

# الگوریتم ترکیبی KMPCA برای انتخاب فناوری با استفاده 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: ۸۵-۱۰۰

10.22034/jtd.2022.697426 

## چکیده

انتخاب فناوری مناسب، مسئله مهمی است که بنگاه‌های تولیدی و صنعتی با آن مواجه هستند. این در حالی است که، دسترسی به فناوری‌های جدید، مجموعه انتخاب را وسیع کرده است؛ به طوری که حل مسئله انتخاب فناوری با وجود معیارهای تصمیم متعدد، بیش از پیش مشکل و پیچیده شده است. از طرفی، فناوری مناسب می‌تواند مزایای رقابتی قابل توجهی را برای یک شرکت در یک محیط پیچیده کسب و کار ایجاد نماید. تاکنون روش‌های مختلفی جهت حل مسئله انتخاب فناوری ارائه گردیده است که هر یک دارای مزایا و معایبی هستند. ولی هیچ یک از روش‌های پیشنهادی به طور واحد کلیه قابلیت‌های لازم را ندارند. در این مقاله با به کارگیری روش تحلیل مولفه‌های اصلی، روش ترکیبی خوشه‌بندی و تحلیل مولفه‌های اصلی به همراه تئوری فازی، الگوریتم ترکیبی KMPCA در حل مسئله انتخاب فناوری توسعه داده شده است. تعداد متغیرهای انتخاب فناوری از ۶ به ۱۴ متغیر با پوشش کامل تری از ابعاد تصمیم ارتقاء یافت و داده‌ها از ۴۹ فناوری رایج صنعت 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، خوشه‌بندی، 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 کارایی فرآیند تولید می‌شوند. بنابراین در زمان انتخاب فناوری، وجود نگرشی سیستمی به محیط ضروری است. به‌طور کلی، 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 تصمیم‌گیری و گزینش مربوط به تفاوت در شرایط و محیط تصمیم‌گیری باشد. برای کنترل این تأثیرها، متغیرهای تعریف‌کننده 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 تصمیم‌گیرندگان نبوده‌اند. این خطاهای ذهنی بر خروجی نهایی تصمیم‌گیری 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 کارآمد 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.

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 به کارگیرنده فناوری، حجم تولید آن، میزان به کارگیری 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 این که، 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 تحقیق 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 تصمیم‌گیری بوده است.

### رویکرد دوم: روش‌های انتخاب فناوری

به‌طور کلی روش‌هایی که تاکنون جهت انتخاب فناوری به کار 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 تصمیم‌گیری با چند گزینه رقیب و معیار تصمیم‌گیری روبروست می‌تواند استفاده گردد. معیارهای مطرح شده می‌تواند هم کمی و هم کیفی باشند. اساس این روش تصمیم‌گیری بر مقایسات زوجی نهفته است. تصمیم‌گیرنده با فراهم 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

■ 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 کاملاً موثر واقع شود.

- تغییرات فناوری: رشد فناوری، نتیجه ابداعات یا ترکیب جدیدی از اجزای فناوری موجود است. ابداعاتی 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 محصولات منجر می‌شود که قبلاً ناشناخته بوده‌اند [۸].

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

عوامل بسیاری در ایجاد نیاز به فناوری‌های جدید مؤثرند. 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 تصمیم‌گیری 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

- 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 در انتخاب فناوری ضروری است.

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 تصمیم‌گیری دقیق، با استفاده از اطلاعات تجربی و قضاوت‌های شخصی هر تصمیم‌گیرنده 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 تصمیم‌گیری را آسان می‌نماید. این مدل تصمیم‌گیری، 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.

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 پیش‌بینی نشده، حداقل مشکلات حمل و نقل، امکان‌پذیری استقرار و اجرا، هماهنگی 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]	تعداد ماشین، تعداد نیروی انسانی، میزان سرمایه‌گذاری و دستمزد
[۲۷]	هزینه‌ها، 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 نرخ‌های دستمزد، مشخصات فرآورده، هزینه تولید
[۴۱]	سیاست‌های عمومی، دسترسی به نیروی کار ماهر، تصمیم‌گیرندگان شرکت‌ها
[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 مصرف‌کننده، مشخصات فرآورده انعطاف‌پذیری، هزینه‌ها، فواید و ارزیابی راهبردی فناوری
[۳۵]	قیمت عوامل، گرایش به فن سرمایه‌برگزینش مصرف‌کننده، اشتغال
[۳۰]	اشتغال، بهای عوامل، محدود بودن فناوری‌ها، توانایی مهندسان مدیر، محیط رقابتی
[۳۶]	اشتغال، بهره‌وری 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، ملاحظات مکان‌یابی، صرفه‌جویی ارزی، بررسی ملاحظات انسانی، سرمایه ثابت، ارزیابی مواد اولیه

