معرفی روش‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه و کاربرد آن در برنامه‌ریزی حمل‌ونقل و ترافیک

علی توکلی کاشانی*، استادیار، دانشگاه علم و صنعت ایران، دانشکده مهندسی عمران، تهران، ایران
مسلم عزیزی بندرآبادی، دانشگاه علم و صنعت ایران، دانشکده مهندسی عمران، تهران، ایران
*پست الکترونیکی نویسنده مسئول: Alitavakoli@iust.ac.ir

دریافت: ۹۶/۰۹/۲۵- پذیرش: ۹۷/۰۳/۱۸
صفحه ۳۹-۵٤

چکیده

تصمیم‌گیری از جمله مواردی است که انسان همواره در زندگی خود با آن روبرو است. تقریباً تمام افراد در تصمیم‌گیری‌های خود ملزم به بررسی گزینه‌های پیش‌رو با توجه به معیارهای متعدد می‌باشند. مسائل موجود در زمینه‌ی برنامه‌ریزی حمل‌ونقل نیز به دلیل تأثیرگذاری گسترده‌ی حمل‌ونقل روی موضوعات متنوعی مانند اقتصادی، فرهنگی-اجتماعی، زیست‌محیطی، ایمنی و ... با معیار و گزینه‌های متنوعی روبرو است. این تعدد معیار و گزینه‌ها و همچنین وجود ذی‌نفعان و ذی‌نفوذان متعدد، تصمیم‌گیری در این زمینه را پیچیده و دشوار کرده است. این امر موجب شده است که اخیراً محققین و مدیران فعال در زمینه‌ی حمل‌ونقل برای تصمیم‌گیری بهتر و قابل اعتمادتر، به تکنیک‌هایی که تصمیم‌گیری در مقابل معیار و گزینه‌های متعدد را قانون‌مندتر و منظم‌تر می‌کنند و تحت عنوان تکنیک‌های تصمیم‌گیری چند متغیره شناخته می‌شوند روی آورند. تکنیک‌های موجود در این زمینه بسیار متنوع و گسترده است به صورتی که صدها کتاب با تکنیک‌های متفاوت وجود دارد. در این مقاله به ارائه‌ی بعضی از تکنیک‌هایی که کاربرد بیشتری در زمینه‌ی حمل‌ونقل دارند، پرداخته شده‌است. هدف از این مقاله، ارائه‌ی این تکنیک‌ها به صورت ساده و کاربردی برای مدیران و محققینی است که می‌خواهند از آن‌ها برای تصمیم‌گیری در مسائل خود استفاده کنند، می‌باشد و از پرداختن به جنبه‌های آماری و اثباتی تکنیک‌ها اجتناب شده است.

واژه‌های کلیدی: مدیریت، برنامه‌ریزی حمل‌ونقل، تصمیم‌گیری چند متغیره

۱- مقدمه

تصمیم‌گیری عبارت است از استفاده از منابع و امکانات و انتخاب شیوه و راهکار مناسب برای دستیابی به یک هدف معین. تصمیم‌گیری جوهر اصلی مدیریت است و عمل تصمیم‌گیری در واقع دشوارترین و خطرناک‌ترین کار مدیر تلقی می‌گردد. یک مدیر با یک تصمیم نادرست ممکن است صدمات جبران‌ناپذیری را وارد کند. اغلب مسائلی که برای تصمیم‌گیری مدیران با آن مواجه می‌شوند؛ دارای ابعاد متنوعی است. به عبارت دیگر اکثر تصمیم‌گیری‌های مدیران تحت تأثیر عوامل و معیارهای مختلف قرار دارد که این عوامل در اکثر مواقع با یکدیگر در تعارض هستند و آنان سعی می‌کنند که بین چندین گزینه موجود بهترین گزینه را انتخاب کنند. مسائل موجود در برنامه‌ریزی حمل‌ونقل نیز با توجه به تأثیرگذاری و تأثیرپذیری گسترده‌ی آن در زمینه‌های متعدد مانند اقتصادی، فرهنگی- اجتماعی، ایمنی، زیست‌محیطی و ... از حساسیت بیشتری در تصمیم‌گیری‌ها برخوردار است. پیچیدگی‌های محیطی برنامه‌ریزی حمل‌ونقل، حجم زیاد اطلاعات و مشکلات عدیده‌ای که این مسائل با آن مواجه هست، نگرش تک بعدی را بر نمی‌تابد و پیچیدگی‌های ذاتی موجود در آن، لزوم جامع‌نگری در تصمیم‌گیری‌ها را ایجاب کرده و استفاده از تکنیک‌های

تصمیم‌گیری چند معیاره را پیش از پیش الزامی می‌نماید. طبیعی است که حل مسائل تصمیم گیری چند معیاره دارای پیچیدگی خاص خود می‌باشد. به ویژه آنکه اغلب معیارهای موردنظر با یکدیگر تعارض داشته و افزایش مطلوبیت یکی می‌تواند باعث کاهش مطلوبیت برای دیگری شود. (محمدی زنجیرانی و همکاران، ۱۳۹۳) به صورت کلی روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره (MCDM) به دو دسته‌ی کلی تقسیم می‌شوند (آذر و رجب‌زاده، ۱۳۹۳)

۱-مدل‌های تصمیم‌گیری چندهدفه (MODM)

۲-مدل‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه (MADM)

در مدل‌های تصمیم‌گیری چند هدفه، چندین هدف به طور همزمان جهت بهینه‌شدن مورد توجه قرار می‌گیرند. مقیاس سنجش برای هر هدف ممکن است با مقیاس سنجش برای بقیه اهداف متفاوت باشد. مثلاً یک هدف حداکثر کردن سود است که بر حسب پول سنجش می‌شود و هدف دیگر حداقل استفاده از ساعات نیروی کار است که بر حسب ساعت سنجش می شود. گاهی این اهداف در یک جهت نیستند و به صورت متضاد عمل می کنند. مثلاً تصمیم گیرنده از یک طرف تمایل دارد رضایت کارکنان را افزایش دهد و از طرف دیگر می‌خواهد هزینه های حقوق و دستمزد را حداقل کند. در مدل‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه انتخاب یک گزینه از بین گزینه‌های موجود مد نظر است. در یک تعریف کلی تصمیم‌گیری چند شاخصه به تصمیمات خاصی (از نوع ترجیحی) مانند ارزیابی، اولویت‌گذاری، و یا انتخاب از بین گزینه‌های موجود (که گاه باید بین چند شاخص متضاد انجام شود) اطلاق می‌گردد. تصمیم‌گیری‌های موجود در مسائل برنامه‌ریزی حمل‌ونقل معمولاً در این گروه قرار می‌گیرند. بدین معنی که معمولاً در برنامه ریزی حمل‌ونقل مسائل به صورت انتخاب و یا مقایسه و ارزیابی بین گزینه‌ها به توجه به معیارهای متفاوت است. با توجه به این موضوع در این مقاله بیشتر بر روی تکنیک‌های موجود در این گروه از تصمیم‌گیری‌ها یعنی تصمیم‌گیری چند شاخصه که به اختصار MADM می‌نامند، تمرکز می‌شود. در ادامه برای آشنایی بیشتر از کاربرد تکنیک‌های چند شاخصه در زمینه‌ی حمل‌ونقل، ابتدا نمونه‌ای از مطالعات که در این زمینه از تکنیک‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه استفاده کرده‌اند معرفی می‌شود. نکته‌ای که در این‌جا قابل ذکر است این می‌باشد که مطالعات بسیار زیادی در زمینه‌ی حمل‌ونقل وجود دارد که از تکنیک‌های تصمیم‌گیری چند متغیره استفاده شده است و در این‌جا فقط به تعداد محدودی از آن‌ها صرفاً جهت آشنایی بیشتر اشاره شده است (Spronk, Steuer et al. 2016).

۲- نمونه‌هایی از کاربرد روش‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه در حمل‌ونقل

تاکنون مطالعات زیادی در حمل‌ونقل انجام شده‌است که در آن از تکنیک‌های تصمیم‌گیری چند متغیره استفاده شده است. به عنوان مثال افندی‌زاده و همکارانش در سال ۱۳۹٤ در مطالعه‌ای به ارزیابی سیستم اتوبوس‌های تندرو شهر مشهد پرداختند. در این مطالعه با استفاده از روش AHP میان سیستم اتوبوس‌های تندرو شهر مشهد و یکی از خطوط کشور برزیل با استفاده از ویرایش جدید استاندارد BRT که در سال ۲۰۱٤ منتشر شده است مقایسه‌ای صورت گرفته است. بر اساس نتایج امتیاز شهر مشهد ٦٤.۹۲ و امتیاز خط موجود در کشور برزیل ۸۸.۹۷ محاسبه گردید (افندی‌زاده و همکاران، ۱۳۹٤).

