

## انتخاب روش مناسب برای پیش‌بینی تکنولوژی موتور هواپیمای ایران ۱۴۰

جلیل حیدری دهوئی\*<sup>۱</sup>

نوید محمدی<sup>۲</sup>

امیرسالار ونکی<sup>۳</sup>

سینا غفاری<sup>۴</sup>

### چکیده

هم‌زمان با افزایش سرعت پیشرفت‌های تکنولوژیک و تغییرات محیطی، بنگاه‌های مبتنی بر تکنولوژی، بیش از پیش ضرورت پیش‌بینی را درک می‌نمایند. از آنجاکه به دلیل شرایط تکنولوژی و معیارهای موردنظر، امکان استفاده هم‌زمان از تمام روش‌های پیش‌بینی تکنولوژی میسر نیست، لذا نیاز است تا از بین روش‌های موجود روشی کارا و اثربخش برای پیش‌بینی تکنولوژی خاص مدنظر قرار گیرد. نظر به تعدد معیارهای مؤثر بر این انتخاب و تفاوت میزان اهمیت این معیارها در انتخاب روش مناسب پیش‌بینی تکنولوژی، استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چندشاخصه موردتوجه صاحب‌نظران این حوزه قرار گرفته‌است. در همین راستا مقاله کنونی با هدف ارائه چارچوبی جهت انتخاب روش مناسب پیش‌بینی تکنولوژی تدوین شده‌است. بدین منظور، در ابتدا با بررسی پیشینه، شاخص‌های مناسب برای انتخاب روش پیش‌بینی تکنولوژی، استخراج شده‌است. پس از نهایی شدن معیارها با کمک اعضای کمیته مرتبط و با بهره‌گیری از روش‌های تصمیم‌گیری چندشاخصه، وزن هر یک از معیارها محاسبه شده و در ادامه روش‌های پیش‌بینی شناسایی شده در نظر گرفته شده برای مورد مطالعاتی موتور هواپیما، ارزیابی و اولویت‌بندی شده‌اند. نتایج حاکی از آن است که براساس نظر خبرگان، روش پیش‌بینی دلفی بهترین روش برای پیش‌بینی تکنولوژی در این حوزه می‌باشد.

### کلمات کلیدی:

پیش‌بینی تکنولوژی، سوارا، تصمیم‌گیری چندمعیاره فازی، موتور هواپیمای ایران ۱۴۰

۱. عضو هیأت علمی دانشکده مدیریت، دانشگاه تهران

\* نویسنده عهده دار مکاتبات: Heidaryd@ut.ac.ir

۲. کارشناسی ارشد مدیریت تکنولوژی، دانشگاه تهران

۳. کارشناسی ارشد MBA، دانشگاه تهران

۴. کارشناسی ارشد مدیریت تکنولوژی، دانشگاه تهران

## مقدمه

آینده سرشار از بی‌ثباتی و عدم قطعیت است. تغییرات تکنولوژیک نیز درجه بالایی از عدم قطعیت را به همراه دارند. براین اساس دولت و سازمان‌ها بایستی اثرات توسعه تکنولوژی بر روی آینده پیش روی جامعه را نیز به مشابیه محیط کسب و کار، به خوبی پیش‌بینی نمایند (چو و دایم، ۲۰۱۳). یکی از مشهورترین تعاریف در خصوص پیش‌بینی تکنولوژی، توسط بن‌مارتین ارائه شده است. در این تعریف بیان می‌شود که پیش‌بینی یک فرآیند سیستماتیک برای رصد آینده بلندمدت تکنولوژی، علم، اقتصاد و جامعه، با هدف شناسایی موقعیت‌های استراتژیک است (مارتین، ۲۰۱۰). استوت (۱۹۹۵)، سه اصل اساسی در فرآیند پیش‌بینی را ارائه نموده است: (۱) پیش‌بینی با معنی دیدن آینده نیست، بلکه با هدف ساختن آن است؛ (۲) یک فرد و یا یک شرکت به تنهایی، قادر به ساخت آینده نیست؛ (۳) دانش جدید ایجاد شده دارای ارزش فراوانی است (استوت، ۱۹۹۵). پیش‌بینی به‌عنوان یک فرآیند سیستماتیک به‌منظور جستجوی آینده در راستای فهم عوامل پویای اثرگذار بر روی تغییرات محیطی در آینده می‌باشد (رگر، ۲۰۰۱). هدف اصلی از هر نوع از پیش‌بینی تکنولوژی، کمک به تصمیم‌گیرندگان در طرح‌ریزی در خصوص کسب و کارها است. به مدیران توصیه می‌شود که با استفاده از پیش‌بینی تکنولوژی، تکنولوژی‌های به‌بلوغ رسیده خود را رها نموده و در جهت کسب تکنولوژی‌های جدیدی که برای آن‌ها ایجاد مزیت رقابتی می‌کنند، حرکت نمایند (کریستنسن، ۲۰۱۳). یکی از چالش‌برانگیزترین مباحث در تصمیم‌گیری در مورد سرمایه‌گذاری تکنولوژی‌های آینده، اتخاذ تصمیم در خصوص بهینه‌سازی تکنولوژی‌های موجود با استفاده از نوع توسعه‌یافته دیگری از تکنولوژی، می‌باشد (سلوکوم و لاندبرگ، ۲۰۰۱). به این دلیل، استفاده از روش‌های پیش‌بینی تکنولوژی، به‌عنوان ابزاری حیاتی برای سازمان‌ها به‌شمار می‌آید (این‌تپ، بزداگ و کوک، ۲۰۱۳). از سوی دیگر این نکته که چه روش پیش‌بینی، برای کدام تکنولوژی بهترین و محتمل‌ترین خروجی را ارائه می‌کند، امری است که نیازمند توجه به ابعاد مختلفی از موضوع است. بدین منظور نیاز از تا ابعاد مختلفی برای تصمیم‌گیری در خصوص انتخاب بهترین روش انتخاب شوند. این معیارها دارای اهمیت یکسانی نخواهند بود، براین اساس می‌توان از روش‌هایی برای این منظور استفاده نمود که اهمیت هر یک از معیارها را به‌صورت مجزا در نظر می‌گیرد. روش تصمیم‌گیری چندشاخصه راهی مناسب برای این امر است (این‌تپ، بزداگ، کوک، ۲۰۱۳؛ چنگ، چن، چن، ۲۰۰۸). از سوی دیگر نظر به عدم قطعیت موجود در انتخاب روش مناسب پیش‌بینی تکنولوژی و عدم توافق تمام ذی‌نفعان بر بهره‌گیری

از روشی خاص (این‌تپ، بزداگ، کوک، ۲۰۱۳)؛ در این مقاله از رویکردهای تصمیم‌گیری چندشاخصه به‌عنوان راهکاری مناسب برای انتخاب روش مناسب پیش‌بینی تکنولوژی استفاده شده‌است. مقالات متعددی در سال‌های اخیر، از این رویکردها برای تصمیم‌گیری در این خصوص، استفاده نموده‌اند (این‌تپ، بزداگ، کوک، ۲۰۱۳؛ چنگ، چن، چن، ۲۰۰۸). از سوی دیگر عدم قطعیت و ابهام موجود در فرآیند ارزیابی سبب شده تا روش‌های قطعی در این حوزه چندان کاربردی نباشند (این‌تپ، بزداگ و کوک، ۲۰۱۳). با توجه به بررسی‌های صورت گرفته می‌توان بیان نمود که، تصمیم‌گیری در خصوص انتخاب بهترین روش پیش‌بینی تکنولوژی، امری مهم برای سازمان‌های مختلف می‌باشد. این تصمیم به سازمان‌ها کمک می‌کند تا با استفاده از بهترین و متناسب‌ترین ابزار پیش‌بینی تکنولوژی در خصوص تکنولوژی موردنظرشان، بهترین و محتمل‌ترین پیش‌بینی را انجام دهند.

با این تفصیل، هدف این مقاله، انتخاب بهترین روش برای پیش‌بینی تکنولوژی است. مورد مطالعه این مقاله، پیش‌بینی تکنولوژی موتور هواپیمای ایران ۱۴۰ است. برای این منظور، از اعضای کمیته پیش‌بینی موتور هواپیمای ایران ۱۴۰ که با کمک سازمان صنایع هوایی شکل گرفته به‌عنوان خبرگان و متخصصین این حوزه بهره‌گیری شده‌است. این کمیته متشکل از ۷ نفر از مدیران اصلی سازمان صنایع هوایی است که در فرآیند پیش‌بینی تکنولوژی موتور هواپیمای ایران ۱۴۰ مشارکت داشته‌اند. فرآیند تحقیق بدین صورت بوده که در ابتدا با بررسی پیشینه و مقالات تدوین شده در این حوزه، معیارهای انتخاب روش مناسب شناسایی شدند. سپس این معیارها با کمک خبرگان حوزه مدیریت تکنولوژی، نهایی گردیدند. نهایتاً در این مقاله ۱۳ روش پیش‌بینی تکنولوژی متداول در مقالات، به‌منظور ارزیابی و انتخاب بهترین روش، انتخاب شدند. در این مقاله، روش وزن‌دهی SWARA و روش اولویت‌بندی fuzzy MUTLIMOORA به دلیل ویژگی‌هایی که در ادامه ذکر خواهد شد و تناسب با شرایط اجرایی مسئله، به ترتیب برای وزن‌دهی معیارها و اولویت‌بندی روش‌های پیش‌بینی تکنولوژی استفاده گردیدند.

ساختار این مقاله متشکل از شش بخش است. در بخش ابتدایی، مقدمه و ضرورت بحث ارائه شده‌است. سپس در بخش دوم، روش‌های پیش‌بینی تکنولوژی تشریح گردیده و نهایتاً ۱۳ روش متداول برای پیش‌بینی تکنولوژی، در نظر گرفته شدند. در بخش سوم، ادبیات و مقالات تدوین شده در حوزه انتخاب روش پیش‌بینی مناسب بررسی گردید و در نهایت شاخص‌های احصاء شده از این مقالات، معرفی شده‌اند. در بخش بعد، روش‌شناسی تحقیق و رویکردهای تصمیم‌گیری چندشاخصه استفاده در این مقاله، تشریح شده‌است. در بخش چهارم، مورد مطالعه و محل اجرای آن معرفی

شده است. در بخش پنجم، یافته‌ها و خروجی‌های حاصل از روش‌ها تصمیم‌گیری چندشاخصه به صورت کامل تدوین گردیده است. در نهایت در بخش نتیجه‌گیری، نتایج حاصل از این مقاله و بهترین روش پیش‌بینی برای موتور هواپیمای ایران ۱۴۰، بیان شده است.

### پیشینه پژوهش

پیش‌بینی تکنولوژی به‌طور کلی به دو دسته اصلی اکتشافی و هنجاری دسته‌بندی می‌شوند (مارتینو، ۱۹۹۳؛ گابور، ۱۹۶۳). روش اکتشافی در برگیرنده مواردی از روش‌ها است که پیش‌بینی آینده را براساس داده‌های موجود و وضعیت فعلی انجام می‌دهد. عموماً در تکنیک‌های اکتشافی، آینده با استفاده از دانش فراهم شده از گذشته ترسیم شده و هدف رسیدن از حال به آینده است؛ ولی در روش‌های هنجاری، ابتدا یک آینده مطلوب تکنولوژیک ترسیم می‌گردد و سپس برنامه‌ریزی لازم برای رسیدن به هدف تعیین شده، انجام می‌شود (روبرتس، ۱۹۶۹؛ مایده و ایسلام، ۱۹۹۸). پوپر<sup>۱</sup> در سال ۲۰۰۶ طی مقاله‌ای تمامی روش‌های پیش‌بینی تکنولوژی را دسته‌بندی نموده و جایگاه هر کدام را براساس میزان خلاقیت موردنیاز، تخصص موردنیاز، نیاز به مدارک و شواهد (شهود) و تعامل در هر کدام از روش‌ها را مشخص نموده است (پوپر، ۲۰۰۸). در این بخش، تمامی روش‌های به‌کار برده شده در مقالات مرور شده جمع‌بندی شده و پس از کسب تأیید اعضای کمیته مرتبط، از آن‌ها به‌عنوان گزینه استفاده شده است. این روش‌ها در ادامه با عنوان گزینه و به ترتیب معرفی شده‌اند.