جدول ۲: مقایسه ویژگی‌های روش‌های انتخاب [۲۶]

روش	ویژگی‌ها	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-	کاربر آشنا/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 سربرار را کاهش دهد و بالاتر از همه، کارخانه‌ها 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، مناسب‌تر، 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 فناوری‌های سبز و زیست محیطی (QUA).

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

$X_7$ : میزان افزایش بهره‌وری (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

در نظر گرفته شد. بعد دیفازی نمودن مقدار  $F_i$  عبارتست از:

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

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

امروزه خوشه‌بندی به‌عنوان یک روش یادگیری بدون ناظر در کاربردهای بسیاری توانسته است ارزش خود را نشان دهد. یکی از روش‌های حیاتی کنترل و مدیریت داده‌ها، کلاس بندی یا گروه بندی داده‌های با خواص مشابه درون مجموعه‌ای از دسته‌ها یا خوشه‌هاست. خوشه بندی نسبت به سایر روش‌های طبقه بندی از قدرت بالاتری برخوردار است. هدف خوشه بندی حداقل نمودن فاصله داده‌ها در یک خوشه و حداکثر نمودن داده‌های خوشه‌ها نسبت به همدیگر است. مسئله اصلی، گروه‌بندی بدون نظارت مجموعه‌ای از الگوهای بدون برچسب، درون گروه‌های معنی‌دار است. پس خوشه‌بندی منجر به فشرده‌سازی و کاهش اطلاعات می‌شود [۳۸، ۳۹، ۹ و ۶]. برای این منظور لازم است که الگوهای با بیشترین میزان شباهت، در یک خوشه قرار گیرند. معیارهای مختلفی برای اندازه‌گیری شباهت مورد استفاده قرار می‌گیرند که به ماهیت داده‌ها وابسته هستند. الگوریتم‌های خوشه بندی به طور وسیعی به دو گروه تقسیم می‌شوند: سلسله مراتبی و افزاریندی. الگوریتم‌های سلسله مراتبی از یک نقطه از داده‌ها با اندازه گیری شباهت و فاصله مشاهدات شروع می‌شود و از پایین به بالا با تعداد خوشه‌های برابر تعداد مشاهدات به سمت یک خوشه حرکت می‌کند یا از روش بالا به پایین برعکس قبل از یک خوشه شروع و تا تمام مشاهدات پیش می‌رود. در روش افزاریندی در شروع تصمیم گیری می‌شود که چند خوشه تقسیم بندی شود و عملیات تکرار براساس رسیدن به شرط توقف پایان می‌یابد. الگوریتم K-Means محبوب‌ترین و پرکاربردترین روش خوشه‌بندی افزاری است [۶ و ۳]. اندازه گیری فاصله بین داده‌ها از رابطه زیر تعیین می‌شود:

$$J = \sum_{j=1}^k \sum_{i=1}^n \|x_i^{(j)} - c_j\|^2 \quad (4)$$

که  $\| \cdot \|$  معیار فاصله بین نقاط  $c_j$  و مرکز خوشه  $X_i$  مشاهده  $i$ ام است. در این رابطه از فاصله‌های مختلف استفاده می‌شود که در اینجا از فاصله اقلیدسی به‌طور رایج استفاده شده است [۲۱].

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

روش تحلیل مولفه‌های اصلی یکی از انواع روش‌های تحلیل داده‌های چندمتغیره است که هدف اصلی آن تقلیل بعد مساله مورد مطالعه است. با استفاده از تحلیل مولفه‌های اصلی می‌توان تعداد زیادی متغیر توضیحی همبسته را با تعداد محدودی متغیر توضیحی جدید که مولفه‌های اصلی نامیده می‌شوند و