در مطالعه‌ای دیگر (اله‌یاری نیک و همکاران، ۱۳۹۲) به ارزیابی کیفیت خدمات شرکت هواپیمایی کشور با ترکیب روش‌های AHP فازی و تاپسیس پرداختند. آن‌ها در مطالعه خود با لحاظ شاخص‌های با اهمیت، نظیر موارد محسوس، اعتمادپذیری، پاسخ‌گویی، اطمینان و آسایش مسافرین به ارزیابی خدمات سه شرکت هواپیمایی کشور پرداختند. در این مطالعه به منظور تعیین وزن شاخص ها از روش AHP فازی استفاده گردیده است. در این مطالعه با تنظیم پرسشنامه‌ای و توزیع آن در بین ۱۰۰ مسافر که تجربه پرواز با شرکت‌های مورد نظر داشتند به تعیین وزن روش TOPSIS پرداخته شده است. از نتایج این تحقیق می‌توان به تعیین میزان کیفیت هر شرکت در خدمات و اولویت انتخاب معیارها برای مسافرین و کمک به بهود مدیریت شرکت‌های هواپیمایی در ارائه خدمات اشاره کرد. در مطالعه‌ای (میرزایی قمی و همکاران، ۱۳۹۲) به ارزیابی معابر شهری از منظر پوشش ایستگاه‌های اتوبوس برای منطقه ٤ شهرداری تهران پرداختند. در این تحقیق وزن‌دهی به معیارها

و زیرمعیارها براساس مدل AHP انجام شد و تجزیه و تحلیل داده‌ها توسط سیستم اطلاعات مکانی GIS و به دنبال آن الگویی جهت ارزیابی معابر شهری از منظر پوشش ایستگاه‌های اتوبوس ارائه شد. در نهایت در خصوص مناسب یا نامناسب بودن موقعیت ایستگاه‌ها و یا نیازمندی معابر به استقرار جدید تصمیم‌گیری گردیده است. در مطالعه‌ای دیگر (خیرخواه و همکاران، ۱۳۹۰) نویسندگان به ارزیابی معیارهای سیستم حمل و نقل پایدار دوچرخه سواری پرداختند. در این مقاله پس از تبیین و تشریح معیارهای موثر در دوچرخه‌سورای و ارائه ساختار سلسله مراتبی برای این سیستم، سطح اهمیت هریک از معیارها به کمک روش تصمیم‌گیری چند معیاره AHP در محیط فازی مورد ارزیابی قرار گرفت و سپس با استفاده از روش پرامتی پایدارترین گزینه انتخاب شد. مطالعه‌ای دیگر (ناصری علوی و همکارانش، ۱۳۹۲) به ارائه‌ی مدلی برای انتخاب مکان بهینه برای احداث پارکینگ غیرحاشیه‌ای پرداختند. در این مقاله بااستفاده از روش وزن‌دهی مقایسه زوجی و براساس معیارها و زیرمعیارها و نیز با توجه به وزنی که هریک از آن‌ها به خوداختصاص می‌دهند مدلی برای انتخاب مکان بهینه به منظور احداث پارکینگ غیر حاشیه‌ای ارائه شده است. براساس مدل به دست آمده در این مطالعه، معیارهای هزینه تملک، هزینه ساخت و هم‌چنین میزان تقاضا به عرضه، دارای بیشترین تأثیر در بین متغیرهای موجود در مدل بودند. (محمدنژاد و همکارانش، ۱۳۹٤) به ارزیابی سیستم‌های حمل و نقل عمومی (قطار شهری) مشهد پرداخته اند. آن‌ها در این پژوهش با شناخت پتانسیل‌ها و محدودیت‌های سیستم حمل و نقل قطار شهری به تحلیل فضای موجود پرداخته و مطلوب‌ترین برنامه ریزی را برای استفاده بهتر ازفضای موجود ارائه کردند. در این مطالعه با استفاده از مطالعات میدانی وتعیین نقاط قوت، ضعف، فرصت‌ها و تهدیدها با استفاده از روش SWOT، به ارائه‌ی راهبرد در جهت بهبود حمل و نقل عمومی شهر مشهد پرداختند و در ادامه پارامتر های بدست آمده از مطالعات آماری را به روش تحلیل شبکه عصبی ANP اولویت‌بندی کردند. در این پژوهش جامعه‌ی آماری توسط روش نمونه‌گیری کوکران (این روش شامل مسولان،کارشناسان و مردم می شود.) انتخاب گردید. (افندی‌زاده و همکارانش، ۱۳۹٤) به ارائه‌ی الگوریتم تصمیم گیری در خصوص تبدیل میدان به تقاطع چراغدار و بالعکس پرداختند. در این مقاله برای نوشتن الگوریتم ابتدا پارامترها و شاخص‌های ترافیکی دخیل در انتخاب میدان و یا تقاطع چراغدار شناسایی و سپس بر مبنای تصمیم‌گیری سلسله‌مراتبی، ماتریس تصمیم‌گیری با دو سطر که گزینه های میدان و تقاطع چراغدار می باشند وچندین ستون که شاخص های ترافیکی می باشند نوشته شده است. در این مطالعه برای مقایسه زوجی از مقایسه عددی و یا روش پرسشنامه‌ای استفاده شده است. (صحاف و همکارانش، ۱۳۹۲) به اولویت‌بندی گزینه های تعمیر و نگهداری تابلوهای ترافیکی در بزرگراه ها به روش تصمیم گیری چند معیاره پرداختند. در این مطالعه با استفاده از بررسی میدانی و تحلیل سلسله مراتبی AHP وضعیت تابلوهای ترافیکی اعم از اخباری بالاسری و اخباری کناری، تحلیل و ارزیابی گردیده است. بدین صورت که ابتدا با استفاده از برداشت میدانی، میزان تطابق تابلوهای ترافیکی با ضوابط استاندارد سنجیده شده و درصد انحراف از استاندارد برای هریک از پارامترهای ارزیابی کارایی مرتبط با تابلوها حساب شده است. سپس برای تعیین اهمیت و ارجحیت نسبی هریک از معیارها، از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی که متکی بر نظرسنجی و مقایسه زوجی پارامترهاست. استفاده گردیده است.

(توکلی کاشانی و عزیزی بندرآبادی، ۱۳۹٤) روشی را برای ارزیابی عملکرد استان‌ها در زمینه‌ی ایمنی راه‌های روستایی ارائه کردند روش پیشنهاد شده در این مطالعه مقایسه‌ی استان‌ها با استفاده از متدهای تصمیم گیری چند متغیره به وسیله معیارهای مناسب می‌باشد. آن‌ها در این مطالعه به ارایه‌ی ۵ معیارهای مناسب برای راه‌های روستایی با توجه به داده‌های موجود در کشور پرداخته‌اند و در انتها نیز برای ارزیابی عملکرد ایمنی راه‌های روستایی استان‌ها از روش تاپسیس که یکی از روش‌های تصمیم‌گیری چند متغیره است استفاده کرده‌اند. (ثباتی و همکارانش، ۱۳۹٤) به ارزیابی و اولویت‌بندی شاخص‌های افزایش ایمنی و کاهش تصادفات جاده‌ای بین شهری پرداختند. در این مطالعه به بررسی شاخص‌های مؤثر بر تصادفات جاده‌ای و ارائه‌ی راهکارهای اصلاح آن برای محورهای بزرگراهی استان مازندران پرداخته شده است.

آن‌ها محور ساری –قائمشهر را به عنوان محور مطالعاتی با توجه به تردد و تصادفات زیاد آن، انتخاب شده کردند و برای تعیین شاخص‌های ایمنی ۳ مرحله ارزیابی را انجام داده‌اند که این سه مرحله عبارتند از: ۱-بازدید میدانی از وضع موجود محورمطالعاتی، ۲-تحلیل آمار تصادفات موجود محور و تعیین علل تامه تصادفات و ۳-تعیین مشکلات محور بر اساس روش SWOT و تعیین نقاط قوت، ضعف، تهدیدها و فرصت‌های موجود در محور مطالعاتی. پس از این مراحل شاخص‌های ایمنی تصادفات را انتخاب و راهکارهای کاهش آن‌ها ارائه کرده و بوسیله روش AHP اولویت‌بندی شده‌اند. نتایج این تحقیق نشان داده‌است که شاخص‌های ایمنی تصادفات برای محور مطالعاتی بترتیب، بهبود توجه به جلو، افزایش کنترل سرعت مطمئنه، افزایش ایمنی عابر، اصلاحات هندسی مسیر و جلوگیری از خستگی و خواب آلودگی می‌باشد و در انتها افزایش فرهنگ رانندگی، بهبود علائم سطحی، ارتقاء تابلوهای اعلام‌سرعت لحظه‌ای را به عنوان راهکارهای اصلاحی اعلام کردند.

