ارزیابی اقتصادی فازی سیستم‌های حمل‌ونقل همگانی با فرض وجود عدم قطعیت در متغیرهای اقتصادی: مطالعه موردی متروی قم

سجاد عباس تبار، دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی عمران، پردیس دانشکده‌های فنی، دانشگاه تهران، تهران، ایران
نوید خادمی (مسئول مکاتبات)، استادیار، دانشکده مهندسی عمران، پردیس دانشکده‌های فنی، دانشگاه تهران، تهران، ایران
کامبیز بهنیا، دانشیار، دانشکده مهندسی عمران، پردیس دانشکده‌های فنی، دانشگاه تهران، تهران، ایران
مهدی صمدزاد، دانش‌آموخته دکتری برنامه‌ریزی حمل‌ونقل، دانشکده فنی پاریس، پاریس، فرانسه
E-mail: navid.khademi@ut.ac.ir

دریافت: ۱۳۹۲/۰۸/۲۹ پذیرش: ۱۳۹۳/۰۳/۰۴

چکیده:
برای تعیین اقتصادی‌ترین سناریو از بین چندین سناریوی پیشنهادی برای سرمایه‌گذاری، یکی از روش‌ها، ارزیابی اقتصاد مهندسی یا تحلیل هزینه-فایده است که در آن تمامی اثرات (هزینه‌ها و فایده‌های) ناشی از اجرای هر کدام از سناریوها محاسبه می‌شود. سپس، با مقایسه نتایج این ارزیابی‌ها، سناریوی برتر انتخاب می‌شود. حال اگر تعیین این هزینه‌ها و فایده‌ها، با عدم قطعیت روبرو باشد، نیاز به ابزاری است که قادر باشد ارزیابی اقتصادی را در شرایط عدم قطعیت انجام دهد. هدف اول از این مقاله، استفاده از نظریه مجموعه‌های فازی به عنوان ابزاری برای ارزیابی اقتصادی در شرایط عدم قطعیت است. دومین هدف، تعمیم روابط کلاسیک ارزیابی اقتصادی در محیط فازی است که این‌کار با فرض فازی بودن متغیرهای نرخ بهره، نرخ تورم، نرخ تبدیل ارز، دوره ساخت و دوره عمر مفید پروژه (با توجه به شرایط روز کشور) انجام می‌شود. هدف سوم، مقایسه روش فازی و روش کلاسیک اقتصاد مهندسی با انجام یک مثال عددی است که برای این‌کار، در پایان این مقاله، مطالعه موردی احداث متروی قم انجام می‌شود. دو متغیر نرخ تبدیل ارز فازی و میزان عمر پروژه فازی، از متغیرهای جدیدی است که در این مقاله به صورت فازی معرفی شده است که دلیل عدم قطعیت آنها وجود مواردی مانند سوءِ مدیریت‌ها، تحریم‌ها و تورم کنترل نشده است. با توجه به نتایج این مقاله، می‌توان دریافت که روش ارزیابی اقتصادی فازی نسبت به روش کلاسیک آن، دید جامع‌تری به کارشناسان، تصمیم گیران و مسئولین اجرایی می‌دهد تا بتوانند با توجه به میزان حساسیت انتخاب هر سناریو نسبت به تغییرات متغیرهای اقتصادی، سناریوی برتر را انتخاب کنند.

واژه‌های کلیدی: ارزیابی اقتصادی، تحلیل هزینه–فایده، نظریه مجموعه‌های فازی، عدم قطعیت، سیستم حمل‌ونقل انبوه بر.

۱. مقدمه

یکی از مشکلات حمل‌ونقل شهری، تراکم وسایل نقلیه موتوری در معابر شهری است. این تراکم، سبب تحمیل هزینه‌های فردی و اجتماعی زیادی می‌شود؛ مانند افزایش هزینه‌های بهره‌برداری، اتلاف زمان مسافران، افزایش تصادفات جاده‌ای، آلودگی هوا، کاهش راحتی و آسایش در تردد عابران پیاده، آلودگی صوتی و مواردی از این قبیل [Khisty & Lall, 1998]. اجرای پروژه‌های کلان حمل‌ونقلی و مخصوصاً پروژه‌های احداث سیستم ریلی که برای حل مشکلات ترافیکی و حمل‌ونقل درون‌شهری انجام می‌شوند، معمولاً نیاز به ایجاد زیرساخت‌ها، ابنیه و تهیه ناوگان دارند که با هزینه‌های زیادی همراه است و به همین علت، در صورتی که فقط فایده‌های رسیده به سازمانهای بهره‌بردار جزو منافع پروژه در نظر گرفته شود (مانند سود ناشی از بلیت)، آنگاه اکثر پروژه‌ها غیراقتصادی می‌شود. از این رو معمولاً در این پروژه‌های کلان، منافع ناشی از احداث این پروژه‌ها برای کل جامعه سنجیده می‌شود (مانند فایده ناشی از کاهش آلودگی هوا، کاهش مصرف سوخت و موارد مشابه) [Abtahi, 2012]. عدم مدیریت صحیح این هزینه‌ها، موجب خسارات زیادی می‌شود. از آنجا که این‌گونه پروژه‌ها اکثراً با بودجه دولتی اجرا می‌شوند، خسارت در آنها به معنای خسارت به منابع کشور است، به منظور جلوگیری از این مسئله، نیاز به ارزیابی اقتصادی پروژه‌ها به صورت دقیق است.

در ارزیابی اقتصاد مهندسی یا تحلیل هزینه–فایده (CBA)[1]، ابتدا چندین سناریوی دارای یک هدف مشترک تعریف می‌شود. سپس اثراتی (فایده‌ها و هزینه‌ها) که به سبب اجرای هر سناریو بر جامعه و سازمانهای دولتی وارد می‌شود، به صورت کمی و بر حسب ارزش زمانی پول[2] سنجیده می‌شود [Oskunejad, 2005]. در واقع، منظور از تحلیل هزینه– فایده، اندازه‌گیری و کمی کردن تمامی اثرات سناریوها (تا آنجا که ممکن است) بر روی تمامی افراد در تمامی زمان‌ها و مکان‌ها است. تمامی متخصصین این تعریف را قبول دارند، اما درباره چگونگی تعیین، اندازه‌گیری و تجمیع هزینه‌ها و فواید، اتفاق نظر وجود ندارد [TCRP78, 2002][3]. در پایان این تحلیل، با مقایسه هزینه‌ها و فایده‌های سناریوها، سناریوی برتر انتخاب می‌شود.

حال اگر هر کدام از این هزینه‌ها و فواید دارای عدم قطعیت باشند، مسئله، پیچیده‌تر و سخت‌تر می‌شود. عدم قطعیت در ارزیابی اقتصادی یعنی محاسبه مقدار دقیق متغیر دارای عدم قطعیت (هزینه یا فایده) با ابهام همراه است و نمی‌توان مقدار دقیقی برای آن برآورد کرد و هر کدام از متغیرها، محدوده‌ای (بازه‌ای) از مقادیر قطعی را شامل می‌شود. در همه پروژه‌ها عدم قطعیت وجود دارد؛ ولی در مواردی که هزینه و فایده‌های اجتماعی و عمومی وجود دارد این عدم قطعیت بیشتر است [Kuchta, D, 2008]. از نظر امیتامو و بادیرو [Omitaomu and Badiru, 2007] عدم قطعیت در همه جا وجود دارد و در تحلیل اقتصادی غیرقابل اجتناب است و دلیل اصلی آن هم کامل نبودن دانش و اطلاعات در دسترس در مورد متغیری است که مد نظر است. لیو و چن [Liou and Chen, 2006] می‌گویند در ارزیابی اقتصادی ، استفاده از اعداد دقیق و غیر فازی مرسوم است و در عمل داده‌های دقیق جریان نقدی، نرخ بهره و موارد مختلفی از این دست دقیقاً شناخته‌شده نیست و متخصصان با استفاده از تجربیات قبلی و حدس‌های آزموده شده، داده‌ها را در روش‌های مرسوم استفاده می‌کنند. در کشور ما به دلایل مختلفی مانند عدم ثبات قیمت کالاها و خدمات و تورم بالا، عدم مدیریت صحیح در زمان‌بندی اجرای پروژه‌ها، کارشکنی در انجام صحیح کار، عدم ثبات نرخ ارز (بخصوص در چندساله اخیر)، تحریم‌های خارجی، ابهام در وصول اعتبارات، بی‌ثباتی در اقتصاد به دلیل وجود ناشناخته‌های مدیریتی و اقتصادی در کشور و موارد مختلفی از این دست، عدم قطعیت قابل‌توجهی در ارزیابی‌های

اقتصادی ایجاد شده است و برای انجام صحیح این ارزیابیها، باید عدم قطعیت را با ابزار مناسبی در نظر گرفت. این امر، لزوم توسعه ابزارهای کلاسیک ارزیابی اقتصادی که در جهان مورد استفاده قرار می‌گیرد (مانند ارزیابی اقتصادی در فضای قطعی) را برای شرایط خاص و ویژه اقتصادی در کشورهای در حال توسعه، بیش از پیش مهم می‌نماید.

به طور مرسوم و متداول برای پوشش عدم قطعیت در ارزیابیهای اقتصادی از نظریه احتمالات استفاده می‌شود. این در حالی است که استفاده از نظریه احتمالات نیازمند اطلاعات تکرار وقایع تحت برخی از شرایط و قوانین بدون تغییر است (البته اگر قائل به تعریف «احتمال رخدادها» بر مبنای «فراوانی مشاهده» شده باشیم) و در اکثر موارد، این احتمالات در دست نیست و باید توابع احتمالاتی برای هر متغیر فرض کرد. طبق نظر دیمیتروفسکی [Dimitrovski and Matos, 2000] این کار حداقل برای تجزیه و تحلیل بلندمدت در خصوص هزینه‌ها و فواید، سؤال‌برانگیز است. یکی دیگر از رویکردهای مناسب در پوشش این عدم قطعیتها در تحلیل، استمداد از ریاضیات فازی و فازی سازی روابط تحلیل‌های هزینه- فایده برای داشتن یک ارزیابی مناسب و متناسب در محیطی توأم با عدم قطعیت است [Choobineh and Behrens, 1992].

در این راستا و برای توسعه روش‌های ارزیابی اقتصادی برای پروژه‌های کلان ملی در شرایط غیرقطعی اقتصادی در کشورمان، این مقاله سعی در ایجاد و معرفی بستری جدید در تحلیل اقتصاد مهندسی پروژه‌های ریلی کشور با توسعه تحلیل‌های هزینه-فایده در محیط فازی دارد. در این پژوهش، ابتدا متغیرهایی که بایستی در ارزیابی اقتصادی پروژه‌های حمل‌ونقلی در نظر گرفت، ارائه می‌شود. سپس از بین این متغیرها، آن دسته از متغیرهایی که متناسب با شرایط اقتصادی کشور، دارای عدم قطعیت هستند شناسایی و مشخص می‌شوند. پس از آن، عدم قطعیت این متغیرها با استفاده از مفهوم اعداد فازی پوشش داده می‌شود و روابط جبری اقتصاد مهندسی در محیط فازی به دست می‌آید. در ادامه با استفاده از روش ارائه‌شده در این مقاله، پروژه مطالعات اقتصادی متروی قم، به عنوان مطالعه موردی بررسی می‌شود و ارزیابی اقتصادی فازی بر روی آن انجام می‌شود. در پایان، نتایج به دست آمده از روش ارائه‌شده در این مقاله بر اساس تحلیل هزینه- فایده فازی، با نتایج تحلیل هزینه-فایده کلاسیک و قطعی این پروژه (پروژه متروی قم) مقایسه می‌شود.

۲. مروری بر ادبیات

در ادبیات تحلیلهای هزینه-فایده، مشاهده می‌شود که مراجع مختلف، عدم قطعیت را با استفاده از روابط ارزیابی اقتصادی که متغیرهای آن به صورت فازی تبدیل شده است، پوشش می‌دهند. به عنوان نمونه، در مطالعه Kahraman and Kaya (2008)، نرخ بهره، ارزش اسقاطی و عمر مفید، به صورت اعدادی فازی از نوع مثلثی فرض شده است و در این مقاله برای مقایسه سناریوهای سرمایه‌گذاری[۴]، از روش‌های ارزش فعلی خالص (NPV)[۵]، ارزش آینده (آتی) خالص (NFV)[۶] با استفاده از معیارهای نسبت فایده‌ها به هزینه‌های هر سناریو (B/C)[۷] و نسبت تغییرات فایده‌های دو سناریو به هزینه‌های آن دو ($\Delta B/\Delta C$) استفاده شده است. [Kahraman et.al 2008]، استهلاک و مالیات و نرخ تورم را به صورت فازی در نظر میگیرد و با استفاده از روش‌های ارزش فعلی خالص (NPV) و ارزش معادل پرداخت یکنواخت سالانه (EUAV)، روابطی برای ارزیابی اقتصادی در این شرایط به دست می‌آورد. [Choobineh and Behrens 1992]، نرخ بهره را عدد فازی مثلثی و ارزش اسقاطی را عدد فازی ذوزنقه‌ای فرض مینمایند و سپس با روش ارزش فعلی خالص (NPV) به ارزیابی اقتصادی پروژه‌ها می‌پردازند. [Wang and Liang 1995] متغیرهای عمر مفید، نرخ بهره و نرخ مالیات و ارزش

اسقاطی را اعدادی فازی از نوع ذوزنقه‌ای در نظر میگیرد و با استفاده از روشهای NPV و EUAV و معیارهای مقایسه B/C و $\Delta B/\Delta C$، ارزیابی اقتصادی فازی انجام میدهد.

اسکونژاد در کتاب اقتصاد مهندسی خود، به بررسی اصول پایه‌ای در اقتصاد مهندسی (فارغ از بحث حمل‌ونقل) و معرفی متغیرهای موجود در آن همانند نرخ بهره، نرخ تورم، نرخ بازگشت سرمایه و بیان روشهای مختلف ارزیابی اقتصادی از جمله روش ارزش فعلی، ارزش پرداخت یکنواخت سالانه، روش ارزش آینده و همچنین تحلیل در شرایط عدم قطعیت (روش تحلیل ریسک و استفاده از آمار و احتمالات) می‌پردازد. در رابطه با برآورد هزینه- فایده در پروژه‌های حمل‌ونقل عمومی، آیین‌نامه‌ای با عنوان گزارش شماره ۷۸ از مجموعه گزارشهای TCRP [TCRP78, 2002] وجود دارد. در این آیین‌نامه، درباره مفهوم هزینه و فایده در اقتصاد حمل‌ونقلی، انواع اثرات (هزینه‌ها و فایده‌ها) ناشی از اجرای یک سیستم حمل‌ونقل عمومی، کاربردها و محدودیتهای محاسبه آن، نحوه تجزیه و تحلیل هزینه‌ها و فایده‌های آن، روشهای ارزیابی هزینه- فایده در مواجهه با شرایط عدم قطعیت و مواردی از این دست مطالب کامل و مفیدی ارائه شده است.

