

تعیین اولویت کاربردهای فناوری نانو در بخش صنایع خودرو

با مدل تصمیم‌گیری فازی ترکیبی

محمود مدیری^۱

مریم میرزایی خاکی^۲

حامد کریمی شیرازی*^۳

چکیده

فناوری نانو کاربردهای گوناگونی در صنایع خودرو دارد که کسب آن‌ها منبع اصلی مزیت رقابتی است. تصمیم‌گیرندگان برای انتخاب فناوری با اثرات اقتصادی و صنعتی با عواملی از قبیل هزینه، ریسک، پتانسیل سود و منابع مواجه هستند. و از سوی دیگر افزایش تعداد و توسعه‌ی مجموعه‌ای از فناوری نانو در بخش صنایع خودرو به دشواری انتخاب این فناوری‌ها منجر شده که کمک به سرمایه‌گذاران جهت اولویت آن‌ها برای کسب سهم اندکی از آن بازار و توسعه‌ی این فناوری‌ها اهمیت دارد. بنابراین، انتخاب فناوری یک مسئله تصمیم‌گیری چندمعیاره است و نیاز است که فناوری‌ها به دقت ارزیابی شوند. در این پژوهش مهم‌ترین کاربردهای فناوری نانو در بخش صنایع خودرو مورد مطالعه قرار گرفت و با شناسایی معیارهای مؤثر در انتخاب آن‌ها، از روش‌های تصمیم‌گیری فازی و با ترکیبی از DEMATEL, ANP براساس DEMATEL (DANP) و VIKOR استفاده شد. نتایج نشان داد که معیار «شایستگی فناوری» تأثیرگذارترین و «پتانسیل توسعه فناوری» تأثیرپذیرترین و معیار «ریسک مالی» بیشترین اهمیت را برای انتخاب فناوری دارد و کاربرد فناوری نانو در بخش «مواد نانوساختار/نانوکامپوزیت/نانوذرات» و «پوشش کاربردی و روانکاری» به ترتیب اولویت اول و دوم را کسب کردند. این نتایج می‌تواند به تصمیم‌گیرندگان در بهبود اولویت‌ها، سرمایه‌گذاری و برنامه‌ریزی استراتژیک کمک کند.

واژه‌های کلیدی: فناوری نانو، صنایع خودرو، ANP، MCDM براساس DEMATEL (DANP), VIKOR.

۱. استادیار گروه مدیریت صنعتی، واحد تهران جنوب، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

۲. دانشجوی کارشناس ارشد مدیریت صنعتی، واحد تهران جنوب، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

* نویسنده عهده دار مکاتبات: Hamedkarimishirazi@yahoo.com

۳. باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان، واحد رشت، دانشگاه آزاد اسلامی، رشت، ایران

۱. مقدمه

فناوری نانو کاربردهای زیادی در زمینه مواد پیشرفته، بیوفناوری و داروسازی، الکترونیک، ابزار علمی، و فرایندهای تولید دارد (سوزر^۱ و همکاران، ۲۰۱۲). و انتخاب از فناوری‌های کلیدی، این شرکت‌ها و کشورها را برای ایجاد بهره‌وری خود در یک محیط رقابتی کمک می‌کند (شین^۲ و همکاران، ۲۰۱۱). بنابراین هر کشوری از جمله کشور ایران با هر درجه از توسعه‌یافتگی، می‌تواند با ایجاد بستر مناسب، زمینه ورود به فناوری‌های نوین و استفاده از فرصت‌های رقابتی مرتبط با آن‌ها را فراهم سازد (الزامی، ۱۳۸۵). با توجه به رشد روزافزون و پیشرفت صنعت خودروسازی استفاده از فناوری‌های نوین نیز در این صنعت از اهمیت فراوانی برخوردار است و نانوفناوری به‌عنوان یکی از مهم‌ترین عوامل در این زمینه حائز اهمیت است (آسماطلو^۳ و همکاران، ۲۰۱۳) به‌طورمثال یکی از اصلی‌ترین موضوعات فناوری نانو، ساخت مواد با خواص جدید است. این مواد ارزش‌افزوده و کارایی بسیار بالایی در تمام صنایع خواهد داشت که صنعت خودرو نیز از آن مستثنی نیست (پرستینگ^۴ و همکاران، ۲۰۰۳). بنابراین شرکت‌های خودروسازی به کارشناس طراحی فناوری و استراتژی جهت حفظ مزیت‌های رقابتی خود یا درک فرصت‌های جدید نیاز دارند (شین و همکاران، ۲۰۱۱). درحالی‌که یکی از زمینه‌های تصمیم‌گیری چالش‌برانگیز برای انتخاب فناوری، مدیریت رویدادهای شرکت است (شین و همکاران، ۲۰۱۱).

کاربرد فناوری‌های نوین از جمله فناوری نانو در صنایع خودرو برای تولید خودروهای با کیفیت فنی و ضریب ایمنی بالاتر و همچنین جذب بازار این محصول همواره مورد توجه خودروسازان بوده و هست (پورصالحی، ۱۳۸۷). صنعت خودرو از طرفی در معرض فشارهای ناشی از قیمت سوخت و مسائل ایمنی و از طرف دیگر به شدت تحت تأثیر سلاقی و تنوع درخواست مشتریان برای مدل‌های جدید خودرو است. بنابراین تمایل به ورود فناوری‌های نوین در این صنعت وجود دارد. در ایران نیز خودروسازی و صنایع وابسته به آن از مهم‌ترین صنایع کشور به‌شمار می‌رود. با رشد روزافزون این صنعت و تقاضا برای آن، توسعه‌ی این بخش از صنعت ضروری به نظر می‌رسد و فناوری نانو می‌تواند کمک بسیار بزرگی در ایجاد تحولات اقتصادی و امکان رقابت با محصولات خارجی کند.

1 . Sozer

2 . Shen

3 . Asmatulu

4 . Presting

آنچه که از کاربرد فناوری نانو در بخش صنایع خودروسازی اهمیت دارد می‌توان به کاهش قیمت تمام‌شده محصولات، بهینه‌سازی مصرف انرژی و بازدهی بیشتر، استحکام بدنه خودرو، ایمنی خودرو و زیست‌سازگاری محصولات اشاره کرد (پورصالحی، ۱۳۸۷). که شامل کاربردهای متنوعی از فناوری نانو است.

با وجود فناوری نانو متنوع در صنعت خودرو، سرمایه‌گذاری روی تمام این فناوری‌ها به دلیل محدودیت اقتصادی-اجتماعی، انسانی، فناوری، محیط‌زیست و وجود برخی الزامات برای تولید و عرضه خودرو امری غیرممکن است. از این‌رو اولویت‌بندی فناوری نانو در بخش صنایع خودرو جهت سرمایه‌گذاری و همچنین مدیریت منابع مالی، انسانی و زمان صرف‌شده و تخصیص میزان مناسبی هر کدام از منابع به هر فناوری و بهینه‌سازی آن از اهمیت خاصی برخوردار است.

حال مسئله‌ی مهم این است که شرکت‌های خودروسازی که قصد سرمایه‌گذاری در زمینه کاربردهای فناوری نانو در صنعت خودرو و همچنین در محصولات موجود در بازار را دارند، اولویت سرمایه‌گذاری آن‌ها در کاربردهای فناوری نانو در صنعت خودرو کدام باید باشد و چگونه می‌توان براساس چارچوب و مدل ریاضی آن را اولویت‌بندی کرد. تا با این اولویت بتوانند توانمندی رقابتی خود را برای به‌دست‌گرفتن سهم قابل توجهی از بازار گسترده انواع خودرو را به خود اختصاص دهند.

اولویت‌بندی یک روش تصمیم‌گیری است که با توجه به معیارهای صورت می‌گیرد؛ بنابراین در این پژوهش از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره^۱ (MCDM) و با توجه به مبهم و غیرقطعی بودن مسئله با استفاده از نظریه فازی^۲ برای حل این مسئله پرداختیم. بدین گونه که ابتدا روابط بین معیارها و شدت اثرات آن با روش دیمتل فازی (FDEMATE) مشخص و سپس با روش جدید ترکیبی فرآیند تحلیل شبکه‌ای^۳ (ANP) براساس DEMATEL که DANP نامیده می‌شود برای پیدا کردن وزن مؤثر معیارها و سپس از روش FVIKOR برای اولویت‌بندی فناوری نانو در بخش صنایع خودرو برای سرمایه‌گذاری و سهم هر فناوری از میزان منابع اختصاص یافته، استفاده می‌شود تا در بهبود و ایجاد استراتژی‌های صحیح برای کاهش ریسک تصمیم‌گیری مدیران و سرمایه‌گذاران و نیز رفع نیازهای مشتریان در حوزه‌ی فناوری نانو در صنعت خودرو مؤثر باشد.