**۱. تحلیل روند تکنولوژیک<sup>۲</sup>:** در برخی موارد، با بررسی داده‌های تاریخی موجود در یک حوزه تکنولوژیک، می‌توان الگوهایی از آن‌ها استخراج نموده و به آینده تعمیم داد. این روش با عنوان تحلیل روند تکنولوژیک، مرسوم است (آسموس، بونر، استرهای، لچنر و رنتفرو، ۲۰۰۵؛ چونگ، چن، هویکین و جیان، ۲۰۰۲؛ لی، کیم، سون، کانگ، ۲۰۰۳؛ میشر، دشموخ و ورات، ۲۰۰۲؛ کوانس و همکاران، ۲۰۰۱؛ میلر، سوینه‌هارت، ۲۰۱۰؛ اتو، ۲۰۰۳). **۲. تحلیل منحنی رشد<sup>۳</sup>:** این نوع از پیش‌بینی تکنولوژی، تخمین‌های خود را براساس چرخه عمر تکنولوژی انجام می‌دهد (لواری، هان، ۱۹۹۵؛ چن، چن و لی، ۲۰۱۱). **۳. فیشر پری<sup>۴</sup>:** این روش از منحنی لجستیک بهره گرفته و با توجه به نرخ

1 . Popper

2 . Trend analysis

3 . Growth curve analysis

4 . Fisher Pry analysis

و سرعت انطباق آن با تکنولوژی برتر، الگوبرداری می‌کند. این روش به‌منظور افزایش اعتبار خروجی پیش‌بینی، پنج دیدگاه مختلف جامعه برای صنعت موردتحقیق را بررسی می‌کند (این‌تپ، بوزداگ و کوک، ۲۰۱۳؛ وانستون، ۲۰۰۳). ۴. **تحلیل قیاسی**:<sup>۱</sup> در این روش دو پدیده مجزا و متفاوت از هم، با یکدیگر مقایسه شده و رفتارهای مشابه آن‌ها، مدل‌سازی می‌شود. به‌طور نمونه، برای پیش‌بینی بازار فروش محصولی در آینده، بازار محصولی بررسی می‌شود که رفتار مشابهی در بازار فعلی دارد (مورلیج و پلیر، ۲۰۱۰؛ چنارس، ۲۰۰۹). ۵. **تحلیل ریخت‌شناسی**:<sup>۲</sup> تحلیل ریخت‌شناسی روش مکمل درخت وابستگی است و برای تشخیص و تعیین فرصت‌های جدید تولید به کار می‌رود. این روش با استفاده از زبان ریاضی، چشم‌اندازی وسیع از جواب‌های موجود و گزینه‌های ممکن برای آینده را در ارائه می‌دهد. اف زویسکی پروفیسور مؤسسه تکنولوژی کالیفرنیا نیز برای نخستین بار از این روش در دانش‌های امروزی استفاده کرد (لواری و هان، ۱۹۹۵). نخستین کاربرد این روش، در ساختمان موتور جت بود (ویسما، ۱۹۷۶). ۶. **تحلیل پتنت**:<sup>۳</sup> در این روش، با تحلیل پتنت‌های ثبت شده در خصوص یک تکنولوژی یا صنعتی خاص، می‌توان الگوی رفتاری، روند تکنولوژیک تکنولوژی‌های آینده و روندهای بازار را تحلیل نمود. این روش در سیاست‌گذاری‌ها نیز کاربرد دارد (تی‌سنگ، لین و لین، ۲۰۰۷). ۷. **اسکن کردن، مشاهده و ردیابی**:<sup>۴</sup> اسکن کردن، به بررسی روندها و هر نوع رویدادی مرتبط می‌شود. در مشاهده، روندهای جهانی مختلف در حوزه موردنظر بررسی می‌شوند. در ردیابی، مسیرهای تکنولوژیکی طی شده در راستای توسعه، بررسی می‌شود (این‌تپ، بوزداگ و کوک، ۲۰۱۳). ۸. **سناریونگاری**:<sup>۵</sup> این روش توصیف پیشرفت‌های آتی در طول یک بازه زمانی از چند سال تا یک قرن یا بیشتر است. سناریوهایی که در حوزه پیش‌بینی تکنولوژی به کار برده می‌شوند، مفاهیم مختلف تکنولوژی‌های آینده را توصیف کرده و گزینه‌های تکنولوژی آینده را نشان می‌دهند. سناریوها زمانی مفیدند که اطلاعات در دوره‌های زمانی گذشته در دسترس نباشد یا متخصصان در زمینه مربوط ضعیف بوده یا وجود نداشته باشند و هیچ پایه محکمی برای ایجاد مدل وجود نداشته باشد (چوماکر، ۱۹۹۵). ۹. **مدل مونت کارلو**:<sup>۶</sup> یک الگوریتم محاسباتی است که از نمونه‌گیری تصادفی برای محاسبه نتایج

- 
- 1 . Analogy
  - 2 . Morphological matrices
  - 3 . Patent analysis
  - 4 . Scanning, monitoring, tracking
  - 5 . Scenarios
  - 6 . Monte Carlo models

استفاده می‌کند. روش‌های مونت-کارلو معمولاً برای شبیه‌سازی سیستم‌های فیزیکی، ریاضیاتی و اقتصادی استفاده می‌شوند (گیلمر، هوانگ، دلارویا، دالاتوره و بائومان، ۲۰۰۰). ۱۰. **دلفی**<sup>۱</sup>: این روش بر این فرض استوار است که یک متخصص در زمینه تخصصی خود بهتر می‌تواند پیشرفت‌ها را پیش‌بینی کند. شرایط لازم برای استفاده از نظرات کارشناسی، توانایی شناسایی و حضور یک گروه از متخصصان در زمینه موردنظر است. با این روش، زمان تقریبی و احتمال، بر پایه اطلاعات موجود پیش‌بینی می‌شود (لینستون و توروف، ۱۹۷۵). ۱۱. **درخت وابستگی**<sup>۲</sup>: این روش، سلسله‌مراتب روابط میان اجزای یک تکنولوژی را ترسیم می‌نماید. هدف از انجام این روش، تجزیه و تحلیل تکنولوژی از طریق اهداف کوچک‌تر و جزئی‌تر می‌باشد (سواگر، ۱۹۷۳). ۱۲. **تحلیل اثر متقابل**<sup>۳</sup>: این روش بر این فرض استوار است که چگونه یک رویداد، بر روی رویدادهای آتی محیط تأثیر خواهند گذاشت. در این روش با بررسی روابط رویدادها بر روی یکدیگر، رویدادهای آتی را پیش‌بینی می‌کنند (توروف، ۱۹۷۲؛ پورتر و ژو، ۱۹۹۰). ۱۳. **مطالعه موردی**<sup>۴</sup>: در این روش، پیشرفت‌ها و دستاوردهای تکنولوژیک بنگاه‌ها و سازمان‌های مختلف بررسی می‌شود. پیش‌بینی در این روش براساس پیشرفت‌های تکنولوژیک صورت پذیرفته در گذشته شکل می‌گیرد (هیرش، ۱۹۸۶؛ گوم، هامرسل، فوستر، ۲۰۰۰). این روش ترجیحاً در مواردی استفاده می‌شود که تکنولوژی ساختاری پیچیده داشته باشد و بنگاه‌های کمی با آن درگیر باشند (سوی، ۲۰۱۵؛ کوهلیک، ۲۰۰۵).

در ادامه این بخش سعی شده‌است تا اکثریت مقالات تدوین شده در خصوص انتخاب روش پیش‌بینی مناسب، گردآوری و با هدف شناسایی شاخص‌های مناسب جهت انتخاب، بررسی گردند. در ادامه هر یک از مقالات بررسی شده و شاخص‌های مورد نظر آن‌ها بیان شده‌است.

این‌تپ<sup>۵</sup> و همکاران (۲۰۱۳)، به‌منظور انتخاب یک روش پیش‌بینی تکنولوژی مناسب، از روش تصمیم‌گیری گروهی *Interval-valued intuitionistic fuzzy TOPSIS*، استفاده نموده‌است. در این مقاله ۱۲ روش پیش‌بینی تکنولوژی در نظر گرفته شده‌است. این روش‌ها مشتمل بر تحلیل روند، منحنی رشد، ریخت‌شناسی، تحلیل پتنت و سایر روش‌های پیش‌بینی تکنولوژی می‌باشند. در راستای انتخاب روش پیش‌بینی مناسب، از هفت معیار در دسترس بودن داده‌ها، اعتبار داده‌ها، قابل پیش‌بینی

- 
- 1 . Delphi survey
  - 2 . Relevance trees
  - 3 . Cross-impact analysis
  - 4 . Case Study
  - 5 . İNtepe

بودن توسعه تکنولوژی، مشابهت تکنولوژی با تکنولوژی‌های موجود، تطابق روش، سهولت عملیات و هزینه پیاده‌سازی، استفاده شده‌است. حوزه موردبررسی در این مقاله، پیش‌بینی تکنولوژی در خصوص پرینترهای سه‌بعدی است. نتایج این مقاله نشان می‌دهد که روش فیشرپری دارای کمترین خطا و محتمل‌ترین نتیجه در این میان می‌باشد (این‌تپ، بزداگ و کو، ۲۰۱۳). سو و چنگ<sup>۱</sup> (۲۰۱۶)، پنج معیار در دسترس بودن داده‌ها، کفایت پایگاه داده، دوره زمانی داده‌ها، قابلیت اطمینان داده‌ها و ارتباط داده‌ها با قیمت را برای انتخاب روش پیش‌بینی مناسب در بازار سهام، عنوان نموده‌اند. در این مقاله از رویکرد ترکیبی فازی و سری زمانی، استفاده شده‌است. این مقاله با هدف پیش‌بینی بازار سهام انجام شده‌است. بدین منظور، داده‌های موجود برای دو شرکت در سال‌های ۱۹۹۸ الی ۲۰۰۶ را بررسی نموده‌است (سو و چنگ، ۲۰۱۶). چنگ<sup>۲</sup> و همکاران (۲۰۰۸)، با ترکیب روش فازی و تحلیل سلسله‌مراتبی، پنج روش پیش‌بینی تکنولوژی دلفی، منحنی رشد، مطالعه موردی، درخت وابستگی و سناریونگاری را بررسی و ارزیابی نموده‌اند. برای مقایسه و ارزیابی این روش‌ها، هفت معیار در نظر گرفته شده‌است که عبارتند از: در دسترس بودن داده‌ها، اعتبار داده‌ها، قابل پیش‌بینی بودن تکنولوژی، مشابهت تکنولوژی، تطابق روش، سهولت عملکرد و هزینه‌های پیاده‌سازی. حوزه مورد مطالعه این مقاله، پیش‌بینی در توسعه مواد جدید است. نتایج نشان می‌دهد که روش دلفی و روش مطالعه موردی، بهترین روش‌ها برای این حوزه می‌باشند (چنگ، چن و چن، ۲۰۰۸). در مقاله‌ای ماگروک<sup>۳</sup> در سال ۲۰۱۱، با هدف ارائه دسته‌بندی نوآورانه بر روی روش‌های پیش‌بینی تکنولوژی ارائه نموده‌است، ۱۶ معیار به‌عنوان معیارهای سنجش و ارزیابی معرفی شده‌است. این معیارها مشتمل بر نوع تفکر در خصوص آینده، نوع داده‌ها، روش کسب داده‌ها، نوع عملیات، محیط کار، ارجاعات زمانی، منابع داده‌ها، ارجاع به تکنولوژی‌ها، گرایش‌ها، معنی و مفهوم پیش‌بینی، سطح پژوهش، مشخصه‌های نتایج، ماهیت تحقیق، نوع تفکر، لایه‌ها و نحوه نتیجه‌گیری، می‌باشند (ماگروک، ۲۰۱۱). سالو<sup>۴</sup> و همکاران (۲۰۰۳)، چهار روش SMART، AHP، PRIME و DEA را برای انتخاب روش پیش‌بینی تکنولوژی مناسب، به‌کار برده و با یکدیگر مقایسه نموده‌اند. بدین منظور از چهار معیار اصلی انتخاب پورتفو، افق زمانی، در نظر گرفتن ذی‌نفعان چندگانه و عدم قطعیت، استفاده نموده‌اند (سالو، گوستافسون و رامانتان، ۲۰۰۳). میشر<sup>۵</sup> و همکاران