علاوه بر منابع اشاره‌شده در فوق در مورد ارزیابی اقتصادی غیرفازی، دو نرم‌افزار توسط FHWA[8] تهیه شده است. یکی از آنها SPASM است که به صورت صفحه گسترده (Excell) است و دیگری (STEAM) به صورت یک نرم‌افزار مستقل عمل می‌کند. هر کدام از این دو نرم‌افزار، متغیرهای اقتصادی خاصی را از کاربر دریافت می‌کنند و نتیجه ارزیابی اقتصادی را ارائه می‌دهند. نرم‌افزار STEAM بسیار کاملتر از نرم‌افزار SPASM است. به دلیل کمبود فضا در این مقاله و لزوم تلخیص گفتار، فهرست جامعی از دیگر منابع در مورد این موضوع، در جدول ۱ پیوست ارائه شده است که در آن، متغیرهای فازی شده در هر منبع، روشهای ارزیابی اقتصادی فازی و معیارهای مقایسه سناریوها مشخص شده است. در مجموع دیده می‌شود که هر منبع، بخشی از متغیرها را به صورت فازی در نظر گرفته است و تعدادی از متغیرها نیز در محاسبات برخی از منابع دیده نشده‌اند. همچنین متغیری مانند نرخ مالیات در بعضی از منابع دیده شده است که با توجه به قوانین داخلی کشور آن چنان این مسئله جدی گرفته نمی‌شود و هنوز نباید آن را وارد محاسبات ارزیابی اقتصادی کرد. از این رو، در این مقاله، ابتدا مراحل انجام یک تحلیل اقتصادی و مالی حمل‌ونقلی توضیح داده می‌شود و پس از آن، متغیرهایی که با توجه به شرایط کشور و قوانین آن، نیاز است تا در ارزیابی اقتصادی وارد شوند شناسایی خواهد شد. سپس متغیرهای دارای عدم قطعیت مشخص‌شده و به صورت عددی فازی تبدیل می‌شوند. در این پژوهش، علاوه بر فازی کردن متغیرهای متداولی که در ارزیابی‌های اقتصادی به کار می‌رود، دو متغیر نرخ تبدیل ارز فازی و متغیر دوره ساخت و بهره‌برداری فازی هم به این مجموعه اضافه می‌شود. در واقع در این مقاله، متغیرهای اصلی اقتصادی مانند نرخ بهره، نرخ تورم، نرخ تبدیل ارز و مواردی از این دست، با توجه به نیاز کشور به انجام ارزیابی اقتصادی در شرایط عدم قطعیت با استفاده از ابزار نظریه مجموعه‌های فازی، به صورت اعدادی فازی در نظر گرفته می‌شوند و در نهایت، روابط ارزیابی اقتصادی فازی با توجه به این متغیرها و با استفاده از جبر فازی به دست می‌آیند. در پایان مقاله نیز مطالعه موردی متروی قم با توجه به این روابط انجام خواهد گرفت.

۳. مراحل انجام یک تحلیل اقتصادی و مالی حمل‌ونقلی

اصولاً روش ارزیابی سناریوهای مستقل سرمایه‌گذاری در مرحله امکان‌سنجی (انتخاب سناریوی برتر) شامل چند مرحله زیر است:

۱- شناسایی مجموعه‌ای از پروژه‌های سرمایه‌گذاری در راستای اهدافی که از اجرای آن پروژه مورد نظراست؛

۲- تعیین افق برنامه‌ریزی برای مطالعه اقتصادی که منعکس‌کننده فاصله زمانی است که سرمایه‌گذار میل دارد تا آن زمان آینده‌نگری کند؛

۳- تعیین نرخ بهره و نرخ تورم و نرخ تبدیل ارز که برای در نظر گیری ارزش زمانی پول مورد نیازند؛

۴- تعیین متغیرهای مهم و ضروری هزینه و فایده و محاسبه این متغیرها برای هر پروژه (در مرحله امکان‌سنجی، نیازی به دقت زیاد برای تخمین هزینه‌ها و فایده‌ها نیست؛ زیرا پروژه مراحل مقدماتی خود را طی می‌کند و اطلاعات زیادی از طراحی و جزئیات اجرایی آن در دسترس نیست) [Tarh-e-Haftom Consulting Engineers, 2009] ؛

۵- مشخص کردن نیمرخ جریان نقدینگی[۹] برای هر پروژه که در این کردار پیکان‌های به سمت پایین نشان‌دهنده هزینه‌های انجام‌شده در سال و پیکان‌های به سمت بالا نشان‌دهنده درآمدهای حاصل از پروژه در سال است.

همان طور که در بالا اشاره شد، در مرحله چهارم، کلیه اثرات (هزینه‌ها و فایده‌ها) ناشی از اجرای هر سناریو محاسبه می‌شود. این اثرات به دو بخش کلی تقسیم‌بندی می‌شوند که به صورت زیر است [TCRP78, 2002]:

≻ اثرات پایه: این اثرات به سه بخش تقسیم می‌شوند:

* **اثرات سفر (اثرات اولیه):** این اثرات تأثیر مستقیمی بر روی کاربران، مسافران و سیستم حمل‌ونقل دارند؛ مانند کاهش زمان سفر، کاهش مصرف سوخت و کاهش مسافت سفر. در این بخش، هم کاربران سیستم حمل‌ونقل همگانی و هم خودروهای شخصی مورد توجه قرار می‌گیرد.

* **اثرات ثانویه:** اثراتی هستند که به طور غیرمستقیم بر جامعه وارد می‌شوند و بر روی تمامی شهروندان (کاربران و غیر کاربران) سیستم حمل‌ونقل اثر می‌گذارند و به علت اثرات دسته اول (اثرات سفر یا اثرات اولیه) به وجود می‌آیند؛ مانند کاهش آلاینده‌های هوا، تعداد تصادفات و آلودگی صوتی که به دلیل کاهش زمان سفر و کاهش مسافت (طول) سفر رخ می‌دهند.

* **هزینه‌های مستقیم سیستم حمل‌ونقل:** در این بخش بر روی منابع پولی مورد نیاز برای ساخت و بهره‌برداری سیستم حمل‌ونقل تمرکز می‌شود؛ مانند هزینه‌های مطالعات مهندسی، خرید تجهیزات، ساخت، تعمیر و نگهداری و مواردی از این دست. این اثرات معمولاً متوجه متصدیان حمل‌ونقل شهری و دولت (مرکز و محلی مثلاً شهرداری‌ها) است.

≻ اثرات غیر پایه: این اثرات، بر سیستم‌هایی غیر از سیستم حمل‌ونقل شهر (مانند کاربری‌ها و اقتصاد شهری) تأثیر می‌گذارند و به صورت تدریجی عمل می‌کنند. این اثرات در کوتاه مدت نامحسوس هستند، ولی در بلندمدت کارکرد یافته و بروز می‌کنند. به عنوان مثال با احداث معابر جدید، دسترسی به برخی نقاط شهر بهبودیافته و در نتیجه، قیمت زمین در دراز مدت در آن مناطق افزایش می‌یابد. بدیهی است که متخصصین حمل‌ونقل با اجرای سناریوها به دنبال تنظیم نوع و ارزش کاربری‌ها در شهر نیستند، ولی سناریوها بر روی نوع و ارزش کاربری‌ها در بلندمدت اثرگذار خواهند بود.

تمامی این اثرات را می‌توان در جدول پیوست (۲) مشاهده کرد. در شکل پیوست (۱)، کردارهای درختی اثرات مختلف وارد بر جامعه و سازمانهای مسئول در زمینه حمل‌ونقل، در اثر ساخت یک سیستم حمل‌ونقل جدید یا بهبود یک سیستم حمل‌ونقل موجود، نشان داده شده است.

۴. روش شناسی پژوهش

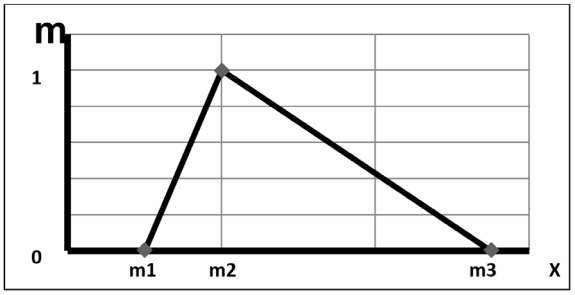
در این قسمت، در ابتدا به اختصار، اعداد فازی و نظریه مجموعه‌های فازی تشریح می‌شود. سپس روش ارزیابی اقتصادی فازی ارائه‌شده در این مقاله ارائه می‌شود. در ادامه ابتدا متغیرهایی که در این پژوهش به صورت فازی دیده شده است بیان می‌شود

و سپس روابط فازی ارزیابی اقتصادی نشان داده می‌شود.

۴-۱ نظریه مجموعه‌های فازی

در این نظریه به جای قطعی فرض کردن متغیرهای اقتصادی دارای عدم قطعیت، آنها را به صورت بازهای و با درجه عضویتهای مختلف نمایش میدهند.

یک عدد فازی مثلثی[۱۰]، به دو صورت $(m_1/m_2, m_2/m_3)$ و (m_1, m_2, m_3) نمایش داده می‌شود [Kahraman, Tolga, & Ulukan, ۲۰۰۰]. m_1 نشانگر مقدار با کمترین امکان وقوع[۱۱] (مقدار سمت چپ)، m_2 نشانگر مقدار با امکان وقوع معمول[۱۲] (مقدار وسط) و m_3 نشانگر مقدار با بیش‌ترین امکان وقوع[۱۳] (مقدار سمت راست) است. شکل ۱، یک عدد فازی مثلثی را نشان می‌دهد که رابطه (۱)، تابع عضویت مربوط به آن است. تابع عضویت تمامی متغیرهای فازی شده در این مقاله به صورت رابطه (۱) است با این تفاوت که مقادیر m_1, m_2, m_3 آنها فرق می‌کند. در بخش بعدی، متغیرهایی که به صورت فازی در نظر گرفته‌شده‌اند و دلایل فازی شدن آنها خواهد آمد.



شکل ۱. یک عدد فازی مثلثی

(۱)

$$\mu(x|\tilde{M}) = \begin{cases} 0, & x < m_1, \\ (x-m_1)/(m_2-m_1), & m_1 \le x \le m_2, \\ (m_3-x)/(m_3-m_2), & m_2 \le x \le m_3, \\ 0, & x > m_3. \end{cases}$$

نحوه کارکرد چهار عمل اصلی (عملگرها) در محیط فازی با محیط قطعی (غیر فازی) تفاوت دارد. در بخش روششناسی، تمامی عملیات جمع، تفریق، ضرب و تقسیم به همین صورت انجام می‌شود. اگر $\tilde{A} = (a_1, a_2, a_3)$ و $\tilde{B} = (b_1, b_2, b_3)$، دو عدد فازی مثلثی باشند و k عددی ثابت و مثبت باشد، آنگاه اعمال جبری فازی به صورت روابطی است که در جدول ۱ دیده می‌شود [Kahraman .C , 2001].

جدول ۱. عملیات جبری در محیط فازی [Kahraman .C , 2001]

تغییر علامت	$-\tilde{A} = (0,0,0) - (a_1,a_2,a_3) = (-a_3,-a_2,-a_1)$	$-\tilde{B} = (0,0,0) - (b_1,b_2,b_3) = (-b_3,-b_2,-b_1)$
جمع	$\tilde{A} + \tilde{B} = (a_1,a_2,a_3) + (b_1,b_2,b_3) = (a_1+b_1,\ a_2+b_2,a_3+b_3)$	
	$k + \tilde{A} = k + (a_1,a_2,a_3) = (k+a_1, k+a_2, k+a_3)$	
تفریق	$\tilde{A} - \tilde{B} = (a_1,a_2,a_3) - (b_1,b_2,b_3) = (a_1-b_3,\ a_2-b_2, a_3-b_1)$	
	$\tilde{A} - k = (a_1,a_2,a_3) - k = (a_1-k,\ a_2-k, a_3-k)$	
ضرب	$\tilde{A} \times \tilde{B} = (a_1,a_2,a_3) \times (b_1,b_2,b_3) = (a_1b_1,\ a_2b_2, a_3b_3) \quad , a_i > 0,\ b_i > 0,\ i = 1,2,3$	
	$k \times \tilde{A} = k \times (a_1,a_2,a_3) = (k.a_1,\ k.a_2,\ k.a_3) \quad , a_i > 0, b_i > 0, i = 1,2,3$	
تقسیم	$\frac{\tilde{A}}{\tilde{B}} = \frac{(a_1,a_2,a_3)}{(b_1,b_2,b_3)} = \left(\frac{a_1}{b_3}, \frac{a_2}{b_2}, \frac{a_3}{b_1}\right),\ a_i > 0,\ b_i > 0,\ i = 1,2,3$	
	$\frac{\tilde{A}}{\tilde{B}} = \frac{(a_1,a_2,a_3)}{(b_1,b_2,b_3)} = \left(\frac{a_1}{b_1}, \frac{a_2}{b_2}, \frac{a_3}{b_3}\right),\ a_i < 0,\ b_i > 0,\ i = 1,2,3$	
معکوس	$\tilde{A}^{-1} = (1,1,1)(a_1,a_2,a_3) = \left(\frac{1}{a_3}, \frac{1}{a_2}, \frac{1}{a_1}\right),\ a_i > 0,\ i = 1,2,3$	

۲-۴ متغیرهای فازی شده در ارزیابی اقتصادی این پژوهش

متغیرهای اقتصادی مختلفی در منابع داخلی و خارجی برای ارزیابی اقتصادی وجود دارند. پس از مطالعه این منابع و با قضاوت کارشناسانه توسط این نویسندگان بر روی شرایط و قوانین کشور، آن دسته از متغیرهایی که در ارزیابیهای اقتصادی داخل کشور مورد نیازند، انتخاب شده است (این متغیرها به صورت دستهبندی شده در جدول ۲ و شکل ۱ پیوست ارائه می‌شود). از بین این متغیرهای اقتصادی، با توجه به شرایط و اقتضاء اقتصاد کشور، متغیرهایی دارای عدم قطعیت تشخیص داده و به صورت فازی در نظر گرفته می‌شوند که عبارت‌اند از اثرات اولیه (ارزش زمان سفر و هزینه بهره‌برداری وسایل شخصی)، اثرات ثانویه (هزینه تصادفات و مخارج زیست‌محیطی)، هزینه‌های مستقیم سیستم حمل‌ونقل (هزینه سرمایه‌گذاری اولیه و تعمیر و نگهداری سالانه)، دوره ساخت و بهره‌برداری، ارزش اسقاطی، نرخ بهره، نرخ تورم، نرخ تبدیل ارز و فایده‌های به دست آمده از اجرای سیستم حمل‌ونقل عمومی. برخی از دلایل فازی شدن این متغیرها عبارت است از سوء مدیریت، سیاست‌های مبهم و بعضاً نادرست بانکی، تحریم‌ها و مشکلات اقتصادی، وجود عدم قطعیت در نرخ تورم و نرخ تبدیل ارز و همچنین وجود دیگر دلایل ناشناخته سیاسی و اقتصادی در کشور.

