتالیا، اسپانیا، ترکیه، آلمان، چین و هند مبتنی بر محصولات متعدد کاندید شده‌اند. بر این اساس با توجه به ۱۴ ویژگی انتخاب فناوری، داده ها در ماتریسی با ابعاد ۱۴*۴۹ جمع آوری شدند. با بررسی متغیرهای انتخاب شده داده‌های مرتبط، ترکیبی از داده‌های کمی و کیفی خواهند بود. شش متغیر X_1 تا X_6 شامل متغیرهایی هستند که داده‌های جمع آوری شده آنها کمی و متغیرهای $X7$ تا $X14$ داده‌های کیفی هستند.



با توجه به متدلوژی و قالب تحقیق ارائه شده مرحله اول شامل تعیین معیار و سپس تعیین فناوری‌های کاندید است. مرحله دوم شامل جمع‌آوری داده‌های کمی و کیفی است که داده‌های کمی مانند هزینه اولیه، میانگین هزینه سالیانه، کاهش زمان پیشبرد تولید، میزان کاهش موجودی و قطعات نیمه تمام در مسیر تولید، میزان افزایش کیفیت، میزان ظرفیت تولید مستقیم وارد شده و داده‌های کیفی و مبهم مانند میزان افزایش بهره‌وری، افزایش انعطاف پذیری، افزایش یکپارچگی در شرکت، میزان سهم و مشارکت در استراتژی رقابتی شرکت، میزان سهم در دستیابی اهداف شرکت، میزان استفاده از منابع، دانش و انرژی داخلی، قابلیت تطبیق با اوضاع محلی، حداقل مشکلات حمل و نقل، براساس تئوری فازی مثلثی TFN جمع‌آوری و پردازش شده و قضاوت‌های ذهنی را به داده‌های کمیتی ترجمه کرده است؛ در ادامه دیفازی شده و سپس وارد جدول نرمال سازی می‌شود.

اولین گام تعیین فناوری صنعت موردنظر است که در جدول شماره ۵ آمده است. این فناوری‌ها در سطوح مختلف کیفی و تجاری که رایج و مشهور هستند در جدول شماره ۵ فهرست شده‌اند. مرحله بعد تشکیل ماتریس تصمیم گیری اولیه فناوری-معیار است که براساس نوع متغیر، دارای داده‌های کمی و کیفی هستند. داده‌های کمی مستقیما در ماتریس وارد شده اما داده‌های کیفی براساس تئوری فازی تحلیل شده و سپس وارد ماتریس گردید. پس از مرحله جمع آوری و تکمیل ماتریس فناوری-معیار داده‌ها جهت یکنواختی و همگونی داده‌ها نرمال سازی انجام شد. در این مرحله داده‌های پردازش شده آماده تجزیه و تحلیل چند متغیره جهت اولویت بندی فناوری‌های کاندید است.

جدول ۵: فناوری‌های تعیین و کاندید شده صنعت سنگ

رد	کد	نام فناوری	رد	کد	نام فناوری
۱	A۱	فراوری تایل ایران ۱	۲۶	C۱	فراوری آنتیک ایران ۱
۲	A۲	فراوری تایل ایران ۲	۲۷	C۲	فراوری آنتیک ایتالیا ۱
۳	A۳	فراوری تایل ایران ۳	۲۸	C۳	فراوری آنتیک ایتالیا ۲
۴	A۴	فراوری تایل ایتالیا ۱	۲۹	C۴	فراوری آنتیک ترکیه ۱
۵	A۵	فراوری تایل ایتالیا ۱	۳۰	C۵	فراوری آنتیک ترکیه ۲
۶	A۶	فراوری تایل ایتالیا ۲	۳۱	C۶	فراوری آنتیک ترکیه۳
۷	A۷	فراوری تایل اسپانیا ۱	۳۲	C۷	فراوری آنتیک چین ۱
۸	A۸	فراوری تایل ترکیه ۱	۳۳	C۸	فراوری آنتیک چین ۲
۹	A۹	فراوری تایل ترکیه ۲	۳۴	C۹	فراوری آنتیک هند ۱
۱۰	A۱۰	فراوری تایل ترکیه ۳	۳۵	D۱	فراوری احجام ایران ۱
۱۱	A۱۱	فراوری تایل ترکیه ۳	۳۶	D۲	فراوری احجام ایتالیا ۱
۱۲	A۱۲	فراوری تایل چین ۱	۳۷	D۳	فراوری احجام ایتالیا ۲
۱۳	A۱۳	فراوری تایل چین ۲	۳۸	D۴	فراوری احجام ایتالیا ۳
۱۴	A۱۴	فراوری تایل هند۱	۳۹	D۵	فراوری احجام ایتالیا ۴
۱۵	B۱	فراوری اسلب ایران ۱	۴۰	D۶	فراوری احجام اسپانیا ۱
۱۶	B۲	فراوری اسلب ایتالیا ۱	۴۱	D۷	فراوری احجام ترکیه ۱
۱۷	B۳	فراوری اسلب ایتالیا ۲	۴۲	D۸	فراوری احجام ترکیه ۲
۱۸	B۴	فراوری اسلب ایتالیا ۳	۴۳	D۹	فراوری احجام چین ۱
۱۹	B۵	فراوری اسلب اسپانیا ۱	۴۴	D۱۰	فراوری احجام چین ۲
۲۰	B۶	فراوری اسلب ترکیه ۱	۴۵	D۱۱	فراوری احجام هند ۱
۲۱	B۷	فراوری اسلب ترکیه ۲	۴۶	D۱۲	فراوری احجام بلغار ۱
۲۲	B۸	فراوری اسلب آلمان ۳	۴۷	D۱۳	فراوری احجام ایتالیا ۱
۲۳	B۹	فراوری اسلب چین ۳	۴۸	E۱	فراوری مصنوعی ایتالیا۱
۲۴	B۱۰	فراوری اسلب چین ۳	۴۹	E۲	فراوری مصنوعی ایتالیا۲
۲۵	B۱۱	فراوری اسلب هند ۳	۴۹ فناوری رایج به ترتیب		

