

## مدل دینامیکی ارزیابی و سنجش مطلوبیت کریدورهای ترانزیت ریلی (مطالعه موردی: کریدور ریلی بندرعباس - سرخس)

### مقاله پژوهشی

حمیدرضا احدی، استادیار، دانشکده مهندسی راه آهن، دانشگاه علم و صنعت ایران، ایران  
گلشن ترابیان اصفهانی\*، دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی راه آهن، دانشگاه علم و صنعت ایران، ایران  
\*پست الکترونیکی نویسنده مسئول: golshan\_92@yahoo.com

دریافت: ۹۹/۰۵/۲۷ - پذیرش: ۹۹/۱۰/۰۵

صفحه ۲۱۱-۲۲۶

### چکیده

در حال حاضر حمل و نقل جاده ای مدل اصلی ترانزیت بار در ایران است و در حدود ۹۰ درصد از ترانزیت بار زمین توسط جاده صورت می‌گیرد. وضعیت موجود با قوانین و سیاست‌های کلان کشور در حوزه حمل و نقل و ترانزیت که سهم ۷۰ درصدی برای جاده و ۳۰ درصدی برای راه آهن در نظر گرفته است تناسب ندارد. از طرفی با توجه به گستردگی مناسب شبکه ریلی در ایران، راه آهن می‌تواند سهم بیشتری از حمل و نقل زمینی بار داشته باشد و نقش موثرتری در اقتصاد ملی ایفا نماید. هدف از این مقاله شناسایی و بهبود عوامل موثر در مطلوبیت کریدورهای ترانزیت ریلی است تا از این طریق جایگاه رقابتی راه آهن در ترانزیت بار بهبود یابد. در این تحقیق در ابتدا مفاهیم مرتبط با مطلوبیت و ترانزیت شرح داده می‌شوند. سپس عوامل موثر در مطلوبیت کریدورهای ترانزیت ریلی از دید صاحبان بار، از طریق بررسی ادبیات موضوع و نظر خبرگان این حوزه شناسایی و تعیین می‌گردند. این عوامل شامل هزینه حمل، قابلیت رهگیری واگن، قابلیت اطمینان، سرعت تجاری، ایمنی مسیر و تناوب حمل هستند. در ادامه تابع مطلوبیتی برای کریدور ریلی بندرعباس - سرخس بر اساس عوامل مذکور توسعه می‌یابد و پس از آن یک مدل دینامیکی برای ارزیابی مطلوبیت این کریدور توسعه داده می‌شود و پس از اعتبارسنجی آن، مدل مذکور با استفاده از نرم افزار ونسیم برای مدت ۲۰ سال شبیه‌سازی می‌شود. نتایج حاصل از شبیه‌سازی مدل دینامیکی و ارائه سناریوهای مختلف نشان می‌دهند که اعمال سناریوهای بهبود سیستم رهگیری واگن، افزایش سرعت تجاری و بهبود قابلیت اطمینان و همچنین ارائه تخفیف‌های مقداری از طرف شرکت‌های حمل و نقلی بطور همزمان می‌توانند نقش به‌سزایی در افزایش مطلوبیت این کریدور ترانزیت ریلی داشته باشند و تغییر در تنها یک عامل منجر به تغییرات اساسی در مطلوبیت مسیر مذکور نخواهد شد.

واژه‌های کلیدی: ترانزیت ریلی، سیستم‌های دینامیکی، کریدور، مطلوبیت

### ۱- مقدمه

گزینه‌های مختلف، گزینه‌ای که رضایت‌مندی او را حداکثر می‌کند انتخاب کند. جهت تبدیل ترجیحات تصمیم‌گیرنده به مقادیر کمی برای انتخاب گزینه با بیشترین مطلوبیت، تابع مطلوبیت توسعه داده می‌شود (ابراهیمی، امین‌نیری و رضانی خورشید دوست، ۱۳۹۰). ترانزیت عبارت است از عبور یک کالا یا مسافر از حریم جغرافیایی یک کشور به طوری که مبدا و مقصد آن، مکانی غیر از کشور مذکور باشد. یک کریدور ترانزیتی راهرو یا دالانی است که برای حمل و نقل مورد

واژه مطلوبیت نخستین بار توسط پروفیسور جرمی بتنام<sup>۱</sup> انگلیسی مطرح گردید. مطلوبیت در حقیقت رضایت مصرف کنندگان از مصرف کالاها و خدمات می‌باشد (فرجی، ۱۳۸۴). تئوری مطلوبیت ترجیحات تصمیم‌گیرنده را کمی نموده و به صورت عدد بیان می‌کند. این عدد که مطلوبیت نامیده می‌شود میزان رضایت‌مندی را برای فرد تصمیم‌گیرنده نشان می‌دهد. تئوری مطلوبیت به توسعه این اعداد می‌پردازد. تئوری مطلوبیت فرض می‌کند که فرد تصمیم‌گیرنده می‌تواند از بین

استفاده قرار می‌گیرد (احمدی و ضیاتبار احمدی، ۱۳۹۲). ترانزیت کالا از یک کشور می‌تواند نقش بسیار مهمی در ایجاد درآمد ارزی، ایجاد اشتغال، رشد تکنولوژی در صنعت حمل و نقل و افزایش امنیت سیاسی به دلیل ارتباطات تجاری و اقتصادی بین کشورها داشته باشد (احمدی و ضیاتبار احمدی، ۱۳۹۲). در کشور ما در حدود ۱۰ درصد ترانزیت بار از طریق راه آهن صورت می‌پذیرد و نابرابری در سهم بازار ریل و جاده در مقایسه با کشورهای توسعه یافته بسیار بیشتر است و این وضعیت با قانون توسعه حمل و نقل عمومی و مدیریت مصرف سوخت تناسب ندارد. این در حالی است که با توجه به گستردگی خوب شبکه ریلی ایران در مرزها می‌توان با اتخاذ تدابیر مناسب سهم این روش حمل و نقل را نسبت به وضعیت موجود افزایش داد. بنابراین با شناسایی عوامل تاثیرگذار در مطلوبیت کریدورهای ترانزیت ریلی از دید صاحبان بار و بهبود این عوامل می‌توان سهم ترانزیت ریلی را در کشور افزایش داد و تعادلی میان سهم ریل و جاده در ترانزیت بار ایجاد کرد.

## ۲- پیشینه تحقیق

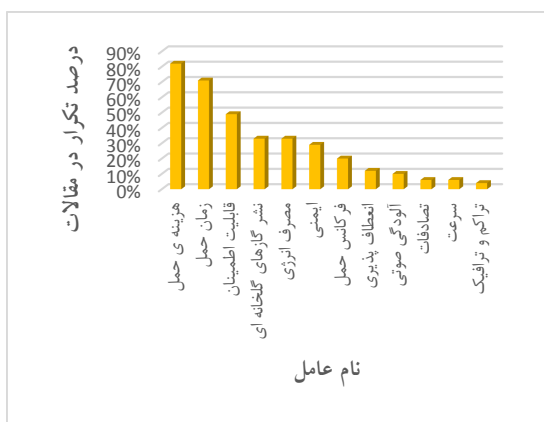
جهت شناسایی عوامل موثر در مطلوبیت کریدورهای ترانزیتی، مقالات متعددی مورد مطالعه قرار گرفته‌اند که در ادامه به برخی از این موارد اشاره شده است. در مطالعات صورت گرفته در داخل کشور، عرب با توجه به اطلاعات به دست آمده از نقاط مختلف کشور در ارتباط با سهم جذب ترافیک باری و مسافری توسط راه آهن و جاده، با استفاده از روش لوجیت، اقدام به ساخت مدلی جهت برآورد تابع مطلوبیت کرده است. مهم‌ترین عوامل موثر در انتخاب روش حمل شامل هزینه حمل و زمان حمل بوده‌اند. نتایج حاصل نشان می‌دهند که سهم راه آهن از جابجایی بار در مقایسه با جاده اندک است (عرب، ۱۳۸۷). احمدی و ضیاتبار احمدی مهم‌ترین پارامترهای تاثیرگذار در مطلوبیت یک کریدور ریلی را شناسایی کردند. این پارامترها که از طریق توزیع پرسشنامه و میانگین نظرات خبرگان انتخاب شده‌اند شامل زمان کل ترانزیت، هزینه پرداختی در ریل، هزینه پرداختی در جاده، قابلیت اطمینان در سیر قطارهای باری و ایمنی مسیر می‌باشند. در ادامه یک مدل دینامیکی ارائه شده و با توجه به اطلاعات واقعی محور سرخس - بندرعباس مدل برای مدت ۱۵ سال