۳-۴ طریقه فازی کردن اعداد قطعی

در این بخش، طریقه فازی سازی متغیرهای اقتصادی عنوان‌شده در قسمت قبل، که باید به صورت فازی تبدیل شوند ذکر می‌شود. برای فازی کردن نرخ تبدیل ارز و نرخ تورم، اعداد قطعی (غیر فازی) این نرخها، با فرض درصدی تغییر در آنها به صورت فازی تبدیل می‌شود؛ مثلاً اگر نرخ تورم ۱۵٪ باشد، با توجه به ضریب ۲/۱ (یعنی ۲۰٪ تغییرات در این نرخ)، به صورت عدد فازی مثلثی $((۱۵\times۰/۲+۱۵),۱۵,(۱۵\times۰/۲-۱۵))$ یعنی عدد $(۱۲,۱۵,۱۸)$ تبدیل می‌شود. سپس با توجه به این اعداد فازی، دیگر متغیرهایی که سبب فازی شدن آنها به این دو نرخ بستگی دارند نیز فازی می‌شوند. مثلاً هزینه‌های ساخت پروژه که در دوران ساخت پروژه انجام می‌شوند، در صورتی که با استفاده از نرخ تورم فازی و روابط اقتصاد مهندسی به ارزش این هزینه‌ها در سال ابتدای بهره‌برداری تبدیل شوند، با توجه به فازی بودن نرخ تورم، ارزش معادل این هزینه‌ها نیز به صورت فازی تبدیل می‌شود.

۴-۴ روش انجام محاسبات و روابط فازی ارزیابی اقتصادی

در این پژوهش از روش ارزش یکنواخت سالانه (EUAV)[۱۴] برای مقایسه بین سناریوها استفاده می‌شود. دلیل انجام این‌کار، مناسب بودن آن برای پروژه‌های با دوره عمر متفاوت است. همچنین با این روش می‌توان فایده‌ها و هزینه‌هایی که به صورت ثابت و یکنواخت در طول سالهای بهره‌برداری اتفاق می‌افتد را به طور مستقیم وارد محاسبات کرد و نیاز به تبدیل ارزش آنها به سالهای دیگر نیست (رجوع شود به [Oskunejad, 2005] و [Kahraman and Kaya, 2008]). ویژگی‌های دیگر این روش به دلیل تلخیص کلام در منبع [Abbastabar, 2013] آورده شده است.

برای استفاده از این روش،پس از اینکه نرخ بهره فازی($\tilde{i}$) و نرخ تورم فازی ($\tilde{f}$) با توجه به نرخهای قطعی و درصد تغییر آنها به دست آمد، این دو نرخ برای تسهیل در محاسبات با توجه به رابطه عنوان‌شده در [Oskunejad, 2005] باهم ترکیب می‌شوند و یک نرخ جدید به نام نرخ بهره متورم شده تعریف می‌شود. این نرخ، نرخ بهره‌ای است که با توجه به نرخ تورم تصحیح می‌شود. این رابطه در محیط قطعی با رابطه (۲) نشان داده می‌شود [Oskunejad, 2005 و Kahraman, Demirel, and Demirel, 2008]:

که در آن نرخ بهره متورم شده (i_f) به صورت رابطه (۲) است:

$$i_f = i + f + i.f \qquad (۲)$$

با توجه به اینکه در اجرای یک سناریو، دو مرحله ساخت و

بهره‌برداری وجود دارد، دو نرخ بهره متورم شده، یکی در دوره ساخت و دیگری در دوره بهره‌برداری وجود خواهد داشت. در محیط فازی، نرخ بهره متورم شده در دوره ساخت در قالب اعداد فازی مثلثی به صورت رابطه (۳) به دست می‌آید:

$$\tilde{i_f} \cong \tilde{i} + \tilde{f} + \tilde{i} \times \tilde{f} = (i_1 + f_1 + i_1 f_1, i_2 + f_2 + i_2 f_2, i_3 + f_3 + i_3 f_3) = (\tilde{i}_{f1}, \tilde{i}_{f2}, \tilde{i}_{f3}) \quad (۳)$$

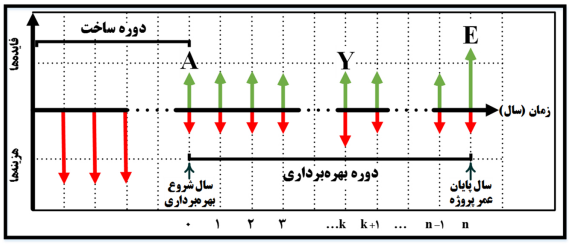
که در آن:

i_1 مقدار سمت چپ، i_2 مقدار وسط (مودال) و i_3 مقدار سمت راست عدد فازی مثلثی نرخ بهره دوره ساخت($\tilde{i}_1$) است. به همین ترتیب f_1 مقدار سمت چپ، f_2 مقدار وسط (مودال) و f_3 مقدار سمت راست عدد فازی مثلثی نرخ تورم در دوره ساخت ($\tilde{f}_1$) است. نرخ بهره متورم شده در دوره بهره‌برداری نیز به همین صورت به دست می‌آید. بنابراین، در این مقاله دو نرخ بهره متورم شده به ترتیب با نام‌های $\tilde{i}_{f1}$ و $\tilde{i}_{f2}$ استفاده می‌شود که اولی در دوره ساخت و دومی در دوره بهره‌برداری بکار می‌رود. متغیر دیگری که باید فازی شود، متغیر زمان‌بندی اجرای پروژه (ساخت و بهره‌برداری) است. دوره ساخت پروژه به صورت عدد فازی $\tilde{n} = (n_{C1}, n_{C2}, n_{C3})$ نشان داده می‌شود که اندیس C در آن به معنی ساخت[۱۵] است. همچنین n_{C2} به معنای عمر قطعی (غیر فازی) پروژه است که با آن می‌توان دو مقدار n_{C1} و n_{C3} را با استفاده از روابط (۴) و (۵) به دست آورد:

$$n_{C1} = n_{C2} \times (1 - \delta_n) \quad (۴)$$

$$n_{C3} = n_{C2} \times (1 + \delta_n) \quad (۵)$$

که در آن δ_n، عددی کوچک‌تر از یک است که به عنوان درصد تغییر از مقدار قطعی مطرح است (مثلاً ۰/۲ که نشان‌دهنده ٪۲۰ تغییر است) و برای تبدیل عدد قطعی عمر پروژه به عدد فازی مثلثی مورد استفاده قرار میگیرد. دوره بهره‌برداری پروژه نیز به صورت $\tilde{n} = (n_{O1}, n_{O2}, n_{O3})$ نشان داده می‌شود که اندیس O در آن به معنی بهره‌برداری[۱۶] است و مقادیر آن نیز همانند مقادیر دوره ساخت به دست می‌آید. حال با استفاده از این نرخها و روابط اقتصاد مهندسی، روابط ارزیابی اقتصادی فازی به دست می‌آید. برای اینکه درکی از عملیات ریاضی صورت گرفته بر روی این اثرات (هزینه و فایده) به دست آید، ابتدا جریان نقدینگی سالانه در نظر گرفته‌شده در این پژوهش در شکل ۲ نشان داده می‌شود.



شکل ۲. جریان نقدینگی سالانه بکار رفته در این پژوهش

در شکل ۲، دوره ساخت و دوره بهره‌برداری به تفکیک در کردار مشخص شده است. در این مقاله فرض می‌شود که کلیه هزینه‌های انجام‌شده برای ساخت سیستم، به طور مساوی در سالهای ساخت صورت می‌پذیرند؛ در واقع کلیه هزینه‌های ساخت، بر دوره ساخت (به سال) تقسیم می‌شود و به طور مساوی در انتهای هر سال از دوره ساخت قرار داده می‌شود. این هزینه‌ها شامل هزینه‌های ساخت ایستگاه و مسیر، تملک مسیر، خرید تجهیزات و بخش اول خرید ناوگان (لازم به ذکر است که بخش دیگر خرید ناوگان در دوره بهره‌برداری انجام می‌شود) و هزینه مطالعات مهندسی است. همچنین در شکل ۲ تعدادی فایده ثابت به صورت پیکانهایی با طول مساوی (و به سمت بالا) در طول دوران بهره‌برداری ترسیم‌شده‌اند. این فواید با مقدار ثابت، ناشی از کاهش زمان سفر و کرایه وسیله حمل‌ونقل عمومی و همچنین کاهش میزان تصادفات، آلودگی آب و هوا و آلودگی صوتی است که به صورت مساوی در طول سالهای بهره‌برداری حاصل می‌شود. از طرف دیگر، هزینه‌های ثابت بهره‌برداری سالانه در شکل ۲ (پیکانهای با طول مساوی و به سمت پایین در دوره بهره‌برداری)، شامل هزینه سوخت، تعمیر و نگهداری و

مواردی از این قبیل است. در سال پایان عمر پروژه نیز به دلیل ارزش اسقاطی پروژه، منافعی به دست می‌آید که در شکل ۲ به صورت پیکان به سمت بالا و در سال انتهای دوره بهره‌برداری، با حرف E مشخص شده است. همچنین در شکل ۲، هزینه‌ای در دوران بهره‌برداری وجود دارد که به صورت یکنواخت و با مقادیر مساوی اعمال نمی‌شود. این هزینه با پیکان به سمت پایین و با حرف Y نشان داده شده است و هزینه ناشی از خرید ناوگان در طول دوران بهره‌برداری در سال kام است و ممکن است در طول سالهای بهره‌برداری تعدادی از این نوع هزینه‌ها وجود داشته باشد. این هزینه‌های غیریکنواخت، ابتدا با روابط مشخص به ارزش آن در ابتدای سال بهره‌برداری تبدیل می‌شود و سپس به ارزش یکنواخت سالانه معادل‌سازی می‌شود.حال برای به دست آوردن روابط ارزیابی اقتصادی فازی مطرح‌شده توسط این مقاله غیرفازی، در ادامه به بیان گام به گام این روابط پرداخته می‌شود. ابتدا هزینه‌های دوران ساخت، به ارزش سال ابتدای دوره بهره‌برداری ($\tilde{C}F_{CA}$) که در شکل با «A» نشان داده شده است و نشانگر زمان صفر است، تبدیل می‌شود. این‌کار با توجه به روش انتخاب‌شده در این مقاله یعنی روش ارزش پرداخت یکنواخت سالانه و اعمال روابط این روش برای دوره بهره‌برداری و تبدیل تمامی هزینه‌ها و فایده‌ها به ارزش یکنواخت سالانه در دوره بهره‌برداری انجام شده است. برای این‌کار، فرض می‌شود کلیه هزینه‌های ساخت به طور مساوی در سالهای ساخت انجام شود. این‌کار با استفاده از رابطه (۶) انجام می‌شود:

$$\tilde{C}F_{CA} = \frac{1}{n_{C2}} \times (C_{C1}, C_{C2}, C_{C3}) \times \left(\sum_{x=1}^{n_{C1}} (1+i_{f11})^x \right. \\ \left. , \sum_{x=1}^{n_{C2}} (1+i_{f12})^x \ , \sum_{x=1}^{n_{C2}} (1+i_{f13})^x \right) \quad (۶)$$

در این رابطه، $\tilde{C}F_{CA}$ بخشی از کل جریان نقدینگی و مربوط به هزینه‌های ساخت است که به ارزش معادل این هزینه‌ها در سال ابتدای بهره‌برداری (نقطه A) تبدیل شده است.

n_{C1}, n_{C2}, n_{C3}، به ترتیب مقادیر سمت راست، وسط و سمت چپ عدد فازی مثلثی مدت زمان ساخت پروژه هستند که به صورت $\tilde{n}_C = (n_{C1}, n_{C2}, n_{C3})$ نشان داده می‌شود، C_{C1}, C_{C2}, C_{C3} مقادیر عدد فازی $\tilde{C}_C = (C_{C1}, C_{C2}, C_{C3})$ هستند که نشان‌دهنده کل هزینه‌های ساخت پروژه است و $i_{f11}, i_{f12}, i_{f13}$ مقادیر عدد فازی $\tilde{i}_{f1} = (i_{f11}, i_{f12}, i_{f13})$ هستند که نشان‌دهنده نرخ بهره متورم شده در سالهای ساخت است. n_{C2} در مخرج کسر، هزینه‌های ساخت را به طور مساوی بین سالهای ساخت تقسیم می‌کند (n_{C2} مقدار وسط (مودال) عدد فازی دوره ساخت به سال است و برای ساده‌تر شدن محاسبات تنها از این عدد برای تقسیم هزینه‌ها استفاده می‌شود). در این رابطه، اندیس x نشانگر سال عمر پروژه است و با توجه به رابطه (۶)، تمامی هزینه‌های ساخت که به صورت مساوی در طول دوره ساخت تقسیم‌شده‌اند، به ارزش مالی در نقطه A تبدیل و سپس با یکدیگر جمع می‌شوند. برای اینکه عدد فازی فوق در رابطه (۶) با در نظر گرفتن نرخ بهره متورم شده و دوره ساخت فازی به دست آید، در این رابطه، مقدار سمت چپ عدد مثلثی فازی با استفاده از مقادیر n_{C1} و i_{f11}، مقدار وسط (مودال) عدد مثلثی فازی با استفاده از مقادیر n_{C2} و i_{f12} و مقدار سمت راست عدد مثلثی فازی با استفاده از مقادیر و i_{f13} به دست می‌آید. لازم به ذکر است که در رابطه (۶) اندیس C به معنی ساخت است و اندیس «A» به معنای جریان نقدینگی سال ابتدای بهره‌برداری است.