از آنجایی که در این پژوهش از مدل‌های ریاضی و تصمیم‌گیری چندمعیاره از نوع فازی استفاده

1 . Multiple Criteria Decision Making

2 . Fuzzy

3 . Analytical Network Process

می‌شود فرضیه‌ای مطرح نیست؛ لذا سؤالات تحقیق به شرح زیر است:

۱. چه معیارهایی در اولویت‌بندی مهم‌ترین کاربردهای فناوری نانو در بخش صنایع خودرو اهمیت دارد؟
۲. تأثیرات و اهمیت هر معیار براساس رویکرد فازی ترکیبی ANP براساس DEMATEL (DANP) چقدر است؟
۳. اولویت کاربرد فناوری نانو برای رسیدن به سطح تولید و عرضه خودرو براساس روش FVIKOR کدام است؟

۲. پیشینه پژوهش

۲-۱. انتخاب فناوری

فناوری به‌عنوان یک منبع اصلی مزیت رقابتی برای صنایع تولیدی به‌طور گسترده‌ای توسط پژوهشگران، دولت‌ها و دانشگاهیان پذیرفته شده‌است. شرکت مزیت رقابتی خود را با سرمایه‌گذاری در گزینه‌های اشتباه، در زمان اشتباه یا با سرمایه‌گذاری بیش از حد در جاهایی که مناسب نیست به هدر می‌تواند بدهد. یک کشور یا سازمان می‌تواند مزایای رقابتی خود را با سرمایه‌گذاری در فناوری‌های در حال ظهور با مزیت نسبی به‌دست‌آورد. برای تحقق این مزیت رقابتی بسیار ضروری است فناوری‌های خاص و راه‌هایی که سازمان می‌تواند بهترین مدیریت فناوری داشته باشد شناسایی و درک شود (شن و همکاران، ۲۰۱۱). در مرحله انتخاب فناوری، تصمیم‌گیرندگان باید در مورد گزینه‌ها و ارزیابی این گزینه‌ها در برابر یکدیگر یا برخی از مجموعه‌ای از معیارها به جمع‌آوری اطلاعات از منابع مختلف بپردازند (لمپ و گرگوری^۱، ۱۹۹۷). از تعیین سطح فناوری یک شرکت با توجه به اهداف و استراتژی‌های فناوری آن باید برای انتخاب فناوری مناسب و سطح مناسب آن فناوری اقدام شود. برای کسب فناوری یک حد مشخص از توانایی فناوری موردنیاز است. با اطلاعات حاصل از ارزیابی سطح فناوری شرکت مشخص می‌شود شرکت از چه فناوری‌هایی برخوردار است و چه فناوری‌هایی در خارج شرکت وجود دارند. همچنین تشخیص قدرت و ضعف در این فناوری‌ها و انعطاف‌پذیری شرکت برای تغییر از یک فناوری به فناوری دیگر هم بسیار اهمیت دارد. همچنین باید به ارزیابی سطح شرکت نسبت به دیگر رقبا پرداخت. با استفاده از این اطلاعات، مدیریت تصمیم می‌گیرد چه فناوری‌ای را سریع و در زمان کوتاه

کسب، و چه فناوری را در آینده دنبال کند (اخوان، ۱۳۷۹). بنابراین معیارهای مختلفی برای انتخاب فناوری دخیل هستند که در این پژوهش از طریق منابع، شناسایی شده و در جدول شماره ۱ آمده است.

جدول ۱. معیار و زیرمعیارهای شناسایی شده برای انتخاب کاربردهای فناوری نانو

معیار	زیر معیار	مرجع
شایستگی فناوری	پیشرفت فناوری	پزشکی و انصاری ^۱ (۲۰۱۳)؛ شن ^۲ و همکاران (۲۰۱۱)؛ تان ^۳ و همکاران (۲۰۰۱)؛ شهابودن ^۴ و همکاران (۲۰۰۶)؛ یو ^۵ و همکاران (۱۹۹۸)؛ یاپ و سودر ^۶ (۱۹۹۳)
	نوآوری در فناوری	
	اهمیت فناوری	
	فناوری انحصاری	
	فناوری عمومی	
	ارتباطات فناوری	
	توسعه پذیری فناوری	
	بهره‌وری	
	کیفیت	
تأثیر تجاری	پتانسیل بازگشت در سرمایه گذاری	پزشکی و انصاری (۲۰۱۳)؛ شن و همکاران (۲۰۱۱)؛ تان و همکاران (۲۰۰۱)؛ شهابودن و همکاران (۲۰۰۶)؛ یو و همکاران (۱۹۹۸)؛ یاپ و سودر (۱۹۹۳)
	اثرات بر سهم بازار موجود	
	پتانسیل بازار جدید	
	حجم بالقوه بازار	
	زمان بندی برای فناوری	
	هزینه	

1 . Pezeshki & Ansari

2 . Shen

3 . Tan

4 . Shehabuddeen

5 . Yu, Hsu & Chen

6 . Yap & Souder

معیار	زیر معیار	مرجع
پتانسیل توسعه فناوری	منابع فنی در دسترس	پزشکی و انصاری (۲۰۱۳)؛ شن و همکاران (۲۰۱۱)؛ تان و همکاران (۲۰۰۱)؛ شهابوند و همکاران (۲۰۰۶)؛ یو و همکاران (۱۹۹۸)؛ یاپ و سودر (۱۹۹۳)
	پشتیبانی تجهیزات	
	فرصت موفقیت فنی	
	قابلیت نگهداری	
ریسک	ریسک تجاری	پزشکی و انصاری (۲۰۱۳)؛ شن و همکاران (۲۰۱۱)؛ تان و همکاران (۲۰۰۱)؛ شهابوند و همکاران (۲۰۰۶)؛ یو و همکاران (۱۹۹۸)؛ یاپ و سودر (۱۹۹۳)
	ریسک فنی	
	ریسک مالی	
زیست محیطی و انسانی	آلوده سازی محیط زیست	شفیعا و طیبا (۱۳۸۴)؛ گزارش آژانس بین المللی انرژی اتمی ^۱ (IAEA)
	وضعیت تطابق فناوری با شرایط کارکنان	

۲-۲. نانو فناوری و صنعت خودروسازی

تعاریف زیادی برای فناوری نانو وجود دارد. در حقیقت فناوری نانو، ساخت و استفاده از مواد و ساختارهای در مقیاس نانومتر است (یک نانومتر یک میلیونیم یک میلی متر است) (اوزیمک و همکاران^۲، ۲۰۱۰). به گزارش وزارت امور حمل و نقل آمریکا، آمار حمل و نقل این گونه تخمین زده شده که بیش از ۶۰۰ میلیون اتومبیل های مسافری در حال حاضر در سراسر جهان استفاده می شود، که حدود ۲۵۰ میلیون نفر از آن در ایالات متحده می باشند و هر سال، حدود ۵۰ میلیون اتومبیل جدید در جهان تولید می شود، به این معنی که فناوری نانو و محصولات آن دارای فرصت بزرگ در صنعت خودرو هستند (آسماطلو و همکاران، ۲۰۱۳). فناوری پوشش کاربردی و روانکاری مانند خود تمیزکننده، ضدخش و مقاومت در برابر سایش، پیشگیری از نور ماوراء بنفش، ضد زنگ و ضد تیرگی و مکمل های روغن؛ فناوری های مواد نانو ساختار / نانوکامپوزیت / نانوذرات برای ساختار سبک، محافظ حرارتی، استحکام بالا، سختی بیشتر، افزایش هدایت الکتریکی، آزادسازی کمتر هوا از لاستیک (انسداد توسط نانورس و گرافن اکسید نیکل)، کاهش سروصدا و طول عمر قطعات خودرو؛ کاربرد فناوری نانو در توان تولید

1 . International Atomic Energy Agency

2 . Ozimek et al

انرژی و ذخیره‌سازی مبتنی بر فناوری نانو مانند سلول‌های سوختی، سلول‌های خورشیدی، کاتالیزور، و باتری؛ فناوری پردازش داده‌ها و ارتباطات و کاربرد آن در پردازش تصویر، تعیین محل خودرو و وسایل کامپیوتری-مخابراتی خودرو؛ فناوری حسگرها و الکترونیک و استفاده از آن برای سنسورهای حرکتی، سنسور کیسه هوا، نظارت بر فشار، کنترل جو، و کنترل‌های امنیتی؛ نانو ذرات پراکنده در سیالات و روان‌کننده‌ها. ارتعاشات با نوسانات کم (دفع حرارت) و کاهش اصطکاک و ساییش در موتور و سیستم‌های دنده و کاربرد فناوری نانو در مصرف انرژی/ محیط‌زیست همانند مدیریت موتور، انرژی کمتر سوخت، مبدل‌های کاتالیزوری، فیلتر آلودگی هوا و بسیاری از موارد دیگر از جمله کاربردهایی هستند که فناوری نانو در صنعت خودرو دارد و خواهد داشت (آسماطلو و همکاران، ۲۰۱۳؛ سوزر^۱ و همکاران، ۲۰۱۲؛ پرستینگ^۲ و همکاران ۲۰۰۳؛ مارگاریدا و کوال هو^۳ و همکاران، ۲۰۱۲ و کریمیر^۴ ۲۰۱۴).