شبیه‌سازی شده است. نهایتاً نتایج نشان داده‌اند که تغییر هر یک از پارامترهای سرعت سیر، تغییر در زمان توقفات و تغییر در حق دسترسی راه آهن به تنهایی تاثیر چندانی در سطح مطلوبیت ایجاد نمی‌کند و تغییرات همزمان پارامترها موثر است و می‌تواند سطح مطلوبیت را به صورت قابل توجهی بهبود بخشد (احمدی و ضیاتبار احمدی، ۱۳۹۲). سیف نیا و آیین به بررسی پارامترهای موثر در جابجایی سیمان و کلینکر پرداخته‌اند. این پارامترها که با تهیه پرسشنامه و بهره‌گیری از نظر خبرگان به دست آمده‌اند شامل قیمت هر تن کیلومتر بار، ایمنی و زمان حمل بار هستند. در نهایت این نتیجه حاصل شد که تابع مطلوبیت تنها بر اساس متغیر هزینه نوشته می‌شود. احتمال استفاده از راه آهن در خصوص جابه‌جایی سیمان با استفاده مدل لوجیت که بر اساس نظریه حداکثر سازی مطلوبیت است، ۱۶۷ درصد و در مقابل آن احتمال استفاده از جاده ۸۳/۳ درصد به دست آمده است (سیف نیا و آیین، ۱۳۹۳). در مطالعات صورت گرفته در خارج کشور، گوهری و همکاران مدلی برای یافتن بهترین حالت و مسیر حمل جابجایی بار از طریق شبکه حمل و نقل دوجویی در مالزی توسعه داده‌اند. مهم‌ترین عوامل موثر در انتخاب بهترین حالت و مسیر حمل شامل هزینه حمل، زمان حمل و نشر گازهای گلخانه‌ای هستند. نتایج حاصل نشان می‌دهند که حمل بار از طریق راه آهن می‌تواند هزینه حمل و گازهای گلخانه‌ای خروجی را کاهش دهد. این در حالی است که حمل و نقل جاده‌ای زمان حمل کمتری در مقایسه با حمل و نقل ریلی و دریایی دارد (گوهری و دیگران، ۱۳۹۷).

رقابت میان ترانزیت ریلی و جاده‌ای در بازار حمل بار غیر فله در استرالیا بسیار مشهود است. زمان حمل زیاد و قابلیت اطمینان کمتر ترانزیت ریلی در مقایسه با ترانزیت جاده‌ای، باعث استفاده کمتر صاحبان بار از این روش شده است. لذا قادری و همکاران در مطالعه خود یک تابع توزیع زمان ورود برای سناریوهای زمان‌های واقعی و زمان‌های کاهش یافته توسعه داده‌اند. نتایج نشان داده‌اند که کاهش زمان ترانزیت بطور قابل توجهی قابلیت اطمینان ترانزیت ریلی را بهبود می‌دهد (قادری و دیگران، ۱۳۹۴). آرنسیبیا و همکاران در مقاله خود به بررسی ترجیحات صاحبان بار در کریدور متصل کننده مادرید به هلند/ بلژیک/ فرانسه و آلمان برای پارامترهای تعیین کننده خدمات حمل و نقل با استفاده از

در کریدور روتردام- ونلو و تعیین سهم هر یک از روش‌های حمل با استفاده از مدل لوجیت پرداخته است. چهار مشخصه هزینه حمل، زمان سفر، قابلیت اطمینان به زمان تحویل و خروج کربن دی اکسید مهم‌ترین پارامترها در انتخاب روش حمل می‌باشند. ضرائب پارامترها در تابع مطلوبیت بر اساس روش ترجیحات بیان شده و با استفاده از نرم افزار بایوجم<sup>۸</sup> تعیین شده‌اند. به دلیل تفاوت پارامترها در میان صاحبان بار مختلف، مطلوبیت دو بار محاسبه شده است: یکبار برای صاحبان بار کالاهای فاسد شدنی و یکبار برای سایر صاحبان بار. نتایج نشان می‌دهند که صاحبان بار کالاهای فاسد شدنی، بیشتر روش حمل جاده‌ای را به دلیل زمان حمل کمتر انتخاب می‌کنند (واندرز، ۱۳۹۳).

پس از بررسی ۵۰ مورد از مقالات و مطالعات مرتبط با حوزه مطلوبیت کریدورهای ترانزیتی، عوامل موثر در مطلوبیت این کریدورها به دست آمدند. این عوامل به همراه فراوانی آن‌ها در مقالات بررسی شده در شکل زیر نشان داده شده‌اند:



شکل ۱. فراوانی عوامل موثر در مطلوبیت کریدورهای ترانزیتی در مقالات بررسی شده

همانطور که پیش از این ذکر شد، ارزیابی مطلوبیت کریدورهای ترانزیت ریلی در ایران در مطالعات قبلی در سال ۱۳۹۲ توسط احدی و ضیاتبار احمدی در مسیر سرخس- بندر عباس مورد بررسی قرار گرفته است، اما از آنجایی که اساسا مشکل اصلی و عدم استقبال از این کریدور در مسیر برگشت یعنی مسیر بندرعباس- سرخس است، در این تحقیق وضعیت مطلوبیت این کریدور در مسیر بندرعباس- سرخس مورد

روش ترجیحات بیان شده پرداخته و از نتایج آن برای تحلیل امکان تغییر روش فعلی حمل و نقل (حمل و نقل جاده‌ای) به روش‌های جایگزین (حمل و نقل ریلی و دریایی) استفاده کرده‌اند. مهم‌ترین پارامترها شامل قابلیت اطمینان، هزینه سفر، زمان سفر و تناوب حمل بوده‌اند (آرنسبیا و دیگران، ۱۳۹۴). نوگروهو و همکاران در مطالعه خود، عوامل مهم و تاثیرگذار در انتخاب روش حمل از تعدادی مبدا به بنادر موجود در جاوا، اندونزی را بررسی کرده و تابع مطلوبیتی در این زمینه ارائه کرده‌اند که میزان و جهت اهمیت هر یک از پارامترها را در مطلوبیت تصمیم‌گیرندگان مشخص می‌نماید. در این مطالعه از مقیاس لیکرت استفاده شده و مهم‌ترین عوامل تاثیرگذار در انتخاب بندر توسط صاحبان بار شامل هزینه بندر و تناوب حمل بوده و پارامترهای تاثیرگذار در انتخاب روش حمل زمینی شامل هزینه حمل، زمان حمل، قابلیت اطمینان و میزان نشر گازهای گلخانه‌ای می‌باشد. جهت تخمین ضرائب پارامترها در تابع هدف از روش ترجیحات بیان شده استفاده شده است. در نهایت پنج سناریو برای بررسی اثر هر یک بر انتخاب روش حمل شبیه‌سازی شده‌اند. به طور کلی، اعمال سناریوی کاهش سوبسید سوخت و در نتیجه افزایش هزینه حمل و نقل جاده‌ای تا ۲۵ درصد منجر به بیشترین افزایش در سهم بازار گزینه‌های حمل از طریق ریل شده است (نوگروهو، وایتینگ و جونگ، ۱۳۹۵).

به دلیل افزایش تجارت از کره به آسیای مرکزی، انتخاب یک مسیر کارآمد برای حمل بار ضروری می‌باشد. از این روی وانگ و همکاران در مطالعه خود از روش دلفی فازی<sup>۲</sup> و الکترو فازی<sup>۳</sup> برای انتخاب بهترین مسیر حمل بار از کره به آسیای مرکزی استفاده کرده‌اند. عوامل مهم و موثر در انتخاب بهترین مسیر به ترتیب شامل هزینه حمل، قابلیت اطمینان، زمان حمل و ایمنی هستند. نتایج نشان داده‌اند که بهترین مسیر حمل بار مسیر اینچون<sup>۴</sup>- چینگدائو<sup>۵</sup>- هورگوس<sup>۶</sup>- آلماتی<sup>۷</sup> می‌باشد (وانگ و یئو، ۱۳۹۶). فلودن و همکاران در مقاله خود به بررسی مطالعات گذشته جهت شناسایی پارامترهای تاثیرگذار در انتخاب بهترین روش حمل پرداخته‌اند. نتایج نشان داده‌اند که مهم‌ترین پارامترها شامل هزینه حمل، زمان حمل و قابلیت اطمینان هستند (فلودن، بارسل و سورکینا، ۱۳۹۶).

