ارائه مدلی برای ارزیابی و اولویت‌بندی احداث خطوط ریلی جدید با استفاده از روش ترکیبی تحلیل شبکه‌ای و مهندسی ارزش

علی پویانی(مسئول مکاتبات)، دانش آموخته کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی راه‌آهن، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران

حمیدرضا احدی، استادیار، دانشکده مهندسی راه‌آهن، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران

E-mail: ali.puyani@outlook.com

دریافت: ۱۳۹۵/۰۱/۰۵ پذیرش:۱۳۹۵/۰۷/۰۵

چکیده

بخش زیادی از بودجه‌های عمرانی در بسیاری از کشورهای جهان، صرف پروژه‌های حمل‌ونقل می‌شود. غالبا این‌گونه پروژه‌ها در تمام سیستم‌های حمل‌ونقل بسیار سرمایه‌بر هستند و به همین دلیل، هرگونه صرفه‌جویی در این پروژه‌ها، می‌تواند منجر به منافع اقتصادی قابل توجهی گردد. از طرفی اجرای هم‌زمان پروژه‌های متعدد در بخش حمل‌ونقل ریلی، در بسیاری از مواقع، به دلیل بودجه‌های محدود، امکان‌پذیر نیست و لازم است پروژه‌های مصوب و آماده اجرا، بر اساس معیارهای مشخصی اولویت‌بندی و اجرا شوند. مهندسی ارزش یکی از تکنیک‌های مدیریتی است که این قابلیت را دارد تا ضمن افزایش کارکرد پروژه‌ها، کاهش قابل توجهی در هزینه‌ها و زمان اجرای پروژه ایجاد نماید. در این پژوهش، پس از مرور ادبیات موضوع، یازده معیار متناسب با معیارهای مهندسی ارزش انتخاب شده و با استفاده از این معیارها، پنج پروژه احداث خطوط ریلی جدید که از نظر فنی و اقتصادی بررسی و تایید شده‌اند، ولی هنوز عملیات اجرایی آنها شروع نشده، با استفاده از روش تحلیل شبکه‌ای، اولویت‌بندی شده است. بر اساس نتایج بدست آمده، پروژه احداث خط ریلی "بم- جیرفت" بالاترین اولویت اجرا را در بین گزینه‌های مورد بررسی دارد. در این مطالعه، چارچوبی برای بازنگری در مدیریت تخصیص بودجه، متناسب با وزن هر پروژه پیشنهاد شده است که می‌تواند در اصلاح نظام کنونی تخصیص بودجه مورد استفاده قرار گیرد. همچنین به منظور اعتبارسنجی نتایج بدست آمده از مدل تحلیل شبکه‌ای، این نتایج با استفاده از چهار روش تصیم‌گیری چندمعیاره شامل روش تحلیل سلسله مراتبی، روش سا، روش تاپسیس و روش نسبت منافع به هزینه‌ها مجددا ارزیابی شد و نتایج بدست آمده از روش تحلیل شبکه‌ای با نتایج بدست آمده در هر چهار روش اشاره شده انطباق دارد. همچنین نتایج تحلیل حساسیت نشان می‌دهد که مدل اولویت‌بندی پیشنهادی، بیشترین حساسیت را به معیار "کاهش تعداد تصادفات جاده‌ای" و کم‌ترین حساسیت را به معیار "هزینه بهره‌برداری" دارد.

واژه‌های کلیدی: مهندسی ارزش، پروژه‌های ریلی، اولویت‌بندی، فرآیند تحلیل شبکه‌ای.

۱. مقدمه

حمل‌ونقل یکی از بخش‌های کلیدی در توسعه اقتصادی است. آثار اقتصادی حمل‌ونقل را می‌توان بر همه فعالیت‌های اقتصادی، از جمله صنعت، کشاورزی، خدمات و توریسم مشاهده کرد. در کشور ما نیز، هم‌چون سایر کشورها، توسعه زیرساخت‌های حمل‌ونقل، از پایه‌های اساسی رشد اقتصادی به شمار می‌آید. با توجه به اهمیت توسعه حمل‌ونقل ریلی و نقش آن در ارتقای کیفیت و کمیت خدمات حمل مسافر و بار، توجه به این بخش بسیار ضروری به نظر می‌رسد. اجرای هر طرح توسعه راه‌آهن، به عنوان زیرساخت توسعه منطقه‌ای قلمداد می‌شود و بستر مناسبی برای توسعه صنایع، فعال شدن معادن و تبادل انبوه بار و رونق تجاری ایجاد می‌کند و تاثیر درازمدتی بر توسعه و اشتغال در کشور دارد. در صنعت حمل‌ونقل ریلی به دلیل هزینه‌های سنگین اجرای پروژه‌ها، هرگونه صرفه‌جویی می‌تواند منجر به منافع اقتصادی قابل توجهی گردد. در عین حال، سرمایه‌گذاری‌های کلانی که در این حوزه موردنیاز است و مسئله محدودیت بودجه، مشکلات زیادی را در اجرای این پروژه‌ها ایجاد می‌کند. [آقاباقری، ۱۳۹۱]

در اغلب سازمان‌های بزرگ، اجرای هم‌زمان پروژه‌های متعدد و پرهزینه، در بسیاری از مواقع، با توجه به بودجه‌های تخصیص یافته، امکان‌پذیر نیست و نیاز است تا اولویتی برای اجرای پروژه‌ها در نظر گرفته شود [احدی، سبزه‌کار و حسین آبادی، ۱۳۹۲]. مهندسی ارزش یکی از موفق‌ترین متدولوژی‌های کاهش هزینه، بهبود عملکرد و کیفیت است. در واقع، مهندسی ارزش تلاشی برای تشخیص و معرفی شرایط اقتصادی، فیزیکی و اجتماعی موجود است که مانع از بروز کارکردهای غیرضروری و کم‌ارزش در یک پروژه می‌شود. از آن‌جایی که مهندسی ارزش در مقایسه با بسیاری از تکنیک‌های مدیریتی دیگر در کنترل و کاهش هزینه‌ها کارآمدتر است، هزینه‌های سرمایه‌گذاری در مهندسی ارزش، پروژه‌های حمل‌ونقل ریلی، منجر به صرفه‌جویی‌های اقتصادی بسیار زیادی در اجرا خواهد شد. [پوررضا، ذوالنوریان و عطری، ۱۳۹۲] بر همین اساس می‌توان انتظار داشت پروژه‌هایی که تناسب بیشتری با معیارهای مهندسی ارزش دارند، کاندید بهتری برای اجرا نسبت به پروژه‌های دیگر باشند.