۲-۳. روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره فازی

روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره به خاطر برتری‌شان نسبت به سایر روش‌ها در ارزیابی گزینه‌های متفاوت، از پرکاربردترین روش‌های تصمیم‌گیری است. این روش‌ها هم‌چنین قابلیت ارزیابی کمی و کیفی معیارها را که برای روش‌های سنتی امکان‌پذیر نیست را دارند. به خاطر وجود مقیاس نامتوازن در قضاوت‌ها و عدم قطعیت و نادقیق بودن مقایسه‌ها از منطق فازی برای حل مسائل تصمیم‌گیری استفاده می‌کنند (کریمی شیرازی و مدیری، ۱۳۹۲). روش‌های متنوعی در مواجهه با مسائل تصمیم‌گیری چندمعیاره وجود دارد که روش‌های VIKOR و به‌ویژه DEMATEL و ANP از پرکاربردترین آن‌ها است. این روش‌ها، یک مسئله پیچیده را به سلسله‌مراتبی از اجزاء تقسیم می‌کند که در آن گزینه‌های تصمیم در پایین‌ترین سطح و هدف اصلی در بالاترین سطح قرار دارد. سطوح میانی نیز مربوط به معیارهای اصلی و فرعی است. تکنیک DEMATEL که توسط فونتلا و گابوس ارائه شد، ساختار تأثیرات درونی میان معیارها را بررسی نموده، سعی بر حل مسئله و بهبود آن دارد (فونتلا و گابوس، ۱۹۷۲). ANP توسط ساعتی ازایه گردید (ساعتی، ۱۹۹۹) و هدف آن حل مسائل از وابستگی متقابل و

-
- 1 . Sozer
 - 2 . Presting
 - 3 . Coelho
 - 4 . Kreimeyer
 - 5 . Gabus & Fontela
 - 6 . Saaty

بازخورد میان معیارها و گزینه‌ها بود. روش VIKOR که توسط آپریکوویچ و تزنگ توسعه یافت، از راه‌حل‌های توافقی برای حل مسائل استفاده می‌کند. راه‌حل توافقی، راه‌حل موجهی است که به جواب ایده‌آل نزدیک است و روش VIKOR فازی برای حل مسائل چندمعیاره گسسته فازی توسعه داده شد (اوپریکوویچ^۱، ۲۰۱۱). گام‌های روش‌های فوق به‌طور کامل در منابع ذکر شده آمده‌است. مروری بر مطالعات نشان می‌دهد که اغلب محققان از روش‌های تصمیم‌گیری فازی ترکیبی از DEMATEL, ANP و VIKOR برای انتخاب گزینه‌ی مناسب در مسائل مختلف استفاده‌شده که در جدول شماره ۲ به برخی از مهم‌ترین تحقیقات انجام‌شده در این زمینه اشاره شده‌است.

جدول ۲. برخی از مهم‌ترین تحقیقات انجام‌شده با روش ترکیبی DEMATEL و ANP با VIKOR

مرجع	مسئله و روش مورد مطالعه
تزنگ و همکاران، ۲۰۱۳	یک مدل MCDM جدید با ترکیب از DANP و VIKOR برای بهبود کسب‌وکار فروشگاه الکترونیکی
یانگ ^۲ و همکاران، ۲۰۱۱	مدل VIKOR براساس DEMATEL و ANP برای ارزیابی کنترل ریسک امنیت اطلاعات
تزنگ و وانگ ^۳ ، ۲۰۱۲	بازاریابی نام تجاری برای ایجاد ارزش نام تجاری براساس یک مدل MCDM ترکیب DEMATEL با روش ANP و VIKOR
وانگ و همکاران، ۲۰۱۲	انتخاب بهترین فروشنده برای انجام مواد بازیافت‌شده براساس MCDM ترکیب DANP با VIKOR
یانگ و همکاران، ۲۰۰۸	یک مدل ترکیبی MCDM جدید همراه با DEMATEL و ANP
یانگ و تزنگ، ۲۰۱۱	یک تکنیک یکپارچه MCDM ترکیب با DEMATEL برای وزن‌دهی خوشه با ANP
شن و لی یو، ۲۰۱۲	یکپارچگی مدل MCDM, DEMATEL و ANP در انتخاب تأمین‌کننده‌ی موادغذایی
تزنگ و همکاران، ۲۰۱۳	ترکیب مدل VIKOR-DANP برای انتخاب سبد سهام و بهبود عملکرد سهام

1 . Opricovic

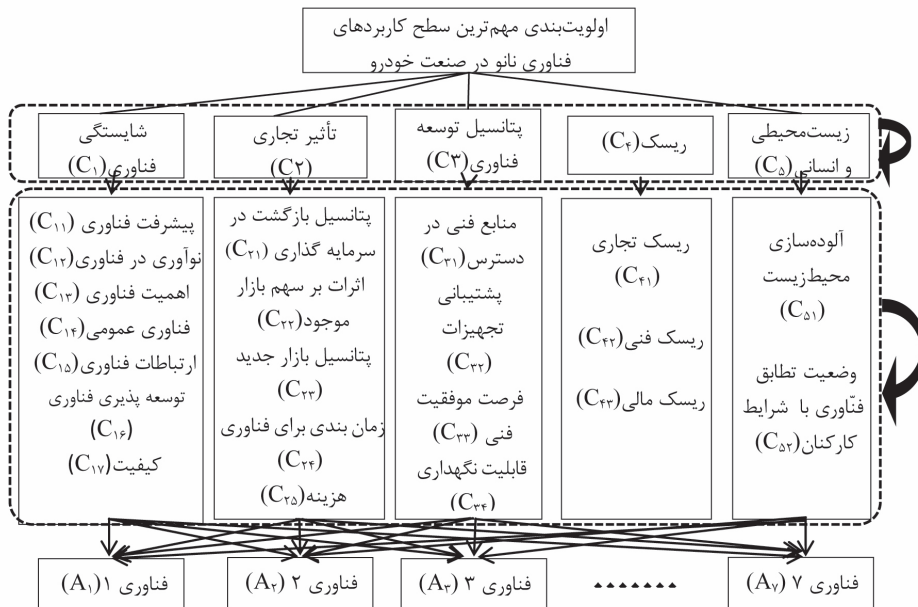
2 . Yang

3 . Tzeng, & Wang

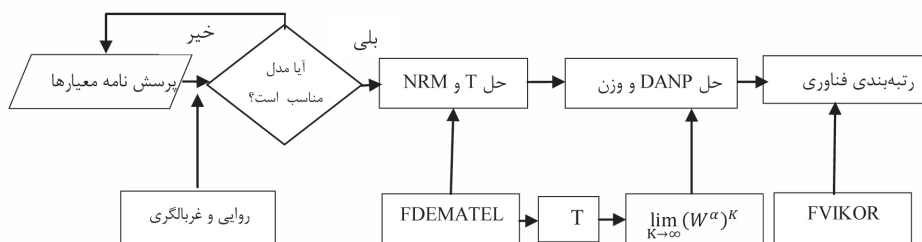
۳. روش تحقیق

از آن جایی که تحقیق حاضر درصدد معرفی و به کارگیری یک روش تصمیم‌گیری چند شاخصه فازی جهت انتخاب کاربردهای فناوری نانو در بخش صنایع خودرو است لذا این تحقیق از لحاظ هدف، کاربردی بوده و به لحاظ گردآوری داده‌ها از نوع تحلیلی-توصیفی و حل مسئله از نوع مدل‌سازی ریاضی از نوع فازی است. جامعه آماری این پژوهش یکی از کارخانه‌های تولید خودرو در کشور است که به تعداد ۱۰ نفر از خبرگان آن کارخانه شامل مدیران ارشد که دارای فعالیت تخصصی و تجربه کافی در رابطه با موضوع پژوهش داشتند انتخاب گردید. جمع‌آوری اطلاعات از روش کتابخانه‌ای، جمع‌آوری داده‌ها از روش میدانی و ابزار گردآوری داده‌ها، پرسش‌نامه است. روایی محتوایی پرسش‌نامه با خبرگان بررسی و روایی مدل از طریق غربالگری معیارها و حل با روش نرمالیزه‌ی اعشاری و فازی تأیید که بعد از غربالگری زیرمعیارها، زیرمعیارهای فناوری انحصاری، بهره‌وری و حجم بالقوه بازار به خاطر وزن فازی کمتر حذف شدند که در نهایت از ۲۴ زیرمعیارهایی که شناسایی شده بودند (جدول شماره ۱) ۲۱ زیر معیار برای حل مسئله انتخاب شدند. هم‌چنین ۷ سطح از کاربردهای فناوری نانو در بخش صنایع خودرو شامل مواد نانو ساختار/ نانو کامپوزیت/ نانوذرات (A_1)، فناوری پوشش کاربردی و روانکاری (A_2)، نانو ذرات پراکنده در سیالات و روان‌کننده‌ها (A_3)، پردازش داده‌ها و ارتباطات (A_4)، حسگرها و الکترونیک (A_5)، توان تولید انرژی و ذخیره‌سازی مبتنی بر فناوری نانو (A_6)، مصرف انرژی/ محیط زیست (A_7) شناسایی (بخش ۲-۲) و مدل سلسله‌مراتبی تصمیم‌گیری تشکیل گردید (شکل ۱). و در این هنگام به سؤال اول پاسخ داده شد.