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

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

به‌طور عملی توسعه‌دهندگان معیارها و متغیرهای انتخاب فناوری، نیازها و صلاحیت مبهم و نامعلومی همانند شهرت و رابطه دارند. چنین اطلاعات مبهم و ذهنی نیازمند ترجمه به داده‌های کمی برای تصمیم‌گیری هستند. مجموعه‌های فازی اولین بار توسط پرفسور لطفی زاده معرفی شد که از روش‌های پرکاربرد برای حل این مسئله است. در این مطالعه یکی از مهمترین و گسترده‌ترین روش‌های فازی مثلثی است که با  $\tilde{A}$  نمایش داده می‌شود. دلیل استفاده از اعداد مثلثی سادگی در استفاده و محاسبات است. براساس نظر لام تابع عضویت ( $\mu$ ) به صورت زیر تعریف می‌شود [۲۶]:

$$\mu_{\tilde{A}}(x) = \begin{cases} \frac{(x-a)}{(b-a)}, & a \leq x \leq b, \\ \frac{(c-x)}{(c-b)}, & b \leq x \leq c, \\ 0 & \text{Otherwise.} \end{cases} \quad (1)$$

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

که  $a$  حد پایین متغیر  $x$ ،  $b$  درجه عضویت قوی،  $c$  حد پایین متغیر  $x$  است. متغیرهای زبانی جهت وزن اهمیت معیارها و رتبه‌بندی مثلثی با عدد کمی آن در جداول شماره ۳ و ۴ آمده است.

#### جدول ۳- 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)

#### جدول ۴- 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  $S_{ik}$ ,  $W_k$  مقادیر وزن اهمیت تصمیم‌گیرنده و متغیر زبانی آن است.

$$\tilde{F}_i = \left[ (\tilde{S}_{i1} \otimes \tilde{W}_1) \oplus (\tilde{S}_{i2} \otimes \tilde{W}_2) \oplus \dots \oplus (\tilde{S}_{ik} \otimes \tilde{W}_k) \right] \quad (2)$$

جهت تبدیل فازی به عدد  $F_i$  دیفازی نمودن از چهار روش استفاده می‌شود که شامل روش (centroid, Mean of maximal, signed distance,  $\alpha$ -cut) است که هر کدام نقاط قوت و وضعی دارند اما روش مرکز ثقل به دلیل سادگی و کاربرد وسیع

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 جمع آوری 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، داده‌ها 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  $X_7$  تا  $X_{14}$  داده‌های کیفی هستند.

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. به‌طور کلی 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 به منظور کاهش ابعاد مسئله، درصدی کمی از کل اطلاعات از دست می‌رود، چرا که واریانس مولفه‌های استخراجی نزولی است.

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

$$Y_1 = a_{11}X_1 + a_{21}X_2 + \dots + a_{p1}X_p$$

$$Y_2 = a_{12}X_1 + a_{22}X_2 + \dots + a_{p2}X_p$$

$$\vdots$$

$$\vdots$$

$$\vdots$$

$$Y_p = a_{1p}X_1 + a_{2p}X_2 + \dots + a_{pp}X_p$$

$$\underline{Y} = (Y_1, Y_2, \dots, Y_p)^T$$
 را مولفه اصلی نام گویند و بردار

بردار مولفه‌های اصلی نام دارد.

