اولویت‌بندی گزینه‌های طراحی مسیر راه آهن دورود- اندیمشک با استفاده از فرایند تحلیل شبکه‌ای (ANP) و تکنیک دیمتل (DEMATEL)

سید مسعود نصر آزادانی*، استادیار، گروه خط و سازه‌های ریلی، دانشکده مهندسی راه‌آهن دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران

میلاد اکبری ورمزیار، دانش آموخته کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی راه‌آهن، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران

*پست الکترونیکی نویسنده مسئول:nasrazadani@iust.ac.ir

دریافت: ۹۷/۰۶/۱۱- پذیرش: ۹۷/۱۱/۰۵

صفحه ۱۵٤-۱۲۹

چکیده

تصمیم‌گیری مرتبط با اختصاص منابع مالی به پروژه‌های بازسازی، نوسازی، ساخت و یا بهسازی زیرساخت‌های حمل و نقل مسئله ای کلیدی در تمام شبکه‌های حمل و نقلی و خصوصا در کشورهای در حال توسعه است. این مسئله در کشورهایی که با مشکلات و بحران های اقتصادی و همچنین منابع محدود از یک سو و از سوی دیگر نیاز شدید به زیرساخت‌های بهتر به عنوان شرط لازم توسعه اقتصادی روبرو هستند از اهمیت بیشتری برخوردار است. در طرح‌های ریلی به دلیل حجم بالای سرمایه گذاری و اختصاص منابع مالی فراوان مسئله انتخاب بهینه‌ترین گزینه توسعه و طراحی مسیر از اهمیت ویژه ای برخوردار است. گزینه ای که علاوه بر معیارهای فنی و کمی، معیارهای کیفی مورد نظر تصمیم گیر و کارفرما را برآورده کند. لذا برای حل مسائل این چنینی روشهای تصمیم گیری چند معیاره که با در نظر گرفتن معیارهای مختلف کمی و کیفی به اولویت بندی گزینه‌های موجود می پردازند کاربردی و مفید هستند. در این مقاله سعی داریم ضمن بررسی الگوریتم‌ها و روش‌های اولویت‌بندی و تصمیم گیری در پروژه‌های حمل و نقلی و ریلی و مقایسه آنها، به انتخاب کاراترین روش در اولویت بندی طرح های ریلی با در نظر گرفتن شاخص‌های کمی و کیفی پرداخته و سپس به ارزیابی گزینه‌های طراحی مسیر راه آهن دورود- اندیمشک با استفاده از روش تحلیل شبکه‌ای (ANP) بپردازیم. همچنین به بررسی اثرات و روابط درونی معیارها را با استفاده از تکنیک دیمتل پرداخته شود.

واژه‌های کلیدی: راه‌آهن، اولویت بندی، فرایند تحلیل شبکه ای، DEMATEL، ANP

۱- مقدمه

کمیت و کیفیت سیستم حمل‌ونقل یک کشور از مهم‌ترین نشانه‌های توسعه‌یافتگی آن کشور است. از میان سیستم‌های موجود، سیستم حمل‌ونقل ریلی دارای امتیازهای ویژه‌ای است که توجه خاص بسیاری از دولت‌ها از جمله دولت جمهوری اسلامی ایران را به خود معطوف داشته است از مهم‌ترین امتیازهایی که سیستم حمل‌ونقل ریلی را با سایر سیستم‌های حمل‌ونقل متمایز می‌سازد، می‌توان به مواردی همچون ظرفیت بالای حمل بار و مسافر، ایمنی سیر، برخورداری از زمان‌بندی حرکت منسجم و منظم، توانایی دستیابی به سرعت‌های بالا (قابل رقابت با حمل‌ونقل هوایی)، برخورداری از صرفه اقتصادی به‌ویژه در مصرف سوخت و در نهایت، آلودگی زیست‌محیطی کمتر اشاره نمود. موارد فوق دلایلی بوده است که امروزه شاهد رشد و توسعه قابل‌ملاحظه‌ای در حمل‌ونقل ریلی به‌خصوص در احداث خطوط جدید با سرعت‌های بالا می‌باشد. در مقایسه با آمار موجود در عرصه جهانی، علی‌رغم وسعت قابل‌توجه کشور ایران و تقاضای موجود در زمینه‌ی حمل‌ونقل بار و مسافر، کمیت و کیفیت خطوط ریلی ایران پایین‌تر از مقادیر مطلوب است. این مهم نیازمند توسعه همه جانبه به لحاظ کمی و کیفی است. شاید بتوان عمده‌ترین علل عدم توسعه لازم در

این صنعت را در سال‌های گذشته کمبود منابع علمی، نیروی متخصص و سرمایه‌گذاری‌های لازم در این زمینه دانست. تصمیم گیری مرتبط با اختصاص منابع مالی به پروژه های بازسازی، نوسازی،ساخت و یا بهسازی زیرساخت حمل و نقل مسئله‌ای کلیدی در تمام شبکه‌های حمل و نقلی و خصوصا در کشورهای در حال توسعه است. سرمایه گذاری در سطح پایین در گذشته منجر به کاهش کیفیت زیرساخت‌های حمل ونقلی است و نیاز به در نظر گرفتن تمام گزینه های بازسازی و نوسازی زیر ساخت های حمل و نقل مسئله را به شدت پیچیده کرده است.این مسئله در کشورهایی که با مشکلات و بحران های اقتصادی و همچنین منابع محدود از یک سو و از سوی دیگر نیاز شدید به زیرساخت های بهتر به عنوان شرط لازم توسعه اقتصادی روبرو هستند مهم تر است. در این شرایط این سوال پیش می آید که آیا تنها به بازسازی اکتفا شود یا به طور همزمان به بهبود زیر ساخت‌ها نیز پرداخته شود (که هزینه‌ها را به شدت افزایش می دهد).و همچنین این مسئله که با توجه به موقعیت خاص شبکه راه آهن پروژه‌ها به چه ترتیب اجرایی شوند.اولویت بندی پروژه ها راه آهن با توجه به تعمیر و نگهداری و نوسازی در شرایط محدودیت بودجه نه تنها مسئله ای مهم از دیدگاه مدیریت زیرساخت بلکه از دید وزارت راه و شهرسازی و دولت و مردم می‌باشد. با توجه به اهمیت مسئله انتخاب گزینه مناسب توسعه در طرح های راه آهن، این مسئله در مناطق کوهستانی به دلایل مختلف همچون سختی مسیر، وجود شیب و فرازها، تونل‌ها، قوس‌ها و منحنی‌ها از شرایط پیچیده‌تری برخوردار است. یکی از محورهای موردبحث کشور ما محور ریلی جنوب می‌باشد که نزدیک به حدود ۳۰۰ کیلومتر از آن در منطقه زاگرس قرار دارد که منطقه‌ای کوهستانی و خشن می‌باشد در این محور ٦۰ کیلومتر تونل وجود دارد که تعداد تونل‌های این مسیر به ۱۳۱ عدد می‌رسد همچنین حدود ١٤ کیلومتر از مسیر، پل و آبرو است. این مسیر شیب و فراز ۱۵ در هزار و قوس‌هایی تا شعاع ۲۰۰ متر دارد که این موضوع بحث انتخاب مسیر در مناطق کوهستانی را حساس‌تر می‌کند. استان لرستان یکی از استان‌های بهره‌مند از راه‌آهن است و خط راه‌آهن سراسری جنوب از این استان عبور می‌کند، اما با توجه به عبور این راه‌آهن از میان دره‌های رشته‌کوه زاگرس و عدم وجود ایستگاه‌های مناسب و نبود راه‌های دسترسی مناسب به ایستگاه‌ها در این بخش از مسیر، راه‌آهن باعث توسعه چشمگیری در استان لرستان نشده است. در این میان فقط ایستگاه دورود به علت تشکیلاتی بودن و راه دسترسی مناسب باعث توسعه شهر دورود شده و این امر نشان‌دهنده این است که می‌توان با اتصال شهرهای دیگر استان به راه‌آهن سراسری امکان پیشرفت این منطقه از ایران را فراهم آورد. بدین منظور طرح راه‌آهن دورود – خرم‌آباد– اندیمشک در سال ۹۳ با اعتبار ۱۳۰۰ میلیارد تومانی آغاز به کار کرد. این پروژه دارای طول ۳٤۷ کیلومتر است که در مسیر آن ۹ دستگاه تونل با طول ۳۷ کیلومتر احداث خواهد شد. همچنین پروژه دارای ٤ کیلومتر پل و ۱۷ ایستگاه می‌باشد. سرعت این طرح را ۱۰۰ کیلومتر در ساعت و حداکثر شیب طولی مسیر این پروژه ۱۵ در هزار خواهد بود. این پروژه شاخه دوم راه‌آهن جنوب خواهد بود که در راستای رفع تنگناهای محور قدیم احداث می‌شود و باعث اتصال خرم‌آباد به‌عنوان مرکز استان به راه‌آهن کشور خواهد شد.

با اجرای این طرح برای مسیر دورود– اندیمشک که مسیری کوهستانی است دو گزینه موجود می‌شود، اولین گزینه مسیر فعلی دورود به اندیمشک و دومین گزینه مسیر دورود – خرم‌آباد – اندیمشک. همچنین برقی کردن مسیر فعلی دورود به اندیمشک را می‌توان به‌عنوان یکی از گزینه‌های انتخابی مورد بررسی قرار داد. با این توصیف لزوم ایجاد مدلی برای انتخاب مسیر بهینه در مناطق کوهستانی همچون راه‌آهن لرستان احساس می‌شود.با در نظر گرفتن اهمیت تخصیص بهینه منابع در طرح‌های ریلی به‌منظور بهینه‌سازی سرمایه‌گذاری در بخش توسعه زیربناهای حمل‌ونقل ریلی،در این پژوهش سعی بر تدوین روشی منظم و علمی برای اولویت‌بندی گزینه‌های موجود برای احداث و ارتقا خطوط ریلی در یک مطالعه موردی با در نظر گرفتن ویژگی‌های منحصربه‌فرد هر مسیر و شاخص‌های کمی و کیفی مؤثر بر آن می باشد.

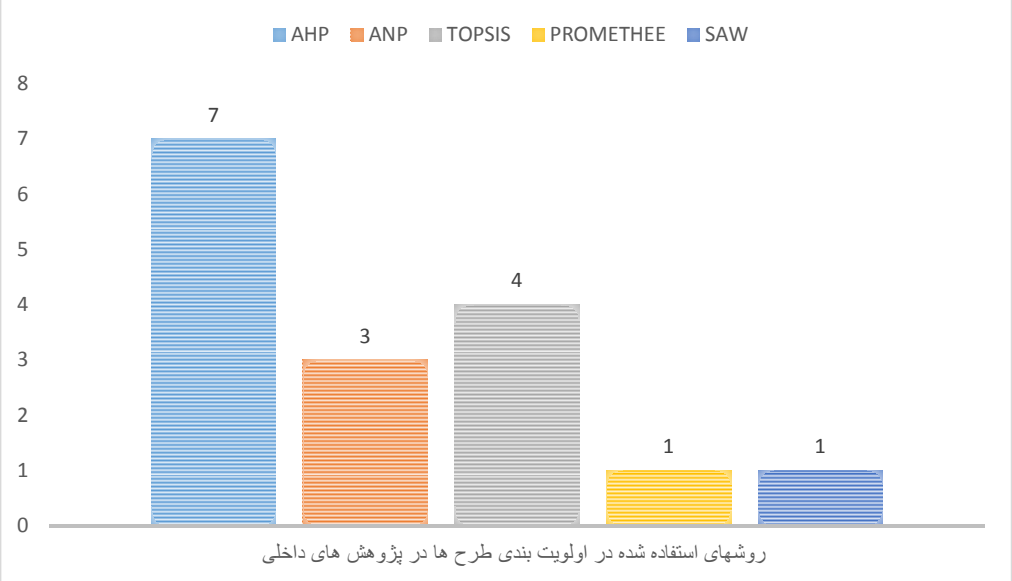
در این پژوهش بنا داریم ضمن بررسی روش‌های مختلف در اولویت‌بندی و تصمیم‌گیری در طرح‌های ریلی به انتخاب متناسب‌ترین روش با در نظر گرفتن جمیع شرایط حاکم بر مطالعه حاضر پرداخته و ضمن ایجاد ساختاری هدفمند برای تصمیم‌گیری به اولویت بندی گزینه‌های مذکور پرداخته شود.