اجرای فرآیند مهندسی ارزش در تمام مراحل انجام پروژه‌ها می‌تواند در زمان و هزینه‌های اجرای پروژه تاثیرگذار باشد، اما بهترین زمان برای انجام مطالعات مهندسی ارزش مراحل اولیه و قبل از شروع عملیات اجرای پروژه است. بر همین اساس در این مطالعه صرفا پروژه‌هایی مورد بررسی قرار گرفته است که از نظر فنی و اقتصادی بررسی و تایید شده‌اند ولی هنوز عملیات اجرایی آنها شروع نشده است. با توجه به مشکلات و محدودیت‌های مالی و مشکلات اکثر سازمان‌ها از جمله راه‌آهن، ارائه مدلی برای ارزیابی و اولویت‌بندی پروژه‌های ریلی جدید بر اساس روش تلفیقی مهندسی ارزش و تحلیل شبکه‌ای، می‌تواند منجر به خلق بیش‌ترین ارزش از اجرای پروژه‌های اولویت‌دار ریلی گردد.

۲. مرور ادبیات

مطالعات گسترده‌ای در زمینه کاربردهای مهندسی ارزش در ارزیابی پروژه‌های عمرانی صورت گرفته است، هم‌چنین موارد متعددی از کاربردهای روش تحلیل شبکه‌ای برای ارزیابی و اولویت‌بندی پروژه‌های عمرانی در دسترس است، با این وجود تعداد مطالعاتی که از تلفیق دو روش مهندسی ارزش و روش تحلیل شبکه‌ای برای ارزیابی و اولویت‌بندی پروژه‌ها استفاده کرده‌اند بسیار محدود است. در ادامه به برخی از این مطالعات اشاره شده است.

وانگ، در مقاله‌ای به کاربرد و نقش مهندسی ارزش در تصمیم‌گیری در مورد پروژه‌های عمرانی پرداخته است. در این مقاله، ابتدا به شرح مفاهیم و اصول مهندسی ارزش و سپس به تحلیل چگونگی استفاده از فرآیند مهندسی ارزش جهت اتخاذ تصمیمات علمی و درست، برای دستیابی به سود بیشتر در پروژه‌های عمرانی پرداخته شده است. [وانگ، ۲۰۱۳]

ژانگ، هان و سانگ، به انتخاب پروژه‌های مهندسی ارزش بر اساس فرآیند تحلیل شبکه‌ای[1] پرداخته‌اند. در پژوهشی که آن‌ها انجام داده‌اند، با تحلیل ارتباط بین کارایی و هزینه پروژه، مدل ارزیابی پروژه مهندسی ارزش بر اساس روش تحلیل شبکه‌ای ارائه می‌شود. در واقع با توجه به شاخص ارزش و با استفاده از فرآیند تحلیل شبکه‌ای، پروژه‌های مختلف امتیازدهی و اولویت‌بندی می‌شوند. [ژانگ، هان و سانگ، ۲۰۱۳]

جین و ژانگ در تحقیق خود به توسعه و ارزیابی مهندسی ارزش سیستم آب شهری بر اساس روش تحلیل شبکه‌ای پرداخته‌اند. در این مقاله ۳۷ معیار مهندسی ارزش در ۱۲ زیرگروه در دو گروه اصلی هزینه و کارایی ارائه شده است. در نهایت، چهار طرح سیستم آب شهری بر اساس این معیارها و مبتنی بر روش تحلیل شبکه‌ای، اولویت‌بندی شده است. [جین و ژانگ، ۲۰۱۳]

بانسیو و فلوریا (۲۰۰۹)، با استفاده از روش تصمیم‌گیری چندمعیاره و با استفاده از معیارهای جغرافیای مسیر، شرایط آب و هوایی، حجم ترافیک، ظرفیت جابجایی، متوسط زمان سفر و تعداد توقف، سیستم پشتیبان تصمیم‌گیری در مدیریت حمل‌ونقل شهری را بررسی کرده‌اند. [بانسیو و فلوریا، ۲۰۰۹]

ژانگ و همکاران (۲۰۰۵)، در پژوهش خود از ترکیبی از روش تحلیل سلسله مراتبی و روش ارزیابی جامع فازی به نام روش فازی چند لایه‌ای، برای ارزیابی حالت‌های مختلف اتوبوس تندرو بهره برده‌اند. معیارهای مورد استفاده در این تحقیق عبارتند از: معیارهای اقتصادی-اجتماعی، عوامل تابع ترافیکی، تاثیرات زیست‌محیطی و مصرف منابع. [ژانگ و دیگران، ۲۰۰۵]

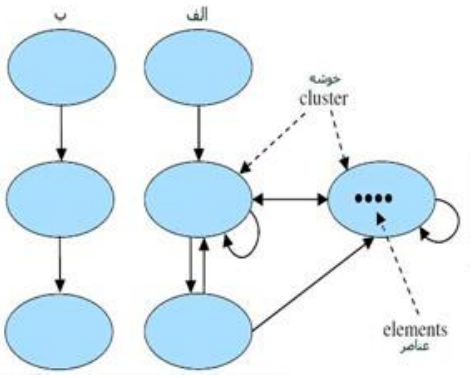
احدی و همکاران در مقاله خود یک مدل تصمیم‌گیری مبتنی بر معیارهای مهندسی ارزش به منظور اولویت‌بندی و انتخاب پروژه‌های ریلی پیشنهاد کرده‌اند. در این مقاله با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی فازی، پنج پروژه از بین پروژه‌های راه‌آهن جمهوری اسلامی ایران مورد ارزیابی قرار گرفته و اولویت پروژه‌های منتخب جهت انجام مطالعات مهندسی ارزش مشخص شده است. [احدی، سبزه‌کار و حسین آبادی، ۱۳۹۲]

نتایج حاصله از مرور ادبیات نشان می‌دهد که تاکنون مطالعه مشابهی با استفاده از تلفیق مفاهیم مهندسی ارزش و تحلیل شبکه‌ای در ارزیابی و اولویت‌بندی پروژه‌های ریلی صورت نگرفته است و نشان دهنده خلاء تحقیقاتی در این حوزه است.