واندرز در مطالعه خود به بررسی نقش پارامترهای موثر در انتخاب روش حمل برای صاحبان بار در حمل و نقل کانینتری

داشت که به طور کامل تکمیل شده بودند و برای محاسبه‌ی اوزان نهایی معیارها از این ۲۱ پرسشنامه استفاده شده است. پس از تکمیل ماتریس مقایسات زوجی در نرم افزار اکسپرت چویس<sup>۱</sup>، وزن نهایی هر یک از معیارها به شرح جدول زیر بدست آمد:

جدول ۱. وزن عوامل موثر در مطلوبیت کریدورهای ترانزیت ریلی بر اساس میزان تاثیرگذاری هر یک در مطلوبیت به دست آمده از روش تحلیل سلسله مراتبی

اولویت	نام معیار	وزن
۱	هزینه حمل	۰/۲۲۰
۲	ایمنی مسیر	۰/۱۸۲
۳	قابلیت اطمینان	۰/۱۷۵
۴	قابلیت رهگیری واگن	۰/۱۶۷
۵	سرعت تجاری	۰/۱۵۹
۶	تناوب حمل	۰/۰۹۸
۰/۰۱ = نرخ ناسازگاری		

### ۳-۲ معرفی کریدور ریلی بندرعباس - سرخس

در این تحقیق کریدور ریلی بندرعباس - سرخس به عنوان مطالعه موردی بررسی شده است. طول کریدور ریلی بندرعباس - سرخس ۱۶۱۹ کیلومتر است. ظرفیت آن در سال ۱۳۹۶، ۳۵۰۰۰۰۰ تن (تقریباً معادل ۱۵۹۰ قطار در سال) بوده است. این کریدور شامل مسیرهای بندرعباس - گلگهر، گلگهر - سیرجان، سیرجان - بافق، بافق - مبارکه، مبارکه - جندق، جندق - کال زرد، کال زرد - طبس، طبس - تربت حیدریه، تربت حیدریه - کاشمر، کاشمر - فریمان، فریمان - مطهری و مطهری - سرخس می‌باشد (نقشه‌های شبکه راه آهن جمهوری اسلامی ایران، ۱۳۸۵-۱۳۹۶). در این مسیر در هر سال کالاهای متفاوتی از جمله لوازم برقی، لوله پلیکا و فلزی، کانتینر، نخ، صابون، مواد خوراکی همچون شکر و روغن نباتی و ... حمل می‌گردد (سالنامه های آماری راه آهن جمهوری اسلامی ایران، ۱۳۸۵-۱۳۹۵). در شکل زیر تقاضا در مسیر بندرعباس - سرخس بر حسب تن در دو مسیر ریلی و جاده‌ای در سالهای ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۵ آورده شده است.

بررسی قرار گرفته است. در این تحقیق برای ارزیابی مطلوبیت کریدور مذکور از دو تابع مطلوبیت استفاده شده است: ۱- تابع مطلوبیتی بر اساس روش تحلیل سلسله مراتبی، ۲- تابع مطلوبیتی بر اساس روش رگرسیون.

### ۳-۲ روش تحقیق

۳-۱ تعیین مهم‌ترین عوامل موثر در مطلوبیت یک کریدور ترانزیت ریلی از دید صاحبان بار و اولویت بندی آنها

جهت تعیین مهم‌ترین عوامل موثر در مطلوبیت کریدورهای ترانزیت ریلی، از مقیاس ده نقطه‌ای لیکرت استفاده شده است. بر این اساس، پرسشنامه‌ای تهیه شده و میان ۲۷ نفر از مدیران و کارشناسان حوزه ترانزیت راه آهن جمهوری اسلامی ایران، شرکت بهتاش سپاهان، شرکت ترکیب حمل و نقل و شرکت راه آهن حمل و نقل توزیع شد. در این پرسشنامه به هر یک از معیارها بر مبنای میزان اهمیت هر یک در تعیین مطلوبیت، امتیازی بین ۱ تا ۱۰ داده می‌شود. نتایج حاصل از تحلیل پرسشنامه‌ها نشان می‌دهند که میانگین امتیاز معیارهای هزینه حمل، سرعت تجاری، قابلیت اطمینان، ایمنی مسیر و تناوب حمل بیشتر از امتیاز میانگین (۵/۵) بوده و بنابراین این معیارها به عنوان مهم‌ترین عوامل موثر در مطلوبیت کریدورهای ترانزیت ریلی در نظر گرفته شده‌اند. پس از مشورت با مدیران و کارشناسان حوزه ترانزیت این نتیجه حاصل شد که عامل قابلیت رهگیری واگن نیز در تعیین مطلوبیت یک کریدور ریلی تاثیر به سزایی دارد. بنابراین این معیار نیز به لیست نهایی معیارهای موثر در مطلوبیت کریدورهای ترانزیت ریلی اضافه شد.

جهت اولویت بندی عوامل موثر در مطلوبیت کریدورهای ترانزیت ریلی بر مبنای میزان تاثیرگذاری هر یک در مطلوبیت، از روش تحلیل سلسله مراتبی<sup>۹</sup> استفاده شده است. بر این اساس پرسشنامه‌ای جهت انجام مقایسات زوجی میان عوامل مذکور تهیه شده و در اختیار ۲۷ نفر از مدیران و کارشناسان حوزه ترانزیت راه آهن جمهوری اسلامی ایران، شرکت راه آهن حمل و نقل، شرکت ترکیب حمل و نقل و شرکت بهتاش سپاهان توزیع شد. از بین پرسشنامه های توزیع شده، ۲۱ پرسشنامه با نرخ ناسازگاری کمتر و یا مساوی ۰/۱ وجود

### ۳-۳-۱ هزینه حمل

با توجه به اینکه مقصد کالاهای ترانزیتی در کریدور مورد بررسی، کشورهای استقلال یافته از شوروی سابق می‌باشند، جهت محاسبه هزینه حمل در مسیر بندرعباس- سرخس، نرخ حمل هر تن- کیلومتر بار بر اساس سیاست تعرفه‌ای کشورهای مستقل همسود<sup>۱۱</sup> در نظر گرفته شده است. جهت نرمال‌سازی مقادیر هزینه حمل از رابطه ۱ استفاده شده است. با توجه به اینکه کشور آمریکا یکی از کارآمدترین کشورهای جهان در حوزه حمل و نقل ریلی بار است و نرخ حمل هر تن- کیلومتر بار در این کشور بر اساس مکانیزم عرضه و تقاضا تعیین می‌گردد و یکی از پایین ترین نرخ های حمل و نقل ریلی بار است، بنابراین نرخ حمل هر تن- کیلومتر بار در این کشور به عنوان نرخ مطلوب در نظر گرفته شده و هزینه حمل هر تن-کیلومتر بار در مسیر بندرعباس- سرخس با نرخ های این کشور مقایسه شده است.

هزینه نرمال شده

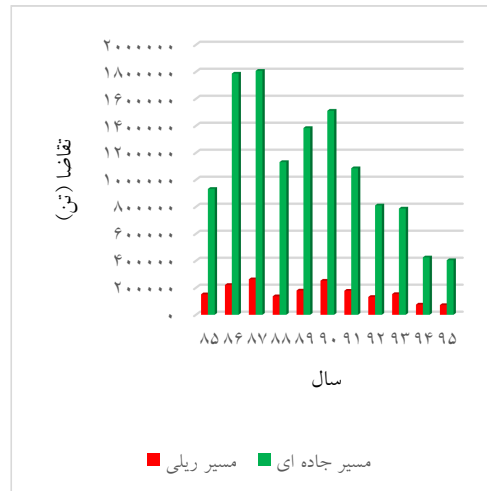
$$(1) \quad \frac{(\text{نرخ حمل در آمریکا}) - (\text{نرخ حمل در ایران})}{\text{نرخ حمل در ایران}}$$

### ۳-۳-۲ سرعت تجاری

سرعت تجاری از تقسیم مسافت حمل بر کل زمان ترانزیت (فاصله زمانی بین ورود بار از بندرعباس تا خروج آن از مرز سرخس) حاصل می‌گردد. مقادیر سرعت تجاری در مسیر بندرعباس- سرخس از اداره بازرگانی و بازاریابی راه آهن جمهوری اسلامی ایران به دست آمده است. تعهد راه آهن مبنی بر تحویل بار از بندرعباس به سرخس در مدت ۵۲ ساعت (سرعت تجاری برابر ۳۱ کیلومتر بر ساعت) می‌باشد. بنابراین این سرعت به عنوان سرعت تجاری مطلوب در نظر گرفته شده و از تقسیم سرعت تجاری در هر سال بر این عدد، سرعت تجاری بی مقیاس شده به دست آمده است.

### ۳-۳-۳ تناوب حمل

تناوب یا فرکانس حمل به معنای تعداد دفعات حمل و یا تعداد قطار اعزامی در یک بازه زمانی مشخص می‌باشد. تناوب حمل در هر سال از رابطه زیر به دست آمده است:



شکل ۲. مقایسه تقاضا در دو مسیر ریلی و جاده ای در مسیر بندرعباس- سرخس (سالنامه‌های آماری راه آهن جمهوری اسلامی ایران، ۱۳۸۵-۱۳۹۵؛ سالنامه‌های آماری سازمان راهداری و حمل و نقل جاده ای، ۱۳۸۵-۱۳۹۵)

همانطور که مشاهده می‌شود، تناژ بار ترانزیت شده در مسیر جاده ای در هر سال بسیار بیشتر از مسیر ریلی بوده و نابرابری در سهم هر یک از دو روش در ترانزیت بار بسیار زیاد است. بنابراین با توجه به تقاضای موجود در این مسیر و سهم ناچیز مسیر ریلی در ترانزیت بار، این مسیر به عنوان مطالعه موردی در نظر گرفته شده است تا عوامل موثر در مطلوبیت آن بهبود یافته و سهم این کریدور ریلی در ترانزیت بار افزایش یابد.

