روش ترکیبی بر پایه تاپسیس فازی-منطق دیجیتالی اصلاح شده برای تدوین استراتژی کسب‌وکار مرتبط با طرح برقی‌سازی ناوگان حمل و نقل شهری

مقاله علمی – پژوهشی

سمیرا کیانی، دانشجوی دکتری، گروه مهندسی صنایع، دانشکده مهندسی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران
جواد بهنامیان*، استاد، گروه مهندسی صنایع، دانشکده مهندسی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران
*پست الکترونیکی نویسنده مسئول: Behnamian@basu.ac.ir

دریافت: ۱۴۰۴/۰۱/۱۸- پذیرش: ۱۴۰۴/۰۵/۰۱
صفحه ۲۶۸-۲۵۵

چکیده

استراتژی به‌عنوان الگوی تصمیم‌گیری کلان، مسیر توسعه و عملکرد سازمان را شکل می‌دهد. این پژوهش با هدف تدوین چارچوب راهبردی برای مسأله مسیریابی-مکانیابی ناوگان وسایل نقلیه الکتریکی در بستر کسب‌وکار الکترونیکی انجام شد. در ابتدا، با طراحی پرسش‌نامه و انجام پیمایش میدانی در شهر همدان، داده‌های مرتبط با چهار ناحیه تصمیم کلیدی شامل ظرفیت، شبکه تأمین انرژی، تکنولوژی فرایند و توسعه و سازماندهی جمع‌آوری گردید. در گام بعد، به‌منظور اولویت‌بندی این نواحی براساس پنج هدف عملکردی شامل کیفیت خدمات، قابلیت اعتمادپذیری، سرعت عمل، قابلیت انعطاف‌پذیری و هزینه، از یک روش ترکیبی متشکل از تاپسیس فازی و منطق دیجیتالی اصلاح‌شده بهره گرفته شد. نتایج تحلیل نشان داد که ناحیه "توسعه و سازماندهی" با بالاترین وزن اولویت‌دار شناخته شده و به‌عنوان محور اصلی تدوین استراتژی‌های عملیاتی برقی‌سازی تعریف گردید. افزون بر این، تمرکز بر تقویت تکنولوژی فرایند موجب کاهش هزینه‌های توزیع انرژی و افزایش گستره عملیاتی وسایل نقلیه برقی خواهد شد. یافته‌های به‌دست‌آمده می‌تواند به خودروسازان در طراحی برنامه‌های توسعه‌ای، به انجمن‌های محیط زیست در تدوین سیاست‌های کاهش آلودگی و به سازمان‌های تحقیق و توسعه در بهبود کارایی حمل‌ونقل پایدار کمک نماید.

واژه‌های کلیدی: مسیریابی وسائل نقلیه الکتریکی، مکانیابی، تاپسیس فازی، منطق دیجیتالی اصلاح شده، استراتژی عملیات

۱- مقدمه

کسب‌وکارهای فعال در محیط شهری امروزی باید با در نظر گرفتن پارامترهای متنوعی نظیر سودآوری، مشتری‌محوری و ملاحظات اجتماعی، فرهنگی و زیست‌محیطی، برنامه‌ریزی‌های دقیقی را تدوین کنند. مسأله مسیریابی وسایل نقلیه الکتریکی، به‌عنوان یکی از مباحث کلیدی بهینه‌سازی در حوزه حمل‌ونقل، توجه گسترده‌ای را از سوی پژوهشگران به خود معطوف کرده است. از آنجائیکه هر مساله دارای مجموعه‌ای از ذینفعان است، نگاه تک بعدی به موضوع مسیریابی وسایل نقلیه می‌تواند تبعات فراوانی برای ذینفعان این حوزه داشته باشد. به عنوان مثال از منظر توابع عملکردی، معیارهای فراوانی برای ذینفعان مسائل مرتبط با حوزه حمل و نقل شهری مورد توجه است که از مهمترین آنها می‌توان به عملکردهای کیفیت، قابلیت اعتمادپذیری، سرعت عمل، قابلیت انعطاف‌پذیری و هزینه اشاره داشت. برای توابع هدف عملکردی هر کدام از ذینفعان، یک استراتژی عملیات وجود دارد. در این رابطه، مشتری از متداول‌ترین ذینفع مطالعات به شمار می‌رود، به این دلیل که همه قشرها، اکثر مسائل مربوط به جامعه مشتریان را بیشتر از بقیه ذینفعان مورد توجه قرار می‌دهند. از طرفی، مزیت رقابتی مبتنی

بر منابع می‌تواند مدت زمان محدودی، ارزش خود را حفظ کند . برای مثال در مسیریابی سبز باید بین اهداف عملکردی با تاثیرپذیری از نواحی تصمیم شامل ظرفیت، شبکه تامین، تکنولوژی فرایند و توسعه و سازماندهی انتخاب شود تا با ایجاد نوعی موازنه نسبی مشخص شود رضایت‌بخشی از هر هدف چه مقدار بوده است.

گرم شدن کره زمین به یک تهدید جدی برای موجودات زنده از جمله انسان‌ها تبدیل شده است. آلودگی هوا به دلیل انتشار گازهای مضر مثل دی‌اکسید کربن به وجود می‌آید. انرژی فسیلی مهم‌ترین منشاء انتشار گازهای دی‌اکسید کربن است که باعث می‌شود به جای استفاده از سوخت‌های فسیلی از سوخت‌های غیرفسیلی استفاده شود. خودروهای هیدروژنی و الکتریکی نمونه وسایل نقلیه خوبی هستند که از منابع سوختی غیرفسیلی استفاده می‌کنند. استفاده از سوخت‌های غیرفسیلی در وسایل نقلیه را مسیریابی وسایل نقلیه سبز می‌گویند و برنامه‌ریزان یا استفاده‌کنندگان از این سوخت‌ها به دنبال کاهش آلودگی هوا می‌باشند. از آنجایی که انواع مسائل مرتبط با حمل و نقل یا توزیع (مساله فروشنده دوره‌گرد، مساله کوتاه‌ترین مسیر، حمل‌ونقل، مسیریابی و ...) امکان استفاده از انواع منابع برای تولید سوخت‌های پاک (آب، باد، خورشید، خاک و ...) را دارا بوده و از آنجائیکه هزینه‌ها یا در دسترس بودن دسترس هر کدام از این منابع، متفاوت است، بنابراین ضروری است برای در نظر گرفتن معیارهای بیشتر از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره در حل مسائل مختلف استفاده شود. در این راستا در این تحقیق با هدف کاهش آلودگی هوا سعی شده است برای طرح برقی‌سازی در شهر همدان رتبه بندی ناحیه‌های تصمیم موثر مرتبط با توزیع الکتریکی با استفاده از روش تصمیم‌گیری چندشاخصه تاپسیس فازی ارائه شود تا در نهایت اولویت‌بندی با توجه به اهداف عملکردی یک کسب‌وکار الکترونیکی مشخص شود. در ضمن در روش تاپسیس در نظر گرفته شده در این مقاله از روش منطق دیجیتالی اصلاح شده برای محاسبه وزن هر معیار استفاده شده است. نوآوری‌های این مقاله به شرح زیر است.

- بررسی و اولویت‌گذاری اهداف عملکردی کسب‌وکار الکترونیکی در مسأله مسیریابی–مکان‌یابی خودروهای برقی، با هدف تعیین مؤثرترین نواحی تصمیم‌گیری برای تمرکز تصمیم‌گیرندگان.

- ارائه روش ترکیبی منطق دیجیتال اصلاح‌شده و تاپسیس فازی برای ارزیابی و رتبه‌بندی طرح برقی‌سازی ناوگان حمل‌ونقل شهری.