#### ۳-۵- متدولوژی و چارچوب تحقیق

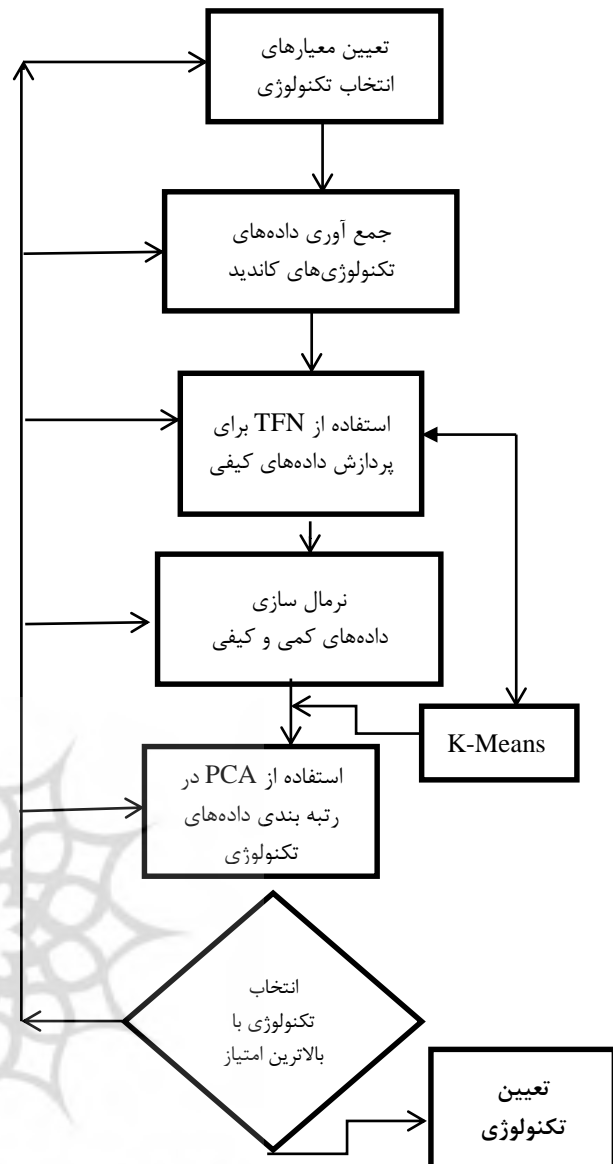
تاکنون انتخاب فناوری از روش‌های مختلفی که در پیشینه تحقیق آمد مورد استفاده قرار گرفته است. در این تحقیق یک متدولوژی جدید مبتنی بر مدل ترکیبی تکنیک‌های آماری چند متغیره شامل تجزیه و تحلیل مولفه‌های اصلی PCA و خوشه بندی K-Means توسعه داده شد و به نام KMPCA معرفی می‌شود. این تحقیق شامل دو بخش تعیین چهارده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

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 تصمیم‌گیری اولیه فناوری-معیار است که براساس نوع متغیر، دارای داده‌های کمی و کیفی هستند. داده‌های کمی مستقیماً در ماتریس وارد شده اما داده‌های کیفی براساس تئوری فازی تحلیل شده و سپس وارد ماتریس گردید. پس از مرحله جمع‌آوری و تکمیل ماتریس فناوری-معیار داده‌ها جهت یکنواختی و همگونی داده‌ها نرمال‌سازی 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

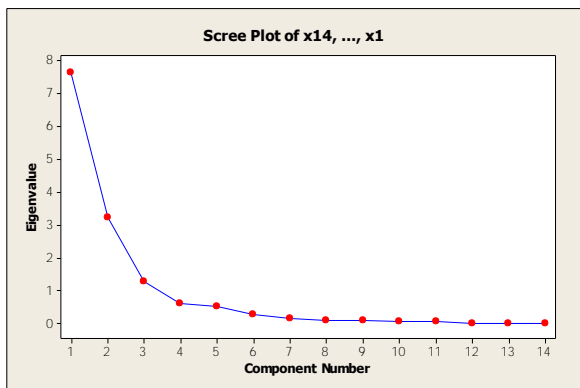
رد	کد	نام فناوری	رد	کد	نام فناوری
۱	A1	فراوری تایل ایران ۱	۲۶	C1	فراوری آنتیک ایران ۱
۲	A2	فراوری تایل ایران ۲	۲۷	C2	فراوری آنتیک ایتالیا ۱
۳	A3	فراوری تایل ایران ۳	۲۸	C3	فراوری آنتیک ایتالیا ۲
۴	A4	فراوری تایل ایتالیا ۱	۲۹	C4	فراوری آنتیک ترکیه ۱
۵	A5	فراوری تایل ایتالیا ۱	۳۰	C5	فراوری آنتیک ترکیه ۲
۶	A6	فراوری تایل ایتالیا ۲	۳۱	C6	فراوری آنتیک ترکیه ۳
۷	A7	فراوری تایل اسپانیا ۱	۳۲	C7	فراوری آنتیک چین ۱
۸	A8	فراوری تایل ترکیه ۱	۳۳	C8	فراوری آنتیک چین ۲
۹	A9	فراوری تایل ترکیه ۲	۳۴	C9	فراوری آنتیک هند ۱
۱۰	A10	فراوری تایل ترکیه ۳	۳۵	D1	فراوری احجام ایران ۱
۱۱	A11	فراوری تایل ترکیه ۳	۳۶	D2	فراوری احجام ایتالیا ۱
۱۲	A12	فراوری تایل چین ۱	۳۷	D3	فراوری احجام ایتالیا ۲
۱۳	A13	فراوری تایل چین ۲	۳۸	D4	فراوری احجام ایتالیا ۳
۱۴	A14	فراوری تایل هند ۱	۳۹	D5	فراوری احجام ایتالیا ۴
۱۵	B1	فراوری اسلب ایران ۱	۴۰	D6	فراوری احجام اسپانیا ۱
۱۶	B2	فراوری اسلب ایتالیا ۱	۴۱	D7	فراوری احجام ترکیه ۱
۱۷	B3	فراوری اسلب ایتالیا ۲	۴۲	D8	فراوری احجام ترکیه ۲
۱۸	B4	فراوری اسلب ایتالیا ۳	۴۳	D9	فراوری احجام چین ۱
۱۹	B5	فراوری اسلب اسپانیا ۱	۴۴	D10	فراوری احجام چین ۲
۲۰	B6	فراوری اسلب ترکیه ۱	۴۵	D11	فراوری احجام هند ۱
۲۱	B7	فراوری اسلب ترکیه ۲	۴۶	D12	فراوری احجام بلغار ۱
۲۲	B8	فراوری اسلب آلمان ۳	۴۷	D13	فراوری احجام ایتالیا ۱
۲۳	B9	فراوری اسلب چین ۳	۴۸	E1	فراوری مصنوعی ایتالیا ۱
۲۴	B10	فراوری اسلب چین ۳	۴۹	E2	فراوری مصنوعی ایتالیا ۲
۲۵	B11	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 معروف‌ترین روش‌های تحلیل خوشه‌های K-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 خوشه‌های K-Means قبل از انجام مراحل الگوریتم می‌بایست تعداد خوشه k مشخص شود که البته یکی از محدودیت‌های 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