### ۳-۳-۳-۳ گردآوری داده

در بخش‌های قبل عوامل موثر در مطلوبیت کریدورهای ترانزیت ریلی تعیین شدند. حال در این بخش به معرفی و نحوه محاسبه هر یک از عوامل مذکور برای مسیر بندرعباس- سرخس و برای سال‌های ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۵ خواهیم پرداخت. لازم به ذکر است جهت محاسبه مطلوبیت برحسب عوامل مذکور، لازم است مقادیر پارامترها نرمال‌سازی (بی مقیاس) شوند تا امکان محاسبه مطلوبیت به صورت ترکیبی از این عوامل فراهم گردد. جهت بی مقیاس‌سازی مقادیر تمامی معیارها از روش بی مقیاس‌سازی خطی استفاده شده است. در این روش لازم است مقادیر مورد نظر با مقدار مطلوب مقایسه شده و مقادیر مطلوب به عنوان هدف برای هر یک از معیارها در نظر گرفته شوند.

وزن عامل تقاضا = قابلیت اطمینان

$$(5) \quad \frac{\text{مقدار نرمال شده تقاضا} *}{\text{وزن عامل لکوموتیو} + \text{مقدار نرمال شده تعداد لکوموتیو} *}$$

برای تعیین وزن هر یک از دو عامل تقاضا و لکوموتیو، پرسشنامه‌ای در اختیار ۲۵ نفر از مدیران و کارشناسان حوزه ترانزیت توزیع شد تا با استفاده از مقایسات زوجی و تحلیل سلسله مراتبی وزن هر عامل مشخص گردد. نهایتاً وزن ۰/۵۵ برای عامل تقاضا و وزن ۰/۴۵ برای عامل لکوموتیو به دست آمد. برای محاسبه مقدار نرمال شده تقاضا، از رابطه زیر استفاده شده است:

مقدار نرمال شده تقاضا در هر سال

$$(6) \quad \frac{\text{مقدار تناژ ترانزیت در مسیر ریلی مربوطه در هر سال}}{\text{ظرفیت مسیر ریلی مربوطه بر حسب تن در هر سال}}$$

از طرفی جهت محاسبه مقدار نرمال شده تعداد لکوموتیو از رابطه زیر استفاده شده است:

$$(7) \quad \frac{\text{مقدار نرمال شده تعداد لکوموتیو در هر سال}}{\text{تعداد لکوموتیو در گردش موجود در هر سال}} = \frac{\text{تعداد لکوموتیوهای مورد نیاز در هر سال}}$$

### ۳-۳-۶- قابلیت رهگیری واگن

قابلیت رهگیری واگن نیز یک عامل کیفی می‌باشد. جهت تبدیل آن به یک عامل کمی از یک مقیاس یازده نقطه‌ای استفاده شده است. بدین ترتیب که پرسشنامه‌ای طراحی شده و میان ۲۴ نفر از مدیران و کارشناسان راه‌آهن جمهوری اسلامی ایران، شرکت ترکیب حمل و نقل، شرکت بهتاش سپاهان و شرکت راه‌آهن حمل و نقل توزیع شد. در این پرسشنامه لازم است مدیران و کارشناسان به عملکرد سیستم رهگیری واگن در هر یک از سال‌های ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۵ امتیازی از ۰ تا ۱۰ بدهند. پس از گردآوری تمامی پرسشنامه‌های به طور کامل تکمیل شده، میانگین امتیاز این عامل در هر سال محاسبه شده و به عنوان مقدار این عامل در آن سال در نظر گرفته شده است. سپس جهت بی‌مقیاس کردن این مقادیر، هر یک از اعداد به دست آمده بر عدد ۱۰ (بالاترین امتیاز و بهترین حالتی که برای عملکرد سیستم رهگیری واگن می‌تواند اتفاق بیفتد) تقسیم شده‌اند.

تناوب حمل در هر سال

$$(2) \quad \frac{\text{کل تقاضا در مسیر بندرعباس - سرخس در هر سال}}{\text{ظرفیت هر قطار}}$$

از طرفی مقدار مطلوب برای تناوب حمل از رابطه زیر به دست آمده است:

$$(3) \quad \frac{\text{تناوب حمل مطلوب در هر سال}}{\text{ظرفیت مسیر بندرعباس - سرخس در هر سال}} = \text{ظرفیت هر قطار}$$

نهایتاً جهت بی‌مقیاس کردن این متغیر، تناوب حمل بر تناوب حمل مطلوب در هر سال تقسیم شده است.

### ۳-۳-۴- ایمنی مسیر

ایمنی مسیر یک عامل کیفی است. جهت تبدیل این عامل به یک عامل کمی، از رابطه زیر استفاده شده است:

$$(4) \quad \frac{\text{ایمنی مسیر}}{\text{تعداد کل قطار اعزامی} - \text{تعداد قطار حادثه دیده}} = \text{تعداد کل قطار اعزامی}$$

با توجه به اینکه این عامل به صورت درصد به دست می‌آید، نیازی به بی‌مقیاس کردن آن نیست.

### ۳-۳-۵- قابلیت اطمینان

قابلیت اطمینان به معنای توانایی سیستم ترانزیت ریلی در مسیر بندرعباس - سرخس در تحویل به موقع بار و مطابق با برنامه است. مطابق با نظر خبرگان، دو عامل در افزایش قابلیت اطمینان در مسیر مذکور نقش مهمی دارند: ۱- عامل بار (تقاضا)، ۲- عامل لکوموتیو. بدین معنا که با افزایش تقاضا در این مسیر و همچنین وجود تعداد کافی لکوموتیو، تعداد قطارهای برنامه‌ای افزایش یافته و بنابراین قابلیت اطمینان سیستم افزایش می‌یابد. لازم به ذکر است که جهت محاسبه قابلیت اطمینان برحسب این دو عامل، لازم است مقادیر آن‌ها بی‌مقیاس شوند. بنابراین جهت محاسبه قابلیت اطمینان در هر سال از رابطه زیر استفاده شده است:

همانطور که در رابطه ۹ مشاهده می‌گردد، علامت ضرائب متغیرها در تابع مطلوبیت درست به دست آمده‌اند. پیش از این اوزان هر یک از عوامل توسط کارشناسان و بر اساس روش تحلیل سلسله مراتبی نیز تعیین گردید. با توجه به اینکه رابطه خطی میان عوامل مذکور و مطلوبیت بر اساس تحلیل رگرسیون تایید شد، می‌توان رابطه تقریبی زیر را نیز بر اساس اوزان به دست آمده از نظر کارشناسان برای مطلوبیت در نظر گرفت:

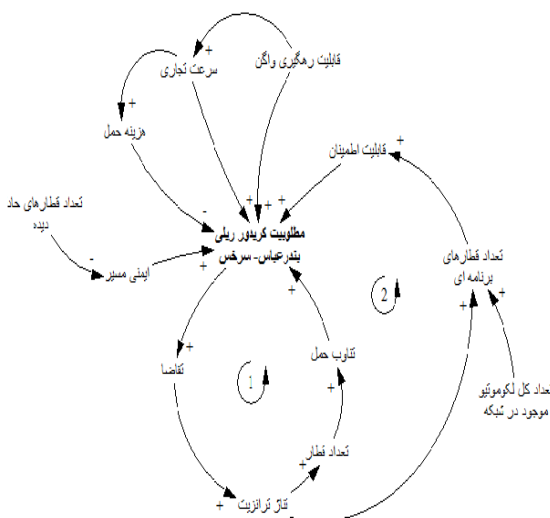
$$U_i = -0.22 * NCO_i + 0.175 * RE_i + 0.182 * SA_i + 0.159 * NSP_i + 0.098 * NFR_i + 0.167 * NTR_i \quad (10)$$

### ۳-۵- مدل دینامیکی برای مسیر بندرعباس - سرخس

در این قسمت یک مدل دینامیکی جهت ارزیابی مطلوبیت کریدور ترانزیت ریلی بندرعباس - سرخس و تاثیر عوامل مختلف در آن ارائه می‌گردد.

#### ۳-۵-۱- نمودار علت و معلولی

نمودار علت و معلولی سیستم ترانزیت ریلی مورد نظر که به منظور شناخت گسترده و کلی سیستم به کار می‌رود، به صورت زیر توسعه یافته است:



شکل ۳. نمودار علت و معلولی سیستم ترانزیت ریلی

این نمودار شامل دو حلقه علت و معلولی مثبت است که با شماره های ۱ و ۲ نشان داده شده است. همسو بودن جهت تغییرات پارامترها با علامت + و غیر همسو بودن این جهت با علامت - مشخص شده است. به عنوان مثال با افزایش هزینه

### ۳-۴- تابع مطلوبیت برای مسیر بندرعباس - سرخس

پس از محاسبه مقادیر هزینه، سرعت تجاری، قابلیت اطمینان، ایمنی مسیر، قابلیت رهگیری واگن و تناوب حمل برای مسیر بندرعباس - سرخس، لازم است تابع مطلوبیت برای این مسیر تعیین گردد. جهت تعیین نحوه تاثیرگذاری عوامل مذکور در مطلوبیت، از روش رگرسیون استفاده شده است. جهت انجام تحلیل رگرسیون، علاوه بر تعیین مقادیر عوامل مذکور لازم است روشی برای تعیین مقادیر مطلوبیت در هر سال نیز ارائه گردد. با توجه به اینکه مطلوبیت این مسیر به معنای رضایت صاحب کالا از مسیر ترانزیتی مربوطه می‌باشد، مقادیر مطلوبیت در هر سال بر اساس رابطه زیر کمی شده است:

$$\text{مقدار مطلوبیت} = \frac{\text{تناژ ترانزیت ریلی در مسیر بندرعباس - سرخس}}{\text{کل تناژ ترانزیت ریلی و جاده ای در مسیر مذکور}} \quad (8)$$