انتخاب مهم‌ترین سطح از کاربردهای فناوری نانو در بخش صنایع خودرو، یکی از مسائل FMCDM است که هر معیار ممکن است تأثیر درونی داشته باشد. ترکیب فازی DEMATEL و ANP می‌تواند مهم‌ترین معیارها را برای توسعه‌ی عملکرد انتخاب سطح کاربردهای فناوری نانو در بخش صنایع خودرو شناسایی کند. و از روش FVIKOR نیز که برای محاسبه‌ی رتبه‌بندی سازشی و فاصله هر گزینه از معیارها برای توسعه‌ی آن مناسب‌تر است، برای اولویت‌بندی کاربردهای فناوری نانو در صنایع خودرو استفاده شد. فرآیند از این روش ترکیبی MCDM به‌طور خلاصه در شکل شماره ۲ نشان داده شده‌است.



شکل ۱. ساختار سلسله‌مراتبی تصمیم‌گیری اولویت‌بندی کاربردهای فناوری نانو در بخش صنایع خودرو



شکل ۲. فرآیند حل مدل FMCDM

۴. تجزیه و تحلیل داده‌ها

در این مطالعه، ساختار تصمیم‌گیری برای DEMATEL توسط خبرگان با ۵ معیار و ۲۱ زیرمعیار تشکیل شد. نظرات خبرگان برای ارزیابی روابط درونی معیارها برای محاسبه DEMATEL از طریق

مقایسات زوجی و تأثیر میان معیارها براساس گزینه‌های زبانی و اعداد مثبت فازی مثلثی به ترتیب جدول شماره ۳ مشخص شد.

جدول ۳. گزینه‌های زبانی و اعداد فازی مثلثی. منبع: لیو^۱ و همکاران (۲۰۱۳)

اعداد فازی مثلثی	اعداد قطعی	گزینه‌های زبانی
(۰/۷۵، ۱، ۱)	۴	تأثیر خیلی زیاد
(۰/۵، ۰/۷۵، ۱)	۳	تأثیر زیاد
(۰/۲۵، ۰/۵، ۰/۷۵)	۲	تأثیر کم
(۰، ۰/۲۵، ۰/۵)	۱	تأثیر بسیار کم
(۰، ۰، ۰/۲۵)	۰	بدون تأثیر

سپس نظرات فازی هر کدام از ۱۰ خبره یکپارچه‌سازی شده و ماتریس روابط مستقیم (\tilde{A}) برای معیارها و زیرمعیارها تشکیل گردید. (جدول ۴ و ۵) ماتریس نرمال شده‌ی روابط مستقیم \tilde{X} و روابط کلی \tilde{T} محاسبه شد. که به‌خاطر محدودیت در تعداد صفحات آورده نشده‌است و نتایج تأثیرگذاری ($\tilde{R}+\tilde{D}$) و تأثیرپذیری خالص ($\tilde{R}-\tilde{D}$) برای معیارها و زیرمعیارها آمده‌است (جدول ۶). و در ادامه نقشه روابط شبکه^۲ (NRM) از تکنیک FDEMATEL با مقادیر R+D و R-D ترسیم گردید (شکل ۳). پس از تعیین ساختار رابطه از معیارها، روش DANP برای به‌دست آوردن وزن مؤثر معیارها به‌کار گرفته شد. همان‌طور که جدول ۶ نشان می‌دهد درجه‌ی نفوذ عوامل بر یکدیگر متفاوت است؛ بنابراین، استفاده از روش‌های سنتی نرمال غیرمنطقی است (یانگ و تزنگ، ۲۰۱۱). در این تحقیق، ما برای حل این مشکل تکنیک FDEMATEL را ترکیب کردیم. بدین‌گونه که ماتریس \tilde{T} نرمالیزه شد. در ابتدا، تأثیر رابطه‌ی میان معیار براساس NRM مقایسه شد. سپس روابط میان ساختار میزان اهمیت معیارها از طریق انتقال ماتریس نرمالیزه‌شده‌ی \tilde{T} ، سوپر ماتریس غیروزنی و با توجه به میزان تأثیر معیارهای مختلف سوپر ماتریس موزون \tilde{W} مطابق جدول شماره ۷ تشکیل گردید.

1 . Lu

2 . Network Relations Map

جدول ۴. ماتریس روابط مستقیم فازی (\tilde{A}) بین معیارهای اصلی اولویت بندی فناوری نانو در صنایع خودروسازی

	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5
C_1	(۰,۰,۰)	(۰/۳۵, ۰/۱۶, ۰/۸۵)	(۰/۱, ۰/۲۵, ۰/۵)	(۰/۳, ۰/۵۵, ۰/۸)	(۰, ۰/۱, ۰/۳۵)
C_2	(۰/۳۵, ۰/۱۶, ۰/۸۵)	(۰, ۰, ۰)	(۰/۴۵, ۰/۷, ۰/۹)	(۰/۲۵, ۰/۵, ۰/۷۵)	(۰/۰۵, ۰/۲۵, ۰/۵)
C_3	(۰/۴, ۰/۶۵, ۰/۸۵)	(۰/۱۶, ۰/۸۵, ۰/۹۵)	(۰, ۰, ۰)	(۰/۵, ۰/۷۵, ۰/۹)	(۰, ۰/۰۵, ۰/۳)
C_4	(۰/۴۵, ۰/۷, ۰/۹۵)	(۰/۳۵, ۰/۱۶, ۰/۸۵)	(۰/۱۵, ۰/۳, ۰/۵۵)	(۰, ۰, ۰)	(۰, ۰/۱۵, ۰/۴)
C_5	(۰/۱, ۰/۳۵, ۰/۱۶)	(۰/۲۵, ۰/۵, ۰/۷۵)	(۰/۰۵, ۰/۱۵, ۰/۴)	(۰, ۰/۰۵, ۰/۳)	(۰, ۰, ۰)

جدول ۵. ماتریس روابط مستقیم فازی (\tilde{A}) بین زیر معیارهای اولویت بندی فناوری نانو در صنایع خودروسازی

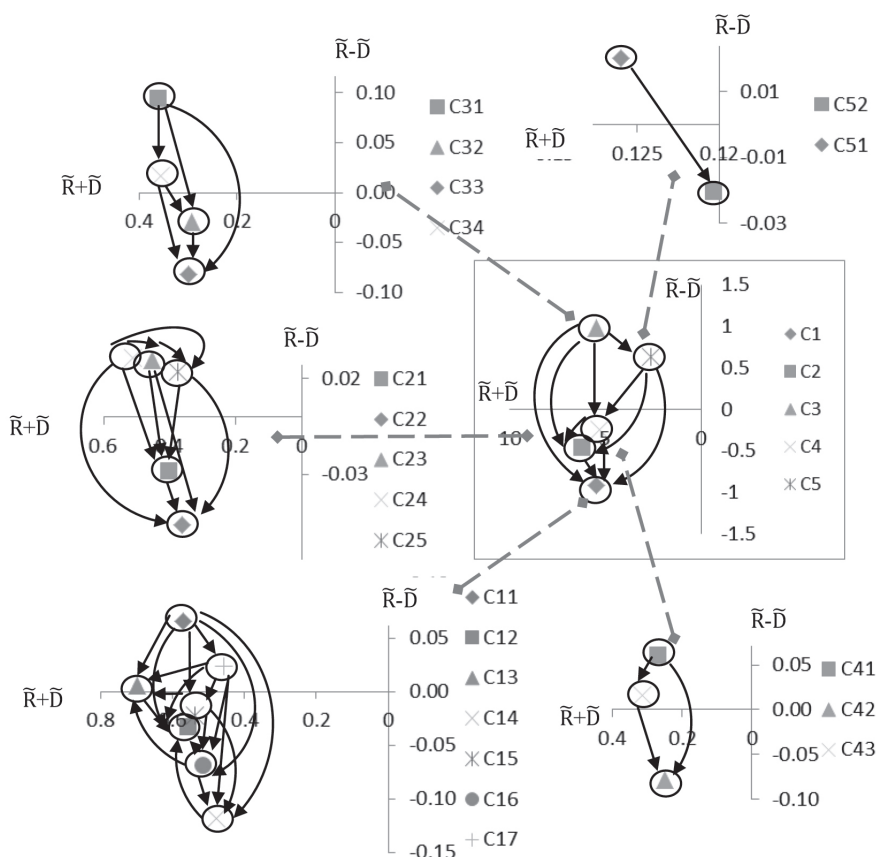
	C_{11}	C_{12}	$C_{..}$	C_{51}	C_{52}
C_{11}	(۰,۰,۰)	(۰/۶۳, ۰/۸۸, ۱)	...	(۰, ۰/۲۵, ۰/۵)	(۰, ۰/۲۵, ۰/۵)
C_{12}	(۰/۳۸, ۰/۶۳, ۰/۱۳)	(۰,۰,۰)	...	(۰/۳۸, ۰/۶۳, ۰/۱۳)	(۰, ۰/۲۵, ۰/۵)
$C_{..}$	.....	.....	...	.....	.....
C_{51}	(۰, ۰/۱۳, ۰/۳۸)	(۰/۱۳, ۰/۲۵, ۰/۵)	...	(۰,۰,۰)	(۰/۳۷۵, ۰/۶۲۵, ۰/۸۷۵)
C_{52}	(۰, ۰/۱۳, ۰/۳۸)	(۰, ۰/۱۳, ۰/۳۸)	...	(۰, ۰/۲۵, ۰/۵)	(۰,۰,۰)