۳. فرآیند تحلیل شبکه‌ای

توماس ساعتی در سال ۱۹۹۶ روشی را برای تصمیم‌گیری چندمعیاره ارائه کرده است که این روش، فرآیند تحلیل شبکه‌ای نامیده می‌شود. روش تحلیل شبکه‌ای یک روش فراگیر و چندمنظوره تصمیم‌گیری است که به صورت گسترده‌ای در حل مسائل پیچیده تصمیم‌گیری مورد استفاده قرار می‌گیرد. روش تحلیل شبکه‌ای با ایجاد یک قالب کلی، به وابستگی بین عناصر با خودشان و عناصر بالاتر به پایین، تاکید دارد. دلیل موفقیت مدل، نتایج آن است که همبستگی بسیار زیادی با دنیای واقعی دارد. [زبردست، ۱۳۸۹]

فرآیند تحلیل شبکه‌ای حالت عمومی فرآیند تحلیل سلسله مراتبی و شکل گسترده‌تر آن است؛ بنابراین تمامی ویژگی‌های مثبت آن مانند سادگی، انعطاف‌پذیری، به‌کارگیری هم‌زمان معیارهای کمی و کیفی و قابلیت بررسی سازگاری در قضاوت‌ها را دارا است و اضافه بر این‌ها می‌تواند ارتباط‌های پیچیده (وابستگی‌های متقابل و بازخورد) بین و میان عناصر تصمیم (شکل ۱) را با به‌کارگیری ساختار شبکه‌ای به جای ساختار سلسله مراتبی در نظر بگیرد. [زبردست، ۱۳۸۹]



شکل ۱. تفاوت ساختار (الف) شبکه‌ای و (ب) سلسله مراتبی [چانگ، لی و پیم، ۲۰۰۵]

فرآیند تحلیل شبکه‌ای از چهار مرحله زیر تشکیل شده است: [کارلوچی و شیوما، ۲۰۱۰]

۱. ساخت مدل و تبدیل مسئله به یک ساختار شبکه‌ای
۲. تشکیل ماتریس مقایسه دودویی (زوجی) و تعیین بردارهای اولویت
۳. تشکیل سوپرماتریس و تبدیل آن به سوپرماتریس حد
٤. انتخاب گزینه برتر

٤. اهمیت مدل

اجرای هم‌زمان پروژه‌های متعدد، در بسیاری از مواقع، با توجه به بودجه‌های محدود تخصیص یافته، امکان‌پذیر نیست و لازم

اســـت پروژه‌های مصـــوب و آماده اجرا بر اســـاس معیارهای مشـخصی اولویت‌بندی و اجرا شوند؛ بنابراین اگر از معیارهایی که منطبق با فرآیند مهندسی ارزش است استفاده شود، از لحاظ ترتیـب انجام، اولویت ســـرمایه‌گذاری و نیز منافع ملی، بهترین حالت اتخاذ خواهد شـــد و تاثیر به‌ســـزایی در صـــرفه‌جویی و تخصـــیص بهینه منابع خواهد داشـــت. یکی از مشـــکلاتی که شـــرکت ســـاخت و توســـعه زیربناهای حمل‌ونقل کشـــور با آن روبروســـت، نبودن مدلی برای رتبه‌بندی پروژه‌های ریلی جهت اجرا است. تاکنون مطالعات خوبی در راه‌آهن جمهوری اسلامی ایران در زمینه اولویت‌بندی پروژه‌های ریلی کشـــور انجام شـــده که هر کدام از جنبه‌های مهمی به موضـــوع پرداخته‌اند. بیش‌تر مطالعات انجام شده به جنبه اقتصادی تاکید دارند و برخی دیگر به جنبه‌های ملی، اجتماعی، سیاسی و البته برخی از مطالعات به جنبه کلان و مطابقت آن با سـیاست‌های کلی برنامه‌های توسعه ملی توجه بیش‌تری داشته‌اند. هر کدام از این اولویت‌بندی‌ها به نوبه خود دارای اهمیت بوده و با هدف خاصـــی انجام شـــده اســـت. برخی از این اولویـت‌بندی‌ها جهت انتخاب پروژه‌های موجود و مورد تصـــویـب برای انجام کارهای اجرایی و برخی برای اولویت‌بندی و انتخاب بهترین مناطق برای اتصال به شبکه ریلی می‌باشند.