همانطور که در الگوریتم پیشنهادی آمده است، داده‌های پردازش شده قبل از تجزیه و تحلیل مولفه‌های اصلی با یکی از معروف ترین روش‌های تحلیل خوشه‌ایK-Means گروه بندی می‌شوند. هدف اصلی از این تکنیک کاهش حجم داده‌ها و گروه بندی داده‌ها و فناوری‌های مشابه در یک گروه است. در تحلیل خوشه‌ای K-Means قبل از انجام مراحل الگوریتم می‌بایست تعداد خوشه k مشخص شود که البته یکی از محدویت‌های این روش است. بر این اساس آزمایش‌ها و تجربه‌های متعدد با انواع تعداد خوشه انجام شده است و نتایج مختلف با هم مقایسه گردید. در صورتیکه داده‌های نویزی و خوشه‌های دارای یک

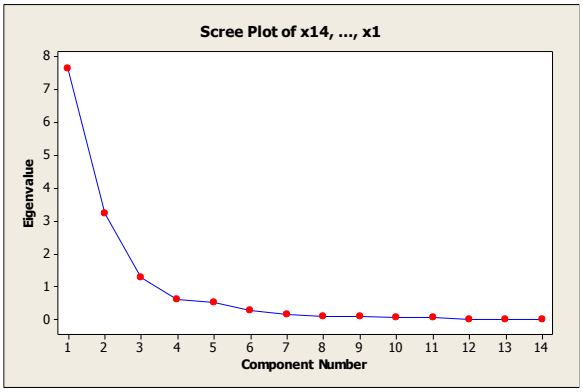
فناوری ایجاد شده بود به حذف آن خوشه و تحلیل در یک مرتبه پایین تر تعداد خوشه اقدام شد. جدول شماره ۶ نتایج مراحل مختلف آزمایش‌ها را نشان می‌هد. در نهایت تعداد ۲ و ۳ خوشه انتخاب گردید که نتایج آن با همدیگر مقایسه و به‌عنوان ورودی مرحله بعد یعنی PCA تعیین گردید.

نتایج خوشه بندی با k=۳ و داده‌های آن براساس ۱۴ متغیر تصمیم فناوری در جداول شماره ۷، ۸ و ۹ آمده است. جدول شماره ۷ خوشه اول با ۲۶ داده و جدول شماره ۸ خوشه دوم با ۱۸ داده و خوشه سوم با ۵ داده را شامل می شود.

جدول۶- تعداد داده های موجود در۲و۳و۴و۵ =K خوشه

CLUSTER NO.	5	4	3	2
CLUSTER1	17	18	26	30
CLUSTER2	4	4	18	19
CLUSTER3	1	1	5	-
CLUSTER4	2	26	-	-
CLUSTER5	25	-	-	-

سپس عملیات تحلیل مولفه‌های اصلی بر روی هر خوشه انجام شد که نتایج هر کدام در جدول شماره ۱۰ به‌طور مقایسه‌ای نشان داده شد. کلیه محاسبات با استفاده از نرم افزارهای EXCEL و MINITAB R.14 انجام شده است.



شکل ۲: نمودار زانویی مولفه‌های اصلی روش اول PCA

به‌منظور بررسی و مقایسه نتایج از چهار روش برای تحلیل استفاده شد. در اولین روش داده بدون عملیات فازی و تنها با PCA محاسبه و تحلیل شد که نتایج آن در جدول شماره ۱۰ و نمودار زانویی آن در شکل شماره ۲ آمده است. با بررسی شکل شماره ۲ پنج متغیر اول بیشترین سهم واریانس تجمعی کل را دارا هستند(۰,۹۴۶).

در روش دوم با استفاده از تئوری فازی، داده‌های فازی وارد مسئله شد و ۷ متغیر کیفی با عملیات فازی تحلیل و سپس بر روی آنها تحلیل مولفه‌های اصلی انجام شد. این مرحله با TFN+PCA نام گذاری شده و نتایج آن در جدول شماره ۱۰ قابل بررسی است. با مقایسه خروجی مولفه‌های اصلی نتایج مشابه با روش اول حاصل شد که پنج متغیر اول سهمی مشابه از واریانس کل را داراست(۰,۹۴۰) اما در روش اول سهم متغیر اول ۰,۵۴۵ ولی روش دوم ۰,۵۲۱ است که روش اول ۲,۴ درصد سهم بیشتری به متغیر اول، یعنی هزینه اولیه فناوری، تخصیص داده است.

جدول ۷: داده‌های خوشه اول فناوری متغیرهای ۱۴ گانه

CLUSTER1														
NO	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10	X11	X12	X13	X14
2	2.792	2.276	3.148	4.467	3.571	3.148	4.567	2.617	2.901	4.348	4.671	2.681	4.565	2.230
5	2.171	1.973	2.623	3.970	3.571	2.623	4.095	2.617	2.901	3.898	4.671	2.681	4.565	2.230
6	1.551	1.669	2.623	3.970	3.571	2.623	3.306	2.617	2.901	3.898	3.381	2.681	4.565	2.230
7	1.396	1.517	2.099	2.978	3.125	2.099	3.306	2.617	2.901	3.147	3.381	2.681	4.565	5.031
8	0.931	1.416	2.623	2.978	3.125	2.623	3.306	2.617	2.901	3.147	3.381	6.047	5.654	5.031
9	0.610	1.265	2.361	2.978	3.125	2.361	3.306	2.617	2.901	3.147	3.381	6.047	5.654	5.031
6	4.032	3.794	4.197	4.715	4.464	4.197	4.567	3.664	4.062	3.898	4.671	2.681	3.261	2.230
17	3.309	3.541	4.197	4.467	4.464	4.197	4.095	3.664	4.062	3.898	4.671	2.681	3.261	2.230
18	2.688	2.782	3.673	4.467	4.018	3.673	4.095	3.664	4.062	3.898	4.188	2.681	3.261	2.230
19	2.316	2.529	3.148	3.970	3.125	3.148	3.306	3.664	2.901	3.898	3.381	6.047	3.261	2.230
20	1.241	2.276	3.673	3.970	3.571	3.673	3.306	3.664	2.901	3.147	3.381	6.047	3.261	2.230
21	1.003	2.023	3.148	3.474	3.571	3.148	2.362	3.664	4.062	3.147	3.381	6.047	4.565	2.230
22	4.756	4.198	4.197	4.467	4.464	4.197	4.567	3.664	2.901	4.348	3.381	2.681	3.261	2.230
23	0.724	1.770	3.148	3.474	3.125	3.148	2.362	3.664	2.901	3.147	3.381	6.047	4.565	2.230
27	1.189	1.265	0.787	3.970	4.464	0.787	4.567	4.538	5.030	4.348	4.188	6.047	3.261	5.031
28	0.889	1.163	0.630	3.970	4.464	0.630	4.095	4.538	4.062	3.898	4.188	2.681	3.261	5.031
29	0.620	1.012	0.787	3.970	4.018	0.787	4.095	4.538	4.062	3.898	3.381	2.681	4.565	5.031
30	0.486	1.012	0.525	2.481	3.125	0.525	3.306	4.538	4.062	3.898	3.381	2.681	4.565	5.031
36	1.189	1.265	0.787	3.970	4.464	0.787	4.567	4.538	5.030	4.348	4.188	6.047	3.261	5.031
37	0.889	1.163	0.630	3.970	4.464	0.630	4.095	4.538	4.062	3.898	4.188	2.681	3.261	5.031
38	0.620	1.012	0.787	3.970	4.018	0.787	4.095	4.538	4.062	3.898	3.381	2.681	4.565	5.031
39	0.486	1.012	0.525	2.481	3.125	0.525	3.306	4.538	4.062	3.898	3.381	2.681	4.565	5.031
40	1.189	1.265	0.787	3.970	4.464	0.787	4.567	4.538	5.030	4.348	4.188	6.047	3.261	5.031
41	0.889	1.163	0.630	3.970	4.464	0.630	4.095	4.538	4.062	3.898	4.188	2.681	3.261	5.031
48	36.704	30.349	26.233	4.467	4.464	26.233	4.567	5.062	5.611	4.348	4.671	2.681	1.956	5.031
49	25.331	25.291	22.036	4.467	3.571	22.036	4.095	4.538	5.611	4.348	3.381	2.681	1.956	5.031