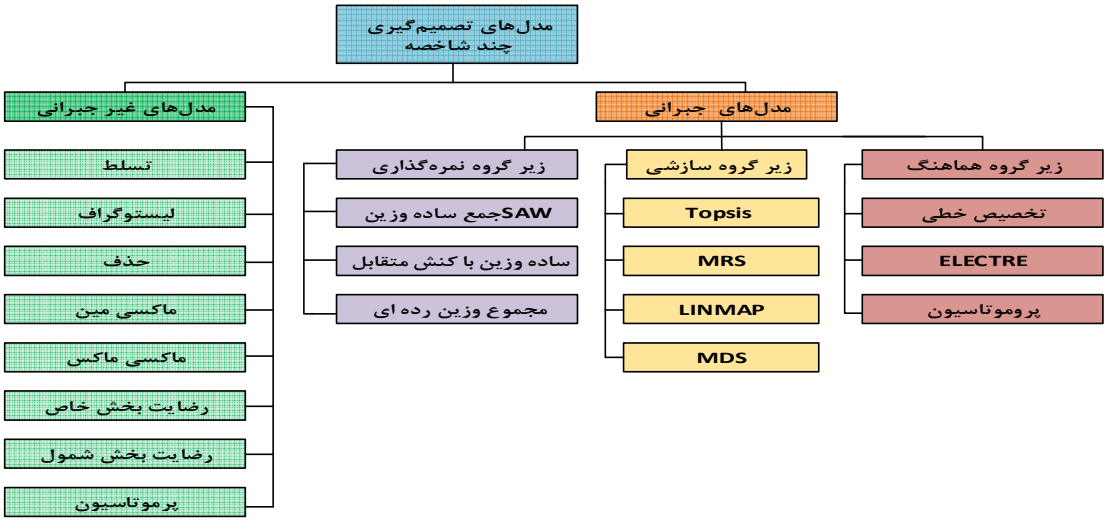
مطالعاتی که در بالا ذکر شد تنها بخشی از مطالعاتی است که در مطالعات مربوط به برنامه‌ریزی حمل‌ونقل ارائه شده‌اند و از روش تصمیم‌گیری چند شاخصه در آن استفاده شده است. بنابراین گستردگی استفاده از این روش‌ها در مطالعات بسیار زیاد است. در ادامه به معرفی تکنیک‌هایی که بیشترین استفاده را در حمل‌ونقل دارند به زبان ساده پرداخته خواهد شد.

۳- معرفی روش‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه

مدل‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه (MADM) بصورت ماتریس تصمیم گیری زیر فرموله می‌گردد (Velasquez and Hester 2013).

		X_1	X_2	.....	X_n
D=	A_1	r_{11}	r_{12}	.....	r_{1n}
	A_2	r_{21}	r_{22}	.....	r_{2n}
	.	.	.	.	.
	.	.	.	.	.
	.	.	.	.	.
	.	.	.	.	.
	.	.	.	.	.
	A_m	r_{m1}	r_{m2}	.....	r_{mn}

در ماتریس تصمیم گیری D بترتیب $A_1, A_2, \ldots\ldots, A_m$ تشکیل‌دهنده m گزینه از قبل معلوم (مانند احداث چند خط BRT متفاوت)، $x_1, x_2, \ldots, x_n$ نشان دهنده n شاخص (یا مشخصه) مانند هزینه، ظرفیت، سوددهی، راحتی و غیره برای سنجش مطلوبیت هر گزینه بوده و سرانجام عناصر r_{ij} بیانگر مقادیر خاص از شاخص J ام برای گزینهi ام است. واضح است که شاخص‌ها ممکن است کمی (مانند هزیه) یا کیفی (مانند راحتی) باشند. در یک دسته‌بندی به صورت کلی مدل‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه به دو دسته‌ی زیر تقسیم‌بندی می‌شوند. این تقسیم‌بندی در شکل۱نیز نشان داده شده‌است .



شکل ۱. مدل‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه با توجه به طبقه‌بندی جبرانی و غیرجبرانی

۱- مدل‌های جبرانی: آن دسته از مدل‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه است که در آن‌ها تبادل بین شاخص‌ها صورت می‌گیرد. بدین معنی که تغییر در یک شاخص توسط تغییری مخالف (در جهت عکس) در شاخص‌های دیگر جبران می‌شود.

۲- مدل‌های غیر جبراین: آن دسته از مدل‌هایی را شامل می‌شوند که در آن‌ها تبادل بین شاخص‌ها صورت نمی‌گیرد. بدین معنی که نقطه ضعف موجود در یک شاخص توسط مزیت موجود در شاخص دیگر جبران نمی‌شود، بلکه هر شاخص جدا از دیگر شاخص‌ها مبنای ارزیابی گزینه‌های رقیب قرار می‌گیرد. مزیت مهم این مدل‌ها سادگی آن‌ها است که با رفتار تصمیم‌گیرنده و محدود بودن اطلاعات او مطابقت دارد.

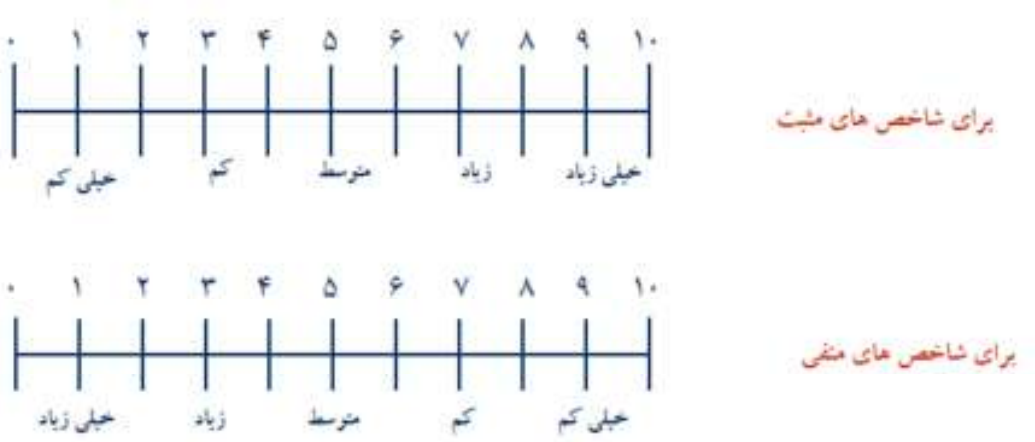
شاید بتوان گفت مسائل موجود در حمل‌ونقل در اکثر مواقع از نوع مدل‌های جبرانی هستند. بدین معنی که تغییر در یک شاخص توسط شاخص‌های دیگر جبران می‌شود. بنابراین در ادامه به معرفی این مدل‌ها پرداخته خواهد شد.

٤- مدل‌های تصمیم‌گیری چندشاخصه جبرانی

همان‌طور که گفته شد، در روش‌های جبرانی، تمام شاخص‌ها، برای گرفتن تصمیم نهایی، در نظر گرفته می‌شود و در آن‌ها تبادل بین شاخص‌ها صورت می‌گیرد. بدین معنی که تغییر در یک شاخص توسط تغییری مخالف در شاخص‌های دیگر جبران می‌شود. هدف از این دسته فنون ارزیابی گزینه‌ها و بررسی آن‌ها به منظور انتخاب بهترین گزینه می‌باشد . در این مقاله به معرفی روش‌هایی جبرانی SAW، TOPSIS، ELECTRE و AHP که کاربرد فراوانی در حمل‌ونقل داشته‌اند پرداخته خواهد شد. همان‌طور که گفته شد در تصمیم‌گیری چند شاخصه هدف ما مقایسه‌ی گزینه‌های متفاوت با توجه به معیار یا شاخص‌های متفاوت هست که این معیار یا شاخص‌ها ممکن است مفهوم و مقیاس متفاوتی داشته باشد. بنابراین قبل از استفاده از روش‌های چند شاخصه باید معیارها را به صورتی که بتوان گزینه‌ها را با هم مقایسه کرد تبدیل کرد. برای این‌کار به سه گام نیاز است. گام اول تبدیل کردن معیارهای کیفی به کمی است. گام دوم بی‌مقیاس‌سازی معیارها و گام سوم وزن‌دهی به آن‌ها است که در ادامه به ارایه‌ی روش‌های موجود برای این دو گام پرداخته شده است.