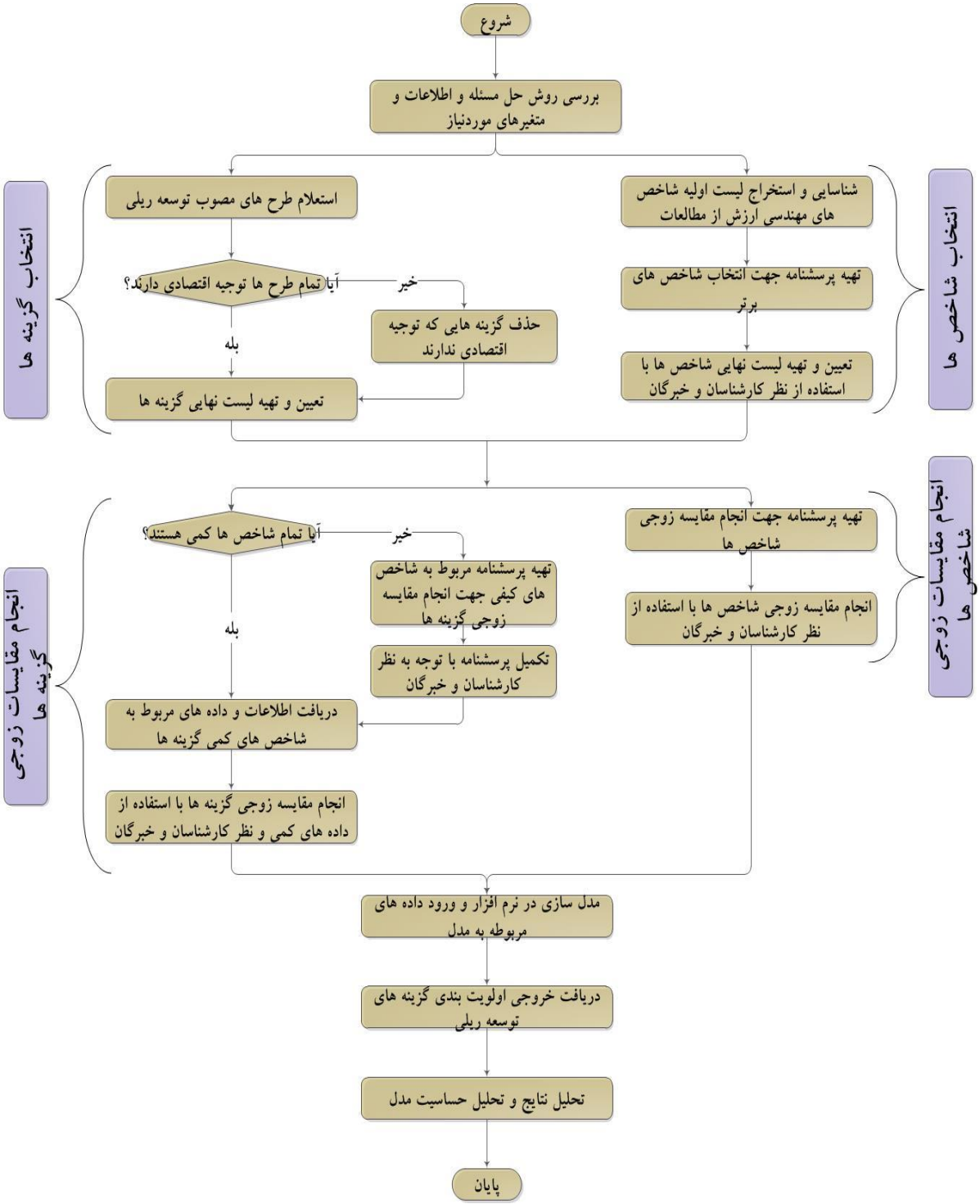
۵. روش تحقیق

بـا توجه به ویژگی‌های پروژه‌های ریلی، مدل پیشـــنهادی ارائه شده در این مقاله، در شکل ۲ نشان داده شده است. تمام گزینه های مورد بررسی در این مقاله (پروژه‌های ریلی) توسط شرکت ســاخت و توســعه زیربناهای حمل‌ونقل کشــور ارزیابی فنی و اقتصــادی شده و مورد تایید قرار گرفته است. در مطالعات فنی و اقتصـــادی مواردی شـــامـل مطالعات عمومی منطقه، برآورد تقاضـــا، مطالعه و انتخاب مســـیر، بر آورد هزینه احداث مســـیر، هزینه تامین ناوگان ریلی، تعرفه حمل، ارزیابی مالی و اقتصادی، ملاحظـات زیســـت‌محیطی و پدافند غیرعامل مورد توجه قرار گرفته است. این بررسی‌ها که در قالب گزارش توجیهی ارزیابی فنی و اقتصادی پروژه‌ها، توسط وزارت راه و شهرسازی تایید و چاپ شده است، در این مقاله مورد استناد قرار گرفته است.

٦. معیارهای مؤثر مبتنی بر معیارهای مهندســـی ارزش برای انتخاب پروژه‌های ریلی

ذکر این نکته ضروری به نظر می‌رسد که منظور از شاخص‌های مبتنی بر فرآینـد مهنـدســـی ارزش این اســـت کـه در ارزیابی پروژه‌های ریلی، معیارهایی انتخاب شـده‌اند که به طور مستقیم روی شـاخص‌های اصلی مهندسی ارزش، یعنی کارکرد، زمان و هزینـه، که منجر به کاهش فعالیت‌های زائد و افزایش بهره‌وری و صرفه‌جویی می‌شوند، تاثیرگذار باشند.

در این پژوهش، لیســـت اولیـه‌ای از ۲۸ معیـار مرتبط بـا مهندسـی ارزش که در مقالات و مطالعات به آن‌ها اشـاره شـده اســت، تهیه و پس از برگزاری جلســاتی با کارشــناســان گروه مهندســی ارزش و بهره‌وری شرکت ساخت و توسعه زیربناهای حمل‌ونقل کشور و اداره خط و سازه‌های فنی راه‌آهن ج.ا.ایران، یک لیســـت دقیق‌تر شـــامل ۱۸ معیار، در ۷ گروه هزینه، زمان، ریسک، ایمنی، فرصت، پیچیدگی و سایر موارد، تهیه گردید. در نهایت، بر اســـاس مقیاس پنج نقطه‌ای لیکرت[۲]، پرســـش‌نامه‌ای تهیه گردید و با تکمیل آن توســـط ۳۰ نفر از کارشـــناســـان و خبرگان شـرکت‌های مذکور که مسـتقیما مسئول تهیه گزارشات ارزیابی فنی و اقتصـادی پروژه‌های ریلی می‌باشـند و محاسـبه میـانگین نظرات آنهـا و حـذف معیـارهای کم اهمیت‌تر (امتیاز کم‌تر از ۳، میـانگین مقیـاس پنج نقطـه‌ای لیکرت)، جـدول معیارهای نهایی (جدول ۱) به دســـت آمد. در انتخاب خبرگان برای تکمیل پرسش‌نامه، افرادی انتخاب شدند که اولا در بخش مرتبط با اجرای پروژه‌های ریلی مشـــغول فعالیت باشـــند، ثانیا حداقل ۵ سال در زمینه اجرای پروژه‌های ریلی سابقه کار داشته باشـند و ثالثا دارای حداقل مدرک تحصـیلی کارشـناسی باشند. این افراد (۳۰ نفر) از بین کارشـناسـان گروه مهندسـی ارزش و بهره‌وری شـرکت ساخت و توسعه زیربناهای حمل‌ونقل کشور و اداره کل خط و سـازه‌های فنی راه‌آهن ج.ا.ا، انتخاب شدند و با توجه به ضوابط انتخاب آن‌ها، برای همگی آن‌ها وزن یکسانی در نظر گرفته شده است.



شکل ۲. مدل پیشنهادی اولویت‌بندی پروژه‌های مصوب توسعه ریلی بر اساس معیارهای مهندسی ارزش

جدول ۱. لیست نهایی معیارهای مبتنی بر فرآیند مهندسی ارزش و امتیاز آن‌ها

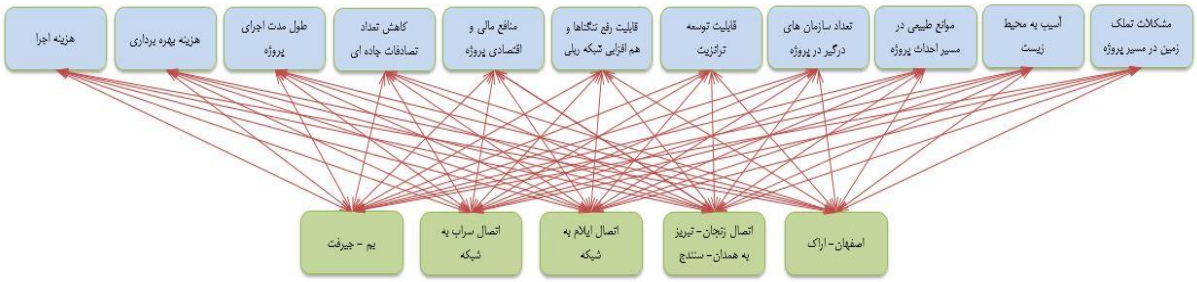
طبقه بندی معیار	عنوان زیرمعیار	نوع معیار	جنس معیار	میانگین امتیاز
هزینه	هزینه اجرا	منفی	کمی	٤/٥٧
	هزینه بهره‌برداری	منفی	کمی	٣/٢٤
زمان	طول مدت اجرای پروژه	منفی	کمی	٣/٩٥
ایمنی	کاهش تعداد تصادفات جاده‌ای	مثبت	کیفی	٣/٥٧
فرصت	منافع مالی و اقتصادی پروژه	مثبت	کمی	٤/١٩
	قابلیت رفع تنگناها و هم‌افزایی شبکه ریلی	مثبت	کیفی	٤/٢٤
	قابلیت توسعه ترانزیت	مثبت	کیفی	٤/٤٣
پیچیدگی	تعداد سازمان‌های درگیر در پروژه	منفی	کیفی	٣/١٠
سایر موارد	موانع طبیعی در مسیر احداث پروژه	منفی	کیفی	٣/٩٠
	آسیب به محیط‌زیست	منفی	کیفی	٣/٨٦
	مشکلات تملک زمین در مسیر پروژه	منفی	کیفی	٤/١٤