با توجه به متدولوژی 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





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 و 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

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 می‌دهد. 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  $k=3$  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 می‌شود.

جدول ۶- تعداد داده‌های موجود در ۲ و ۳ و ۴ و ۵ خوشه

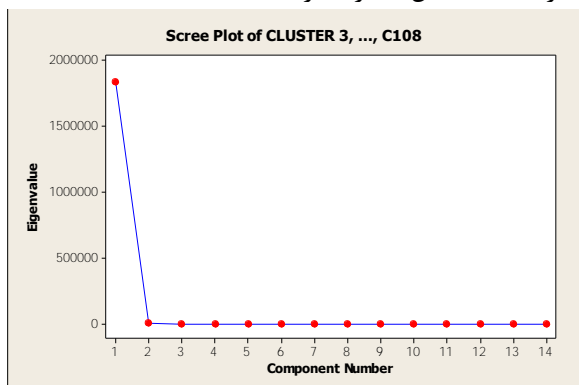
CLUSTER NO.	5	4	3	2
CLUSTER1	17	18	26	30
CLUSTER2	4	4	18	19
CLUSTER3	1	1	5	-
CLUSTER4	2	26	-	-
CLUSTER5	25	-	-	-

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.



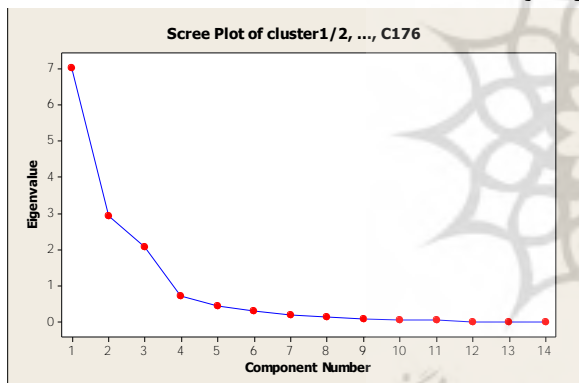
Cumulative	0.381	0.637	0.740	0.824	0.890	0.926	0.951	0.968	0.980	0.989	0.994	0.999	1.000	1.000
------------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

بی تاثیر هستند. شکل شماره ۵ را ملاحظه نمایید.



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

در نهایت 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.

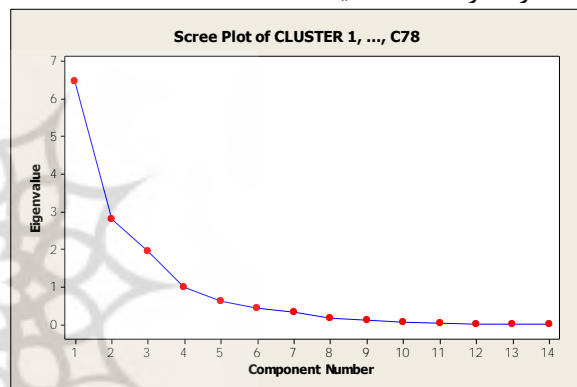


شکل ۶: نمودار زانویی مولفه‌های اصلی خوشه ۱/۲ روش چهارم

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  $K=3$  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.