- 1 . Su & Cheng
- 2 . Cheng
- 3 . Magruk
- 4 . Salo
- 5 . Mishra

(۲۰۰۲)، در مقاله‌ای با هدف تناسب یک روش پیش‌بینی تکنولوژی با یک تکنولوژی، چهار معیار میزان در دسترس بودن داده‌ها، درجه اعتبار داده‌ها، تعداد متغیرهایی که بر روی تکنولوژی اثر می‌گذارند و درجه مشابهت تکنولوژی‌های فعلی و آتی، را ارائه داده‌اند (میشرا و همکاران، ۲۰۰۲). میاده و ایسلام (۱۹۹۸)، سه معیار را به‌عنوان اصلی‌ترین معیارهای انتخاب روش پیش‌بینی تکنولوژی مناسب، معرفی نموده‌اند. این معیارها دربرگیرنده کیفیت تخمین پارامترها، تناسب خوب و ثبات مدل، می‌باشند (میاده و ایسلام، ۱۹۹۸). چو و ویدجاجا<sup>۲</sup> (۱۹۹۴)، به‌منظور انتخاب روش پیش‌بینی مناسب، یک سیستم شبکه‌ای ارائه داده‌اند. در این مقاله سه معیار به‌عنوان اصلی‌ترین ابعاد در تصمیم‌گیری در این خصوص عنوان شده‌است. این معیارها شامل حوزه پیش‌بینی، نوع صنعت و الگوی تقاضا می‌باشد (چو و ویدجاجا، ۱۹۹۴). بارتوسکووا<sup>۳</sup> و همکاران (۲۰۱۵)، با استفاده از رویکرد تحلیل سلسله‌مراتبی، به انتخاب روش پیش‌بینی مناسب پرداخته‌اند. ابعاد در نظر گرفته‌شده در این مقاله شامل مالی، زمان و دقت پیش‌بینی است (بارتوسکووا، پاپالووا و کرستا، ۲۰۱۵). آکار و گاردنر<sup>۴</sup> (۲۰۱۲)، بر این باورند که دقت پیش‌بینی به‌عنوان مهم‌ترین معیار در انتخاب روش پیش‌بینی می‌باشد (آسار و گاردنر، ۲۰۱۲). ده معیار افق زمانی، میزان اورژانسی بودن (فشار زمانی)، تعداد و فراوانی پیش‌بینی‌های موردنیاز، پیچیدگی فنی، هزینه، در دسترس بودن داده، تنوع و انسجام داده‌ها، میزان جزئیات موردنیاز، دقت و نقاط عطف (دوره‌های زمانی)، در مقاله دمیرتاس<sup>۵</sup> و آناگون<sup>۶</sup> (۲۰۰۶) به‌منظور انتخاب روش پیش‌بینی مناسب، استفاده شده‌است (دمیرتاس و آناگون، ۲۰۰۶). کومار و هسو<sup>۷</sup> (۱۹۸۸)، چارچوبی بر پایه نظرات خبرگان برای انتخاب روش پیش‌بینی مناسب ارائه نموده‌اند. بدین منظور، چهارده معیار در نظر گرفته شده‌است که شامل تفاوت روند داده‌ها، تعداد متغیرهای مستقل، نوسانات موجود در سری‌های زمانی، در دسترس بودن داده‌های تاریخی، در دسترس بودن مهارت‌های کیفی، در دسترس بودن تجهیزات کامپیوتری، در دسترس بودن منابع مالی، افق زمانی، فشار زمانی برای پیش‌بینی، فراوانی به‌روزرسانی‌ها، دقت، سهولت تفسیر، میزان تمرکز پیش‌بینی و فاصله پیش‌بینی‌ها، می‌باشند (کومار و هسو، ۱۹۸۸). چهار معیار فراوانی و تعداد پیش‌بینی‌های موردنیاز، در دسترس بودن تجهیزات کامپیوتری، دقت

- 1 . Meade & Islam
- 2 . Chu & Widjaja
- 3 . Bartusková
- 4 . Acar & Gardner
- 5 . DEMRTAŞ
- 6 . ANAGÜN
- 7 . Kumar & Hsu



خروجی و فشار زمانی پیش‌بینی، در مقاله نوت<sup>۱</sup> و همکاران (۱۹۸۸)، به‌عنوان معیارهای ارزیابی روش‌های پیش‌بینی عنوان شده‌است (نوته، مان و برور، ۱۹۸۸). فلورز<sup>۲</sup> و همکاران (۱۹۹۳)، دو معیار دقت پیش‌بینی و هزینه پیش‌بینی را به‌عنوان اصلی‌ترین معیارهای انتخاب روش پیش‌بینی مناسب، معرفی نموده‌اند (فلورس، السون و پیارس، ۱۹۹۳).

با بررسی مقالات تدوین شده در خصوص انتخاب روش پیش‌بینی مناسب، کلیه معیارهای شناسایی شده در مرور پیشینه پژوهش جمع‌بندی شدند. در ادامه به‌منظور نهایی کردن این معیارها، معیارها در چارچوب روش گروه کانونی چندین مرتبه با مدیران کمیته پیش‌بینی و اساتید داخلی و خارجی مدیریت فناوری موردبررسی قرار گرفته و با توجه به توافق خبرگان بر روی کلیه معیارها، در نهایت لیست معیارها تهیه گردید که در جدول ۱ ارائه شده و تعاریف هر یک نیز مشخص شده‌است.

جدول ۱. لیست معیارهای نهایی

معیار	کد معیار	تعاریف	رفرنس
دردسترس بودن داده‌ها	C <sub>۱</sub>	میزان دردسترس بودن داده‌های مربوط به روش پیش‌بینی تکنولوژی موردنظر	(میشرا، دشموخ و ورات، ۲۰۰۲؛ چنگ، چن و چن، ۲۰۰۸؛ اینتپ، بزداگ و کوک، ۲۰۱۳؛ کومار و هسو، ۱۹۹۸؛ دمتراس و آناگون، ۲۰۰۶؛ سو و چنگ، ۲۰۱۶)
اعتبار داده‌ها	C <sub>۲</sub>	درجه اعتبار داده‌های موردنیاز برای روش پیش‌بینی تکنولوژی موردنظر	(مایده و ایسلام، ۱۹۹۸؛ میشرا، دشموخ و ورات، ۲۰۰۲؛ چنگ، چن و چن، ۲۰۰۸؛ ماگروک، ۲۰۱۱؛ اینتپ، بزداگ و کوک، ۲۰۱۳؛ سو و چنگ، ۲۰۱۶)
میزان قابل پیش‌بینی بودن	C <sub>۳</sub>	روش پیش‌بینی تکنولوژی موردنظر، تا چه میزان قابلیت پیش‌بینی تکنولوژی‌های جدید را دارد	(سالو، گوستافسون و رومانسون، ۲۰۰۳؛ چنگ، چن و چن، ۲۰۰۸؛ اینتپ، بزداگ و کوک، ۲۰۱۳؛ نوت، من و برور، ۱۹۹۸)
میزان مشابه بودن تکنولوژی	C <sub>۴</sub>	میزان توانایی تشخیص تفاوت‌های میان تکنولوژی‌های موجود و تکنولوژی جدید	(میشرا، دشموخ و ورات، ۲۰۰۲؛ چنگ، چن و چن، ۲۰۰۸؛ اینتپ، بزداگ و کوک، ۲۰۱۳)

1 . Nute

2 . Flores

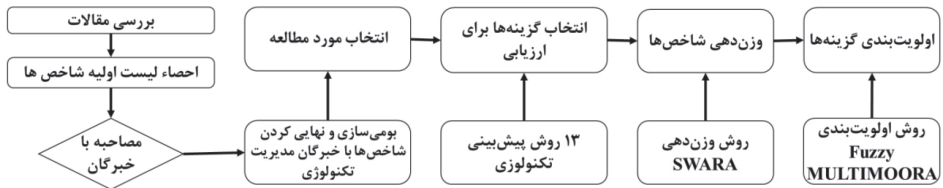
معیار	کد معیار	تعاریف	رفرنس
میزان تطابق روش	C۵	روش پیش‌بینی موردنظر تا چه میزان با نظر خبرگان مطابقت دارد	(چو و ویدجاجا، ۱۹۹۴؛ مایده و ایسلام، ۱۹۹۸؛ چنگ، چن و چن، ۲۰۰۸؛ اینتپ، بزداگ و کوک، ۲۰۱۳)
سهولت کارکرد	C۶	تا چه میزان کار با این روش پیچیده و سخت است	(چنگ، چن و چن، ۲۰۰۸؛ اینتپ، بزداگ و کوک، ۲۰۱۳)
هزینه پیاده‌سازی	C۷	چه میزان پول برای پیاده‌سازی روش پیش‌بینی موردنظر نیاز است	(چنگ، چن و چن، ۲۰۰۸؛ اینتپ، بزداگ، کوک، ۲۰۱۳؛ کومار و هسو، ۱۹۸۸)

### روش پژوهش

در این مقاله سعی بر انتخاب بهترین روش پیش‌بینی تکنولوژی برای موتور هواپیمای ایران ۱۴۰ می‌باشد. بدین منظور مطابق فلوجارت شکل ۲، در ابتدا مقالات و ادبیات این حوزه بررسی شده و سپس معیارهای انتخاب روش پیش‌بینی مناسب تدوین شده‌است. سپس با کمک خبرگان و اساتید دانشگاهی حوزه مدیریت تکنولوژی، معیارها نهایی شده‌است. در این پژوهش، ۱۳ روش پیش‌بینی تکنولوژی متداول در مقالات انتخاب شده‌است. دلیل اصلی انتخاب این روش‌ها، استفاده متعدد این روش‌ها در مقالات تشریح شده در بخش مرور پیشینه است. به نوعی می‌توان گفت، روش‌های انتخاب‌شده در این مقاله، تمامی روش‌های استفاده‌شده در مقالات مرور پیشینه را دربر می‌گیرد. به‌منظور پیاده‌سازی و انجام این پژوهش، موتور هواپیمای ایران ۱۴۰ به‌عنوان مورد مطالعه انتخاب شده‌است. سپس معیارهای نهایی شده در این مرحله با کمک اساتید و خبرگان حوزه مدیریت تکنولوژی و با استفاده از روش SWARA وزن‌دهی شده‌است. در ادامه با استفاده از نظرات یک گروه هفت نفره از خبرگان درگیر در پروژه ساخت موتور ایران ۱۴۰، داده‌های جدول تصمیم‌گردآوری شد و نهایتاً با استفاده از روش تصمیم‌گیری چندشاخصه Fuzzy MULTIMOORA اولویت هر یک از روش‌های پیش‌بینی تکنولوژی مشخص شده‌است.

در این پژوهش از نظرات ۷ نفر از مدیران اصلی سازمان صنایع هوایی که در فرآیند پیش‌بینی تکنولوژی موتور هواپیمای ایران ۱۴۰ درگیر بوده‌اند استفاده شده‌است. علاوه بر این، پیش از دریافت

نظران آنان، چندین جلسه توجیهی برای تشریح کامل هر یک از روش‌ها برگزار شده و تمامی سؤالات و ابهامات آنان در خصوص روش‌ها به‌طور کامل رفع شده‌است. سپس با تسلط کامل بر روش‌ها و در نظر گرفتن موتور هواپیمای ایران ۱۴۰ به‌عنوان نمونه مطالعاتی، نظرات خود را در خصوص گزینه‌ها ارائه داده‌اند.