٤-١- روش‌های تبدیل معیارهای کیفی به کمی

جهت تبدیل معیارهای کیفی به کمی می‌توان از دو روش متفاوت استفاده کرد. اولی از خط‌کش‌های مقیاس و دومی از روش منطق فازی می‌باشد. در روش خط‌کش‌های مقیاس به مقدار حداکثر و حداقل معیار کیفی عددی را اختصاص می‌دهند و مقادیر بین این دو نقطه را درجه‌بندی می‌کنند. شکل ۲ نمونه‌ای از یک خط‌کش مقیاس را نشان می‌دهد. بدلیل محدویت‌های این روش امروزه کمتر از آن استفاده می‌شود (Triantaphyllou 2013).



شکل۲. نمونه‌ای از یک خط‌کش مقیاس برای تبدیل معیارهایکیفی به کمی

موثرترین روش برای تبدیل معیارهای کیفی به کمی استفاده از روش دوم یعنی منطق فازی است. شالوده و اساس منطق فازی در سال ۱۹٦۵ با ارائه مقاله‌ای تحت عنوان «مجموعه‌های نادقیق» توسط دکتر لطفی‌زاده، استاد ایرانی‌الاصل دانشگاه برکلی کالیفرنیا، پایه‌گذاری شده است. در منطق فازی درستی یا نادرستی هر امری نسبی است درست برخلاف منطق باینری (جبر بول) که در آن عملیات منطقی دارای دو مقدار ۰ یا ۱ و یا درست در مقابل نادرست است. در اصل، منطق باینری زیرمجموعه‌ای از منطق فازی بحساب می‌آید. در منطق فازی تابع عضویت دارای درجه ای بین ۰ و ۱ است و بجای استفاده از یکی از اعضای مجموعه ۱ و ۰ از اعضایی که نشانگر عضویت از ۰ تا ۱ می‌باشند استفاده می‌شود. در این روش برای تبدیل معیارهای کیفی به کمی تابع‌های متفاوتی وجود دارد که با توجه به معیار مورد نظر می‌توان از تابع‌های متفاوت استفاده کرد. انتخاب این تابع‌ها با توجه به معیار مورد نظر صورت می‌گیرد. به عنوان مثال زیرمجموعه فازی young به صورت زیر نمایش داده می‌شود که می‌توان برای تبدیل معیار کیفی به کمی از آن استفاده کرد (Triantaphyllou 2013).

$$\text{Yong}(x) = \{1, \text{if age}(x) \leq 20;\ (30\text{-age}(x)/10),\ \text{if } 20 < \text{age}(x) < 30;\ 0.\ \text{if age}(x) \geq 30\}$$

٤-٢- بی‌مقیاس‌سازی معیارها

همانگونه که قبلا گفته شد در روش تصمیم‌گیری چند شاخصه برای مقایسه‌ی گزینه‌ها با یکدیگر با توجه به اینکه هر یک از معیارهای کمی دارای مقیاس اندازه گیری خاص خود می باشند، مقایسه‌ی گزینه‌ها با یکدیگر غیر ممکن می‌سازد لذا می‌بایست به طریقی همه‌ی معیارها به مقیاس واحدی تبدیل شوند تا بتوان عمل مقایسه را انجام داد. روش‌های بی‌مقیاس‌سازی متفاوتی وجود دارد که این روش‌ها به خودی خود به یکدیگر ارجحیت ندارند، بلکه روش پردازش (روش تصمیم‌گیری جند شاخصه به کار برده شده) تعیین کننده این می‌باشد که از کدام نوع روش

بی‌مقیاس‌سازی استفاده شود. بعضی از روش‌های بی‌مقیاس سازی که کاربرد فراوان دارند را می‌توان به موارد زیر اشاره کرد (Hwang and Yoon 2012):

۱- نرم خطی: اگر در فنون تصمیم‌گیری چند شاخصه تکنیک پردازش از نوع خطی باشد، نرم تبدیل بی‌مقیاس‌سازی داده‌ها خطی خواهد بود. (مانند روش SAW) روش نرم خطی یک روش بی‌مقیاس‌سازی و هم‌جهت سازی است و به صورت رابطه (۱) محاسبه می‌گردد.

(۱) اگر معیار از جنس مثبت باشد (بیشتر آن مطلوب‌تر است مثل سود)

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{x_j^{\max}} \qquad x_j^{\max} = \max\{x_{ij}\}$$

(۲) اگر معیار از جنس منفی باشد (کمتر آن مطلوب‌تر است مثل هزینه)

$$r_{ij} = \frac{x_j^{\min}}{x_{ij}} : \qquad x_j^{\min} = \min\{x_{ij}\}$$

۲- نرم ساعتی: چنان‌چه پردازش داده‌ها بر روی توزیع تابع احتمال نرمال باشد. نرم بی‌مقیاس‌سازی داده‌های ورودی نرم ساعتی خواهد بود. در نرم ساعتی داده با هر مقیاسی به توزیع فراوانی نسبی تبدیل می‌شود مانند تکنیک انتروپی شانون.

(۲) بی‌مقیاس‌سازی به روش نرم ساعتی

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^{m}(x_{ij})}$$

۳- نرم اقلیدسی: اگر منطق پردازش داده‌ها از نوع اقلیدسی باشد یعنی بر فاصله اقلیدسی (گشتاور مرتبه دوم) بنا شده باشد نرم بی‌مقیاس‌سازی داده‌ها نرم اقلیدسی است مانند روش تاپسیس.

(۳) بی‌مقیاس سازی به روش نرم اقلیدسی

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^{m}(x_{ij})^2}}$$

۳-٤- فنون وزن دهی شاخص‌ها

تمامی روش‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه مستلزم وجود اطلاعاتی هستند که بر اساس اهمیت نسبی هر شاخص به دست آمده باشند که به آن‌ها بردار ضریب اهمیت هر معیار می‌گویند. به صورت کلی محاسبه ضرایب این معیارها به سه دسته نشان‌داده‌شده در شکل ۳ دسته بندی می‌شوند. که در ادامه به توضیحات مختصر در مورد این روش‌ها پرداخته خواهد شد (Hassan Zardari, Shirazi et al. 2015).

شکل ۳. دسته‌بندی روش‌های تعیین ضرایب معیارها

۱- استفاده از نظر کارشناسان

در این روش با استفاده از نظرات مدیران، نخبگان و کارشناسان در ارتباط با موضوع موردنظر و محدوده مورد مطالعاتی طرح، اطلاعات و نظرات گروه‌های کارشناس جمع‌آوری و پس از بررسی و تجزیه و تحلیل نتیجه ارائه می‌گردد. در این مورد بیشتر در مورد وزن‌دهی به معیارهایی که داده‌های کمی در دسترس نیست و استفاده از نظرات کارشناسان مفیدتر است مورد استفاده قرار می‌گیرد. از مزایای این روش می‌توان ساده بودن، در دسترس بودن و قابلیت استفاده از اطلاعات در هر زمان را عنوان کرد. از معایب این روش نیز می‌توان به خطا در ارائه نظرات کارشناسان و تجمیع داده‌ها اشاره نمود.

۲- استفاده از داده‌های کمی و اطلاعات موجود

در این روش احتمال خطا کمتر است و صحت نتایج به درستی و دقت داده‌ها وابسته است. از این روش بیشتر در اولویت‌بندی گزینه‌ها نسبت به هم بر اساس داده‌های موجود استفاده می‌شود.

۳- استفاده از دانش کارشناسی و داده‌ای به‌صورت ترکیبی

در این روش به‌صورت ترکیبی از نظرات کارشناسان و اطلاعات موجود استفاده می‌گردد به‌طوری که ابتدا وزن معیارها با استفاده از نظر کارشناسان و اطلاعات موجود شناسایی شده و سپس وزن مطلوب تعیین می‌گردد. این روش در مجموع دارای خطای کمتر و دقت بیشتری خواهد بود. در ادامه به معرفی روش‌های انتروپی شانون و مقایسات زوجی (تحلیل سلسله مراتب) که از جمله پر کاربردترین روش‌ها در زمینه‌ی حمل‌ونقل است و یکی بر اساس داده‌ها و اطلاعات موجود و دیگری بر اساس نظر متخصصان می‌باشد، پرداخته خواهد شد.