	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000

جدول ۸: داده‌های خوشه دوم فناوری در برابر متغیرهای ۱۴ گانه

CLUSTER2														
NO	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10	X11	X12	X13	X14
10	7.681	3.834	11.097	5.917	5.882	11.097	5.376	4.021	5.725	5.197	8.046	4.615	8.612	4.110
11	4.410	3.528	9.864	3.550	4.525	9.864	3.226	4.021	5.725	5.197	3.448	4.615	4.967	4.110
12	6.401	3.834	12.330	7.101	5.430	12.330	7.527	4.021	5.725	5.197	3.448	4.615	4.967	4.110
13	2.560	4.141	9.864	5.917	3.620	9.864	3.226	4.021	3.435	3.712	3.448	4.615	4.967	6.849
14	7.824	3.834	8.631	3.550	3.620	8.631	3.226	4.021	3.435	5.197	3.448	4.615	4.967	6.849
15	9.246	6.902	9.864	7.692	5.430	9.864	3.226	4.021	5.725	3.712	5.747	10.769	4.967	4.110
24	4.267	4.601	9.864	5.917	5.430	9.864	5.376	5.630	1.523	3.712	3.448	4.615	4.967	4.110
25	13.371	5.828	9.864	5.917	5.430	9.864	5.376	5.630	5.725	3.712	3.448	4.615	4.967	4.110
31	4.979	3.834	1.480	4.734	5.430	1.480	5.376	5.630	5.725	6.437	8.046	4.615	6.953	4.110
32	1.422	3.067	2.959	7.101	6.335	2.959	5.376	5.630	5.725	6.437	8.046	4.615	4.967	4.110
33	0.640	3.067	1.973	3.550	4.525	1.973	5.376	5.630	5.725	5.197	5.747	4.615	4.967	6.849
34	0.925	3.834	1.480	2.367	4.525	1.480	5.376	5.630	5.725	5.197	5.747	4.615	4.967	6.849
35	2.845	5.368	0.863	4.734	4.525	0.863	5.376	5.630	5.725	5.197	5.747	10.769	4.967	6.849
42	5.263	7.669	1.480	5.917	6.335	1.480	5.376	5.630	5.725	6.437	5.747	4.615	4.967	6.849
43	5.405	7.669	1.973	5.917	5.430	1.973	5.376	5.630	5.725	6.437	5.747	4.615	4.967	6.849
44	2.703	4.601	1.233	2.367	4.525	1.233	5.376	5.630	5.725	3.712	3.448	4.615	4.967	6.849
45	5.690	7.975	1.233	5.917	6.335	1.233	5.376	5.630	5.725	6.437	5.747	4.615	4.967	4.110
46	7.397	8.436	1.973	5.917	6.335	1.973	7.527	6.973	5.725	6.437	5.747	4.615	4.967	4.110
47	6.970	7.975	1.973	5.917	6.335	1.973	7.527	6.973	5.725	6.437	5.747	4.615	4.967	4.110
	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000

جدول ۹: داده‌های خوشه سوم فناوری در برابر متغیرهای ۱۴ گانه

CLUSTER3														
NO	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10	X11	X12	X13	X14
1	44.944	25.510	36.585	33.333	27.027	36.585	27.778	18.750	14.794	24.331	21.429	25.000	25.000	25.000
2	26.966	23.469	29.268	22.222	27.027	29.268	27.778	18.750	14.794	24.331	21.429	25.000	25.000	25.000
3	19.101	31.888	21.951	22.222	18.919	21.951	16.667	18.750	14.794	10.787	21.429	25.000	25.000	25.000
26	8.989	19.133	12.195	22.222	27.027	12.195	27.778	43.750	55.617	40.552	35.714	25.000	25.000	25.000
	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000

جدول ۱۰: مقایسه نتایج الگوریتم‌های مختلف تحلیل چند متغیره انتخاب فناوری با چهار روش پیشنهادی