نکته: با توجه به بزرگی ماتریس فازی (۲۱×۲۱) و حجم کم صفحه، ماتریس فازی به طور فشرده نمایش داده شد.

جدول ۶. تأثیرگذاری و تأثیرپذیری معیارها و زیرمعیارها

معیار		R	D	R+D	R-D
شایستگی فناوری	C_1	۲/۴۳	۳/۳۶۲	۵/۷۹۲	-۰/۹۳
پیشرفت فناوری	C_{11}	۰/۳۱۸	۰/۲۵۲	۰/۵۶۹	۰/۰۶۶

معیار		R	D	R+D	R-D
نوآوری در فناوری	C ₁₂	۰/۲۶۴	۰/۲۹۶	۰/۵۵۹	-۰/۰۳
اهمیت فناوری	C ₁₃	۰/۳۵۲	۰/۳۴۷	۰/۶۹۹	۰/۰۰۵
فناوری عمومی	C ₁₄	۰/۱۸	۰/۲۹۳	۰/۴۷۸	-۰/۱۲
ارتباطات فناوری	C ₁₅	۰/۲۵۸	۰/۲۸	۰/۵۳۹	-۰/۰۲
توسعه پذیری فناوری	C ₁₆	۰/۲۲۴	۰/۲۹۳	۰/۵۱۸	-۰/۰۷
کیفیت	C ₁₇	۰/۲۴	۰/۲۱۷	۰/۴۵۷	۰/۰۲۳
تأثیر تجاری	C ₂	۳/۰۶۴	۳/۵۲۱	۶/۵۸۵	-۰/۴۶
پتانسیل بازگشت در سرمایه گذاری	C ₂₁	۰/۱۸۸	۰/۲۱۷	۰/۴۰۵	-۰/۰۳
اثرات بر سهم بازار موجود	C ₂₂	۰/۱۵۳	۰/۲۰۹	۰/۳۶۲	-۰/۰۶
پتانسیل بازار جدید	C ₂₃	۰/۲۴۲	۰/۲۱۲	۰/۴۵۴	۰/۰۳
زمان بندی برای فناوری	C ₂₄	۰/۲۷۱	۰/۲۴	۰/۵۱۱	۰/۰۳۱
هزینه	C ₂₅	۰/۱۹۹	۰/۱۷۶	۰/۳۷۵	۰/۰۲۳
پتانسیل توسعه فناوری	C ₃	۳/۳۹۱	۲/۴۲	۵/۸۱۱	۰/۹۷۱
منابع فنی در دسترس	C ₃₁	۰/۲۲۸	۰/۱۳۳	۰/۳۶۱	۰/۰۹۵
پشتیبانی تجهیزات	C ₃₂	۰/۱۳۱	۰/۱۶۱	۰/۲۹۳	-۰/۰۳
فرصت موفقیت فنی	C ₃₃	۰/۱۰۸	۰/۱۹	۰/۲۹۸	-۰/۰۸
قابلیت نگهداری	C ₃₄	۰/۱۸۷	۰/۱۷	۰/۳۵۶	۰/۰۱۷
ریسک	C ₄	۲/۷۱	۲/۹۴	۵/۶۵	-۰/۲۳
ریسک تجاری	C ₄₁	۰/۱۶۵	۰/۱۰۴	۰/۲۶۹	۰/۰۶۱
ریسک فنی	C ₄₂	۰/۰۸۶	۰/۱۶۴	۰/۲۵	-۰/۰۸
ریسک مالی	C ₄₃	۰/۱۶۵	۰/۱۴۸	۰/۳۱۳	۰/۰۱۷
زیست محیطی و انسانی	C ₅	۱/۷۷۱	۱/۱۲۳	۲/۸۹۴	۰/۶۴۹
آلوده سازی محیط زیست	C ₅₁	۰/۰۷۳	۰/۰۵۳	۰/۱۲۶	۰/۰۲
وضعیت تطابق فناوری با شرایط کارکنان	C ₅₂	۰/۰۵	۰/۰۷	۰/۱۲	-۰/۲۰



شکل ۳. تأثیرات NRM از روابط میان معیارها و زیرمعیارها

در پایان، سوپرماتریس حدی در توان ۵ همگرا شد و وزن کلی همه معیارها و زیرمعیارها و اولویت آن‌ها مشخص که نتایج در جدول ۱۰ آمده است. و به سؤال دوم تحقیق پاسخ داده شد. سپس، با استفاده از روش VIKOR، ارزش عملکرد را برای هر یک از فناوری نانو در بخش صنایع خودرو محاسبه و فناوری نانو اولویت بندی شدند. ۷ سطح از کاربردهای فناوری نانو در بخش صنایع خودروسازی گردید. با توجه به ۵ معیار و ۲۱ زیرمعیار، عملکرد هر سطح از فناوری با توجه به نظرات ۱۰ کارشناس در صنعت خودرو و فناوری نانو بررسی شد. برای ارزیابی و رتبه بندی فناوری‌ها از واژه‌های زبانی فازی طبق جدول ۸ استفاده گردید. سپس نظرات متمایز کارشناسان تجمیع شده و ماتریس تصمیم گیری

فازی تشکیل گردید. در ادامه، با استفاده از روش FVIKOR، عملکرد و فاصله‌ی از سطح ایده‌آل از معیارهای فناوری نانو برای هر سطح از کاربردهای فناوری نانو در بخش صنایع خودرو طبق جدول ۹ به‌دست آمد. جدول شماره‌ی ۱۰ نیز، رتبه‌بندی گزینه‌ها را براساس مقادیر \tilde{S} ، \tilde{R} و \tilde{Q} و ضریب ویکور ($V=0/57$) ارائه می‌کند.

جدول ۷. سوپرماتریس موزون W براساس نرمالیزه ماتریس روابط کلی

	C_{12}	C_{13}	C_{14}	C_{15}	C_{16}	C_{17}	... C	C_{34}	C_{41}	C_{42}	C_{43}	C_{51}	C_{52}
C_{11}	۰/۰۱	۰/۰۴	۰/۰۴	۰/۰۳	۰/۰۲	۰/۰۳	...	۰/۰۴	۰/۰۷	۰/۰۷	۰/۱۲	۰/۰۴	۰/۰۴
C_{12}	۰/۰۳	۰/۰۱	۰/۰۵	۰/۰۲	۰/۰۳	۰/۰۳	...	۰/۰۴	۰/۰۶	۰/۰۶	۰/۱۳	۰/۰۵	۰/۰۳
C_{13}	۰/۰۲	۰/۰۳	۰/۰۲	۰/۰۳	۰/۰۴	۰/۰۴	...	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۰۴	۰/۱۶	۰/۰۴	۰/۰۴
C_{14}	۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۰۱	۰/۰۴	۰/۰۲	...	۰/۰۴	۰/۰۴	۰/۰۴	۰/۱۷	۰/۰۵	۰/۰۳
C ...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
C_{43}	۰/۰۵	۰/۰۴	۰/۰۸	۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۰۴	...	۰/۰۳	۰/۰۶	۰/۰۸	۰/۰۴	۰/۰۶	۰/۰۳
C_{51}	۰/۰۳	۰/۰۴	۰/۰۷	۰/۰۳	۰/۰۴	۰/۰۴	...	۰/۰۴	۰/۰۳	۰/۰۴	۰/۱۲	۰/۰۲	۰/۰۵
C_{52}	۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۰۷	۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۰۳	...	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۰۷	۰/۰۷	۰/۰۵	۰/۰۲

نکته: با توجه به بزرگی ماتریس فازی (۲۱×۲۱) و حجم کم صفحه، ماتریس فازی به طور فشرده نمایش داده شد.