۷. شناسایی پروژه‌های مصوب توسعه ریلی راه‌آهن ج.ا.ایران

در جدول ۲، پروژه‌های توسعه حمل‌ونقل ریلی که توسط شرکت ساخت و توسعه زیربناهای حمل‌ونقل کشور تایید و مصوب شده، معرفی شده است. اطلاعات این پروژه‌ها از مطالعات امکان‌سنجی پروژه‌ها استخراج و در جدول زیر ارائه شده است. با توجه به معیارهای انتخاب شده و گزینه‌های موردنظر، ساختار شبکه‌ای مطابق با شکل ۳، تشکیل می‌شود.

جدول ۲. پروژه‌های منتخب توسعه حمل‌ونقل ریلی راه‌آهن ج.ا.ایران

ردیف	عنوان پروژه	هزینه اجرا (میلیارد ریال)	طول خط (کیلومتر)	توضیحات
١	بم–جیرفت	٥٠٢٩/٣٧	٣٥٩	واریانت اتصال از سمت غرب شهر بم (ده‌بکری) به جیرفت– کهنوج– بندرعباس توجیه دارد.
٢	اتصال سراب به شبکه	٣١٦٦/٨٥	١٥٥	---
٣	اتصال ایلام به شبکه	١١٣١٠/٤٥	٤١٢	سناریوی ٤ (احداث راه‌آهن اندیمشک – دهلران – مهران – ایلام – سر آبله – اسلام آباد غرب) اقتصادی‌تر است.
٤	اتصال راه‌آهن زنجان–تبریز به همدان–سنندج از مسیر بیجار	٨٣٢١/١٣	٢١٨	---
٥	اصفهان–اراک	٢٦٣٩/٨٨	١٦٥	واریانت اراک– خمین– گلپایگان– موته– میمه توجیه دارد.



شکل ۳. ساختار شبکه‌ای مدل

۸. محاسبه مقادیر شاخص‌ها

مقایسات زوجی مربوط به شاخص‌های کمی با استفاده از اطلاعات به دست آمده از مطالعات امکان‌سنجی طرح‌های موردنظر (جدول ۳) انجام می‌پذیرد. برای استخراج مقدار شاخص‌های کمی، در ارزیابی طرح‌ها، سال پایه ، سال ۱۳۹٤ فرض شده است. قیمت‌ها بر مبنای این سال و با نرخ تنزیل ۷ درصد محاسبه شده است.

محاسبات مربوط به شاخص‌های کیفی در فرآیند تحلیل شبکه‌ای، بر اساس قضاوت اولیه تصمیم‌گیرندگان، از طریق پرسش‌نامه، که در قالب ماتریس مقایسات زوجی ظاهر می‌شود، صورت می‌پذیرد. پس از جمع‌آوری این پرسش‌نامه‌ها، نرخ ناسازگاری هر یک از پرسش‌نامه‌ها توسط نرم‌افزار سوپردسیژن[۳] به‌دست آمده است. در هنگام ورود مقایسات زوجی این پژوهش، هیچ‌گونه ناسازگاری بالای ۰/۱ مشاهده نگردید و این امر نشان از دقت بالای تکمیل پرسشنامه‌ها و محاسبات دارد.

سپس، میانگین هندسی نظرات داده شده برای ورود به نرم‌افزار، بر اساس رابطه ۱ محاسبه شد.

$$y_{ij} = \left(\prod_{l=1}^{k} x_{ijl}\right)^{1/k} \qquad (۱)$$

$$i, j = 1, 2, 3, \dots, n \; ; \; i \neq j$$

$$l = 1, 2, 3, \dots, k$$

l شماره تصمیم‌گیرنده، K تعداد تصمیم‌گیرندگان و (i, j) معیارها یا گزینه‌های مورد مقایسه است. [مومنی، ۱۳۸۵]

در ضمن تمامی معیارهای منفی، معکوس شده و به معیار مثبت تبدیل شده‌اند.

جدول ۳. مقادیر محاسبه شده برای شاخص‌های کمی

گزینه‌ها	معیارهای کمی				مرجع
	طول مدت اجرا (سال)	هزینه اجرا، به ازای یک کیلومتر (میلیارد ریال)	هزینه بهره‌برداری (میلیارد ریال)	منافع مالی و اقتصادی پروژه (میلیارد ریال)	
بم-جیرفت	٥	١٤/٠٠٩	١٥٤٩/٧٦٣	٣٤٧٥١/١٤٥	[مطالعات توجیه اولیه محور اصفهان-اراک، ١٣٨٩]
اتصال سراب به شبکه	٤	٢٠/٤٣١	٣٦٨٢/٩٦٥	١٢٦٥٦/١٦٠	[مطالعات توجیه اولیه محور اتصال سراب به شبکه، ١٣٨٩]
اتصال ایلام به شبکه	٦	٢٧/٤٥٣	٥١٧٩/٠٥٥	٢٥٨٦٤/٠١٨	[مطالعات توجیه اولیه محور اتصال ایلام به شبکه، ١٣٨٦]
اتصال راه‌آهن زنجان-تبریز به همدان-سنندج	٦	٣٨/١٤٥	٦٥٢٢/٤٩٥	١٣٥٣٧/٢٩٨	[مطالعات توجیه اولیه محور اتصال راه‌آهن زنجان-تبریز به همدان-سنندج، ١٣٩٣]
اصفهان-اراک	٤	١٥/٩٩٩	٢٣٧٢/٦٦٧	١١٨٢٧/٠١٧	[مطالعات توجیه اولیه محور اصفهان-اراک، ١٣٨٨]

۹. پیاده‌سازی مدل و نتایج آن

پس از تولید بردارهای اولویت با استفاده از داده‌های کمی و مقادیر کیفی به‌دست آمده از پرسش‌نامه‌ها، این داده‌ها به نرم‌افزار سوپردسیژن وارد شده و مورد استفاده قرار گرفت و خروجی‌های مورد نظر، از این نرم‌افزار به دست آمد. در ادامه، نتایج اولویت‌بندی گزینه‌ها در جدول ٤ و هم‌چنین وزن معیارها در جدول ٥ آمده است.