Variables	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10	X11	X12	X13	X14
PCA														
Eigen value	7.6355	3.2276	1.2633	0.6117	0.5056	0.2751	0.1549	0.0960	0.0834	0.0716	0.0589	0.0101	0.0062	0.0000
Proportion	0.545	0.231	0.090	0.044	0.036	0.020	0.011	0.007	0.006	0.005	0.004	0.001	0.000	0.000
Cumulative	0.545	0.776	0.866	0.910	0.946	0.966	0.997	0.984	0.990	0.995	0.999	1.000	1.000	1.000
PCA+TFN														
Eigen value	6.7739	3.1163	1.1820	0.6577	0.4868	0.3133	0.1710	0.1132	0.0951	0.0666	0.0178	0.0063	0.0000	-
Proportion	0.521	0.240	0.091	0.051	0.037	0.024	0.013	0.009	0.007	0.005	0.001	0.000	0.000	-
Cumulative	0.521	0.761	0.852	0.902	0.940	0.964	0.977	0.986	0.993	0.998	1.000	1.000	1.000	-
CLUSTERING K-Means; k=3; cluster 1/3+PCA+ TFN														
Eigen Value	6.4773	2.8062	1.9413	0.9981	0.6267	0.4407	0.3234	0.1655	0.1033	0.0732	0.0410	0.0030	0.0002	-0.000
Proportion	0.463	0.200	0.139	0.071	0.045	0.031	0.023	0.012	0.007	0.005	0.003	0.000	0.000	-0.000
Cumulative	0.463	0.663	0.802	0.873	0.918	0.949	0.972	0.984	0.992	0.997	1.000	1.000	1.000	1.000
CLUSTERING K-Means; k=3; cluster 2/3+PCA+ TFN														
Eigen Value	4.6705	3.1905	1.8141	1.3803	0.8005	0.6353	0.5901	0.3957	0.2328	0.1593	0.0666	0.0444	0.0201	0.0000
Proportion	0.334	0.228	0.130	0.099	0.057	0.045	0.042	0.028	0.017	0.011	0.005	0.003	0.001	0.000
Cumulative	0.334	0.561	0.691	0.790	0.847	0.892	0.934	0.963	0.979	0.991	0.995	0.999	1.000	1.000
CLUSTERING K-Means; k=3; cluster 3/3+PCA+ TFN														
Eigen Value	1830929	103	17	0	0	0	0	0	0	0	0	- 0	- 0	- 0
Proportion	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.000	-0.000	-0.000
Cumulative	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000

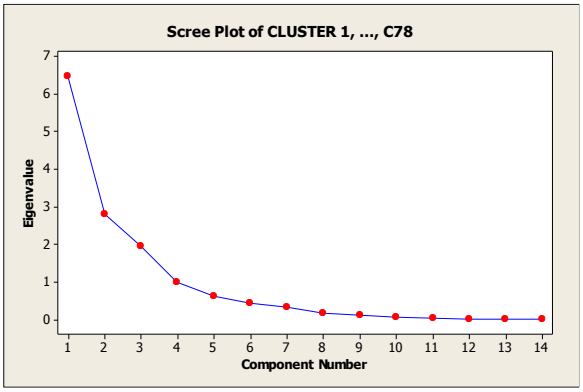
جدول ۱۱: نتایج تحلیل چند متغیره انتخاب فناوری روش چهارم

CLUSTERING K-Means; k=2; cluster 1/2+PCA+ TFN														
Eigen Value	7.0102	2.9174	2.0758	0.7126	0.4469	0.3087	0.1947	0.1437	0.0855	0.0567	0.0404	0.0051	0.0025	-0.000
Proportion	0.501	0.208	0.148	0.051	0.032	0.022	0.014	0.010	0.006	0.004	0.003	0.000	0.000	-0.000
Cumulative	0.501	0.709	0.857	0.908	0.940	0.962	0.976	0.986	0.993	0.997	0.999	1.000	1.000	1.000
CLUSTERING K-Means; k=2; cluster 2/2+PCA+ TFN														
Eigen Value	5.3371	3.5828	1.4435	1.1774	0.9184	0.4982	0.3533	0.2377	0.1757	0.1216	0.0766	0.0619	0.0158	-0.000
Proportion	0.381	0.256	0.103	0.084	0.066	0.036	0.025	0.017	0.013	0.009	0.005	0.004	0.001	-0.000

Cumulative	0.381	0.637	0.740	0.824	0.890	0.926	0.951	0.968	0.980	0.989	0.994	0.999	1.000	1.000

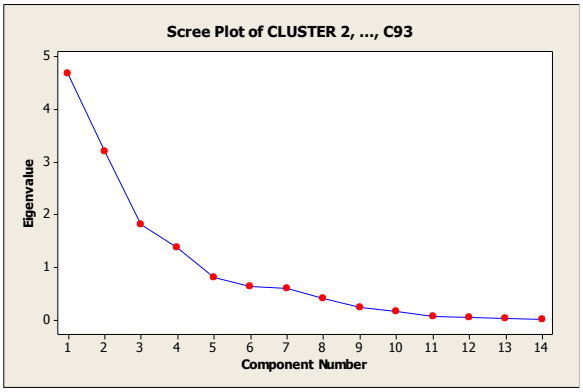
در روش سوم استفاده از خوشه بندی داده‌ها قبل از تحلیل مولفه‌های اصلی انجام شده و سپس بر روی هر خوشه PCA انجام گردید.

این روش با نام KMPCA (K-Means+PCA+TFN) در این تحقیق تعریف شده است. در روش سوم تعداد ۳ خوشه درنظرگرفته شد و پس از گروه بندی هر خوشه به تنهایی با CAP تحلیل شد. نتایج آن را در جدول شماره ۱۰ و نمودارهای شماره ۳، ۴ و ۵ قابل بررسی است. در خوشه اول (۱/۳) تعداد شش متغیر اول واریانسی معادل ۰,۹۴۹ از سهم کل را داراست و نسبت به دو روش قبل یک متغیر اضافه شد. حد کاهش در این پژوهش در حدود ۹۵ درصد از کل واریانس (۱,۰۰) لحاظ شده است. شکل شماره ۳ را ملاحظه کنید.



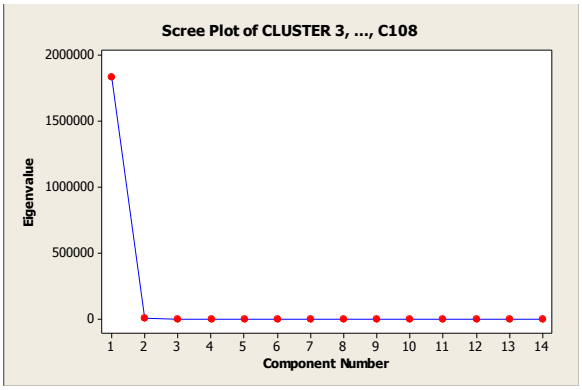
شکل ۳: نمودار زانویی مولفه‌های اصلی خوشه ۱/۳ روش سوم

همچنین سهم متغیر اول ۰,۴۶۳ است که نسبت به روش اول ۸,۲ درصد کاهش دارد. در ادامه با بررسی نتایج خوشه دوم (۲/۳) در روش سوم سهم متغیر اول ۰,۳۳۴ شد که نسبت به حالات قبل کاهش قابل ملاحظه ای (۲۱ درصد) نشان داد که به هشت متغیر افزایش یافت و در شکل شماره ۴ قابل رویت است.