۱- روش انتروپی شانون

وقتی داده‌های یک ماتریس تصمیم‌گیری به طور کامل مشخص شده باشند، روش انتروپی شانون می‌تواند برای ارزیابی وزن‌ها به کار رود. فلسفه‌ی تعیین ضرایب به روش آنتروپی شانون به‌صورتی است، که به معیارهایی که در گزینه‌های مختلف بیشتر تغییر می‌کند، ضریب بیشتری را تخصیص می‌دهد. گام‌های مورد نیاز برای محاسبه ضرایب به وسیله این روش می‌توان به صورت زیر خلاصه کرد :

گام اول با استفاده از رابطه نرم ساعتی ماتریس تصمیم‌گیری نرمالیزه می‌شود. لازم به ذکر است که استفاده از این روش مستلزم تبدیل معیارهای کیفی به کمی می‌باشد.

(٤) گام اول روش انتروپی شانون (بی‌مقیاس سازی معیارها به روش نرم ساعتی)

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^{m} x_{ij}} \forall_{i,j}$$

گام دوم: محاسبه مقدار آنتروپی برای معیار j ام، طبق رابطه ٥:

(٥) گام دوم آنتروپی شانون

$$E_j = -K\sum_{i=1}^{m} r_{ij} \times \ln r_{ij} \quad , \qquad K = \frac{1}{\ln m} \qquad 0 \le E_j \le 1$$

گام سوم:محاسبه‌ی dj برای هر معیار jام طبق رابطه ٦:

(٦) گام سوم انتروپی شانون

$$d_j = 1 - E_j$$

گام چهارم: محاسبه وزن معیار jام طبق رابطه ۷:

$$W_j = \frac{d_j}{\sum_{j=1}^{n} d_j}$$

(۷) محاسبه ضرایب هر معیار

۲- روش مقایسات زوجی (تحلیل سلسله مراتب)

یکی دیگر از روش‌های مرسوم در محاسبه وزن معیارها روش مقایسات زوجی می‌باشد. در این روش که بر اساس نظر متخصصان به محاسبه‌ی ضرایب هر معیار می‌پردازد، به ترتیب زیر عمل می‌شود (Subramanian and Ramanathan 2012):

گام اول: یک ماتریس مربعی که سطرها و ستون‌های آن معیارها هستند، تشکیل می‌گردد.

گام دوم: از تصمیم‌گیرنده خواسته می‌شود تا با مقایسه دو به دوی معیارها اهمیت هر یک را نسبت به دیگری بصورت عددی مابین ۱ و ۹ نشان دهد و مقادیر حاصله را در ماتریس وارد نماید.

گام سوم: ماتریس حاصل، ماتریسی خواهد بود که قطر اصلی آن یک و تمامی عناصر نسبت به قطر اصلی عکس همدیگر
می باشند. (چون فرض شده است که در مقایسات شرط معکوسی برقرار است) در این مرحله ماتریس باید نرمالیزه شود. برای این منظور هر عنصر در ماتریس به مجموع عناصر ستون مربوطه تقسیم می‌گردد.

گام چهارم: میانگین هر سطر ماتریس نرمالیزه شده محاسبه می‌شود که مقادیر بدست آمده وزن معیارهای مربوطه خواهند بود. تقریباً تمامی محاسبات مربوط به فرایند تحلیل سلسله مراتبی بر اساس قضاوت اولیه تصمیم گیرنده که در قالب ماتریس مقایسات زوجی ظاهر می‌شود، صورت می‌پذیرد و هر گونه خطا و ناسازگاری در مقایسه و تعیین اهمیت بین گزینه‌ها و شاخص‌ها نتیجه نهایی به دست آمده از محاسبات را مخدوش می‌سازد. نرخ سازگاری که در ادامه با نحوه محاسبه آن ارائه شده است، وسیله‌ای است که سازگاری را مشخص ساخته و نشان می‌دهد که تا چه حد می‌توان به نتیجه‌ی حاصل از مقایسات اعتماد کرد. همیشه باید بعد از محاسبه ضرایب معیارها، نرخ سازگاری ماتریس مقایسات زوجی محاسبه گردد و این میزان باید در حد قابل قبولی باشد. متاسفانه در اکثر مطالعات حمل‌ونقلی که در آن‌ها از این تکنیک استفاده شده است مشاهده می‌گردد که برای بررسی میزان دقت نتایج به دست آمده از محاسبه‌ی نرخ سازگاری غافل می‌شوند. باید به این نکته توجه نمود که چنانچه نرخ سازگاری محاسبه شده در محدوده‌ی قابل قبول (کمتر از ۰.۱) نباشد باید دوباره از متخصصان نظر سنجی شود و از آن‌ها خواسته شود دوباره ماتریس مقایسات زوجی را با دقت بیشتری پر کنند. نرخ سازگاری ماتریس مقایسات زوجی به صورت زیر محاسبه می‌شود (Saaty and Vargas 2012).

گام اول محاسبه بردار مجموع وزنی: ماتریس مقایسات زوجی در بردار ستونی وزن نسبی که برای معیارها محاسبه گردیده شده است ضرب می‌شود. بردار جدیدی را که به این طریق بدست می‌آید را بردار مجموع وزنی می‌نامند.

گام دوم محاسبه بردار سازگاری: عناصر بردار مجموع وزنی را بر عناصر بردار وزن نسبی تقسیم می‌شود. بردار به دست آمده بردار سازگاری نامیده می‌شود.

گام سوم: میانگین عناصر برداری سازگاری محاسبه گشته و λ_{max} نامیده می‌شود.

گام چهارم: شاخص سازگاری بصورت رابطه ۸ محاسبه می‌شود که در آن n تعداد معیارها می‌باشد.

(۸) محاسبه شاخص سازگاری

$$CI = \frac{\lambda_{Max} - n}{n-1}$$

گام پنجم: نسبت سازگاری از تقسیم شاخص سازگاری برشاخص تصادفی طبق رابطه ۹ بدست می‌آید که شاخص تصادفی بر اساس تعداد معیارهای موجود مطابق با جدول ۱ تعیین می‌شود

(۹) محاسبه‌ی شاخص سازگاری

$$I.R = \frac{CI}{I.I.R}$$

n	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰
I.I.R.	۰	۰	۰.۵۸	۰.۹	۱.۱۲	۱.۲۴	۱.۳۲	۱.۴۱	۱.۴۵	۱.۴۵

جدول۱. شاخص تصادفی در محاسبه نرخ سازگاری

۵- معرفی برخی از روش‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه پر کاربرد در حمل‌ونقل

همان‌طور که گفته شد هدف این مقاله، معرفی روش‌های تصمیم‌گیری چندشاخصه که در مطالعات حمل‌ونقل کاربرد فراوانی دارد، به صورت ساده و کاربردی می‌باشد. در ادامه به ارایه‌ی روش‌های SAW، TOPSIS، ELECTRE و AHP به صورت جداگانه پرداخته شده است.

۵-۱- روش مجموع ساده وزین (SAW)

این روش یکی از قدیمی ترین روش‌های به کارگیری شده در تصمیم‌گیری چند شاخصه است به طوریکه با مفروض بودن بردار وزن‌های اهمیت معیارها که طریقه‌ی محاسبه‌ی آن در قبل ذکر شده است، مناسب ترین گزینه $\left(A^*\right)$ به صورت رابطه ۱۰ محاسبه می‌گردد (Abdullah and Adawiyah 2014).

(۱۰) محاسبه‌ی مناسب‌ترین گزینه در روش مجموع ساده وزین

$$A^* = \left\{ A_t \mid \max \frac{\sum_j w_j, r_{ij}}{\sum_j w_j} \right\}$$

و چنانچه $\sum_j w_j = 1$ باشد، رابطه‌ی ۱۰ به صورت زیر ساده می‌شود:

(۱۱) فرمول ساده شده‌ی مجموع ساده‌ی وزین

$$A^* = \left\{ A_i \mid \max \sum_j w_J . r_{ij} \right\}$$

همان‌طور که مشاهده می‌گردد این روش بسیار ساده است و از قدیمی‌ترین روش‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه است.