-گسترش مجموعه معیارهای تصمیم به موارد نوآورانه از جمله: (۱) تأمین برق اینترنتی از طریق قراردادهای هوشمند در بستر بلاک‌چین، (۲) امکان انتخاب میان انواع خودروهای برقی و روش‌های مختلف شارژ، (۳) در نظر گرفتن منابع متنوع تأمین انرژی (آب، باد، خورشید، زیست‌توده و ...) و (٤) انعطاف‌پذیری در تعریف مسائل مسیریابی و مکان‌یابی (پنجره‌های زمانی، مسیریابی باز/نیمه‌باز و ترکیبی از این انواع)

در ادامه به بررسی مطالعاتی در رابطه با مفاهیمی مرتبط با برقی‌سازی در آینده، مسیریابی–مکانیابی وسایل نقلیه الکتریکی و روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره پرداخته می‌شود. در شرح مساله، یک روش تاپسیس فازی با ملاحظه به یک ماتریس تصمیم، اجرا می‌شود. ماتریس تصمیم در نظر گرفته شده در این مقاله، یک ماتریس استراتژی عملیات برای یک کسب‌وکار است. نهایتا نتایج گرفته شده با الگوریتم‌هایی در مبحث تعریف شده توسط معیارهایی مقایسه می‌شود و پیشنهادات آتی برای سایر محققین نوشته می‌شود.

۲- پیشینه تحقیق

با گسترش روزافزون تجارت الکترونیک و پیچیده‌شدن چرخه‌های لجستیک در فضای کسب‌وکار دیجیتال، نیاز به تصمیم‌گیری ساختاریافته برای اولویت‌بندی معیارهای گوناگون و انتخاب گزینه‌های بهینه آشکار شده است. روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره (MCDM) نظیر فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP)، تکنیک شباهت به راه‌حل ایده‌آل (TOPSIS)، دیمتل فازی، منطق خاکستری و مدل‌های ترکیبی مبتنی بر منطق فازی و الگوریتم‌های جستجوی بهینه، با پوشش معیارهای کیفی و کمی از جمله پایداری اجتماعی، زیست‌محیطی و اقتصادی، امکان وزن‌دهی منسجم و رتبه‌بندی گزینه‌هایی چون تأمین‌کنندگان، مراکز خدمات و شبکه‌های حمل‌ونقل را فراهم آورده‌اند. در این بخش، نتایج و دستاوردهای پژوهش‌های کلیدی در دو حوزه اصلی—انتخاب تأمین‌کننده از یک سو و مکان‌یابی و مسیریابی وسایل نقلیه الکتریکی از سوی دیگر—ارائه شده است.

پژوهش‌های متعددی به کاربرد روش‌های MCDM در انتخاب تأمین‌کننده، ارزیابی کیفیت سرویس و مکان‌یابی تأسیسات اختصاص یافته است. حسامی (۲۰۲۴) با شناسایی شاخص‌های پایداری اجتماعی، زیست‌محیطی و اقتصادی، فرایند تصمیم‌گیری تلفیقی AHP–TOPSIS را برای رتبه‌بندی تأمین‌کنندگان به‌کار برد و فاصله گزینه‌ها از راه‌حل ایده‌آل را مبنای انتخاب نهایی قرار داد. کار و همکاران (۲۰۲۴) نیز با ادغام سه روش تحلیل سراسری نسبی تفکیکی، تحلیل رابطه‌ای خاکستری و تکنیک TOPSIS، ویژگی‌های کیفی سرویس‌دهی مترو را اولویت‌بندی کردند. در حوزه اینترنت اشیا، کارحابادی و همکاران (۲۰۲۴) با طراحی داده‌های نمونه اینترنت اشیاء (IoT) برای پایش عملکرد شبکه، مدل فازی تحلیل نسبت ارزیابی پله‌ای را توسعه دادند تا کارایی و پایداری ساختار را بهبود بخشند. پورمحمدرضا و اکبری‌جوکار (۲۰۲۴) ساختار دو مرحله‌ای مسأله لجستیک شامل خدمات درب‌به‌درب، برداشت شخصی و سرویس‌های با قیمت متغیر را مدل‌سازی و با استفاده از روش تحلیل ترجیح ترتیبی مبتنی بر فاصله میانگین، مسیرهای بهینه را برای کاهش زمان و هزینه استخراج کردند. جسری و همکاران (۲۰۲۴) چارچوب مکان‌یابی هاب‌های پایدار شرکت‌های لجستیک شخص ثالث را تعریف کردند که جریان‌های تقاضا را بهینه و تاب‌آوری ساختاری را در برابر اختلال‌های ناگهانی افزایش می‌دهد؛ این چارچوب نیز با روش فازی تحلیل نسبت ارزیابی پله‌ای مبتنی بر فاصله میانگین تحقق یافت. دایدی‌آکسیه (۲۰۲۳) ده عامل مؤثر بر انتخاب محل مراکز نگهداری تجهیزات پزشکی را با فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی از منظر هفت متخصص وزن‌دهی و چهار موقعیت نامزد را رتبه‌بندی کرد. بیسواز و همکاران (۲۰۲۵) برای مکان‌یابی رستوران کنار بزرگراه ترکیبی از AHP و TOPSIS با توابع عضویت ذوزنقه‌ای چندتصمیم‌گیرنده به‌کار بردند و نتایج کاربردی خود را در بهینه‌سازی معیارهای اقتصادی و عملکردی گزارش دادند. رادیولسکو و همکاران (۲۰۲۴) ضریب نزدیکی نسبی در TOPSIS را با مشارکت گروهی از تصمیم‌گیرندگان اصلاح کردند تا بازتاب دقیق‌تری از ترجیحات جمعی حاصل شود. در بخش خدمات مراقبت و رفاه اجتماعی، هالیکا و گلا (۲۰۲۴) فناوری‌های هوشمند مراقبت از سالمندان -شامل ویلچر هوشمند، دست‌بند الکترونیکی و ربات همراه-را با TOPSIS بر اساس معیارهای حفاظت، ایمنی و کیفیت مراقبت ارزیابی کردند. یوسلو و همکاران (۲۰۲۴) مکان‌یابی مراکز مراقبت از معلولان را با ترکیب AHP و TOPSIS انجام دادند و فاکتورهای دسترسی و هزینه را وزن‌دهی کردند. اسلام و همکاران (۲۰۲۴) نیز با طراحی سیستم پشتیبان تصمیم مبتنی بر AHP–TOPSIS، بهترین مکان برای مراکز انتقال خون را تعیین کردند. ستریه و گابریل (۲۰۲۴) نقش توانمندسازی جامعه در انتخاب محل کارخانه تولید اسباب‌بازی را با ترکیب AHP–TOPSIS بررسی و معیارهای زیست‌محیطی، اقتصادی و اجتماعی را اولویت‌بندی نمود. آذرگل و همکاران (۲۰۲۴) چهار پلتفرم یادگیری الکترونیکی—گوگل‌میت، مایکروسافت تیمز، اسکایپ و زوم—را با روش AHP–TOPSIS تحلیل و رتبه‌بندی کردند. مطالعات تکمیلی نیز به بازنگری و بهبود روش‌ها اختصاص داشتند. لی و همکاران (۲۰۲۴) رویکرد اصلاح‌شده‌ای از TOPSIS مبتنی بر عقلانیت و سازگاری در رتبه‌بندی، کیتکی و کزر (۲۰۲۴) اقلام امتیازدهی در TOPSIS فازی را استخراج و با روش‌های کلاسیک مقایسه کردند، وین و همکاران (۲۰۲۴) همکاری دانشگاه و صنعت را با فازی AHP–TOPSIS مطالعه نمودند، پاراشار و همکاران (۲۰۲۳) عملکرد زنجیره تأمین تجهیزات پزشکی را با TOPSIS فازی ارزیابی کردند و حافظ و همکاران (۲۰۲۴) استراتژی‌های بلاک‌چین را با TOPSIS فازی آزمودند. در نهایت، کاراسان و همکاران (۲۰۱۸) مسأله مکان‌یابی ایستگاه‌های شارژ وسایل نقلیه الکتریکی را با روش‌های DMETEL، AHP و TOPSIS حل و ترکیبی از معیارهای اقتصادی، فنی و زیست‌محیطی را لحاظ کردند. در حوزه حمل‌ونقل برقی، اکسیانگ (۲۰۲۲) مسأله مکان‌یابی–مسیریابی اتوبوس‌های عمومی الکتریکی را تعریف و با ارائه دو مدل صف انتظار خطی و پیشگیری از تعارض، توابع هدف حداقل‌سازی هزینه تأخیر و هزینه شارژ را تدوین کرد. این پژوهش با زمان‌بندی شارژ ویژه هر اتوبوس و مدل‌سازی پویایی باتری، به تحلیل اهداف هزینه و سرعت عمل پرداخت. فن (۲۰۲۳) مسأله مسیریابی مستقل از زمان وسایل نقلیه الکتریکی را با استراتژی‌های بازپرسازی به صورت مدل ریاضی ارائه داد و با الگوریتم جستجوی همسایگی بزرگ تطبیقی پیوندی، کوتاه‌ترین مسیرها را در شرایط ترافیکی متغیر استخراج کرد. نیلاشی و همکاران (۲۰۲۳) با تلفیق DMETEL فازی، خوشه‌بندی و منطق فازی، مدل امتیازدهی جامعی برای ارزیابی زنجیره تأمین وسایل نقلیه الکتریکی توسعه دادند که معیارهای هزینه خدمات‌دهی، مدیریت دارایی‌ها، پاسخگویی و چابکی را پوشش می‌دهد. دسکی و یائو