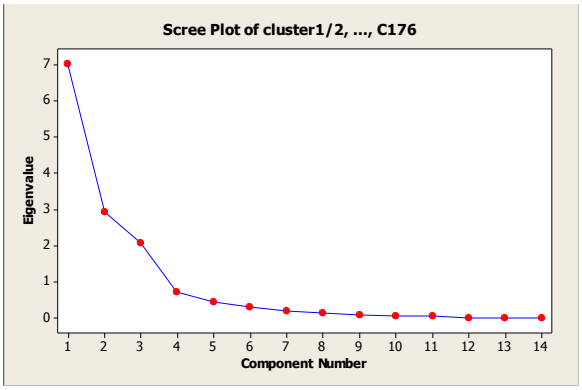
شکل ۴: نمودار زانویی مولفه‌های اصلی خوشه ۲/۳ روش سوم

در خوشه سوم (۳/۳) روند کاهش ادامه یافته به‌طوری‌که تنها متغیر اول با سهم حداکثری شامل ۱,۰۰ برای این گروه درنظرگرفته شده است و سیزده متغیر دیگر در انتخاب فناوری بی تاثیر هستند. شکل شماره ۵ را ملاحظه نمایید.



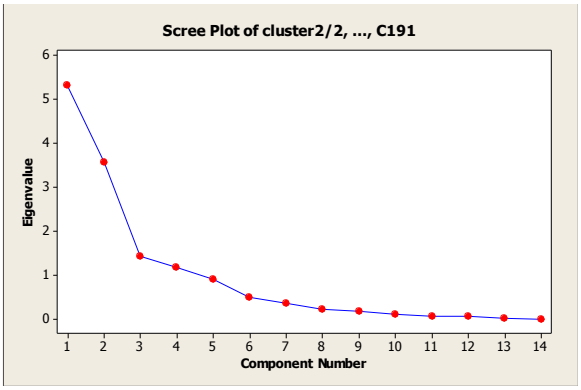
شکل ۵: نمودار زانویی مولفه‌های اصلی خوشه ۳/۳ روش سوم

درنهایت در روش چهارم که مشابه روش سوم است، فقط تعداد خوشه متفاوت است که جهت بررسی بیشتر ۲ خوشه در نظر گرفته شد. نتایج تحلیل مذکور در جدول شماره ۱۱ و اشکال شماره ۶ و ۷ آمده است.



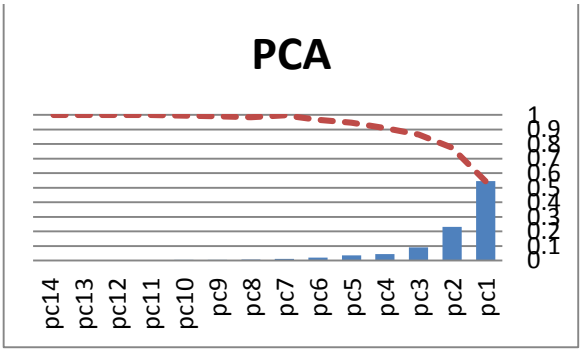
شکل ۶: نمودار زانویی مولفه‌های اصلی خوشه ۱/۲ روش چهارم

در خوشه اول (۱/۲) تعداد شش متغیر اول واریانسی معادل ۰,۹۶۲ از سهم کل را داراست و مشابه خوشه اول روش سوم است. متغیر اول نیز نسبت به روش سوم با K=۳ ۳,۸ درصد افزایش داشت. شکل شماره ۶ را ملاحظه کنید. خوشه دوم (۲/۲) با تعداد هفت متغیر یا معیار انتخاب فناوری واریانسی معادل ۰,۹۵۱ را کسب نمود. همچنین متغیر اول با سهم ۰,۳۸۱ نسبت به روش سوم ۴,۷ درصد افزایش داشت که در شکل شماره ۷ قابل بررسی است.

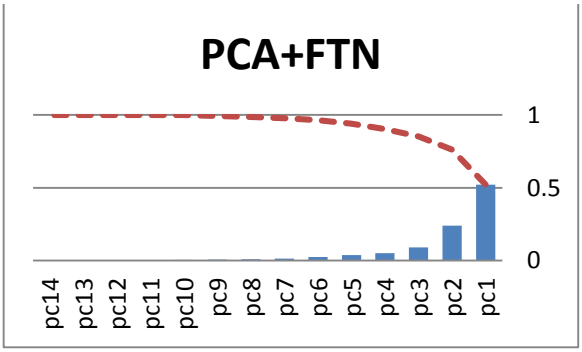


شکل ۷: نمودار زانویی مولفه‌های اصلی خوشه ۲/۲ روش چهارم

در شـکل‌های شـماره ۸ تا ۱۳ نمودار پاراتوی هر چهار روش تحقیق بررسـی شـد و سـهم هر مولفه نشـان داده شده است. در روش اول مولفه اول، دوم و سوم با ۸۶,۶ درصد، روش دوم ۸۵,۲ درصد سهم قابل توجهی را به خود اختصاص داده‌اند.