پس از محاسبه مقدار مطلوبیت برای تمامی سال‌ها، تابع مطلوبیت به روش رگرسیون خطی و با استفاده از نرم افزار ایویوز<sup>۱۲</sup> تخمین زده شده است. این تابع به صورت زیر است:

$$U_i = -0.256 * NCO_i + 0.139 * RE_i + 0.158 * SA_i + 0.151 * NSP_i + 0.129 * NFR_i + 0.168 * NTR_i \quad (9)$$

که در آن:

$$U_i = \text{مطلوبیت کریدور بندرعباس - سرخس در سال } i$$

$$NCO_i = \text{هزینه حمل نرمال شده در سال } i$$

$$RE_i = \text{قابلیت اطمینان در سال } i$$

$$SA_i = \text{ایمنی مسیر در سال } i$$

$$NSP_i = \text{سرعت تجاری نرمال شده در سال } i$$

$$NFR_i = \text{تناوب حمل نرمال شده در سال } i$$

$$NTR_i = \text{امتیاز نرمال شده قابلیت رهگیری واگن در سال } i$$

با افزایش هزینه حمل، مطلوبیت مسیر کاهش می‌یابد و بنابراین ضریب آن در تابع مطلوبیت باید منفی باشد. از طرفی با افزایش سرعت تجاری، قابلیت اطمینان، ایمنی مسیر، تناوب حمل و قابلیت رهگیری واگن، مطلوبیت مسیر افزایش می‌یابد و بنابراین ضریب آن‌ها در تابع مطلوبیت باید مثبت باشد.

افزایش مطلوبیت منجر به افزایش تقاضا و در نتیجه افزایش کل بار ترانزیت شده در مسیر بندرعباس - سرخس می‌گردد. بنابراین کل تناژ ترانزیت در هر سال تابع مطلوبیت می‌باشد. جهت تعیین تابع دقیق تناژ ترانزیت برحسب مطلوبیت، نقاط این تابع وارد نمودار جریان شده است.

از طرفی همانطور که در بخش‌های قبل ذکر شد، جهت بی‌مقیاس کردن متغیر تناوب حمل لازم است مقادیر تعداد قطار در هر سال که از تقسیم تناژ ترانزیت بر ظرفیت هر قطار به دست می‌آید، بر تعداد قطار مطلوب که از تقسیم ظرفیت مسیر بندرعباس - سرخس بر ظرفیت هر قطار به دست می‌آید، تقسیم گردد. ظرفیت مسیر نیز تابع تناژ ترانزیت است. بدین ترتیب که با افزایش تناژ ترانزیت ظرفیت مسیر افزایش یافته و با کاهش آن ظرفیت مسیر کاهش می‌یابد. برای تعیین تابع دقیق ظرفیت مسیر برحسب تناژ ترانزیت نیز، نقاط این تابع وارد نمودار جریان گشته است. در بخش‌های قبل ذکر شد که متغیر ایمنی از تقسیم تعداد قطارهای بدون حادثه به مقصد رسیده بر تعداد کل قطارهای اعزام شده در مسیر مورد نظر در هر سال، کمی می‌گردد. در این مدل تعداد قطارهای حادثه دیده به صورت یک متغیر حالت وارد مدل شده و برای به دست آوردن نرخ تغییرات آن، از میانگین درصد تغییرات در تعداد قطارهای حادثه دیده در سال‌های ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۵ استفاده شده است. جهت وارد کردن مقدار بی‌مقیاس شده تعداد لکوموتیو در مدل، دو متغیر تعداد لکوموتیو در گردش و تعداد لکوموتیو مورد نیاز در هر سال لازم است. متغیرهای تعداد لکوموتیو در گردش و تعداد لکوموتیو مورد نیاز به صورت متغیرهای حالت وارد مدل شده‌اند و برای به دست آوردن نرخ تغییرات آن‌ها، از میانگین درصد تغییرات در تعداد هر یک در سال‌های ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۵ استفاده شده است. قابلیت رهگیری واگن به عنوان یک متغیر حالت در نظر گرفته شده است. جهت به دست آوردن نرخ تغییرات آن، از میانگین درصد تغییرات امتیاز به دست آمده برای قابلیت رهگیری واگن توسط کارشناسان در سال‌های ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۵ استفاده شده است. سرعت تجاری تابع قابلیت رهگیری واگن می‌باشد. بنابراین این متغیر به عنوان تابعی از قابلیت رهگیری واگن که توسط نرم افزار ایویوز تخمین زده شده است و پس از بی‌مقیاس کردن وارد نرخ افزایش مطلوبیت شده است.

حمل، مطلوبیت سیستم ترانزیت ریلی مذکور کاهش می‌یابد و در نمودار بالا تاثیر این پارامتر در مطلوبیت سیستم با علامت منفی مشخص شده است. با افزایش هر یک از پارامترهای ایمنی مسیر، قابلیت رهگیری واگن و سرعت تجاری مطلوبیت سیستم افزایش می‌یابد. بهبود قابلیت رهگیری واگن سرعت تجاری را بهبود می‌دهد و افزایش سرعت تجاری هزینه حمل را افزایش می‌دهد. همچنین افزایش تعداد قطارهای حادثه دیده ایمنی مسیر را کاهش می‌دهد. حلقه شماره ۱ یک حلقه مثبت بوده که در آن با افزایش قابلیت اطمینان، مطلوبیت سیستم ترانزیت ریلی افزایش می‌یابد. با افزایش مطلوبیت سیستم، رضایت صاحبان بار از این سیستم افزایش یافته و بنابراین تقاضا برای حمل بار و تناژ بار در این کریدور افزایش می‌یابد. با افزایش تناژ و تعداد قطار، احتمال اجرا شدن قطارهای برنامه‌ای و بنابراین به موقع رسیدن بار به مقصد افزایش می‌یابد. افزایش تعداد قطارهای برنامه‌ای موجب افزایش قابلیت اطمینان سیستم می‌شود و این روند به همین ترتیب ادامه دارد. از طرفی افزایش تعداد کل لکوموتیوهای موجود در شبکه ریلی نیز به اجرایی شدن قطارهای برنامه‌ای کمک می‌کند. حلقه شماره ۲ یک حلقه مثبت بوده که در آن با افزایش تناوب حمل، مطلوبیت سیستم ترانزیت ریلی افزایش می‌یابد. با افزایش مطلوبیت سیستم، رضایت صاحبان بار از این سیستم افزایش یافته و بنابراین تقاضا برای حمل بار و تناژ بار در این کریدور افزایش می‌یابد. بنابراین تعداد قطارها و در نتیجه تناوب حمل افزایش می‌یابد و این روند به همین ترتیب ادامه دارد.

### ۳-۵-۲- نمودار جریان

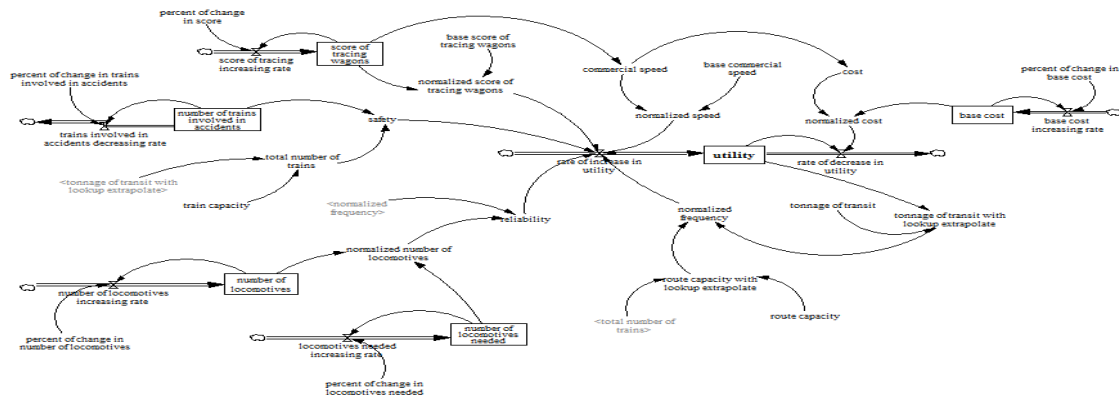
در این نمودار، متغیرهای حالت و نرخ و روشی که آن‌ها در دایره‌های بازخوری، بطور مستقیم و یا با واسطه متغیرهای کمکی به هم مربوط می‌شوند، مشخص می‌شود (حمیدی زاده، ۱۳۹۴). نمودار جریان مدل دینامیکی جهت ارزیابی مطلوبیت کریدور ریلی بندرعباس - سرخس به صورت شکل ۴ است. با توجه به اینکه برای پیاده سازی مدل دینامیکی در نرم افزار ونسیم<sup>۱۳</sup> لازم است نام متغیرها لاتین باشد، در این نمودار اسامی تمامی متغیرها به لاتین برگردانده شده است. مطلوبیت به عنوان یک متغیر سطح در نظر گرفته شده است که یک نرخ افزایش و یک نرخ کاهش دارد.