جدول ۸. واژه‌های زبانی و فازی برای اولویت بندی گزینه. منبع: اوپریکیویچ (۲۰۱۱)

خیلی خوب	خوب	متوسط	ضعیف	خیلی ضعیف
(۷، ۹)	(۵، ۷، ۹)	(۳، ۵، ۷)	(۱، ۳، ۵)	(۱، ۳)

جدول ۹. وزن معیارها و فاصله‌ی گزینه‌ها از سطح ایده‌آل معیارها

فاصله از سطح ایده‌آل (r_{kj})							وزن نهایی DANP	وزن نسبی	معیارها
فناوری A_7	فناوری A_6	فناوری A_5	فناوری A_4	فناوری A_3	فناوری A_2	فناوری A_1			
۰/۱۴	۰/۲۱	۰/۲۱	۰/۲۱۵	۰/۱۵۱	۰/۱۴۹	۰/۱۴۹		۰/۲۵	شایستگی فناوری
.	۰/۱۳۵	۰/۱۳۵	۰/۲۸۱	.	.	.	(۱۵)۰/۰۳۸	۰/۱۵۴	+ پیشرفت فناوری
.	۰/۱۷۲	۰/۱۷۲	۰/۱۴۶	۰/۱۴۶	۰/۱۴۶	۰/۱۴۶	(۱۶)۰/۰۳۵	۰/۱۴	+ نوآوری در فناوری
۰/۳۳۳	۰/۵۱۲	۰/۵۱۲	۰/۵۱۲	۰/۴۱۹	۰/۴۳۶	۰/۴۳۶	(۲)۰/۰۵۸	۰/۲۳۳	+ اهمیت فناوری
.	.	.	.	.	.	.	(۱۹)۰/۰۳۱	۰/۱۲۴	+ فناوری عمومی
۰/۵	۰/۰۹۵	۰/۰۹۵	۰/۰۹۵	۰/۲۶۷	.	.	(۲۰)۰/۰۳۱	۰/۱۲۴	+ ارتباطات فناوری
.	۰/۲۰۵	۰/۲۰۵	۰/۱	.	۰/۲۰۵	۰/۲۰۵	(۱۸)۰/۰۳۳	۰/۱۳۱	+ توسعه‌پذیری فناوری
.	۰/۰۷۸	۰/۰۷۸	۰/۰۷۸	.	.	.	(۲۱)۰/۰۲۴	۰/۰۹۴	+ کیفیت
۰/۲۰۹	۰/۲۱۱	۰/۲۴۹	۰/۲۳۷	۰/۲۱۲	۰/۱۲۱	۰/۱۸۳		۰/۲۶۴	تأثیر تجاری
.	۰/۰۴۴	۰/۰۴۴	۰/۰۴۴	.	.	.	(۱۰)۰/۰۵	۰/۱۸۸	+ پتانسیل بازگشت در سرمایه‌گذاری
۰/۵	۰/۳۸	۰/۴۴۸	۰/۵۵۳	۰/۳۸	.	۰/۲۶۷	(۳)۰/۰۵۸	۰/۲۱۸	+ اثرات بر سهم بازار موجود
۰/۲۳	۰/۱۶	۰/۱۶	۰/۲۳	۰/۳۸۲	۰/۲۳	۰/۰۹۱	(۷)۰/۰۵۱	۰/۱۹۴	+ پتانسیل بازار جدید
.	۰/۳۰۶	۰/۴۱۹	۰/۳۰۶	.	۰/۱۳۵	۰/۲۸۱	(۴)۰/۰۵۴	۰/۲۰۶	+ زمان‌بندی برای فناوری
۰/۲۸۵	۰/۱۳	۰/۱۳	.	۰/۲۸۵	۰/۲۵۲	۰/۲۵۲	(۶)۰/۰۵۱	۰/۱۹۴	- هزینه
.	۰/۲۰۳	۰/۲۰۳	۰/۰۶۶	.	۰/۰۸۳	۰/۱۳۳		۰/۱۸۳	پتانسیل توسعه فناوری
.	۰/۴۱۹	۰/۴۱۹	۰/۲۸۹	.	۰/۳۰۶	۰/۳۸۷	(۱۴)۰/۰۴۲	۰/۲۲۷	+ منابع فنی در دسترس
.	۰/۱۷۹	۰/۱۷۹	.	.	۰/۰۵۲	۰/۱۷۹	۰(۱۲)۰/۰۴۶	۰/۲۵۱	+ پشتیبانی تجهیزات
.	۰/۲۲۳	۰/۲۲۳	.	.	.	.	(۵)۰/۰۵۱	۰/۲۸۱	+ فرصت موفقیت فنی
.	.	.	.	.	.	.	(۱۳)۰/۰۴۴	۰/۲۴۱	+ قابلیت نگهداری

فاصله از سطح ایده آل (r_{kj})							وزن نهایی DANP	وزن نسبی	معیارها
فناوری A_7	فناوری A_6	فناوری A_5	فناوری A_4	فناوری A_3	فناوری A_2	فناوری A_1			
۰/۰۹۴	۰/۰۲۹	۰/۰۲۹	۰/۰۵۶	۰/۰۸۵	۰	۰		۰/۲۲۳	ریسک
۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	(۸)۰/۰۵۱	۰/۲۲۹	- ریسک تجاری
۰/۴۱۹	۰/۱۳	۰/۱۳	۰/۲۵۲	۰/۳۸	۰	۰	(۹)۰/۰۵	۰/۲۲۳	- ریسک فنی
۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	(۱)۰/۱۲۲	۰/۵۴۸	- ریسک مالی
۰/۲۱۸	۰/۲۰۲	۰/۰۷۱	۰/۱۵۶	۰/۰۸	۰/۱۲۹	۰/۱۲۹		۰/۰۸	زیست محیطی و انسانی
۰/۱۷۲	۰/۱۳۹	۰	۰/۱۷۲	۰/۱۳۹	۰	۰	(۱۱)۰/۰۴۶	۰/۵۷۹	- آلوده‌سازی محیط زیست
۰/۲۸۱	۰/۲۸۹	۰/۱۶۸	۰/۱۳۵	۰	۰/۳۰۶	۰/۳۰۶	(۱۷)۰/۰۳۴	۰/۴۲۱	+ وضعیت تطابق فناوری با شرایط کارکنان

نکته: اعداد داخل () نشان‌دهنده اولویت وزن کلی در زیرمعیار است.

جدول ۱۰. اولویت‌بندی کاربرد فناوری‌های نانو در صنایع خودرو

اولویت	مقدار \tilde{Q}	مقدار \tilde{R}	مقدار \tilde{S}	گزینه‌ها
(۱)	(-۰/۹۷، ۰/۰۴۴، ۰/۹۹)	۰/۰۲	(-۰/۰۱۶، ۰/۰۲۷، ۰/۱۲)	A_1 ۰/۱
(۱)	(-۰/۹۷، ۰، ۰/۹۷)	۰/۰۰۲	(-۰/۰۱۶، ۰/۰۱۸، ۰/۱۲)	A_2 ۰/۰۷۵
(۲)	(-۰/۹۴، ۰/۰۳، ۰/۹۸)	۰/۰۲۱	(-۰/۰۱۲، ۰/۰۲۵، ۰/۱۲)	A_3 ۰/۱۰۲
(۷)	(-۰/۹، ۰/۰۹۷، ۰/۹۹)	۰/۰۶۳	(۰، ۰/۰۳۸، ۰/۱۲)	A_4 ۰/۱۳۹
(۶)	(-۰/۹۴، ۰/۰۸۷، ۱)	۰/۰۵	(-۰/۰۱، ۰/۰۳۴، ۰/۱۲)	A_5 ۰/۱۵۳
(۴)	(-۰/۹۳، ۰/۰۴۴، ۱)	۰/۰۳۹	(-۰/۰۰۸، ۰/۰۲۳، ۰/۱۲)	A_6 ۰/۱۵۴
(۵)	(-۰/۸۹، ۰/۰۵، ۰/۹۷)	۰/۰۴۳	(۰، ۰/۰۲۹، ۰/۱۲)	A_7 ۰/۱۰۹

گزینه‌ای به‌عنوان گزینه برتر شناخته می‌شود که از نظر هر سه مقادیر Q، R و S رتبه اول و باید

دو شرط زیر برای آن برقرار باشد.