۵-۲- روش TOPSIS

این روش در سال ۱۹۸۱ توسط هوانگ و یون ارائه گردیده است. در روش تاپسیس علاوه بر در نظر گرفتن فاصله یک گزینه از نقطه ایده آل فاصله آن از نقطه ایده آل منفی هم در نظر گرفته می شود. بدان معنی که گزینه انتخابی باید دارای کمترین فاصله از راه حل ایده آل بوده و درعین حال دارای دورترین فاصله از راه حل ایده آل منفی باشد. واقعیات زیربنائی از این روش بدین قرار می‌باشد :

الف) مطلوبیت هر شاخص باید به طور یکنواخت افزایشی (یا کاهشی) باشد بدان معنی که بهترین ارزش

موجود از یک شاخص نشان دهنده ایده آل آن بوده و بدترین ارزش موجود از آن مشخص کننده ایده آل منفی برای آن خواهد بود. بنابراین در این روش اگر شاخص منفی وجود داشته باشد ابتدا باید آن‌را با روش‌هایی مانند معکوس کردن، منفی کردن و .. به یک معیار مثبت تبدیل شود.

ب) فاصله یک گزینه از ایده آل (یا از ایده آل منفی) ممکن است بصورت فاصله اقلیدسی (از توان دوم) و یا به صورت مجموع قدر مطلق از فواصل خطی (معروف به فواصل بلوکی) محاسبه گردد.

این روش را می‌توان به صورت گام‌های زیر پیاده کرد (Opricovic and Tzeng 2004):

گام اول: نرمال کردن ماتریس تصمیم گیری به روش نرم مطابق با رابطه‌ی ۱۲:

(۱۲) نرمال کردن ماتریس تصمیم گیری به روش نرم

$$\acute{r}_{ij} = \frac{r_{ij}}{(\sum_{i=1}^{m} {r_{ij}}^2)^{\frac{1}{2}}}; \quad j = 1; \dots; n$$

که در آن r_{ij} درایه‌های ماتریس تصمیم گیری و $\acute{r}_{ij}$ درایه‌های ماتریس نرمال شده است.

گام دوم: بدست آوردن وزن معیارها که روش‌های آن در قبل گفته شد.

گام سوم: ساختن ماتریس تصمیم گیری نرمال وزن دار مطابق با رابطه ۱۳:

(۱۳) ساختن ماتریس تصمیم‌گیری نرمال

$$\vartheta_{ij} = \acute{r}_{ij} * w_{ij}\ ;\ \forall i; j$$

که در آن ϑ_{ij} درایه‌های ماتریس تصمیم گیری نرمال وزن دار و w_{ij} وزن‌های محاسبه شده می‌باشد.

گام چهارم: مشخص کردن ایده‌آل های مثبت و منفی. فرض می‌شود B اندیس معیارهای مثبت و C اندیس معیارهای منفی باشد، در این صورت ایده‌آل مثبت (منفی) گزینه‌ای مجازی است که در هر شاخص بهترین (بدترین) عملکرد را دارد. بنابراین ایده‌آل مثبت و منفی به صورت رابطه‌ی ۱٤ فرض می‌شوند:

(۱٤) ایده‌آل مثبت و منفی

$$A^+ = (\vartheta_1^+; \dots; \vartheta_n^+)$$
$$A^- = (\vartheta_1^-; \dots; \vartheta_n^-)$$

که در آن :

$$\vartheta_1^+ = \begin{cases} \text{Max}\{\vartheta_{ij}\} & j \epsilon B \\ \text{Min}\{\vartheta_{ij}\} & j \epsilon C \end{cases} \qquad \vartheta_1^- = \begin{cases} \text{Min}\{\vartheta_{ij}\} & j \epsilon B \\ \text{Max}\{\vartheta_{ij}\} & j \epsilon C \end{cases}$$

گام پنجم: بدست آوردن فاصله هر گزینه تا اید ه آل مثبت و منفی. فاصله‌ی گزینه‌ی Ai تا ایده‌آل مثبت به صورت رابطه ۱۵ و فاصله‌ی این گزینه تا ایده‌آل منفی به صورت رابطه ۱٦ محاسبه می‌گردد.

(۱۵) فاصله‌ی گزینه‌ی Ai تا ایده‌آل مثبت

$$d_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^{n} (\vartheta_{ij} - \vartheta_j^+)^2}$$

(۱٦) فاصله‌ی گزینه‌ی Ai تا ایده‌آل منفی

$$d_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^{n} (\vartheta_{ij} - \vartheta_j^-)^2}$$

گام ششم: محاسبه شاخص نزدیکی نسبی برای هر گزینه که به صورت رابطه‌ی ۱۷ محاسبه می‌گردد.

(۱۷) محاسبه شاخص

$$R_i = \frac{d_i^-}{d_i^- + d_i^+}$$

نزدیکی نسبی برای گزینه‌ها

گام هفتم: رتبه بندی گزینه‌ها براساس ترتیب نزولی مقدار شاخص نزدیکی نسبی.

۳-۵- روش ELECTRE

در این روش به جای رتبه‌بندی گزینه‌ها از مفهوم جدیدی معروف به مفهوم «غیر رتبه‌ای» استفاده می‌شود، بدین صورت که مثلا $A_k \rightarrow A_l$ بیانگر آن است که اگر چه گزینه‌های 1,k هیچ ارجحیتی از نظر ریاضی به یکدیگر ندارند اما تصمیم‌گیر و آنالیست ریسک بهتر بودن Ak را بر At می‌پذیرد. در این روش کلیه گزینه‌ها با استفاده از مقایسات غیر رتبه‌ای مورد ارزیابی قرار گرفته و بدان طریق گزینه‌های غیر موثر حذف می‌شوند. مقایسات زوجی بر اساس درجه توافق از اوزان و درجه اختلاف از مقادیر ارزیابی‌های وزین (V_{ij}) استوار بوده و تواماً برای ارزیابی گزینه‌ها مورد آزمون قرار می‌گیرد. در ادامه مراحل انجام روش ELECTRE آورده شده است که کلیه این مراحل بر مبنای یک مجموعه هماهنگ و یک مجموعه ناهماهنگ پایه‌ریزی می‌شوند و بدین لحاظ این روش معروف به «آنالیز هماهنگی» هم می‌باشد (Buchanan, Sheppard et al. 1998).

گام اول: نرمال کردن ماتریس تصمیم گیری به روش نرم اقلیدسی مطابق با رابطه‌ی ۱۸:

(۱۸) نرمال کردن ماتریس تصمیم گیری به روش نرم اقلیدسی

$$\acute{r}_{ij} = \frac{r_{ij}}{(\sum_{i=1}^{m} {r_{ij}}^2)^{\frac{1}{2}}}; \quad j = 1; \dots; n$$

که در آن r_{ij} درایه‌های ماتریس تصمیم گیری و $\acute{r}_{ij}$ درایه‌های ماتریس نرمال شده است.

گام دوم: بدست آوردن وزن معیارها که روش‌های آن در قبل گفته شد.

گام سوم: ساختن ماتریس تصمیم گیری نرمال وزن دار مطابق با رابطه ۱۹:

(۱۹) ساختن ماتریس تصمیم‌گیری نرمال

$$\vartheta_{ij} = \acute{r}_{ij} * w_{ij}\ ;\ \forall i; j$$

گام چهارم: در این مرحله تمامی گزینه‌ها ، نسبت به تمام شاخص‌ها، به صورت زوجی مورد ارزیابی قرار می‌گیرد و مجموعه‌ی «ماتریس‌های هماهنگ و ناهماهنگ» تشکیل می‌شود. مجموعه هماهنگ از گزینه‌های k وI که با $S_{k;i}$ نشان داده می‌شود، مشتمل بر کلیه‌ی شاخص‌هایی خواهد بود که در آن ها، گزینه‌ی A_i بر گزینه‌ی A_k به ازای آن‌ها مطلوبیت بیشتری داشته باشد. برای یافتن این مطلوبیت، باید به نوع معیارهای تصمیم‌گیری، از جنبه‌ی مثبت یا منفی توجه شود. این مفهوم را می‌توان به صورت روابط ۲۰ و ۲۱ نشان داد.

(۲۰) اگر شاخص مورد نظر، دارای جنبه ی مثبت باشد

$$Sk,I = \{j \mid Vkj \geq Vij\}\ ,\ j = 1\ ,\ \dots\ ,\ m$$

(۲۱) اگر شاخص مورد نظر، دارای جنبه ی منفی باشد

$$Sk,I = \{j \mid Vkj \leq Vij\}\ ,\ j = 1\ ,\ \dots\ ,\ m$$

مجموعه‌ی ناهماهنگ Dk,i نیز شامل شاخص‌هایی است که در آن‌ها، گزینه‌ی Ak، نسبت به گزینه‌ی Ai مطلوبیت کمتری داشته باشد که به صورت روابط ۲۲ و ۲۳ تعریف می‌شود.