جدول ۲. بررسی اعتبار مدل دینامیکی بر اساس ضرائب به دست آمده از رگرسیون برای متغیرها در تابع مطلوبیت (مدل اول)

نام متغیر	سال	مقدار واقعی	خروجی مدل	قدر مطلق خطا
هزینه حمل در آمریکا (ریال)	۱۳۹۳	۷۱۲۸۹۰/۶۸	۷۱۶۱۹۳	۰/۰۰۵
	۱۳۹۴	۷۵۱۳۰۴/۳۵	۷۸۳۳۰۰	۰/۰۴۳
	۱۳۹۵	۷۸۵۳۲۹/۱۹	۸۵۶۶۹۶	۰/۰۹۱
هزینه	۱۳۹۳	۱۴۹۵۰۹۵/۶	۱۴۵۴۱۸۰	۰/۰۲۷

هزینه حمل تابع سرعت تجاری است. بنابراین این متغیر به عنوان تابعی از سرعت تجاری که توسط نرم افزار ایویوز تخمین زده شده است وارد مدل گشته است. همانطور که در بخش‌های قبل بیان شد، جهت بی مقیاس‌سازی هزینه حمل، از هزینه حمل هر تن-کیلومتر در آمریکا به عنوان هزینه مطلوب استفاده شده است. هزینه حمل در آمریکا به عنوان یک متغیر حالت در نظر گرفته شده است. جهت به دست آوردن نرخ تغییرات آن، از میانگین درصد تغییرات آن در سال‌های ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۵ استفاده شده است.



شکل ۴. نمودار جریان جهت پیاده سازی مدل

### ۳-۶- اعتبارسنجی مدل دینامیکی

جهت اعتبارسنجی مدل از اطلاعات سال‌های ۱۳۹۳، ۱۳۹۴ و ۱۳۹۵ استفاده شده است. بدین ترتیب که زمان شروع شبیه‌سازی سال ۱۳۹۲ در نظر گرفته شده و خروجی مدل برای متغیرها در سال‌های ۱۳۹۳، ۱۳۹۴ و ۱۳۹۵ با مقادیر حقیقی آن‌ها در سال‌های مذکور مقایسه شده است و در نهایت میانگین قدر مطلق خطای مدل به دست آمده است. در این مرحله مدل مذکور یکبار با استفاده از ضرائب به دست آمده از روش رگرسیون برای متغیرها در تابع مطلوبیت (مدل اول) و یکبار توسط ضرائب به دست آمده از روش تحلیل سلسله مراتبی (مدل دوم) و با استفاده از نرم افزار ونسیم اجرا شده است. در ادامه خروجی مدل برای سال‌های ۱۳۹۳، ۱۳۹۴ و ۱۳۹۵ و مقادیر حقیقی متغیرها و هم‌چنین قدر مطلق خطا آورده شده است.

۱۳۹۴	۱۶۳۸۸۳۰/۳۴	۱۶۶۲۲۴۰	۰/۰۱۴	سرعت تجاری (km/h)
۱۳۹۵	۱۷۲۰۸۴۳/۳۸	۱۸۹۶۸۰۰	۰/۱۰۲	
۱۳۹۳	۵	۵/۲	۰/۰۴۰	
۱۳۹۴	۵/۱۹	۵/۳۷	۰/۰۳۵	
۱۳۹۵	۵/۶۲	۵/۵۶	۰/۰۱۱	ظرفیت مسیر (تن)
۱۳۹۳	۲۵۰۰۰۰	۲۷۵۰۵۷۰	۰/۱۰۰	
۱۳۹۴	۲۱۰۰۰۰	۲۱۸۱۲۳۰	۰/۰۳۹	
۱۳۹۵	۲۱۰۰۰۰	۲۲۳۴۱۵۰	۰/۰۶۴	تعداد لکوموتیو در گردش
۱۳۹۳	۵۵۸	۵۳۴	۰/۰۴۳	
۱۳۹۴	۶۰۱	۵۶۰	۰/۰۶۸	
۱۳۹۵	۶۱۰	۵۸۷	۰/۰۳۸	تعداد لکوموتیو
۱۳۹۳	۱۱۵۶	۱۱۷۰	۰/۰۱۲	
۱۳۹۴	۱۲۸۳	۱۳۲۰	۰/۰۲۹	

مورد نیاز	۱۳۹۵	۱۴۱۰	۱۴۸۹	۰/۰۵۶
تناژ ترانزیت (تن)	۱۳۹۳	۱۵۳۲۷۵	۱۰۹۵۳۶	۰/۲۸۵
	۱۳۹۴	۷۵۶۲۲	۱۰۵۳۷۲	۰/۳۹۳
	۱۳۹۵	۷۱۸۸۹	۷۷۷۹/۵	۰/۰۸۲
تعداد قطار حادثه دیده	۱۳۹۳	۲	۲	۰/۰۰۰
	۱۳۹۴	۲	۲	۰/۰۰۰
	۱۳۹۵	۲	۲	۰/۰۰۰
میانگین قدر مطلق خطا = ۰/۰۶۴				

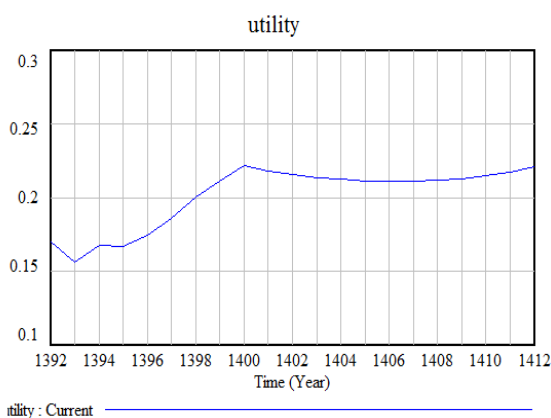
مورد نیاز	۱۳۹۵	۱۴۱۰	۱۴۸۹	۰/۰۵۶
تناژ ترانزیت (تن)	۱۳۹۳	۱۵۳۲۷۵	۱۲۷۹۶۱	۰/۱۶۵
	۱۳۹۴	۷۵۶۲۲	۸۱۴۳۷/۹	۰/۰۷۷
	۱۳۹۵	۷۱۸۸۹	۸۵۷۶۱/۷	۰/۱۹۳
تعداد قطار حادثه دیده	۱۳۹۳	۲	۲	۰/۰۰۰
	۱۳۹۴	۲	۲	۰/۰۰۰
	۱۳۹۵	۲	۲	۰/۰۰۰
میانگین قدر مطلق خطا = ۰/۰۵۲				

با توجه به اینکه خطای کوچکتر و یا مساوی با ۵ درصد برای یک مدل قابل قبول است، می‌توان اعتبار مدل اول را که دارای ۵ درصد خطا می‌باشد در سطح قابل قبول‌تری در مقایسه با مدل دوم که دارای ۶ درصد خطا می‌باشد در نظر گرفت. هرچند اعتبار مدل دوم نیز تا حدودی قابل قبول است.

جدول ۳. بررسی اعتبار مدل دینامیکی بر اساس ضرائب به دست آمده از تحلیل سلسله مراتبی برای متغیرها در تابع مطلوبیت (مدل دوم)

#### ۴- نتایج مدل دینامیکی

پس از اجرای مدل با استفاده از نرم افزار ونسیم و با استفاده از هر دو دسته ضرائب برای متغیرها در تابع مطلوبیت و تایید اعتبار هر دو مدل، هر دو مدل با استفاده از نرم افزار ونسیم و برای مدت ۲۰ سال شبیه‌سازی شده‌اند. زمان شروع شبیه‌سازی سال ۱۳۹۲ و زمان پایان آن سال ۱۴۱۲ در نظر گرفته شده است. شکل زیر نمودار تغییرات مطلوبیت را در بازه‌ی سال‌های ۱۳۹۲-۱۴۱۲ بر اساس ضرائب به دست آمده از روش رگرسیون برای متغیرها در تابع مطلوبیت نشان می‌دهد.