شرط اول مزیت قابل قبول

$$(Q_1) - (Q_2) >= 1/(n-1) \rightarrow 0/02 - 0/002 >= 0/167$$

از آن جایی که شرط اول برقرار نیست بنابراین راه حل های توافقی به شرط برقراری رابطه زیر پیشنهاد

می گردد:

$$(Q_3) - (Q_2) < 1/(n-1) \rightarrow 0/021 - 0/002 < 0/167$$

شرط دوم برقرار شد. بنابراین گزینه فناوری نانو مواد نانو ساختار / نانو کامپوزیت / نانوذرات (A_1) اولویت اول و فناوری نانو پوشش کاربردی و روانکاری (A_2) اولویت دوم برای انتخاب، توسعه و سرمایه گذاری تعیین شد.

۵. نتیجه گیری و پیشنهادات

انتخاب فناوری، که در سرمایه گذاری یا مزیت فناوری یک کشور یا نقطه ضعف آن تأثیر می گذارد، یک مشکل چندمعیاره تصمیم گیری است. همان گونه که در بخش قبلی اشاره شد، فناوری منبع اصلی مزیت رقابتی است. به منظور تحقق بخشیدن به مزیت رقابتی از فناوری ها، ضروری است برای شرکت یا دولت مبتنی بر فناوری به دقت هر یک از جایگزین های فناوری ارزیابی شود. با این حال تصمیم گیرندگان با تأثیر اقتصادی و صنعتی از قبیل هزینه و ریسک و پتانسیل سود و منابع محدود هنگام انجام این نوع از مشکلات تصمیم گیری مواجه می شوند. از سوی دیگر، افزایش تعداد و توسعه مجموعه ای از فناوری همچنین به افزایش دشواری انتخاب فناوری می انجامد. در این پژوهش، ما یک نظام تصمیم گیری چندمعیاره فازی ترکیبی با روش ANP براساس DEMATEL (DANP) و VIKOR برای تعامل با چالش انتخاب فناوری فناوری نانو در بخش صنایع خودرو ارائه کردیم تا به سرمایه گذاران و تصمیم گیرندگان برای تصمیم گیری کمک شود. و همه ی گروه ها از جمله مراکز سیاست گذاری، قانون گذاری، علمی، مدیریتی، فنی و اقتصادی فعال و هدفمند می توانند استفاده کنند. تجزیه و تحلیل داده های این مطالعه سه نتیجه داد که می توانیم به سوالات تحقیق پاسخ دهیم که به شرح زیر است:

سؤال اول: چه معیارهایی در اولویت بندی مهم ترین کاربردهای فناوری نانو در بخش صنایع خودرو

اهمیت دارد؟

با مروری بر ادبیات تحقیق ۵ معیار اصلی با ۲۴ زیر معیار شناسایی که بعد از غربالگری با نظرات

خبرگان به ۲۱ زیرمعیار اثرگذار و مهم در انتخاب کاربرد فناوری‌های نانو در بخش صنایع خودرو انتخاب که براساس آن مدل تصمیم‌گیری شکل گرفت (شکل ۱).

سؤال دوم: تأثیرات و اهمیت معیارها براساس رویکرد فازی ترکیبی ANP براساس DEMATEL (DANP) چگونه است؟

با توجه به حل مدل FDEMATEL و نقشه‌ی روابط مؤثر شبکه (INRM) قابل درک است که ۵ معیار چگونه یکدیگر را تحت تأثیر قرار می‌دهند. برطبق شکل شماره ۳، معیار «پتانسیل توسعه فناوری» تأثیرگذارترین و «شایستگی فناوری» تأثیرپذیرترین معیار در اولویت‌بندی فناوری‌ها است. شایستگی فناوری سهم بسزایی در موفقیت یا عدم موفقیت در به‌کارگیری فناوری نانو در بخش صنایع خودرو دارد و بسیاری از نگرانی‌ها در انتخاب فناوری نانو می‌باشد. هم‌چنین با توجه به استراتژی بلندمدتی که برای سازمان تعریف‌شده فناوری مورد استفاده در سازمان یکی از ضروری‌ترین مباحث تأثیرگذار برای رسیدن به اهداف بلندمدت است. بنابراین فناوری انتخاب‌شده باید به‌طور بالقوه برای توسعه بیشتر فناوری باشد و این که فناوری انتخاب‌شده باید برای بسیاری از محصولات قابل استفاده باشد.

هم‌چنین معیار «پتانسیل توسعه فناوری» که تأثیرگذارترین معیار است می‌تواند موجب بهبود در تصمیم‌گیری انتخاب فناوری گردد. می‌توان نتیجه گرفت که دسترسی به فناوری که بتوان از منابع فنی به‌دست‌آورد و حوزه فناوری که می‌تواند توسط امکانات لازم پشتیبانی شود، هم‌چنین فرصت موفقیت برای فناوری ارائه شده و اینکه آیا برای هر فناوری موفق مشابه وجود دارد موجب بهبود در شایستگی‌های فناوری می‌گردد.

علاوه‌براین، نقشه مؤثر شبکه (شکل شماره ۳) با استفاده از روش DEMATEL کشیده شده، که فهم تأثیرات این روابط، به تصمیم‌گیری مدیران و تصمیم‌گیرندگان برای تحقق بخشیدن به نحوه بهبود ارزش یک زمینه فناوری کمک می‌کند. براساس شکل ۳، معیارهایی که برای توسعه‌ی و به‌کارگیری صنعت فناوری نانو در بخش صنایع خودرو کمک می‌کند به‌ترتیب عبارت‌است از: ۱. پتانسیل توسعه فناوری. (C₃). ۲. زیست‌محیطی و انسانی (C₅). ۳. ریسک. (C₄). ۴. تأثیر تجاری. (C₂). ۵. شایستگی فناوری (C₁). این اطلاعات می‌تواند تصمیم‌گیرندگان را در توسعه‌ی استراتژی آینده‌ی فناوری نانو در بخش صنایع خودرو راهنمایی کند.

نتایج دوم، وزن‌های مؤثر DANP در پاسخ به سؤال دوم است. همان‌طور که در جدول شماره ۹

دیده می‌شود، مهم‌ترین معیار محاسبه‌شده توسط DANP برای تصمیم‌گیری در انتخاب فناوری نانو در بخش صنایع خودرو، تأثیر تجاری (C_2) با بیشترین وزن (۰/۲۶۴) می‌باشد که شرکت در حوزه استراتژیک می‌تواند برنامه‌های فناوری نانو خود را براساس آن برنامه‌ریزی کند. در بین زیرمعیارها نیز ریسک مالی (C_{43}) با وزن ۰/۱۲۲ بیشترین اهمیت را در اولویت‌بندی فناوری‌ها دارد. این معیار به سؤال این‌که آیا می‌توان برنامه‌های کاربردی را به تولید انبوه رساند؟ پاسخ می‌دهد. با توجه به این‌که در تولید انبوه تنوع محصولات بسیار کم است و با به‌حداکثر رساندن بهره‌برداری از ظرفیت با هزینه‌های پایین‌تر سازمان می‌تواند صرفه‌جویی‌هایی ناشی از مقیاس را داشته باشد؛ یعنی تولید در مقیاس بیشتر که منجر به سرشکن‌شدن هزینه‌ها و در نتیجه هزینه کمتر برای تولید هر واحد می‌شود. از طرفی تصمیم‌گیری‌های مالی یکی از مهم‌ترین حوزه‌های رقابتی شرکت‌ها به‌منظور تأمین بهینه منابع مالی برای بقا در محیط متلاطم تجاری است. در این تحقیق با توجه به اهمیت ریسک مالی در تعیین فناوری به مدیران پیشنهاد می‌شود تا با شناسایی مهم‌ترین ابعاد ریسک با تمرکز بر ریسک مالی مدلی را برای اندازه‌گیری و کنترل ریسک مالی طراحی کنند.

سؤال سوم: اولویت کاربرد فناوری نانو برای رسیدن به سطح تولید و عرضه خودرو براساس روش

FVIKOR کدام است؟

اولویت‌بندی توسط FVIKOR نتیجه‌ی نهایی این پژوهش و در پاسخ به سؤال سوم است. این اولویت‌بندی نشان داد که بهترین هدف برای سرمایه‌گذاری در فناوری نانو در صنعت خودرو در فناوری‌های مواد نانوساختار/نانوکامپوزیت/نانوذرات (A_1) و پوشش کاربردی و روانکاری (A_2) دارد. این فناوری‌ها اهمیت فراوانی در تولید خودرو و حضور در رقابت‌های جهانی دارد و داشتن این ویژگی‌ها جایگاه مناسب و کسب رتبه‌های بالا در بازار رقابتی جهانی به سازمان خواهد داد.