جدول ٤. اولویت پروژه‌های ریلی

گزینه	میزان برتری	وزن نرمال شده	رتبه
اتصال ایلام به شبکه	۰/۰۸۸	۰/۱۷۵	۳
اتصال زنجان- تبریز به همدان- سنندج	۰/۰۸٤	۰/۱۸۵	٥
اتصال سراب به شبکه	۰/۰۸۷	۰/۱۷٤	٤
اصفهان- اراک	۰/۱۰۰	۰/۲۰۰	۲
بم–جیرفت	۰/۱٤۱	۰/۲۸۲	۱

جدول ٥. وزن نهایی شاخص‌ها

شاخص	میزان برتری	وزن نرمال شده	رتبه
آسیب به محیط زیست	۰/۰۷۰	۰/۱٤۰	۲
تعداد سازمان‌های درگیر در پروژه	۰/۰۲٤	۰/۰٤۸	۱۱
طول مدت اجرای پروژه	۰/۰۲٦	۰/۰٥۳	۱۰
قابلیت توسعه ترانزیت	۰/۰۳٥	۰/۰۷۰	۷
قابلیت رفع تنگناها و هم‌افزایی شبکه ریلی	۰/۰۳۰	۰/۰٥۹	۹
مشکلات تملک زمین در مسیر پروژه	۰/۰۳۲	۰/۰٦٥	۸
منافع مالی و اقتصادی پروژه	۰/۰٥٤	۰/۱۰۷	٤
موانع طبیعی در مسیر احداث پروژه	۰/۰٥٥	۰/۱۱۰	۳
هزینه اجرا	۰/۰۸٥	۰/۱۷۱	۱
هزینه بهره‌برداری	۰/۰٤۷	۰/۰۹۳	٥
کاهش تعداد تصادفات جاده‌ای	۰/۰٤۳	۰/۰۸٥	٦

جهت سنجش اعتبار نتایج بدست آمده، این نتایج مجددا با نظرات کارشناسان و خبرگان شرکت ساخت و توسعه زیربناهای حمل‌ونقل کشور که در فرآیند اجرای مدل همکاری داشتند، ارزیابی شد و مورد تایید قرار گرفت.

در ادامه و به منظور بازنگری در نظام تخصیص بودجه در شرکت ساخت و توسعه زیربناهای حمل‌ونقل کشور، که در حال حاضر یکی از چالش‌های اساسی این شرکت است، پیشنهاد شد که تخصیص بودجه به هر یک از پروژه‌ها بر اساس وزن پروژه‌ها اعمال گردد. بنابراین، در ادامه وزن محاسبه شده برای هر یک از پنج گزینه نرمال‌سازی شد و به این ترتیب وزن نرمال شده هر یک از پروژه‌ها مشخص گردید. جزئیات مربوطه در جدول ٦ نشان داده شده است. با توجه به نتایج به‌دست آمده، اگر لازم باشد تمام پروژه‌ها با هم اجرا شوند، پیشنهاد می‌شود که نحوه تخصیص بودجه به پروژه‌ها، بر اساس وزن نرمال شده هر پروژه که از فرآیند اولویت‌بندی به‌دست آمده، تخصیص یابد. در جدول ٦، دیده می‌شود که گزینه "بم- جیرفت"، دارای وزن بالایی در بین سایر گزینه‌هاست، در واقعیت نیز بیشترین سهم از بودجه هر سال و هم‌چنین بیشترین وزن با توجه به بودجه‌های مصوب را دارد.

۱۰. نتایج و تحلیل حساسیت

خروجی مدل با نتایج چهار روش تحلیل سلسله مراتبی[٤]، تاپسیس[٥]، سا[٦] و تحلیل منافع به هزینه‌ها[٧] کنترل شد. نتایج در جدول ۷، آورده شده است. نتایج هر چهار روش با خروجی روش تحلیل شبکه‌ای انطباق دارد و آن را تائید می‌کند.

تحلیل حساسیت نتایج با استفاده از نرم‌افزار سوپردسیژن انجام شد. به همین منظور نقاط بحرانی هر معیار مشخص شد، نقاطی که در دامنه کاهش ۱۰۰ درصدی تا افزایش ۱۰۰ درصدی وزن هر معیار باعث تغییر اولویت گزینه‌ها می‌شود. در جدول ۸، این نقاط بحرانی آورده شده است. از بین دو گزینه‌ای که در نقطه بحرانی موردنظر، اولویت آن‌ها با یکدیگر عوض می‌شود، در کنار گزینه‌ای که به رتبه بالاتر صعود می‌کند، عبارت "صعود" و در کنار گزینه‌ای که به رتبه پایین‌تر می‌رود، عبارت "نزول" آورده شده است.

جدول ٦. مقایسه مقدار بودجه واقعی و بودجه پیشنهادی قابل تخصیص به هر پروژه بر اساس وزن‌های به‌دست آمده از مدل [گزارش فعالیت‌های شرکت ساخت و توسعه زیربناهای حمل‌ونقل، ۱۳۹۳]

گزینه	کل اعتبار مصوب طرح (میلیارد ریال)	بودجه مصوب به ازای هر سال (میلیارد ریال)	وزن پروژه‌ها با توجه به بودجه مصوب	وزن پروژه‌ها با توجه به خروجی مدل	بودجه پیشنهادی قابل تخصیص در هر سال بر اساس وزن مدل (میلیارد ریال)	میزان انحراف (درصد)
بم- جیرفت	٤٢٨٩	٨٥٧/٨٠	٠/٢٩٢	٠/٢٨٢	٨٢٧/٢٨	-٣/٥٦
اتصال سراب به شبکه	٢١٧٠	٥٤٢/٥٠	٠/١٨٥	٠/١٧٤	٥١٠/٤٥	-٥/٩١
اتصال ایلام به شبکه	٢٢٥٠	٣٧٥	٠/١٢٨	٠/١٧٥	٥١٣/٣٨	+٣٦/٩٠
اتصال راه آهن زنجان- تبریز به همدان-سنندج	٤٤٧٥	٧٤٥/٨٣	٠/٢٥٤	٠/١٦٨	٤٩٢/٨٥	-٣٣/٩٢
اصفهان-اراک	١٦٥٠	٤١٢/٥٠	٠/١٤١	٠/٢٠٠	٥٨٦/٧٣	+٤٢/٢٤
مجموع بودجه سالیانه برای پروژه‌ها		٢٩٣٣/٦٣				

همان‌طور که در جدول ۸ مشاهده می‌شود، بیشترین حساسیت مدل نسبت به معیارهایی است که نقاط بحرانی بیشتری دارند، یعنی معیارهای "کاهش تعداد تصادفات جاده‌ای" با ۸ نقطه بحرانی و "منافع مالی و اقتصادی پروژه" و "قابلیت رفع تنگناها و هم‌افزایی شبکه ریلی" با ٦ نقطه بحرانی. هم‌چنین کم‌ترین حساسیت مدل نسبت به معیارهایی با کم‌ترین تعداد نقاط بحرانی است، یعنی معیارهای "هزینه اجرا" و "هزینه بهره‌برداری" با ۲ نقطه بحرانی و "طول مدت اجرای پروژه" با ۳ نقطه بحرانی. ضمن این‌که سه معیار برتر، یعنی "هزینه اجرا"، "آسیب به محیط‌زیست" و "موانع طبیعی در مسیر احداث پروژه" به ترتیب دارای ۲، ۵ و ٤ نقطه بحرانی هستند.