۲- پیشینه تحقیق

در این بخش ضمن بررسی و طبقه‌بندی یافته‌ها و نتایج پژوهش‌های دیگر محققان در سطح دنیا و کشور در زمینه‌ی اولویت‌بندی طرح‌های ریلی قصد داریم شاخص‌ها و معیارهای به‌کاربرده در این مطالعات و عوامل مؤثر را شناسایی کرده و همچنین روش به کار برده شده و نرم‌افزار مورد استفاده در هر تحقیق را به‌منظور ارزیابی طرح‌های ریلی و رتبه‌بندی آن‌ها را تعیین شود. در ابتدا پژوهش‌های داخلی در این زمینه و در ادامه پژوهش‌های خارجی را مورد کنکاش قرار داده‌شده است. در انتهای این بخش در دو جدول به پژوهش‌های انجام‌شده در داخل و خارج کشور همراه با سال انجام، شاخص‌های به کار رفته و روش مورد استفاده آورده شده است. کریمی و همکاران در مقاله "اولویت‌بندی طرح‌های ریلی جنوب غربی کشور با استفاده از رویکرد تحلیل شبکه‌ای" (کریمی و همکاران، ۱۳۹۳) در سال ۱۳۹۳ با ارائه یک مکانیزم اولویت‌بندی که تمامی روابط متقابل و همبستگی گزینه‌ها و شاخص ها را در نظر می‌گیرد به اولویت‌بندی ۱۰ طرح موجود در راه‌آهن جنوب غربی کشور پرداختند که این طرح‌ها با هدف حمل سنگ آهن معدن گل گهر به فولاد خوزستان می‌باشد. در این مکانیزم اطلاعات مورد نیاز جهت اولویت‌بندی پروژه ها و مقایسه آن‌ها در قالب شاخص‌های اجتماعی و اقتصادی ارائه شده و با استفاده از روش تحلیل شبکه‌ای و نرم افزار Super Decisions به اولویت‌بندی پروژه‌ها پرداخته شده است. موسوی و همکاران در مقاله " اولویت‌بندی معیارهای امکانسنجی پروژه های راه‌آهن با استفاده از روش AHP " (موسوی و همکاران، ۱۳۹۳) در سال ۱۳۹۳، ضمن معرفی روش‌های ارزیابی اقتصادی، معیارهای اصلی و زیر معیارهای موثر در ارزیابی پروژه های راه‌آهن را بیان کرده و با استفاده از پرسشنامه و کسب نظر متخصصان امر کلیه معیارها نسبت به هم اولویت‌بندی شده و با استفاده از روش AHP نتایج ارائه می‌شود. در این مقاله معیارهای ارزیابی و بررسی فنی، زیست محیطی، اقتصادی و اجتماعی به چهار گروه "پیچیدگی بالا، هزینه های فنی، آثار اقتصادی – اجتماعی، آثار اقتصادی- زیست محیطی تقسیم شده‌اند که هرکدام از آن‌ها نیز به زیر معیارهایی تقسیم شده‌اند. سید حسینی و فعلی در مقاله "توسعه متدولوژی ارزیابی فنی و اقتصادی حمل‌ونقل ریلی سریع السیر با روش TOPSIS (مطالعه موردی محور تهران-مشهد)" (حسینی و فعلی، ۱۳۹۳) در سال ۱۳۹۳ مدلی جهت ارزیابی فنی و اقتصادی راه‌آهن سریع السیر با استفاده از روش تاپسیس ارائه دهند. توسعه متدولوژی این روش به صورت عملیاتی در حل مسئله انتخاب بهترین گزینه خط ریلی سریع‌السیر تهران- مشهد به کار گرفته‌شده است. بر اساس نتایج این تحقیق میتوان گفت که صرفاً سرعت بالاتر در قطارهای سریع السیر نشانگر گزینه برتر جهت اجرا نمی باشد. در مقاله "انتخاب مسیر ریلی بهینه برای حمل سنگ آهن مورد نیاز کارخانه فولاد خوزستان با استفاده از روش‌های AHP و TOPSIS" (امین تولائی و مژده تولائی، ۱۳۹٤) در سال ۱۳۹٤، امین و مژده تولائی، نتایج انجام یک پروژه پیرامون ساخت مسیر ریلی مناسب به‌منظور حمل سنگ آهن مورد نیاز کارخانه فولاد خوزستان از مبدا گل گهر به مقصد میاندشت را ارائه کرده‌اند. به این منظور مجموعا ۱۵ شاخص کمی و کیفی توسط ذی نفعان پروژه مورد ارزیابی قرارگرفته اند. پویانی در پایان نامه خود تحت عنوان "ارائه مدلی برای ارزیابی و اولویت‌بندی احداث خطوط ریلی جدید با استفاده از روش تحلیل شبکه ای و مهندسی ارزش" (پویانی، ۱۳۹٤) در سال ۹٤، با استفاده از نظرات کارشناسان حوزه حمل و نقل ریلی، ۹ معیار متناسب با معیارهای مهندسی ارزش انتخاب کرده و با استفاده از این معیارها، پنج پروژه احداث خطوط ریلی جدید با استفاده از روش تحلیل شبکه ای اولویت‌بندی کرده است. برای انتخاب معیارهای مورد استفاده ابتدا از ادبیات موضوع ۲۸ معیار استخراج سپس با استفاده از نظرات کارشناسان این معیارها به ۹ معیار تقلیل یافت. در ادامه به منظور ارزیابی کلی از پژوهش های داخلی صورت گرفته در موضوع، جدولی از مرور پژوهش‌های داخلی انجام شده آورده شده است.

جدول ۱. مروری بر پژوهش های داخلی

سال	محققین	روش استفاده‌شده	تعداد گزینه‌ها
۱۳۸۳	رسولی و احراری	AHP	۵ گزینه
۱۳۸٤	افرازه و ناصریان	AHP,TOPSIS,SAW	۱٤ گزینه
۱۳۸۸	قناد محمدی و همکاران	TOPSIS	۸-۳٦-۱۰ گزینه
۱۳۸۸	قهرمانی و سجادی	AHP	۵ گزینه
۱۳۸۹	ارجرودی و همکاران	PROMETHEE,AHP	-
۱۳۹۱	آقا باقری	ANP	۱۳ گزینه
۱۳۹۲	سبزه کار	F-AHP	۵ گزینه
۱۳۹۳	کریمی و همکاران	ANP	۱۰ گزینه
۱۳۹۳	موسوی و همکاران	AHP	-
۱۳۹۳	سید حسینی و فعلی	TOPSIS	٤ گزینه
۱۳۹٤	امین و مژده تولائی	AHP و TOPSIS	۱۰ گزینه
۱۳۹٤	پویانی	ANP	۵ گزینه



شکل ۱. نمودار فراوانی روش‌های استفاده‌شده در پژوهش‌های داخلی

کاسیر و همکاران در مقاله "تصمیم‌گیری چند معیاره در برنامه ریزی و طراحی مسیر راه‌آهن" (Kosijer, et al.,2012) در سال ۲۰۱۲، روشی برای انتخاب مسیر بهینه با استفاده تصمیم‌گیری های چند معیاره و کاربرد آن‌ها در انتخاب مسیر در راه‌آهن ارائه می دهند.در این مقاله با استفاده از روش رتبه‌بندی سازشی ویکور به انتخاب یکی از چهار گزینه مسیر بین دو ایستگاه ایندیا و نوی ساد به‌عنوان گزینه برتر می‌پردازند. آن‌ها با در نظر گرفتن معیارهایی چون : سرمایه‌گذاری برای ساخت خط، هزینه های بهره برداری و نگهداری خط، ظرفیت مسیر، تأثیر مسیر بر توسعه های

فیزیکی و تأثیر مسیر بر محیط زیست به مقایسه و ارزیابی خطوط پرداخته اند. بنجامین اسپری و همکاران در مقاله "توسعه یک روش تصمیم‌گیری چند معیاره برای ارزیابی کریدور راه‌آهن سریع السیر" (Sperry, et al., 2013) در سال ۲۰۱۳، چارچوبی مبتنی بر تصمیم‌گیری چند معیاره را برای کمک به تصمیم گیران در حوزه راه‌آهن سریع السیر برای اولویت‌بندی مسیرهای پیشنهادی بالقوه در راه‌آهن سریع السیر پیشنهاد می دهند. چارچوب پیشنهادی برای اولویت‌بندی ۱۳ مسیر پیشنهادی برای اتصال کریدور جنوب مرکزی به کریدور سواحل خلیج در راه‌آهن سریع السیر واقع در تگزاس استفاده‌شده است.معیارهای در نظر گرفته‌شده در این چارچوب تصمیم‌گیری شامل جمعیت، تقاضای سفر، هزینه‌های عمده، کاربری اراضی و اثرات زیست محیطی، و سازگاری مهندسی می شد.چارچوب تصمیم‌گیری پیشنهادی در این مقاله می تواند به‌عنوان یک غربالگری اولیه از گزینه‌های پیشنهادی برای تصمیم گیران در انتخاب مسیر مناسب راه‌آهن سریع السیر و اولویت‌بندی آن‌ها باشد. ۱۳مسیر برای اتصال دو کریدور ذکر شده پیشنهاد شد که هدف این مقاله انتخاب مناسب ترین کریدور است. گوکجیوگلو و همکاران در مقاله "پیشنهاد یک سیستم پشتیبانی تصمیم‌گیری برای انتخاب مسیر بهینه ریلی" (Gokceoglu, et al., 2015) در سال ۲۰۱۵، یک سیستم پشتیبانی تصمیم‌گیری برای انتخاب مسیر بهینه ریلی پیشنهاد داده و کاربرد آن را مورد بررسی قرار می‌دهند. برای کاهش معایب روش تحلیل سلسله مراتبی در این مقاله از روش تحلیل سلسله مراتبی اصلاح شده (m-ahp) استفاده‌شده است. در این مقاله برای بررسی کاربرد این روش با در نظر گرفتن هشت معیار شامل هزینه، سرعت مجاز، طول مسیر، تعداد ایستگاه‌ها و دسترسی آن‌ها، تعداد تونل‌های طویل، تعداد پل‌های با ارتفاع زیاد، مقدار نشست و جابجای های مسیر عادی موجود و ملی سازی، اولویت‌بندی و ارزیابی ۷ گزینه مختلف از مسیر ریلی سریع السیر کایاس–یرکوی ترکیه مورد مطالعه قرارگرفته است. سات و اگیلار در مقاله " انتخاب مسیر راه‌آهن سریع السیر به صورت چند معیاره: بررسی موردی اولویت‌بندی کریدرو راه‌آهن سریع السیر مالزی" (Saat, Aguilar, 2015) در سال ۲۰۱۵، با مروری بر ادبیات فنی تصمیم‌گیری های چند معیاره در پروژه های حمل‌ونقلی به مطالعه موردی یک مسیر سریع السیر در مالزی و اولویت‌بندی آن با استفاده از تصمیم‌گیری های چند معیاره می پردازند.با استفاده از روش الکتره ۱ مشخص شد مسیر جنوبی کوالالامپور به سنگاپور از بیشترین اولویت برخوردار است. سه گزینه به‌عنوان کریدورهای پیشنهادی انتخاب‌شده و سه معیار هزینه ساخت، کاربران بالقوه (جمعیت شهرهای در مسیر) و تولید ناخالص ملی به‌عنوان معیارهای اولویت‌بندی انتخاب شدند.که در نهایت مشخص شد به ترتیب کریدور جنوبی کوالالامپور به سنگاپور، کریدور شرقی به کوانتان و کریدور شمالی به جرجتون دارای بیشترین اولویت برای احداث راه‌آهن سریع السیر هستند. در مقاله "مدل ارزیابی چند معیاره برای خطوط ریلی" (Camaj, et al., 2015) در سال ۲۰۱۵ کاماج و همکاران به ارزیابی خطوط ریلی در اسلواکی از طریق روشهای تصمیم‌گیری چند معیاره پرداختند.در این پژوهش کاماج و همکارانش با معرفی برخی روش های ارزیابی و تصمیم‌گیری تنها به بررسی و معرفی شاخص های موثر در ارزیابی خطوط ریلی در اسلواکی می پردازند. در این مقاله ۹ شاخص هزینه استفاده از زیرساخت، انرژی مورد استفاده کشنده(تراکشن)، کلاس خط، عمر روسازی خط، نوع سیستم اینترلاکینگ خط، شرایط شیب و فراز مسیر، تعداد خطوط، رواداری های خط و سرعت خط به‌عنوان شاخص‌های موثر بر ارزیابی خطوط راه آهن در اسلواکی تعریف می‌شوند. در ادامه به منظور ارزیابی کلی از پژوهش‌های خارجی صورت گرفته در موضوع، جدولی از مرور پژوهش‌های خارجی انجام شده آورده شده است. بررسی پژوهش‌های صورت گرفته در زمینه اولویت‌بندی طرح‌های ریلی و حمل و نقلی نشان می‌دهد عموما نمی توان به انتخاب یک روش تصمیم‌گیری در این زمینه بسنده و الزام کرد. چرا که با توجه به شرایط هر پروژه و مسئله هر روش ممکن است مناسب تر بوده و استفاده از آن مثمر ثمرتر باشد. با این حال بررسی روشهای مختلف در مطالعات صورت گرفته همانطور که در شکل ۳ نشان داده شده است نشان می‌دهد که عموما از روش تحلیل سلسله مراتبی در اولویت‌بندی طرح‌های ریلی و حمل و نقلی استقبال بیشتری توسط محققین صورت گرفته است. این مسئله می‌تواند به دلایلی همچون شبیه بودن ساختار سلسله مراتبی روش به ساختار مسئله، سادگی و

وجود نرم افزار کاربر پسند برای این روش ذکر کرد. پس از این روش، رویکرد تحلیل شبکه‌ای از بیشترین اقبال برخودار بوده است. از آنجا که این روش را می‌توان نمونه‌ای اصلاح شده از روش تحلیل سلسه مراتبی دانست که روابط درونی بین معیارها و گزینه‌ها با یکدیگر را در نظر می‌گیرد، لذا، می‌توان چنین نتیجه گرفت که حل چنین مسائلی با ساختار ارائه شده توسط توماس ساعتی انطباق بیشتری دارد. با این حال باز هم به قطعیت نمی توان راجع به انتخاب بهترین روش تصمیم‌گیری در مسئله اولویت‌بندی صحبت کرد چرا که هر مسئله شرایط خاص خود را داشته و بسته به نظر تصمیم گیران و کارفرمایان ممکن است یک روش کارایی حداکثری یا حداقلی داشته باشد. چنانچه می‌بینیم که روش تحلیل هزینه–منفعت در طرح‌هایی که معیارهای مورد نظر کمی بوده از استفاده بیشتری برخوردار است. اما این روش به دلیل محدودیت‌های خود در بسیاری از طرح‌ها جای خود را به روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره داده است. برخی از محدودیت‌های تحلیل هزینه – منفعت را می‌توان بدین صورت بیان کرد که فرایند تصمیم‌گیری با تحلیل هزینه–منفعت بر اساس یک معیار است که معمولا نسبت هزینه – منفعت است. از محدودیت‌های آشکار تحلیل هزینه – منفعت آن است که برخی از اثرات را نمی توان به هزینه تبدیل کرد (به‌عنوان مثال، اثرات اجتماعی– اقتصادی، اثرات زیست محیطی، اثرات سیاسی و ..) حال آنکه در روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره امکان در نظر گرفتن معیارهای کمی و کیفی به صورت همزمان وجود داشته و ارزیابی پروژه‌ها به صورت دقیق‌تر صورت می‌گیرد.