پس از این مرحله، هزینه‌های غیریکنواخت صورت گرفته در دوران بهره‌برداری، یعنی هزینه‌هایی که در دوره بهره‌برداری و در چند سال مختلف و به صورت غیریکسان انجام می‌پذیرد (مانند واردات ناوگان و تجهیزات و همچنین خرید تجهیزات داخلی)، به ارزش یکنواخت سالانه تبدیل می‌شوند. این هزینه‌ها ممکن است در چند نوبت در دوره بهره‌برداری اعمال شوند و

به دو بخش تقسیم می‌شوند؛ بخشی از آن مانند خرید ناوگان و بعضی تجهیزات الکترونیکی، با توجه به وارداتی بودن آن، وابسته به تغییرات نرخ ارز هستند و بخش دیگر غیر وابسته به این نرخ‌هستند. بنابراین با توجه به رابطه (۷)، ابتدا هزینه وابسته به نرخ ارز به ارزش ریالی آن تبدیل می‌شود و با هزینه غیر وابسته به نرخ ارز جمع می‌شود:

(۷)

$$\tilde{F}_k = (F_{k1}, F_{k2}, F_{k3}) = (F'_{k1}, F'_{k2}, F'_{k3}) + F_{kh} \times (h_1, h_2, h_3)$$

که در آن:

$\tilde{F}_k = (F_{k1}, F_{k2}, F_{k3})$ مجموع هزینه‌های غیریکنواخت وابسته به نرخ ارز انجام‌شده در سال kام بهره‌برداری است، $\tilde{F}'_k = (F'_{k1}, F'_{k2}, F'_{k3})$ مجموع هزینه‌های غیریکنواخت غیر وابسته به نرخ ارز در سال kام است، F_{kh} مجموع هزینه‌های غیریکنواخت وابسته به نرخ ارز در سال kام است (که عددی قطعی است) و $\tilde{h} = (h_1, h_2, h_3)$ نرخ تبدیل ارز فازی است. پس از آن با رابطه (۸)، این هزینه‌ها به ارزش سال ابتدای عمر پروژه (نقطه A) تبدیل می‌شوند:

(۸)

$$\tilde{C}F_{OA} = \sum_k (F_{k1}, F_{k2}, F_{k3}) \times \left(\frac{1}{(1+i_{f_{13}})^{k_3}}, \frac{1}{(1+i_{f_{12}})^{k_2}}, \frac{1}{(1+i_{f_{11}})^{k_1}} \right)$$

در این رابطه، k، سال اعمال هزینه‌های غیریکنواخت و برابر $k = k_{initial}, \ldots, k_{final}$است که $k_{initial}$ و k_{final} نشانگر سال ابتدا و انتهای انجام این هزینه‌هاست که با توجه به این رابطه، تمامی هزینه‌ها باهم جمع می‌شوند، $i_{f21}, i_{f22}, i_{f23}$ مقادیر عدد فازی $\tilde{i}_{f2} = (i_{f21}, i_{f22}, i_{f23})$ هستند که نرخ بهره متورم شده در دوران بهره‌برداری است و $\tilde{C}F_{OA}$ بخشی از جریان نقدینگی سال ابتدای بهره‌برداری (نقطه A) است که ناشی از هزینه‌های غیریکنواخت در دوران بهره‌برداری است. اندیس o به معنای دوران بهره‌برداری و اندیس «A» به معنای جریان نقدینگی سال ابتدای بهره‌برداری است. در این رابطه با توجه به این مسئله که با افزایش i_{f2} مقدار $1/(1+i_{f_2})^k$ کاهش می‌یابد، مقدار سمت چپ عدد فازی با استفاده از k_3 و i_{f23}، مقدار وسط (مودال) با استفاده از k_2 و i_{f22} و مقدار سمت راست با استفاده از k_1 و i_{f21} به دست می‌آید. از آنجا که بخشی از ناوگان در سال شروع به کار سیستم خریداری می‌شود، بخشی از جریان نقدینگی سال ابتدای بهره‌برداری (نقطه A) ناشی از این هزینه است. با رابطه (۹)، این هزینه، به ارزش ریالی خود در این سال تبدیل می‌شود:

$$\tilde{C}F_h = CF_h \times (h_1, h_2, h_3) \quad (۹)$$

که در این رابطه، CF_h ارزش دلاری قطعی (غیر فازی) ناوگان خریداری‌شده برای شروع کار سیستم حمل‌ونقل ریلی در سال ابتدای عمر پروژه (نقطه A) است و در آن CF نماد جریان نقدینگی[۹] و h نماد نرخ ارز است. $\tilde{h} = (h_1, h_2, h_3)$ نرخ تبدیل ارز فازی مثلثی و $\tilde{C}F_h$ ارزش ریالی این ناوگان در سال ابتدای شروع به کار سیستم به صورت عدد فازی مثلثی است. در واقع فرض شده است که مقادیر دلاری برای فروشندگان سیستم‌های ریلی در فروش محصولشان از قطعیت برخوردار است(به دلیل تغییرات کم نرخ تورم دلار)؛ ولی با توجه به تغییرات غیرقابل‌پیش‌بینی در نرخ ارز در کشور، این مقدار در قالب مقادیر ریالی، عددی فازی است. حال مجموع سه هزینه‌ای که از روابط (۶) و (۸) و (۹) محاسبه‌شده‌اند با رابطه (۱۰) به صورت تجمیع شده زیر به دست می‌آید:

$$\tilde{C}F_A = \tilde{C}F_{CA} + \tilde{C}F_{OA} + \tilde{C}F_h \quad (۱۰)$$

سپس این مقدار با رابطه (۱۱) به ارزش یکنواخت سالانه در دوران بهره‌برداری تبدیل می‌شود:

(۱۱)

$$\tilde{A}C_1 = \tilde{C}F_A \times \tilde{A}/P = \tilde{C}F_A \times \left(\frac{i_{f21} \cdot (1+i_{f21})^{n_{O3}}}{(1+i_{f21})^{n_{O3}} - 1}, \frac{i_{f22} \cdot (1+i_{f22})^{n_{O2}}}{(1+i_{f22})^{n_{O2}} - 1}, \frac{i_{f23} \cdot (1+i_{f23})^{n_{O1}}}{(1+i_{f23})^{n_{O1}} - 1} \right)$$

که در این رابطه، $\tilde{A}C_1$ هزینه معادل یکنواخت سالانه ناشی از جریان نقدینگی در سال ابتدای عمر پروژه است که به صورت عدد فازی است (AC به معنای هزینه‌های سالانه[17] است)، $\tilde{i}_{f2}=(i_{f21},i_{f22},i_{f23})$ نرخ بهره متورم شده فازی (مثلثی) در دوران بهره‌برداری است و $\tilde{n}_O=(n_{O1},n_{O2},n_{O3})$ دوره عمر پروژه به صورت عدد فازی مثلثی است. در رابطه (۱۱)، $\tilde{A}/P$ به معنای فاکتور تبدیل ارزش فعلی به ارزش یکنواخت سالانه است. با توجه به این مسئله که در یک عدد فازی باید مقدار سمت چپ (در عدد مثلثی فازی) از مقدار سمت راست (در عدد فازی مثلثی) بیشتر باشد، در این رابطه، مقدار سمت چپ عدد فازی $\tilde{A}/P$ با استفاده از n_{O3} و i_{f21}، مقدار وسط (مودال) با استفاده از n_{O2} و i_{f22} و مقدار سمت راست با استفاده از n_{O1} و i_{f23} به دست می‌آید. حال کلیه هزینه‌های سالانه در دوران بهره‌برداری با هم جمع می‌شود:

$$\tilde{A}C=\tilde{A}C_1+\tilde{A}C_2=\left(AC^1,AC^2,AC^3\right) \qquad (۱۲)$$

که در آن $\tilde{A}C$، مجموع کلیه هزینه‌های ناشی از ساخت پروژه به صورت ارزش یکنواخت سالانه است، $\tilde{A}C_2$ هزینه‌های سالانه بهره‌برداری و نگهداری سیستم است و $\tilde{A}C_1$ مجموع هزینه‌های دوران ساخت است که تبدیل به ارزش یکنواخت سالانه شده است. حال همین مراحل برای فایده‌های به دست آمده در طول عمر پروژه پس از ساخت پروژه تکرار می‌شود. فایده‌های به دست آمده از احداث سیستم ریلی شامل دو بخش است. بخش اول آن فایده‌ای است که در سال آخر عمر پروژه به دست می‌آید و ناشی از ارزش اسقاطی سیستم است که رابطه معادل‌سازی آن به ارزش یکنواخت سالانه، به صورت رابطه (۱۳) است:

$$\tilde{A}B_1=(FF_1,FF_2,FF_3)\times\tilde{A}/F=(FF_1,FF_2,FF_3)\times \left(\frac{i_{f23}}{(1+i_{f23})^{n_{O2}}-1},\frac{i_{f22}}{(1+i_{f22})^{n_{O2}}-1},\frac{i_{f21}}{(1+i_{f21})^{n_{O1}}-1}\right) \qquad (۱۳)$$

که در این رابطه، $\tilde{F}F=(FF_1,FF_2,FF_3)$، فایده ناشی از ارزش اسقاطی پروژه به صورت عدد فازی مثلثی است که در آن FF نشانگر ارزش نهایی در پایان دوره عمر پروژه[18] است. $\tilde{A}B$، ارزش معادل سالانه این فایده‌ها است که AB به معنای فایده‌های سالانه[19] است. $\tilde{A}/F$ نشانگر فاکتور تبدیل ارزش آینده به ارزش یکنواخت سالانه است. با توجه به این مسئله که در یک عدد فازی باید مقدار سمت چپ عدد فازی مثلثی از مقدار سمت راست عدد فازی مثلثی بیشتر باشد. در این رابطه، مقدار سمت چپ عدد فازی $\tilde{A}/P$ با استفاده از n_{O2} و i_{f23}، مقدار وسط (مودال) با استفاده از n_{O2} و i_{f22} و مقدار سمت راست با استفاده از n_{O1} و i_{f21} به دست می‌آید. بخش دیگر فایده‌ها، فایده‌هایی است که در طول دوران بهره‌برداری به صورت یکنواخت و مساوی در هر سال به جامعه می‌رسد (ناشی از کاهش مصرف سوخت، کاهش زمان سفر، کاهش آلودگی محیط زیستی و مواردی از این دست). این بخش از فایده‌ها با $\tilde{A}B_2$ نشان داده می‌شود. حال، کلیه فایده‌ها با توجه به رابطه (۱۴) با یکدیگر جمع می‌شوند:

$$\tilde{A}B=\tilde{A}B_1+\tilde{A}B_2=\left(AB^1,AB^2,AB^3\right) \qquad (۱۴)$$

در این رابطه، $\tilde{A}B=\left(AB^1,AB^2,AB^3\right)$ عدد فازی مثلثی مجموع فایده‌ها است.

در انتهای کار، در صورتی که تمامی فایده‌ها محاسبه شوند (یعنی تمامی اطلاعات در دسترس باشند و هزینه بلیت و تبلیغات هم در آن دیده شود)، نسبت منافع به مخارج به صورت رابطه (۱۵)، محاسبه می‌شود و با توجه به آن، سناریوهای غیراقتصادی، از بین سناریوهای مورد بررسی حذف می‌شوند:

$$\tilde{A}B/\tilde{A}C=\left(AB^1/AC^2,AC^2/AC^2,AB^3/AC^1\right) \qquad (۱۵)$$

که در این رابطه $\tilde{A}B$ از رابطه (۱۴) و $\tilde{A}C$ از رابطه (۱۲) به دست می‌آیند. سناریوهای با نسبت فایده به هزینه کمتر از ۱، از بین سناریوهای مورد بررسی حذف می‌شوند (روش مقایسه یک عدد فازی با عدد ۱ در ادامه توضیح داده می‌شود). پس از آن برای انتخاب سناریوی برتر از بین چند سناریوی باقیمانده،

تغییرات نسبت فایده‌ها به هزینه‌ها بررسی می‌شود. اگر فرض شود دو سناریو که با اعداد ۱ و ۲ نشان داده می‌شوند باید با هم مقایسه شوند، نسبت تغییرات فایده به تغییرات هزینه برای این دو سناریو به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$\Delta AB / \Delta AC = \frac{\left(\overline{AB}_2 - \overline{AB}_1\right)}{\left(\overline{AC}_2 - \overline{AC}_1\right)} \qquad (۱۶)$$

در این رابطه ΔB نشانگر تغییرات کلیه فایده‌ها بین دو سناریو است که برابر $\Delta B = \Delta AB = \overline{AB}_2 - \overline{AB}_1$ است و ΔC نشانگر تغییرات کلیه هزینه‌ها بین دو سناریو است که برابر $\Delta C = \Delta AC = \overline{AC}_2 - \overline{AC}_1$ است. در این روابط، همان طور که در بالا توضیح داده شد، $\overline{AC}_1$ و $\overline{AC}_2$ به ترتیب عبارت‌اند از کلیه هزینه‌های سالانه سناریوی ۱ و سناریوی ۲ و $\overline{AB}_1$ و $\overline{AB}_2$ به ترتیب عبارت‌اند از کلیه فایده‌های سالانه سناریوی ۱ و سناریوی ۲. در صورت قرار دادن مقادیر فازی متغیرهای مذکور در رابطه (۱۶)، رابطه (۱۷) به دست می‌آید:

$$\left(\Delta AB^1 / \Delta AC^3, \Delta AB^2 / \Delta AC^2, \Delta AB^3 / \Delta AC^1\right) = \left(AB2^1 - AB1^1 / AC2^3 - AC1^3, AB2^2 - AB1^2 / AC2^2 - AC1^2, AB2^3 - AB1^3 / AC2^1 - AC1^1\right) \qquad (۱۷)$$

در این رابطه به دلیل اینکه باید مقدار سمت چپ عدد فازی مثلثی کوچک‌تر از مقدار سمت راست آن باشد، مقدار سمت چپ عدد فازی مثلثی مربوط به تغییرات فایده‌های دو سناریو ($AB2^1 - AB1^1$) بر مقدار سمت راست عدد فازی تغییرات هزینه‌های دو سناریو ($AC2^3 - AC1^3$) تقسیم می‌شود. با همین تفسیر بقیه مقادیر نیز به دست می‌آید. اگر عدد فازی به دست آمده از رابطه (۱۷) از عدد ۱ بیشتر باشد، آنگاه سناریوی دوم، سناریوی برتر است.

در شرایط تحلیل اقتصادی قطعی، در صورتی که تمامی فایده‌ها به دلایل مختلف (مانند کمبود داده و اطلاعات از فایده‌ها یا در نظر نگرفتن بعضی از آنها به دلیل مشکلات موجود در محاسبه آنها)، در محاسبات منظور نشده باشند (مانند فایده‌های ناشی از فروش بلیت، تبلیغات در مترو، کاهش تصادفات، کاهش آلودگی صوتی، افزایش قیمت زمینهای تملک شده توسط بهره‌بردار و مواردی از این دست)، مقایسه بین سناریوها برای تعیین سناریوی برتر، بین هزینه‌های سناریوها انجام می‌شود [Oskunejad, 2005]. همین امر برای تحلیل‌های اقتصاد مهندسی فازی نیز قابل استفاده است. به این منظور تفاضل فایده‌های هر پروژه (آن بخش که داده‌های آن در دسترس است و محاسبه شده است) از هزینه‌های آن با استفاده از رابطه (۱۸) به دست آورده می‌شود:

$$\overline{AC} - \overline{AB} = \left(AC^1 - AB^3,\ AC^2 - AB^2, AC^3 - AC^1\right) \qquad (۱۸)$$

که در آن $\overline{AC} = \left(AC^1, AC^2, AC^3\right)$ مجموع کلیه هزینه‌های سالانه سناریو و $\overline{AB} = \left(AB^1, AB^2, AB^3\right)$ مجموع کلیه فایده‌های یک سناریو است. سپس با مقایسه بین سناریوها، پروژه با هزینه کمتر به عنوان پروژه اقتصادی‌تر انتخاب می‌شود. البته توجه شود که تفاضل فایده‌ها از هزینه‌ها در این رابطه با جبر فازی انجام می‌شود.