(۲۰۲۳) مسأله مسیریابی کامیون‌های باری الکتریکی با باتری را مبتنی بر گراف جهت‌دار شامل رأس‌های انبار، مشتری و ایستگاه شارژ مدلسازی کردند و با تابع هدف حداقل‌سازی مجموع هزینه‌های بهره‌برداری، سوخت و انتشار آلاینده‌ها و بهره‌گیری از الگوریتم جستجوی همسایگی، راهکار بهینه را ارائه دادند.

بررسی متون پیشین نشان می‌دهد که انتخاب تأمین‌کننده در چارچوب روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره بارها مورد مطالعه قرار گرفته است؛ اما حوزه "انتخاب ناحیه تصمیم" در کسب‌وکارهای مرتبط کمتر مورد توجه قرار گرفته است. منظور از ناحیه تصمیم، حوزه‌ای است که ذی‌نفعان باید بر آن تمرکز کنند، مانند: تعیین ظرفیت و زمان‌بندی تولید، انتخاب شبکه تأمین (برون‌سپاری یا درون‌سپاری) و تمرکز بر فناوری‌های نوین یا توسعه و سازماندهی ساختار عملیاتی. در این پژوهش، هدف اصلی تعیین و اولویت‌بندی این نواحی تصمیم‌گیری است تا تصمیم‌گیرندگان بتوانند با تمرکز مناسب بر مهم‌ترین حوزه‌ها، فرایند برقی‌سازی ناوگان را به‌صورت بهینه پیش ببرند.

۳- روش تحقیق

گروه صنعتی قصد دارد طرح برقی‌سازی ناوگان حمل‌ونقل شهری همدان را اجرا نماید. در این راستا و با هدف تحقق اهداف زیست‌محیطی و ارتقای سبز بودن فرایند توزیع الکتریکی، در این تحقیق قرار است مجموعه اقدامات مورد نیاز بر اساس اولویت‌های تصمیم‌گیری رتبه‌بندی شوند. به این منظور در اینجا در ابتدا بایستی معیارهای عملکردی مؤثر در موفقیت طرح را در حوزه‌های تصمیم‌گیری تعریف و سپس با بهره‌گیری از روش تصمیم‌گیری چندمعیاره فازی (تاپسیس)، گزینه‌های مختلف برقی‌سازی رتبه‌بندی شوند. در واقع در این مقاله با توجه به یک ماتریس تصمیم مربوط به یک کسب‌وکار الکترونیکی مرتبط با مسائل مسیریابی-مکانیابی، یک روش ترکیبی تاپسیس فازی_روش منطق دیجیتالی اصلاح شده ارائه شده است تا با در نظر گرفتن اهداف عملکردی موجود، نواحی تصمیم مختلف در یک ماتریس استراتژی عملیات اولویت بندی شده و بر اساس آن استراتژیهای برای بهبود کسب و کار مورد مطالعه ارائه گردد. پیش از به‌کارگیری روش تاپسیس در مسأله مسیریابی وسایل نقلیه الکتریکی، گام‌های این روش و ارتباط هر یک با مسئله مزبور تشریح می‌شود. این گام‌ها به ترتیب زیر اجرا می‌گردند:

تشکیل ماتریس تصمیم: در این پژوهش، گام اول تشکیل ماتریس استراتژی عملیات است. این ماتریس شامل معیارهای عملکردی در سطر و حوزه‌های تصمیم به ترتیب در ستون است. در این مطالعه، گزینه‌ها همان ناحیه‌های تصمیم در فرایند برقی‌سازی محسوب می‌شوند. در حوزه *ناحیه تصمیم ظرفیت*، هر اقدامی که توسط دست‌اندرکاران در زمینه حمل‌ونقل برقی انجام شود و منجر به تغییر ظرفیت (افزایش یا کاهش) گردد، در این ناحیه طبقه‌بندی می‌گردد. مهم‌ترین اقدامات مربوط به این ناحیه شامل انواع تصمیم‌های مکانیابی، از جمله تعیین محل ایستگاه‌های شارژ، مکان‌یابی سایت‌های تعویض باتری و موارد مشابه است. در *ناحیه تصمیم شبکه‌های تأمین*، استراتژی‌های مرتبط با تأمین انرژی مورد نیاز خودروهای برقی مطرح می‌شود. این استراتژی‌ها می‌تواند شامل واردات برق از شبکه‌های منطقه‌ای یا تولید داخلی باشد. همچنین در تامین خوردو برقی نیز بحث های همچون تولید داخلی در مقابل وارادات آنها مطرح است. *ناحیه تصمیم تکنولوژی فرایند* به انتخاب و بهره‌گیری از فناوری‌های تولید، ذخیره و مدیریت برق برای خودروی برقی اختصاص دارد. از جمله گزینه‌های این ناحیه می‌توان به انواع منابع تولید برق (نیروگاه‌های اختصاصی شارژ)، گونه‌های مختلف باتری (لیتیوم-یون، باتری‌های جامد و غیره)، انواع خودروهای الکتریکی و سامانه‌های مدیریت باتری اشاره کرد. در *ناحیه تصمیم توسعه و سازمان‌دهی*، اقدامات مدیریتی و سازمانی جهت بهره‌برداری گسترده از فناوری‌های اختراع‌شده و نوآوری‌های معرفی‌شده در صنعت خودروی برقی بررسی می‌شود. این ناحیه شامل سازمان‌دهی زنجیره تأمین، همکاری با شرکت‌های نوپا و فرهنگ‌سازی میان ذی‌نفعان است.

در نقطه مقابل معیارهای عملکردی شامل هزینه، کیفیت، سرعت عمل، قابلیت اعتماد و انعطاف‌پذیری است. هدف عملکردی هزینه معمولا در رابطه با توزیع الکتریکی به دنبال حداقل کردن هزینه انواع مکانیابی ایستگاه‌های شارژ، محل تعویض باتری، مکان شرکت لاین پویای بی‌سیم، هزینه‌های متغیر مربوط به مسیریابی الکتریکی، هزینه‌های تولید انواع مواد و قطعات مورد نیاز طرح برقی‌سازی و ... می‌باشد. هدف عملکردی کیفیت، همسو با دغدغه‌های اخیر محققان، تولیدکنندگان و سایر ذی‌نفعان در راستای سبزسازی تجهیزات حمل‌ونقل برقی عبارت‌اند از: وضعیت شارژ باتری (زمان مورد نیاز برای شارژ کامل)، وضعیت سلامت باتری (طول عمر مفید) و میزان مصرف

انرژی (هر چه کمتر، مطلوب‌تر). در این بین قابلیت اعتمادپذیری نیز به معنای جلب اعتماد تمامی افرادی است که مشتری خدمت یا کالای یک سازمان قلمداد می‌شوند. در موضوع مسیریابی وسایل نقلیه الکتریکی، لازم است اطلاع‌رسانی درباره آثار آلودگی هوا و راهکارهای مقابله با آن انجام شود و نیز اقدامات صورت‌گرفته توسط دولت و سازمان‌های ذی‌ربط مورد بررسی قرار گیرد. قابلیت انعطاف‌پذیری شامل تمام انواع انتخاب‌پذیری بین چند گزینه یا بین یک بازه زمانی مثل پنجره زمانی به نفع تحویل‌دهنده کالا یا محصول که توسط مشتری، صورت می‌پذیرد، می‌باشد. مثال‌هایی در رابطه با طرح برقی‌سازی می‌توان به انواع شیوه شارژ، نوع تامین برق برای حرکت ماشین، نوع ماشین و ... را نام برد.