به ادبیات فنی این موضوع از دیدگاه‌های مختلف بین المللی از طریق روش های تحلیلی تصمیم گیری چند معیاره پرداخته شده است.این ابزارهای تصمیم‌گیری با هدف مقایسه گزینه های مختلف پروژه ای یا اقدامات ناهمگن ایجاد شده اند.با در نظرگرفتن معیارهای مختلف، خروجی نهایی پیشنهادی مرتبط با فعالیت‌های پیش رو برای تصمیم گیر است.این کار به چندین دلیل باید توسط یک مسئله تصمیم گیری چند معیاره حل شود. اولا، بخش های مختلف شبکه ریلی جایگزین های ممکن را نشان می‌دهند. زیر ساخت های ریلی از چندین بخش وابسته به هم تشکیل شده اند.با این حال آنها می‌توانند به عنوان دارایی‌های مستقل در طول حل مسئله شناخته شوند.

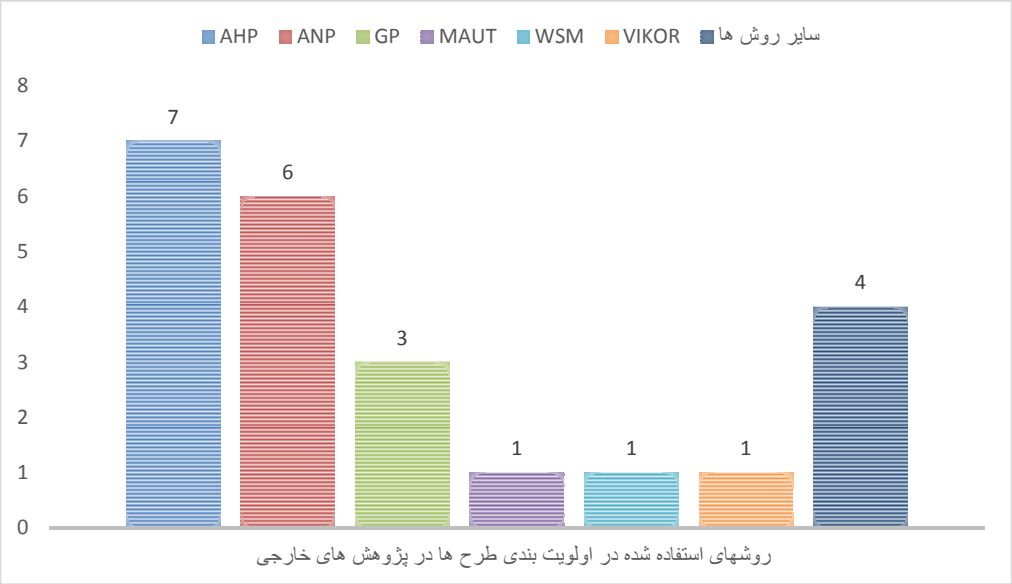
هرکدام از آنها شامل پارامترهای مختلفی می‌شوند که شرایط آنها را توصیف می کند. در این شرایط وجود تنها یک معیار نیازمند ساده سازی‌های قابل توجهی است. به عبارت دیگر تحلیل هزینه–منفعت نیازمند تخمین هزینه‌هایی است که ارزیابی آنها نسبتا سخت است. (هزینه آسیب‌های زیست محیطی) و همچنین غیرقابل اعتمادبودن این هزینه‌ها (به عنوان مثال این هزینه ها در همه جا یکسان نیست و این مسئله ارزیابی‌ها را به شدت غیر قابل اعتماد می‌کند). بنابراین آنها باید به شکل اصلی خود ارائه شوند.

این امکان به لطف تحلیل و تصمیم‌گیری چند معیاره امکان پذیر شده است. ثانیا، تعداد عوامل دخیل بسیاری در فرایند تصمیم‌گیری مدیریت زیرساخت چه به صورت سطحی (فعالیت های مختلف زیرساخت: کنترل ترافیک، تعمیر و نگهداری خط آهن،تعمیر و نگهداری دستگاه های ایمنی و علائم) و چه به صورت سلسله مراتبی (شروع از مدیر بخش تعمیر و نگهداری تا مدیر کل) ترجیحات متفاوتی دارند. ثالثا، در کنار مدیریت زیرساخت، عوامل دخیل دیگری در تصویب یا ارائه‌ی پیشنهاد در پروژه های موجود منجر به انتخاب بخش‌های ریلی، ترتیب نوسازی آنها و محدوده کار آنها وجود دارد.

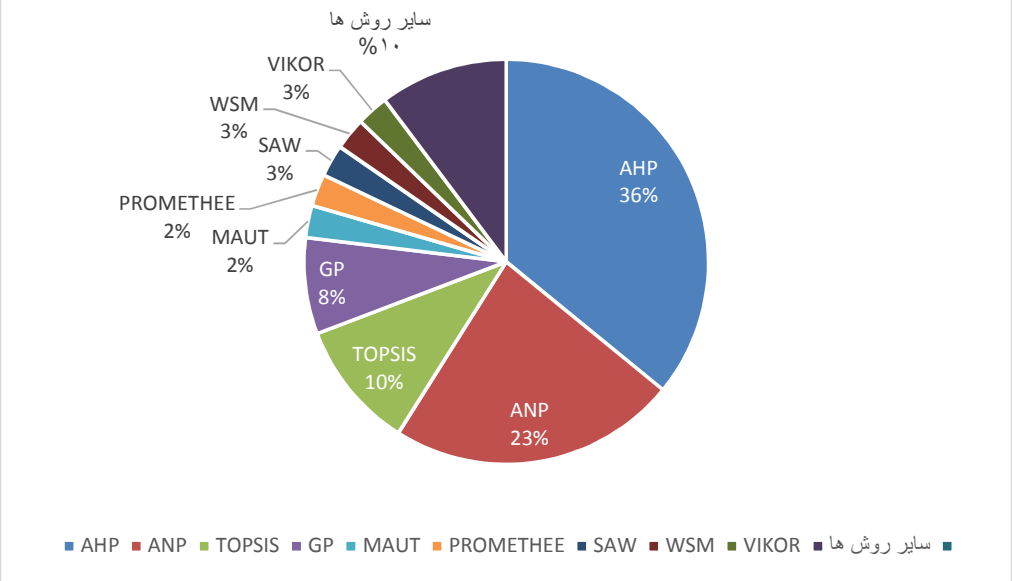
این عوامل وزارت راه و شهرسازی، وزارت اقتصاد، دولت، شوراهای سیاست گذاری منطقه‌ای و بهره‌برداران راه آهن دارای علایق متفاوت و اغلب متعارض بوده و از معیارهای مختلف در تصمیم‌گیری استفاده می‌کنند. تصمیم‌گیران ترجیحات متفاوتی نسبت به جنبه‌های غیرکمی تصمیم‌گیری در شرایط یکسان دارند.که اینها ممکن است با انتخاب تجهیزات مختلف برای زیرساخت ریلی و یا انتخاب قطعاتی از مسیر که نیازمند تعمیر و نگهداری هستند مرتبط باشد.

جدول ۲. مروری بر پژوهش های خارجی

سال	محققین	روش استفاده‌شده	تعداد گزینه‌ها
۲۰۰۰	ویکرمن و همکاران	NATA	–
۲۰۰۳	سایرز و همکاران	AHP	۳ گزینه
۲۰۰٤	آنتون و گرو	ELECTRE I, AHP	۳ گزینه
۲۰۰٤	گرچک و همکاران	AHP	۳ گزینه
۲۰۰٤	شانگ و همکاران	ANP,AHP	۳ گزینه
۲۰۰۵	پیانتاناکولچای	ANP	٤ گزینه
۲۰۰٦	تودلا و همکاران	CBA،ANP	۲ گزینه
۲۰۰٦	لودبن و همکاران	DSS+GIS	۳ گزینه
۲۰۰۷	وی و وو	ANP,GP	۳ گزینه
۲۰۰۷	تسمبولاس	MAUT	۲۱ گزینه
۲۰۰۷	تسمبولاس و همکاران	–	–
۲۰۰۷	آهرن و آناندراجاه	GP	٤ گزینه
۲۰۰۹	چانگ و همکاران	ANP,GP	۷ گزینه
۲۰۱۰	کایسی	AHP	–
۲۰۱۱	لانگو و همکاران	AHP	٤ گزینه
۲۰۱۱	مکورا و همکاران	ANP	۸ گزینه
۲۰۱۲	کاسیر و همکاران	VIKOR	٤ گزینه
۲۰۱۳	اسپری و همکاران	WSM	۱۳ گزینه
۲۰۱۵	گوکچیوگلو و همکاران	M-AHP	۷ گزینه
۲۰۱۵	سات و اگیلار	ELECTRE I	۳ گزینه
۲۰۱۵	کاماج و همکاران	–	–



شکل ۲. نمودار فراوانی روش‌های استفاده‌شده در پژوهش‌های خارجی



شکل ۳. نمودار درصد استفاده از روش های مختلف در پژوهش های بررسی شده

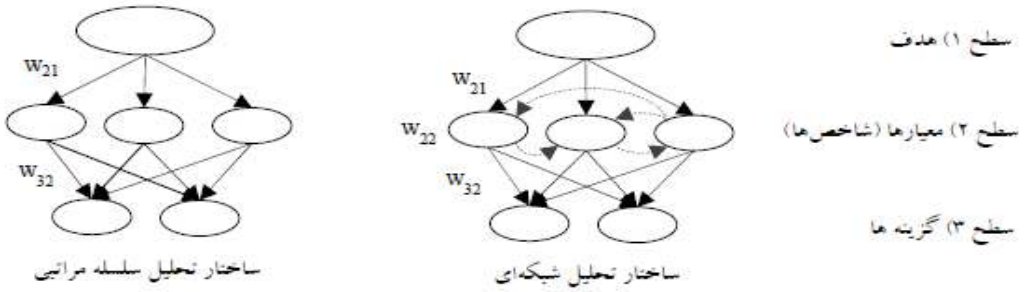
۳- روش حل مسئله

با وجود این مسائل روش تحلیل شبکه ای به عنوان روشی کارا که روابط درونی معیارها و گزینه ها را بر یکدیگر در نظر می‌گیرد به منظور اولویت‌بندی گزینه های مطرح شده در این پژوهش مورد استفاده قرار می‌گیرد. همچنین به منظور بررسی روابط درونی معیارها بر یکدیگر از تکنیک دیمتل استفاده شده است که در ادامه به تشریح هر دو روش پرداخته می‌شود.

۳-۱- فرایند تحلیل شبکه‌ای (ANP)

ساعتی تکنیک تحلیل شبکه‌ای را که یکی از پرکاربردترین روش های مورد استفاده در تصمیم‌گیری های چند معیاره است، برای اولین بار مطرح کرد در واقع فرآیند تحلیل شبکه‌ای، فرم کلی‌تر تکنیک تحلیل سلسله مراتبی است که روش جامع و قدرتمندی را برای تصمیم‌گیری دقیق با استفاده از اطلاعات تجربی و یا قضاوت های شخصی هر تصمیم‌گیرنده در اختیار نهاده و با فراهم‌کردن ساختاری برای

سازماندهی شاخص‌های متفاوت و ارزیابی اهمیت و ارجحیت هریک از آن‌ها نسبت به گزینه‌ها، فرایند تصمیم گیری را آسان می‌سازد. انتقاداتی که از مفروضات تکنیک تحلیل سلسله مراتبی صورت گرفت، موجب شد تا تحلیل شبکه ای مورد توجه بسیاری از پژوهشگران قرار گیرد. برآورد اوزان هر سطح مستقل از سطوح دیگر، مستقل بودن متغیرهای هر سطح از یکدیگر و عدم وجود ارتباطات بین آنها و عدم وجود بازخورد در سطوح مختلف به یکدیگر، از عمده ترین مفروضاتی است که در شرایط واقعی تصمیم گیری ممکن است نقض شود؛ لذا تکنیک تحلیل شبکه‌ای با ویژگی‌های خاص خود، این انتقادات را مرتفع ساخته است. تفاوت بین این دو تکنیک در ٠شکل ٤ دو قابل مشاهده است. در این شکل که مربوط به مدل ساختاری یک مساله سه سطحی با سه معیار (شاخص) و دو گزینه می باشد، در حالت سلسله مراتبی و شبکه‌ای نمایش داده شده است. تفاوت این دو مدل ساختاری، در روابطی است که بین شاخص‌ها در حالت شبکه ای وجود دارد، در صورتی که در ساختار سلسله مراتبی چنین فرضی مورد پذیرش نمی‌باشد؛ لذا با توجه به این موضوع، در ساختار سلسله مراتبی، دو سطح وزنی تعریف می‌شود (وزن شاخص ها بر اساس هدف: W21، و وزن گزینه ها براساس شاخص ها: W22)، در حالی که در ساختار شبکه ای سه سطح وزنی قابل تعریف می باشد (وزن شاخص‌ها براساس هدف:W21، وزن مربوط به سطح ارتباطات داخلی شاخص‌ها: W22، و وزن گزینه ها براساس شاخص‌ها: W32).



شکل ٤. مقایسه ساختار تحلیل شبکه ای و تحلیل سلسله مراتبی در یک مساله سه سطحی

قابل ذکر است که با توجه به ماهیت مساله و نحوه‌ی ارتباطات در سطوح مختلف ساختاری، ممکن است هر مساله، ساختار شبکه‌ای خاصی پیدا کند، به طوری که گاهی بین گزینه‌های یک مساله و شاخص‌های آن نیز ارتباطات متقابلی وجود داشته باشد؛ بنابراین حل مسایل به کمک تحلیل شبکه ای تا حد زیادی به هنر مدلساز بستگی دارد و تشکیل شبکه از یک قاعد خاص پیروی نمی‌کند.