شکل ۱. فرآیند اجرای پژوهش

### تشریح روش SWARA

در بسیاری از مسائل تصمیم‌گیری چندشاخصه، وزن‌دهی به شاخص‌ها از جمله مهم‌ترین مراحل حل مسئله می‌باشد (زلفانی، آقداپی، درختی، زاواداسکاس و ورزنده، ۲۰۱۳). روش SWARA یکی از جدیدترین روش‌هایی است که در سال ۲۰۱۰ توسط کرسولین و همکارانش ابداع شده‌است (کرسولین، زاواداسکاس و تورسکیس، ۲۰۱۰). مهم‌ترین مزایای این روش نسبت به سایر روش‌های مشابه، توان آن در ارزیابی دقت نظر خبرگان درباره شاخص‌های وزن داده شده در طی فرآیند روش، سهولت پیاده‌سازی و عدم نیاز به حجم مقایسات بالا می‌باشد (کرسولین، زاواداسکاس و تورسکیس، ۲۰۱۰). علاوه‌براین خبرگان می‌توانند با یکدیگر مشورت کرده و این مشورت نتایج حاصله را نسبت به دیگر روش‌های MCDM دقیق‌تر می‌کند (دهنوی، اقدام، پرادهان و ورزنده، ۲۰۱۵). کرسولین و همکارانش (۲۰۱۰) در خصوص انتخاب راه‌حل منطقی حل اختلافات (کرسولین، زاواداسکاس و تورسکیس، ۲۰۱۰)، علیمردانی و همکارانش (۲۰۱۳) به‌منظور انتخاب تأمین‌کننده (علیمردانی، زلفانی، آقداپی و تاموسایتین، ۲۰۱۳)، هاشم خانی زلفانی (۲۰۱۳) برای طراحی محصول (سرفراز، زاواداسکاس و تورسکیس، ۲۰۱۳)، هاشم خانی زلفانی و همکارانش (۲۰۱۴) برای اولویت‌بندی گزینه‌های سرمایه‌گذاری در صنایع با تکنولوژی پیشرفته (هاشمخانی زلفانی و بهرامی، ۲۰۱۴) و بسیاری از تحقیقات دیگر اشاره کرد که در آن‌ها از روش SWARA به‌منظور وزن‌دهی استفاده کرده‌اند. در کنار

این مزایا سهولت اجرا و قابل فهم بودن این روش نسبت به بسیاری روش‌های وزن‌دهی (مانند تحلیل سلسله‌مراتبی یا AHP) سبب شده تا در محیط‌های واقعی این روش برای مدیران و تصمیم‌گیرندگان کاربردی‌تر از روش‌های مشابه باشد. بر همین اساس در مقاله کنونی از روش سوارا بهره‌گیری شده است. گام‌های اصلی برای وزن‌دهی براساس روش SWARA به شرح زیر است (زاواداسکاس و تورسکیس، ۲۰۱۰).

- **گام اول: مرتب‌کردن شاخص‌ها:** در ابتدا شاخص‌های موردنظر تصمیم‌گیرندگان به‌عنوان شاخص‌های نهایی و براساس درجه اهمیت، انتخاب و مرتب می‌شوند. براین اساس، مهم‌ترین شاخص‌ها در رده‌های بالاتر و شاخص‌های کم اهمیت‌تر در رده‌های پایین‌تر قرار می‌گیرند.
- **گام دوم: تعیین اهمیت نسبی هر شاخص ( $S_j$ ):** در این مرحله می‌بایست اهمیت نسبی هر کدام از شاخص‌ها نسبت به شاخص مهم‌تر قبلی مشخص گردد که در فرایند روش SWARA این مقدار با  $S_j$  نشان داده می‌شود.
- **گام سوم: محاسبه ضریب  $K_j$ :** ضریب  $K_j$  که تابعی از مقدار اهمیت نسبی هر شاخص می‌باشد با استفاده از رابطه شماره ۱ محاسبه می‌گردد.

$$K_j = S_j + 1$$

رابطه ۱

- **گام چهارم: محاسبه وزن اولیه هر شاخص:** وزن اولیه شاخص‌ها از طریق رابطه ۲ قابل محاسبه می‌باشد. در این رابطه باید توجه داشت که وزن شاخص نخست که مهم‌ترین شاخص است برابر با ۱ در نظر گرفته می‌شود.

$$q_j = \frac{q_{j-1}}{K_j}$$

رابطه ۲

- **گام پنجم: محاسبه وزن نرمال نهایی:** در آخرین گام از روش SWARA وزن نهایی شاخص‌ها که وزن نرمال شده نیز محسوب می‌گردد از طریق رابطه ۳ محاسبه می‌شود.

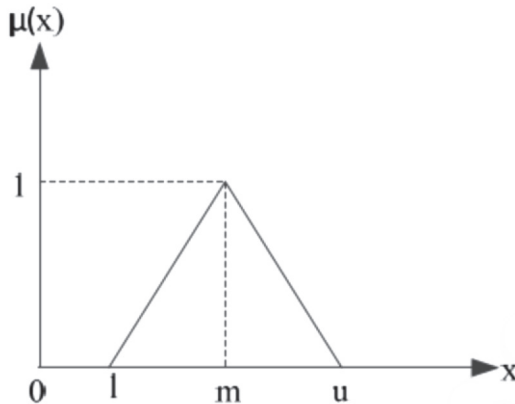
$$w_j = \frac{q_j}{\sum q_j}$$

رابطه ۳

مجموعه‌های فازی<sup>۱</sup> (آکیوز و سلیک، ۲۰۱۵)

منطق فازی، در سال ۱۹۶۵ توسط Lotfi A. Zadeh معرفی شد. از آنجا که اهداف، محدودیت‌ها و

اقدامات در مسائل تصمیم‌گیری در دنیای واقعی به‌طور دقیق شناخته شده نمی‌باشند (لطفی‌زاده، ۱۹۶۵)، تصمیم‌گیری در دنیای واقعی همواره با عدم قطعیت‌هایی روبه‌رو است. از این‌رو منطق فازی به‌عنوان ابزاری قوی برای حل مسائل دارای ابهام<sup>۱</sup> و عدم اطمینان در ارزیابی‌ها و قضاوت‌های انسانی توسعه یافته‌است. در این منطق به جای تلفیق تجارب، نظرات، ایده‌ها و انگیزه‌های مختلف یک فرد یا گروهی از تصمیم‌گیرندگان، بهتر است عبارات زبانی<sup>۲</sup> را به شکل اعداد فازی تبدیل کرده و قضاوت بر مبنای آن‌ها انجام شود. اعداد فازی مثلثی<sup>۳</sup> به شکل  $\tilde{A} = (l, m, u)$  تعریف می‌شود که در آن  $l, m, u$  به ترتیب حد پایین، حد وسط، حد بالای مجموعه فازی را نمایش می‌دهند ( $l \leq m \leq u$ ). این اعداد به‌صورت شماتیک در شکل ۲ نشان داده شده‌اند.



شکل ۲. اعداد فازی مثلثی

تابع عضویت برای اعداد فازی مثلثی به شکل رابطه ۴ تعریف می‌شود.

رابطه ۴

$$\mu_{\tilde{A}} = \begin{cases} 0 & x < l \\ \frac{(x-l)}{(m-l)} & l \leq x \leq m \\ \frac{(u-x)}{(u-m)} & m \leq x \leq u \\ 0 & x \geq u \end{cases}$$

1 . vagueness

2 . linguistic terms

3 . triangular fuzzy number

همچنین رابطه بین عبارات زبانی و اعداد فازی مثلثی در جدول ۲ نمایش داده شده است.

جدول ۲. متغیر زبانی فازی برای ارزیابی گزینه‌ها (برآورز، ۲۰۱۲)

اعداد فازی	متغیر زبانی
(۰, ۰, ۰.۱۶)	بسیار کم - VL
(۰, ۰.۱۶, ۰.۳۴)	کم - L
(۰.۱۶, ۰.۳۴, ۰.۵)	متوسط رو به پایین - ML
(۰.۳۴, ۰.۵, ۰.۶۶)	متوسط - M
(۰.۵, ۰.۶۶, ۰.۸۴)	متوسط رو به بالا - MH
(۰.۶۶, ۰.۸۴, ۱)	بالا - H
(۰.۸۴, ۱, ۱)	بسیار بالا - VH

برای دو عدد فازی مثلثی  $\tilde{A}_1 = (l_1, m_1, u_1)$  و  $\tilde{A}_2 = (l_2, m_2, u_2)$  محاسبات ریاضی به شکل روابط تعریف می‌شود:

$\tilde{A}_1 + \tilde{A}_2 = (l_1 + l_2, m_1 + m_2, u_1 + u_2)$	جمع دو عدد فازی	رابطه ۵
$\tilde{A}_1 - \tilde{A}_2 = (l_1 - l_2, m_1 - m_2, u_1 - u_2)$	تفاضل دو عدد فازی	رابطه ۶
$\tilde{A}_1 \times \tilde{A}_2 = (l_1 \times l_2, m_1 \times m_2, u_1 \times u_2)$	ضرب دو عدد فازی	رابطه ۷
$\tilde{A}_1 \div \tilde{A}_2 = \left(\frac{l_1}{u_2}, \frac{m_1}{m_2}, \frac{u_1}{l_2}\right)$	تقسیم دو عدد فازی	رابطه ۸
$k \times \tilde{A}_1 = (k \times l_1, k \times m_1, k \times u_1)$	ضرب در یک مقدار ثابت	رابطه ۹
$\frac{\tilde{A}_1}{k} = \left(\frac{l_1}{k}, \frac{m_1}{k}, \frac{u_1}{k}\right)$	تقسیم بر یک مقدار ثابت	رابطه ۱۰

### روش MOORA (آکایا، تورانقلو و ازتاس، ۲۰۱۵)

روش مورا اولین بار توسط براورس و زاوادسکاس (۲۰۰۶) مورد استفاده قرار گرفت (برآورز و زاوادسکاس، ۲۰۰۶). این روش بر پایه تئوری تحلیل نسبی و روش نقطه مرجع بوده و در توسعه‌ای آتی فرم ضربی کامل نیز به این روش اضافه گردیده که منجر به شکل‌گیری روش مالتی‌مورا به‌عنوان یک روش قوی

برای بهینه‌سازی چند هدفه<sup>۱</sup> شده است (براورز و زاواداسکاس، ۲۰۱۲). سادگی و سهولت پیاده‌سازی این روش، محاسبات ریاضی کم، پایداری خوب و زمان حل بسیار کم، از جمله مهم‌ترین ویژگی‌های روش MOORA محسوب می‌شود که سبب گردیده تا در این مقاله نیز نسبت به سایر روش‌ها ترجیح داده شود (براورز و زاواداسکاس، ۲۰۰۶). تاکنون از روش مورا و مالتی‌مورا در تحقیقات بسیاری به‌منظور حل مسائل پیچیده تصمیم‌گیری استفاده شده که از آن جمله می‌توان به پژوهش کارانده و چاکرابورتی (۲۰۱۲) در خصوص انتخاب مواد، براورس و زاواداسکاس (۲۰۱۲) به‌منظور انتخاب پروژه، لیو و همکاران (۲۰۱۵) با هدف ارزیابی ریسک و سایر مواردی از این قبیل اشاره نمود (کرنده و چاکرابورتی، ۲۰۱۲؛ براورز و زاواداسکاس، ۲۰۱۲؛ لیو، یو، لو و چن، ۲۰۱۵).