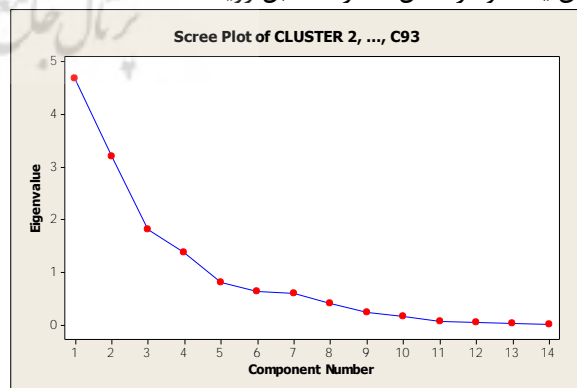
در روش سوم استفاده از خوشه بندی داده‌ها قبل از تحلیل مولفه‌های اصلی انجام شده و سپس بر روی هر خوشه PCA انجام گردید.

این روش با نام KMPCA (K-Means+PCA+TFN) در این تحقیق تعریف شده است. در روش سوم تعداد ۳ خوشه در نظر گرفته 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.



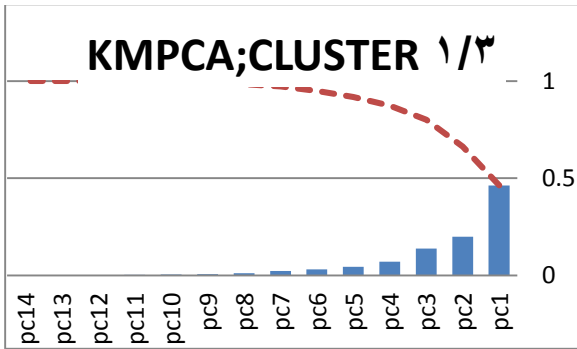
شکل ۳: نمودار زانویی مولفه‌های اصلی خوشه ۱/۳ روش سوم

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.

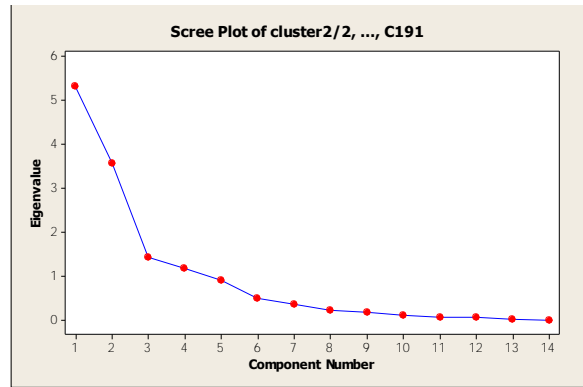


شکل ۴: نمودار زانویی مولفه‌های اصلی خوشه ۲/۳ روش سوم

در خوشه سوم (۳/۳) روند کاهش ادامه یافته به طوری که تنها متغیر اول با سهم حداکثری شامل ۱,۰۰ برای این گروه در نظر گرفته شده است و سیزده متغیر دیگر در انتخاب فناوری