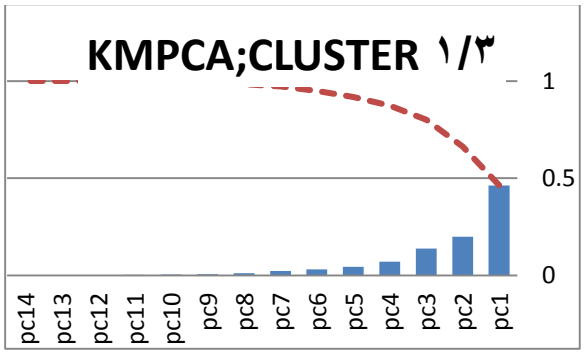


شکل ۸: درصد واریانس مولفه‌های اصلی؛ روش اول

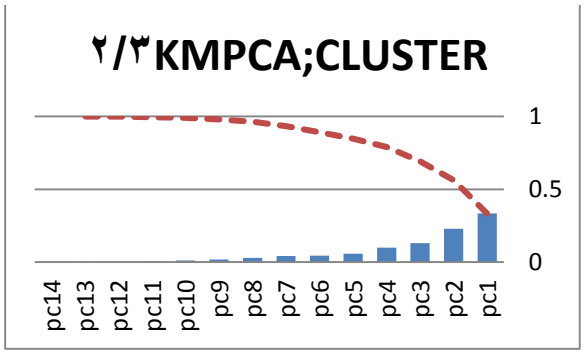


شکل ۹: درصد واریانس مولفه‌های اصلی و فازی؛ روش دوم

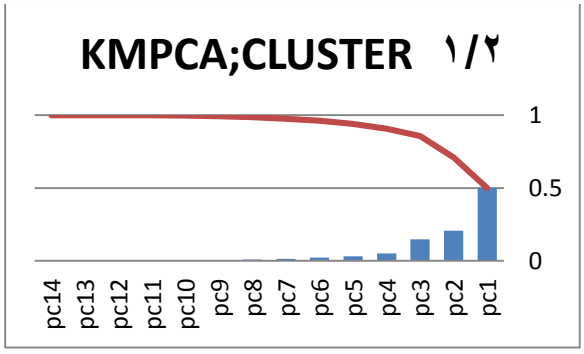
روش سوم و چهارم(الگوریتم ترکیبی KMPCA) شامل فازی، خوشه‌بندی و مولفه‌های اصلی است. در روش سوم در خوشه ۱ در سه مولفه اول ۰,۸۰۲ و خوشه ۲ با ۰,۶۹۱سهم از کل مولفه های اصلی تحلیل گردید. سرانجام در روش چهارم، خوشه اول با سه مولفه اصلی ۰,۸۵۷ و خوشه دوم ۰,۷۴۰ سهم تجربه شد.



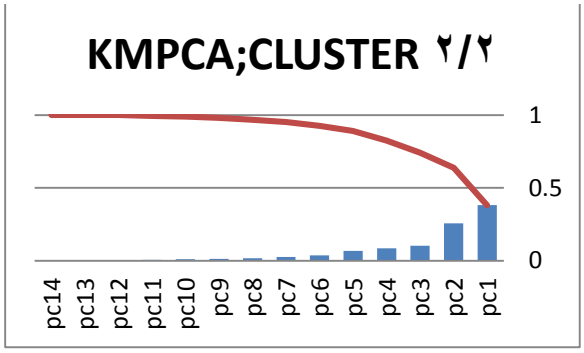
شکل ۱۰: درصد واریانس مولفه‌های اصلی در خوشه ۱/۳؛ سوم



شکل ۱۱: درصد واریانس مولفه‌های اصلی در خوشه ۲/۳؛ سوم



شکل ۱۲: درصد واریانس مولفه‌های اصلی در خوشه ۱/۲؛ چهارم



شکل ۱۳: درصد واریانس مولفه‌های اصلی در خوشه ۲/۲؛ چهارم

۵- نتیجه‌گیری و تحقیقات آتی

هـدف اصـــلی از این مقـالـه ارائه الگوریتم موثر برای انتخاب فناوری اســت. انتخاب فناوری یکی از مباحث اســتراتژیک در هر صنعت و کسب و کاری است که بر مزایای رقابتی آن تاثیر حیاتی دارد. تاکنون روش‌های مختلفی در انتخاب فناوری معرفی شـــده

اســـت. بنـابراین در اینجـا تلاش شـــد کـه بـا روش‌های آماری چنـدمتغیره، PCA و K-Means و روش ترکیبی آن KMPCA جهت حل مســئله انتخاب فناوری توســعه داده شــود. همچنین تعـداد معیـارهـا و متغیرها نیز از ۶ به ۱۴ متغیر افزایش یافت. به جهـت مقـایســـه و ارزیابی بهتر در این تحقیق ســـه روش مورد آزمایش قرار گرفت. در آزمایش اول فقط از روش مولفه‌های اصلی اسـتفاده شـد و در آزمایش دوم از داده‌های فازی شـده در مولفه همان روش اول اسـتفاده شـد و در ادامه در آزمایش سوم قبل از تحلیل مولفه‌های اصـلی ابتدا خوشـه‌بندی انجام شـد و سـپس داده‌های خروجی خوشـــه‌بندی به تحلیل مولفه‌های اصـــلی وارد گردید. مطالعه موردی این روش در صـنعت سنگ(واقع در خوشه صـنعتی فراوری سنگ محلات به‌عنوان نمونه‌ای از جامعه صنعت ســـنگ ایران) آزمون گردید. نتایج تحقیق در جدول شـــماره ۱۲ رتبه بندی فناوری را براسـاس امتیاز مولفه اصـلی در دو خوشـه نشـان می‌دهد که براسـاس بالاترین امتیاز، تصـمیم گیرنده قادر خواهد بود فناوری مناسب را انتخاب نماید.

جدول ۱۲: نتایج امتیاز KMPCA در رتبه‌بندی فناوری

خوشه ۱/۲		خوشه ۲/۲	
No Tech.	PC-Score	No Tech.	PC-Score
4	-1.04523	1	2.94084
5	-0.27769	2	3.45245
6	0.52519	3	5.06632
7	2.10925	11	0.27268
8	2.33350	12	-1.48278
9	2.76137	13	1.78189
10	3.55759	14	1.15396
16	-2.27000	15	-2.01220
17	-1.95914	24	-0.34233
18	-0.92278	25	-2.16309
19	0.93736	26	1.57769
20	1.00598	31	-1.99856
21	1.62741	33	0.21311
22	-1.88647	34	-0.03414
23	2.34675	35	-0.07930
27	-1.99547	42	-2.79616
28	-1.11356	43	-2.59003
29	-0.44597	44	0.61294
30	1.41011	45	-3.57328
32	2.49321	KMPCA	
36	-1.86428		
37	-1.67625		
38	-0.51242		
39	1.30374		
40	1.24404		
41	1.90571		
46	2.47688		
47	2.48505		
48	-8.49271		
49	-6.06118		

با بررســـی نتایج، خوشـــه بندی در ابعاد بزرگ از پیچیدگی مسـئله کاسته و کاهش بیشتر ابعاد را به همراه دارد و خروجی از منظر کیفیت نتایج و محاســبات بهتر و ســریعتر خواهد بود. این تحقیق نشـان داد که سـهم ۳ متغیر اول در روش پیشنهادی ۱۴ درصـد نسـبت به روش مولفه‌های اصلی در سهم بیشتر متغیرها، بهبود داشته است. در ضمن ابعاد مسئله به دلیل خوشه بندی نیز کاهش ۵۳ تا ۶۱ درصـد داشـته است که این شاخص در کیفیت محاســبات در مســائل بزرگ بســیار موثر خواهد بود. بررســی و مقایســه روش‌های تحلیل در جدول شـماره ۱۳ نشـان داده شده است.

