

ارائه یک رویکرد رتبه‌بندی فناوری‌های نوین به منظور اجرای برنامه‌های راهبردی

دانیال محمدی

دانشجوی دکتری مهندسی صنایع؛ دانشکده مهندسی صنایع؛ دانشگاه علم و صنعت ایران

ابوالفضل آدرسی

دانشجوی دکتری مهندسی صنایع؛ گروه مهندسی صنایع؛ دانشگاه شاهد

حمید جباری

کارشناسی‌ارشد مهندسی صنایع؛ گروه مهندسی صنایع؛ دانشگاه پیان نور

چکیده

یکی از مهم‌ترین نیازهای سازمان‌های پژوهش‌محور کشورهای در حال توسعه، تصمیم‌گیری در رابطه با چگونگی نوآوری در بخش‌های دفاعی به دلیل گستردگی مأموریت‌ها در بخش‌های مختلف و حتی پشتیبانی و خدمات اداری و مالی، یک موضوع کلیدی محسوب می‌شود. در مراکز تحقیق و توسعه با توجه به محدودیت منابع، امکان انجام همه پروژه‌های توسعه محصول جدید وجود ندارد، لذا اولویت‌بندی این پروژه‌ها ضروری است. یکی از پیش‌نیازهای اساسی برای استفاده از این روش، شناسایی شاخص‌های مناسب با در نظر گرفتن رویکرد کاربردی، دسته‌بندی آن‌ها و در نهایت وزن‌دهی آن شاخص‌ها می‌باشد، که در این پژوهش مورد بررسی قرار گرفته است. این الگو شامل مراحل شناسایی فناوری‌ها، تعیین معیارهای ارزیابی (مانند اثربخشی، کارایی، هزینه، قابلیت اعتماد، سازگاری، نوآوری و زمان‌بندی)، تحلیل و رتبه‌بندی، پیش‌بینی روندهای فناوری و تدوین برنامه‌های راهبردی است. هدف اصلی این الگو، بهینه‌سازی استفاده از فناوری‌های نوین برای تحقق اهداف کاربردی و تخصیص بهینه منابع می‌باشد. در این پژوهش در ابتدا عوامل کلیدی (شاخص) انتخاب فناوری‌های نوآورانه استخراج شده، ارزیابی معیارها به وسیله روش دیمتل انجام می‌شود، در نهایت معیارها وزن‌دهی و به واسطه چند روش مختلف معیارها (شاخص‌ها) رتبه‌بندی صورت می‌گیرد. در اغلب این روش‌ها، گزینه‌های هوش مصنوعی و کلان داده رتبه‌های برتر را به خود اختصاص داده‌اند.

واژگان کلیدی: رتبه‌بندی، صنایع پژوهش‌محور، برنامه راهبردی، فناوری نوین، تحلیل سلسله مراتبی.

مقدمه

در عصر کنونی، پیشرفت‌های سریع در حوزه فناوری، نقش کلیدی در تقویت توان دفاعی کشورها ایفا می‌کند. برای مقابله با این چالش، الگوی رتبه‌بندی و پیش‌بینی فناوری‌های نوین و مؤثر دفاعی به‌منظور اجرای برنامه‌های راهبردی توسعه یافته است. در این مقدمه، به اهمیت و ضرورت استفاده از الگوهای رتبه‌بندی و پیش‌بینی در حوزه دفاعی پرداخته می‌شود و مراحل و معیارهای اصلی این الگوها به اختصار معرفی می‌گردند. هدف اصلی، ارائه چارچوبی برای بهبود فرآیند تصمیم‌گیری و افزایش کارایی و اثربخشی در استفاده از فناوری‌های نوین دفاعی است. نوآوری^۱؛ به‌عنوان موتور محرک اقتصاد مبتنی بر دانش و فناوری، شرط بقاء در بازارهای جهانی و لازمه تعامل مقتدرانه با سایر کشورهاست (دانش‌کهن، ۱۳۹۴). این مهم برای نیروهای نظامی بیش‌از سایر عرصه‌ها دارای اهمیت و ارزش است (Zinni, ۲۰۲۰). امروزه در مباحث دفاعی جهان، فناوری^۲ نقش کلیدی و ویژه یافته و بدین لحاظ دستیابی به فناوری‌های برتر و تسهیلات پیشرفته از طریق نوآوری اهمیت خاصی پیدا کرده است. کشور آمریکا در چشم‌انداز مشترک ۲۰۱۰ نیروهای نظامی خود، نوآوری فناورانه را در کنار برتری اطلاعاتی به‌عنوان مولفه‌های اساسی در برتری نظامی معرفی کرده است (مکنزی، ۱۳۸۵). ضرورت ارتقای نوآوری فناورانه در وزارت دفاع جمهوری اسلامی ایران به‌عنوان یکی از محورهای برنامه‌های وزارت دفاع صراحتاً مطرح و هدف دوم، توسعه نوآوری پژوهش و تولید علم و فناوری برای مقابله و غلبه بر تهدیدات عنوان شده است (دهقانی، ۱۳۹۲). در مراکز تحقیق و توسعه دفاعی باتوجه به محدودیت منابع، امکان انجام همه پروژه‌های توسعه محصول جدید دفاعی وجود ندارد، لذا اولویت‌بندی^۳ این پروژه‌ها ضروری است. سیستم نوآوری فناورانه مفهومی توسعه‌یافته در داخل رشته علمی مطالعات نوآوری است که در خدمت توضیح ماهیت و سرعت تغییرات فناورانه قرار دارد (Smits, ۲۰۱۲). از مهم‌ترین نیازهای صنعت دفاعی، تصمیم در رابطه با چگونگی نوآوری در بخش‌های دفاعی به‌دلیل گستردگی مأموریت‌ها در بخش‌های مختلف عملیاتی و رزمی، فرماندهی و کنترل، فناوری، ساخت و نگهداری تجهیزات و ادوات نظامی و حتی پشتیبانی و خدمات اداری و مالی یک موضوع کلیدی محسوب می‌شود (براون، ۱۳۸۷). پیش‌بینی فناوری به تولید اطلاعات درباره نتایج محتمل دانش و فناوری، با هدف بهبود سیاست‌ها و راهبردها می‌پردازد و شکلی از پژوهش درباره سیاست‌گذاری است که ارزشیابی جامعی از یک فناوری را برای تصمیم‌گیرنده فراهم می‌سازد (نوازشریف، ۱۳۹۱). اهمیت شاخص فناوری و نوآوری از مدت‌ها قبل به‌عنوان پیش‌ران‌های مهم توسعه اقتصادی شناخته شده است. از آنجایی که نوآوری بر مبنای کاربرد دانش جهت ارائه رویکردهای جدید است، در نتیجه بهره‌مندی از دانش فعلی، کسب و ادغام با دانش‌های جدید بسیار لازم و ضروری است (Andrews, ۲۰۱۱). برای سازمان‌های دفاعی با مأموریت تامین فناوری، تسهیلات و ابزارهای لازم جهت مقابله با تهدید کشورها، نه فقط پیشرفت‌های سریع فناوری، صنعت و اقتصاد بلکه ارائه راهکارهای مناسب و اثربخش در برابر تغییرات و چالش‌های امنیتی و نظامی موضوعی بسیار حائز اهمیت است (Andrews, ۲۰۱۱). در چنین شرایطی نیاز به نوآوری فناورانه جهت توسعه هوشمندی راهبردی بسیار شدیدتر و قابل لمس‌تر است (Arcos, ۲۰۱۶). امروزه در اختیار داشتن فناوری‌های نوین، یکی از مهم‌ترین عناصر دستیابی به برتری دفاعی است. پیشرفت‌های سریع و هم‌گرایی در زمینه‌هایی مانند رباتیک، فناوری اطلاعات و هوش مصنوعی هم‌چنان تأثیرات انقلابی خود را در میدان نبرد آینده خواهد داشت (Billing, ۲۰۲۱). استقرار سیستم مناسب نوآوری جهت تسهیل در دستیابی به غافلگیری‌های تکنولوژیک و در نتیجه دستیابی به موقعیت برنده در میدان نبرد هموار می‌نماید. چرا که آن‌ها به مثابه یک فناوری انقلابی، کلید به‌روزرسانی فناوری محصول و افزایش رقابت در بازار هستند (Dong, ۲۰۲۲). باتوجه به اینکه در کشور ما، صنایع دفاعی ابزار اصلی تحقق اهداف استراتژیک هستند و باید در خط مقدم نوآوری فناورانه باشند، بنگاه‌های توسعه فناوری دفاعی متعددی با هدف ارتقا توان دفاعی کشور به فعالیت مشغول هستند. با این حال هنوز اختلاف قابل‌توجهی میان سطح فناوری به‌کار گرفته شده در کشور با کشورهای تراز اول جهان، علی‌الخصوص در برخی حوزه‌های موتورهای پیش‌ران، مواد پیشرفته، سیستم‌های پیشرفته الکترونیک و... وجود دارد (Ghazinoory, ۲۰۲۰).