برای کامل کردن ماتریس تصمیم، یک طیف کلامی ٦ سطحی از متغیرهای کیفی در جدول ۱ وجود دارد که برای تبدیل این متغیرهای زبانی به اعداد فازی استفاده می‌شود. حال با استفاده از پرسشنامه (پیوست ۱) نتیجه‌ای بصورت جدول (۱) حاصل می‌شود که در این مطالعه از سه تصمیم‌گیرنده درباره موضوع برقی‌سازی نظرسنجی شده‌اند (نعمتی و بهشتی‌نیا، ۱۳۹٤). پاسخ تصمیم‌گیرندگان در جدول ۲ آمده است.

جدول۱. متغیرهای کلامی برای بیان وضعیت ارتباطی هدف عملکردی و ناحیه تصمیم

عبارت کلامی	عدد فازی	عبارت کلامی	عدد فازی
۱) بسیار ضعیف	(0.1,0.2,0.3)	٤) تا حدودی خوب	(0.55,0.65,0.7)
۲) ضعیف	(0.4,0.6,0.75)	٥) بسیار خوب	(0.75,0.75,0.9)
۳) بدون نظر	(0.5,0.65,0.65)		

جدول ۲. ماتریس پاسخ کیفی سوال شوندگان (متخصصین)

پاسخ نظرسنجی ۱	**کیفیت**	**قابلیت اعتمادپذیری**	**سرعت عمل**	**قابلیت انعطاف‌پذیری**	**هزینه**
ظرفیت	بدون نظر	خوب	خوب	خوب	بسیار ضعیف
شبکه تامین	ضعیف	خوب	تا حدودی خوب	بسیار ضعیف	تا حدودی خوب
تکنولوژی فرایند	تا حدودی خوب	ضعیف	خوب	بدون نظر	خوب
توسعه و سازماندهی	تا حدودی خوب	خوب	خوب	خوب	خوب
پاسخ نظرسنجی ۲	**کیفیت**	**قابلیت اعتمادپذیری**	**سرعت عمل**	**قابلیت انعطاف‌پذیری**	**هزینه**
ظرفیت	بسیار ضعیف	بسیار ضعیف	تا حدودی خوب	بدون نظر	بدون نظر
شبکه تامین	بدون نظر	بدون نظر	بدون نظر	بدون نظر	بسیار ضعیف
تکنولوژی فرایند	بدون نظر	بدون نظر	بدون نظر	تا حدودی خوب	ضعیف
توسعه و سازماندهی	ضعیف	بدون نظر	بدون نظر	بدون نظر	بدون نظر
پاسخ نظرسنجی۳	**کیفیت**	**قابلیت اعتمادپذیری**	**سرعت عمل**	**قابلیت انعطاف‌پذیری**	**هزینه**
ظرفیت	بسیار ضعیف	بدون نظر	بدون نظر	خوب	ضعیف
شبکه تامین	ضعیف	ضعیف	تا حدودی خوب	ضعیف	ضعیف
تکنولوژی فرایند	تا حدودی خوب	بسیار ضعیف	تا حدودی خوب	خوب	تا حدودی خوب
توسعه و سازماندهی	ضعیف	خوب	ضعیف	خوب	بسیار ضعیف

-**نرمال‌سازی داده‌ها**: برای یکسان کردن مقیاس داده‌ها می‌باشد که همه این داده‌ها بین ۰ و ۱ خواهد شد. برای شاخص‌های مثبت، هر گزینه تقسیم ماکزیمم عناصر یک شاخص (یا ستون) بر عناصر موجود در آن معیار و برای شاخص‌های منفی، تمام عناصر یک ستون تقسیم بر مینیمم بین آن عناصر، می‌شود. شاخص منفی یعنی معیاری که هر چه کمتر باشد، بهتر است و شاخص مثبت، مفهومی برعکس دارد. در این پژوهش، هزینه، از شاخص‌های منفی و بقیه معیارها از شاخص‌های مثبت محسوب خواهند شد (حسامی، (۲۰۲٤)).

-**کمی سازی فازی**: ماتریس تصمیم کیفی داده شده تمام تصمیم‌گیرندگان به یک ماتریس کمی فازی در جدول ۳ برای محاسبات روش تاپسیس، تبدیل شده است.

جدول ۳. ماتریس تصمیم کمی فازی

پاسخ فازی	کیفیت	قابلیت اعتمادپذیری	سرعت عمل	قابلیت انعطاف‌پذیری	هزینه
ظرفیت	(0.1,0.2,0.3)	(0.5,0.65,0.65)	(0.55,0.65,0.7)	(0.75,0.75,0.9)	(0.4,0.6,0.75)
شبکه تامین	(0.4,0.6,0.75)	(0.5,0.65,0.65)	(0.55,0.65,0.7)	(0.4,0.6,0.75)	(0.4,0.6,0.75)
تکنولوژی فرایند	(0.55,0.65,0.7)	(0.4,0.6,0.75)	(0.55,0.65,0.7)	(0.55,0.65,0.7)	(0.55,0.65,0.7)
توسعه و سازماندهی	(0.4,0.6,0.75)	(0.75,0.75,0.9)	(0.5,0.65,0.65)	(0.75,0.75,0.9)	(0.5,0.65,0.65)

می‌توان برای سهولت محاسبه و پیشگیری از خطای محاسباتی از توابع اکسل استفاده کرد. مثلا اگر $\overline{x_{ij}}$ و $\underline{x_{ij}}$ به ترتیب حد بالا و پایین اصلی داده‌های کسب شده از نظرسنجی‌ها باشند، برای نرمال‌سازی با توجه به توضیحات داده شده قبلی می‌توان در اکسل از طریق رابطه‌های (۱) و (۲) به ترتیب برای شاخص‌های منفی و مثبت، عمل کرد (حسامی، ۲۰۲٤)).

$$\underline{x_{ij}^*} = \frac{\underline{x_{ij}}}{Max\left[\overline{x_{ij}}, \underline{x_{ij}}\right]} \quad (۱)$$

$$\overline{x_{ij}^*} = \frac{\overline{x_{ij}}}{Max\left[\overline{x_{ij}}, \underline{x_{ij}}\right]} \quad (۲)$$

بعد از نرمال‌سازی داده‌ها، جدول ٤ به عنوان نتیجه محاسبه دست یافته می‌شود.

جدول ٤. نتیجه محاسبات داده‌های نرمال شده

پاسخ فازی	کیفیت	قابلیت اعتمادپذیری	سرعت عمل	قابلیت انعطاف‌پذیری	هزینه
ظرفیت	(0.18,0.3,0.4)	(0.67,0.867,0.72)	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,1,0.867)
شبکه تامین	(0.73,0.92,1)	(0.67,0.867,0.72)	(1,1,1)	(0.53,0.8,0.83)	(1,1,0.867)
تکنولوژی فرایند	(1,1,0.93)	(0.53,0.8,0.83)	(1,1,1)	(0.73,0.867,0.78)	(0.73,0.92,0.93)
توسعه و سازماندهی	(0.73,0.92,1)	(1,1,1)	(0.9,1,0.93)	(1,1,1)	(0.8,0.92,1)

-**ماتریس تصمیم وزن‌دار**: ابتدا باید از طریق روش منطق دیجیتالی اصلاح شده (MDL)، وزن محاسبه شود.

-در روش MDL با فرض وجود سه نفر به عنوان تصمیم‌گیرنده، یک مولفه سه‌تایی کمی شده برای نظرات سه عضو تعریف می‌شود و آنچه در وسط قرار می‌گیرد، ملاک مقایسات خواهد بود. البته چنانچه تصمیم‌گیرندگان بیشتر از سه نفر باشند، می‌توان در معادل کمی شده با میانگین رند شده، میانه و مد یک مولفه سه‌تایی محاسبه نمود. بعد از این توصیفات، نوبت به تعیین عدد بین ۱ تا ۳ برای محاسبه وزن می‌باشد.