جدول ۱۳: مقایسه روش‌های تحقیق در این مطالعه

روش تحلیل	X1(%)	X1-X3(%)	بهبود٪	کاهش ابعاد
PCA	۰٫۵۴۵	۰٫۸۶۶	۵۹	-
PCA+TFN	۰٫۵۲۱	۰٫۸۵۲	۶۴	-
KM(2)+PCA	۰٫۵۰۱	۰٫۸۵۷	۷۱	٪۶۱
KM(3)+PCA	۰٫۴۶۳	۰٫۸۰۲	۷۳	٪۵۳

مهم‌ترین مزایـای الگوریتم پیشـــنهـادی، اولا کـاهش موثر و حـذف چنـد همخطی بین معیـارهای انتخاب فناوری و کمک به کـاهش بـده-بسـتـان‌ها و تکرارپذیری خطاها در فرایند انتخاب فناوری اســت. ثانیا خطاهای ذهنی در حالتی که وزن اختصـاص می‌دهد با تولید خودکار برای هر ζ کاهش می‌یابد. همچنین مدل پیشـــنهادی به پیچیدگی و مقایســات زوجی ذهنی نیاز ندارد که میزان خطـاهـا را کاهش می‌دهد. مورد ســـوم اینســـت که مدل پیشـنهادی ابعاد مسئله را به‌طور قابل توجهی کاهش داده و زیان از دســـت رفتن داده‌ها و اطلاعات را بهبود می‌دهد. چهارم اینکه کیفیت داده‌های کیفی مرتبط به قضـــاوت های ذهنی تصـــمیم گیرنـده با روش فازی TFN به داده‌های کمیتی بهتر شـــد. مورد پنجم اینســـت کـه کاهش داده‌ها با گروه بندی در خوشـــه‌ها و درنهایت مدل ارائه شـده شـامل مدلی کاربر پسـند جهت انتخاب فنـاوری اســـت کـه با نرم افزارهای قابل دســـترس EXCEL و MINITAB یا SPSS به راحتی قابل حل خواهد بود.

به هر حال داده‌های کسب شده از تصمیم گیرنده می‌تواند در زمان‌های مختلف، صنایع متعدد و وابسته به تجربه و دانش، اولویت و درک تصمیم گیرنده، بر کیفیت جواب تاثیرگذار باشد. بنابراین پیشنهاد می‌شود هنگام استفاده از این مدل، راهنما و الگویی برای تصمیم گیرنده تهیه شود تا در استفاده از متغیرهای زبانی دچار تنوع و ادراک متفاوت نشوند و نتایج کسب شده حداقل انحرافات و خطا را داشته باشد.

یکی از مشـکلات خوشه‌بندی K-Means تعیین تعداد خوشه اســـت؛ لذا برای رفع این محدویت به‌منظور تحقیقات آتی ســـایر الگوریتم‌هـای خوشـــه‌بنـدی بـه تنهایی یا ترکیب موثری از آنها می‌تواند مطالعه شود. همچنین از الگوریتم‌های فراابتکاری همانند الگوریتم ژنتیک و غیره نیز در حل بهتر مســـئله انتخاب فناوری می‌توان بهره برد. اسـتفاده از الگوریتم حاضر در رشته صنعت‌های مختلف و مطـالعـات موردی متنوع می‌توانـد بـه قوام الگوریتم و روش پیشنهادی کمک کند.

فهرست منابع

[۱] باطنی، م؛ **"انتخاب فناوری مناسب در کشورهای در حال توسعه"**، مجله تدبیر، شماره ۱۰۸، صص ۶۹-۶۸، ۱۳۷۹.

[۲] حقیقیت، ب؛ **"نظام انتقال با جذب فناوری"**، مجموعه مقالات دومین سمینار علم، فناوری و توسعه، دانشگاه امیر کبیر،۱۳۷۲.

[۳] سرافرازی، عباس؛ **"نیم قرن پس از خوشه بندی، بررسی و ارزیابی رویکردها و روشه‌های خوشه بندی با تجزیه و تحلیل تصمیم گیری چند معیاره"**، فصلنامه پژوهش در علوم، مهندسی و فناوری، شماره ۲، صص ۸۴-۶۵، ۱۳۹۷.

[۴] عزیزمحمدلو، حمید؛ فضلی، صفر؛ محمدنژاد مدردی، سپیده؛ **"انتخاب فناوری پاک و نوآوری سبز، راهکاری برای بهبود عملکرد زیست محیطی صنایع کوچک و متوسط"**، دو فصلنامه توسعه فناوری، شماره ۳۰، صص ۱۲-۵، ۱۳۹۶.

[۵] فرجی، مرتضی؛ **"بررسی صنعت بازیابی لاستیک های مستعمل و انتخاب فناوری مناسب در ایران"**، پایان نامه، دانش مدیریت، شماره ۲۷ و ۲۸، زمستان۱۳۷۳و بهار ۱۳۷۴.

[۶] فلاح وزیرآباد، احد؛ **"انتخاب فناوری مناسب در کشورهای در حال توسعه و اشتغال نیروی انسانی"**، مجله دانشکده ادبیات و علوم انسانی تبریز، شماره ۱۵۱ و ۱۵۲ ، صص ۱۶۴-۱۴۳؛ ۱۳۷۳.