### رویکرد نسبی فازی

روش نسبی یکی از اشکال توسعه یافته روش مورا می‌باشد که مراحل آن به صورت گام‌به‌گام در ادامه شرح داده شده است (آکایا، تورانقلو و ازتاس، ۲۰۱۵):

#### • گام اول: تشکیل ماتریس تصمیم با استفاده از اعداد فازی مثلثی (الوکوی و واتانسور، ۲۰۱۳)

در نخستین مرحله از فرایند حل مسئله با استفاده از روش نسبی می‌بایست با استفاده از اعداد فازی مثلثی مطابق با رابطه ۱۱ ماتریس تصمیم را ایجاد نمود. در این رابطه  $m$  تعداد گزینه‌ها،  $n$  تعداد معیارها و  $X_{ij}$  عملکرد اندازه‌گیری شده گزینه  $i$ ام در معیار  $j$ ام می‌باشد. در این شرایط اگر تعداد  $k$  خبره به ارزیابی گزینه‌ها بپردازند، تعداد  $k$  ماتریس تصمیم ایجاد می‌شود.

رابطه ۱۱

$$\bar{X}^{(k)} = \begin{bmatrix} [x_{11}^{(k)l}, x_{11}^{(k)m}, x_{11}^{(k)u}] & [x_{12}^{(k)l}, x_{12}^{(k)m}, x_{12}^{(k)u}] & \dots & [x_{1n}^{(k)l}, x_{1n}^{(k)m}, x_{1n}^{(k)u}] \\ \dots & \dots & \ddots & \dots \\ \dots & \dots & \ddots & \dots \\ [x_{m1}^{(k)l}, x_{m1}^{(k)m}, x_{m1}^{(k)u}] & [x_{m2}^{(k)l}, x_{m2}^{(k)m}, x_{m2}^{(k)u}] & \dots & [x_{mn}^{(k)l}, x_{mn}^{(k)m}, x_{mn}^{(k)u}] \end{bmatrix}$$

در این مرحله از رابطه ۱۲ به‌منظور تجمیع ماتریس تصمیم خبرگان استفاده می‌شود. این ماتریس با نماد  $\bar{X}$  مطابق با رابطه ۱۳ نشان داده می‌شود.

$$\tilde{x}_{ij} = (\tilde{x}_{ij}^l, \tilde{x}_{ij}^m, \tilde{x}_{ij}^u) = \left( \frac{\sum_{n=1}^k \tilde{x}_{ij}^{(n)l}}{k}, \frac{\sum_{m=1}^k \tilde{x}_{ij}^{(n)m}}{k}, \frac{\sum_{m=1}^k \tilde{x}_{ij}^{(n)u}}{k} \right) \quad \text{رابطه ۱۲}$$

$$\tilde{X} = \begin{bmatrix} [x_{11}^l, x_{11}^m, x_{11}^u] & [x_{12}^l, x_{12}^m, x_{12}^u] & \cdots & [x_{1n}^l, x_{1n}^m, x_{1n}^u] \\ \cdots & \cdots & \ddots & \cdots \\ \cdots & \cdots & \ddots & \cdots \\ [x_{m1}^l, x_{m1}^m, x_{m1}^u] & [x_{m2}^l, x_{m2}^m, x_{m2}^u] & \cdots & [x_{mn}^l, x_{mn}^m, x_{mn}^u] \end{bmatrix} \quad \text{رابطه ۱۳}$$

• گام دوم: نرمال سازی ماتریس تصمیم

فرآیند نرمال سازی موجب ایجاد ماتریسی می گردد که زمینه را برای مقایسه بهتر داده ها فراهم

می کند

(بالزنتیس، ۲۰۱۲) ماتریس تصمیم نرمال شده با نماد  $\tilde{X}^*$  نمایش داده شده و درایه های آن از

طریق روابط ۱۴ تا ۱۶ تعیین می گردد.

$$\tilde{X}_{ij}^* = (x_{ij}^{l*}, x_{ij}^{m*}, x_{ij}^{u*}) \text{ and } \forall i, j \quad \text{رابطه ۱۴}$$

$$x_{ij}^{l*} = \frac{x_{ij}^l}{\sqrt{\sum_{i=1}^m [(x_{ij}^l)^2 + (x_{ij}^m)^2 + (x_{ij}^u)^2]}} \quad \text{رابطه ۱۵}$$

$$x_{ij}^{m*} = \frac{x_{ij}^m}{\sqrt{\sum_{i=1}^m [(x_{ij}^l)^2 + (x_{ij}^m)^2 + (x_{ij}^u)^2]}} \quad \text{رابطه ۱۶}$$

$$x_{ij}^{u*} = \frac{x_{ij}^u}{\sqrt{\sum_{i=1}^m [(x_{ij}^l)^2 + (x_{ij}^m)^2 + (x_{ij}^u)^2]}} \quad \text{رابطه ۱۷}$$

• گام سوم: تشکیل ماتریس تصمیم نرمال شده موزون

در این گام ماتریس تصمیم نرمال شده موزون که با نماد  $\tilde{V}$  نمایش داده می شود، از طریق ضرب

ماتریس وزن  $W$  در ماتریس تصمیم نرمال شده  $\tilde{X}_{ij}^*$  از طریق روابط ۱۷ تا ۱۹ محاسبه می گردد.

$$\tilde{v}_{ij} = (v_{ij}^l, v_{ij}^m, v_{ij}^u) \quad \text{رابطه ۱۷}$$

$$v_{ij}^l = w_j x_{ij}^{l*} \quad \text{رابطه ۱۸}$$

$$v_{ij}^m = w_j x_{ij}^{m*} \quad \text{رابطه ۱۹}$$

$$v_{ij}^u = w_j x_{ij}^{u*}$$



• گام چهارم: محاسبه مقادیر عملکردی نرمال

در این گام مقادیر عملکردی نرمال شده گزینه‌ها با استفاده از تفاضل این مقادیر در معیارهای منفی<sup>۱</sup> از مقادیر معیارهای مثبت<sup>۲</sup> با توجه به نوع مسئله از طریق رابطه ۲۰ به دست می‌آیند.

رابطه ۲۰

$$\tilde{y}_i = \sum_{j=1}^g \tilde{v}_{ij} - \sum_{j=g+1}^n \tilde{v}_{ij}$$

$$\sum_{j=1}^g \tilde{v}_{ij} : \text{Benefit criteria for } 1, \dots, g \quad \sum_{j=g+1}^n \tilde{v}_{ij} : \text{Cost criteria for } g+1, \dots, n$$

• گام پنجم: غیرفازی‌سازی

از آنجا که مقادیر عملکردی نرمال شده، به شکل اعداد فازی مثلثی هستند، بایستی این مقادیر به شکل اعداد غیرفازی تبدیل شوند. این اعداد که به صورت<sup>۳</sup> BNP نمایش داده می‌شود از طریق رابطه ۲۱ قابل محاسبه است (بالزنتیس، ۲۰۱۲).

$$\tilde{y}_{ij} = (y_{ij}^l, y_{ij}^m, y_{ij}^u)$$

$$BNP_i(y_i) = \frac{(y_i^u - y_i^l) + (y_i^m - y_i^l)}{3} + y_i^l \quad \text{رابطه ۲۱}$$

مقادیر  $y_i$  محاسبه شده از بزرگ‌ترین تا کوچک‌ترین مقدار مبنای ارزیابی گزینه‌های مسئله در این روش می‌باشند.

روش نقطه مرجع فازی

رویکرد نقطه مرجع فازی، رویکردی است که بر پایه روش نسبی فازی توسعه یافته‌است. در این رویکرد، نقطه مرجع بیشینه و بهینه که با  $\tilde{x}^+$  نشان داده می‌شود، براساس نسبتی که در گام دوم روش نسبی فازی به دست آمد، محاسبه می‌شود. زامین مؤلفه فازی نقطه مرجع با  $\tilde{X}_j^+$  نمایش داده شده و برحسب مثبت یا منفی بودن معیار  $\lambda$  مطابق رابطه ۲۲ محاسبه می‌گردد.

1 . cost type criteria

2 . benefit type criteria

3 . Best Non-fuzzy Performance

$$\begin{cases} \bar{X}_j^+ = (\max_i x_{ij}^{l*}, \max_i x_{ij}^{m*}, \max_i x_{ij}^{u*}), j \leq g \\ \bar{X}_j^+ = (\min_i x_{ij}^{l*}, \min_i x_{ij}^{m*}, \min_i x_{ij}^{u*}), j > g \end{cases} \quad \text{رابطه ۲۲}$$

سپس تمام درایه‌های ماتریس تصمیم نرمال شده، مجدداً محاسبه شده و رتبه‌بندی نهایی بر مبنای فاصله هر گزینه با نقطه مرجع با معیار Min-Max که توسط چبیشف معرفی شده، انجام می‌شود (بالزنتیس و میسیوناس، ۲۰۰۳). معیار Min-Max از طریق رابطه ۲۳ تعریف می‌گردد.

$$\min_i (\max_j W_j \times d(\tilde{r}_j, \tilde{x}_{ij}^*)) \quad \text{رابطه ۲۳}$$

در این رابطه  $W_j$  نشان‌دهنده وزن معیار  $j$  ام بوده و مجموع وزن معیارهای مختلف برابر یک می‌باشد.

### فرم ضربی کامل فازی

در این روش مطلوبیت کلی گزینه  $i$  ام به شکل عدد بدون مقیاس از طریق رابطه ۲۴ محاسبه می‌شود.

$$\bar{U}_i' = \frac{\bar{A}_i}{\bar{B}_i} \quad \text{رابطه ۲۴}$$

در این رابطه  $\bar{A}_i = (A_{i1}, A_{i2}, A_{i3}) = \prod_{j=1}^g \tilde{x}_{ij}$   $i = 1, 2, \dots, m$  نشان‌دهنده ضرب عناصری از گزینه  $i$  ام است که مربوط به معیارهای مثبت بوده و باید بیشینه شوند. از سوی دیگر در مخرج کسر رابطه ۲۴ مقدار  $\bar{B}_i = (B_{i1}, B_{i2}, B_{i3}) = \prod_{j=g+1}^n \tilde{x}_{ij}$  نشان‌دهنده ضرب عناصری از گزینه  $i$  ام است که مربوط به معیارهای منفی بوده و باید کمینه شوند. در نهایت مطلوبیت کلی هر گزینه که با  $\bar{U}_i'$  نمایش داده می‌شود به صورت یک عدد فازی محاسبه شده و با استفاده از رابطه ۲۱ غیرفازی می‌شود. بر این اساس هرچه مقادیر BNP به‌دست آمده برای یک گزینه بیشتر باشد، رتبه آن بالاتر خواهد بود.

### روش مالتی موراً و تئوری تسلط<sup>۱</sup>

به‌منظور ترکیب نتایج سه روش نسبی، نقطه مرجع و فرم ضربی کامل، نظریه‌ای با عنوان نظریه تسلط،

توسط برآورد و همکارش (۲۰۱۱) مطرح گردید. این نظریه تعاریف و قواعد خاصی دارد که در ادامه به‌طور کامل تشریح شده‌است.

• **تسلط مطلق<sup>۱</sup>**: تسلط مطلق یک گزینه نسبت به همه گزینه‌ها در روش مالتی‌مورا به شکل (۱-۱-۱) نمایش داده شده و نشان می‌دهد این گزینه در هر سه روش رتبه اول را کسب کرده و به‌طور مطلق بهترین گزینه است.

• **تسلط عمومی<sup>۲</sup>**: تسلط عمومی به‌معنای اولویت بالاتر یک گزینه نسبت به گزینه دیگر در دو روش از سه روش مذکور می‌باشد. براین اساس اگر  $a P b$  به معنای اولویت  $a$  بر  $b$  باشد، با فرض اینکه  $a P b P c P d$  مثال‌های زیر شرایط تسلط عمومی را نشان می‌دهد.

– (d-a-a) تسلط عمومی دارد بر (c-b-b).

– (a-d-a) تسلط عمومی دارد بر (b-c-b).