روش تحقیق

^۱ Innovation

^۲ Technology

^۳ prioritize

عوامل کلیدی تعیین‌کننده توان فناوری دفاعی که مبنایی جهت پیش‌بینی و بکارگیری فناوری‌های دفاعی نیز می‌باشند، برگرفته‌شده از پیشران‌های^۴ مؤثر بر آینده فناوری‌های دفاعی، در تحقیق و تحلیل انجام شده از سوی مرکز آینده‌پژوهی و فناوری دفاعی صنایع دفاع (تحت‌عنوان روندهای راهبردی مؤثر بر دفاع و صنایع دفاعی) می‌باشند که از طریق بررسی و بهره‌برداری از سایر الگوهای مطالعاتی موجود در زمینه پیش‌بینی فناوری، تکمیل گردیده و در نهایت از طریق نظرسنجی از خبرگان و برنامه‌ریزان باتجربه صنایع دفاعی تأیید گردیده‌اند. به‌منظور حصول اطمینان از اتفاق نظر میان متخصصان، پیرامون تعیین عوامل کلیدی و ارجحیت آن‌ها نسبت به یکدیگر، از ضریب همابستگی کندال استفاده خواهد شد. ضریب همابستگی کندال^۵ یکی از مقیاس‌هایی است که برای تعیین درجه همابستگی و موافقت میان چند دسته رتبه مربوط به N شی یا فرد به کار می‌رود. درحقیقت با کاربرد این مقیاس می‌توان همبستگی^۶ رتبه‌ای میان K مجموعه رتبه را یافت (احمدی، ۱۳۹۷). در این پژوهش، پس از یک دوره مطالعه تطبیقی جامع در حوزه انتخاب شاخص‌ها (عوامل کلیدی) فناوری‌های نوآورانه در حوزه دفاعی، معیارها^۷ تعیین خواهند شد. پس از مشخص شدن معیارها، تاثیرگذاری/تاثیرپذیری آن‌ها نسبت به یکدیگر توسط روش دیمتل^۸ بررسی می‌شود (هدف تکنیک دیمتل شناسایی الگوی روابط علی میان یک دسته معیار است). این تکنیک شدت ارتباطات را به‌صورت امتیازدهی^۹ مورد بررسی قرار داده، بازخوردها توأم با اهمیت آن‌ها را تجسس نموده و روابط انتقال-ناپذیر را می‌پذیرد. بعد از آن که ارتباط دقیقی میان معیارها (عوامل کلیدی)^{۱۰} مشخص شد، برای مشخص شدن وزن معیارها از تعدادی خبره و متخصص در این حوزه کمک گرفته و ماتریس نظرات خبرگان را ایجاد خواهیم کرد. با استفاده از ضریب کندال نظرات متخصصان را پالایش و ارزیابی می‌کنیم. در این مرحله با استفاده از روش‌های تحلیل سلسله‌مراتبی^{۱۱} (روشی توانمند و منعطف در دسته روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره است که به‌وسیله آن می‌توان مسائل پیچیده را در سطوح مختلف حل کرد. به این دلیل به آن مدل سلسله مراتب گفته می‌شود چون که به‌صورت مدلی درختی و مراتب وارد می‌باشد. روش تحلیل سلسله‌مراتبی هر دو ارزیابی عینی و ذهنی را در یک ساختار یکپارچه بر مبنای مقیاس‌هایی با زوج مقایسه ترکیب نموده و به تحلیل گران کمک می‌کند تا جوانب اساسی یک مساله را در یک قالب سلسله مراتبی سازماندهی کنند. از جمله مزایای این روش می‌توان به این موارد اشاره نمود: سنجش سازگاری قضاوت‌های تصمیم‌گیرندگان، ایجاد مقایسات زوجی^{۱۲} در انتخاب راهکار و گزینه بهینه، توان در نظر گرفتن معیارها و زیر معیارها در ارزیابی گزینه‌ها، ایجاد قابلیت دستیابی به بهترین گزینه از طریق مقایسات زوجی)، ویکور^{۱۳} (روش ویکور از طریق ارزیابی گزینه‌ها براساس معیارها، گزینه‌ها را اولویت‌بندی یا رتبه‌بندی می‌کند. در تکنیک ویکور معیارها وزن‌دهی نمی‌شوند، بلکه معیارها از طریق روش‌های دیگر ارزیابی می‌شود و سپس گزینه‌ها بر اساس معیارها و با ترکیب در ارزش معیارها، ارزیابی شده و رتبه‌بندی می‌شوند. در این مدل همواره چند گزینه مختلف وجود دارد که این گزینه‌ها بر اساس چند معیار به‌صورت مستقل ارزیابی می‌شوند و در نهایت گزینه‌ها براساس ارزش، رتبه‌بندی می‌گردند)، آراس^{۱۴} (این روش برای انجام نیازمند وزن معیارها است پس باید ابتدا توسط روش‌هایی نظیر آنتروپی شانون و یا روش تحلیل سلسله‌مراتبی وزن معیارها را محاسبه کرد سپس توسط این روش گزینه‌ها را رتبه‌بندی نمود. روش آراس مبتنی بر این استدلال است که با استفاده از مقایسه‌های ساده نسبی می‌توان پدیده‌های دنیای پیچیده را درک کرد. استدلال می‌شود که نسبت مجموع مقادیر نرمال و وزنی معیارها، که گزینه جایگزین مورد نظر را توصیف می‌کند، به مجموع مقادیر معیارهای نرمال و وزن‌دهی شده، که

^۴ Propulsion

^۵ Kendall coefficient

^۶ Correlation

^۷ Criterion

^۸ Dematel Method

^۹ Scoring

^{۱۰} Key factors

^{۱۱} AHP

^{۱۲} Pairwise comparisons

^{۱۳} VIKOR

^{۱۴} ARAS

گزینه جایگزین بهینه را توصیف می‌کند، درجه بهینه است، که با رسیدن به گزینه جایگزین مطابق روش آراس، یک مقدار تابع مطلوبیت برای تعیین کارایی نسبی پیچیده یک جایگزین مناسب، مستقیماً با تأثیر نسبی مقادیر و وزن معیارهای اصلی در نظر گرفته شده در یک پروژه متناسب است. روش آراس اجازه می‌دهد تا سطح عملکرد جایگزین را تعیین کنید و نسبت هر یک از گزینه‌های جایگزین، ایده-آل^{۱۵} را نشان می‌دهد. و یک مدل هندسی (روش پیشنهادی برای این رتبه‌بندی از منطقی هندسی و ساده استفاده می‌کند. به‌طوری‌که گزینه‌ها را بر روی n محور به صورت دوعدی ترسیم می‌کند) به رتبه‌بندی و اولویت انتخاب حوزه‌های فناوریانه می‌پردازیم. پس از اولویت-بندی گزینه‌های فناوریانه به‌وسیله روش‌های گفته‌شده، به ادغام نتایج با استفاده از خروجی هر کدام از الگوها به کمک روش کوپلند^{۱۶} می‌رسیم. در آخر یک مدل پیش‌بینی با استفاده از روش سلسله مراتبی را با توجه به احتمال چند حالت مختلف در آینده و نظرات خبرگان و متخصصان این حوزه ارائه می‌دهیم. بعد از اتمام این فرآیند، وضعیت موجود را بررسی کرده و یک برنامه‌ریزی دقیق برای رسیدن از حالت موجود به وضعیت مطلوب صورت خواهد گرفت.

نوآوری‌های (گزینه‌ها) برتر فناوری نظامی

برای این پژوهش درباره گزینه‌های برتر، نمونه‌ای از ۱۰۳۶ استارت‌آپ جهانی را تحلیل کردیم. نتیجه این تحقیق، هوش نوآوری مبتنی بر داده است که با ارائه یک نمای کلی از فن‌آوری‌ها و استارت‌آپ‌های نوظهور در صنعت فناوری پاک، تصمیم‌گیری استراتژیک را بهبود می‌بخشد. این بینش‌ها از طریق کار با پلتفرم^{۱۷} StartUs Insights مبتنی بر داده‌های بزرگ و هوش مصنوعی ما به دست می‌آیند، که بیش از ۲،۵۰۰،۰۰۰ استارت‌آپ را در سراسر جهان پوشش می‌دهد. این پلتفرم به سرعت یک نمای کلی جامع از فناوری‌های نوظهور در یک زمینه خاص ارائه می‌کند و همچنین استارت‌آپ‌ها و مقیاس‌آپ‌های مرتبط را در مراحل اولیه شناسایی می‌کند. در جدول زیر، یک نمای کلی از ۱۰ گرایش و نوآوری برتر فناوری نظامی که بر شرکت‌ها در سراسر جهان تأثیر می‌گذارد، مشاهده می‌کنید.

جدول ۱: ده روند و نوآوری برتر فناوری نظامی برای سال ۲۰۲۴

منبع	نوآوری برتر فناوری نظامی (گزینه‌ها)	ردیف
https://www.startus-insights.com/innovators-guide/top-10-military-technology-trends-2022	هوش مصنوعی	۱
	تجهیزات دفاعی پیشرفته	۲
	رباتیک و سیستم‌های خودکار	۳
	اینترنت اشیاء نظامی	۴
	جنگ سایبری	۵
	فناوری‌های فراگیر	۶
	تولید مواد افزودنی	۷
	کلان داده و تجزیه و تحلیل	۸
	تکنولوژی 5G	۹
	بلاک‌چین	۱۰

معیارهای رتبه‌بندی

^{۱۵} Ideal

^{۱۶} Copeland method

^{۱۷} platform

الگوی عوامل کلیدی پیشنهادی و احتمالات تدوین شده در بازه احتمالات مربوط به آینده هر عامل کلیدی، می‌توان به عنوان ابزاری در جهت تعیین میزان توان‌مندی فناوری‌های دفاعی موجود مورد استفاده قرار گیرد و همچنین ملاک و معیاری به منظور پیش‌بینی و به کارگیری فناوری‌های دفاعی ایجاد نماید.