همان طور که در قسمتهای قبل گفته شد، پس از انجام محاسبات و به دست آمدن تمامی فایده‌ها و هزینه‌ها، برای اینکه بتوان این مقادیر را که از سناریوهای مختلف به دست می‌آید با هم (و همچنین با عدد یک) مقایسه کرد، باید از یک روش فازی زدایی[۲۰] (غیرفازی سازی) و مقایسه بین سناریوها استفاده شود. روش استفاده‌شده در این پژوهش،روش[Khademi et.al 2013] است که برای مقایسه بین دو عدد فازی، ابتدا تکیه‌گاه[۲۱] هر کدام از این اعداد فازی (یعنی بازه بین بیشترین و کمترین مقدار یک عدد فازی) را به تعداد بی‌نهایت قسمت کوچک‌تر به هم پیوسته تقسیم می‌کند و سپس با استفاده از روابط گسترده و مبسوط ارائه‌شده در این مقاله، اولویت‌بندی اعداد فازی انجام می‌شود. با توجه به این روش، نرم‌افزار سادهای به نام Comparison of Fuzzy

Numbers طراحی شده است که در این پژوهش، رتبه‌بندی نهایی گزینه‌ها با توجه به این نرم‌افزار انجام می‌شود. برای استفاده از این نرم‌افزار می‌توان به تارنمای ("http://webpages.iust.ac.ir/khademi/supplementary") مراجعه کرد.

۵. مطالعه موردی متروی قم

در مطالعات متروی شهر قم و پس از بررسی سناریوهای مختلف، با توجه به شاخص‌های مختلف حمل‌ونقلی و ترافیکی، سه سناریوی ۱، ۲ و ۱۳ برای برآورد هزینه‌های اجرایی (ساخت و بهره‌برداری) انتخاب شدند. سناریوی شماره ۱ با عنوان *A* و سناریوهای شماره ۲ و ۱۳ با توجه به مشترک بودن بخشی از دو سناریو (قسمت شمالی مسیر این دو سناریو) به ترتیب با نامهای B و B۱ نام‌گذاری شده‌اند [Gozarrah Consulting Engineers, 2006].

در این پروژه، سال ابتدای شروع طرح، سال ۱۳۸۶ و سال انتهای طرح، سال ۱۴۱۶ است که در آن، مدت انجام مرحله مطالعات، ۳ سال، مرحله ساخت، آماده سازی و خرید تجهیزات لازم، ۷ سال و مرحله بهره‌برداری از قطار سبک شهری، ۲۰ سال در نظر گرفته شده است. با توجه به دلایل مختلف، ممکن است پروژه دقیقاً در این بازه‌های زمانی به اتمام نرسد و دیرتر یا زودتر از موعد پایان یابد، فرض می‌شود که حدود ٪۲۰ تغییر در مقادیر این سالها رخ دهد که با توجه به این مطلب، اعداد فازی مثلثی زیر به دست می‌آید:

- ✓ دوره ساخت: (۶/۵, ۷, ۴/۸) سال
- ✓ دوره بهره‌برداری: (۱۶, ۲۰, ۲۴) سال

مقدار ۲۰٪، یک فرض است که می‌تواند با توجه به شرایط مختلف از فرضیات دیگری نیز استفاده کرد. در صورتی که در دوران ساخت، مدیریت صحیحی بر پروژه اعمال نشود، ساخت پروژه به تعویق خواهد افتاد. همچنین در دوران بهره‌برداری در صورتی که تعمیر و نگهداری بموقع انجام نشود، دوره عمر پروژه کاهش می‌یابد. عکس این دو مورد هم ممکن است اتفاق بیافتد. از آنجا که شروع مطالعات متروی قم سال ۱۳۸۶ است، در این پژوهش فرض می‌شود که زمان انجام ارزیابی اقتصادی، سال ۱۳۸۶ است و اطلاعاتی در خصوص آنچه که در شرایط فعلی رخ می‌دهد در دست نیست؛ یعنی در این پژوهش، عملکرد تحلیل اقتصادی در شرایط عدم قطعیت با استفاده از نظریه مجموعه‌های فازی سنجیده می‌شود.

۵-۱ نرخ بهره

در گزارش ارزیابی اقتصادی متروی قم، نرخ بهره در طول مدت ساخت و بهره‌برداری این پروژه، ثابت و یکسان فرض نشده است، بلکه دو نرخ متفاوت یکی برای دوره ساخت و دیگری برای دوره بهره‌برداری در نظر گرفته می‌شود:

- ✓ نرخ بهره از سال ۱۳۸۹ (شروع ساخت) تا سال ۱۳۹۶ (آغاز بهره‌برداری): نرخ بهره، با در نظر گرفتن نرخ سود خالص اوراق مشارکت ملی (اوراق قرضه)، در طول دوران ساخت (۱۳۸۹ تا ۱۳۹۶)، ٪۵ منظور می‌شود. با توجه به اینکه نرخ بهره به رشد اقتصادی کشور بستگی دارد، تغییرات آن کم است؛ بنابراین میزان ٪۱۰ تغییر برای فازی کردن این نرخ در نظر گرفته می‌شود که با توجه به آن، نرخ بهره فازی (۵/۴, ۵, ۵/۵) در دوره ساخت به دست می‌آید.
- ✓ نرخ بهره از سال ۱۳۹۶ تا سال ۱۴۱۶ (دوره بهره‌برداری): این نرخ در طول دوره بهره‌برداری برابر ۹٪ فرض می‌شود. با فرض ۱۰٪ تغییر در این نرخ، نرخ بهره فازی (۹, ۹/۹, ۸/۱) به دست می‌آید.

۵-۲ نرخ تورم

در سند چشم‌انداز بیست‌ساله جمهوری اسلامی ایران (۱۴۰۴)، نرخ تورم در کشور در سال ۱۴۰۴ تک رقمی پیشبینی شده است که به همین دلیل، استفاده از نرخ تورم دوره ساخت که بر اساس

شرایط فعلی تعیین شده است، کارشناسی و علمی نیست و از این‌رو، برای عدم افزایش غیرمنطقی هزینه‌ها بر پایه اثر نرخ تورمی دو رقمی که قطعاً شرایط غیرواقعی از ارزیابی اقتصادی پروژه را انعکاس می‌دهد، برای دوران ساخت و بهره‌برداری پروژه، دو نرخ تورم مختلف تعیین می‌شود. البته مقدار سمت راست عدد فازی با فرض شرایط بدبینانه در نظر گرفته می‌شود:

* نرخ تورم از سال ۱۳۸۹ (شروع ساخت) تا سال ۱۳۹۶ (آغاز بهره‌برداری): برای تعیین این نرخ به این ترتیب عمل می‌شود که ابتدا، نرخ تورم ۱۰ سال قبل از سال شروع مطالعات (۱۳۸۶) با توجه به اطلاعات بانک مرکزی بررسی می‌شود و با گرد کردن رو به بالای میانگین این نرخها، نرخ تورم قطعی برای دوره ساخت (۱۳۸۹ تا ۱۳۹۶) به دست می‌آید. این نرخ برابر ۱۵/۵٪ است. برای دوره مطالعات که از سال ۱۳۸۶ تا ۱۳۸۹ است نیز همین نرخ در نظر گرفته می‌شود. با توجه به تغییرات نرخ تورم در بین سالهای ۱۳۸۷ تا ۱۳۹۱، درصد تغییر نرخ تورم در سالهای آینده (دوره ساخت و بهره‌برداری پروژه)، ۱۳٪ انتخاب می‌شود که با آن، مقدار سمت چپ عدد نرخ تورم فازی به دست می‌آید. مقدار سمت راست این نرخ با توجه به شرایط غیرقابل‌پیش‌بینی که ممکن است در کشور پیش آید، انتخاب می‌شود و برای تعیین مقدار سمت راست عدد نرخ تورم فازی از درصد تغییر استفاده نمی‌شود و فرض می‌شود مقدار تورم دو رقمی ۳۰٪ (با توجه به شرایط روز کشور) رخ دهد. با این توضیحات، نرخ تورم فازی در دوره ساخت برابر (۱۳/۴۹, ۱۵/۵, ۳۰) فرض می‌شود.

* نرخ تورم از سال ۱۳۹۶ تا سال ۱۴۱۵ (دوره بهره‌برداری): نرخ تورم قطعی برای دوره بهره‌برداری (۱۳۹۶ تا ۱۴۱۶) نیز با توجه به توضیحات فوق، برابر ۹٪ فرض می‌شود که مقدار سمت چپ عدد نرخ تورم فازی با توجه به ۱۳٪ درصد تغییر، برابر ۷/۸۳٪ است. مقدار سمت راست آن نیز برای پیش‌بینی شرایط بدبینانه، ۳۰٪ فرض می‌شود. توجه شود که مقدار سمت راست تورم، همزمان با مقدار سمت راست نرخ تبدیل ارز رخ می‌دهد. یعنی در رابطه ارزیابی اقتصادی فازی، مقدار سمت راست نرخ تورم و نرخ تبدیل ارز به طور همزمان اعمال می‌شوند. با توجه به این توضیحات، نرخ تورم فازی در دوره بهره‌برداری، برابر عدد فازی (۷/۸۳, ۹, ۳۰) در نظر گرفته می‌شود.

۵-۳ نرخ بهره متورم شده

این نرخ، همان طور که در قسمت قبل (۵-۴) عنوان شد، از رابطه (۲) و به صورت زیر به دست می‌آید:

از سال ۱۳۸۹ تا سال ۱۳۹۶ (۱۸/۶, ۲۱/۳, ۳۷/۲) = (۱۵/۵, ۳۰

(۱۳/۴۹, ۱۵/۵, ۳۰)+ (۴/۵, ۵, ۵/۵) × (۱۳/۴۹, ۱۵/۵, ۳۰) + (۴/۵, ۵, ۵/۵)

از سال ۱۳۹۶ تا سال ۱۴۱۶ (۱۸/۸, ۴۲/۹)

(۱۶/۶, ۹/۹)+ (۷/۸۳, ۹, ۳۰)+ (۸/۱, ۹, ۹/۹) × (۷/۸۳, ۹, ۳۰) = (۸/۱, ۹,

در محاسباتی که برای تبدیل ارزش زمانی پول انجام می‌شود، تنها از نرخ بهره متورم شده استفاده خواهد شد که ترکیبی از نرخ بهره و نرخ تورم است.

۵-۴ نرخ تبدیل ارز

بخشی از تجهیزات سیستم ریلی و واگنهای آن از واردات به دست می‌آید. تمامی هزینه‌های مربوط به خرید واگن و تجهیزات مربوط به آن، واردکردن آنها از دیگر کشورهای سازنده واگن و تجهیزات مرتبط با آن، در دوره بهره‌برداری (سال ۱۳۹۶ تا ۱۴۱۵) انجام می‌شود. تعدادی از این کالاها نیز در سال ابتدای بهره‌برداری و تعدادی نیز در بین دوره بهره‌برداری خریداری می‌شوند. از آنجا که همه خریدها در دوره بهره‌برداری انجام می‌شود، تنها یک نرخ تبدیل ارز در نظر گرفته می‌شود. این نرخ از بانک مرکزی به دست آمده است. مقدار درصد تغییرات این نرخ با توجه به نوسانات زیاد آن، ٪۱۰۰ فرض می‌شود و مقدار نرخ تبدیل ارز برابر عدد فازی (۴۵۰۰۰ و ۳۰۰۰۰ و ۱۵۰۰۰) ریال بر هر دلار به دست می‌آید.

۵-۵ مجموع هزینه‌های پروژه و انتخاب سناریوی برتر

در این قسمت با تفاضل تمامی فایده‌های به دست آمده از اجرای پروژه متروی قم از تمامی هزینه‌های انجام‌شده برای آن، عددی فازی به دست می‌آید که با مقایسه آنها، سناریوی برتر انتخاب می‌شود. در جدول ۲، مجموع مقادیر هزینه‌ها و فایده‌ها که تبدیل به ارزش یکنواخت سالانه شده است، نشان داده می‌شود. این مقادیر شامل هزینه‌های مستقیم احداث و بهره‌برداری سیستم مترو و فایده‌های ناشی از کاهش زمان سفر، مصرف بنزین، مصرف گازوییل و آلودگی هوا هستند. در این جدول، از رابطه (۱۸) استفاده می‌شود و مقادیر هزینه با علامت مثبت و مقادیر فایده با علامت منفی وارد محاسبات می‌شوند. البته توجه شود که تفاضل فایده‌ها از هزینه‌ها با جبر فازی انجام می‌شود.

بنابراین در پایان این ارزیابی اقتصادی، سه عدد فازی به دست می‌آید که هر کدام نشان‌دهنده کلیه هزینه‌های احداث خطوط متروی قم A، B_1 و B_2 هستند. برای انتخاب سناریوی برتر از بین این سه سناریو، نیاز به استفاده از یکی از روش‌های مقایسه اعداد فازی است. همان طور که در فصل سوم عنوان شد، در این پژوهش از روش مقایسه [Khademi et.al 2013] استفاده می‌شود. با استفاده از نرم‌افزاری که با توجه به این روش ساخته شده است، مقایسه بین سناریوها انجام می‌شود. نتایج خروجی این نرم‌افزار در شکل ۳ به عنوان مثال (در شکل سمت راست)، این نرم‌افزار، تنها دو عدد فازی به نام‌های A و B می‌گیرد و به مقایسه آنها می‌پردازد. به همین دلیل برای اولویت‌بندی همه اعداد فازی باید اعداد فازی نهایی مرتبط با هر سناریو را دو به دو با یکدیگر مقایسه کرد. انتخاب اینکه از کدام دو سناریو شروع به مقایسه شود و اینکه کدامیک به عنوان عدد A و کدامیک به عنوان عدد B در نرم‌افزار شناسایی شوند، اختیاری است. در قسمت First Fuzzy Number (A)، عدد فازی اول تعریف می‌شود. مقدار سمت چپ عدد فازی A در قسمت a1. First Point، مقدار وسط (مودال) در قسمت a2. Second Point و مقدار سمت راست در قسمت a3. Third Point وارد می‌شود. عدد فازی B نیز به همین صورت وارد می‌شود. سپس با انتخاب گزینه Relatively Rank و کلیک بر روی گزینه Calculate، شاخصهای R(A) و R(B) برای هر عدد محاسبه و اشکال آنها ترسیم می‌شود و مقایسه دو عدد در زیر کردار انجام می‌شود. در این مقاله، مقایسه سناریوهای A و B_2 در سمت راست و مقایسه سناریوهای B_1 و B_2 در سمت چپ شکل ۳ انجام‌شده‌اند. با توجه به این نرم‌افزار، سناریوی A نسبت به سناریوی B_2 و سناریوی B_2 نسبت به سناریوی B_1 در اولویت قرار دارد.