به طور کلی، مراحل تحلیل شبکه ای عبارت است از:

ساخت مدل: در مرحله اول مساله به روشنی تعریف شده و اجزای آن در ساختاری منظم به صورت شبکه‌ای با ارتباطات منطقی مدل سازی می‌شود. شاخص ها در ساختار مربوطه براساس مطالعات گذشته یا نظرات تصمیم‌گیرندگان مشخص می‌گردد.

تشکیل سوپرماتریس: در این مرحله ، همانند روش تحلیل سلسله مراتبی، با استفاده از مقایسه های زوجی عناصر هر سطح براساس سطح بالاتر ساختار و ارتباطات داخلی موجود، وزن نسبی هریک از عناصر تعیین می گردد. در واقع، وزن‌های نسبی بر مبنای مقیاس های تعریف شده توسط ساعتی؛ یعنی از ۱ (اهمیت یکسان) تا ۹ (اهمیت مطلق) مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. نتایج امتیازدهی بر مبنای مقایسه‌های زوجی در هر سطح ساختار مساله، در قالب ماتریسی با عنوان ماتریس مقایسه‌های زوجی به صورت رابطه (۱) بیان می‌شود.

(۱)

$$A=\begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nn} \end{bmatrix}$$

$$A=\left(a_{ij}\right), i, j=1,2,\dots,n$$

a_{ij} ترجیح عنصر i به عنصر j و n تعداد عناصری است که مورد مقایسه قرار می گیرد. قابل ذکر است که اگر بیش از یک فرد قضاوت های زوجی را انجام دهد، می توان از میانگین امتیازات در ماتریس استفاده کرد. در ماتریس مقایسات زوجی، بین شاخص ها نسبت به یکدیگر رابطه زیر برقرار است:

$$a_{ij}=1/a_{ji} \qquad (2)$$

با توجه به ماتریس مقایسات زوجی، می توان وزن های نسبی مربوط به شاخص ها را از روش های مختلفی نظیر روش حداقل مربعات، روش حداقل مربعات لگاریتمی، روش بردار ویژه و روش های تقریبی تعیین کرد.

سازگاری بین قضاوت‌ها نیز با شاخصی به نام نرخ ناسازگاری مورد سنجش قرار می‌گیرد. حداکثر نرخ ناسازگاری مورد قبول بین قضاوت‌ها ۰,۱ می‌باشد. به عبارتی، اگر نرخ ناسازگاری بیش از ۰,۱ باشد، باید در مورد قضاوت های صورت گرفته تجدید نظر شود. پس از تعیین وزن های نسبی عناصر، به تشکیل سوپر ماتریس پرداخته می شود. سوپر ماتریس ماتریسی از روابط بین اجزای شبکه است که از بردارهای اولویت این روابط به دست می آید. این ماتریس، چارچوبی برای مشخص کردن اهمیت نسبی گزینه ها پس از انجام مقایسه های زوجی در اختیار می دهد. اگر ساختار دارای سه سطح هدف، شاخص‌ها و گزینه‌ها باشد، سوپر ماتریس مربوط در ساده‌ترین حالت به صورت شکل ۵ خواهد بود.

	هدف	شاخص‌ها	گزینه‌ها
هدف	W_{11}	W_{12}	W_{13}
شاخص‌ها	W_{21}	W_{22}	W_{23}
گزینه‌ها	W_{31}	W_{32}	I

شکل ۵. فرم کلی سوپر ماتریس در حالت سه سطحی

در ماتریس فوق W_{21} برداری است که اثر هدف را بر روی هریک از شاخص‌ها نشان می دهد، به عبارتی بیانگر بردار وزن های نسبی شاخص ها براساس هدف می باشد

W_{22} ماتریسی است که اثر هریک از شاخص‌ها را بر روی یکدیگر (براساس ارتباطات موجود بین شاخص ها) بیان می

کند. W_{32} ماتریسی نشان دهنده ی اثر هریک از شاخص‌ها بر روی گزینه‌ها می باشد (وزن های نسبی گزینه ها براساس هریک از شاخص‌ها) و سایر اجزای سوپر ماتریس نیز به همین صورت مشخص می گردد. I نیز معرف یک ماتریس همانی است. قابل ذکر است که با توجه به نوع ارتباطات موجود در ساختار مدل مساله ممکن است برخی از این ماتریس ها مقدار صفر اختیار کنند که بیانگر بی تاثیر بودن عناصر در محل تلاقی سطر و ستون بر یکدیگر است.

محاسبه توزیع ماندار سوپرماتریس وزن دار: از آنجایی که در سوپرماتریس به دست آمده، تاثیر پذیربودن عناصر از یکدیگر در یک سطح نیز امکان پذیر می باشد، جمع وزن ها در ستون ها ممکن است برابر یک نشود. برای رفع این مشکل، سوپرماتریس را به صورت وزن دار بیان می کنیم. براین اساس، هریک از عناصر از سوپر ماتریس بر مجموع عناصر ستون مربوط تقسیم می شود. ساعتی (۱۹۹۶)، با استفاده از ماتریس‌های احتمالی و زنجیره مارکوف اثبات که وزن نهایی گزینه ها را از رابطه زیر می توان به دست آورد.

$$W = \lim_{k\to\infty} W^{2k+1} \qquad (۳)$$

در واقع سوپر ماتریس وزن دار با به توان رساندن، مشابه با فرایند زنجیره های مارکوف، به یک ماتریس نهایی همگرا می گردد. در نهایت وزن های به دست آمده را پس از نرمالسازیف می توان به عنوان وزن های نهایی برای گزینه ها معرفی کرد. در صورتی که ماتریس نهایی به یک بردار همگرا نشود، از تمامی ماتریس هایی که همگرایی به صورت تناوبی با آنها انجام می شود، میانگین گیری خواهد شد.

۳-۲- تکنیک دیمتل

تکنیک دیمتل یکی از انواع تکنیک های تصمیم گیری چند معیاره بر پایه مقایسات زوجی است که اولین بار در اواخر سال ۱۹۷۱ میلادی در مرکز تحقیقاتی Battelle Geneva به طور عمده برای بررسی مسائل پیچیده جهانی و استفاده از قضاوت خبرگان در زمینه های علمی، سیاسی، اقتصادی، اجتماعی و رهبران عقیدتی و هنرمندان به کار گرفته شد. این تکنیک ، یکی از پرکاربرد ترین تکنیک های مواجهه با مسائل تصمیم گیری چند معیاره است و قابلیت های بالای آن باعث شد که در محافل علمی بیشتر مورد توجه قرار گیرد. به طور کلی ، تکنیک دیمتل، روشی جامع براساس نظریه گراف ها ارائه می دهد و این امکان را فراهم می سازد تا مسائل و مدل‌های ساختاری را به صورت بصری تجزیه و تحلیل کرد. از آنجایی که دیاگراف ها(گراف های جهت دار) روابط و وابستگی میان عناصر یک سیستم را بهتر به تصویر می کشند؛ لذا دیمتل نیز مبتنی بر نمودارهایی است که می‌تواند عوامل درگیر را به دو گروه علت و معلول تقسیم و روابط میان آنها را به صورت یک مدل ساختاری قابل فهم بیان کند.به این طریق، روابط علی در تقسیم نقشه ی شبکه ای بیش تر قابل فهم می باشند.

در واقع تکنیک دیمتل با بهره مندی از قضاوت خبرگان در استخراج عوامل یک سیستم و ساختار دهی سیستماتیک به آن ها به آن ها با به کارگیری اصول نظریه گراف ها، ساختار سلسله مراتبی شبکه ای از عوامل موجود در سیستم به همراه روابط اثر گذاری و اثر پذیری متقابل عناصر ایجاد کرده، شدت اثر روابط مذکور را به صورت امتیاز عددی بیان می‌کند. به عبارتی تکنیک دیمتل برای ساختار دهی به یک دنباله از اطلاعات مفروض کاربرد دارد، به طوری که شدت ارتباطات را به صورت امتیاز دهی بررسی می کنند، بازخوردها توام با اهمیت آنها را تجسس کرده، روابط انتقال ناپذیر را می پذیرد. البته اطلاعات تجربی نشان داده است که خصوصیات انتقال پذیری را نیز کم و بیش تامین می کند. از جمله مزیت های این تکنیک می توان به کمی نشان دادن میزان تاثیر مستقیم و غیر مستقیم عوامل بر یکدیگر، مشخص شدن عوامل اثر گذار و اثر پذیر، دسته بندی عوامل بر اساس میزان اثر گذاری و اثر پذیری ، ایجاد تعامل بالا بین تصمیم گیرندگان و خبرگان و تعیین وزن عوامل با توجه به روابط تعیین شده ی میان آنها اشاره کرد. پذیرش روابط انتقال‌پذیر و توانایی نمایش تمامی بازخوردهای ممکن نیز از دلایل ارجحیت تکنیک دیمتل به سایر روش‌های مربوطه است. به طور کلی روند استفاده از تکنیک دیمتل شامل گام های زیر می شود :

گام نخست- محاسبه ماتریس ارتباط مستقیم

ارزیابی روابط میان معیار ها (تاثیر یک معیار بر معیار دیگر) بر اساس نظرات خبرگان تحقیق با استفاده از طیف رتبه بندی ۰تا ٤ انجام می گردد که در آن ۰ به معنی عدم تأثیرگذاری، ۱ به معنی تأثیر اندک، ۲ به معنی تاثیر متوسط، ۳ به معنی تأثیر زیاد و ٤ به معنی تأثیر بسیار زیاد می باشد. از خبرگان خواسته می‌شود تأثیر یک معیار بر معیار دیگر را تعیین نمایند. یعنی اگر اعتقاد داشته باشند که معیار i بر معیار j تأثیر گذار است می‌بایست آن را به صورت d_c^{ij} نشان دهند. بنابراین ماتریس $D = [d_c^{ij}]$ از ارتباط مستقیم حاصل خواهد شد.

$$D = \begin{bmatrix} d_c^{11} & \dots & d_c^{1j} & \dots & d_c^{1n} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ d_c^{i1} & \dots & d_c^{ij} & \dots & d_c^{in} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ d_c^{n1} & \dots & d_c^{nj} & \dots & d_c^{nn} \end{bmatrix}$$

گام دوم- نرمال کردن ماتریس ارتباط مستقیم

ماتریس ارتباط مستقیمD با استفاده از رابطه ی زیر نرمال شده و ماتریس N به دست می آید.

$$N = VD;\ V = \min\{1/\max_i \sum_{j=1}^{n} d_{ij},\ 1/\max_j \sum_{i=1}^{n} d_{ij}\},\ i,j \in \{1,2,\dots,n\}$$

گام سوم – محاسبه ماتریس ارتباطات کامل

زمانی که ماتریس D نرمال گشته و ماتریس N حاصل شد، ماتریس ارتباطات کامل از طریق رابطه زیر بدست خواهد آمد. در این رابطه I بیانگر ماتریس واحد می باشد.

$$T = N + N^2 + \cdots + N^h = N(I - N)^{-1}, when\ h \to \infty$$

ماتریس ارتباط کامل می‌تواند به وسیله معیارها شمرده شود که با T_C نشان داده می شود:

$$T_c = \begin{array}{c} \\ D_1\ c_{11}\dots c_{1m_1} \\ \vdots \\ D_i\ c_{i1}\dots c_{im_i} \\ \vdots \\ D_n\ c_{n1}\dots c_{nm_n} \end{array} \begin{array}{c} \begin{array}{cccccc} D_1\ c_{11}\dots c_{1m_1} & \cdots & D_j\ c_{j1}\dots c_{jm_j} & \cdots & D_n\ c_{n1}\dots c_{nm_n} \end{array} \\ \begin{bmatrix} T_c^{11} & \cdots & T_c^{1j} & \cdots & T_c^{1n} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ T_c^{i1} & \cdots & T_c^{ij} & \cdots & T_c^{in} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ T_c^{n1} & \cdots & T_c^{nj} & \cdots & T_c^{nn} \end{bmatrix} \end{array}$$

گام چهارم – تحلیل نتایج

در این گام مجموع سطرها و ستون های ماتریس ارتباط کامل به صورت جداگانه مطابق با رابطه زیر محاسبه محاسبه می‌گردد.

$$\boldsymbol{T}=[t_{ij}],\quad i,j\in\{1,2,...,n\}$$

$$\boldsymbol{r}=[r_i]_{n\times 1}=\left[\sum_{j=1}^{n}t_{ij}\right]_{n\times 1}\qquad \boldsymbol{c}=[c_j]_{1\times n}=\left[\sum_{i=1}^{n}t_{ij}\right]_{1\times n}$$

شاخص r_i نشان دهنده مجموع سطر i ام و c_j بیانگر مجموع ستون j ام است. شاخص r_i+c_j از حاصل جمع سطر i ام و ستون j ام بدست می‌آید (i=j). این شاخص بیانگر میزان اهمیت معیار i ام می باشد. به طور مشابه شاخص r_i-c_j حاصل تفاضل جمع سطر i ام و ستون j ام بوده و نشان دهنده تأثیرگذاری و یا تأثیر پذیری معیار i می باشد. در حالت کلی، چنانچه r_i-c_j مثبت باشد(i=j)، معیار i ام جز دسته معیارهای علی یا تأثیرگذار است. چناچه r_i-c_j منفی باشد (i=j)، معیار iام جزء گروه معیارهای تأثیرپذیر است. نمودار علی بر پایه دو شاخص مذکور قابل ترسیم بوده که به نقشه روابط شبکه معروف است. با توجه به این نقشه می‌توان تصمیم گرفت که چگونه ابعاد و معیارها را می توان بهبود داد.