-اگر معیاری اهمیت کمی از نظر تصمیم‌گیرندگان دارد، عدد ۱، اگر اهمیت برابر دارد، مقدار ۲ و نهایتا اهمیت فراوان با ۳ در ماتریس منطق دیجیتالی اصلاح شده، پر خواهد شد (بهشتی‌نیا و رضوانی، ۱۳۹۷).

-یک ماتریس مقایسه زوجی که سطرهای آن، معیارهای مورد نظر و ستون‌های آن با همان تعداد سطرها، تعداد تصمیم‌گیرندگان یا پاسخ‌دهندگان است، به وجود می‌آید و نظر این افراد با یکدیگر به وسیله یک ماتریس تصمیم جداگانه برای هر نفر، جمع می‌شود. هر معیار با توجه به یک نفر، یک تصمیم‌گیرنده برایش وجود دارد که جمع نظرات تک تک افراد در گزینه‌های مختلف، محاسبه می‌شود. در این ماتریس که معیارها در هر سطر می‌باشد، جمع هر سطر را با توجه به آن معیار، وزن نرمال نشده هر معیار می‌نامند که اگر تقسیم بر مجموع وزن‌های تمام معیارها شود (یعنی جمع سطرها)، وزن نرمال‌شده نام دارد (نعمتی و بهشتی‌نیا، ۱۳۹٤).

حال اگر وزن هر معیار با w_j و ترجیح گزینه‌ها نسبت به همدیگر با P_{ij} نشان داده شود، برای محاسبه وزن نرمال‌شده هر معیار توسط روش MDL به بیان ریاضی از رابطه (۳) استفاده می‌شود. در این گام، ماتریس نرمال‌شده ضرب در وزن‌های در نظر گرفته شده توسط ارزیابی نظر تصمیم‌گیرندگان (یا پاسخ‌دهندگان به پرسشنامه‌ها)، ماتریس تصمیم وزن‌دار را تشکیل می‌دهد. توضیحات ذکر شده در رابطه‌های (٤) و (۵) به ترتیب برای شاخص‌های منفی و مثبت نشان داده شده است (حسامی ۲۰۲٤).

$$W_j = \frac{P_{ij}}{\sum_{i=1}^{n} P_{ij}} \quad (۳)$$

$$\underline{x_i'} = w_j \cdot \underline{x_{ij}^*} \quad (۴)$$

$$\overline{x_i'} = w_j \cdot \overline{x_{ij}^*} \quad (۵)$$

تعیین ایده‌آل‌های مثبت و منفی: برای این گام باید از ماتریس تصمیم‌گیری یکپارچه وزن‌دار، برای شاخص‌های مثبت و برای شاخص‌های منفی، مینیمم و ماکزیمم حساب کرد. هر معیار با توجه به اعداد فازی مثلثی، به سه بخش به عنوان یک عدد فازی، تقسیم شده‌اند. بین تمام شاخص‌های هر گزینه برای تعیین ایده‌آل‌های منفی و مثبت به ترتیب طبق روابط (۶) و (۷) صورت می‌پذیرد.

$$A^- = \left\{\left(\min \underline{x_i'} \,|i \in I\right), \left(\max \overline{\widetilde{x_i'}} \,|i \in J\right)\right\} \quad (۶)$$

$$A^+ = \left\{\left(\max \overline{\widetilde{x_i'}} \,|i \in I\right), \left(\min \underline{\widetilde{x_i'}} \,|i \in J\right)\right\} \quad (۷)$$

-محاسبه فاصله ایده‌آل: برای محاسبه فاصله ایده‌آل مثبت و منفی هر گزینه می‌توان از رابطه (۸) استفاده کرد. با توجه به اینکه اعداد فازی هستند، اگر x_{ij} را m و همین طور به طور جداگانه $\overline{x_{ij}^*}$ و $\underline{x_{ij}^*}$ هر کدام n در نظر گرفته شود، می‌توان بیان کرد که $\tilde{m} = (l_m, m_m, u_m)$ و $\tilde{n} = (l_n, m_n, u_n)$ هستند.

$$d(x_{ij}, \overline{x_{ij}^*}) = d\left(x_{ij}, \underline{x_{ij}^*}\right) = \sqrt{\frac{1}{3}((l_m - l_n)^2 + (m_m - m_n)^2 + (u_m - u_n)^2)} \quad (۸)$$

٤-تحلیل داده‌ها و یافته‌های پژوهش

محاسبه فاصله تا ایده‌آل در روش تاپسیس فازی، با استفاده از اعداد فازی مثلثی و پیش از اعمال عملگر جذر، مطابق جدول ۵ انجام می‌شود. برای تدوین استراتژی‌های سازمان، ابتدا لازم است شاخص نزدیکی نسبی هر گزینه بر اساس رابطه (۹) گردد. در این رابطه، شاخص نزدیکی نسبی گزینه i با نماد CC_i مشخص شده است؛ همچنین S_i^- و S_i^+ به‌ترتیب بیانگر مجموع فواصل گزینه i از بردار ایده‌آل مثبت و بردار ایده‌آل منفی می‌باشند. شایان ذکر است که در این مرحله هر چه مقدار CC_i بیشتر باشد، اولویت و رتبه آن گزینه بالاتر خواهد بود.

$$CC_i = \frac{S_i^-}{S_i^- + S_i^+} \quad (۹)$$

جدول ۵. نتایج محاسباتی ایده آل های مثبت و منفی

پاسخ فازی	کیفیت	قابلیت اعتمادپذیری	سرعت عمل	قابلیت انعطاف‌پذیری	هزینه
ظرفیت	(0.03,0.05,0.06)	(0.13,0.14,0.16)	(0.26,0.26,0.26)	(0.23,0.23,0.23)	(0.14,0.16,0.16)
شبکه تامین	(0.12,0.15,0.16)	(0.13,0.14,0.16)	(0.26,0.26,0.26)	(0.12,0.18,0.19)	(0.14,0.16,0.16)
تکنولوژی فرایند	(0.15,0.16,0.16)	(0.1,0.152,0.16)	(0.26,0.26,0.26)	(0.17,0.18,0.2)	(0.12,0.15,0.15)
توسعه و سازماندهی	(0.12,0.12,0.16)	(0.19,0.19,0.19)	(0.24,0.24,0.26)	(0.23,0.23,0.23)	(0.13,0.15,0.16)
جواب ایده‌آل مثبت فازی	(0.16,0.16,0.16)	(0.19,0.19,0.19)	(0.26,0.26,0.26)	(0.23,0.23,0.23)	(0.12,0.14,0.15)
جواب ایده‌آل منفی فازی	(0.03,0.05,0.06)	(0.1,0.14,0.15)	(0.24,0.24,0.26)	(0.12,0.18,0.84)	(0.16,0.16,0.16)

با توجه به اهمیت گسترده‌ی عوامل مؤثر بر فرآیند برقی‌سازی سیستم حمل‌ونقل، در این پژوهش چهار حوزه‌ی اصلی تصمیم‌گیری مورد بررسی قرار گرفته است. نخست، شبکه‌های تأمین برق به‌عنوان زیربنای پشتیبان توان الکتریکی شناخته می‌شوند. دوم، استراتژی‌های ظرفیت شامل مکان‌یابی ایستگاه‌های شارژ، تعیین محل کارخانه یا خطوط مونتاژ، طراحی شبکه‌ی انتقال بی‌سیم و شناسایی سایر نقاط مورد نیاز با توجه به ویژگی‌های خودروها و شیوه‌های تأمین برق است. سوم،

فناوری فرآیند به بهینه‌سازی روش‌های تولید، ذخیره و انتقال انرژی الکتریکی می‌پردازد. چهارم، حوزه‌ی توسعه و سازماندهی، ساختار نهادی و هماهنگی بین اجزاء سیستم را در راستای دستیابی به اهداف عملکردی نظیر اعتمادپذیری، انعطاف‌پذیری، حداقل‌سازی هزینه، افزایش سرعت خدمت‌رسانی و ارتقای کیفیت بررسی می‌کند.

با استفاده از نتایج حاصل از تحلیل چهار حوزه‌ی فوق، استراتژی عملیات پیشنهادی این پژوهش به شرح زیر ارائه می‌گردد.