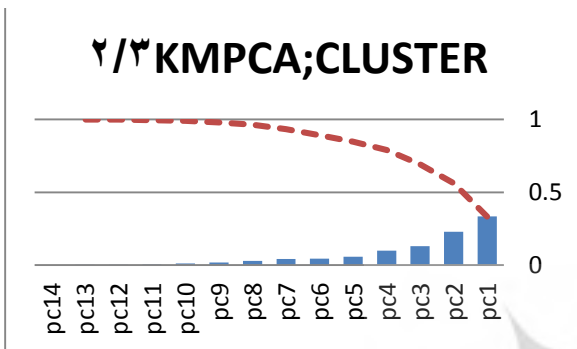


شکل ۱۰: درصد واریانس مولفه‌های اصلی در خوشه ۱/۳؛ سوم

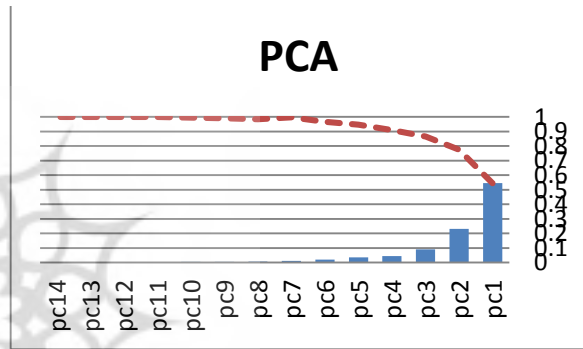


شکل ۷: نمودار زانویی مولفه‌های اصلی خوشه ۲/۲ روش چهارم

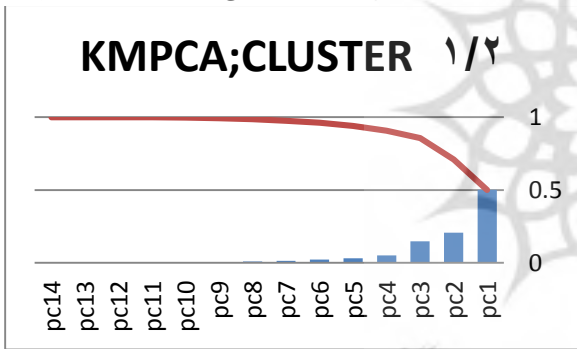
در شکل‌های شماره ۸ تا ۱۳ نمودار پاراتوی هر چهار روش تحقیق بررسی شد و سهم هر مولفه نشان داده شده است. در روش اول مولفه اول، دوم و سوم با ۸۶٫۶ درصد، روش دوم ۸۵٫۲ درصد سهم قابل توجهی را به خود اختصاص داده‌اند.



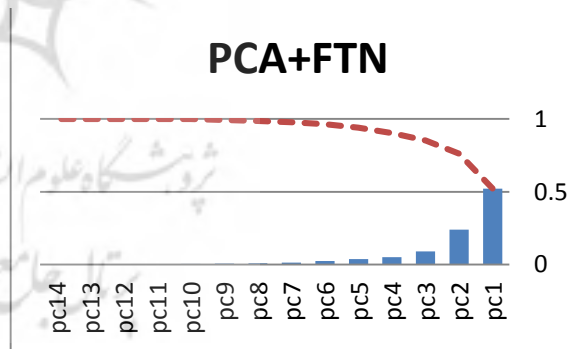
شکل ۱۱: درصد واریانس مولفه‌های اصلی در خوشه ۲/۳؛ سوم



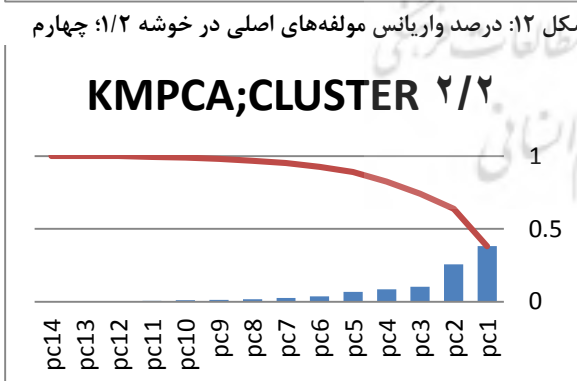
شکل ۸: درصد واریانس مولفه‌های اصلی؛ روش اول



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



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



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

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 ۰٫۶۹۱ سهم از کل مولفه‌های اصلی تحلیل گردید. سرانجام در روش چهارم، خوشه اول با سه مولفه اصلی ۰٫۸۵۷ و خوشه دوم ۰٫۷۴۰ سهم تجربه شد.

## ۵- نتیجه‌گیری و تحقیقات آتی

هدف اصلی از این مقاله ارائه الگوریتم موثر برای انتخاب فناوری است. انتخاب فناوری یکی از مباحث استراتژیک در هر صنعت و کسب و کاری است که بر مزایای رقابتی آن تاثیر حیاتی دارد. تاکنون روش‌های مختلفی در انتخاب فناوری معرفی شده