– (a-a-d) تسلط عمومی دارد بر (b-b-c).

• **خاصیت تعدی<sup>۳</sup>**: براین اساس چنانچه  $a$  بر  $b$  و  $b$  بر  $c$  تسلط داشته باشد، آنگاه  $a$  بر  $c$  نیز تسلط دارد.

• **تسلط کلی**: در شرایطی که یک گزینه نسبت به گزینه دیگر در هر سه روش برتر باشد آنگاه نسبت به آن گزینه تسلط کلی دارد. به‌عنوان مثال (a-a-a) بر (b-b-b) تسلط کلی دارد.

• **برابری مطلق<sup>۴</sup>**: در شرایطی که دو گزینه در هر سه روش اولویت یکسانی بگیرند برابر مطلق هستند. به‌عنوان مثال (e-e-e) برای دو گزینه حاکی از برابری مطلق آن دو می‌باشد.

• **برابری جزئی**: چنانچه یک گزینه نسبت به گزینه دیگری در یک روش مغلوب، در روش دیگر غالب و در یک روش برابر باشد آنگاه دو گزینه برابر جزئی هستند. به‌عنوان مثال رتبه‌های (d-e-a) و (c-e-d) برای دو گزینه حاکی از برابری جزئی آن دو است.

• **چرخه نتایج<sup>۵</sup>**: علی‌رغم تمامی دسته‌بندی‌ها و تمایزاتی که قوانین فوق پدید می‌آورند، باز هم ممکن است در شرایطی چرخه نتیجه‌گیری ایجاد شود. به‌عنوان مثال گزینه (۱۴-۲۰-۱۱) A

1 . Absolute dominating

2 . generally dominating

3 . Transitiveness

4 . Absolute equability

5 . Circular reasoning

بر گزینه B (۱۴-۱۶-۱۵) تسلط عمومی دارد. همچنین گزینه (۱۴-۱۶-۱۵) بر گزینه C (۱۵-۱۹-۱۲) تسلط عمومی دارد. اما گزینه (۱۵-۱۹-۱۲) نیز تسلط عمومی بر گزینه (۱۴-۲۰-۱۱) A دارد. در این شرایط به همه گزینه‌هایی که در این چرخه حضور دارند رتبه یکسانی اختصاص می‌یابد.

نهایتاً با اعمال قوانین مذکور و در نظر گرفتن اهمیت یکسان برای هر سه روش گفته شده، رتبه‌ای که از طریق نظریه تسلط به هر گزینه اختصاص می‌یابد، رتبه نهایی آن گزینه می‌باشد.

### مورد مطالعه

صنایع هوایی به‌عنوان یک صنعت استراتژیک، اهمیت بالایی در میان کشورها دارد. از این رو این مقاله با هدف انتخاب روش پیش‌بینی مناسب در حوزه تولید موتور هواپیمای ایران ۱۴۰، تدوین شده‌است. ایران-۱۴۰ هواپیمایی کوتاه‌برد با دو موتور توربوپراپ می‌باشد که قادر به حمل ۵۲ مسافر، فرود در فرودگاه‌های خاکی و همچنین ۳۰۰۰ کیلومتر پرواز بدون سوخت‌گیری می‌باشد. این هواپیما می‌تواند برای حمل مسافر، بار یا هر دو مورد پیکربندی شود. فرآیند طراحی و ساخت این موتور، نیازمند انجام پژوهشی در خصوص پیش‌بینی تکنولوژی بوده‌است. بدین منظور، در این پروژه از رویکردهای تصمیم‌گیری چندشاخصه استفاده شده‌است، تا محتمل‌ترین و واقع‌گرایانه‌ترین نتیجه برای آن حاصل گردد. به‌منظور استفاده از نظرات خبرگان صنایع هوایی ایران در این مقاله، سعی شده‌است تا از نظرات تمامی افرادی که به‌صورت مستقیم در این پروژه درگیر بوده‌اند، استفاده شود. گروه خبرگان متشکل از هفت نفر از مدیران تیم پروژه و اعضای تیم طراحی می‌باشد که در جلسه‌ای مشترک و به صورت گروهی از نظرات آن‌ها استفاده شده‌است.

### تجزیه و تحلیل یافته‌ها

در نخستین مرحله پس از مشخص شدن شاخص‌ها و گزینه‌های تحقیق، وزن شاخص‌ها براساس نظر خبرگان و به‌صورت گام‌به‌گام با توجه به مراحل مذکور در روش SWARA محاسبه گردید. نتیجه فرایند مذکور در جدول ۳ نشان داده شده‌است.

جدول ۳. محاسبه وزن معیارها با استفاده از روش SWARA

وزن معیار	وزن اولیه	ضریب	اهمیت نسبی $S_j$	معیار	ردیف
$q_j = \frac{w_j}{\sum_j w_j}$	$w_j = \frac{w_{j-1}}{k_j}$	$k_j = s_j + 1$			
۰.۲۶۴۵	۱	۱	۰	C۱	۱
۰.۲۲۰۴	۰.۸۳۳۳۳۳۳۳۳	۱.۲	۰.۲	C۲	۲
۰.۱۶۹۵	۰.۶۴۱۰۲۵۶۴۱	۱.۳	۰.۳	C۳	۳
۰.۱۴۰۱	۰.۵۲۹۷۷۳۲۵۷	۱.۲۱	۰.۲۱	C۷	۴
۰.۰۹۷۳	۰.۳۶۷۸۹۸۰۹۵	۱.۴۴	۰.۴۴	C۵	۵
۰.۰۶۴۹	۰.۲۴۵۲۶۵۳۹۷	۱.۵	۰.۵	C۶	۶
۰.۰۴۳۲	۰.۱۶۳۵۱۰۲۶۵	۱.۵	۰.۵	C۴	۷

همانطور که در جدول ۳ ملاحظه می‌نمایید معیار (C۱) که در دسترس بودن داده‌ها بوده به‌عنوان مهم‌ترین معیار شناسایی شده و کم‌اهمیت‌ترین معیار از دیدگان خبرگان معیار C۴ (میزان مشابهت تکنولوژی) تعیین شده‌است.

حال در مرحله بعدی با هدف ارزیابی روش‌های پیش‌بینی تکنولوژی از خبرگان، خواسته شده تا روش‌های ارزیابی تکنولوژی مذکور را در هریک از هفت معیار C۱ تا C۷، براساس متغیرهای زبانی فازی جدول ۲، ارزیابی نمایند.

حال با کمک جدول ۲، متغیرهای زبانی فازی را به اعداد فازی مثلثی تبدیل نموده تا جدول تصمیم اولیه تشکیل شود. سپس با کمک روابط شماره ۱۴ تا ۱۶ ماتریس تصمیم اولیه را نرمال‌سازی می‌کنیم. براساس رویکرد نقطه مرجع، ابتدا فاصله موزون هر یک از درایه‌های ماتریس تصمیم تجمیع شده نرمال، از نقطه مرجع متناظر با هر معیار براساس رابطه شماره ۲۳، محاسبه شده، سپس برای هر گزینه بیشترین فاصله از نقطه مرجع در تمامی معیارهای متناظر با هر گزینه محاسبه شده و در نهایت گزینه‌ای که مقدار مذکور برای آن از مقدار متناظر دیگر گزینه‌ها کمتر باشد به‌عنوان گزینه برتر انتخاب خواهد شد. حال با هدف محاسبه فواصل درایه‌های هر گزینه با نقاط مرجع متناظر با معیارهای موجود در ماتریس تصمیم تجمیع شده نرمال، از رابطه ۲۳ کمک گرفته و نتایج آن را در

وزن معیارها که با استفاده از روش SWARA محاسبه شده، ضرب می‌شود. فواصل موزون درایه‌های ماتریس تجمیع شده نرمال از نقاط مرجع متناظر با معیارها به شکل اعداد فازی محاسبه شده بنابراین با هدف مقایسه این اعداد با یکدیگر از رابطه شماره ۲۱ استفاده کرده و اعداد را غیرفازی نموده و برای هر گزینه بیشترین فاصله موزون از نقطه مرجع در میان تمامی معیارها محاسبه می‌کنیم. حال در میان مقادیر بیشینه به دست آمده، گزینه‌ای که کمترین مقدار بیشینه را در اختیار دارد به عنوان گزینه برتر در رویکرد نقطه مرجع انتخاب می‌نماییم. مطابق با این منطق رتبه دیگر گزینه‌ها را نیز محاسبه می‌کنیم.

#### جدول ۴. ارزیابی خبرگان از روش‌های پیش‌بینی تکنولوژی به تفکیک معیارها

##### بر مبنای متغیرهای زیانی فازی

C۷	C۶	C۵	C۴	C۳	C۲	C۱	کد معیارها	کد گزینه
۰.۱	۰.۱	۰.۱	۰	۰.۲	۰.۲	۰.۳	وزن معیارها	
H	ML	VH	VH	VH	M	ML	Tech trend analysis	A۱
H	L	M	VH	M	M	M	Growth curves	A۲
H	M	ML	MH	MH	H	VL	Fisher-Pry	A۳
VH	ML	MH	MH	MH	H	ML	Analogy analysis	A۴
VH	L	MH	MH	M	H	ML	Morphological matrices	A۵
MH	ML	MH	H	ML	H	H	Patent Analysis	A۶
MH	M	MH	MH	VH	MH	MH	Scanning monitoring tracking	A۷
MH	L	VH	VH	H	H	H	Scenario writing	A۸
H	ML	H	H	MH	H	MH	Monte Carlo models	A۹
H	ML	H	H	MH	VH	VH	Delphi	A۱۰
ML	MH	ML	ML	MH	MH	VH	Relevance trees	A۱۱
VH	ML	MH	M	H	MH	ML	Cross-impact analysis	A۱۲
VH	M	M	MH	M	H	VH	The Case study method	A۱۳

حال با هدف محاسبه رتبه گزینه‌ها در رویکرد نسبتی ابتدا وزن مقادیر درایه‌های ماتریس تصمیم تجمیع شده نرمال را در وزن متناظر با هر معیار، مطابق با روابط ۱۷، ۱۸، ۱۹ ضرب نموده و در ادامه امتیاز هر گزینه را در رویکرد نسبتی مطابق با رابطه شماره ۲۰ محاسبه نموده که در جدول ۵ امتیاز هر گزینه را هم به صورت فازی و هم پس از غیرفازی کردن توسط رابطه ۲۱، نمایش داده‌ایم. در انتها رتبه هر گزینه بر مبنای امتیاز به دست آمده شده در ستون نهایی جدول ۵ قابل مشاهده است.

جدول ۵. محاسبات و رتبه بندی گزینه‌ها در رویکرد نسبتی

رتبه	$BNP_i$	$\tilde{y}_i$	گزینه‌ها
۸	۰.۰۹۵۴۷	(۰.۰۷۰, ۰.۱۰۰, ۰.۱۱۷)	A <sub>۱</sub>
۱۲	۰.۰۷۴۶۳	(۰.۰۴۷, ۰.۰۷۵, ۰.۱۰۲)	A <sub>۲</sub>
۱۳	۰.۰۷۰۲	(۰.۰۴۸, ۰.۰۶۷, ۰.۰۹۶)	A <sub>۳</sub>
۹	۰.۰۸۷۹۷	(۰.۰۵۶, ۰.۰۸۷, ۰.۱۲۱)	A <sub>۴</sub>
۱۱	۰.۰۷۷۳۴	(۰.۰۴۶, ۰.۰۷۶, ۰.۱۱۰)	A <sub>۵</sub>
۷	۰.۱۱۵۹	(۰.۰۸۵, ۰.۱۱۷, ۰.۱۴۵)	A <sub>۶</sub>
۴	۰.۱۲۴۰۹	(۰.۰۹۷, ۰.۱۲۵, ۰.۱۵۰)	A <sub>۷</sub>
۲	۰.۱۳۸۱۸	(۰.۱۱۰, ۰.۱۴۱, ۰.۱۶۴)	A <sub>۸</sub>
۶	۰.۱۱۷۳۴	(۰.۰۸۷, ۰.۱۱۷, ۰.۱۴۷)	A <sub>۹</sub>
۱	۰.۱۴۰۱۶	(۰.۱۱۷, ۰.۱۴۶, ۰.۱۵۷)	A <sub>۱۰</sub>
۳	۰.۱۳۳۸۹	(۰.۱۰۸, ۰.۱۳۷, ۰.۱۵۷)	A <sub>۱۱</sub>
۱۰	۰.۰۸۵۲۸	(۰.۰۵۳, ۰.۰۸۴, ۰.۱۱۸)	A <sub>۱۲</sub>
۵	۰.۱۲۰۷۶	(۰.۰۹۴, ۰.۱۲۳, ۰.۱۴۶)	A <sub>۱۳</sub>

حال در گام نهایی با منظور محاسبه امتیاز گزینه‌ها در رویکرد ضربی کامل، از رابطه ۲۴ کمک گرفته و نتایج به دست آمده را در جدول ۶ به نمایش می‌گذاریم.