-ضرورت دارد مواردی نظیر منابع انرژی تجدیدپذیر، الگوهای ورود و خروج خودروهای برقی و نوسانات قیمت‌گذاری در بازار ساماندهی شوند، زیرا عملکرد سیستم مدیریت انرژی خودروهای برقی مستقیماً متأثر از این عوامل است. برای اتخاذ تصمیمات چندمعیاره و با در نظر گرفتن این متغیرها، می‌توان گزینه‌های رایج خودروهای برقی وارداتی و تولید داخل در بازار ایران را رتبه‌بندی کرد.

- الکتریکی‌سازی حمل‌ونقل عمومی در گستره جهانی می‌تواند با اهدافی چون کمینه‌سازی هزینه و زمان و حداکثرسازی کیفیت، انعطاف‌پذیری و قابلیت اعتماد، در جهت بهبود کیفیت هوا و کاهش تغییرات دمایی مطرح گردد.

-در صورت لحاظ موجودی در مدل پژوهش، تمرکز می‌تواند معطوف به کیفیت باتری، کیفیت فرایند شارژ و یا کیفیت کلی خودرو باشد. اما در صورت عدم لحاظ موجودی، ضروری است یکی از شاخص‌های زیر به عنوان معیار اصلی انتخاب شود. (۱) وضعیت شارژ باتری، (۲) وضعیت سلامت باتری، و (۳) میزان مصرف انرژی. برای افزایش اعتمادپذیری در حوزه فناوری فرایند، باید در مراحل تولید، نگهداری و بهره‌برداری صحیح از اجزای اصلی خودروی الکتریکی، اقدامات هدفمند جهت افزایش طول عمر خودرو و باتری و بهبود وضعیت سلامت باتری صورت گیرد.

-برای هدف عملکردی سرعت، می‌توان موارد زیر را در نظر گرفت: افزایش تعداد ایستگاه‌های شارژ، بهره‌گیری از شارژرهای قابل حمل با قابلیت مکان‌یابی پویا، استفاده از روش‌های متنوع شارژ (سیمی، بی‌سیم)، به‌کارگیری شارژرهای متصل به اینترنت برای مدیریت و نظارت هوشمند و امکان شارژ متقابل از طریق خودروها یا زیرساخت‌های برقی خانگی و شهری. شارژرهای قابل حمل با توجه به جابه‌جایی و قابلیت مکان‌یابی پویا توان پاسخ‌گویی سریع به تغییرات تقاضا را دارند، در حالی که سایر شارژرها (به جز آن‌هایی که از طریق اینترنت کنترل می‌شوند) معمولاً به صورت ایستا در نقاط از پیش تعیین‌شده مستقر می‌شوند.

-در حوزه انعطاف‌پذیری می‌توان به موارد زیر اشاره کرد: امکان انتخاب میان روش‌های گوناگون شارژ، تنوع در ساختار محصولات، وجود انواع مختلف خودروهای برقی و بهره‌گیری از الگوهای متنوع شارژ مبتنی بر منابع گوناگون تأمین انرژی.

-در زمینه انعطاف‌پذیری در فناوری فرایند، گسترش گزینه‌های مرتبط با عملیات شارژ موجب ارتقای قابلیت تطبیق سیستم می‌شود. برای مثال، مدنظر قرار دادن انواع ایستگاه‌های شارژ، نقاط تعویض باتری، شارژرهای ایستا و شارژرهای پویا، هر یک به‌عنوان گزینه‌های مجزا، انعطاف‌پذیری کل فرایند را افزایش می‌دهد.

-با توجه به اینکه تأمین قطعات و تجهیزات خودروهای برقی از منابع خارجی ممکن است به دلایلی مانند کاهش هزینه‌ها از طریق واردات از کشورهایی با قیمت تمام‌شده کمتر، تشکیل بلوک‌های تجاری منطقه‌ای برای حذف موانع تعرفه‌ای و توسعه زیرساخت‌های حمل‌ونقل با کیفیت بالاتر و هزینه کمتر نسبت به گذشته، نسبت به تأمین داخلی مزیت داشته باشد، می‌توان در تحلیل‌های اقتصادی، اجتماعی و سایر مطالعات از این گزینه بهره گرفت.

-در مطالعاتی که بر سطح جهانی تأمین متمرکز هستند، ضروری است ابتدا با موانع و چالش‌های مرتبط با این سطح آشنا شد. این چالش‌ها عبارتند از پیچیدگی‌های مدیریت فرآیند تأمین خارجی، ریسک ناشی از تأخیر یا وقفه در زنجیره تأمین، احتمال بروز سوءتفاهم در جریان مذاکرات و ارتباطات با تأمین‌کنندگان خارجی و سایر مشکلات مشابه.

-ابعاد سخت‌افزاری کیفیت شامل مشخصات عملکردی، ظرافت، ایمنی و یکپارچگی است. ابعاد نرم‌افزاری کیفیت نیز قابلیت کاربردی، توجه و پاسخگویی، برقراری ارتباط مؤثر، رفتار دوستانه و نیز ایجاد رضایت و احترام متقابل را دربرمی‌گیرد. با توجه به این ابعاد در فرایند فناوری خودروی برقی، می‌توان به شکل‌گیری و حفظ یک زنجیره‌تأمین موفق دست یافت.

-در رابطه با معیار عملکردی سرعت، به منظور تسریع تصمیم‌گیری در حوزه فناوری فرایند، می‌توان اقداماتی نظیر احداث جاده‌های مجهز به زیرساخت‌های الکتریکی، توسعه شبکه‌های اینترنت پرسرعت، پیاده‌سازی سامانه‌های شارژ پویا و بی‌سیم و سایر فناوری‌های مرتبط را مدنظر قرار داد. این اقدامات با الگوبرداری از تجارب موفق کشورهای پیشرفته قابل اجرا هستند.

-هزینه هر ورودی مالی به عملیات تولید یا مصرف است که معمولاً در سه دسته طبقه‌بندی می‌شود: هزینه‌های راه‌اندازی و بهره‌برداری، هزینه سرمایه‌گذاری ثابت و هزینه سرمایه در گردش. با توجه به این‌که هزینه از مهم‌ترین معیارهای نظریه مخروط شنی به شمار می‌آید، پژوهش‌های متعددی در حوزه‌های مختلف تصمیم‌گیری به تحلیل و کاهش آن پرداخته‌اند.

در زمینه مسأله مسیریابی و تخصیص بهینه وسایل نقلیه الکتریکی، برای نمونه پیشنهاد شده است که با تبدیل ماشین‌های جمع‌آوری زباله به مولدهای برق کم‌هزینه، منابع انرژی به شکل مقرون‌به‌صرفه‌تری تأمین شود.

-در بخش انعطاف‌پذیری به‌طور کلی، عواملی که می‌توانند موجب ارتقای انعطاف‌پذیری شرکت شوند، عبارتند از: توانایی انتخاب میان چند گزینه در ناحیه تصمیم‌گیری مشخص، امکان سفارشی‌سازی، گسترش دامنه فعالیت‌ها، مقیاس‌پذیری، اعمال تغییر در سطح کیفیت، ترکیب فرایندها و برنامه‌ریزی زمانی مناسب. به صورت خاص از جمله پیشنهادات در این هدف عملکردی شامل بهره‌گیری از انواع مختلف خودروهای برقی، امکان انتخاب روش‌های شارژ متعدد و تعیین مسیرهای رفت‌وبرگشت مانند بازگشت به نزدیک‌ترین انبار هستند.

-در فرایند برقی‌سازی می‌توان از انواع سازوکارهای قراردادی با اهداف گوناگون نظیر تسهیم اطلاعات یا بهره‌برداری از فناوری‌های نوظهور استفاده کرد. برای مثال، می‌توان قراردادهای انعطاف‌پذیری کمّیت را به‌منظور مدیریت نوسانات تقاضا به کار بست یا از قراردادهای هوشمند مبتنی بر فناوری بلاک‌چین برای تضمین دسترسی مطمئن و شفاف به خدمات شارژ خودروهای برقی استفاده نمود.

-برای افزایش سرعت تصمیم‌گیری در حوزه توسعه و سازمان‌دهی، می‌توان به کاربردهای متنوع برقی‌سازی خودروهای الکتریکی و روش‌های شارژ آنها اشاره نمود؛ از جمله بهره‌گیری از شارژرهای سریع اختصاصی در خودروهای امدادی مانند گشت‌راهور و خودروهای پلیس، ناوگان حمل‌ونقل عمومی و وسایل نقلیه ویژه توزیع محموله.