جدول ۷. وزن و اولویت گزینه‌ها در پنج روش تحلیل شبکه‌ای، تحلیل سلسله‌مراتبی، تاپسیس، سا و تحلیل منافع به هزینه‌ها

گزینه	ANP		AHP		TOPSIS		SAW		B/C	
	وزن نرمال شده	رتبه	وزن نرمال شده	رتبه	وزن نرمال شده	رتبه	وزن نرمال شده	رتبه	وزن نرمال شده	رتبه
اتصال ایلام به شبکه	٠/١٧٥	٣	٠/١٨٦	٣	٠/١٨٥	٣	٠/١٨٩	٣	٠/١٣١	٤
اتصال زنجان- تبریز به همدان- سنندج	٠/١٦٨	٥	٠/١٧٤	٤	٠/١٦٥	٤	٠/١٧٦	٤	٠/٠٧٦	٥
اتصال سراب به شبکه	٠/١٧٤	٤	٠/١٧٠	٥	٠/١٤٥	٥	٠/١٧١	٥	٠/١٥٤	٣
اصفهان-اراک	٠/٢٠٠	٢	٠/٢٠٤	٢	٠/٢٠٤	٢	٠/٢٠٨	٢	٠/١٩٧	٢
بم – جیرفت	٠/٢٨٢	١	٠/٢٦٥	١	٠/٣٠١	١	٠/٢٥٦	١	٠/٤٤١	١

جدول ۸. نقاط بحرانی تغییرات وزن هر یک از معیارها (تغییرات وزن در جدول به درصد بیان شده است)

دو گزینه‌ای که در صورت تغییر در وزن معیار مربوطه، اولویت آن‌ها با یکدیگر جابجا می‌شود.		هزینه اجرا	آسیب به محیط‌زیست	موانع طبیعی در مسیر احداث پروژه	منافع مالی و اقتصادی پروژه	هزینه بهره‌برداری	کاهش تعداد تصادفات جاده‌ای	قابلیت توسعه ترانزیت	مشکلات تملک زمین در مسیر پروژه	قابلیت رفع تنگناها و هم-افزایی شبکه ریلی	طول مدت اجرای پروژه	تعداد سازمان‌های درگیر در پروژه
ایلام (نزول)	زنجان-تبریز به ... (صعود)		۵/۲	۸/۲	-۵۵/۶		-۷۲/٤		۱۵/۸			۷/٦
ایلام (نزول)	سراب (صعود)	۱/۲	۰/۸	۰/۸	-۷/۸	۱/۸	-۷/۸	-۱۱		-۱۲/٤	۱/۲	۱/۰
ایلام (صعود)	اصفهان -اراک (نزول)				۱۵/۰		۳٤/٤		۳۵/۰			
ایلام (صعود)	بم-جیرفت (نزول)						۳٤/٦	٤۲/۸		۳۵/٤		
زنجان-تبریز به ... (صعود)	سراب (نزول)	-۳٤/۸	۱۳/٤		۳۹/۲	-۹۸/۰	۲۷/۰	۵/٤	۳۰/۲	٦/۰		٦۲/۸
زنجان-تبریز به ... (صعود)	اصفهان -اراک (نزول)		۲۵/٤	۳۵/٦	٦۵/۲				۲۸/۰			۳۳/۲
زنجان-تبریز به ... (صعود)	بم-جیرفت (نزول)						٦۰/۰	۵٦/٤		٤۷/٦		
سراب (صعود)	اصفهان -اراک (نزول)		۳۱/۸	۲٦/۸	۷۵/۰				۲٦/۸			۲۹/۲
سراب (صعود)	بم-جیرفت (نزول)						٦٤/۲			۸۱/٤	٦۹/۰	
اصفهان-اراک (صعود)	بم-جیرفت (نزول)						۳٤/۸	۳۱/۲		۲۸/۰	٦۲/۸	
تعداد نقاط بحرانی		۲	۵	٤	٦	۲	۸	۵	۵	٦	۳	۵

۱۱. جمع‌بندی

در این تحقیق، از روش تحلیل شبکه‌ای جهت اولویت‌بندی پروژه‌های مصوب توسعه حمل‌ونقل ریلی راه‌آهن ج.ا.ا با توجه به معیارهای مبتنی بر فرآیند مهندسی ارزش استفاده شده است. به همین منظور، از طریق پرسش‌نامه از نظرات ۳۰ نفر از خبرگان شرکت ساخت و توسعه زیربناهای حمل‌ونقل کشور و اداره کل خط و سازه‌های فنی راه‌آهن ج.ا.ایران، در مرحله اول برای انتخاب معیارهای مبتنی بر مهندسی ارزش و در مرحله دوم برای ارزیابی ۵ گزینه بر اساس این ۱۱ معیار، استفاده شده است. هم‌چنین برای انجام مقایسات بر اساس شاخص‌های کمی، از اطلاعات مطالعات توجیه فنی- اقتصادی طرح‌های مصوب استفاده شده است. این اطلاعات توسط نرم‌افزار سوپردسیژن بررسی شده و وزن و اولویت گزینه‌ها محاسبه شد. بر اساس نتایج حاصل از این مطالعه، اولویت‌های پروژه‌های توسعه ریلی راه‌آهن ج.ا.ایران به ترتیب عبارتند از "بم- جیرفت" (با وزن ۰/۲۸۲)، "اصفهان- اراک" (با وزن ۰/۲۰۰)، "اتصال ایلام به شبکه" (با وزن ۰/۱۷۵)، "اتصال سراب به شبکه" (با وزن ۰/۱۷٤) و " اتصال زنجان- تبریز به همدان- سنندج" (با وزن ۰/۱٦۸).

در تحلیل نتایج، با حل مدل به وسیله چهار روش تصمیم‌گیری تکمیلی، نتایج روش تحلیل شبکه‌ای تایید شد. هم‌چنین برای انجام تحلیل حساسیت، نقاط بحرانی معیارها که باعث تغییر اولویت گزینه‌ها می‌شود، نشان داد که مدل، بیشترین حساسیت را به معیار "کاهش تعداد تصادفات جاده‌ای"، و کم‌ترین حساسیت را به معیارهای "هزینه اجرا" و "هزینه بهره‌برداری" دارد.