جدول ۶. محاسبات و رتبه‌بندی گزینه‌ها در رویکرد ضربی کامل

رتبه	$BNP_i$	$\tilde{U}'_i$	$\tilde{B}_i$	$\tilde{A}_i$	گزینه‌ها
۸	۰,۲۱۳۰۴۹۵۹	(۰,۱۵۶,۰,۲۲۲,۰,۲۶۱)	(۰,۷۵۱,۰,۷۷۷,۰,۷۹۶)	(۰,۱۱۷,۰,۱۷۲,۰,۲۰۸)	A۱
۱۲	۰,۱۴۶۶۹۲۳۳	(۰,۰,۱۹۴,۰,۲۴۶)	(۰,۷۵۱,۰,۷۷۷,۰,۷۹۶)	(۰,۰,۱۵۱,۰,۱۹۵)	A۲
۱۳	۰,۰۶۴۷۸۹۱۸	(۰,۰,۰,۱۹۴)	(۰,۷۵۱,۰,۷۷۷,۰,۷۹۶)	(۰,۰,۰,۱۵۵)	A۳
۹	۰,۲۱۱۰۹۸۳۱	(۰,۱۴۸,۰,۲۱۳,۰,۲۷۱)	(۰,۷۷۷,۰,۷۹۶,۰,۷۹۶)	(۰,۱۱۵,۰,۱۷۰,۰,۲۱۶)	A۴
۱۱	۰,۱۴۹۳۳۳۰۲	(۰,۰,۱۹۴,۰,۲۵۴)	(۰,۷۷۷,۰,۷۹۶,۰,۷۹۶)	(۰,۰,۱۵۴,۰,۲۰۲)	A۵
۶	۰,۲۵۳۸۳۹۳۲	(۰,۱۹۴,۰,۲۶۰,۰,۳۰۸)	(۰,۷۲۲,۰,۷۵۱,۰,۷۷۷)	(۰,۱۴۰,۰,۱۹۵,۰,۲۳۹)	A۶
۳	۰,۲۷۸۶۶۰۳۴	(۰,۲۳۳,۰,۲۸۱,۰,۳۲۲)	(۰,۷۲۲,۰,۷۵۱,۰,۷۷۷)	(۰,۱۶۸,۰,۲۱۱,۰,۲۵۰)	A۷
۷	۰,۲۱۵۳۸۴۱۶	(۰,۰,۳۰۲,۰,۳۴۴)	(۰,۷۲۲,۰,۷۵۱,۰,۷۷۷)	(۰,۰,۲۲۷,۰,۲۶۷)	A۸
۴	۰,۲۶۸۱۷۱۳۶	(۰,۲۱۶,۰,۲۷۰,۰,۳۱۹)	(۰,۷۵۱,۰,۷۷۷,۰,۷۹۶)	(۰,۱۶۲,۰,۲۰۹,۰,۲۵۴)	A۹
۱	۰,۳۰۲۶۴۸۵۳	(۰,۲۶۱,۰,۳۱۳,۰,۳۳۴)	(۰,۷۵۱,۰,۷۷۷,۰,۷۹۶)	(۰,۱۹۶,۰,۲۴۳,۰,۲۶۶)	A۱۰
۲	۰,۲۹۳۶۰۵۰۶	(۰,۲۵۱,۰,۲۹۸,۰,۳۳۲)	(۰,۶۱۶,۰,۶۸۴,۰,۷۲۲)	(۰,۱۵۴,۰,۲۰۴,۰,۲۴۰)	A۱۱
۱۰	۰,۲۰۶۱۶۲۱۲	(۰,۱۴۴,۰,۲۰۸,۰,۲۶۶)	(۰,۷۷۷,۰,۷۹۶,۰,۷۹۶)	(۰,۱۱۲,۰,۱۶۶,۰,۲۱۲)	A۱۲
۵	۰,۲۶۶۵۴۹۶۲	(۰,۲۱۸,۰,۲۷۰,۰,۳۱۱)	(۰,۷۷۷,۰,۷۹۶,۰,۷۹۶)	(۰,۱۶۹,۰,۲۱۵,۰,۲۴۸)	A۱۳

با توجه به رتبه‌بندی گزینه‌ها در سه رویکرد نقطه مرجع، نسبتی و ضربی کامل و با استفاده از قوانین تئوری تسلط که در بخش قبل بدان اشاره شده رتبه نهایی گزینه‌ها در جدول ۷ به شرح زیر به نمایش درآمده‌است.

همانطور که داده‌های ستون «رتبه نهایی بر مبنای تئوری تسلط» در جدول ۷ نشان می‌دهد، روش دلفی به‌عنوان بهترین روش پیش‌بینی تکنولوژی در حوزه موتور هواپیمای ایران ۱۴۰ شناسایی شده‌است. در تحلیل این انتخاب می‌توان به عملکرد متمایز این روش نسبت به سایر روش‌ها در معیارهای در دسترس بودن داده‌ها و اعتبار داده‌ها اشاره نمود. که با توجه به وزن بالای این دو معیار،



این گزینه مزیت نسبی بیشتری نسبت به سایر گزینه‌ها کسب نموده‌است. این بدان دلیل است که از یک‌سو بر عکس روش‌های داده‌محور مانند تحلیل روند، در این حوزه دسترسی به خبرگان داخلی امکان‌پذیر بوده و مسائلی مانند عدم دسترسی به داده‌های پتنت و غیره وجود ندارد و از سوی دیگر به دلیل وابستگی روش به خبرگان، اعتبار این روش بیشتر از روش‌های دیگر است. همچنین در سایر معیارها نیز جزو بهترین گزینه‌ها در میان گزینه‌های فوق‌الذکر می‌باشد.

جدول ۷. رتبه‌بندی نهایی گزینه‌ها بر مبنای تئوری تسلط

گزینه‌ها	رتبه در روش نقطه مرجع	رتبه در روش نسبیتی	رتبه در روش ضربی کامل	رتبه نهایی بر مبنای تئوری تسلط
A <sub>1</sub>	۹	۸	۸	۸
A <sub>2</sub>	۸	۱۲	۱۲	۱۲
A <sub>3</sub>	۱۰	۱۳	۱۳	۱۳
A <sub>4</sub>	۹	۹	۹	۹
A <sub>5</sub>	۹	۱۱	۱۱	۱۱
A <sub>6</sub>	۷	۷	۶	۷
A <sub>7</sub>	۵	۴	۳	۴
A <sub>8</sub>	۱	۲	۷	۲
A <sub>9</sub>	۶	۶	۴	۶
A <sub>10</sub>	۲	۱	۱	۱
A <sub>11</sub>	۳	۳	۲	۳
A <sub>12</sub>	۹	۱۰	۱۰	۱۰
A <sub>13</sub>	۴	۵	۵	۵

### نتیجه‌گیری

تغییرات تکنولوژی به‌وجودآمده در دنیای امروز، سازمان‌های فعال در حوزه‌های وابسته به تکنولوژی را بر آن داشته‌است تا نگاه دقیقی به آینده و تغییرات آن داشته باشند. این موضوع باعث شده تا استفاده از روش‌های مختلف پیش‌بینی تکنولوژی، به‌عنوان ابزاری برای این کار استفاده شود. انتخاب

ابزار مناسب برای پیش‌بینی تکنولوژی، یکی از تصمیمات بسیار مهم برای دستیابی به نتایج دقیق و واقع‌گرایانه می‌باشد. بدین منظور این مقاله با هدف انتخاب روش مناسب جهت پیش‌بینی تکنولوژی موتور هواپیمای ایران ۱۴۰ تدوین شده‌است. نظر به تعدد معیارهای مؤثر بر این انتخاب و تفاوت میزان وزن این معیارها در انتخاب روش مناسب پیش‌بینی تکنولوژی، تحقیقات قبلی از روش‌های تصمیم‌گیری چندشاخصه استفاده نموده‌اند. بر همین اساس در مقاله کنونی نیز با لحاظ ویژگی‌های تکنولوژی و شرایط واقعی مسئله، ترکیب روش‌های تصمیم‌گیری چندشاخصه SWARA و Fuzzy MULTIMURA به ترتیب به منظور محاسبه میزان اهمیت هر یک از معیارهای احصاء شده و انتخاب روش مناسب مورد استفاده قرار گرفته‌است. بر اساس مرور پیشینه تحقیق و در قالب روش گروه کنونی نهایتاً هفت معیار اصلی و ۱۳ روش پیش‌بینی تکنولوژی برای این پژوهش در نظر گرفته شده‌است. نتایج حاصل از این پژوهش نشان می‌دهد که مناسب‌ترین روش برای پیش‌بینی در این مورد مطالعاتی، روش دلفی می‌باشد. می‌توان بیان نمود که علت اصلی وجود مزیت این روش نسبت به سایر روش‌ها، کسب وزن بالای امتیاز این روش در معیارهای C۱ (دسترس‌پذیری به داده‌های موردنیاز) و C۲ (میزان اعتبار داده‌ها) می‌باشد. علاوه بر روش دلفی، روش سناریونگاری و روش درخت وابستگی نیز در اولویت دوم و سوم قرار دارند.

نمود توان شناسایی و اجرای برخی روش‌های پیش‌بینی تکنولوژی موتور هواپیمای ۱۴۰، عدم دسترسی به داده‌های ترندهای جهانی تولید هواپیما (از جمله تحلیل پتنت‌ها که خود با مشکلاتی از لحاظ علم دسترسی و بررسی پتنت‌ها همراه بود) و غیره برخی از مواردی است که سبب شده تا خبرگان نهایتاً روش دلفی را برای پیش‌بینی تکنولوژی در حوزه موتور هواپیمای ۱۴۰ ارائه نمایند.

بهره‌گیری از رویکرد پیشنهادی به منظور انتخاب روش مناسب پیش‌بینی تکنولوژی پیش از شروع فاز ساخت سبب خواهد شد تا هزینه‌ها کاهش یافته و از منابع موجود استفاده بهینه صورت گیرد. با توجه به اهمیت محاسبه شده برای معیارها، در این انتخاب باید نخست دو معیار دسترس‌پذیری به داده‌های موردنیاز و میزان اعتبار داده‌ها بررسی شده و سپس معیارهای دیگر مدنظر قرار گیرند. با توجه به اینکه خبرگان در خصوص بخش قابل توجهی از داده‌های تصمیم‌گیری ارائه شده قطعیت کامل نداشته‌اند، پیشنهاد می‌شود در تحقیقات آتی از روش‌های توسعه یافته تصمیم‌گیری که از مجموعه‌های فازی مردد استفاده می‌نمایند بهره‌گیری شود. این موضوع به ویژه در شرایطی که برخی خبرگان در خصوص تمام روش‌های پیش‌بینی تکنولوژی دانش کافی نداشتند ضرورت بیشتری پیدا می‌نماید.