(۲۲) اگر شاخص مورد نظر، دارای جنبه‌ی مثبت باشد

$$Dk,I = \{j \mid Vkj < Vij\}\ ,\ j = 1\ ,\ \dots\ ,\ m$$

(۲۳) اگر شاخص مورد نظر، دارای جنبه‌ی منفی باشد

$$Dk,I = \{j \mid Vkj > Vij\}\ ,\ j = 1\ ,\ \dots\ ,\ m$$

گام پنجم: در این گام، از اطلاعات گام قبل، ماتریس هماهنگی طبق رابطه‌ی ۲٤ محاسبه می‌گردد. این ماتریس، یک ماتریس مربعی m×m بوده که قطر آن، فاقد عنصر

می‌باشد و سایر عناصر این ماتریس نیز از جمع اوزان شاخص‌های متعلق به مجموعه‌ی هماهنگ حاصل می‌شود.

(۲٤) محاسبه‌ی ماتریس هماهنگی $I\,ki = \sum Wj \quad j \in A_{ki}$

این معیار (Iki) بیان‌کننده اهمیت نسبی Ak نسبت به Ai است. مقدار این معیار، عددی بین صفر و یک است و هر چه این مقدار بیشتر باشد، بیانگر آن است که Ak، ارجحیت بیشتری بر Ai دارد و برعکس.

گام ششم: در این گام، ماتریس ناهماهنگی محاسبه می‌شود. این ماتریس با NI نشان داده شده و مانند ماتریس هماهنگ، ماتریسی $m * m$ است. قطر اصلی این ماتریس، عنصری ندارد و سایر عناصر این ماتریس، از ماتریس بی مقیاس شده‌ی موزون طبق رابطه‌ی ۲۵ به دست می‌آید.

(۲۵) محاسبه‌ی ماتریس ناهماهنگی $Niki = \frac{\text{Max}\,|Vkj - Vij|\,;\ j \in D\,k,i}{\text{Max}\,|Vkj - Vij|\,;\ j \in \text{همه شاخص ها}}$

این معیار، نسبت عدم مطلوبیت مجموعه‌ی ناهماهنگ k و I را به کل ناهماهنگی در شاخص‌ها، اندازه گیری می‌کند.

گام هفتم: در این مرحله، ماتریس هماهنگ موثر محاسبه می‌شود. این ماتریس را با H مشخص می‌کنند. برای ایجاد این ماتریس، ابتدا باید یک آستانه‌ای را تعیین کرد که اگر هر عنصر ماتریس I بزرگتر یا مساوی آن باشد، آن مولفه در ماتریس H ، مقدار یک به خود می‌گیرد و در غیر این صورت مقدار صفر می‌گیرد. برای تعیین حد آستانه $\bar{I}$ ، می‌توان از اطلاعات گذشته و نظر تصمیم گیرنده استفاده کرد. یک معیار عمومی برای مشخص شدن این حد، عبارتست از میانگین مقادیر ماتریس I یعنی ($\bar{I}$) که طبق رابطه‌ی ۲٦ محاسبه می‌گردد.

(۲٦) مشخص کردن حد آستانه برای ماتریس هماهنگ موثر $\bar{I} = \sum_{i=1}^{m}\sum_{k=1}^{m} Iki/m(m-1)$

بنابراین ماتریس هماهنگ موثر طبق رابطه‌ی ۲۷ به دست می‌آید.

(۲۷) ماتریس هماهنگ موثر

$$H\ ki = 1 \leftarrow I\ ki \geq \bar{I} \quad \text{اگر}$$

$$H\ ki = 0 \leftarrow I\ ki < \bar{I} \quad \text{اگر}$$

این ماتریس نشان‌دهنده ارجحیت یک گزینه بر گزینه دیگر است.

گام هشتم: در این گام ماتریس ناهماهنگ موثر به دست می‌آید. این ماتریس که با G نشان داده می‌شود، مانند ماتریس هماهنگ موثر به دست می‌آید. حد آستانه برای این ماتریس، به صورت رابطه‌ی ۲۸ محاسبه می‌شود.

(۲۸) مشخص کردن حد آستانه برای ماتریس ناهماهنگ موثر $\overline{NI} = \sum_{i=1}^{m}\sum_{k=1}^{m} NI\,ki/m(m-1)$

بنابراین ماتریس ناهماهنگ موثر طبق رابطه‌ی ۲۹ به دست می‌آید.

(۲۹) ماتریس ناهماهنگ موثر

$$G\ ki = 0 \leftarrow NIki \geq \overline{NI} \quad \text{اگر}$$

$$G\ ki = 1 \leftarrow NIki < \overline{NI} \quad \text{اگر}$$

گام نهم: با ترکیب ماتریس هماهنگ موثر(H) و ماتریس ناهماهنگ موثر (G) ماتریس کلی موثر (F) به دست می‌آید. محاسبه ی این ماتریس به صورت رابطه‌ی ۳۰ می‌باشد. این ماتریس، نشان دهنده‌ی ترتیب برتری راهکارهای مختلف، نسبت به یکدیگر می‌باشد. یعنی اگر $Fki = 1$ باشد، می‌توان گفت Ak بر Ai ارجحیت دارد. البته ممکن است این ارجحیت، تحت تاثیر راهکارهای دیگر قرار گیرد. بنابراین، شرط این که در روش فوق، Ak یک گزینه‌ی ارجح باشد ، این است که رابطه‌ی ۳۱ برقرار باشد.

(۳۰) ماتریس کلی موثر $F\,ki = Hki \times Gki$

(۳۱) شرط ارجح‌بودن گزینه Ak برای حداقل یک i $F\,ki = 1$

برای کلیه‌ی i $F\,ki = 0$

٤-٥- روش AHP

روش AHP توسط فردی به نام ساعتی Saaty در سال ۱۹۸۰ ارائه گردید. این روش یکی از جامع ترین مدلهای تصمیم‌گیری چند شاخصه به شمار می رود. از مزایای این روش می توان به امکان فرموله کردن مساله بصورت ساختار سلسله مراتبی چند سطحی اشاره کرد. در این روش ذهن افراد را با مسئله‌ی مورد نظر تطابق داده و آن را با ساختار سلسله مراتبی به صورت ساده تر نشان می دهد. همچنین از آنجایی که این روش بر اساس مقایسه های زوجی بنا نهاده شده، امکان بررسی سناریوهای مختلف را به مدیران می دهد. مهمترین کاربرد روش AHP در تعیین ضرایب اهمیت معیارهای مختلف با توجه به نظر متخصصان است که در قسمت‌های قبل توضیح داده شد. در این روش پس از محاسبه‌ی ضرایب اهمیت، می‌توان با استفاده از تکنیک مجموع ساده وزین و یا تکنیک‌های دیگر به رتبه‌بندی گزینه‌ها پرداخت (Subramanian and Ramanathan 2012).

٦- نتیجه‌گیری

در این مقاله به بررسی کاربرد روش‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه در برنامه‌ریزی حمل‌ونقل و ترافیک و پرداخته شد. تکنیک‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه زیر مجموعه‌ای از تکنیک‌های تصمیم‌گیری چند متغیره می‌باشند که امروزه کاربرد وسیعی در بین مدیران، تصمیم‌گیران و مطالعات مختلف دارد. این تکنیک‌ها از تنوع بسیار زیادی برخوردار هستند که در این مطالعه ابتدا با بررسی مطالعات انجام شده در زمینه‌ی حمل‌ونقل تعدادی از این تکنیک‌ها که کاربرد بیشتری در زمینه‌ی حمل‌ونقل دارند، انتخاب شدند. این تکنیک‌ها شامل تکنیک‌های SAW، TOPSIS، ELECTRE و AHP بودند. همان‌طور که گفته شد برای استفاده از این تکنیک‌ها ابتدا باید سه گام برای آماده شدن داده‌ها و اطلاعات موجود برداشته شود که این سه گام عبارتند از تبدیل‌کردن معیارهای کیفی به کمی، بی‌مقیاس‌سازی و وزن‌دهی به معیارها. در ادامه مقاله به ارائه‌ی روش‌هایی برای انجام هر یک از این گام‌ها پرداخته شد. برای تبدیل معیارهای کیفی به کمی دو روش خط‌کش‌های مقیاس و روش منطق فازی ارائه شد. در بخش مربوط به روش‌های بی‌مقیاس سازی سه روش نرم خطی، نرم ساعتی و نرم اقلیدسی ارائه گردید. روش‌های وزن‌دهی به معیارها نیز به سه گروه تقسیم‌بندی شدند: ۱- روش‌هایی که از اطلاعات و داده‌های موجود برای محاسبه‌ی ضرایب استفاده می‌کنند. ۲- روش‌هایی که با استفاده از نظر متخصصان ضرایب را محاسبه کرده و ۳- روش‌هایی که از ترکیب ضرایب دو گروه قبل، ضرایب نهایی را محاسبه می‌کنند. در این مورد روش‌های انتروپی شانون و مقایسات زوجی که به ترتیب جزو گروه اول و دوم هستند، ارایه شد. در انتها نیز به ارایه‌ی تکنیک‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه انتخاب شده که کاربرد فراوانی در زمینه‌ی حمل‌ونقل داشتند، به صورت مختصر و کابردی، تحت عنوان گام‌های متوالی پرداخته شد. همان‌طور که گفته شد تکنیک‌های تصمیم‌گیری چند متغیره به دو گروه تصمیم‌گیری چند هدفه و تصمیم‌گیری چند شاخصه تقسیم می‌شوند. در این مطالعه به بررسی تکنیک‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه پر کاربرد در زمینه‌ی حمل‌و نقل و ترافیک و ارایه‌ی آن‌ها پرداخته شد. پیشنهاد می‌گردد در مطالعه‌ای دیگر به بررسی تکنیک‌های تصمیم‌گیری چند هدفه که آن‌ها نیز کاربرد وسیعی در زمینه‌ی حمل‌ونقل و ترافیک دارند، پرداخته شود.