بنابراین می‌توان هر سه سناریو را اولویت‌بندی کرد. این مسئله در جدول ۳ دیده می‌شود.

بنابراین با توجه به این روش، به ترتیب اولویت، سناریوهای A، B_2 و B_1 به عنوان سناریوهای برتر انتخاب می‌شوند. البته هزینه‌هایی که در این جدول دیده می‌شود، هزینه‌هایی است که اثر عدم قطعیت در نرخ بهره، نرخ تورم، نرخ تبدیل ارز و عدم قطعیت‌های ناشی از سوء مدیریت و ناشناخته‌های کشور در آن

جدول ۲. ارزش یکنواخت سالانه مجموع کلیه هزینه‌ها و فایده‌های سناریوها در دوره بهره‌برداری (میلیارد ریال)

شماره جدول	A			B_1			B_2		
هزینه‌های مستقیم احداث و بهره‌برداری	۰۰/۲۱۵۴۸	۶۷/۳۳۰۴	۰۹/۱۹۵۰	۷۴/۵۰۸۳۱	۱۲/۷۶۶۹	۰۳/۴۴۰۰	۰۹/۳۲۰۳۲	۳۱/۵۲۴۳	۰۲/۲۹۳۸
کاهش زمان سفر	۱۹/۱	۱۵/۰	۰۹/۰	۳۳/۴۴	۴۳/۵	۱۹/۳	۰۴/۴۴	۳۹/۵	۱۷/۳
کاهش مصرف بنزین	۷۴/۰	۲۲/۰	۱۰/۰	۴۳/۴۱	۴۸/۱۲	۴۶/۵	۹۵/۴۲	۹۳/۱۲	۶۶/۵
کاهش مصرف گازوییل	-۰۲/۰	-۰۰۵/۰	-۰۰۲/۰	۱۰/۱	۳۳/۰	۱۵/۰	۲۱/۱	۳۶/۰	۱۶/۰
کاهش آلودگی هوا	۲۵/۰	۰۴/۰	۰۲/۰	۳۵/۱۱	۷۴/۱	۰۰/۱	۳۸/۱۱	۷۶/۱	۰۰/۱
تفاضل فایده‌ها از هزینه‌ها	**۸۳/۲۱۵۴۵**	**۲۷/۳۳۰۴**	**۸۹/۱۹۴۹**	**۵۳/۵۰۷۳۳**	**۱۲/۷۶۴۹**	**۲۴/۴۳۹۰**	**۶۱/۳۱۹۳۲**	**۸۵/۵۲۲۲**	**۰۳/۲۹۲۸**

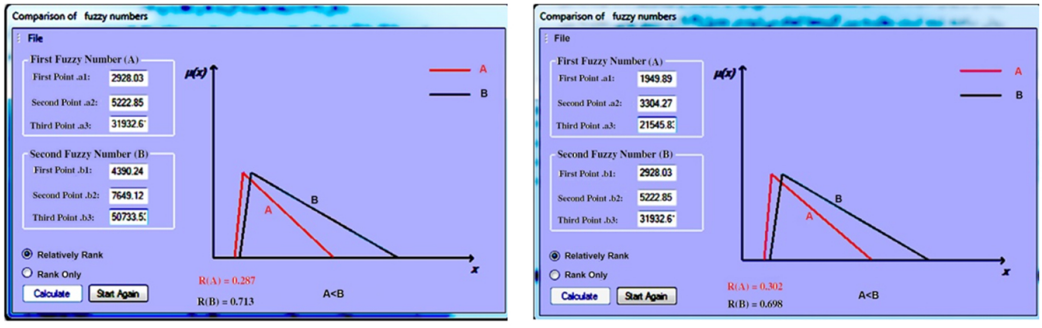
دیده شده است. عدد نهایی فازی تفاضل فواید از هزینه‌های این سناریوها در شکل ۴ دیده می‌شود.

همان طور که در این شکل دیده می‌شود، مجموع هزینه‌های نهایی سناریوی A از سناریوی B_2و مجموع هزینه‌های سناریوی B_2 از سناریوی B_1 کمتر است و به همین ترتیب سناریوهای برتر مشخص می‌شوند. نکته‌ای که می‌توان در این شکل دید این است که بازه‌ای که محدوده هر کدام از این سناریوها بر روی محور x را مشخص می‌کند (یعنی تکیه‌گاه عدد فازی) در سناریوی A کمتر از سناریوی B_2و این سناریو کمتر از سناریوی B_1 است و این به این معناست که در صورتی که بدترین شرایط در خصوص عدم قطعیت پیش آید، بیشترین هزینه‌ای که در سناریوی A باید انجام شود از دیگر سناریوها کمتر است درحالی‌که اگر همین شرایط برای سناریوهای دیگر رخ دهد، هزینه‌های سناریو، افزایش زیادی خواهد داشت. نکته دیگری که می‌توان از این شکل دریافت، این است که در صورتی که شرایط بدبینانه برای گزینه B_2رخ دهد، هزینه‌های آن تا حدود ۵ برابر مقدار وسط (مودال) آن افزایش می‌یابد که این به‌آن معناست که انتخاب سناریوی B_2با ریسک زیادی روبروست. همچنین اگر بدترین شرایط عدم قطعیت سناریوی A پیش بیاید و هزینه‌های این پروژه به سمت مقادیر راست این عدد فازی میل کند و در همین حال، بهترین شرایط عدم قطعیت (یعنی عدم قطعیت کم) برای سناریوی B_2رخ دهد، آنگاه انتخاب سناریوی B_2 به صرفه‌تر و اقتصادی‌تر از سناریوی A است؛ البته این مسئله در صورتی برقرار است که این دو سناریو مستقل از هم باشند و پارامترهای مؤثر در تغییر هزینه‌های یک سناریو، مستقل از پارامترهای تغییر هزینه‌های سناریوی دیگر باشد. همین حالت می‌تواند بین سناریوهای B_2و B_1 اتفاق بیافتد.

برای مقایسه روش فازی و روش قطعی، در جدول ۴، نتایج حاصل از ارزیابی اقتصادی قطعی (غیر فازی) پروژه متروی قم آورده می‌شود [Gozarrah Consulting Engineers, 2006]. در ارزیابی اقتصادی پروژه متروی قم، از روش ارزش آینده استفاده شده است که برای قابل‌مقایسه شدن بین مقادیر به دست آمده از این روش با مقادیر به دست آمده از روش ارزش یکنواخت سالانه (مورد استفاده در این پژوهش)، باید با استفاده از رابطه (۱۹)، این مقدار (قطعی) به ارزش یکنواخت سالانه تبدیل شود [Oskunejad, 2005]:

$$A = NFV \frac{i}{(1+i)^n - 1} \qquad (۱۹)$$

که در این رابطه، NFV برابر مقدار ارزش خالص آتی[۲۱]، i نرخ بهره متورم شده، n دوره عمر پروژه و A مقدار ارزش یکنواخت



شکل ۳. نتیجه مقایسه سناریوها (مقایسه سناریوهای A و B_2 در سمت راست و مقایسه سناریوهای B_1 و B_2 در سمت چپ)

جدول ۳. مقایسه بین نتایج نهایی سناریوها و انتخاب سناریوی برتر (میلیارد ریال)

سناریوها	A			B_1			B_2		
عدد نهایی تفاضل فایده‌ها از هزینه‌ها	۸۳/۲۱۵۴۵	۲۷/۳۳۰۴	۸۹/۱۹۴۹	۵۳/۵۰۷۳۳	۱۲/۷۶۴۹	۲۴/۴۳۹۰	۶۱/۳۱۹۳۲	۸۵/۵۲۲۲	۰۳/۲۹۲۸
نتایج اولویت‌بندی	۱			۳			۲		

سالانه است.

در شکل ۵، نتایج ارزیابی اقتصادی فازی و قطعی با یکدیگر مقایسه می‌شوند.

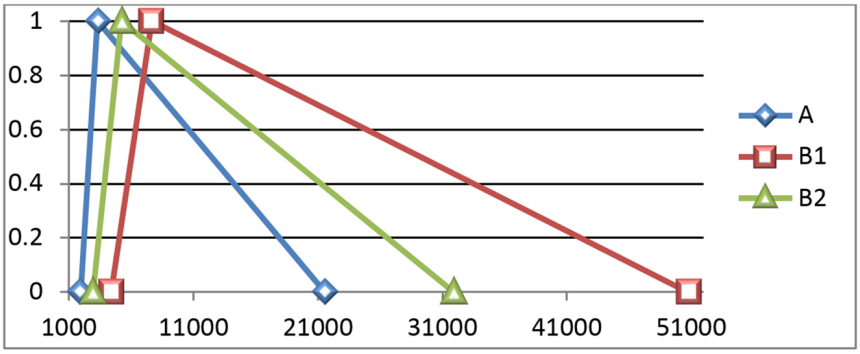
همان طور که در این شکل دیده می‌شود، از آنجا که در ارزیابی قطعی پروژه قم، اثر نرخ بهره، نرخ تبدیل ارز، شرایط عدم قطعیت موجود و مواردی مانند آن در نظر گرفته نشده است، هزینه‌های برآورد شده در آن کمتر از روش فازی است. همچنین با توجه به نتایج، دیده می‌شود که سناریوی A از دیگر سناریوها هزینه کمتری دارد و همچنین در صورت اتفاق افتادن شرایط بدبینانه، تغییرات هزینه‌های آن به اندازه سناریوهای دیگر نیست و بنابراین به عنوان سناریوی برتر انتخاب می‌شود.

۶. اعتبارسنجی روش فازی

اعتبارسنجی روابط ارزیابی اقتصادی فازی و مقایسه آنها با روابط ارزیابی اقتصادی قطعی به صورت پارامتری و همچنین مقایسه نزدیکی آنها به واقعیت، نیازمند انجام یک مثال موردی است تا بتوان هزینه‌های شرایط فعلی (واقعیت) را با هزینه‌های پیش‌بینی‌شده مقایسه کرد.

همچنین با توجه به طولانی بودن روابط ارزیابی اقتصادی فازی، انجام اعتبارسنجی پارامتری بسیار طولانی و پیچیده خواهد بود و با توجه به محدودیت حجم مقاله نمی‌توان آن را در این مقاله گنجاند.

بنابراین به جای مقایسه پارامتری، مقایسه این دو روش با مثال عددی انجام می‌شود. در واقع به جای یک رابطه پارامتری طولانی، از یک عدد که نتیجه آن رابطه است استفاده می‌شود. برای این‌کار، با توجه به اطلاعات در دسترس از متروی قم، ابتدا بخشی از هزینه‌های ساخت این مترو (هزینه ساخت تونل دو خطه) با توجه به فهرست بهای سال ۱۳۹۲ و فهرست بهای سال ۱۳۸۶ محاسبه می‌شود و با سپس با روابط اقتصاد مهندسی قطعی و فازی، به ارزش ریالی آن در سال ۱۳۹۲ تبدیل می‌شود. در واقع قصد بر این است که مقدار حقیقی این هزینه (با توجه به فهرست بهای سال ۱۳۹۲) را با مقدار تخمینی آن (با توجه به فهرست بهای سال



شکل ۴. اعداد فازی ارزش یکنواخت سالانه هزینه نهایی سناریوهای مختلف (میلیارد ریال)

جدول ۴. ارزیابی اقتصادی غیر فازی پروژه متروی سبک قم

نام سناریوها	A	B۱	B۲
مجموع هزینه‌ها در سال ۱۴۱۶(میلیارد ریال)	۳۵۸۱۹	۵۵۶۶۷	۴۴۳۴۸
نرخ تورم فرض شده در دوره بهره‌برداری	۹٪	۹٪	۹٪
عمر مفید	۲۰ سال	۲۰ سال	۲۰ سال
ارزش یکنواخت سالانه در دوره بهره‌برداری با استفاده از رابطه (۱۹) (میلیارد ریال)	۱۴/۷۰۰	۰۹/۱۰۸۸	۸۵/۸۶۶

۱۳۸۶ که با روابط اقتصاد مهندسی قطعی و فازی به ارزش سال ۱۳۹۲ تبدیل شده است) مقایسه شود. برای این‌کار ابتدا مقادیر هزینه‌های ساخت یک متر تونل دو خطه با توجه فهرست بهای سال ۱۳۸۶ و ۱۳۹۲ محاسبه می‌شود.

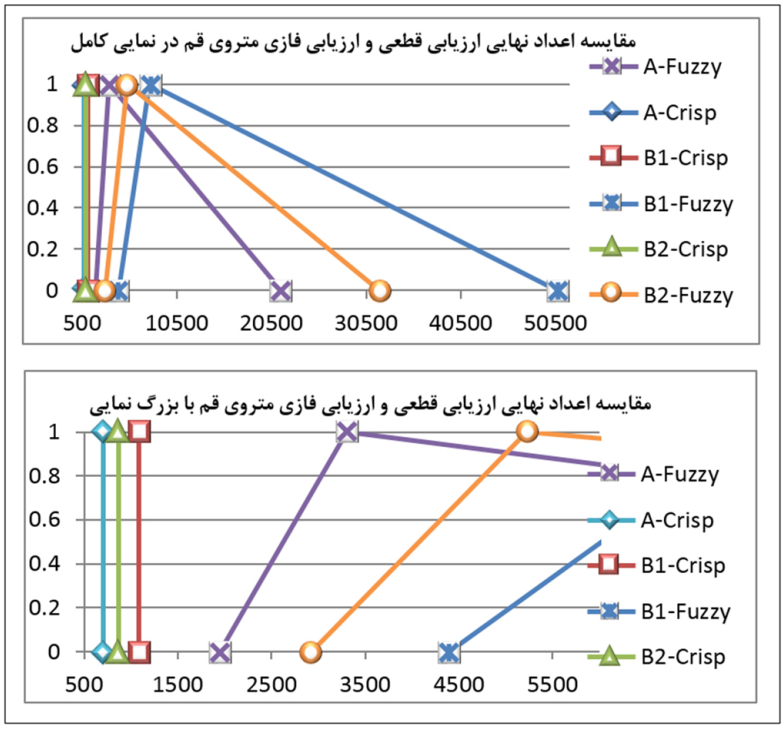
این مقادیر در جدول ۵ دیده می‌شوند:برای تبدیل ارزش ریالی هزینه‌های برآوردی در سال ۱۳۸۶ به ارزش ریالی آن در سال ۱۳۹۲، باید از رابطه (۲۰) که از منبع [Oskunejad, 2005] به دست آمده است استفاده کرد.

$$F = P\left(1+i\right)^{n} \qquad (۲۰)$$

که در این رابطه، P، برابر مقدار ارزش خالص فعلی (هزینه‌های سال ۱۳۸۶)، $\tilde{i}$ نرخ بهره متورم شده فازی، n فاصله بین سال ۱۳۸۶ و ۱۳۹۲ (شش سال) و F مقدار ارزش آینده (سال ۱۳۹۲) است.