برای به حداقل رساندن فاصله از سطح ایده‌آل معیارها، ما می‌توانیم پیشنهاداتی را طبق بیش‌ترین فاصله‌گزینه‌ها از سطح ایده‌آل معیارها ارائه دهیم. در حقیقت معیارهای ضعیف شناسایی و ترتیب اولویت‌بندی برای بهبود و توسعه‌ی سطح کاربردهای فناوری نانو در بخش صنایع خودرو مشخص می‌شود. اما با وجود یکسان بودن بعضی از فاصله‌ها، اولویت بهبود معیارها براساس اهمیت وزنی کلی آن‌ها (DANP) مرتب می‌گردد. طبق جدول شماره ۸ مجموع فاصله فناوری‌های مواد نانوساختار/نانوکامپوزیت/نانوذرات از سطح ایده‌آل معیارها برابر ۰/۰۷۵ و فناوری و پوشش کاربردی و روانکاری برابر ۰/۱ است. که هر دو فناوری بیشترین فاصله (ضعف) را از معیار «اهمیت فناوری» و کمترین

فاصله (قوت) از معیار «ریسک مالی» دارد. یعنی از لحاظ ریسک مالی این فناوری قابل توجه می‌باشد همان‌گونه که طبق روش DANP بیشترین اهمیت را داشت. در پایان پیشنهاد می‌گردد که شرکت تولیدی خودرو مورد مطالعه روی فناوری‌های که اولویت اول را کسب کردند، برنامه‌ریزی کنند. این اطلاعات می‌تواند به تصمیم‌گیرندگان کمک کند تا با زاویه‌ی دیگری در مورد بهبود اولویت‌ها در توسعه‌ی سطح کاربردهای فناوری نانو در بخش صنایع خودرو فکر کنند و هم‌چنین نتایج به‌دست‌آمده از مدل ترکیبی جدید MCDM فازی می‌تواند برای برنامه‌ریزی استراتژیک و تجزیه‌وتحلیل استفاده شود. در حقیقت با این تحقیق، فرصت‌های سرمایه‌گذاری بر روی سطح کاربردهای فناوری نانو را می‌شناسیم. در این مطالعه ما در سطح کاربردهای فناوری نانو اقدام به اولویت‌بندی نمودیم؛ اما هر یک از این کاربردها به ترتیب نیاز به ابزارهایی دارد و این ابزارها نیز خود محتاج به فناوری‌های پایه‌ای است که در تحقیق بعدی می‌توان به اولویت‌دار کردن این فناوری‌ها و هم‌چنین می‌توان به ریسک‌های مربوط به سرمایه‌گذاری و ساخت یا برون‌سپاری این فناوری‌ها براساس نتیجه این تحقیق پرداخت.

منابع

- اخوان، امیرناصر (۱۳۷۹) محثی پیرامون انتقال تکنولوژی، مؤسسه دانشگاهی آموزشی و تحقیقاتی مهندسی صنایع، تهران، ۱۳۷۹.
- الزامی، محمدرضا (۱۳۸۵) نانو فناوری، فرصتی طلایی برای توسعه، مجله مجلس و راهبرد. شماره ۵۲، ۳۰۶-۲۴۴.
- پورصالحی، رضا (۱۳۸۷)، کاربرد فناوری نانو در صنایع خودرو، ماهنامه مهندسی خودرو و صنایع وابسته، سال اول، شماره ۲، ۲۰-۲۲.
- شفیعا، محمدعلی و طیبیا، عارف (۱۳۸۴)، مدل انتخاب فناوری تولید مناسب در صنعت پارافین، فصلنامه مدرس علوم انسانی، دوره ۹، شماره ۲، ۸۷-۱۰۰.
- کریمی شیرازی، حامد و مدیری، محمود (۱۳۹۲)، انتخاب بهترین سیستم عملکرد یکپارچه پویا براساس BSC با رویکرد F. MADM. فصلنامه مدیریت صنعتی دانشکده علوم انسانی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد سنج، سال ۸، شماره ۲۴، ۲۳-۳۸.
- Asmatulu and et al (2013). *Nanotechnology Safety in the Automotive Industry*. (Chapter 5). Elsevier, 57-72.

- Coelho and et al (2012). Nanotechnology in Automotive Industry: Research Strategy and Trends for the Future-Small Objects, Big Impacts, *Journal of Nanoscience and Nanotechnology* Vol. 12, 1-10.
- Gabus, A., Fontela, E. (1972). *World Problems an Invitation to Further Thought within the Framework of DEMATEL*. Switzerland Geneva: Battelle Geneva Research Centre.
- IAEA (2002), *Non-technical factors impacting on the decision making processes in environmental remediation: Influences on the decision making process such as cost, planned land use and public perception*.
- Kreimeyer, A. (2014), *Nanotechnology: Nanotechnology potential in the filtration industry, Filtration + Separation*, Volume 51, Issue 4, 22-25.
- Lamb, M., & Gregory, M. J. (1997). *Industrial concerns in technology selection*. Paper presented at the meeting of the Portland international conference on management of engineering and technology, Portland, Ore.
- Lu and et al (2013). Environmental Strategic Orientations for Improving Green Innovation Performance in Fuzzy Environment - Using New Fuzzy Hybrid MCDM Model, *International Journal of Fuzzy Systems*, Vol. 15, No. 3, September 2013.
- Opricovic, S. (2011) *Fuzzy VIKOR with an application to water resources planning, Expert Systems with Applications* 38(10)12983-12990.
- Ozimek and et al (2010). *NANOTECHNOLOGIES IN FOOD AND MEAT PROCESSING*. Acta Sci. Pol., Technol. Aliment. 9(4), 401-412.
- Pezeshki, M & Ansari R. (2013). Choosing Technology by Using a Combined ANP and DEMATEL in Cellulose Industry (A Case Study: Tissue Paper Manufacturing Technologies), *International Journal of Advanced Studies in Humanities and Social Science*, Vol 1, 10, 1797-1814.
- Presting and Koönig (2003). *Future nanotechnology developments for automotive applications. Materials Science and Engineering C*, 23,737-741.
- Saaty, T.L., (1999). *Fundamentals of the analytic network process. In: Proceedings of the 5th international symposium on the analytic hierarchy process*.

- Shehabuddeen and et al. (2006). *From theory to practice: Challenges in operationalising a technology selection framework*. Technovation, 26(3), 324–407. Doi: 10.1016/j.technovation.2004.10.017.
- Shen and et al (2011). *Combined DEMATEL techniques with novel MCDM for the organic light emitting diode technology selection*. Expert Systems with Applications, 38(3). Doi: 10.1016/j.eswa.2010.07.056.
- Shen, J. & Liu, Y. M., (2012). Integrated multi-criteria decision-making (MCDM) method combined with decision making trial and evaluation laboratory (DEMATEL) and analytic network process (ANP) in food supplier selection. *African Journal of Business Management*, Vol. 6(12), 4595-4602.
- Sozer, N., & Kokini, J. L. (2012). *The applications of nanotechnology*. In Y. Picó (Ed.), *Chemical analysis of food: Techniques and applications*, USA: Elsevier, 145–170.
- Tan and et al (2011). A marginal analysis guided technology evaluation and selection. *International Journal of Production Economics*, 131, 15-21. Doi: 10.1016/j.ijpe.2010.09.027.
- Tzeng, et al (2013), *Combining VIKOR-DANP model for glamor stock selection and stock performance improvement*, *Knowledge-Based Systems*. <http://dx.doi.org/10.1016/j.knosys.2013.07.023>
- Tzeng, et al (2013). *A new hybrid MCDM model combining DANP with VIKOR to improve e-store business*. *Knowledge-Based Systems*, 37, 48–61
- Tzeng, G. H., Wang, Y. L., (2012). *Brand marketing for creating brand value based on a MCDM model combining DEMATEL with ANP and VIKOR methods*. Expert Systems with Applications, 39, 5600–5615.
- Wang et al (2012). *The best vendor selection for conducting the recycled material based on a hybrid MCDM model combining DANP with VIKOR*. Resources, Conservation and Recycling, 66, 95– 111.
- Yang et al (2008). A Novel Hybrid MCDM Model Combined with DEMATEL and ANP with Applications. *International Journal of Operations Research*, 5(3), 160-168.
- Yang et al (2011). *A VIKOR technique based on DEMATEL and ANP for in-*

- formation security risk control assessment*. Information Sciences.
- Yang, J., Tzeng, G. H., (2011). *An integrated MCDM technique combined with DEMATEL for a novel cluster-weighted with ANP method*. Expert Systems with Applications.
 - Yap, C., & Souder, W. (1993). *A filter system for technology evaluation and selection*. Technovation, 13(7), 449–469. Doi: 10.1016/j.eswa.2007.07.025.
 - Yu and et al (1998). *Introduction to technological management: Technological forecast and planning*. Taipei: Wu Nan Publishing Company.