جدول ۲: گزیده‌ای از عوامل کلیدی (معیارهای) تأثیرگذار بر پیش‌بینی فناوری دفاعی و احتمالات مربوط به آینده آن‌ها

ردیف	عامل کلیدی	منبع	وضعیت (احتمال)	ویژگی وضعیت هر عامل کلیدی
۱	پیشبرد اهداف دفاعی	(باقری، ۱۳۹۰)	بدبینانه	ممانعت از دستیابی به اهداف دفاعی
			روند عادی	عدم تأثیر بر روند دستیابی به اهداف دفاعی
			خوش‌بینانه	تسهیل روند دستیابی به اهداف دفاعی
			روند ایده‌آل	تسهیل فوق‌العاده بر روند دستیابی به اهداف دفاعی
۲	تناسب با توانمندی‌ها و منابع موجود	(Assan, 2017)	بدبینانه	عدم تناسب با توانمندی‌ها و منابع موجود
			روند عادی	تقریباً متناسب با توانمندی‌ها و منابع موجود
			خوش‌بینانه	متناسب با توانمندی‌ها و منابع موجود
			روند ایده‌آل	کاملاً متناسب با توانمندی‌ها و منابع موجود
۳	نوآوری در فناوری دفاعی	(خزایی، ۱۳۹۴) (Keenan, 2013)	بدبینانه	عدم ایجاد نوآوری در زمینه فناوری دفاعی
			روند عادی	تأخوردی نوآورانه
			خوش‌بینانه	ایجاد نوآوری در زمینه فناوری دفاعی
			روند ایده‌آل	کاملاً نوآورانه در زمینه فناوری دفاعی
۴	سازگار با سایر اجزاء سیستم دفاعی	(Decker, , 2004)	بدبینانه	عدم سازگاری با اجزاء سیستم دفاعی
			روند عادی	تأخوردی سازگار با اجزاء سیستم دفاعی
			خوش‌بینانه	سازگار با اجزاء سیستم دفاعی
			روند ایده‌آل	کاملاً سازگار با اجزاء سیستم دفاعی
۵	رویکرد دانش‌محور	(نیلی، ۱۳۹۳)	بدبینانه	عدم وجود رویکرد دانش‌محور در فناوری دفاعی
			روند عادی	وجود رویکرد نسبتاً دانش‌محور در فناوری دفاعی
			خوش‌بینانه	وجود رویکرد دانش‌محور در فناوری دفاعی
			روند ایده‌آل	وجود رویکرد کاملاً دانش‌محور در فناوری دفاعی
۶	تناسب با موقعیت‌های محیطی سیستم دفاعی	(مرکز آینده پژوهی و فناوری دفاعی، ۱۳۸۷)	بدبینانه	عدم تناسب با شرایط پیرامونی سیستم دفاعی
			روند عادی	تا حدودی متناسب با محیط سیستم دفاعی
			خوش‌بینانه	متناسب با شرایط محیطی سیستم دفاعی
			روند ایده‌آل	کاملاً متناسب با محیط پیرامونی سیستم دفاعی
۷	تناسب با شرایط بحرانی احتمالی	(بهرامی م.، ۱۳۸۷)	بدبینانه	عدم تناسب با شرایط بحرانی و درگیری‌های احتمالی
			روند عادی	تا حدودی متناسب با شرایط بحرانی و درگیری‌های احتمالی
			خوش‌بینانه	متناسب با شرایط بحرانی و درگیری‌های احتمالی
			روند ایده‌آل	کاملاً متناسب با شرایط بحرانی و درگیری‌های احتمالی
۸	انعطاف‌پذیری و سرعت در شرایط چالش برانگیز	(Vittorio, 2001)	بدبینانه	عدم وجود انعطاف‌پذیری در شرایط بحرانی
			روند عادی	تا حدودی انعطاف‌پذیر در شرایط بحرانی
			خوش‌بینانه	انعطاف‌پذیر و سریع در شرایط بحرانی
			روند ایده‌آل	انعطاف‌پذیر فوق‌العاده در شرایط بحرانی
۹	ایجاد برتری اطلاعاتی	(مرکز آینده پژوهی و فناوری دفاعی، ۱۳۸۷)	بدبینانه	عدم ایجاد برتری اطلاعاتی در زمینه امور دفاعی
			روند عادی	ایجاد برتری نسبی اطلاعاتی در زمینه امور دفاعی
			خوش‌بینانه	ایجاد برتری اطلاعاتی در زمینه امور دفاعی

ایجاد برتری کامل اطلاعاتی در زمینه امور دفاعی	روند ایده‌آل			
عدم‌تأثیر بر روند تحقیق و توسعه صنایع دفاعی	بدبینانه			
تا حدودی موثر بر روند تحقیق و توسعه صنایع دفاعی	روند عادی	(خزایی، دیده بان مبانی و مفاهیم، ۱۳۹۴)	تأثیر بر روند تحقیق و توسعه در صنایع دفاعی	۱۰
موثر بر روند تحقیق و توسعه صنایع دفاعی	خوش‌بینانه			
تأثیر بالا بر روند تحقیق و توسعه صنایع دفاعی	روند ایده‌آل			

تکنیک دیمتل

تکنیک دیمتل توسط فونتلا و گابوس به سال ۱۹۷۳ در موسسه یادبود باتل پایه‌گذاری شد. تکنیک دیمتل تکنیکی جهت شناسایی الگوی روابط علی میان مجموعه‌ای از متغیرها استفاده می‌شود. از این دیدگاه تکنیک دیمتل جانشین مناسبی برای مدل‌های معادلات ساختاری زمانی که حجم نمونه اندک است، می‌باشد. اساساً سنجش روابط بین متغیرها در برخی موارد نیاز به دیدگاه خبرگان و کارشناسان منتخبی است که تعداد آن‌ها اندک است و در این حالت تکنیک دیمتل به بهترین وجه می‌تواند روابط میان متغیرها را منعکس سازد.

الگوریتم تکنیک دیمتل

الگوریتم اجرای تکنیک دیمتل در پنج مرحله پیاده‌سازی می‌شود:

گام نخست: تشکیل ماتریس ارتباط مستقیم (M)

برای شناسایی الگوی روابط میان n معیار ابتدا یک ماتریس $n \times n$ تشکیل می‌شود. تأثیر عنصر مندرج در هر سطر بر عناصر مندرج در ستون در این ماتریس درج می‌شود. از یک طیف با امتیاز ۰ تا ۴ برای امتیازدهی استفاده می‌شود. به‌طوریکه اگر هیچ تأثیری وجود نداشته باشد عدد صفر و اگر تأثیر بسیار زیاد باشد عدد ۴ استفاده می‌شود. هم‌چنین برخلاف تکنیک‌های AHP و ANP در اینجا شرط معکوسی برقرار نیست. یعنی اگر تأثیر عنصر A بر B برابر ۳ باشد تأثیر عنصر B بر A لزوماً $\frac{1}{3}$ نخواهد بود و ممکن است هر عددی بین صفر تا ۴ باشد. درایه‌های قطر اصلی یعنی تأثیر هر عنصر بر خودش نیز صفر در نظر گرفته می‌شود.

جدول ۳: طیف مورد استفاده در تکنیک دیمتل

بدون تأثیر	تأثیر خیلی کم	تأثیر کم	تأثیر زیاد	تأثیر خیلی زیاد
۰	۱	۲	۳	۴

اگر از دیدگاه بیش از یک نفر استفاده شود، هریک از خبرگان باید ماتریس موجود را تکمیل کنند. سپس از میانگین ساده نظرات استفاده می‌شود و ماتریس ارتباط مستقیم X را تشکیل می‌دهیم.

$$X = \begin{bmatrix} 0 & \dots & x_{n1} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{1n} & \dots & 0 \end{bmatrix}$$

گام دو: نرمال کردن ماتریس ارتباط مستقیم

برای نرمال‌سازی ابتدا جمع تمامی سطرها و ستون‌های ماتریس ارتباط مستقیم محاسبه می‌شود. بزرگترین عدد مجموع سطرها و ستون‌ها با k نمایش داده خواهد شد. برای نرمال‌سازی باید تک‌تک درایه‌های ماتریس ارتباط مستقیم بر k تقسیم شود.

$$k = \max \left\{ \max \left(\sum_{j=1}^n x_{ij}, \sum_{i=1}^n x_{ij} \right) \right\} \quad (1)$$

$$N = \frac{1}{k} * X$$

گام سه: محاسبه ماتریس ارتباط کامل

برای محاسبه ماتریس ارتباط کامل ابتدا یک ماتریس همانی $n \times n$ تشکیل می‌دهیم. سپس این ماتریس همانی را منهای ماتریس نرمال کرده و ماتریس حاصل را معکوس می‌کنیم. ماتریس نرمال در ماتریس حاصل ضرب می‌شود تا ماتریس ارتباط کامل به دست آید.

$$T = N \times (I - N)^{-1} \quad (2)$$

ماتریس همانی یا یک ماتریسی است که تمامی درایه‌های آن غیر از قطر اصلی صفر است.