بهبود داشته است. در ضمن ابعاد مسئله به دلیل خوشه بندی نیز کاهش ۵۳ تا ۶۱ درصد داشته است که این شاخص در کیفیت محاسبات در مسائل بزرگ بسیار موثر خواهد بود. بررسی و مقایسه روش‌های تحلیل در جدول شماره ۱۳ نشان 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 مزایای الگوریتم پیشنهادی، اولاً کاهش موثر و حذف چند همخطی بین معیارهای انتخاب فناوری و کمک به کاهش بده-بستان‌ها و تکرارپذیری خطاها در فرایند انتخاب فناوری است. ثانیاً خطاهای ذهنی در حالتی که وزن اختصاص می‌دهد با تولید خودکار برای هر یک کاهش می‌یابد. همچنین مدل پیشنهادی به پیچیدگی و مقایسات زوجی ذهنی نیاز ندارد که میزان خطاها را کاهش می‌دهد. مورد سوم اینست که مدل پیشنهادی ابعاد مسئله را به‌طور قابل توجهی کاهش داده و زبان از دست رفتن داده‌ها و اطلاعات را بهبود می‌دهد. چهارم اینکه کیفیت داده‌های کیفی مرتبط به قضاوت‌های ذهنی تصمیم‌گیرنده با روش فازی TFN به داده‌های کمیتی بهتر شود. مورد پنجم اینست که کاهش داده‌ها با گروه بندی در خوشه‌ها و درنهایت مدل ارائه شده شامل مدلی کاربر پسند جهت انتخاب فناوری است که با نرم افزارهای قابل دسترس EXCEL و MINITAB یا SPSS به راحتی قابل حل خواهد بود.

به هر حال داده‌های کسب شده از تصمیم‌گیرنده می‌تواند در زمان‌های مختلف، صنایع متعدد و وابسته به تجربه و دانش، اولویت و درک تصمیم‌گیرنده، بر کیفیت جواب تاثیرگذار باشد. بنابراین پیشنهاد می‌شود هنگام استفاده از این مدل، راهنما و الگویی برای تصمیم‌گیرنده 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 مشکلات خوشه‌بندی K-Means تعیین تعداد خوشه است؛ لذا برای رفع این محدودیت به‌منظور تحقیقات آتی سایر الگوریتم‌های خوشه‌بندی به تنهایی یا ترکیب موثری از آنها می‌تواند مطالعه شود. همچنین از الگوریتم‌های فراابتکاری همانند الگوریتم ژنتیک و غیره نیز در حل بهتر مسئله انتخاب فناوری می‌توان بهره برد. استفاده از الگوریتم حاضر در رشته صنعت‌های مختلف و مطالعات موردی متنوع می‌تواند به قوام الگوریتم و روش پیشنهادی کمک کند.

است. بنابراین در اینجا تلاش شد که با روش‌های آماری چندمتغیره، PCA و K-Means و روش ترکیبی آن KMPCA جهت حل مسئله انتخاب فناوری توسعه داده شود. همچنین تعداد معیارها و متغیرها نیز از ۶ به ۱۴ متغیر افزایش یافت. به جهت مقایسه و ارزیابی بهتر در این تحقیق سه روش مورد آزمایش قرار گرفت. در آزمایش اول فقط از روش مولفه‌های اصلی استفاده شد و در آزمایش دوم از داده‌های فازی شده در مولفه همان روش اول استفاده شد و در ادامه در آزمایش سوم قبل از تحلیل مولفه‌های اصلی ابتدا خوشه‌بندی انجام شد و سپس داده‌های خروجی خوشه‌بندی به تحلیل مولفه‌های اصلی وارد گردید. مطالعه موردی این روش در صنعت سنگ(واقع در خوشه صنعتی فراوری سنگ محلات به‌عنوان نمونه‌ای از جامعه صنعت سنگ ایران) آزمون گردید. نتایج تحقیق در جدول شماره ۱۲ رتبه بندی فناوری را براساس امتیاز مولفه اصلی در دو خوشه نشان می‌دهد که براساس بالاترین امتیاز، تصمیم‌گیرنده 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	<b>KMPCA</b>	
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 بررسی نتایج، خوشه بندی در ابعاد بزرگ از پیچیدگی مسئله کاسته و کاهش بیشتر ابعاد را به همراه دارد و خروجی از منظر کیفیت نتایج و محاسبات بهتر و سریعتر خواهد بود. این تحقیق نشان داد که سهم ۳ متغیر اول در روش پیشنهادی ۱۴ درصد نسبت به روش مولفه‌های اصلی در سهم بیشتر متغیرها،

## فهرست منابع

- [۱] باطنی، م؛ "انتخاب فناوری مناسب در کشورهای در حال توسعه"، مجله تدبیر، شماره ۱۰۸، صص ۶۹-۶۸، ۱۳۷۹.
- [۲] حقیقت، 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، زمستان ۱۳۷۳ و 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؛ یداللهی 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 2<sup>nd</sup> 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.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی  
پرتال جامع علوم انسانی