حال با استفاده از این رابطه، ارزش ریالی این هزینه‌ها با دو روش فازی (که نرخ بهره متورم شده فازی در آن استفاده می‌شود) و روش قطعی (با توجه به گزارش ارزیابی اقتصادی متروی قم، تنها نرخ تورم در نظر گرفته می‌شود) محاسبه می‌شود که در جدول ۶ نشان داده شده است.

توجه شود که مقدار P در هر دو روش برابر ۸۸/۷۲ میلیارد ریال و مقدار n برابر ۶ سال است.با توجه به این جدول می‌توان مشاهده کرد که عدد به دست آمده با توجه به نرخ تورم قطعی استفاده‌شده در ارزیابی اقتصادی متروی قم (روش قطعی)، با مقدار برآورد شده از فهرست بهای سال ۱۳۹۲ (۵۳/۲۹۷) حدود ۴۱ ٪ اختلاف دارد که اختلاف زیادی است، در صورتی که با استفاده از نرخ تورم فازی، عدد فازی مثلثی (۷۶/۵۹۱ , ۶۱/۲۸۲ , ۹۰/۲۴۶) میلیارد ریال در هر کیلومتر به دست می‌آید و همان طور که



شکل ۵. مقایسه اعداد نهایی ارزیابی قطعی و ارزیابی فازی متروی قم

جدول ۵. مجموع هزینه‌های احداث یک متر تونل دو خطه (ریال) [Abbastabar, 2013]

مجموع هزینه‌های احداث یک متر تونل دو خطه با توجه به فهرست بهای سال ۱۳۸۶	۸۸,۷۲۰,۰۰۰
مجموع هزینه‌های احداث یک متر تونل دو خطه با توجه به فهرست بهای سال ۱۳۹۲	۲۹۷,۵۲۶,۰۰۰

مشاهده می‌شود، مقدار ۵۳/۲۹۷ در تکیه‌گاه این عدد فازی قرار دارد و با مقدار میانی این عدد فازی، حدود ۳/۵٪ اختلاف دارد و این مقدار، اختلاف کمی است. این مسئله در شکل ۶ دیده می‌شود.

۷. جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

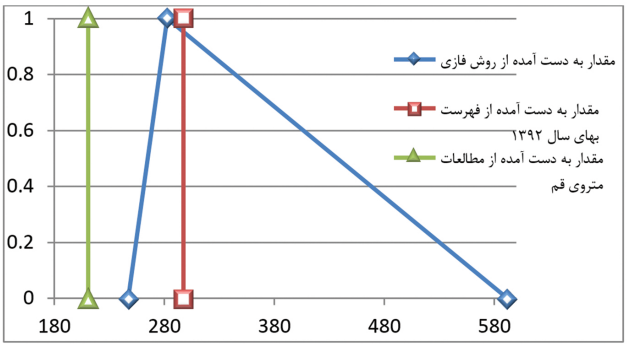
با توجه به مطالب عنوان‌شده در قسمت‌های گذشته و با در نظر گرفتن فرضیات صورت گرفته برای اعداد و ارقام بکاررفته در این مقاله و در نظر داشتن محدودیتهای انجام این پژوهش، می‌توان نتیجه‌گیری‌هایی انجام داد. از آنجا که عدم قطعیت در بسیاری از ارزیابی‌های اقتصاد مهندسی پروژه‌ها وجود دارد و با توجه به اعتبارسنجی انجام‌شده در این مقاله، به نظر می‌رسد که نتایج به دست آمده از روش ارزیابی اقتصادی فازی برای در نظر گرفتن این عدم قطعیت‌ها به جواب مناسبی رسیده باشد. در صورت در نظر نگرفتن عدم قطعیتها، مقادیر به دست آمده برای هزینه‌ها و فایده‌های به دست آمده از پروژه، دارای خطای زیادی می‌شود که گاهی موجب انتخاب سناریوی غیراقتصادی و تحمیل هزینه‌های زیاد به کشور و جامعه و همچنین طولانی شدن دوره ساخت پروژه‌ها به دلیل کمبود منابع مالی می‌شود.

با استفاده از نظریه مجموعه‌های فازی و بکار بردن جبر فازی، می‌توان ارزیابی اقتصادی موجه‌تری را برای پروژه‌هایی که متغیرهای آن، دارای عدم قطعیت هستند؛ ولی اطلاعات قبلی از آنها، کم و ناقص است انجام داد. همچنین با مشاهده نتایج خروجی به صورت اعداد فازی، این مسئله را می‌توان مشاهده کرد که در صورت وقوع خوش‌بینانه‌ترین و بدبینانه‌ترین شرایط، هزینه‌های پروژه چه مقدار تغییر می‌کند و در شرایط مختلف، کدامیک از پروژه‌ها اقتصادی‌تر است.

به طور کلی می‌توان نظریه مجموعه‌های فازی را به عنوان ابزاری برای در نظر گرفتن عدم قطعیت‌های محاسبه یک متغیر اقتصادی در نظر گرفت که می‌تواند در کنار دیگر نظریه‌ها (مانند نظریه

جدول ۶. ارزش ریالی تخمینی هزینه احداث یک متر تونل دو خطه در سال ۱۳۹۲

	روش فازی	روش قطعی (غیر فازی)
مقدار متغیر i	$(۱۸/۶,۲۱/۳,۳۷/۲)/۱۰۰$	۱۵.۵٪
محاسبات انجام‌شده	$۸۸/۷۲\times\left(۱+\frac{(۱۸/۶,۲۱/۳,۳۷/۲)}{۱۰۰}\right)^{۶}$	$۸۸/۷۲\times(۱+۰/۱۵۵)^{۶}$
مقدار نهایی هزینه تخمینی در سال ۱۳۹۲ (میلیارد ریال در هر کیلومتر)	$(۲۴۶/۹۰,۲۸۲/۶۱,۵۹۱/۷۶)$	۲۱۰/۶۳



شکل ۶. مقادیر هزینه احداث یک متر تونل دو خطه در سه حالت مختلف

احتمالات) آن را بکار برد. در این مقاله از تابع عضویت مثلثی برای متغیرهای دارای عدم قطعیت استفاده شده است و می‌توان در پژوهشهای آتی از دیگر توابع عضویت استفاده و مدلهای دیگری را ارائه کرد.

به هر حال، نظریه مجموعه‌های فازی، نسبت به دیگر نظریه‌ها از قدمت کمتری برخوردار است و بنابراین، به ویژگیهای مختلف این نظریه و استفاده از آن برای حل مسائل اقتصادی، کمتر پرداخته شده است و به نظر می‌رسد که این نظریه در ابتدای مسیر خود در این وادی قرار دارد و می‌توان انتظار داشت که در آینده استفاده‌های بیشتری از این نظریه صورت گیرد.

در مورد مطالعه موردی صورت گرفته در این مقاله، نتایج نشان می‌دهد که در صورت در نظر گرفتن متغیرهای ارزیابی اقتصادی به شکل فازی، اگرچه سناریوی نهایی مورد قبول در متروی قم همان سناریوی به دست آمده از ارزیابی اقتصادی غیرفازی (قطعی) است، اما میزان هزینه‌های آن افزایش می‌یابد که ممکن است در صورت در نظر نگرفتن این هزینه‌ها، اعتبارات لازم برای اتمام پروژه تأمین نشده و اجرای آن طولانی گردد. در آینده با توجه به پیشرفت و گسترش روابط و کارکردهای این نظریه، انتظار می‌رود که شاهد توسعه بهتری از آن در زمینه علم اقتصاد (بویژه اقتصاد حمل‌ونقل) باشیم.

۸. سپاسگزاری

این مقاله مستخرج از پایان‌نامه کارشناسی ارشد نویسنده اول در دانشکده فنی دانشگاه تهران با عنوان «تحلیل فازی هزینه-فایده پروژه‌های سیستمهای ریلی برای پوشش عدم قطعیت در اجرای پروژه بر اساس زمانبندی: مطالعه موردی سیستم متروی قم» با مشاوره و هدایت نویسندگان دوم و سوم مقاله است. در این راستا لازم است از همکاری معاونت حمل‌ونقل و ترافیک شهرداری قم که با در اختیار دادن داده‌ها و تحلیلهای مربوط به ارزیابی اقتصادی متروی شهر قم، ما را در انجام این پژوهش یاری رساندند سپاسگزاری شود. همچنین از آقای مهندس احمدرضا غفاری و دکتر علی نادران که با ارائه گزارش مطالعات اقتصادی مربوط به شهر ارومیه به انجام این پژوهش همکاری کردند، قدردانی می‌شود.

۹. پی‌نوشت‌ها

1- Cost/Benefit Analysis (CBA)

2- Time Value of Money (TVM)

3- Transit Cooperative Research Program (TCRP)

4- Scenario

5- Net Present Value

6- Net Future Value

7- Benefit/Cost

8- Federal Highway Administration

9- Cash Flow

10- Triangular Fuzzy Number (TFN)

11- Smallest Possible Value

12- Most Promising Value

13- Largest Possible Value

14- Equivalent Uniform Annual Value (EUAV)

15- Construction

16- Operating

17- Annual Cost

18- Final Future Value

19- Annual Benefit

20- Defuzzification

21- Support

۱۰. مراجع

- Abbastabar, Sajjad (2013) "Fuzzy benefit/Cost analysis of rail transit projects considering uncertainties in the Construction Schedule of the project: The case study of Qom Metro System", Theses of Master of Science, College of Engineering, University of Tehran. Tehran, Iran (in Persian).

-Abtahi, S.M.(2012) "Economic and financial studies of Shahinshahr rail system alternatives", Isfahan Metro Company, Isfahan Municipality, Isfahan, Iran (in Persian).

-Bristow, A. and Nellthorp, J. (2000) "Transport project appraisal in the European Union", Transport policy,7(1), pp. 51-60.

-Choobineh, F. and Behrens, A. (1992) "Use of intervals and possibility distributions in economic analysis", Journal of the operational research society, 43(9), pp. 907-918.

-Dimitrovski, A. and Matos, M. (2008) "Fuzzy present worth analysis with correlated and uncorrelated cash flows", in Fuzzy Engineering Economics with Applications, Kahraman, C. (ed.), Springer, pp. 11-41.

-Dimitrovski, A. and Matos, M. (2000) "Fuzzy engineering economic analysis [of electric utilities]", Power Systems, IEEE Transactions , 15(1), pp. 283-289.

-Gozarrah Consulting Engineers (2006) "Feasibility study of Qom urban rail system", Qom Municipality, Qom, Iran (in Persian).

-Kahraman, C. (2001) "Fuzzy versus probabilistic benefit/cost ratio analysis for public works projects", Mathematics And Computer Science, 11(3), pp. 705-718.

-Kahraman, C. (2008) "Fuzzy sets in engineering economic decision-making", in Fuzzy Engineering Economics with Applications, Springer, pp. 1-9.

-Kahraman, C. (2008) "Investment analyses using fuzzy decision trees", in Fuzzy Engineering Economics with Applications, Springer, pp. 231-242.

-Kahraman, C. and Demircan, M. (2008) "Fuzzy replacement analysis", in Fuzzy Engineering Economics with Applications, Kahraman, C. (ed.), Springer, pp. 145-157.

-Kahraman, C., Demirel, T. and Demirel, N. (2008) "Effects of inflation under fuzziness and Some applications", in Fuzzy Engineering Economics with Applications, Kahraman, C. (ed.), Springer, pp. 173-182.

-Kahraman, C. and Kaya, I. (2008) "Fuzzy equivalent annual-worth analysis and applications", in Fuzzy Engineering Economics with Applications, Kahraman, C. (ed.) Springer, pp. 71-81.

-Kahraman, C. and Kaya, I. (2008) "Depreciation and income tax considerations under fuzziness", in Fuzzy Engineering Economics with Applications, Kahraman, C. (ed.), Springer, pp. 159-171.

-Kahraman, C. and Kaya, I. (2008) "Fuzzy benefit/cost analysis and applications", in Fuzzy Engineering Economics with Applications, Kahraman, C. (ed.), Springer, pp. 129-143.

-Kahraman, C., Tolga, E. and Ulukan, Z. (1998) "Justification of manufacturing technologies using fuzzy benefit/cost ratio analysis", International Journal of Production Economics, 66(1), pp. 45-52.

-Khademi, N., Rajabi, M., Shariat, A. and Shahi, J. (2013) "Deriving fuzzy inequalities using discrete approximation of fuzzy numbers", International Journal of Industrial Engineering, 24(3), pp. 207-216.

-Khisty, C. and Lall, B. (1998) "Transportation engineering", Prentice Hall Upper Saddle River.

-Kuchta, D. (2008) "Fuzzy rate of return analysis and applications", in Fuzzy Engineering Economics with Applications, Kahraman, C. (ed.), Springer, pp. 97-104.

-Kuchta, D. (2008) "Optimization with fuzzy present worth analysis and applications", in Fuzzy Engineering Economics with Applications, Kahraman, C. (ed.), Springer, pp. 43-69.

-Liou, T. and Chen, C. (2006) "Fuzzy decision analysis for alternative selection using a fuzzy annual worth criterion", The Engineering Economist, 51(1), pp. 19-34.

-Matos, M. and Dimitrovski, A. (2008) "Case studies using fuzzy equivalent annual worth analysis", in Fuzzy Engineering Economics with Applications, Kahraman, C. (ed.), Springer, pp. 83-95.

-Omitaomu, O. and Badiru, A. (2007) "Fuzzy present value analysis model for evaluating information system projects", The Engineering Economist, 52(2), pp. 157-178.

-Oskunejad, M.M. (2005) "Engineering economics", Amirkabir University Press, Tehran, Iran (in Persian).

-Sewastjanow, P. and Dymowa, L. (2008) "On the fuzzy internal rate of return", in Fuzzy Engineering

Economics with Applications, Kahraman, C. (ed.), Springer, pp. 105-128.

-SPASM (1998) "Sketch planning analysis spreadsheet model", Federal Highway Administration (FHWA).

-STEAM2 (2001) "Surface transportation efficiency analysis model", Cambridge Systematics.

-Tarh-e-Haftom Consulting Engineers (2009) "Comrehensive transportation study of Urmia", Urmia Municipality , Urmia , Iran (in Persian).

-TCRP Report 78 (2002) "Estimating the benefits and costs of public transit projects: A guidebook for practitioners", Transit Cooperative Research Program, National Academy Press, Washington DC.

-Van Wee, B. (2012) "How suitable is CBA for the ex-ante evaluation of transport projects and policies? A discussion from the perspective of ethics", 19(1), Transport Policy, pp. 1-7.

-Wang, M. and Liang, G. (1995) "Benefit/cost analysis using fuzzy concept", Engineering Economist, 40(4), pp. 359-376.