٤- حل مساله

٤-١- معیارهای مورد استفاده

برای ارزیابی و اولویت‌بندی طرح‌های مذکور، نیاز است تا با بررسی شاخص‌های مرتبط با اولویت‌بندی طرح‌های ریلی با انتخاب مناسب‌ترین شاخص‌ها به ارزیابی طرح های فوق پرداخته شود. شاخص های در نظر گرفته شده باید از جامعیت و شفافیت کامل برای مقایسه و ارزیابی برخوردار باشد. لذا بدین منظور با استفاده از ادبیات فنی موضوع و همچنین شرایط حاکم بر مساله در ابتدا ۳۰ شاخص در ۱۰ دسته بندی در نظر گرفته شد. پس از استخراج شاخص های اولیه، به منظور اعتبار سنجی آنها و تایید روایی آنها با استفاده از مدل پیشنهادی لاوشه [٤٠] و بررسی میزان اهمیت آنها در ارزیابی طرح ها با استفاده از پرسشنامه و طیف پنج تایی لیکرت به جمع آوری نظرات خبرگان حوزه حمل و نقل ریلی در این زمینه پرداخته شد. در این طیف اهمیت هریک از معیارها از طریق مقیاس پنج تایی با گزینه های بسیارکم(۱)، کم(۲)، متوسط(۳)، زیاد(٤)، بسیار زیاد (٥) از خبرگان مورد پرسش قرار گرفته است. منظور از خبره کسانی است از دو شرط زیر برخوردار باشند:

دارا بودن حداقل مدرک تحصیلی لیسانس

داشتن سابقه حداقل ۱۰ سال در حوزه حمل و نقل ریلی

بر طبق مدل پیشنهادی لاوشه حداقل نظر ٤ نفر خبره برای تایید روایی نیاز است. بدین منظور در آذرماه سال ۱۳۹٥، مجموعا ۳۰ پرسشنامه به صورت کاغذی و اینترنتی در اختیار ۳۰ نفر از کارشناسان خبره حوزه حمل و نقل ریلی از شرکت‌های ساخت و توسعه زیربناهای حمل و نقل کشور، راه آهن جمهوری اسلامی ایران،مهندسین مشاور فرادید و اتحاد راه و تعدادی از اساتید خبره این حوزه از دانشکده مهندسی راه آهن قرار گرفت. در تقسیم این پرسشنامه‌ها سعی شد تا پرسشنامه‌ها در اختیار کارشناسان از حوزه های ساخت و اجرا، مطالعات ، پیمانکار، مشاور و بهره بردار به منظور دستیابی به نتایج دقیق‌تر و جامع تر قرار گیرد.

با توجه به نتایج حاصل از تجمیع نظرات خبرگان راجع به شاخص‌ها ۱٥ شاخص حذف و ۱٥ شاخص نهایی برای اولویت بندی سه گزینه مطرح شده همانطور که در جدول ۳ آمده است باقی ماندند.

جدول ۳ . شاخص های نهایی برای اولویت بندی طرح های ریلی

ردیف	دسته‌بندی معیار	علامت اختصاری	زیر معیار	نوع شاخص	تاثیر
۱	ارزیابی اقتصادی	C1	هزینه‌های ساخت	کمی	منفی
۲		C2	هزینه‌های بهره‌برداری و دوره نگهداری	کمی	منفی
۳		C3	درآمدها	کمی	مثبت
٤	مالی	C4	فاینانس	کیفی	مثبت
٥		C5	سرمایه‌گذاری	کیفی	مثبت
٦	فنی و اجرایی	C6	طول دوره ساخت	کمی	منفی
۷		C7	وجود معارضین و موانع تأسیساتی، میراث فرهنگی و...	کیفی	منفی
۸	ترافیک	C8	ترافیک بار	کمی	مثبت
۹		C9	ترافیک مسافر	کمی	مثبت
۱۰		C10	ایمنی و کاهش تصادفات	کیفی	مثبت
۱۱	شبکه	C11	قابلیت افزایش بهره‌وری شبکه ریلی و غیر ریلی	کیفی	مثبت
۱۲	توسعه	C12	توسعه اقتصادی	کیفی	مثبت
۱۳		C13	امکان توسعه سرعت و ظرفیت	کیفی	مثبت
۱٤		C14	قابلیت توسعه ترانزیت	کیفی	مثبت
۱٥	زیست‌محیطی	C15	آثار منفی زیست‌محیطی	کیفی	منفی

٤-۲- محاسبات مربوط به داده های کمی برای ارزیابی طرح‌ها

از مجموع شاخص‌های نهایی به منظور اولویت بندی سه گزینه مطرح شده ، ٦ شاخص به صورت کمی بوده و اطلاعات عددی آنها از مطالعات مربوط به هریک از سه طرح ذکر شده و جمع آوری اطلاعات از راه آهن جمهوری اسلامی ایران محاسبه شده اند.اطلاعات مربوط به این شاخص ها از اداره کل خط و سازه های فنی راه آهن جمهوری اسلامی ایران، دفتر مهندسی و نظارت تاسیسات زیربنایی راه آهن جمهوری اسلامی ایران و همچنین مراجع (مهندسین مشاور مترا، ۱۳۸۹)، (برسان مدیریت، ۱۳۹۵)، (مهندسین مشاور فرادید، ۱۳۹۵) و سال نامه های آماری سازمان حمل ونقل و پایانه ها و راه آهن جمهوری اسلامی است. این شاخص‌ها عبارتند از : هزینه های ساخت،هزینه بهره برداری و نگهداری، درآمدها، دوره ساخت، ترافیک بار، ترافیک مسافر. در محاسبه هزینه‌های اقتصادی از آنجا که سال شروع ساخت و بهره برداری طرح‌ها یکی نبوده لذا سال پایه ۱۳۹۵ به عنوان مبنای محاسبات اقتصادی قرار می‌گیرد. همچنین نرخ تنزیل ۷درصد به منظور محاسبه ارزش فعلی پایه طرح‌ها مورد استفاده گرفته است. در محاسبه دوره ساخت طرح‌ها، فرض بر آن است که همگی به صورت اجرا نشده و از ابتدا براساس دوره ساخت پیش بینی شده ارزیابی شوند.

٤-۳- محاسبات شاخص های کیفی

شاخص‌های کیفی در نظر گرفته شده در این پژوهش به روش تحلیل شبکه ای و با استفاده از مقایسات زوجی از طریق پرسشنامه خبره که در بهمن ماه ۱۳۹۵ در اختیار ۱۵ تن از کارشناسان خبره شرکت های ساخت و توسعه زیر بناهای حمل و نقل و کشور، شرکت راه آهن جمهوری اسلامی ایران، شرکت فرادید و اتحاد راه قرار گرفت، مورد

ارزیابی قرار گرفتند. جهت ارزیابی این شاخص‌ها از مقیاس ۹ درجه ساعتی استفاد شد و همچنین وزن دهی معیارها از طریق این پرسشنامه صورت گرفت. به منظور ارزیابی نتایج، پس از جمع آوری پرسشنامه و استفاده از آنها در مدل نرم افزاری براساس روش تحلیل شبکه‌ای از میانگین هندسی استفاده شد. همچنین به منظور بررسی قابلیت اطمینان قضاوت‌های خبرگان از نرخ ناسازگاری استفاده شده است. هرچه این عدد کم تر باشد قضاوت‌های بدست آمده از پرسشنامه ها قابل قبول‌تر خواهند، اما در کل نرخ ناسازگاری کمتر از ۱۰ درصد نشان از قابل اطمینان بودن قضاوت‌ها دارد.

٤-٤- تعیین روابط درونی بین معیارها با استفاده از تکنیک دیمتل

در این گام روابط درونی بین معیارها و اثرگذاری آنها بر یکدیگر با استفاده از تکنیک دیمتل و استفاده از نظرات خبرگان شرکت‌های ذکر شده در مرحله قبل از طریق پرسشنامه مورد ارزیابی قرار گرفت. به منظور تعیین روابط بین معیارها گام‌های زیر طی شده است که نتایج آن به شرح زیر می‌باشد.

جدول ٤. محاسبه شدت و جهت تأثیر

شاخص	معیار	r	c	r+c	r-c	اثر گذار / اثر پذیر
C1	هزینه های ساخت	۱,٦۷	۰,۱۹	۱,۸٦	۱,٤۷	اثر گذار
C2	هزینه های بهره برداری و نگهداری	۰,٦۱	۰,۱٤	۰,۷۵	۰,٤۷	اثر گذار
C3	درآمدها	۰,٦۱	۰,۲۷	۰,۸۸	۰,۳٤	اثر گذار
C4	فاینانس	۰,۸۳	۰,۲۳	۱,۰٦	۰,٦۰	اثر گذار
C5	سرمایه‌گذاری	۱,۲۱	۰,۵۵	۱,۷۷	۰,٦٦	اثر گذار
C6	طول دوره ساخت	۰,۹۰	۰,۷۵	۱,٦۵	۰,۱۵	اثر گذار
C7	وجود معارضین و موانع تأسیساتی، میراث فرهنگی و...	۰,٤۹	۰,۷۱	۱,۲۱	-۰,۲۲	اثر پذیر
C8	ترافیک بار	۰,۸۷	۰,۸۷	۱,۷٤	-۰,۰۱	اثر پذیر
C9	ترافیک مسافر	۰,۸۸	۰,۱۱	۰,۹۹	۰,۷۷	اثر گذار
C10	ایمنی و کاهش تصادفات	۱,۰۱	۱,٤٤	۲,٤۵	-۰,٤۳	اثر پذیر
C11	قابلیت افزایش بهره‌وری شبکه ریلی و غیر ریلی	۰,۹۵	۱,٤۸	۲,٤۲	-۰,۵۳	اثر پذیر
C12	توسعه اقتصادی	۰,۸۲	۲,۲۳	۳,۰۵	-۱,٤۲	اثر پذیر
C13	امکان توسعه سرعت و ظرفیت	۰,٤۹	۱,۸۱	۲,۳۰	-۱,۳۱	اثر پذیر
C14	قابلیت توسعه ترانزیت	۰,٤۳	۰,۸۷	۱,۲۹	-۰,٤٤	اثر پذیر
C15	آثار منفی زیست‌محیطی	۰,۵۰	۰,٦۲	۱,۱۲	-۰,۱۲	اثر پذیر

شکل ٦. نمودار اثرگذاری و اثر پذیری معیارها از یکدیگر

همان طور که در نمودار شکل ٦ مشاهده می‌گردد معیار هزینه های ساخت بیشترین مقدار **r-c** (۱,٤٧) و معیار ایمنی و کاهش تصادفات بیشترین مقدار **r+c** (۱,۸٦) را به خود اختصاص داده است. لذا معیار هزینه‌های ساخت از بیشترین اثرگذاری و معیار ایمنی و کاهش تصادفات از بیشترین تعامل با سایر معیارها برخوردار است. از طرفی معیار هزینه‌های بهره برداری و نگهداری کمترین میزان **r+c** (۰,۷۵) و معیار توسعه اقتصادی کمترین میزان **r-c** (-۰,۰۲۷) را به خود اختصاص می‌دهند. لذا معیار هزینه های بهره برداری و نگهداری کمترین تعامل با سایر معیارها و معیار توسعه اقتصادی بیشترین اثر پذیری را داراست. رتبه‌بندی اثر گذاری و اثر پذیری تمام معیارها به صورت زیر در۰جدول ۵ آمده است.

جدول ۵. رتبه بندی اثر گذاری و اثر پذیری معیارها

رتبه	شاخص	معیار	اثر گذاری / اثر پذیری	r-c
۱	C1	هزینه های ساخت	اثر گذار	۱،٤۷
۲	C9	ترافیک مسافر	اثر گذار	۰،۷۷
۳	C5	سرمایه گذاری	اثر گذار	۰،٦٦
٤	C4	فاینانس	اثر گذار	۰،٦۰
۵	C2	هزینه های بهره برداری و نگهداری	اثر گذار	۰،٤۷
٦	C3	درآمدها	اثر گذار	۰،۳٤
۷	C6	طول دوره ساخت	اثر گذار	۰،۱۵
۱	C12	توسعه اقتصادی	اثر پذیر	-۱،٤۲
۲	C13	امکان توسعه سرعت و ظرفیت	اثر پذیر	-۱،۳۱
۳	C11	قابلیت افزایش بهره‌وری شبکه ریلی و غیر ریلی	اثر پذیر	-۰،۵۳
٤	C14	قابلیت توسعه ترانزیت	اثر پذیر	-۰،٤٤
۵	C10	ایمنی و کاهش تصادفات	اثر پذیر	-۰،٤۲
٦	C7	وجود معارضین و موانع تأسیساتی، میراث فرهنگی و...	اثر پذیر	-۰،۲۲
۷	C15	آثار منفی زیست محیطی	اثر پذیر	-۰،۱۲
۸	C8	ترافیک بار	اثر پذیر	-۰،۰۱

٤-۵- تحلیل داده‌ها توسط نرم افزار Super Desicions

در این مرحله داده‌های جمع آوری شده مربوط به معیارهای در نظر گرفته شده چه به صورت کمی و کیفی و همچنین ارتباطات بین معیارها که در مراحل قبل بدست آورده شده اند به منظور ارزیابی و الویت بندی سه گزینه ذکر شده با استفاده روش تحلیل شبکه ای (ANP) به نرم افزار Super Decisions(نسخه ۲،٦) وارد شده است. تا با استفاده از این نرم افزار اولویت نهایی گزینه ها تعیین شود. در این بخش ابتدا یکبار نتایج بدون در نظر گرفتن ارتباط درونی معیارها و سپس با در نظر گرفتن روابط درونی معیارها محاسبه می‌شود.