گام چهار: محاسبه ماتریس ارتباط داخلی

برای محاسبه ماتریس روابط داخلی باید ارزش آستانه محاسبه شود. با این روش می‌توان از روابط جزئی صرف‌نظر کرده و شبکه روابط قابل‌اعتنا یا همان نقشه شبکه روابط (NRM) را ترسیم کرد. تنها روابطی که مقادیر آن‌ها در ماتریس T از مقدار آستانه بزرگتر باشد در NRM نمایش داده خواهد شد. برای محاسبه مقدار آستانه روابط کافی است تا میانگین مقادیر ماتریس T محاسبه شود. بعد از آن که شدت آستانه تعیین شد، تمامی مقادیر ماتریس T که کوچک‌تر از آستانه باشد صفر شده یعنی آن رابطه علی در نظر گرفته نمی‌شود.

گام پنج: ایجاد نمودار علی

در نمودار علی چهار جنبه با اهمیت قابل مشاهده است:

- میزان تاثیر گذاری متغیرها: جمع عناصر هر سطر (D) برای هر عامل نشانگر میزان تاثیرگذاری آن عامل بر سایر عامل‌های سیستم است.
- میزان تاثیرپذیری متغیرها: جمع عناصر ستون (R) برای هر عامل نشانگر میزان تاثیرپذیری آن عامل از سایر عامل‌های سیستم است.
- بنابراین بردار افقی ($D + R$) میزان تاثیر و تاثیر عامل مورد نظر در سیستم است. به عبارت دیگر هرچه مقدار $D + R$ عاملی بیشتر باشد، آن عامل تعامل بیشتری با سایر عوامل سیستم دارد.
- بردار عمودی ($D - R$) قدرت تاثیرگذاری هر عامل را نشان می‌دهد. به‌طور کلی اگر $D - R$ مثبت باشد، متغیر یک متغیر علی محسوب می‌شود و اگر منفی باشد، معلول محسوب می‌شود.
- در نهایت یک دستگاه مختصات دکارتی ترسیم می‌شود. در این دستگاه محور طولی مقادیر $D + R$ و محور عرضی براساس $D - R$ می‌باشد. موقعیت هر عامل با نقطه‌ای به مختصات ($D + R, D - R$) در دستگاه معین می‌شود. به این ترتیب یک نمودار گرافیکی نیز به دست خواهد آمد.

ضریب کندال

ضریب هماهنگی کندال یک آزمون ناپارامتریک است و برای تعیین میزان هماهنگی میان نظرات استفاده می‌شود. این ضریب با نماد W نشان داده می‌شود و مقداری بین ۰ و ۱ است. اگر ضریب کندال صفر باشد، یعنی عدم توافق کامل و اگر یک باشد، یعنی توافق کامل وجود دارد. ویژگی‌های ضریب کندال یکی از مهم‌ترین کاربردهای این آزمون را در مدیریت فراهم کرده است. مقدار W برای تعیین درجه

هماهنگی و موافقت بین چندین دسته رتبه مربوط به n پدیده است. این مقیاس همبستگی رتبه‌ای میان m مجموعه رتبه را نشان می‌دهد. هم‌چنین نشان می‌دهد افرادی که چند مقوله را براساس اهمیت آن‌ها مرتب کرده‌اند، بطور اساسی معیارهای مشابهی را برای قضاوت درباره اهمیت هریک از مقوله‌ها بکار برده‌اند و از این نظر با یکدیگر اتفاق نظر دارند. برای تعیین میزان وحدت‌نظر می‌توان از ضریب هماهنگی کندال استفاده کرد. هم‌چنین این ضریب برای تعیین روائی دیدگاه داوران قابل استفاده است. اگر میزان w از ۰.۵ کمتر باشد توافق وجود ندارد. اگر بین ۰.۵ تا ۰.۷ باشد متوسط است و اگر بین ۰.۷ تا ۰.۹ باشد مطلوب است. میزان w چنانچه بالای ۰.۹ باشد غیرطبیعی به‌نظر می‌رسد. از این آماره و آزمون کندال W می‌توان برای ارزیابی توافق یا سازگاری بین رأی دهندگان یا داورها استفاده کرد.

آماره آزمون کندال

فرض کنید آزمودنی i دارای رتبه برابر با $r_{i,j}$ است که اندیس j نشان‌گر شماره داور است. از طرفی می‌دانیم که n آزمودنی و m داور در مجموعه داده‌ها وجود دارد. مجموع همه رتبه‌ها برای آزمودنی i ام را R_i نامیده و به‌صورت زیر محاسبه می‌کنیم:

$$R_i = \sum_{j=1}^m r_{i,j} \quad (3)$$

میانگین رتبه‌ها برای همه مشاهدات نیز طبق فرمول زیر حاصل می‌شود:

$$\bar{R} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n R_i \quad (4)$$

به‌منظور رسیدن به آماره کندال W ، مجموع مربعات اختلاف رتبه‌ها نسبت به میانگین را محاسبه کرده و آن را مطابق با رابطه زیر، S می‌نامیم:

$$S = \sum_{i=1}^n (R_i - \bar{R})^2 \quad (5)$$

به این ترتیب آماره آزمون کندال W به‌صورت زیر تعریف و محاسبه خواهد شد:

$$W = \frac{12S}{m^2(n^2 - n)} \quad (6)$$

تکنیک AHP

روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) توسط ساعتی در سال ۱۹۸۰ ایجاد گردید. این تکنیک، روشی توانمند و منعطف در دسته روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره است که بوسیله آن می‌توان مسائل پیچیده را در سطوح مختلف حل کرد. به این دلیل به آن مدل سلسله مراتب گفته می‌شود چون که به‌صورت مدلی درختی و مراتب وارد می‌باشد. روش AHP هر دو ارزیابی عینی و ذهنی را در یک ساختار یکپارچه بر مبنای مقیاس‌هایی با زوج مقایسه ترکیب نموده و به تحلیل‌گران کمک می‌کند تا جوانب اساسی یک مساله را در یک قالب سلسله مراتبی سازماندهی کنند. ارزیابی اهمیت نسبی معیارهای تصمیم‌گیری و مقایسه گزینه‌های تصمیم‌گیری با توجه به هر معیار با مقایسات زوجی انجام می‌شود که شامل سه کار زیر است:

□ ایجاد یک ماتریس مقایسه در هر سطح از سلسله مراتب، با شروع از سطح دوم و پایین آمدن.

□ محاسبه وزن‌های نسبی برای هر عنصر سلسله مراتب.

□ تخمین نرخ سازگاری برای بررسی سازگاری دآوری.

اصول روش AHP

این تکنیک که در زمره روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره می‌باشد. دارای ۴ اصل اساسی است که همواره باید رعایت شود:

- ۱- اصل معکوس بودن: اگر معیار C_1 بر معیار C_2 ارجحیت n داشته باشید معیار C_2 بر C_1 ارجحیت $1/n$ دارد. این اصل در تشکیل مقایسات زوجی همواره رعایت می‌گردد (این اصل در ماتریس‌های مقایسه زوجی در درایه‌های بالا و پایین قطر اصلی مشهود است).
- ۲- اصل همگنی: گزینه‌ها و معیارها باید همواره مقایسه‌پذیر باشند یعنی نمی‌توان دو گزینه را وارد مدل تصمیم‌گیری کرد که یکی نسبت به دیگری بی‌نهایت مهم باشد.
- ۳- اصل وابستگی: در مدل‌های سلسله مراتبی هر سطح به سطح بالاتر خود وابسته است.
- ۴- اصل انتظارات: هرگاه تغییری در مدل سلسله مراتبی ایجاد شد، به‌عنوان مثال یک معیار اضافه شد باید کل مراحل سلسله مراتبی دوباره صورت بگیرد.

مراحل روش تحلیل سلسله مراتبی

- ۱- **ساختن نمودار سلسله مراتبی:** در این گام ابتدا باید عوامل پژوهش را از منابع مختلف استخراج نمود و یا از افراد خبره سوال کرد. بعد از استخراج عوامل و گزینه‌ها، مساله را به سطوح معیار و در صورت وجود زیرمعیار و گزینه تقسیم کرد. وجود معیار در مدل AHP ضروری است یعنی مدل سلسله مراتبی بدون وجود معیار ایجاد نخواهد شد.
- ۲- **تشکیل ماتریس مقایسات زوجی:** در این مرحله عناصر هر سطح نسبت به سایر عناصر مربوط خود در سطح بالاتر به صورت زوجی مقایسه شده و ماتریس‌های مقایسات زوجی تشکیل می‌شوند. جهت تعیین اهمیت و ترجیح در مقایسات زوجی از طیف ۱ تا ۹ ساعتی که به صورت زیر است استفاده می‌کنیم.

جدول 4: ترجیحات برای مقایسات زوجی

مقدار عددی	ترجیحات
۹	کاملاً ارجح یا کاملاً مهم‌تر یا کاملاً مطلوب‌تر
۷	ترجیح یا اهمیت یا مطلوبیت خیلی قوی
۵	ترجیح یا اهمیت یا مطلوبیت قوی
۳	کمی ارجح‌تر یا کمی مهم‌تر یا کمی مطلوب‌تر
۱	ترجیح یا اهمیت یا مطلوبیت یکسان
۲ و ۴ و ۶ و ۸	ترجیحات بین فواصل فوق

- ۳- **محاسبه نرخ ناسازگاری:** نرخ ناسازگاری نشان‌دهنده این است که مقایسات از ثبات و پایداری برخوردار هستند یا خیر. در نرم-افزارهای مختص روش AHP این نرخ به صورت خودکار توسط نرم‌افزار محاسبه می‌شود، چنانچه این نرخ از ۰.۱ کمتر باشد نشان از

سازگاری ماتریس است و اگر از ۰.۱ بیشتر باشد باید در مقایسات زوجی تجدیدنظر نمود. در مواقعی که در یک مساله تصمیم‌گیری تعداد عوامل زیاد باشد، در بیشتر مواقع نرخ ناسازگاری بسیار زیاد می‌شود و رفع کردن آن نیازمند تغییرات زیاد در ماتریس مقایسه زوجی است پیشنهاد می‌شود که در چنین مواقعی از روش AHP بهبودیافته استفاده شود.