## منابع

- Acar, Y., & Gardner, E. (2012). Forecasting method selection in a global supply chain. *International Journal of Forecasting*, 28(4), 842-848.
- Akkaya, G., Turanoğlu, B., & Öztaş, S. (2015). An integrated fuzzy AHP and fuzzy MOORA approach to the problem of industrial engineering sector choosing, *Expert Systems with Applications*, 42(24), 9565-9573.
- Akyuz, E., & Celik, E. (n.d.).(2015) A fuzzy DEMATEL method to evaluate critical operational hazards during gas freeing process in crude oil tankers. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 38, 243-253.
- Alimardani, M., Zolfani, S. H., Aghdaie, M. H., & Tamošaitienė, J. (2013). A Novel Hybrid SWARA and VIKOR Methodology for Supplier Selection in an Agile Environment. *Technological and Economic Development of Economy*, 19(3), 533–548.
- Asmus, J., Bonner, C., Esterhay, D., Lechner, A., & Rentfrow, C. (Retrieved April 2005). Instructional design technology trend analysis. 20.
- Baležentis, A. B. (2012). Personnel selection based on computing with words and fuzzy MULTIMOORA. *Expert Systems with applications*, 39(9), 7961-7967.
- Baležentis, T., Misiunas, A., & Baležentis, A. (2013). Efficiency and productivity change across the economic sectors in Lithuania (2000-2010): the dea-MULTIMOORA approach. *Technological and Economic Development of Economy*, 19(1), 191-213.
- Bartusková, T., Papalová, M., & Kresta, A. (2015). Selection of a Forecasting Method: Analytical Hierarchy Process Approach. *Scientific Papers of the University of Pardubice*, 17.
- Brauers, W. K., & Zavadskas, E. (2012). Robustness of MULTIMOORA: A method for multi-objective optimization. *Informatica*, 23(1), 1-25.
- Brauers, W. K., & Zavadskas, E. K. (2006). The MOORA method and its application to privatization in a transition economy. *Control and Cybernetics*, 35(2), 445–469.
- Brauers, W. K., & Zavadskas, E. K. (2012). A multi-objective decision support system for project selection with an application for the Tunisian textile industry. *E+ M Ekonomie a Management*, 1, 28.
- Chen, Y. H., Chen, C. Y., & Lee, S. C. (2011). Technology forecasting and patent strategy of hydrogen energy and fuel cell technologies. *International Journal of Hy-*

- drogen Energy*, 36(12), 6957-6969.
- Cheng, A. C., Chen, C. J., & Chen, C. Y. (2008). A fuzzy multiple criteria comparison of technology forecasting methods for predicting the new materials development. *Technological Forecasting and Social Change* 75.1, 75(1), 131-141.
  - Cho, Y., & Daim, T. (2013). Technology forecasting methods. In *Research and Technology Management in the Electricity Industry*. Springer London.
  - Chong, S., Chen, Z., Huiqin, F., & Jian, H. (2002). Analysis of development trend of computer monitoring and control technology for hydropower plants. *Dam Observation and Geotechnical Tests*, 6.
  - Christensen, C. (2013). The innovator's dilemma: when new technologies cause great firms to fail. *Harvard Business Review Press*.
  - Chu, C.-H., & Widjaja, D. (1994). Neural network system for forecasting method selection. *Decision Support Systems*, 12(1), 13-24.
  - Coates, V., Farooque, M., Klavans, R., Lapid, K., Linstone, H. A., Pistorius, C., & Porter, A. L. (2001). On the future of technological forecasting. *Technological forecasting and social change*, 67(1), 1-17.
  - Dehnavi, A., Aghdam, I. N., Pradhan, B., & Varzandeh, M. H. (2015). A new hybrid model using step-wise weight assessment ratio analysis (SWARA) technique and adaptive neuro-fuzzy inference system (ANFIS) for regional landslide hazard assessment in Iran. *Catena*, 135, 122-148.
  - Demras, E., & Anagun, A. (2006). Forecasting method selection for capacity planning in service systems. *ESK ŞEHİR OSMANGAZ ÜNİVERSİTESİ*, 135.
  - Eto, H. (2003). The suitability of technology forecasting/foresight methods for decision systems and strategy: A Japanese view. *Technological Forecasting and Social Change*, 70(3), 231-249.
  - Flores, B., Olson, D., & Pearce, S. (1993). Use of cost and accuracy measures in forecasting method selection: a physical distribution example. *THE INTERNATIONAL JOURNAL OF PRODUCTION RESEARCH* 31.1, 31(1), 139-160.
  - Gabor, D. (1963). *Inventing the Future*, Alfred A. Secker & Warburg, 663.
  - Gilmer, G. H., Huang, H., de la Rubia, T. D., Dalla Torre, J., & Baumann, F. (2000). Lattice Monte Carlo models of thin film deposition. *Thin Solid Films*, 365(2), 189-200.

- Gomm, R., Hammersley, M., & Foster, P. (2000). Case study method: Key issues, key texts. Sage.
- Hashemkhani Zolfani, S., & Bahrami, M. (2014). Investment prioritizing in high tech industries based on SWARA-COPRAS approach. *Technological and Economic Development of Economy*, 20(3), 534-553.
- Hirsch, R. L. (1986). Reorienting an industrial research laboratory. *Research Management*, 29(1), 26-30.
- İntepe, G., Bozdog, E., & Koc, T. (2013). The selection of technology forecasting method using a multi-criteria interval-valued intuitionistic fuzzy group decision making approach. *Computers & Industrial Engineering*, 65(2), 277-285.
- Karande, P., & Chakraborty, S. (2012). Application of multi-objective optimization on the basis of ratio analysis (MOORA) method for materials selection. *Materials & Design*, 37, 317-324.
- Keršulienė, V., & Turskis, Z. (2011). Integrated fuzzy multiple criteria decision making model for architect selection. *Technological and Economic Development of Economy*, 17(4), 645-666.
- Keršulienė, V., Zavadskas, E. K., & Turskis, Z. (2010). Selection of Rational Dispute Resolution Method by Applying New Step-wise Weight Assessment Ratio Analysis (SWARA). *Journal of Business Economics and Management*, 11(2), 243-258.
- Kohlbeck, M. (2005). Reporting earnings at summer Technology-A capstone case involving intermediate Accounting Topics. *Issues in Accounting Education Teaching Notes*, 20(2), 35-46.
- Kumar, S., & Hsu, C. (1988). An expert system framework for forecasting method selection." System Sciences, 1988. Vol. III. Decision Support and Knowledge Based Systems Track. In *System Sciences*, 1988. Vol. III. Decision Support and Knowledge Based Systems Track, *Proceedings of the Twenty-First Annual Hawaii International Conference on* (Vol. 3, pp. 86-95). IEEE.
- Lee, S., Kim, S., Sohn, E., & Kang, J. (2003). Technology trend analysis of chitosan. *Journal of Chitin and Chitosan*, 8(4), 193-201.
- Levary, R., & Han, D. (1995). Choosing a technological forecasting method. *INDUSTRIAL MANAGEMENT-CHICAGO THEN ATLANTA*, 37, 14.
- Linstone, H. A., & Turoff, M. (. (1975). The Delphi method: Techniques and applica-

tions (Vol. 29). Reading, MA: Addison-Wesley.

- Liu, H. C., You, J. X., Lu, C., & Chen, Y. Z. (2015). Evaluating health-care waste treatment technologies using a hybrid multi-criteria decision making model. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 41, 932-942.
- Magruk, A. (2011). Innovative classification of technology foresight methods. *Technological and Economic Development of Economy*, 17(4), 700-715.
- Martin, B. (2010). The origins of the concept of 'foresight' in science and technology: An insider's perspective. *Technological Forecasting and Social Change*, 77(9), 1438-1447.
- Martino, J. (1993). *Technological forecasting for decision making*. McGraw-Hill, Inc.
- Meade, N., & Islam, T. (1998). Technological forecasting—Model selection, model stability, and combining models. *Management Science*, 44(8), 1115-1130.
- Miller, P., & Swinehart, K. (2010). Technological forecasting: a strategic imperative. *JGBM*, 6(2), 1-5.
- Mishra, S., & et al. (2002). Matching of technological forecasting technique to a technology. *Technological Forecasting and Social Change* 69.1.
- Mishra, S., Deshmukh, S. G., & Vrat, P. (2002). Matching of technological forecasting technique to a technology. *Technological Forecasting and Social Change*, 69(1), 1-27.
- Morlidge, S., & Player, S. (2010). *Future ready: How to master business forecasting*. John Wiley & Sons.
- Nute, D., Mann, R., & Brewer, B. (1988). Using defeasible logic to control selection of a business forecasting method. In System Sciences, 1988. Vol. III. Decision Support and Knowledge Based Systems Track, *Proceedings of the Twenty-First Annual Hawaii International Conference on (Vol. 3, pp. 437-444)*. IEEE.
- Popper, R. (2008). *The handbook of technology foresight: concepts and practice*. Edward Elgar Publishing.
- Porter, A., & Xu, H. (1990). Cross-impact analysis. *Project Appraisal*, 5(3), 186-188.
- Reger, G. (2001). Technology foresight in companies: from an indicator to a network and process perspective. *Technology Analysis & Strategic Management*, 13(4), 533-553.

- Roberts, E. B. (1969). Exploratory and normative technological forecasting: a critical appraisal. *Technological Forecasting*, 1(2), 113-127.
- Salo, A., Gustafsson, T., & Ramanathan, R. (2003). Multicriteria methods for technology foresight. *Journal of Forecasting*, 22(2-3), 235-255.
- Sarfaraz, H. Z., Zavadskas, E. K., & Turskis, Z. (2013). Design of Products with Both International and Local Perspectives based on Yin-Yang Balance Theory and Swara Method. *Economic Research*, 26(2), 451-466.
- Schnaars, S. (2009). Forecasting the future of technology by analogy—an evaluation of two prominent cases from the 20th century. *Technology in Society*, 31(2), 187-195.
- Schoemaker, P. J. (1995). Scenario planning: a tool for strategic thinking. *Sloan management review*, 36(2), 25.
- Slocum, M., & Lundberg, C. (2001). Technology forecasting: from emotional to empirical. *Creativity and Innovation Management*, 10(2), 139-152.
- Soy, S. (2015). The case study as a research method.
- Stout, D. (1995). Technology foresight—a view from the front. *Business Strategy Review*, 6(4), 1-16.
- Su, C.-H., & Cheng, C.-H. (2016). A hybrid fuzzy time series model based on ANFIS and integrated nonlinear feature selection method for forecasting stock. *Neurocomputing*, 205, 264-273.
- Swager, W. L. (1973). Technological forecasting in planning: A method of using relevance trees. *Business Horizons*, 16(1), 37-44.
- Tseng, Y. H., Lin, C. J., & Lin, Y. I. (2007). Text mining techniques for patent analysis. *Information Processing & Management*, 43(5), 1216-1247.
- Turoff, M. (1972). An alternative approach to cross impact analysis. *Technological forecasting and social change*, 3, 309-339.
- ULUKÖY, M., & VATANSEVER, K. (2013). Kurumsal Kaynak Planlamasi Sistemlerinin Bulanik AHP ve Bulanik MOORA Yöntemleriyle Seçimi: Üretim Sektöründe Bir Uygulama. *Celal Bayar Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 11(2), 274-293.
- Vanston, J. H. (2003). Better forecasts, better plans, better results. *Research-Technology Management*, 46(1), 47-58.
- Wissema, J. G. (1976). Morphological analysis: its application to a company TF investigation. *Futures*, 8(2), 146-153.

- Zadeh, L. A. (1965). Fuzzy sets. *Information and control*, 8(3), 338-353.
- Zolfani, S. H., Aghdaie, M. H., Derakhti, A., Zavadskas, K. E., & Varzandeh, M. H. (2013). Decision making on business issues with foresight perspective; an application of new hybrid MCDM model in shopping mall locating. *Expert Systems with Applications*, 40(17), 7111–7121.