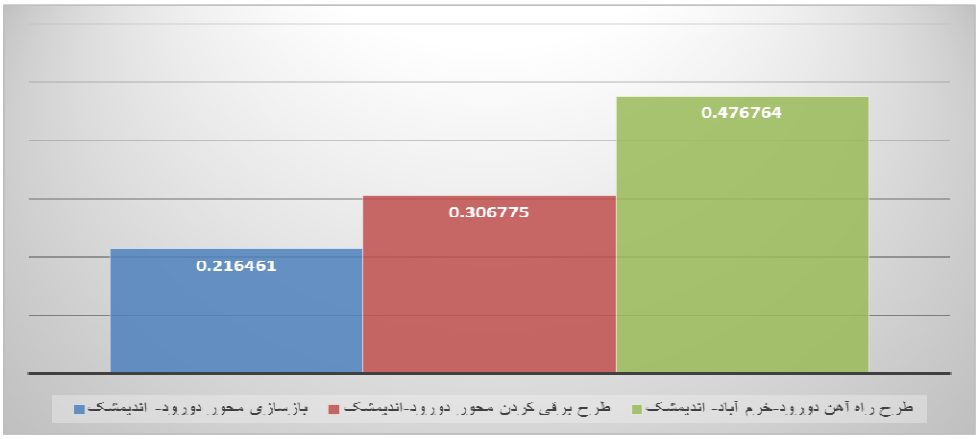
٤-۵-۱- نتایج اولویت بندی بدون در نظر گرفتن روابط درونی بین معیارها

پس از ساخت مدل در نرم افزار، اطلاعات بدست آمده از مقایسات زوجی صورت گرفته توسط خبرگان و مقایسات زوجی مربوط به معیارهای مختلف که از دیدگاه هر طرح صورت گرفته است به نرم افزار وارد می شود که این مقایسات تشکیل یک ماتریس مقایسات زوجی را می دهند. نرخ ناسازگاری قضاوت های صورت گرفته توسط خبرگان برابر ۰،۰٤ می‌باشد که عددی قابل قبول است. پس از تشکیل ماتریس مقایسات زوجی و وزن دهی به معیارها، سوپر ماتریس موزون تشکیل می‌شود.

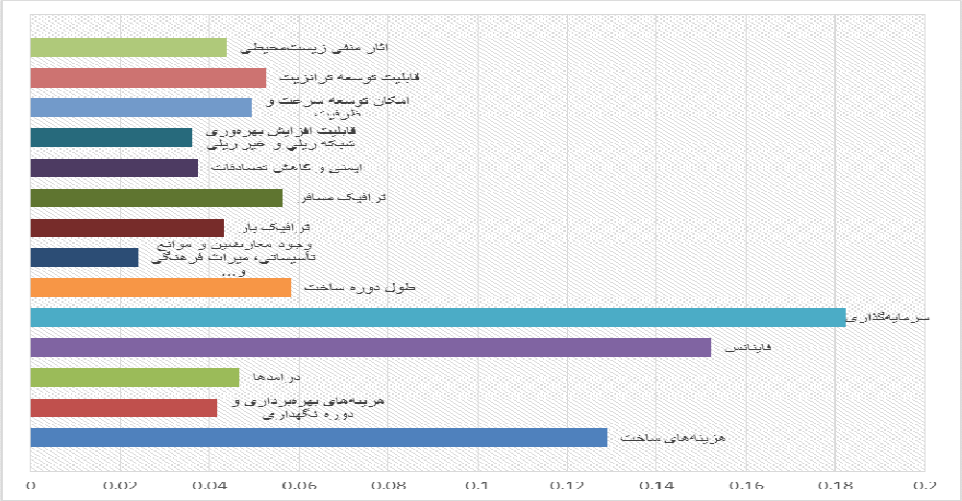
پس از محاسبه سوپر ماتریس موزون نوبت به محاسبه سوپر ماتریس حدی به منظور اولویت بندی گزینه ها و معیارها است. مطابق با نتایج خروجی اولویت بندی گزینه ها و معیارها به صورت زیر می‌باشد. مطابق جدول ٦ طرح راه آهن دورود–خرم آباد– اندیمشک از بالاترین اولویت برای تخصیص سرمایه و اجرایی کردن، سپس طرحهای برقی کردن دورود– اندیمشک و پس از آن طرح بازسازی از اولویت های بعدی برخوردارند.

جدول ٦. اولویت بندی و وزن نهایی گزینه ها بدون در نظر گرفتن روابط درونی معیارها

عنوان طرح	اولویت	وزن غیر نرمال	وزن نرمال	وزن ایده آل
طرح راه آهن دورود–خرم آباد– اندیمشک	۱	۰,۲۳۸۳۸۲	۰,٤٧٦٧٦٤	۱,۰۰۰۰۰۰
طرح برقی کردن محور دورود–اندیمشک	۲	۰,۱٥۳۳۸۸	۰,۳۰٦۷۷٥	۰,٦٤۳٤٥۳
بازسازی محور دورود– اندیمشک	۳	۰,۱۰۸۲۳۰	۰,۲۱٦٤٦۱	۰,٤٥٤۰۲۱



شکل ۷. نمودار اولویت بندی نهایی گزینه ها بدون در نظر گرفتن روابط درونی معیارها



شکل ۸. نمودار وزن نهایی معیارها

همچنین اوزان نهایی معیارهای مورد استفاده در ارزیابی طرح‌ها به صورت جدول ۷ می‌باشد.

جدول ۷. وزن نهایی معیارهای مورد استفاده

نام اختصاری	عنوان معیار	وزن غیر نرمال	وزن نرمال
C1	هزینه‌های ساخت	۰,۰٦٤٤٤٥	۰,۱۲۸۸۹
C2	هزینه‌های بهره‌برداری و دوره نگهداری	۰,۰۲۰۸۷٦	۰,۰٤۱۷٥
C3	درآمدها	۰,۰۲۳۳٤٤	۰,۰٤٦٦۹
C4	فاینانس	۰,۰۷٦۱۱۲	۰,۱٥۲۲۲
C5	سرمایه‌گذاری	۰,۰۹۱۲۰۷	۰,۱۸۲٤۱
C6	طول دوره ساخت	۰,۰۲۹۱۲٦	۰,۰٥۸۲٥
C7	وجود معارضین و موانع تأسیساتی، میراث فرهنگی و...	۰,۰۱۲۰٦۲	۰,۰۲٤۱۲
C8	ترافیک بار	۰,۰۲۱٦٦۸	۰,۰٤۳۳٤
C9	ترافیک مسافر	۰,۰۲۸۲۷۱	۰,۰٥٦٥٤
C10	ایمنی و کاهش تصادفات	۰,۰۱۸۷۳٦	۰,۰۳۷٤۷
C11	قابلیت افزایش بهره‌وری شبکه ریلی و غیر ریلی	۰,۰۱۸۰۷۳	۰,۰۳٦۱٥
C12	توسعه اقتصادی	۰,۰۲٤٦۸۳	۰,۰٤۹۳۷
C13	امکان توسعه سرعت و ظرفیت	۰,۰۲۳۱٤٦	۰,۰٤٦۲۹
C14	قابلیت توسعه ترانزیت	۰,۰۲٦۳۳۱	۰,۰٥۲٦٦
C15	آثار منفی زیست‌محیطی	۰,۰۲۱۹۲	۰,۰٤۳۸٤

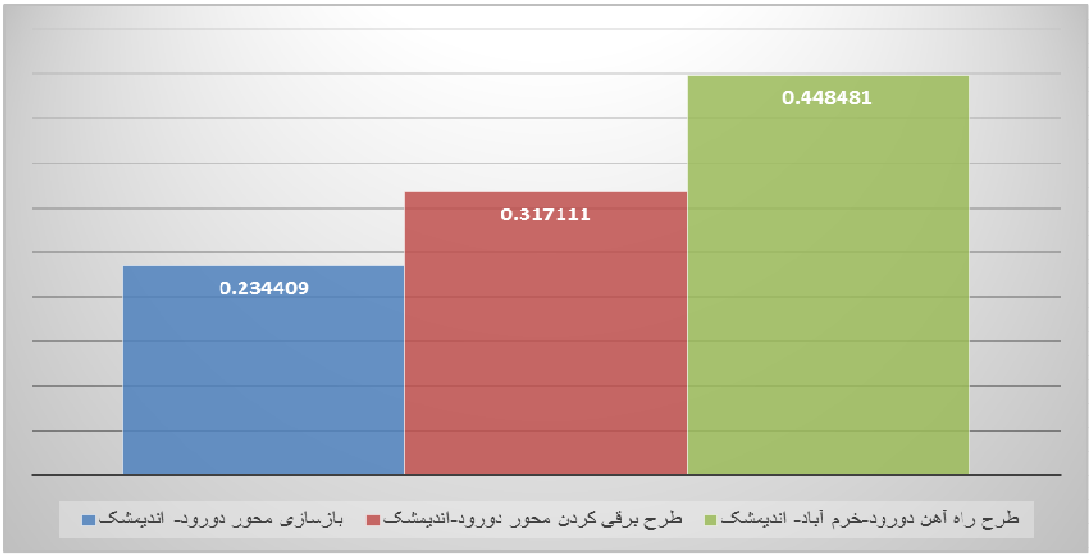
همانگونه که از شکل ۸ پیداست، شاخص های سرمایه گذاری ، فاینانس و هزینه های ساخت به ترتیب با وزن های ۰,۱۸، ۰,۱٥ و ۰,۱۲ بیشترین وزن و شاخص های وجود معارضین وموانع تاسیساتی و میراث فرهنگی، قابلیت افزایش بهره‌وری شبکه ریلی و غیرریلی، و ایمنی و کاهش تصادفات به ترتیب با وزن‌های ۰,۰۲ ، ۰,۰۳٦ ، ۰,۰۳۷ کمترین وزن را در ارزیابی طرح‌ها دارا هستند. در ادامه ارزیابی طرح ها با در نظر گرفتن روابط درونی بین معیارها و اثر گذاری آنها بر یکدیگر صورت می‌پذیرد.

٤-٥-۲- نتایج اولویت بندی با در نظر گرفتن روابط درونی بین معیارها

در این قسمت با در نظر گرفتن اثرات شاخص‌ها بر یکدیگر و روابط درونی آنها با استفاده از تکنیک دیمتل و نتایج ارائه شده در بخش ٤-٤ به ارزیابی طرح ها با در نظر گرفتن روابط درونی معیارها پرداخته شد.بدین منظور مدلی در نرم افزار Super Decisions ایجاد شد. پس از محاسبات خروجی نرم افزار به منظور اولویت بندی گزینه ها با در نظر گرفتن روابط درونی معیارها و تاثیرات آنها بر یکدیگر به صورت زیر است. همانطور که در شکل ۹ مشاهده می شود باز هم طرح راه آهن دورود-خرم آباد-اندیمشک از بالاترین اولویت به منظور تخصیص سرمایه و تامین هزینه برخوردار بوده و طرح‌های برقی کردن محور دورود-اندیمشک و بازسازی محور دورود-اندیمشک در اولویت‌های بعدی قرار دارند، لذا تغییری در اولویت ها ایجاد نشده است. در ادامه وزن های نهایی شاخص ها با در نظر گرفتن روابط ها درونی معیارها در ۰جدول ۹ آمده است.

جدول ۸. اولویت بندی و وزن نهایی گزینه ها با در نظر گرفتن روابط درونی معیارها

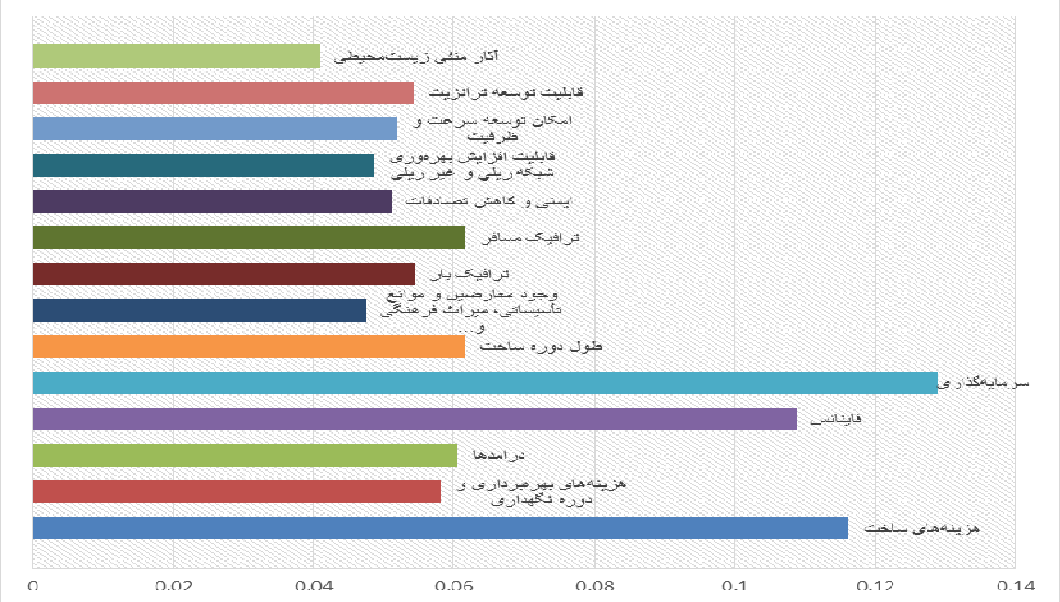
عنوان طرح	اولویت	وزن غیر نرمال	وزن نرمال	وزن ایده آل
طرح راه آهن دورود-خرم آباد- اندیمشک	۱	۰,۱٤۹٤۹٤	۰,٤٤۸٤۸۱	۱,۰۰۰۰۰۰
طرح برقی کردن محور دورود-اندیمشک	۲	۰,۱۰٥۷۰٤	۰,۳۱۷۱۱۱	۰,۷۰۷۰۷۷
بازسازی محور دورود- اندیمشک	۳	۰,۰۷۸۱۳٦	۰,۲۳٤٤۰۹	۰,٥۲۲٦۷۲