تکنیک Vikor

برای تعیین بهترین گزینه، از تکنیک ویکور استفاده شده است. تکنیک VIKOR بوسیله اپریکویک در سال ۱۹۸۴ پیشنهاد شد. در تکنیک تاپسیس گزینه انتخابی باید کمترین فاصله از جواب ایده‌آل و دورترین فاصله از جواب ضد ایده‌آل را داشته باشد. روش تاپسیس دو نقطه مرجع (ایده‌آل و ضد ایده‌آل) را معرفی می‌کند ولی اهمیت نسبی فواصل از این دو نقطه را در نظر نمی‌گیرد. ویکور این نقطه ضعف را جبران می‌کند.

گام اول: تشکیل ماتریس تصمیم

نخست ماتریس امتیازدهی گزینه‌ها براساس معیارها (ماتریس تصمیم) تشکیل می‌شود. ماتریس تصمیم را با X و هر درایه آن را با X_{ij} نشان می‌دهند.

$$X = \begin{bmatrix} X_{11} & \cdots & X_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ X_{m1} & \cdots & X_{mn} \end{bmatrix}$$

گام دوم: تهیه ماتریس بی‌مقایس شده

در گام دوم بی‌مقیاس‌سازی ماتریس تصمیم‌گیری با روش خطی صورت گرفته است. هر درایه ماتریس N را با n_{ij} نشان می‌دهند. هر n_{ij} با تقسیم درایه متناظر در ماتریس اولیه بر مجموع عناصر ستون متناظر و به‌صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$n_{ij} = \frac{X_{ij}}{\sum X_{ij}} \quad (9)$$

گام سوم: تعیین مقادیر سود و تأسف

بهترین (سود) و بدترین (تأسف) مقدار هر معیار در میان همه گزینه‌ها تعیین کرده و به ترتیب f_j^+ و f_j^- مینامیم. اگر معیار مثبت باشد حداکثر مقدار ستون و f_j^+ حداکثر مقدار ستون است. اگر معیار منفی باشد حداقل مقدار ستون و f_j^- حداقل مقدار ستون است.

گام چهارم: محاسبه سودمندی (S) و تأسف (R) گزینه‌ها

مقدار سودمندی بیانگر فاصله نسبی گزینه i ام از گزینه ایده‌آل مثبت (بهترین ترکیب) و مقدار تأسف بیانگر حداکثر تأسف گزینه i ام از دوری از راه‌حل ایده‌آل مثبت می‌باشد.



$$S_i = \sum_{j=1}^n W_j \frac{f_i^+ - f_{ij}}{f_i^+ - f_i^-} \quad (10)$$

$$R_i = \max \left[W_j * \frac{f_i^+ - f_{ij}}{f_i^+ - f_i^-} \right] \quad (11)$$

گام پنجم: محاسبه شاخص ویکور

برای محاسبه شاخص ویکور (Q) برای هر گزینه از رابطه زیر استفاده است:

$$Q_i = v \left[\frac{S_i - S^+}{S^- - S^+} \right] + (1 - v) \left[\frac{R_i - R^+}{R^- - R^+} \right] \quad (12)$$

$$S^- = \max S_i \quad S^+ = \min S_i$$

$$R^- = \max R_i \quad R^+ = \min R_i$$

گام ششم: مرتب کردن گزینه‌ها براساس مقادیر S, R, Q

در این گام، گزینه‌ها براساس مقادیر S, R, Q در سه گروه از کوچک به بزرگ مرتب می‌شوند. بهترین گزینه آن است که کوچکترین Q را داشته باشد؛ به شرط آنکه دو شرط زیر برقرار باشد:

شرط یک: اگر گزینه A_1 و A_2 در میان m گزینه رتبه اول و دوم را داشته باشند، باید رابطه زیر برقرار باشد:

$$Q(A_2) - Q(A_1) \geq \frac{1}{m-1} \quad (13)$$

شرط دو: گزینه A_1 باید حداقل در یکی از گروه‌های R و S به عنوان رتبه برتر شناخته شود.

□ اگر شرط نخست برقرار نباشد هر دو گزینه بهترین گزینه خواهند بود.

□ اگر شرط دوم برقرار نباشد گزینه A_1 و A_2 هر دو به عنوان گزینه برتر انتخاب می‌شوند.

تکنیک Aras

برای تعیین بهترین گزینه از تکنیک ARAS استفاده شده است. این روش یکی از بهترین روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره برای انتخاب بهترین گزینه است. بهترین گزینه آن است که بیشترین فاصله را از عوامل منفی و کمترین فاصله را از عوامل مثبت داشته باشد. در این مطالعه براساس تکنیک ARAS مشخص خواهد شد بهترین گزینه کدام است؟

آراس یک روش تصمیم‌گیری چندمعیاره است که بر اساس ترکیبی از ایده‌های منطق فازی و روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) توسعه یافته است. این روش برای مدل‌سازی و حل مسائل تصمیم‌گیری پیچیده با داده‌های ناقص و مبهم کاربرد دارد. در دفاع ملی، این روش می‌تواند در ارزیابی و انتخاب بهترین فناوری‌ها و تخصیص منابع بهترین کمک کننده باشد.

۱- تشکیل ماتریس تصمیم

در گام نخست ماتریس امتیازدهی شاخص‌ها براساس معیارها (ماتریس تصمیم) تشکیل می‌شود.

$$X = \begin{bmatrix} X_{11} & \cdots & X_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ X_{m1} & \cdots & X_{mn} \end{bmatrix}$$

۲- تهیه ماتریس بی‌مقیاس شده

در گام دوم بی‌مقیاس‌سازی ماتریس تصمیم‌گیری با روش خطی صورت گرفته است. ماتریس بی‌مقیاس شده را با N و هر درایه آن را با n_{ij} نشان می‌دهند. در تکنیک ARAS نرمال‌سازی بروش خطی صورت می‌گیرد.

$$n_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum x_{i,j}} \quad (14)$$

اگر شاخص‌ها از نوع منفی (زیان) باشند، ابتدا باید معکوس شوند و سپس به روش خطی نرمال شوند:

$$x_{ij} = \frac{1}{\bar{x}_{ij}} \quad (15)$$

۳- تهیه ماتریس بی‌مقیاس موزون

در گام سوم باید ماتریس بی‌مقیاس (N) به ماتریس بی‌مقیاس موزون (V) تبدیل شود. برای بدست آوردن ماتریس بی‌مقیاس موزون باید اوزان شاخص‌ها را داشته باشیم. وزن هر یک از شاخص‌ها با استفاده از تکنیک ANP قبلاً محاسبه شده است. اوزان محاسبه شده در ماتریس بی‌مقیاس شده ضرب می‌شود. ماتریس حاصل را ماتریس بی‌مقیاس شده موزون گویند و با V نشان داده می‌شود.

$$V = N * W_j \quad ; \quad V_{ij} = N_{ij} * W_j \quad (16)$$

$$V = \begin{bmatrix} V_{11} & \cdots & V_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ V_{m1} & \cdots & V_{mn} \end{bmatrix}$$

۴- شناسایی گزینه بهینه

در این گام میزان مطلوبیت هر گزینه بوسیله تابع مطلوبیت با رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$S_i = \sum_{j=1}^n V_{i,j} \quad (17)$$

مجموع مقادیر S_i برابر یک می‌شود. بهترین گزینه آن است که S_i بزرگتری دارد. همچنین درنهایت باید درجه مطلوبیت محاسبه شود. درجه مطلوبیت گزینه A_i براساس مقایسه S_i با یک مقدار بهینه محاسبه می‌شود. مقدار بهینه (S^*) براساس دیدگاه خبرگان، نرم

صنعت یا بهترین مقادیر ماتریس موزون شده قابل حصول است. درجه مطلوبیت گزینه A_i با K_i نشان داده شده و به صورت زیر قابل محاسبه است:

$$K_i = \frac{S_i}{S_j} \quad (18)$$

مقدار K_i بین ۰ و ۱ است و هرچه درجه مطلوبیت به یک نزدیکتر باشد، گزینه بهتر خواهد بود.