-وسایل نقلیه برقی در دو گروه زمینی و هوایی دسته‌بندی می‌شوند. با توجه به هزینه کمتر فناوری برقی‌سازی در ناوگان زمینی، اغلب پژوهش‌ها بر این بخش متمرکز بوده است؛ با این حال، امکان بررسی مسیریابی هوایی در چارچوب برقی‌سازی نیز وجود دارد. بدین‌ترتیب، در یک تصمیم‌گیری چندمعیاره می‌توان روش‌های زمینی و هوایی را به‌عنوان گزینه‌های مستقل مدنظر قرار داد.

۵- نتیجه‌گیری

در این مطالعه با هدف تدوین استراتژی کسب‌وکار مرتبط با برقی‌سازی ناوگان حمل‌ونقل، یک پژوهش میدانی در شهر همدان انجام شد. ابتدا با طراحی پرسش‌نامه، داده‌های مربوط به چهار ناحیه تصمیم شامل ظرفیت، شبکه تأمین، تکنولوژی فرایند و توسعه و سازماندهی جمع‌آوری گردید. سپس از روش ترکیبی تاپسیس فازی-منطق دیجیتالی اصلاح‌شده برای اولویت‌بندی این نواحی بر اساس پنج تابع عملکردی کیفیت، قابلیت اعتمادپذیری، سرعت عمل، قابلیت انعطاف‌پذیری و هزینه استفاده شد. نتایج نشان داد که "توسعه و سازماندهی" به‌عنوان مهم‌ترین حوزه تصمیم در تدوین استراتژی عملیات برقی‌سازی مورد توجه قرار دارد. همچنین خروجی روش تاپسیس فازی حاکی از آن است که در شرایط ایران، تمرکز بر "تکنولوژی‌های فرایند" می‌تواند هم موجب کاهش هزینه‌های توزیع برق و هم گسترش قلمرو جابه‌جایی وسایل نقلیه برقی شود. این تحقیق می‌تواند به بهبود مدیریت SWOT، فرصت‌ها، تهدیدها، ضعف‌ها و قوت‌های طرح‌های برقی‌سازی در شهرهای مختلف ایران، در حوزه توزیع برق و جابه‌جایی وسایل نقلیه برقی کمک کند. سایر پیشنهادات تحقیقاتی آینده به شرح ذیل است.

- به‌کارگیری روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره برای مقایسه انواع سوخت‌های پاک (برق، هیدروژن، CNG و ...) با در نظر گرفتن معیارهایی مانند قیمت واحد، هزینه تولید، دسترس‌پذیری و سازگاری با کاربردهای گوناگون.

- استفاده از روش‌های چندمعیاره برای ارزیابی تکنولوژی‌های کاهش آلودگی یا گرمای بیش از حد هر منطقه؛ گزینه‌هایی مانند وسایل نقلیه الکتریکی و هیدروژنی، بازیافت، درخت‌کاری و ... با معیارهای مشترکی همچون هزینه، دسترس‌پذیری و فرهنگ‌سازی.

٦- مراجع

-بهشتی‌نیا، محمدعلی، رضوانی، مهزیار، (۱۳۹۷). ارائه مدل تصمیم‌گیری ترکیبی با استفاده از روش MDL و VIKOR در انتقال تکنولوژی بتن مورد استفاده در احداث جاده‌ها. *چهارمین کنفرانس بین‌المللی مهندسی صنایع و سیستم‌ها*، دانشگاه فردوسی مشهد، ۲۱ و ۲۲ شهریور، ۸-۱.

-نعمتی ابوذر، وحید، بهشتی‌نیا، محمدعلی، (۱۳۹٤). ارائه مدلی جدید در تصمیم‌گیری چندمعیاره فازی به منظور رتبه‌بندی تامین‌کنندگان (مطالعه موردی: شرکت تبلیغاتی). *نشریه تخصصی مهندسی صنایع*، دوره ٤۹، شماره ۲، پاییز و زمستان، ۲۹۸-۲۷۸.

-Aazagreyir, P., Ami-Narh, J. A. M. E. S., Welbeck, D. N. O., Brown-Acquaye, W. L., Quayson, A., Quarcoo, J. O., & Dzahene-Quarshie, B. I. S. M. A. R. K. (2024). Fuzzy Dem-Saw: A Novel Hybridized Model Of Fuzzy Dematel-Saw In Lecturers' performance Evaluation Based On Teaching, Research, Service And Commercialization (Trsc) Criteria For Promotion. *Journal of Theoretical and Applied Information Technology,* 102(11).

-Akargöl, İ., Karadağ, İ., & Gürcan, Ö. F. (2024). Selecting the Optimal E-Learning Platform for Universities: A Pythagorean Fuzzy AHP/TOPSIS Evaluation. *The European Journal of Research and Development,* 4(2), 19-34.

-Ban, X. J., & McCabe, D. (2023). Optimal Charging Infrastructure Design for Battery Electric Buses.

-Dessouky, M., & Yao, S. (2023). Routing of battery electric heavy duty-trucks for drayage operations.

-Biswas, A., Gazi, K. H., Sankar, P. M., & Ghosh, A. (2025). A Decision-Making Framework for Sustainable Highway Restaurant Site Selection: AHP-TOPSIS Approach based on the Fuzzy Numbers. *Spectrum of Operational Research,* 2(1), 1-26.

-Daidi, X. I. E., Xie, D., & Prasert, T. (2024). Handling the Facility Location Issues of Medical Device Repair Center with a Hybrid AHP-TOPSIS Approach: A Case on the Facility Location Selection in the Western Thailand (Doctoral dissertation, Silpakorn University).

-Desticioglu-Tasdemir, B. (2024). Locating emergency stations using Multi-Criteria Decision-Making (MCDM) methods: Application of Ankara province. *The Eurasia Proceedings of Science, Technology, Engineering & Mathematics* (EPSTEM), 28, 448-461.

-Fan, L. (2023). A hybrid adaptive large neighborhood search for time-dependent open electric vehicle routing problem with hybrid energy replenishment strategies. *Plos one, 1*8(9), e0291473.

-Halicka, K., & Gola, A. (2024). Gerontechnology ranking using the TOPSIS methods. *Engineering Management in Production and Services,* 16(1), 93-103.

-Hesami, F. Evaluating and selecting strategic alliance suppliers in reverse logistics using the ANP-TOPSIS hybrid method in a rough uncertainty environment.

-Islam, M. S. I., Sarkar, T., & Ahmmed, M. S. Mapping Blood Center Locations in Rajshahi by AHP and TOPSIS.

-Jesri, Z., Pourmohammadreza, N., Farnia, S., & Jesri, S. (2024). A two-phase model for resilient hub and mobile distribution centers location. *Decision Science Letters,* 13(2), 363-376.

-Kar, M., Sadhukhan, S., & Parida, M. (2024). A comparative MADM approach for prioritizing factors influencing service quality of Intermediate Public Transport as access mode to metro stations in Delhi, India. *Sustainable Transport and Livability,* 1(1), 2345620.

-Karaşan, A., Kaya, I., & Erdoğan, M. (2020). Location selection of electric vehicles charging stations by using a fuzzy MCDM method: a case study in Turkey. *Neural Computing and Applications,* 32, 4553-4574.

-Karkehabadi, A., Bakhshi, M., & Razavian, S. B. (2024). Optimizing Underwater IoT Routing with Multi-Criteria Decision Making and Uncertainty Weights. *arXiv preprint arXiv:2405.*11513.

-Li, G., Zhao, F., Yan, L., Chen, X., & Zhu, F. (2024). A modified TOPSIS method with rationality and consistency in ranking decision. *Authorea Preprints.*

-Nilashi, M., Abumalloh, R. A., Ahmadi, H., Alrizq, M., Abosaq, H., Alghamdi, A., et al. (2024). Using DEMATEL, clustering, and fuzzy logic for supply chain evaluation of electric vehicles: A SCOR model. *AIMS Environmental Science,* 11(2).