شکل ۵. نمودار تغییرات مطلوبیت بر اساس ضرائب به دست آمده از رگرسیون برای متغیرها در تابع مطلوبیت بر اساس روند فعلی

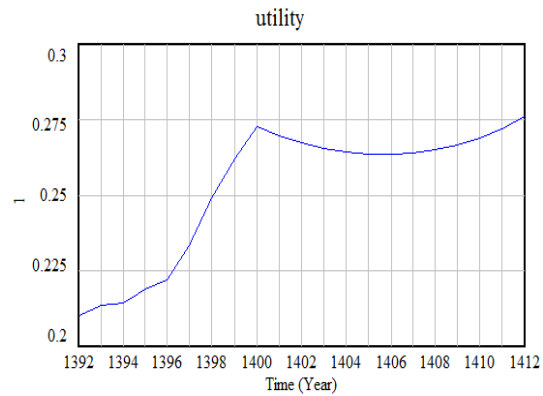
نام متغیر	سال	مقدار واقعی	خروجی مدل	قدر مطلق خطا
هزینه حمل در آمریکا (ریال)	۱۳۹۳	۷۱۲۸۹۰/۶۸	۷۱۶۱۹۳	۰/۰۰۵
	۱۳۹۴	۷۵۱۳۰۴/۳۵	۷۸۳۳۰۰	۰/۰۴۳
	۱۳۹۵	۷۸۵۳۲۹/۱۹	۸۵۶۶۹۶	۰/۰۹۱
هزینه حمل در ایران (ریال)	۱۳۹۳	۱۴۹۵۰۹۵/۶	۱۴۵۴۱۸۰	۰/۰۲۷
	۱۳۹۴	۱۶۳۸۱۳۰/۳۴	۱۶۶۲۲۴۰	۰/۰۱۴
	۱۳۹۵	۱۷۲۰۸۴۳/۳۸	۱۸۹۶۸۰۰	۰/۱۰۲
سرعت تجاری (km/h)	۱۳۹۳	۵	۵/۲	۰/۰۴۰
	۱۳۹۴	۵/۱۹	۵/۳۷	۰/۰۳۵
	۱۳۹۵	۵/۶۲	۵/۵۶	۰/۰۱۱
ظرفیت مسیر (تن)	۱۳۹۳	۲۵۰۰۰۰۰	۲۵۲۵۰۹۰	۰/۰۱۰
	۱۳۹۴	۲۱۰۰۰۰۰	۲۴۷۴۱۳۰	۰/۱۷۸
	۱۳۹۵	۲۱۰۰۰۰۰	۲۱۳۶۴۶۰	۰/۰۱۷
تعداد لکوموتیو در گردش	۱۳۹۳	۵۵۸	۵۳۴	۰/۰۴۳
	۱۳۹۴	۶۰۱	۵۶۰	۰/۰۶۸
	۱۳۹۵	۶۱۰	۵۸۷	۰/۰۳۸
تعداد لکوموتیو	۱۳۹۳	۱۱۵۶	۱۱۷۰	۰/۰۱۲
	۱۳۹۴	۱۲۸۳	۱۳۲۰	۰/۰۲۹

همانطور که مشاهده می‌شود، مقدار تقاضا در مسیر بندرعباس- سرخس تا سال ۱۳۹۵ با وجود افزایش مطلوبیت، کاهش یافته است. همانطور که در داده‌های واقعی برای تقاضا در این سال‌ها مشاهده شده است، این متغیر در این سال‌ها کاهش بسیاری داشته است و این احتمال وجود دارد که در این سال‌ها مقدار تقاضا متأثر از عوامل پیش بینی نشده و غیر از آنچه در تابع مطلوبیت این مسیر در نظر گرفته شده، بوده است و این کاهش در مقادیر به دست آمده توسط مدل نیز مشاهده می‌گردد. پس از آن تا سال ۱۴۰۰ با افزایش مطلوبیت، تقاضا نیز افزایش یافته، سپس تا سال ۱۴۰۶ با کاهش مطلوبیت، کاهش یافته و پس از آن مجدداً تا سال ۱۴۱۲ با افزایش مطلوبیت افزایش یافته و به مقدار ۵۱۰۶۹۴ تن رسیده است.

## ۵- بررسی تاثیر اجرای سناریوهای مختلف بر مطلوبیت و تقاضا

مطابق با نتایج به دست آمده از اجرای مدل دینامیکی برای مدت ۲۰ سال، تقاضا در مسیر مورد نظر تقریباً روندی افزایشی تا سال ۱۴۱۲ خواهد داشت و مقدار آن به ۵۱۰۶۹۴ تن خواهد رسید. هرچند این مقدار حتی با توجه به ظرفیت فعلی مسیر (۳۵۰۰۰۰۰ تن) مقدار کمی می‌باشد. بنابراین در این قسمت با تغییر برخی عوامل موثر در مطلوبیت کریدور مورد نظر، به تحلیل و بررسی میزان تغییرات تقاضا در این مسیر در بازه‌ی پیش‌بینی خواهیم پرداخت. لازم به ذکر است که هزینه حمل بر اساس سیاست تعرفه‌ای CIS تعیین می‌گردد و نمی‌توان به راحتی آن را تغییر داد. از طرفی مطابق با نتایج شبیه‌سازی، ایمنی مسیر در تمامی سال‌های پیش‌بینی در سطح مطلوبی بوده و نیازی به بهبود ندارد. همچنین متغیر تناوب حمل که بر اساس مقدار تناژ ترانزیت تعیین می‌گردد، با تغییر مطلوبیت تغییر می‌کند و بهبود آن با بهبود مطلوبیت مسیر امکان پذیر است. بنابراین در ادامه تنها به تغییر عوامل قابلیت رهگیری واگن، سرعت تجاری و قابلیت اطمینان خواهیم پرداخت و تاثیر آن را بر تغییرات سطح مطلوبیت صاحبان بار و تقاضا خواهیم دید.

همچنین نمودار تغییرات مطلوبیت در بازه‌ی سال‌های ۱۳۹۲-۱۴۱۲ بر اساس ضرائب به دست آمده از روش تحلیل سلسله مراتبی برای متغیرها در تابع مطلوبیت به صورت زیر است:



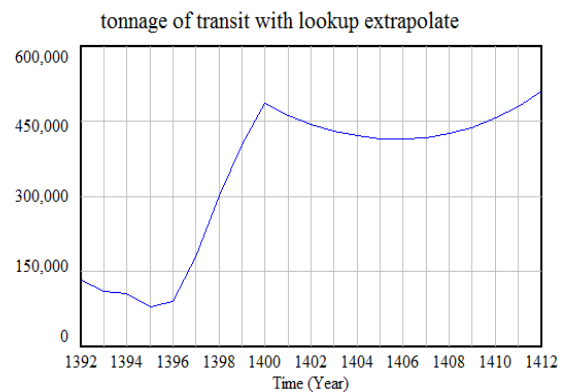
utility : Current

شکل ۶. نمودار تغییرات مطلوبیت بر اساس ضرائب به دست

آمده از تحلیل سلسله مراتبی برای متغیرها در تابع مطلوبیت بر

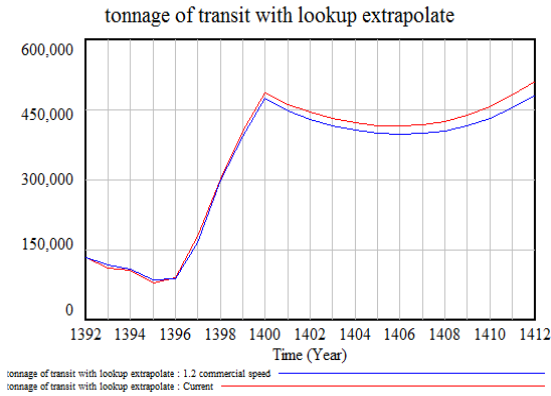
اساس روند فعلی

همانطور که مشاهده می‌شود مقدار مطلوبیت در حالتی که ضرائب متغیرها در تابع مطلوبیت، ضرائب به دست آمده از روش تحلیل سلسله مراتبی بوده‌اند، در بازه‌ی سال‌های ۱۳۹۲-۱۴۱۲ افزایش بیشتری داشته است. بنابراین این مدل به عنوان مدل نهایی در نظر گرفته شده و سایر تحلیل‌ها و ارزیابی‌ها با توجه به این مدل انجام شده است. منحنی تغییرات تناژ ترانزیت در مسیر بندرعباس- سرخس و در بازه‌ی سال‌های مذکور به صورت زیر است:



tonnage of transit with lookup extrapolate : Current

شکل ۷. نمودار تغییرات تقاضا بر اساس روند فعلی

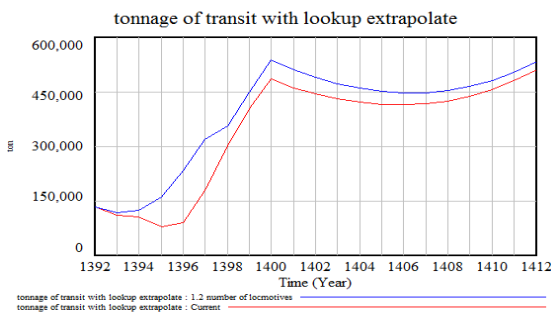


شکل ۹. نمودار تغییرات تقاضا پس از ۲۰ درصد افزایش در سرعت تجاری

همانطور که پیش از این بیان شد، با افزایش سرعت تجاری، هزینه حمل نیز افزایش می‌یابد که این متغیر برای صاحب بار بسیار مهم است. بنابراین همانطور که در شکل ۹ مشاهده می‌گردد، افزایش سرعت تجاری به تنهایی به دلیل افزایش هزینه در کنار آن، در مجموع اندکی باعث کاهش مطلوبیت شده است.