پیوست: اثرات سیستم حمل‌ونقل (هزینه‌ها و فایده‌ها) بر جامعه جدول پیوست ۱. مقایسه جامع ارزیابی اقتصادی فازی در مراجع مختلف

ردیف	نویسنده	سال	عدد فازی	پارامترهای اقتصادی										روش اولویت‌بندی گزینه‌ها
				دوره عمر	تعداد دوره در سال	نرخ بهره	نرخ تورم	نرخ مالیات	هزینه سرمایه گذاری اولیه	ارزش یکنواخت سالیانه	A/P (۱)	P/A (۲)	A/F (۳)	F/A (۴)	F/P (۵)	P/F (۶)	ارزش اسقاطی	
۱	Mao-Jiun Wang Gin-Shuh Liang	۱۹۹۵	ذوزنقه‌ای	✓		✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓				✓	B/C (EUAV)7)) DB/DC (NPV)8))
۲	Cengiz kah-raman	۲۰۰۸	هر نوع	✓	*	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓			✓	Integral Value (EUAV)9))
۳	Cengiz Kah-raman İhsan Kaya	۲۰۰۸	مثلثی	✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓			✓	Degree of Bigness A to B (EUAV) 10))
۴	Dorota Kuchta	۲۰۰۸	ذوزنقه‌ای	✓		✓		✓	✓	✓	✓	✓						IRR (NPV)محاسبه و آنها کارت زدن و نرخ بهره (NPV,EUAV) B/C
۵	Cengiz Kah-raman	۲۰۰۱	مثلثی	✓		✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓					با دو روش chiu و kaufmann DB/DC (NPV) DB/DC (EUAV)
۶	Cengiz Kah-raman İhsan Kaya	۲۰۰۸	مثلثی	✓	*	✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓			✓	همانند مورد ۵
۷	Olufemi A. Omitao Adedeji B. Badiru	۲۰۰۷	مثلثی	✓					✓								✓	Max&COA[Center Of Area] (NPV) (۱۱) Sum &COA(NPV)۱۲)) Max&MPV[MeanPresentValue] (NPV)(۱۳)

۸	Aleksandar Dimitrovski Manuel Matos	۲۰۰۸	ذوزنقه‌ای			✓			✓	✓		✓			✓	✓		NPV1 - NPV2(NPV)14)) NPV1 - NPV۲(با رسم کردار))
۹	Tian-Shy Liou Ching-Wen Chen	۲۰۰۶	مثلثی			✓			✓	✓		✓		✓			✓	Integral Value(EUAV)
۱۰	Cengiz Kahraman Ethem Tolga Ziya Ulukan	۱۹۹۹	مثلثی		*	✓			✓	✓		✓		✓		✓	✓	همانند مورد ۵
۱۱	Manuel Matos Aleksandar Dimitrovski	۲۰۰۸	ذوزنقه‌ای			✓			✓	✓	✓		✓				✓	Integral Value (EUAV) Degree of Bigness A to B (EUAV) کرداری و شکلی(EUAV)
۱۲	F. Choobineh A. Behrens	۱۹۹۲	**			✓			✓	✓		✓				✓		Index Value of Choobineh (NPV)15))
۱۳	P. Sewast-janow L. Dymowa	۲۰۰۸	مثلثی			✓									✓	✓	✓	آلفاکات زدن ومحاسبه IRR برای هر آلفا و سپس غیرفازیسازی آن بامرکزسطحگیری (NPV)
۱۴	Dorota Kuchta	۲۰۰۸	ذوزنقه‌ای			✓			✓	✓						✓	✓	بهینهسازی با بودجه محدود و با روش NPV استفاده از عددفازی دست چپ و دست راست و نسبت/NPV COF که NPV نسبی نامیده می‌شود
۱۵	Cengiz Kah-raman Murat Levent Demircan	۲۰۰۸	مثلثی			✓			✓	✓	✓					✓	✓	محاسبهEUAV باn های مختلف و درنهایت انتخاب n ای که مینیمم این مقدار در آن اتفاق میافتد
۱۶	Cengiz Kah-raman Tufan Demirel Nihan Demirel	۲۰۰۸	مثلثی			✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓	✓	روش NPV و NFV و EUAVمقایسهای نیست و فقط اثر تورم را در محیط فازی بررسی کرده است
۱۷	Cengiz Kah-raman İhsan Kaya	۲۰۰۸	مثلثی			✓		✓	✓	✓							✓	هدف این مقاله، تنها بررسی استهلاک در حالت فازی است و مقایسهای نیست
۱۸	Cengiz Kah-raman	۲۰۰۸	مثلثی						✓	✓		✓						معیار امید ریاضی را تعریف کرده که از ضرب دو مقدار امکان (۱۶) در احتمال(۱۷) به دست می آید
۱۹	A.L. Bristow J. Nellthorp	۲۰۰۰		در این مقاله روش های ارزیابی اقتصادی در اروپا را به صورت تقسیم بندی شده ارائه کرده است														
۲۰	Bert van Wee	۲۰۱۲		روش CBAرا توضیح داده و مزایا و معایب آن را عنوان کرده است														

راهنما		*	تعداد m قسمت که به بی نهایت می‌رود	10	شاخص درجه بزرگی عدد فازی A به عدد فازی B
	**	نرخ بهره و جریان نقدینگی سالانه مثلثی و ارزش اسقاطی ذوزنقه ای		11	تعیین حداکثر مقادیر توابع عضویت و محاسبه مرکز سطح
	۱	فاکتوربازگشت سرمایه	۷	12	محاسبه حداکثر مقادیر توابع عضویت و محاسبه مرکز سطح
	۲	فاکتور ارزش فعلی پرداخت یکنواخت		13	محاسبه مجموع مقادیر توابع عضویت و محاسبه میانگین آنها
	۳	فاکتور ارزش استهلاکی	۸	14	محاسبه تفاضل ارزش خالص فعلی سناریوی ۱ به سناریوی ۲
	۴	فاکتور ارزش آینده پرداخت یکنواخت		15	محاسبه شاخص ارزشگذاری چوبینه (Choobineh)
	۵	فاکتور بهره ترکیبی	۹	16	possibility
	۶	فاکتور بهره یا فاکتور ارزش فعلی		17	probability

نسبت فایده‌ها به هزینه‌ها با روش ارزش معادل پرداخت یکنواخت سالانه

نسبت اختلاف فایده‌های دو سناریو به اختلاف هزینه‌های آنها با روش ارزش فعلی خالص

شاخص انتگرالی با روش ارزش یکنواخت سالانه

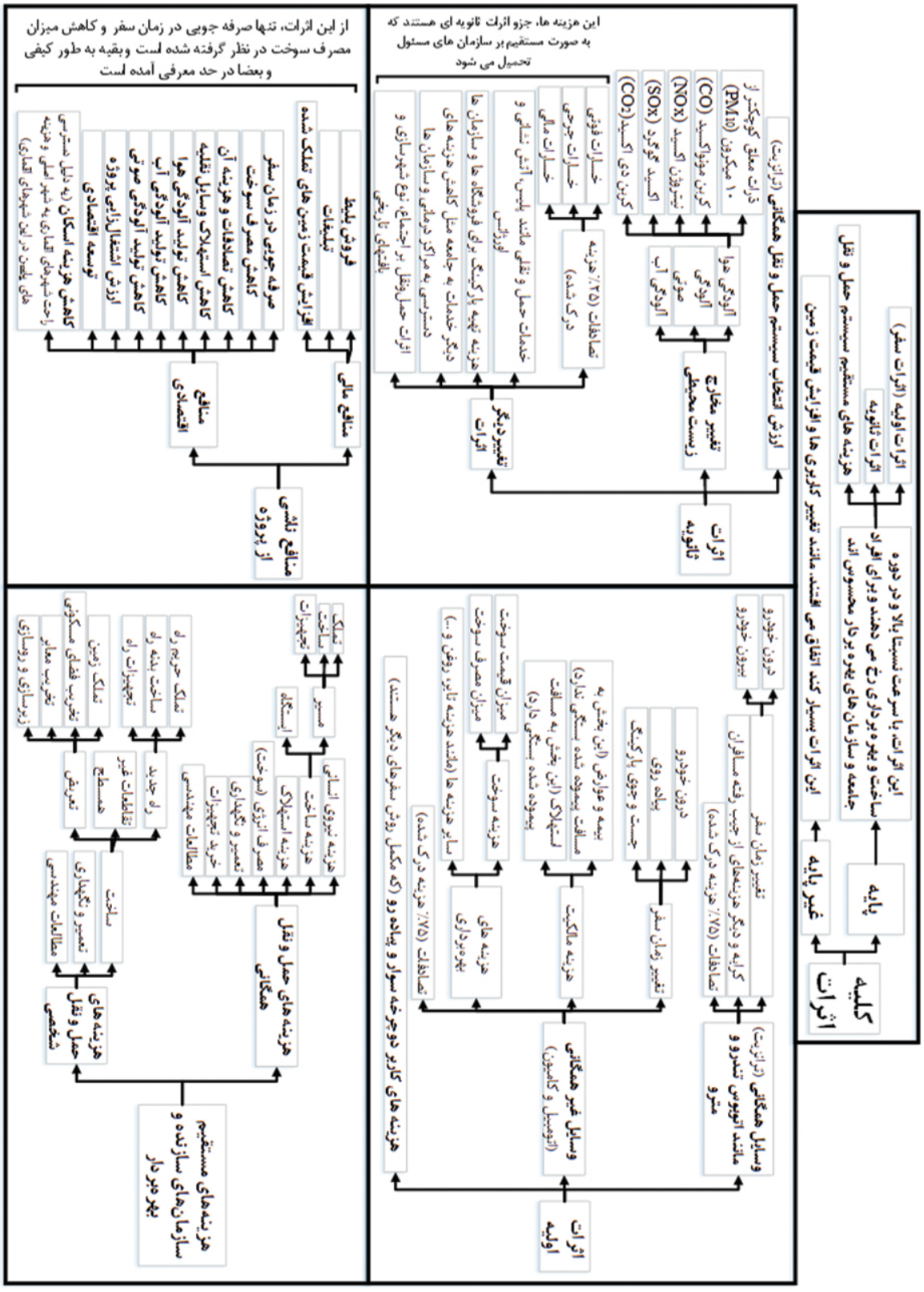
جدول پیوست ۲. اثرات حمل‌ونقل بر افراد و گروه‌های مختلف

اثرات سناریوها	اثرات عمده بر	نوع اثر	لایه اول هزینه یا فایده	لایه دوم هزینه یا فایده	شاخص	واحد: ریال بر...
اثرات سفر	کاربر	مستقیم	ارزش زمان سفر	ـــــ	درصدی از دستمزد ساعتی ناخالص شاغلین	نفر–ساعت
			کرایه	ـــــ	کرایه	نفر–سفر
			هزینه‌های مالکیت	ـــــ	بیمه و عوارض	خودرو–کیلومتر
					استهلاک (افت بها و ارزش)	خودرو–کیلومتر
			هزینه‌های بهره‌برداری	ـــــ	سوخت	خودرو–کیلومتر
					سایر (روغن، تایر، تعمیرات و ...)	خودرو–کیلومتر
			تصادف (۷۵ درصد)*	ـــــ	تصادفات جرحی	خودرو–کیلومتر
					تصادف فوتی	خودرو–کیلومتر
					تصادفات خسارتی	خودرو–کیلومتر

اثرات سناریوها	اثرات عمده بر	نوع اثر	لایه اول هزینه یا فایده	لایه دوم هزینه یا فایده	شاخص	واحد: ریال بر...
اثرات ثانویه	جامعه	غیرمستقیم	ارزش انتخاب سیستم حمل‌ونقل همگانی	—	ارزشی که کاربران وسیله شخصی برای استفاده از سیستم همگانی در روزهایی که وسیله شخصی‌شان خراب می‌شود و یا هوا بارانی است قائلاند.	هر بار استفاده
			آلودگی هوا	انتشار نیتروژن اکسید (NOx)	انتشار نیتروژن اکسید (NOx)	کیلوگرم
				انتشار اکسید گوگرد (SOx)	انتشار اکسید گوگرد (SOx)	کیلوگرم
				انتشار کربن مونو اکسید (CO)	انتشار کربن مونو اکسید (CO)	کیلوگرم
				انتشار هیدروکربنها (HC)	انتشار هیدروکربنها (HC)	کیلوگرم
				انتشارذرات معلق کوچکتر از ۱۰ میکرون (PM۱۰)	انتشارذرات معلق کوچکتر از ۱۰ میکرون (PM۱۰)	کیلوگرم
			هزینه‌های کیلومتر مبنا	—	تصادفات جرحی	خودرو-کیلومتر
			تصادف (۲۵ درصد)*	—	تصادف فوتی	خودرو-کیلومتر
				—	تصادفات خسارتی	خودرو-کیلومتر
			هزینه‌های غیر کیلومتر مبنا	—	هزینه‌هایی که با طی شدن مسیر، برخاسته می‌شود	خودرو-کیلومتر
				—	به میزان طی شدن مسیر بستگی ندارد	خودرو
	مسئولین شهری	مستقیم	سرمایه‌گذاری اولیه	هزینه ساخت	به نوع راهکار وابسته است	
				هزینه تملک اراضی	قیمت زمین	مترمربع
				هزینه مطالعات مهندسی	به نوع راهکار وابسته است	
				هزینه خرید تجهیزات	به نوع راهکار وابسته است	
			بهره‌برداری و نگهداری	هزینه نیروی انسانی	به نوع راهکار وابسته است	
				هزینه انرژی	مصرف سوخت	لیتر
				هزینه تعمیر و نگهداری	به نوع راهکار وابسته است	
هزینه‌ها و منافع مستقیم حمل‌ونقل	جامعه	غیرمستقیم	کاربری زمین	شدت توسعه کاربری زمین	در اغلب منابع و مراجع به صورت کیفی بحث شده است	
				ارزش زمین		
				قیمت توسعه		
				بافتهای تاریخی و فرهنگی		
				بهره‌وری منطقه‌ای		
				دسترسی به مشاغل		
سایر اثرات حمل‌ونقل همگانی			اقتصادی		در اغلب منابع و مراجع به صورت کیفی بحث شده است	

*منظور از ۷۵٪ و ۲۵٪ این است که ۷۵٪ کل هزینه تصادفات در قسمت اثرات اولیه و ۲۵٪ آن در قسمت اثرات ثانویه قرار میگیرد

[Tarh-e-Haftom Consulting Engineers, 2009] و [STEAM2, 2001]، [SPASM, 1998]، [TCRP78, 2002].



شکل پیوست ۱. اثرات مختلف (هزینه‌ها و فایده‌ها) وارد بر جامعه و سازمان‌های مسئول در زمینه حمل‌ونقل [Tarh-e-Haftom Consulting Engineers, 2009] و [STEAM2, 2001]، [SPASM, 1998]، [TCRP78, 2002].