در نهایت پیشنهاد شد که اوزان بدست آمده از فرآیند اولویت‌بندی پروژه‌ها، به عنوان ضریبی برای تخصیص بودجه به پروژه‌های موردنظر استفاده شود. تفاوت میزان تخصیص بودجه در وضعیت موجود با نتایج مدل پیشنهادی، در جدول ٦ نشان داده شده است. همان‌گونه که ملاحظه می‌شود، تخصیص بودجه در مواردی تا ٤۲ درصد با وضعیت موجود تفاوت دارد و نشان‌دهنده لزوم بازنگری در فرآیند موجود تخصیص بودجه است. نتایج این تخصیص نشان می‌دهد که گزینه اول، یعنی پروژه "بم-جیرفت" که وزن بیشتری دارد، در واقعیت نیز دارای سهم بیشتری از بودجه عمرانی است.

۱۲. پی‌نوشت‌ها

1. Analytic network process (ANP)
2. Likert, R.
3. Super Decision
4. Analytic hierarchy process (AHP)
5. The technique for order of preference by similarity to ideal solution (TOPSIS)
6. Simple additive weighting (SAW)
7. Benefit-Cost analysis (B/C)

۱۳. مراجع

- احدی، حمیدرضا، سبزه‌کار، حسین و حسین آبادی، حجت‌اله (۱۳۹۲) "طراحی یک مدل تصمیم‌گیری مبتنی بر معیارهای مهندسی ارزش به منظور اولویت‌بندی و انتخاب پروژه‌های ریلی"، دومین کنفرانس ملی مهندسی صنایع و سیستم‌ها، تهران، ایران.
- پوررضا، محمد، ذوالنوریان، محمدهادی و عطری، سید عرفان (۱۳۹۲) "آشنایی با مهندسی ارزش"، انتشارات مرکز مطالعات و برنامه‌ریزی شهر تهران، چاپ اول.
- زبردست، اسفندیار (۱۳۸۹) "کاربرد فرآیند تحلیل شبکه‌ای (ANP) در برنامه‌ریزی شهری و منطقه‌ای"، نشریه هنرهای زیبا، معماری و شهرسازی، شماره ٤۱، صفحات ۷۹-۹۰.
- شرکت ساخت و توسعه زیربناهای حمل‌ونقل (۱۳۸٦) "مطالعات توجیه اولیه محور اتصال ایلام به شبکه"، تهران، ایران.
- شرکت ساخت و توسعه زیربناهای حمل‌ونقل (۱۳۹۳) "مطالعات توجیه اولیه محور اتصال راه‌آهن زنجان-تبریز به همدان-سنندج"، تهران، ایران.
- شرکت ساخت و توسعه زیربناهای حمل‌ونقل (۱۳۸۹) "مطالعات توجیه اولیه محور اتصال سراب به شبکه"، تهران، ایران.
- شرکت ساخت و توسعه زیربناهای حمل‌ونقل (۱۳۸۸) "مطالعات توجیه اولیه محور اصفهان-اراک"، تهران، ایران.
- شرکت ساخت و توسعه زیربناهای حمل‌ونقل (۱۳۸۹) "مطالعات توجیه اولیه محور بم-جیرفت"، تهران، ایران.
- شرکت ساخت و توسعه زیربناهای حمل‌ونقل (۱۳۹۳) "گزارش فعالیت‌های شرکت ساخت و توسعه زیربناهای حمل‌ونقل" تهران، ایران.

– مومنی، منصــور (۱۳۸۵) "مباحث نوین تحقیق در عملیات"، انتشارات دانشگاه تهران، چاپ اول.

-Banciu, D. D. M. and Florea, M. C. G. (2009) ”Decision support system based on MADM for urban transport management”, Romanian Air Traffic Services Adm. ROMATSA, Bucharest, Romania, Vol. 2, May, pp. 128-130.

-Carlucci, D. and Schiuma, G. (2008) “Applying the analytic network process to disclose knowledge assets value creation dynamics”, Expert Systems with Applications, Vol. 36, Issue 4, pp. 7687-7694.

-Chung, S. H., Lee, A. H. and Pearn, W. L. (2005) “Analytic network process (ANP) approach for product mix planning in semiconductor fabricator”, international Journal of Production Economics, Vol. 96, No.18, pp. 15-36.

-Jin, X. U. and Zhong, W. (2013) “Sustainable development and value engineering assessment of city water cycle system based on ANP”, International Journal of Digital Content Technology & its Applications, Vol. 7, No. 8, , p.818.

-Wang, H. (2013) “The application of value engineering in project decision-making”, Advances in Information Sciences and Service Sciences, Vol. 5, No. 5, p. 621.

-Zhang, P. J., Han, Y. J. and Song, G. F. (2013) “The VE project selection of real estate program based on ANP”, In Proceedings of 20th International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management, Jan, pp. 433-441, Springer Berlin Heidelberg.

-Zhang, W., Huapu, L., Zhijun, G. and Qiang, L. (2005) “Study on method evaluation Bus Rapid Transit (BRT) scheme”, Proceeding of the Eastern Asia Society for Transportation Studies, Vol. 5, pp. 390- 403.

علی پویانی، درجه کارشــناسـی در رشــته مهندسی صنایع را در سال ۱۳۹۲ از دانشگاه فردوسی مشهد و درجه کارشــناسـی ارشـد در رشــته مهندسـی حمل‌ونقل ریلی را در سـال ۱۳۹٤ از دانشـگاه علم‌وصنعت اخذ نمود. زمینه‌های پژوهشی مورد علاقه ایشان مهندسی ارزش و مدل‌های تصمیم‌گیری است.

حمیدرضـا احدی، درجه کارشــناسـی در رشــته مدیریت صـنعتی را در سـال ۱۳٦۵ از دانشگاه شیراز و درجه کارشناسی ارشد در رشته مدیریت صنعتی را در سال ۱۳۷۱ از دانشگاه تهران اخذ نمود. در سال ۱۳۸۲ موفق به کسب درجه دکتری در رشته مهندسی حمل‌ونقل از دانشگاه جیائو تونگ پکن گردید. زمینه‌های پژوهشی مورد علاقه ایشـان مدیریت لجستیک و زنجیره تأمین، حمل‌ونقل ترکیبی، اقتصاد حمل‌ونقل و مدل‌های تصمیم‌گیری بوده و در حال حاضر عضو هیات علمی با مرتبه استادیاری در دانشگاه علم‌وصنعت است.