تکنیک هندسی

مسائل مورد بررسی، مسائلی هستند که هدف از حل آنها رتبه‌بندی گزینه‌ها و یا انتخاب یک گزینه از بین چندین گزینه به نحوی است که بر اساس معیارهای مشخص و وزن‌های معلوم بهترین تصمیم اتخاذ شود. غالباً در این مسائل تعداد معیارها، بیش از دو می‌باشد. ماتریسی را در نظر بگیرید که عنصر X_{ij} آن مقدار معین معیار j ام برای گزینه i ام باشد. در اصطلاح به این ماتریس، ماتریس اولیه تصمیم‌گیری گویند. برای از بین بردن اثر اندازه اعداد مربوط به معیارهای مختلف بر یکدیگر و هم‌چنین رفع مشکل عدم یکسانی مقیاس‌ها و واحدها، ماتریس اولیه را نرمالایز می‌کنند. در این روش برای نرمالایز نمودن از روش تبدیل خطی استفاده می‌شود. نتیجه حاصل از این روش ماتریسی خواهد بود که همه اعداد آن مثبت و کوچکتر از یک هستند. برای انجام این تبدیل ابتدا نوع معیارها از لحاظ جهت مطلوبیت ارزیابی و به دو دسته \max (معیارهایی که با افزایش عددی بر مطلوبیت، می‌افزایند) و \min (معیارهایی که با کاهش عددی بر مطلوبیت، می‌افزایند) تقسیم می‌شوند. برای مثال معیارهایی چون سود، بازده، خلوص و ... از نوع معیارهای \max می‌باشند و معیارهایی مانند هزینه، زمان خرابی، زمان آماده سازی و ... از نوع \min می‌باشند. در ستون‌های مربوط به معیار از نوع \max برای هر ستون بزرگترین عدد را مشخص نموده و کلیه عناصر آن ستون را بر این عدد تقسیم می‌کنند. به این ترتیب ستونی به دست می‌آید که حداقل شامل یک عدد ۱ و تعدادی عدد کوچکتر از یک خواهد بود. در ستون‌های نوع \min نیز کوچکترین عدد هر ستون را انتخاب و آن عدد را بر تک‌تک عناصر ستون مربوطه تقسیم می‌کنند. به این ترتیب ماتریس حاصل می‌شود که در اصطلاح به آن ماتریس نرمالایز شده تصمیم گویند. ماتریس سطری وزن که به صورت برداری می‌باشد ماتریس $n \times 1$ است که مجموع عناصر موجود در آن برابر یک است. عناصر این ماتریس وزن‌هایی هستند که هریک از معیارها به خود می‌گیرند و به نوعی مقایسه‌ای بین اهمیت مطلوب‌سازی در بین معیارها است. ماتریس S ماتریسی هم بعد با ماتریس تصمیم‌گیری نرمالایز شده است که عنصر S_{ij} آن از ضرب عنصر مشابه ماتریس نرمالایز شده، یعنی عنصر واقع در سطر i و ستون j در عنصر j ام بردار وزن حاصل می‌شود. گزینه‌ای که اعداد مربوط به آن در ماتریس نرمالایز شده تصمیم‌گیری همگی برابر یک باشند، بهترین گزینه انتخابی بوده و گزینه ایده‌آل نامیده می‌شود. زیرا دارایی بالاترین مقدار در معیارهای \max و کمترین مقدار در معیارهای \min است. این امر در واقعیت بسیار به ندرت رخ می‌دهد و در بسیاری از موارد یک گزینه خاص در همه معیارها بهترین نیست. همین ویژگی به خصوص زمانی که تعداد معیارها زیاد باشند، منجر به احساس نیاز به تولید روش‌هایی گردید که به صورت نسبی و رتبه‌بندی گزینه‌های مختلف را براساس معیارها و وزن‌های مربوطه ساماندهی کنند.

مراحل الگوریتم روش هندسی

با توجه به توضیحات قبل و روابط ارائه شده با در نظر گرفتن کلیه گراف‌ها، الگوریتم حل مسائل تصمیم‌گیری چندمعیاره به کمک روش جدید به شرح زیر ارائه می‌گردد:

- ۱- ماتریس تصمیم‌گیری اولیه را نوشته و معیارهای کیفی را به معیارهای کمی تبدیل کنید.
- ۲- ماتریس مذکور را به روش تبدیل خطی نرمالایز کنید.
- ۳- ماتریس S را با ضرب وزن مربوط به هر معیار در ستون اعداد مربوط به آن به دست آورید.

۴- ماتریس ضربی کلیه گزینه‌ها را به‌دست آورید. این ماتریس یک ماتریس $n * n$ است که تنها آرایه‌های بالای قطر اصلی دارای مقدار می‌باشند و این مقادیر از ضرب نظیر به نظیر اعداد هر گزینه به‌صورت زیر به‌دست می‌آید:

$$\begin{bmatrix} x_{i1} & x_{i2} & x_{i3} & \dots & x_{i(n-1)} & x_{in} \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} x_{i1} \\ x_{i2} \\ x_{i3} \\ \vdots \\ x_{i(n-1)} \\ x_{in} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -x_{i1}x_{i2} & x_{i1}x_{i3} & \dots & x_{i1}x_{i(n-1)} & x_{i1}x_{in} \\ - & - & & x_{i2}x_{i3} & \dots & x_{i2}x_{i(n-1)} & x_{i2}x_{in} \\ - & - & & - & \dots & x_{i3}x_{i(n-1)} & x_{i3}x_{in} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ - & - & - & - & - & x_{i(n-1)}x_{in} \\ - & - & - & - & - & - \end{bmatrix}$$

- ۵- آرایه‌های بالای قطر ماتریس ضربی هر گزینه را جمع و مقدار S_{pi} برای هر گزینه به‌دست می‌آید.
۶- اعداد به‌دست آمده برای S_{pi} ها را از بزرگ به کوچک مرتب کرده و گزینه مربوط به هر S_{pi} را مشخص کنید.
۷- گزینه را به ترتیب نزولی S_{pi} ها رتبه‌بندی کنید. گزینه دارای S_{pi} بیشتر، ارجح است.

۱- روش کوپلند

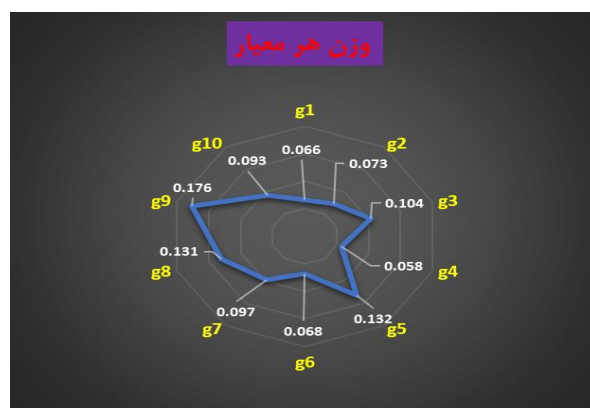
در یک مساله تصمیم‌گیری چندمعیاره، ممکن است از چند روش تصمیم‌گیری چندمعیاره (MCDM) استفاده شود، که نتایج این روش‌ها همیشه یکسان نیستند. در این حال سه روش میانگین‌گیری، بردا (Borda) و کوپلند (Copeland) مورد استفاده قرار می‌گیرد. در واقع در چنین مواقعی که نتایج روش‌های مختلف تصمیم‌گیری چندمعیاره یکسان نیست، سوالی که مطرح می‌شود این است که کدام گزینه باید انتخاب شود؟ در چنین مواقعی است که باید از روش‌های ادغام که در بالا نام برد استفاده شود. در این روش برای تصمیم‌گیری، ماتریس مقایسه زوجی بین گزینه‌ها ایجاد می‌شود. در صورتی که بر اساس روش‌های مختلف تصمیم‌گیری چندمعیاره، تعداد ارجحیت گزینه‌ای بر گزینه دیگر بیش از تعداد مغلوب شدن آن گزینه بر گزینه دیگری باشد، در ماتریس مقایسه زوجی عدد ۱ گذاشته می‌شود و در صورتی که رای اکثریت وجود نداشت و یا آراء با هم مساوی باشند، در ماتریس مقایسه زوجی عدد صفر گذاشته می‌شود. عدد ۱ به منزله آن است که سطر بر ستون ارجحیت دارد و عدد صفر به منزله آن است که ستون بر سطر ارجحیت دارد. پس از بررسی گزینه‌ها، ماتریس مقایسه زوجی شکل خواهد گرفت و مجموع عناصر هر سطر تعداد مسلط شدن هر گزینه را نشان می‌دهد و گزینه‌ها بر اساس تعداد مسلط شدن اولویت‌بندی می‌شوند. روش کپلند نه فقط تعداد بردها بلکه تعداد باخت‌ها را هم برای هر گزینه محاسبه می‌کند.

کند. امتیازی که کپلند به هر گزینه می‌دهد، با کم کردن تعداد باخت‌ها از تعداد بردها محاسبه می‌شود. این روش اصلاح‌شده روش بردا است با این تفاوت که در اولویت‌بندی علاوه بر تعداد مسلط شدن (مجموع عناصر هر سطر)، تعداد مغلوب شدن (مجموع عناصر هر ستون) نیز مورد استفاده قرار می‌گیرد. بدین‌منظور گزینه‌ها بر اساس تفاضل مقادیر تعداد مسلط شدن و تعداد مغلوب شدن اولویت‌بندی می‌شوند.