[۷] مصلح شیرازی، علی نقی؛ ید اللهی فارسی، جهانگیر؛ **"استراتژی انتخاب فناوری در واحدهای تولید صنعتی"**، مجموعه مقالات دومین سمینار علم، فناوری، توسعه، تهران، دانشگاه امیرکبیر، ۱۳۷۲.

[۸] مصلح شیرازی، علی نقی؛ یداللهی فارسی، جهانگیر؛ **"معیارهای انتخاب فناوری مناسب در واحدهای تولید"**، مجله اقتصاد برنامه و بودجه، شماره ۸، صص ۵۲-۲۵، ۱۳۷۵.

[۹] مصلح شیرازی، علی نقی؛ یداللهی، جهانگیر؛ **"بررسی عوامل مؤثر در تصمیم گیری مدیران صنایع فارس در انتخاب فناوری"**، مجله علوم اجتماعی و انسانی دانشگاه شیراز، شماره ۲۷ ، صص ۴۲-۲۳، ۱۳۷۷.

[۱۰] نوری، ح؛ **"مدیریت فناوری"**، جزوه درسی، سازمان مدیریت صنعتی ایران، تهران، ۱۳۷۷.

[۱۱] یداللهی فارسی، جهانگیر،**" عوامل مؤثر در انتخاب فناوری در صنایع استان فارس: مقایسه مدل مناسب و مدل واقعی"**، رساله کارشناسی ارشد، دانشگاه شیراز، ۱۳۷۳.

[12] Adhyaru, P. H.; Anubhai, P.; Lyer, B. V.; Mehta, P. C.; Parikh, J. G.; *Evaluation of appropriate technology for textile production, New York*, United Nation Press, 1970.

[13] Baily, M.A.; "*Factor market structure and technology choice in the Colombian Brick industry*", Journal of development economic, Vol. 6, No. 4, 1979.

[14] Bard, J. F.; Feinberg, ABE; "*A two phase methodology for technology selection and system design*", IE Transactions on engine erring management, Vol. 36, No. 1, Feb 1989.

[15] Bardhan, P.; Kletzor, K.; "*Quality variations and the choice between foreign and indigenous goods of technology*", Journal of development economics, No. 14, 1984.

[16] Cany, Ira N.; "*Employment, output and the choice of technology of techniques*", Journal of development economics, No. 5, 1987.

[17] Chen, E k. J; "*Factor productions of foreign and local firms in developing countries*", Journal of development economic, Vol. 12, No. 122, 1983.

[18] Choi, Youn grak; "*Dynamic techno-management capability: The case of Samsung semiconductor sector in Korea*", Dissertation at Roskilde University, Aug 1994.

[19] Cooper, C.; Kaplinsky, R.; Bell, R.; Sutyarakwit, W; *Choice of technology for can making in Kenya, Tansania, and Thailand, Technology and employment in industry*, international labor organization, 1985.

[20] F.T.S. Chan; M.H. Chan; N.K.H. Tang; "*Evaluation methodologies for technology selection*", Journal of Materials Processing Technology, No. 107, pp. 330-337, 2000.

[21] Gaitani, N.; Lehmann, C.; Santamouris, M., others; "*Using principal component and cluster analysis in the heating evaluation of the school building sector*", Applied Energy, No. 87, pp. 2079–2086, 2010.

[22] Garduell, L.; *Technology choice in the mens leather shoe and cotton spinning industries in Brazil, The relation between size and efficiency*, New Haven, Yale university press, 1977.

[23] Giral, B. J.; *Appropriate industrial technology for basic industries*, New York, United Nation Press, 1981.

[24] Hageibery, C. B.; Krause, E.W.; *Appropriate industrial technology for sugar*, New York, United Nation Press, 1980.

[25] J. Xiaofeng; J. Peng; Y. Yun; "*Understanding the complex nature of engineering technology selection: A new methodology based on systems thinking*", The 2nd International Conference on Complexity Science & Information

Engineering, Systems Engineering Procedia 4, pp. 196 – 202, 2012.
[26] Ka-Chi, Lam; Ran, Tao; Mike, Chun-Kit Lam; "*A material supplier selection model for property developers using Fuzzy Principal Component Analysis*", Automation in Construction, No. 19, pp. 608–618, 2010.
[27] Keddie, J.; *Appropriate industrial technology for food storage and processing;* New York, United Nation Press, 1979.
[28] Kleindorfer, P. R.; Partovi, F.; "*Integration manufacturing strategy and technology choice*", European journal of operational research, 1990.
[29] L. H.S. Luong; "*A decision support system for the selection of computer-integrated manufacturing technologies*", Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, No. 14, pp. 45-53, 1998.
[30] Lecraw, D; "*Choice of technology in low wage countries: A non-neoclassical approach*", Quarterly journal of economics, Nov 1979.
[31] Littler, D.; Sweeting, RC; "*The Management of new Technology Based Businesses, The Existentialist Fir*", Omega Int, J. of Mgml. Sci., Vol. 18, No. 3, 1990.
[32] M. Khouja; "*Joint inventory and technology selection decisions*", Omega, No. 33, pp. 47–53, 2005.
[33] M. Yurdakul; "*Selection of computer-integrated manufacturing technologies using a combined analytic hierarchy process and goal programming model*", Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, No. 20, pp. 329–340, 2004.
[34] Neghabat, F.; *Choice of appropriate construction technology in the building industry in Iran*, New York: United Nation Press, 1980.
[35] Oil Hawrylyshyn; "*Capital intensity in developing country technology choice*", Journal of development economics, No. 5, 1987.
[36] Pack, Howard; "*Productivity and technical choice*", Journal of development economics, No. 16, 1984.
[37] Picket, J.; "*The choice of technology in developing countries*", special issue of world development, Vol. 5, pp. 9-10, 1997.
[38] R. Farzipoor Saen; "*Decision model for technology selection in the existence of both cardinal and ordinal data*", Applied Mathematics and Computation, Vol. 181, pp. 1600–1608, 2006.
[39] S., Ahmed; N. V. Sahinidis; "*Selection, acquisition, and allocation of manufacturing technology in a multi-period environment*", European Journal of Operational Research, Vol. 189, pp. 807–82, 2008.
[40] Sharif, N. M.; "*Management of technology transfer and development- Bangalore*", India, New York, UN. ESCAP regional center for technology transfer, 1983.
[41] Westphal, L.; *Research on appropriate technology*, New York, United Nation Press, 1987.