۷- مراجع

-آذر، ع.، رجب‌زاده، ع. چاپ ششم (۱۳۹۳)، "تصمیم‌گیری کاربردی"، تهران. انتشارات نگاه دانش.

-افندی زاده، ش. پرتوی فر، ح.ر. جعفری کنگ، مسعود. ۱۳۹٤، "ارزیابی سیستم اتوبوسهای تندرو (BRT) شهر مشهد با استفاده از تحلیل سلسله مراتبی (AHP) و مطالعه تطبیقی با BRT شهر ریودوژانیرو برزیل"، چهاردهمین کنفرانس بین‌المللی مهندسی حمل و نقل و ترافیک، تهران، معاونت و سازمان حمل و نقل ترافیک.

-افندی زاده، ش.، صفارزاده، م. ح.، محمدی قرقی. ۱۳۹٤، "الگوریتم تصمیم گیری در خصوص تبدیل میدان به تقاطع چراغدار و بالعکس"، چهاردهمین کنفرانس بین المللی مهندسی حمل و نقل و ترافیک، تهران، معاونت و سازمان حمل و نقل ترافیک.

-اله‌یاری نیک، الف.، صادقی دزفولی، الف.، صفارزاده، م.، جهانمرد، الف.، (۱۳۹۲)، "ارزیابی کیفیت خدمات شرکت هواپیمایی کشور با رویکرد ترکیبی AHP فازی و TOPSIS"، سیزدهمین کنفرانس بین‌المللی مهندسی حمل و نقل و ترافیک، تهران، معاونت و سازمان حمل و نقل و ترافیک،

-توکلی کاشانی، ع.، عزیزی بندرآبادی، م.، (۱۳۹٤)، "ارائه‌ی روشی برای ارزیابی عملکرد استان‌ها در زمینه‌ی ایمنی راه‌های روستایی". نخستین کنفرانس ملی حمل‌ونقل روستایی.

- ثباتی، ع.، نبی پور، م.، قلی‌نژاد دازمیری، د. (۱۳۹٤)، "ارزیابی و اولویت‌بندی شاخص‌های افزایش ایمنی و کاهش تصادفات جاده‌ای بین شهری با استفاده از روش SWOT و AHP (مطالعه موردی محور ساری-قائمشهر)"، چهاردهمین کنفرانس بین المللی مهندسی حمل و نقل و ترافیک، تهران، معاونت و سازمان حمل و نقل ترافیک.

- خیرخواه، الف.س.، حسینیان، الف.ح.، حق‌وردی، م.، اسماعیل‌نژاد، ب.، (۱۳۹۲)، "ارزیابی معیارهای سیستم حمل و نقل پایدار دوچرخه سواری به کمک روش AHP فازی و کاربرد روش promethee در تعیین پایدارترین گزینه"، سیزدهمین کنفرانس بین‌المللی مهندسی حمل و نقل و ترافیک، تهران، معاونت و سازمان حمل و نقل و ترافیک.

- صحاف، ع.، اخباری، ک. و محمودزادگان، ع.، (۱۳۹۲)، "اولویت‌بندی گزینه‌های تعمیر و نگهداری تابلوهای ترافیکی در بزرگراه هامبتنی بر روش تصمیم گیری چند معیاره (مطالعه موردی؛ بزرگراه همت و مدرس)"، سیزدهمین کنفرانس بین‌المللی مهندسی حمل و نقل و ترافیک، تهران، معاونت و سازمان حمل و نقل و ترافیک.

- محمدنژاد، م. غیبی، م. و فلفلائی، م.ر.، (۱۳۹٤)، "ارزیابی سیستم‌های حمل و نقل عمومی (قطار شهری) مشهد با استفاده از رویکرد تحلیل عوامل استراتژیک (SWOT) و اولویت‌بندی آلترنتیوهای موثر بوسیله ی فرایند تحلیل شبکه‌ای (ANP)"، چهاردهمین کنفرانس بین المللی مهندسی حمل و نقل و ترافیک، تهران، معاونت و سازمان حمل و نقل ترافیک.

- محمدی زنجیرانی، د. سلیمی فرد، خ.ک. یوسفی ده بیدی، ش. (۱۳۹۳)، "بررسی عملکرد متداول ترین تکنیک‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه با رویکرد بهینه‌یابی". تحقیق در عملیات در کاربردهای آن (ریاضیات کاربردی)، دوره ۱۱.

- میرزایی قمی، م.م. لحمیان، ر. آزاده‌دل، ی. قهری، مهنوش. (۱۳۹۲)، "ارزیابی معابر شهری از منظر پوشش ایستگاه‌های اتوبوس، براساس مدل AHP-SA (مطالعه موردی: منطقه ٤ شهرداری تهران)"، سیزدهمین کنفرانس بین المللی مهندسی حمل و نقل و ترافیک، تهران، معاونت و سازمان حمل و نقل و ترافیک.

- ناصری علوی، ص.، محمودی میمند، و م.، کارگر دولت آبادی، ج.،(۱۳۹۲)، "ارائه مدلی برای انتخاب مکان بهینه به منظور احداث پارکینگ غیرحاشیهای باAHP استفاده از روش سلسله مراتبی"، سیزدهمین کنفرانس بین المللی مهندسی حمل و نقل و ترافیک، تهران، معاونت و سازمان حمل و نقل و ترافیک.

-Abdullah, L., & Adawiyah, C. R. (2014), "Simple additive weighting methods of multi criteria decision making and applications: A decade review". International Journal of Information Processing and Management, 5(1), pp.39 .

-Buchanan, J., Sheppard, P., & Vanderpoorten, D. (1998), "Ranking projects using the ELECTRE method. Paper presented at the Operational Research Society of New Zealand, Proceedings of the 33rd Annual Conference.

-H. Zardari, N., Shirazi, S. M., Yusop, Z. B., & Ahmed, K. (2015), "Weighting Methods and their Effects on Multi-Criteria Decision Making Model Outcomes in Water Resources Management". Springer International Publishing .

-Hwang, C.-L., & Yoon, K. (2012), "Multiple attribute decision making: methods and applications a state-of-the-art survey (Vol. 186): Springer Science & Business Media.

-Opricovic, S., & Tzeng, G.-H. (2004), "Compromise solution by MCDM methods: A comparative analysis of VIKOR and TOPSIS". European journal of operational research, 156(2), pp.445-455 .

-Saaty, T. L., & Vargas ,L. G. (2012), "Models, methods, concepts & applications of the analytic hierarchy process (Vol. 175): Springer Science & Business Media".

-Spronk, J., Steuer, R. E., & Zopounidis, C. (2016), "Multicriteria decision aid/analysis in finance Multiple Criteria Decision Analysis (pp. 1011-1065): Springer.

-Subramanian, N., & Ramanathan, R. (2012), "A review of applications of Analytic Hierarchy Process in operations management. International Journal of Production Economics, 138(2), pp.215-241 .

-Triantaphyllou, E. (2013),"Multi-criteria decision making methods: a comparative study (Vol. 44): Springer Science & Business Media.

-Velasquez, M., & Hester, P. T. (2013), "An analysis of multi-criteria decision making methods. International Journal of Operations Research", 10(2), pp.56-66.

.