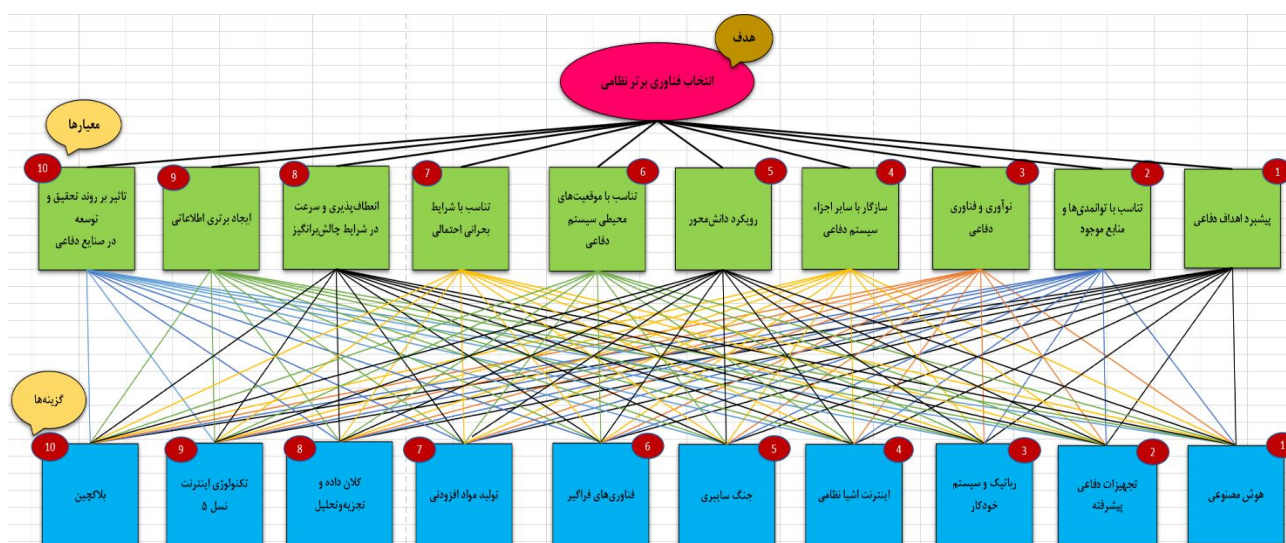
یافته‌ها

جدول ۵: محاسبه ضریب کندال برای گزینه‌ها

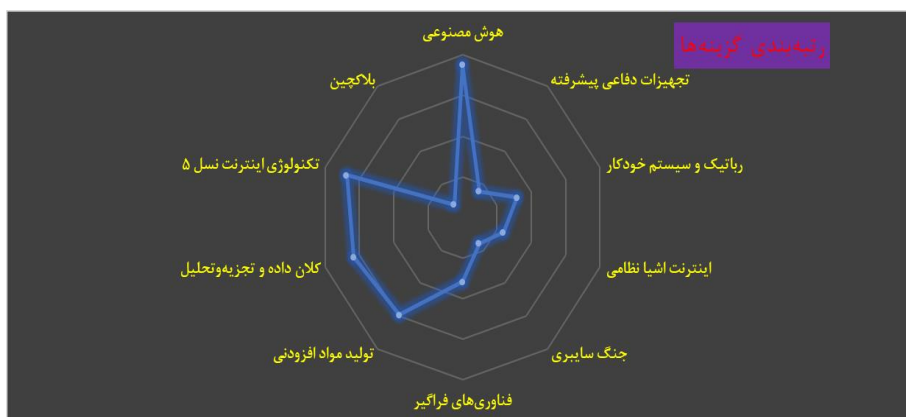
رتبه هر گزینه براساس نظر هر خبره					
	خبره ۱	خبره ۲	خبره ۳	خبره ۴	خبره ۵
i1	A1	هوش مصنوعی	۱	۳	۴
i2	A2	تجهیزات دفاعی پیشرفته	۲	۴	۵
i3	A3	رباتیک و سیستم خودکار	۴	۵	۱
i4	A4	اینترنت اشیا نظامی	۵	۲	۱
i5	A5	جنگ سایبری	۷	۱	۳
i6	A6	فناوری‌های فراگیر	۸	۸	۴
i7	A7	تولید مواد افزودنی	۳	۷	۵
i8	A8	کلان داده و تجزیه و تحلیل	۶	۱۰	۳
i9	A9	تکنولوژی اینترنت نسل ۵	۹	۹	۲
i10	A10	بلاکچین	۱۰	۶	۱۰



شکل ۱: وزن‌دهی به روش دیمتل



شکل ۲: گراف روش تحلیل سلسله‌مراتبی



شکل ۳: رتبه‌بندی به روش تحلیل سلسله‌مراتبی

جدول ۶: رتبه‌بندی به روش ویکور

1	کلان داده و تجزیه و تحلیل
2	جنگ سایبری
3	رباتیک و سیستم خودکار
4	فناوری‌های فراگیر
5	هوش مصنوعی
6	تکنولوژی اینترنت نسل ۵
7	بلاکچین
8	اینترنت اشیا نظامی
9	تجهیزات دفاعی پیشرفته
10	تولید مواد افزودنی



شکل ۴: رتبه‌بندی به روش هندسی

جدول ۷: جمع‌بندی رتبه‌بندی روش‌های مختلف به‌وسیله تکنیک میانگین‌گیری

رتبه میانگین	هندسی	VIKOR	AHP	روش میانگین‌گیری	
۸.۵	۱۰	۱۰	۴	تولید مواد افزودنی	A۷
۸.۲۵	۸	۷	۱۰	بلاکچین	A۱۰
۸	۶	۹	۸	تجهیزات دفاعی پیشرفته	A۲
۷.۷۵	۹	۸	۷	اینترنت اشیا نظامی	A۴
۵.۲۵	۷	۶	۲	تکنولوژی اینترنت نسل ۵	A۹
۵	۵	۴	۶	فناوری‌های فراگیر	A۶
۳.۷۵	۲	۲	۹	جنگ سایبری	A۵
۳.۵	۴	۵	۱	هوش مصنوعی	A۱
۳.۵	۳	۳	۵	رباتیک و سیستم خودکار	A۳
۱.۵	۱	۱	۳	کلان داده و تجزیه و تحلیل	A۸

جدول ۸: پیش‌بینی فناوری‌های نوین دفاعی

۲.۹۳۸	بلاکچین	A۱۰
۲.۶۸۳	فناوری‌های فراگیر	A۶
۲.۵۱۶	اینترنت اشیا نظامی	A۴
۲.۳۸۲	رباتیک و سیستم خودکار	A۳
۲.۲۷۵	هوش مصنوعی	A۱
۲.۲۳۸	کلان داده و تجزیه و تحلیل	A۸
۲.۲۲۶	تولید مواد افزودنی	A۷
۲.۱۵۸	جنگ سایبری	A۵
۲.۰۲۳	تجهیزات دفاعی پیشرفته	A۲
۱.۹۵۲	تکنولوژی اینترنت نسل ۵	A۹

در موضوع مطرح شده، ما به دنبال بررسی تأثیر مختلف معیارها بر فرآیند انتخاب و اولویت‌بندی فناوری‌های دفاعی در سازمان‌ها و نهادهای مربوطه هستیم. این معیارها شامل مواردی مانند انعطاف‌پذیری و سرعت عمل فناوری، تأثیر بر روند تحقیق و توسعه، ایجاد برتری اطلاعاتی، و تأمین امنیت ملی می‌شوند. با توجه به معیارهای گوناگونی که مطرح شده‌اند، تصمیم‌گیران باید به دقت هر یک از این معیارها را بررسی کرده و نیازها و اولویت‌های خود را مدنظر قرار دهند. به عنوان مثال، در مواجهه با یک تهدید فوری، انعطاف‌پذیری و سرعت عمل فناوری می‌تواند اولویت اصلی باشد تا به سرعت واکنش مناسبی به تهدیدات دشمنان داده شود. همچنین، تأثیر بر روند تحقیق و توسعه نیز بسیار حیاتی است. بهبود و پیشرفت مداوم فناوری‌های دفاعی از طریق تحقیقات و پروژه‌های منسجم و موثر می‌تواند قدرت و قابلیت مقابله با تهدیدات را افزایش دهد و به ایجاد مزیت رقابتی کمک کند. همچنین، ایجاد برتری اطلاعاتی و تأمین امنیت ملی نیز از جمله معیارهای مهم است. دسترسی به اطلاعات دقیق و بروز درباره تهدیدات و فرصت‌های موجود، امکان اتخاذ تصمیمات درست و موثرتر را فراهم می‌کند و به ارتقای امنیت ملی کمک می‌کند. در نهایت، تصمیم‌گیران باید با توجه به شرایط و نیازهای خود، بهترین ترکیبی از این معیارها را در انتخاب و اولویت‌بندی فناوری‌های دفاعی انتخاب کنند تا به بهترین پاسخ ممکن در مواجهه با چالش‌ها و تهدیدات دفاعی دست یابند.

منابع

□ احمدی، ف. (۱۳۹۷). کنیک دلفی ابزاری در تحقیق. مجله ایرانی آموزشی در علوم پزشکی، ۱۱۴-۱۳۵.