-Pourmohammadreza, N., & Akbari Jokar, M. R. (2024). Efficient last-mile logistics with service options: A multi-criteria decision-making and optimization methodology. *International Journal of Industrial Engineering Computations,* 15(2), 367-386.

-Radulescu, C. Z., Radulescu, M., & Boncea, R. (2024). A Linear Trade-off Group TOPSIS method with application for Internet of Things devices ranking. *Procedia Computer Science,* 242, 528-535.

-Satria, Y., & Gabriel, D. S. Community Empowerment Consideration On-Site Location Selection Using AHP and TOPSIS Methods.

-Troncoso Kurtovic, D. G. (2023). A prognostic decision-making approach under uncertainty for an electric vehicle fleet routing problem.

-Uslu, Y., Artan, T., Aygün, S., Özkan, A. O., & Oğuz, T. N. (2024). A Study on Location Selection for Private Disabled Care Center Using AHP and TOPSIS Methods: The Case of Istanbul Province. *Çukurova Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi,* 33(1), 203-221.

پیوست ۱: پرسشنامه مورد نیاز برای نظرسنجی از افراد متخصص

۱. کیفیت ایستگاه‌های شارژ، محل تعویض باتری و مکان‌های دیگر در رابطه با طرح برقی‌سازی از نظر افراد، چگونه است؟
الف) بسیار ضعیف ب) ضعیف ج)بدون نظر د) تا حدودی خوب ه) خوب

۲. کیفیت خودروهای برقی، چگونه است؟
الف) بسیار ضعیف ب) ضعیف ج)بدون نظر د) تا حدودی خوب ه) خوب

۳. کیفیت تکنولوژی‌های فرایندی جدید در رابطه با نوع ماشین الکتریکی، نوع شارژ و نوع منبع برقی تولید شده در چه زمانی است؟
الف) بسیار ضعیف ب) ضعیف ج)بدون نظر د) تا حدودی خوب ه) خوب

٤. میزان تلاش مسئولین دولتی و شرکت‌های خصوصی برای طرح برقی شدن ماشین‌ها و حمل‌ونقل الکتریکی، چه طوری می‌باشد؟
الف) بسیار ضعیف ب) ضعیف ج)بدون نظر د) تا حدودی خوب ه) خوب

۵. تا چه اندازه‌ای، کارگاه‌های علمی مربوط به معرفی طرح برقی‌سازی در دانشگاه‌ها توانسته‌اند که اعتماد دانشجویان برای استخدام در بازار نیروی کار مرتبط با توزیع الکتریکی را جذب کنند؟
الف) بسیار ضعیف ب) ضعیف ج)بدون نظر د) تا حدودی خوب ه) خوب

٦. مسئولین طرح برقی‌سازی وسایل حمل‌ونقل تا چه مقداری توانسته‌اند دولت را تشویق به سرمایه‌گذاری در رابطه با این موضوع، کنند؟
الف) بسیار ضعیف ب) ضعیف ج)بدون نظر د) تا حدودی خوب ه) خوب

۷. مسئولین طرح برقی‌سازی تا چه اندازه‌ای از تکنولوژی‌های فرایندی جدید در تولید ماشین‌های برقی و نوع برق تجهیز شده آنها استفاده کرده‌اند؟
الف) بسیار ضعیف ب) ضعیف ج)بدون نظر د) تا حدودی خوب ه) خوب

۸. چگونه دولت توانسته است دانشکاران مربوط به توزیع الکتریکی را راضی به همکاری با خودروسازان کشور کند؟
الف) بسیار ضعیف ب) ضعیف ج)بدون نظر د) تا حدودی خوب ه) خوب

۹. سرعت عمل اجرای وسایل حمل‌ونقل برقی در سطح جهانی چگونه پیش می‌رود؟
الف) بسیار ضعیف ب) ضعیف ج)بدون نظر د) تا حدودی خوب ه) خوب

۱۰. سرعت عمل حمل‌ونقل همکارانه بین کشورهای مختلف(معمولا کشورهای همسایه) چگونه ارزیابی می‌کنید؟
الف) بسیار ضعیف ب) ضعیف ج)بدون نظر د) تا حدودی خوب ه) خوب

۱۱. سرعت عمل شارژ شدن ماشین الکتریکی با توجه به تکنولوژی‌های جدید، چه طور است؟
الف) بسیار ضعیف ب) ضعیف ج)بدون نظر د) تا حدودی خوب ه) خوب

۱۲. سرعت عمل در کشورهایی که شارژ پویای بی‌سیم در حال اجرا است، چگونه انجام می‌شود؟
الف) بسیار ضعیف ب) ضعیف ج)بدون نظرد) تا حدودی خوب ه) خوب

۱۳. قابلیت انعطاف‌پذیری(انتخاب‌پذیری در نوع شارژ و شارژر یا نوع ماشین برقی) چگونه است؟
الف) بسیار ضعیف ب) ضعیف ج)بدون نظر د) تا حدودی خوب ه) خوب

۱٤. قابلیت انعطاف‌پذیری شبکه‌های تامین برق در ایران برای شارژ وسایل نقلیه برقی را چه طور ارزیابی می‌کنید؟
الف) بسیار ضعیف ب) ضعیف ج)بدون نظر د) تا حدودی خوب ه) خوب

۱۵. قابلیت انعطاف‌پذیری تکنولوژی‌های فرایندی جدید در زمینه شارژ و ماشین برقی تا چه میزان می‌باشد؟
الف) بسیار ضعیف ب) ضعیف ج)بدون نظر د) تا حدودی خوب ه) خوب

۱٦. راجع به قابلیت انعطاف‌پذیری طرح برقی‌سازی در کل جهان چه نظری دارید؟
الف) بسیار ضعیف ب) ضعیف ج)بدون نظر د) تا حدودی خوب ه) خوب

۱۷. اقتصاد مقیاس مرتبط با برقی‌سازی برای خودروسازان ایرانی چه قدر است؟
الف) بسیار ضعیف ب) ضعیف ج)بدون نظرد) تا حدودی خوب ه) خوب

۱۸. کارایی واردات ماشین‌های برقی در ایران چگونه است؟
الف) بسیار ضعیف ب) ضعیف ج)بدون نظر د) تا حدودی خوب ه) خوب

۱۹. چه میزان درباره اقتصاد به مقیاس بودن انواع تکنولوژی‌های مربوط به طرح برقی‌سازی، آشنایی دارید؟
الف) بسیار ضعیف ب) ضعیف ج)بدون نظر د) تا حدودی خوب ه) خوب

۲۰. رسانه‌های اجتماعی در ایران چه قدر هزینه بابت توسعه و سازماندهی طرح برقی‌سازی به جامعه می‌کنند؟
الف) بسیار ضعیف ب) ضعیف ج)بدون نظر د) تا حدودی خوب ه) خوب

A Hybrid Method Based on Fuzzy TOPSIS-Modified Digital Logic for Developing a Business Strategy Related to the Electrification Plan of the Urban Transport Fleet

Samira Kiany, Ph.D., Student, Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran.

Javad Behnamian, Professor, Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran.

E-mail: Behnamian@basu.ac.ir

Received: May 2025- Accepted: August 2025

ABSTRACT

Strategy functions as a macro-level decision-making blueprint that defines an organization's developmental trajectory and overall performance. This study aimed to develop a strategic framework for the electric-vehicle fleet routing and location-allocation problem within an e-business context. Initially, a structured questionnaire was designed and administered through a field survey in Hamedan, yielding data on four pivotal decision domains: fleet capacity, energy-supply network, process technology, and development and organization. To rank these domains against five performance objectives—service quality, reliability, responsiveness, flexibility, and cost efficiency—a hybrid methodology that combined fuzzy TOPSIS with a modified digital-logic approach was employed .The results revealed that the development and organization domain carried the highest priority weight, establishing it as the cornerstone for crafting operational strategies in fleet electrification. Moreover, prioritizing enhancements in process technology is expected to reduce energy-distribution costs and extend the operational range of electric vehicles .The insights gained from this research can guide automakers in designing strategic expansion programs, assist environmental associations in formulating targeted pollution-reduction policies, and support R&D organizations in improving the efficiency of sustainable transportation systems.

Keywords: Electric Vehicle Routing, Location, Fuzzy TOPSIS, Modified Digital Logic, Operation Strategy