شکل ۹. نمودار اولویت بندی نهایی گزینه ها بدون در نظر گرفتن روابط درونی معیارها

جدول ۹. وزن نهایی معیارهای مورد استفاده با در نظر گرفتن روابط درونی

نام اختصاری	عنوان معیار	وزن غیر نرمال	وزن نرمال
C1	هزینه‌های ساخت	۰,۰۷۷٤٤٤	۰,۱۱٦۱۷
C2	هزینه‌های بهره‌برداری و دوره نگهداری	۰,۰۳۸۷۱۵	۰,۰۵۸۰۷
C3	درآمدها	۰,۰٤۰۳۳٦	۰,۰٦۰۵
C4	فاینانس	۰,۰۷۲٤٦۵	۰,۱۰۸۷
C5	سرمایه‌گذاری	۰,۰۸۵۸۸۸	۰,۱۲۸۸۳
C6	طول دوره ساخت	۰,۰٤۱۰٦۸	۰,۰٦۱٦
C7	وجود معارضین و موانع تأسیساتی، میراث فرهنگی و...	۰,۰۳۱٦۹۲	۰,۰٤۷۵٤
C8	ترافیک بار	۰,۰۳٦۳۱۷	۰,۰۵٤٤۸
C9	ترافیک مسافر	۰,۰٤۱۱۲٦	۰,۰٦۱٦۹
C10	ایمنی و کاهش تصادفات	۰,۰۳٤۰۳٤	۰,۰۵۱۰۵
C11	قابلیت افزایش بهره‌وری شبکه ریلی و غیر ریلی	۰,۰۳۲۳۸۹	۰,۰٤۸۵۸
C12	توسعه اقتصادی	۰,۰۳٤٦۳۵	۰,۰۵۱۹۵
C13	امکان توسعه سرعت و ظرفیت	۰,۰۳۷۱۷۸	۰,۰۵۵۷۷
C14	قابلیت توسعه ترانزیت	۰,۰۳٦۱٤۲	۰,۰۵٤۲۱
C15	آثار منفی زیست‌محیطی	۰,۰۲۷۲۳۷	۰,۰٤۰۸٦



شکل ۱۰. نمودار وزن نهایی معیارها با در نظر گرفتن روابط درونی

با توجه به شکل ۱۰ با در نظر گرفتن روابط درونی معیارها و اثرات آنها بر یکدیگر ،به ترتیب معیارهای سرمایه گذاری، هزینه های ساخت و فاینانس با وزن های ۰,۱۲ ، ۰,۱۱ ، ۰,۱۰ بیشترین وزن و معیارهای آثار منفی زیست محیطی، وجود معارضین و موانع تأسیساتی، میراث فرهنگی و...، قابلیت افزایش بهره‌وری شبکه ریلی و غیر ریلی با وزن های۰,۰۴۰، ۰,۰۴۷، ۰,۰۴۸، کمترین وزن را دارا هستند.

٤-٦- تحلیل نتایج

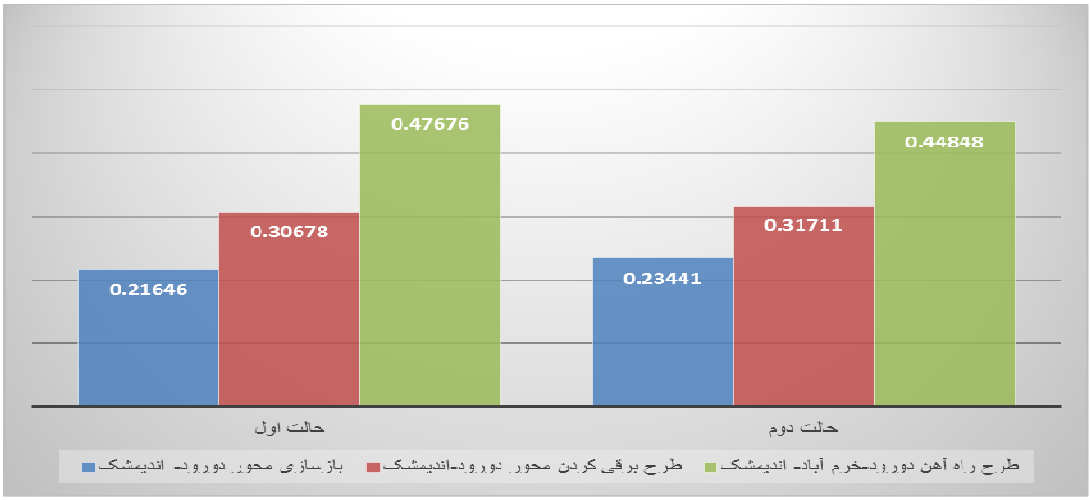
با توجه به نتایج بدست آمده از اولویت بندی گزینه ها در دو حالت با و بدون در نظر گرفتن روابط درونی معیارها مشاهده می شود که در مجموع در اولویت گزینه ها تغییری ایجاد نشده و ترتیب اولویت ها یکسان است و در هر دو حالت گزینه طرح راه آهن دورود- خرم آباد- اندیمشک از اولویت برتر برخوردار بوده و سپس گزینه‌ها برقی کردن و بازسازی در رتبه های بعدی قرار دارند. با این حال وزن گزینه ها دچار تغییراتی شده است. بدین صورت که وزن طرح دورود-خرم آباد- اندیمشک از ۰,٤۷ در حالت اول به ۰,٤٤ در حالت دوم، وزن طرح برقی کردن از ۰,۳۰ به ۰,۳۱، و طرح بازسازی از ۰,۲۱ به ۰,۲۳ رسیده است که نشان افزایش وزن طرح های برقی کردن و بازسازی و کاهش وزن طرح دورود-خرم آباد- اندیمشک نسبت به حالت اول دارد. با توجه به در نظر گرفتن روابط بین معیارها و در نظر گرفتن اثرات معیارها بر یکدیگر، حالت دوم نتایج دقیق تری بدست داده است. مقایسه نتایج دو حالت در جدول ۱۰ نشان داده شده است.

جدول ۱۰. مقایسه نتایج دو حالت

گزینه	اولویت در حالت اول✸	اولویت در حالت دوم✸	وزن در حالت اول	وزن در حالت دوم
طرح راه آهن دورود-خرم آباد- اندیمشک	۱	۱	۰,٤۷٦۷٦٤	۰,٤٤٨٤٨۱
طرح برقی کردن محور دورود-اندیمشک	۲	۲	۰,۳۰٦۷۷۵	۰,۳۱۷۱۱۱
بازسازی محور دورود- اندیمشک	۳	۳	۰,۲۱٦٤٦۱	۰,۲۳٤٤۰۹

✸حالت اول: بدون در نظر گرفتن روابط درونی معیارها

✸حالت دوم: با در نظر گرفتن روابط درونی معیارها



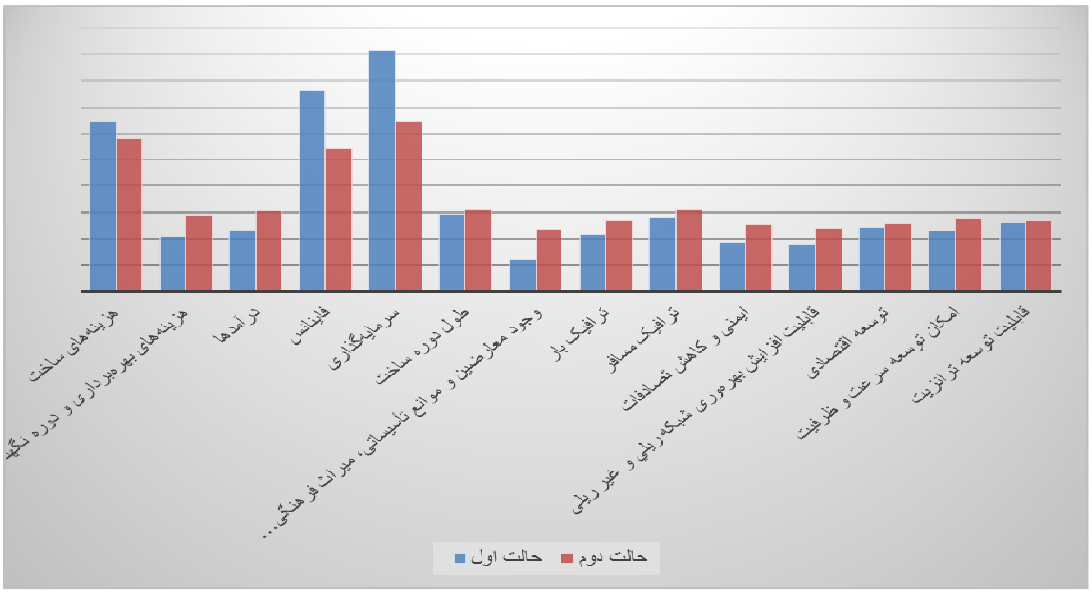
شکل ۱۱. نمودار مقایسه نتایج دو حالت

در بخش وزن های معیارهای در نظر گرفته شده در حالت دوم با تغییری در رتبه بندی معیارها مواجه شدیم که در آن معیار هزینه های ساخت از رتبه سوم در حالت اول به رتبه دوم رسیده و معیار فاینانس با یک رتبه نزول به رتبه سوم رسیده است. با این حال همچنان معیار سرمایه گذاری از بیشترین وزن برخودار بوده و در رتبه اول قرار دارد.جدول ۱۱ مقایسه رتبه بندی معیارها را در دو حالت با و بدون در نظر گرفتن روابط درونی بین معیارها نشان داده است.

جدول ۱۱. مقایسه اوزان معیارها در دوحالت

شاخص	رتبه در حالت اول	رتبه در حالت دوم	وزن در حالت اول	وزن در حالت دوم
سرمایه‌گذاری	۱	۱	۰,۱۸۲٤۱	۰,۱۲۸۸۳
فاینانس	۲	۳	۰,۱۵۲۲۲	۰,۱۰۸۷
هزینه‌های ساخت	۳	۲	۰,۱۲۸۸۹	۰,۱۱٦۱۷
طول دوره ساخت	٤	۵	۰,۰۵۸۲۵	۰,۰٦۱٦
ترافیک مسافر	۵	٤	۰,۰۵٦۵٤	۰,۰٦۱٦۹
قابلیت توسعه ترانزیت	٦	۱۰	۰,۰۵۲٦٦	۰,۰۵٤۲۱
توسعه اقتصادی	۷	۱۱	۰,۰٤۹۳۷	۰,۰۵۱۹۵
درآمدها	۸	٦	۰,۰٤٦٦۹	۰,۰٦۰۵
امکان توسعه سرعت و ظرفیت	۹	۸	۰,۰٤٦۲۹	۰,۰۵۵۷۷
آثار منفی زیست‌محیطی	۱۰	۱۵	۰,۰٤۳۸٤	۰,۰٤۰۸٦
ترافیک بار	۱۱	۹	۰,۰٤۳۳٤	۰,۰۵٤٤۸
هزینه‌های بهره‌برداری و دوره نگهداری	۱۲	۷	۰,۰٤۱۷۵	۰,۰۵۸۰۷
ایمنی و کاهش تصادفات	۱۳	۱۲	۰,۰۳۷٤۷	۰,۰۵۱۰۵
قابلیت افزایش بهره‌وری شبکه ریلی و غیر ریلی	۱٤	۱۳	۰,۰۳٦۱۵	۰,۰٤۸۵۸
وجود معارضین و موانع تأسیساتی، میراث فرهنگی و...	۱۵	۱٤	۰,۰۲٤۱۲	۰,۰٤۷۵٤

با مشاهده جدول ۱۱مشاهده می‌شود که پس از در نظر گرفتن روابط درونی معیارها بیشترین تغییر مربوط به معیار آثار منفی زیست محیطی که از رتبه ۱۰ به رتبه ۱۵، و معیار هزینه‌های بهره‌برداری و دوره نگهداری که از رتبه ۱۲ به ۷ رسیده اند، می باشد و پس از آن معیارهای توسعه اقتصادی و قابلیت توسعه ترانزیت با چهار رتبه تغییر قرار دارند.



شکل ۱۲. نمودار مقایسه اوزان معیارها در دو حالت

۵- نتیجه‌گیری

مساله اولویت‌بندی طرح‌های حمل و نقلی و به ویژه طرح های ریلی به دلیل هزینه‌های بالای این گونه طرح‌ها به منظور تخصیص بهینه منابع و اجرایی ساختن این پروژه‌ها همواره از اهمیت زیادی در نزد تصمیم گیران و مدیران اجرایی برخوردار بوده است. از طرفی راه آهن همواره سعی در ارتقا خطوط و بهبود کیفیت آنها دارد بدین منظور پیوسته طرح هایی برای بهبود مسیرهای گلوگاهی و مشکل ساز راه آهن در دست مطالعه و اجرا قرار می‌دهد. از جمله این مسیرهای گلوگاهی، مسیر قدیمی راه آهن دورود–اندیمشک است که از شریان‌های حیاتی ترانزیت کشور در محور جنوب بوده و نقشی حیاتی در راه آهن محور جنوب دارد. به منظور ارتقا سرعت و ظرفیت و افزایش دسترسی به این مسیر چندین سه طرح در راه آهن جمهوری اسلامی ایران تحت مطالعه و اجرا است. این سه طرح عبارتند از : محور جدید دورود– خرم آباد– اندیمشک، برقی کردن محور دورود– اندیمشک و بازسازی محور دورود– اندیمشک. در این پژوهش سعی بر این بوده است تا به اولویت بندی این سه طرح جهت تخصیص بهینه منابع و اجرایی ساختن آنها از دیدگاه معیارهای مختلف و اثر گذار بر اولویت بندی طرح‌های ریلی پرداخته شود. اهم نتایج این پژوهش به شرح زیر است:

- معیار هزینه های ساخت از بیشترین اثر گذاری و معیار ایمنی و کاهش تصادفات از بیشترین تعامل با سایر معیارها برخوردار بود.
- معیار هزینه‌های بهره برداری و نگهداری کمترین تعامل با سایر معیارها و معیار توسعه اقتصادی بیشترین اثر پذیری را داراست.
- در حالت اول با در نظر گرفتن روابط درونی معیارها، طرح راه آهن دورود–خرم آباد– اندیمشک با وزن نرمال ۰,٤٧٦٧ از بالاترین اولویت برای تخصیص سرمایه و اجرایی کردن ، سپس طرحهای برقی کردن دورود– اندیمشک با وزن نرمال ۰,۳۰٦۷ و پس از آن طرح بازسازی با وزن ۰,۲۱٦٤ از اولویت‌های بعدی برخوردارند. همچنین شاخص‌های سرمایه گذاری، فاینانس و هزینه های ساخت به ترتیب با وزن های ۰,۱۸، ۰,۱۵ و ۰,۱۲ بیشترین وزن و شاخص های وجود معارضین وموانع تاسیساتی و میراث فرهنگی، قابلیت افزایش

بهره‌وری شبکه ریلی و غیرریلی، و ایمنی و کاهش تصادفات به ترتیب با وزن‌های ۰,۰۲، ۰,۰۳٦، ۰,۰۳۷ کمترین وزن را در ارزیابی طرح ها دارا بودند.