- استروالد، ب. (۱۳۹۱). طراحی مدا کسب و کار. : انتشارات آریانا.
- امور مطالعات و برنامه‌ریزی استراتژیک سایکو. (۱۳۹۰). برنامه‌ریزی جهت صنعت خودرو ایران از طریق تحلیل احتمالات با محوریت ایران خودرو و سایکو. ماهنامه صنعت خودرو، ۵۱-۷۹.
- باقری، ک. (۱۳۹۰). ضرورت پیش بینی تکنولوژی در تقویت امنیت ملی. همایش ایران در قرن ۲۱.
- براون، ا. (۱۳۸۷). ارزیابی و پیش بینی فناوری. انتشارات کرانه علم.
- برائن، ا. (۱۳۸۷). ارزیابی و پیش بینی فناوری. انتشارات کرانه علم.
- بهرامی، م. (۱۳۸۵). سیاستگذاری برای توسعه فناوری و اولویت‌بندی تحقیقات. فصلنامه رهیافت، ۶۲-۸۶.
- بهرامی، م. (۱۳۸۷). شناسایی و پیش بینی تکنولوژی‌های آینده. نشر حضرا.
- بهرامی، م. (۱۳۸۷). شناسایی و پیش‌بینی تکنولوژی‌های آینده. نشر حضرا.
- پایا، ع. (۱۳۹۴). آینده اندیشی، هسته‌ها و باید‌ها. انتشارات مؤسسه آموزشی و تحقیقاتی صنایع دفاع.
- حورعلی، م. (۱۳۹۳). شناسایی و اولویت‌بندی مورد نیاز برای بهبود فضای نوآوری بنگاه‌های دفاعی ایران با رویکرد بازمدیریت نوآوری. ۵۷-۸۶.
- حیدری، ا. (۱۳۸۹). برنامه‌ریزی بر مبنای تحلیل احتمالات، ابزار ارزیابی استراتژیکها. انتشارات مرکز پژوهش‌های راهبردی.
- خزایی، س. (۱۳۹۴). دیده بان مبانی و مفاهیم. انتشارات مرکز آینده پژوهی.
- خزایی، س. (۱۳۹۴). دیده‌بان مبانی و مفاهیم. انتشارات مرکز آینده پژوهی.
- خزایی، س. (۱۳۹۴). دیده‌بان مبانی و مفاهیم. تهران. انتشارات مرکز آینده پژوهی.
- دانش کهن، ح. (۱۳۹۴). بررسی و اولویت بندی عوامل کلیدی موفقیت نوآوری در صنعت پهباد ایران. مدیریت نوآوری، ۱۰۷-۱۳۰.
- دهقانی، ح. (۱۳۹۲). برنامه‌های پیشنهادی وزیر دفاع له مجلس شورای اسلامی. سایت خبرگزاری فارس.
- زارعی، ع. (۱۳۹۷). نوآوری فناورانه؛ عوامل درون سازمانی و برون سازمانی موثر و تاثیرپذیر. فصلنامه رشد فناوری، ۵۵.
- سری نیواسان، و. (۱۳۸۱). مدیریت نوآوری صنعتی، مفاهیم و تکالیف. موسسه آموزشی و تحقیقاتی صنایع دفاعی.
- سعیدی، پ. (۱۳۸۸). سرمایه‌گذاران ریسک‌پذیر و توسعه کارآفرینی. مجله صنعتی و اقتصادی.
- سلامی، س. (۱۳۸۶). عوامل درون سازمانی موثر بر اثربخشی فعالیتهای تحقیق و توسعه. ششمین همایش مراکز تحقیق و توسعه صنایع و معادن.
- صادقی، ز. (۱۳۹۰). ارتباط عملیات استراتژیک منابع انسانی و نوآوری سازمانی در یکی از مراکز نظامی. مجله طب نظامی، ۲.
- صمیمی، م. (۱۳۹۷). عوامل موثر بر نوآوری فناورانه در واحدهای صنعتی دفاعی. فصلنامه مدیریت نوآوری در سازمانهای دفاعی، ۱۱۸-۱۴۰.
- فارسی، ی. (۱۳۹۰). شناسایی عوامل ساختاریموثر بر توسعه کارآفرینی دانشگاهی. فصلنامه علمی پژوهشی سیاست علم و فناوری.
- فردآر، د. (۱۳۸۵). مدیریت استراتژیک. انتشارات دفتر پژوهشهای فرهنگی.
- متوسلی، م. (۱۳۹۲). شناسایی عوامل موثر بر فرآیند شکل‌گیری سیستم نوآوری فناورانه در کشور. الگوی مبتنی بر نظریه برخاسته از داده‌ها، ۹۲.
- محمدی، م. (۱۳۹۰). مروری بر نظام نوآوری دفاعی پنج کشور (چین، فرانسه، آلمان، انگلیس و اسپانیا). موسسه آموزش و تحقیقات دفاعی صنایع دفاعی.
- مرکز آینده پژوهی و فناوری دفاعی. (۱۳۸۷). روندهای راهبردی جهانی موثر بر دفاع و صنایع هوایی. انتشارات موسسه آموزشی و تحقیقاتی صنایع دفاعی.
- مکنزی، ک. (۱۳۸۵). چشم انداز مشترک ارتش آمریکا در افق ۲۰۲۰. موسسه آموزشی و تحقیقاتی صنایع دفاعی.
- منتظری، ع. (۱۳۹۳). ارائه مدلی برای بازشدن نظام نوآوری بخش دفاعی ایران. نشریه مدیریت نوآوری، ۲.
- منزوی، م. (۱۳۸۸). سناریونویسی و رویکردهای متفاوت آن. انتشارات موسسه آموزشی و تحقیقاتی صنایع دفاعی.
- نظری زاده، ف. (۱۳۹۲). نقش عوامل فردی در موفقیت نوآوری‌های صنعت دفاعی ایران. نشریه بهبود مدیریت.
- نوازشریف، م. (۱۳۹۱). مدیریت انتقال تکنولوژی و توسعه. انتشارات سازمان برنامه و بودجه.
- نیلی، م. (بدون تاریخ).

□ نیلی، م. (۱۳۹۳). استراتژی توسعه صنعتی کشور. جهت گیری های فناوری.

- Andrews, A. (2011). Department of Defense Facilities. Energy Conservation Policies and Spending.
- Andrews, A. (2011). Department of Defense Facilities. Energy Conservation Policies and Spending.
- Aranda, D. (2002). Determinants of innovation through a knowledge based theory lens, Industrial management, & Data systems. Emerald Group Publishing Limited.
- Arcos, R. (2016). Public relations strategic intelligence. Intelligence analysis communication and influence, 264-270.
- Assan, S. (2017). Technological Forecasting and Social Change. Representative Office.
- Bishopp, J. (1996). Vision-Driven Change in Higher Education. new york. National Visioning Project.
- Bonvillian, W. (2016). Power play. The DARPA model and U.S. Energy polict.
- Decker, S. (2004). Technology Assessment, Methods and Impacts. Action Research.
- Decker, S. (2004). Technology Assessment, Methods and Impacts. Action Research.
- Denison, D. (2006). Denison Organizational Culture Survey. Denison Consulting.
- Eighoven, J. (2007). Technological Assessment, Product or Process. UK Sage.
- Force, D. (2009). Investment strategy for darpa, office of the under secretary of defence for acquisition and technology. washington: DC.
- Gunday, G. (2011). Effects of innovation types on firm performance. International Journal of Production Economics, 662-676.
- Hao, S. (2011). The Impact of Technology Selection on Innovation Success and Organizational Performance. 336-371.
- Hung, S. (2018). Factors affecting the choice of technology acquisition mode. Technovation, 551-563.
- James, A. (2001). the place of the UK defense industry its national innovation system. sectoral and technological system.
- Keenan, M. (۲۰۱۳). Technology Foresight: An Introduction, Technology Foresight McGraw- Hill.
- Lindgren, M. (2013). Scenario Planning the Link Between Future and Strategy. Harvard Business School Press.
- Nahapiet, J. (2015). Effects of Innovation Military Types on Performance. International Journal of Production Economics, 157.
- Porter, M. (1989). How competitive forces shape strategy. Harvard Business Review.
- Ringland, G. (1997). Scenario Planning: Managing for the Future. Strategic change Institute.
- Shoghi, B. (2015). Open Innovation in an Organize Trooper. European Journal of Innovation Management, 7.
- Smits, R. (2012). Innovation studies in the 21st century. Technological Forecasting and Social Change, 681-883.
- Taylor, B. (2006). MOD,UK, innovation strategy . creating a new environment for innovation within the defiance supply chain.
- Tidd, J. (2009). Managing Innovation: Integrating Technological, Market and Organizational Changes. John Wiley.
- Twiss, C. (2008). Forecasting for Technologists and engineers. New Bury Park.
- Vincent, L. (2014). Does Innovation Mediate Firm Performance? Georgia Institute of Technology.
- Vittorio, C. (2001). R&D Strategy and Organization, Managing Technical Change in Dynamic Contexts. Greenwich: Jai Press.
- Williamson, M. (1996). innovation past and future in murray and millet. cambridge university press.
- Zinni, A. (2020). military leadership and organizational innovation. A case study of the pacific th

Providing an approach for ranking new technologies in order to implement strategic plans

Danial Mohammadi

industrial engineering doctoral student; Faculty of
Industrial Engineering; Iran University of Science and
Technology

Abolfazl Adressi

industrial engineering doctoral student; Industrial
Engineering Department; Shahed University

Hamid Jabari

Master of Industrial Engineering; Industrial Engineering Department; Payam Noor university

Abstract

One of the most important needs of research-oriented organizations in developing countries, deciding on how to innovate in defense sectors is considered a key issue due to the wide range of missions in different sectors and even administrative and financial support and services. In research and development centers, due to the limited resources, it is not possible to carry out all new product development projects, so it is necessary to prioritize these projects. One of the basic prerequisites for using this method is to identify suitable indicators considering the practical approach, categorize them and finally weight those indicators, which has been investigated in this research. This model includes the steps of identifying technologies, determining evaluation criteria (such as effectiveness, efficiency, cost, reliability, compatibility, innovation, and timing), analysis and ranking, forecasting technology trends, and developing strategic plans. The main goal of this model is to optimize the use of new technologies to achieve practical goals and optimal allocation of resources. In this research, the key factors (indices) of selecting innovative technologies are extracted, the evaluation of the criteria is done by the Dimtel method, finally, the criteria are weighted and the criteria (indices) are ranked by several different methods. In most of these methods, the options of artificial intelligence and big data have been assigned the top ranks.

Keywords: Ranking, research-oriented industries, strategic plan, new technology, hierarchical analysis.