♦ در حالت دوم با در نظر گرفتن روابط درونی معیارها، طرح راه‌آهن دورود–خرم آباد–اندیمشک با وزن نرمال ۰,٤٤۸٤از بالاترین اولویت به منظور تخصیص سرمایه و تامین هزینه برخوردار بوده و طرح‌های برقی کردن محور دورود– اندیمشک با وزن نرمال ۰,۳۱۷۱ و بازسازی محور دورود– اندیمشک با وزن نرمال ۰,۲۳٤٤ در اولویت‌های بعدی قرار دارند. همچنین به ترتیب معیارهای سرمایه گذاری، هزینه های ساخت و فایننانس با وزن‌های ۰,۱۲، ۰,۱۱ ، ۰,۱۰ بیشترین وزن و معیارهای آثار منفی زیست محیطی، وجود معارضین و موانع تأسیساتی، میراث فرهنگی و...، قابلیت افزایش بهره‌وری شبکه ریلی و غیر ریلی با وزن های۰,۰٤۰ ، ۰,۰٤۷ ، ۰,۰٤۸، کمترین وزن را دارا هستند.

♦ با توجه به نتایج بدست آمده از اولویت‌بندی گزینه‌ها در دو حالت با و بدون در نظر گرفتن روابط درونی معیارها مشاهده می شود که در مجموع در اولویت گزینه‌ها تغییری ایجاد نشده و ترتیب اولویت‌ها یکسان است و در هر دو حالت گزینه طرح راه آهن دورود– خرم آباد– اندیمشک از اولویت برتر برخوردار بوده و سپس گزینه‌ها برقی کردن و بازسازی در رتبه های بعدی قرار دارند. با این حال وزن گزینه ها دچار تغییراتی شده است. بدین صورت که وزن طرح دورود–خرم آباد– اندیمشک از ۰,٤۷ در حالت اول به ۰,٤٤ در حالت دوم، وزن طرح برقی کردن از ۰,۳۰ به ۰,۳۱، و طرح بازسازی از ۰,۲۱ به ۰,۲۳ رسیده است که نشان افزایش وزن طرح‌های برقی کردن و بازسازی و کاهش وزن طرح دورود–خرم آباد– اندیمشک نسبت به حالت اول دارد. با توجه به در نظر گرفتن روابط بین معیارها و در نظر گرفتن اثرات معیارها بر یکدیگر، حالت دوم نتایج دقیق تری بدست داده است.

٦–مراجع

–احراری، ح. ر.، و رسولی، م.، (۱۳۸۳)،" کاربرد روش تحلیل سلسله مراتبی در اولویت بندی طرحهای راه آهن، هفتمین همایش حمل و نقل ریلی، تهران، دانشگاه شریف، مهندسی عمران.

–افرازه، ع. و ناصریان، س. م.، (۱۳۸٤)، "اولویت‌بندی پروژه های توسعه راه آهن بر مبنای یک الگوریتم تصمیم گیری چند معیاره"، دومین کنفرانس بین المللی مدیریت پروژه، تهران، گروه پژوهشی آریانا.

–آقا باقری، م. و احدی، ح.، (۱۳۹۱)، "ارزیابی و اولویت بندی طرح های توسعه شبکه ریلی راه آهن ج.ا.ایران با استفاده از روش های تصمیم گیری چندمعیاره"، دانشگاه علم و صنعت.

–پویانی، الف.، و احدی، ح.، (۱۳۹٤)، "ارائه مدلی برای ارزیابی و اولویت‌بندی احداث خطوط ریلی جدید با استفاده از روش تحلیل شبکه‌ای و مهندسی ارزش علم و صنعت".

–تولائی، الف.، و تولائی، م.، (۱۳۹٤)، "انتخاب مسیر ریلی بهینه برای حمل سنگ آهن مورد نیاز کارخانه فولاد خوزستان با استفاده ازTOPSIS و AHP".

–رضایی ارجرودی، ع. الف.، نجفی، م. و منتظری، م.، (۱۳۸۹)، "مدل اولویت بندی پروژه‌های راه‌سازی در کشور"، پنجمین کنگره ملی مهندسی عمران، مشهد، دانشگاه فردوسی مشهد.

–سبزه کار، ح.، و احدی ح.، (۱۳۹۲)، "طراحی یک مدل تصمیم گیری مبتنی برمعیارهای مهندسی ارزش به منظور الویت بندی و انتخاب پروژه های ریلی"، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه علم و صنعت.

–سیدحسینی، س. م.، و فعلی، م.، (۱۳۹۳)، "توسعه متدولوژی ارزیابی فنی و اقتصادی حمل و نقل ریلی سریع السیر با روش TOPSIS مطالعه موردی محور تهران مشهد"، کنفرانس ملی مهندسی ارزش و مدیریت هزینه، تهران، پژوهشگاه طراحان پارسه، مرجع دانش مهندسی ارزش ایران.

–قنادی محمدی، ل.، موسوی محولاتی، س.، و محمدیان، الف. ح.، (۱۳۸۸)، "اولویت‌بندی گزینه‌های توسعه شبکه خطوط ریلی کشور از دیدگاه حمل مسافر"، یازدهمین

همایش بین المللی حمل و نقل ریلی، تهران، انجمن حمـل و نقل ریلی.

-قهرمانی، ح.، و سیدخلیل سجادی، (۱۳۸۸)، "یک مدل تصمیم گیری چند معیاره فازی برای انتخاب مسیر مناسب خط ریلی"، دومین کنفرانس بین المللی پیشرفت‌های اخیر در مهندسی راه‌آهن، تهران، دانشگاه علم و صنعت ایران.

-کریمی، م.، مومن پور، الف. و حافظی، ل.، (۱۳۹۳)، "اولویت‌بندی طرح های ریلی جنوب غربی کشور با استفاده از رویکرد تحلیل شبکه‌های"، شانزدهمین همایش بین المللی حمل و نقل ریلی، تهران، انجمن مهندسی حمل و نقل ریلی ایران.

-موسوی، س. ر.، رضایی ارجرودی، ع. ر.، و ارومیان، ه.(۱۳۹۳)، "اولویت بندی معیارهای امکانسنجی پروژه‌های راه‌آهن با استفاده از روشAHP"، هشتمین کنگره ملی مهندسی عمران، بابل، دانشگاه صنعتی نوشیروانی.

-"گزارش مطالعات توجیه فنی و اقتصادی طرح راه آهن درود – خرم آباد –اندیمشک"، (۱۳۸۹)، مهندسین مشاور مترا.

-"گزارش امکان سنجی طرح برقی سازی مسیردورود–اندیمشک به منظور افزایش ظرفیت"، (۱۳۹۵)، برسان مدیریت.

-"گزارش توجیه فنی و اقتصادی ارتقاء مسیر و برقی سازی محور راه آهن گرمسار–اینچه برون، (۱۳۹۵)، مهندسین مشاور فرادید.

-"سال نامه‌های آماری سازمان حمل ونقل و پایانه ها و راه آهن جمهوری اسلامی".

-میرمحمدصادقی، س. ج.، (۱۳۹۱)، "اصول و مبانی طرح هندسی راه‌آهن"، انتشارات دانشگاه علم و صنعت.

-Anton, J. M., & Grau, J. B., (2004), "Madrid–Valencia high-speed rail line: a route selection. In Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Transport", Thomas Telford Ltd. Vol. 157, No. 3, pp. 153-161.

-Gerçek, H., Karpak, B., & Kılınçaslan, T., (2004), "A multiple criteria approach for the evaluation of the rail transit networks in Istanbul. Transportation, 31(2), pp.203-228.

-Ludin, A. N. M., & Latip, S. N. H. M. (2006), "Using multi-criteria analysis to identify suitable light rail transit route". Map Asia 2006: Geo ICT for Good Governance, 29.

-Piantanakulchai, M., (2005), "Analytic network process model for highway corridor planning". Proceedings of ISAHP.

-Sayers, T. M., Jessop, A. T., & Hills, P. J., (2003), "Multi-criteria evaluation of transport options flexible", transparent and user-friendly. Transport Policy, 10(2), pp.95-105.

-Shang, J. S., Tjader, Y., & Ding, Y., (2004), "A unified framework for multicriteria evaluation of transportation projects". IEEE transactions on engineering management, 51(3), pp.300-313.

-Tsamboulas, D. A., (2007), "A tool for prioritizing multinational transport infrastructure investments". Transport Policy, 14(1), pp.11-26.

-Tudela, A., Akiki, N., & Cisternas, R., (2006), "Comparing the output of cost benefit and multi-criteria analysis: An application to urban transport investments". Transportation Research Part A: Policy and Practice, 40(5), pp.414-423.

-Vickerman, R., (2000), "Evaluation methodologies for transport projects in the United Kingdom. Transport Policy", 7(1), pp.7-16.

-Wey, W. M., & Wu, K. Y., (2007), "Using ANP priorities with goal programming in resource allocation in transportation. Mathematical and computer modelling, 46(7), pp.985-1000.

-Tsamboulas, D. A., Yiotis, G., & Mikroudis, G., (2007), "A method for multi-criteria analysis in transportation infrastructure investments". International Journal of Transport Economics/Rivista internazionale di economia dei trasporti, pp.113-131.

corridor prioritization. Transportation Planning and Technology, 38(2), pp.200-213.

-Camaj, J., Kendra, M., & Masek, J. (2015), Model of Multi-Criteria Evaluation for Railway Lines. World Academy of Science, Engineering and Technology, International Journal of Social, Behavioral, Educational, Economic, Business and Industrial Engineering, 9(11), pp.3661-3665.

-Roy, B. (1981). The optimisation problem formulation: criticism and overstepping. Journal of the Operational Research Society, 32(6), pp.427-436.

-Bana, C. C. (1996), "Les problématiques de l'aide à la décision: vers l'enrichissement de la trilogie choix-tri-rangement", RAIRO. Recherche Operationnelle, 30(2), pp.191-216.

-Keeney, R. L. (1996), "Value-focused thinking: Identifying decision opportunities and creating alternatives". European Journal of operational research, 92(3), pp.537-549.

-Roy, B., & Bouyssou, D. (1993), "Aide multicritere à la décision: méthodes et cas. Production et techniques quantitatives appliquées à la gestion". Economica, Paris, France.

-Guitouni, A., Martel, J., and Vincke, P. (1999), "A framework to choose a discrete multi criterion aggregation procedure". Technical Report.

-Odgaard, T., Kelly, C. E., & Laird, J. (2006), "Current practice in project appraisal in Europe.

-Huang, K. W., Huang, J. H., & Tzeng, G. H. (2016), "New hybrid multiple attribute decision-making model for improving competence sets: Enhancing a company's core competitiveness". Sustainability, 8(2), pp.175-176.

-Saaty, T. L. (2005)," Theory and applications of the analytic network process: decision making with benefits, opportunities, costs, and risks". RWS publications.

-Ahern, A., & Anandarajah, G. (2007), "Railway projects prioritization for investment: Application of goal programming". Transport Policy, 14(1), pp.70-80.

-Chang, Y. H., Wey, W. M., & Tseng, H. Y. (2009), "Using ANP priorities with goal programming for revitalization strategies in historic transport: A case study of the Alishan Forest Railway". Expert Systems with Applications, 36(4), pp.8682-8690.

-Abbyad, R., & Kaysi, I. (2010), "Prioritization of national road projects in Saudi Arabia: weighting of multiple criteria". WIT Transactions on Ecology and the Environment, 142, pp.501-512.

-Longo, G., Medeossi, G., Strami, S., & Padoano, E. (2011), "The AHP approach for railway project appraisal: proposal for a specific problem structure". In ISAHP 2011 International Symposium on the Analytic Hierarchy Process.

-Macura, D., Boškovic, B., Bojovic, N., & Milenkovic, M. (2011), "A model for prioritization of rail infrastructure projects using ANP. Rivista Internazionale di Economia dei Trasporti", 38(3), pp.285-286.

-Kosijer, M., Ivic, M., Markovic, M., & Belosevic, I. (2012), "Multicriteria decision-making in railway route planning and design". Gradevinar, 64(3), pp.195-205.

-Sperry, B., Mueller, J., & Hunter-Zaworski, K. (2013), "Development of Multicriteria Decision Method for Evaluating High-Speed Rail Corridor". Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, (2374), pp.26-34.

-Gokceoglu, C., Nefeslioglu, H. A., & Tanyildiz, N. (2015), "A Decision Support System Suggestion for the Optimum Railway Route Selection". In Engineering Geology for Society and Territory-Vol. 5, pp. 331-334. Springer International Publishing.

-Saat, M. R., & Aguilar Serrano, J. (2015), Multicriteria high-speed rail route selection: application to Malaysia's high-speed rail