### ۵-۳- سناریوی سوم: تغییر در تعداد لکوموتیو موجود در کل شبکه ریلی

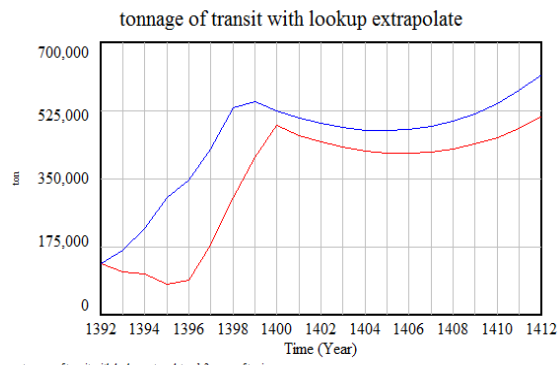
از دیگر عوامل موثر در مطلوبیت کریدور ریلی بندرعباس- سرخس، قابلیت اطمینان و در واقع به موقع رسیدن بار به مقصد است. بسیاری از قطارهای ترانزیتی در مسیر بندرعباس- سرخس به دلیل کمبود نیروی کشش نمی‌توانند به موقع حرکت کنند. بنابراین می‌توان با افزایش تعداد لکوموتیو موجود در کل شبکه، قابلیت اطمینان و در نتیجه تقاضا در این مسیر را افزایش داد. نمودار زیر روند فعلی تغییرات تقاضا و هم‌چنین روند تغییرات آن پس از افزایش تعداد لکوموتیو موجود در کل شبکه به میزان ۲۰ درصد را نشان می‌دهد:



شکل ۱۰. نمودار تغییرات تقاضا پس از ۲۰ درصد افزایش در تعداد لکوموتیو موجود در کل شبکه

### ۵-۱- سناریوی اول: تغییر در سیستم رهگیری واگن

یکی از عوامل موثر در مطلوبیت کریدور بندرعباس- سرخس قابلیت رهگیری واگن است. در حال حاضر سیستم رهگیری واگن در کشور ما عملکرد متوسطی در مقایسه با عملکرد سیستم‌های رهگیری واگن در کشورهای عضو اتحادیه بین‌المللی راه آهن‌ها<sup>۱۴</sup> دارد. بهبود این سیستم می‌تواند موجب شود صاحب بار اطلاعات بیشتر و بهتری از محموله خود داشته باشد و بنابراین مطلوبیت کریدور ریلی افزایش می‌یابد. در ادامه نمودار تغییرات تقاضا پس از ۲۰ درصد افزایش در امتیاز قابلیت رهگیری واگن آورده شده است:



شکل ۸. نمودار تغییرات تقاضا پس از ۲۰ درصد افزایش در امتیاز قابلیت رهگیری واگن

همانطور که مشاهده می‌شود پس از بهبود سیستم رهگیری واگن، تقاضا نسبت به روند فعلی افزایش یافته است.

### ۵-۲- سناریوی دوم: تغییر در سرعت تجاری قطارها

سرعت تجاری قطارهای باری ترانزیتی در مسیر بندرعباس- سرخس در حال حاضر در حدود ۵ کیلومتر بر ساعت است. یعنی فاصله زمانی میان ورود بار از بندرعباس تا خروج آن از مرز سرخس در حدود دو هفته می‌باشد که زمان بسیار زیادی است. در زیر نمودار تغییرات تقاضا را پس از ۲۰ درصد افزایش در سرعت تجاری مشاهده می‌کنیم:

## ۶- نتیجه گیری

در این تحقیق در ابتدا تعاریف مطلوبیت و ترانزیت ارائه گردید و پس از آن مقالات مرتبط با ارزیابی مطلوبیت کریدورهای ترانزیتی بررسی و عوامل موثر در مطلوبیت کریدورهای ترانزیتی شناسایی شد. این عوامل شامل هزینه حمل، زمان حمل، ایمنی، مصرف انرژی، نشر گازهای گلخانه‌ای، قابلیت اطمینان، انعطاف پذیری، تناوب حمل، آلودگی صوتی، سرعت، تراکم و ترافیک و تصادفات هستند.

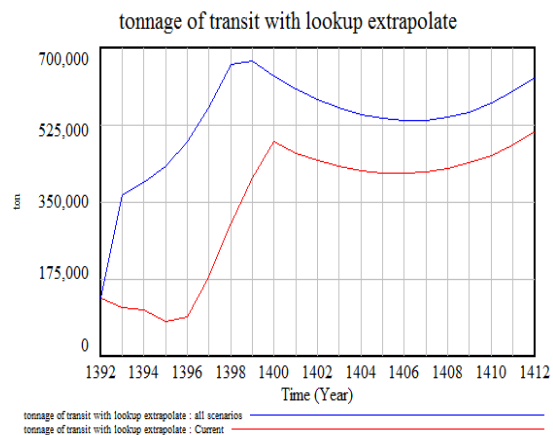
در ادامه جهت به دست آوردن مهم‌ترین عوامل موثر در مطلوبیت کریدورهای ترانزیت ریلی از نظر مدیران و کارشناسان حوزه ترانزیت بهره گرفته شد و بر اساس مقیاس لیکرت مهم‌ترین این عوامل به دست آمدند. این عوامل شامل هزینه حمل، ایمنی مسیر، سرعت تجاری، قابلیت اطمینان، - تناوب حمل و قابلیت رهگیری واگن هستند. پس از آن جهت اولویت‌بندی این عوامل بر مبنای تاثیرگذاری هر یک در مطلوبیت، از نظر خبرگان و روش تحلیل سلسله مراتبی استفاده شد. اولویت‌بندی این عوامل به ترتیب از بیشترین به کمترین اهمیت به صورت ۱- هزینه حمل، ۲- ایمنی مسیر، ۳- قابلیت اطمینان، ۴- قابلیت رهگیری واگن، ۵- سرعت تجاری و ۶- تناوب حمل می‌باشد. در قدم بعد اطلاعات مربوط به هر یک از عوامل مذکور برای کریدور ریلی بندرعباس- سرخس و در فاصله‌ی سال‌های ۱۳۸۵-۱۳۹۵ جمع آوری شد و سپس بر مبنای این اطلاعات و استفاده از روش رگرسیون خطی در نرم افزار ایویوز، رابطه خطی میان این عوامل و میزان مطلوبیت تایید شده و تابع مطلوبیتی برای کریدور مذکور ارائه گردید. بر اساس اوزان به دست آمده از روش رگرسیون، اولویت‌بندی این عوامل به ترتیب از بیشترین به کمترین اهمیت به صورت ۱- هزینه حمل، ۲- قابلیت رهگیری واگن، ۳- ایمنی مسیر، ۴- سرعت تجاری، ۵- قابلیت اطمینان و ۶- تناوب حمل می‌باشد. در نهایت با توجه به وجود رابطه خطی میان عوامل مذکور و مطلوبیت، دو تابع مطلوبیت برای کریدور مذکور به دست آمد: یک تابع مطلوبیت دقیق بر اساس روش رگرسیون خطی و یک تابع مطلوبیت تقریبی بر اساس اوزان به دست آمده از روش تحلیل سلسله مراتبی برای هر یک از عوامل.

در ادامه یک مدل دینامیکی برای ارزیابی مطلوبیت کریدور ریلی بندرعباس- سرخس ارائه شد. این مدل یکبار

همانطور که مشاهده می‌شود پس از افزایش تعداد لکوموتیو موجود در کل شبکه، به دلیل بهبود قابلیت اطمینان، تقاضا در مسیر مورد نظر نسبت به روند فعلی افزایش یافته است.

## ۵-۴- بررسی تاثیر همزمان سناریوها

در نهایت تاثیر همزمان تغییرات ذکر شده یعنی ۲۰ درصد افزایش در امتیاز قابلیت رهگیری واگن، ۲۰ درصد افزایش در سرعت تجاری و ۲۰ درصد افزایش در تعداد لکوموتیو موجود در کل شبکه بر روی تناژ ترانزیت بررسی شده است که نتایج آن را در شکل ۱۱ مشاهده می‌کنیم:



شکل ۱۱. نمودار تغییرات تقاضا پس از اعمال همزمان سناریوها

همانطور که مشاهده می‌شود، پس از اعمال هر سه سناریو به طور همزمان، افزایش بیشتری در مطلوبیت و تناژ ترانزیت مشاهده می‌گردد. بطوریکه مقدار تناژ ترانزیت تا سال ۱۴۱۲ تقریباً به مقدار ۶۴۰۰۰۰ تن خواهد رسید. لازم به ذکر است با افزایش قابلیت رهگیری واگن و سرعت تجاری، هزینه حمل نیز افزایش می‌یابد و با توجه به اهمیت زیاد هزینه حمل برای صاحب بار، تغییرات گسترده‌ای در تقاضا مشاهده نمی‌شود. بنابراین شرکت‌های حمل و نقل با دادن تخفیف در هزینه حمل پرداخت شده بر حسب میزان تقاضای صاحب بار، می‌توانند مطلوبیت مسیر را برای صاحب بار افزایش بیشتری دهند. بنابراین تغییر تنها در یک متغیر نمی‌تواند مطلوبیت مسیر را برای صاحب بار افزایش زیادی بدهد و جهت افزایش بیشتر تقاضا بهبود چندین متغیر به طور همزمان لازم است.

۴. عدم تغییر در آرایش قطارها در طول مسیر تا حد امکان و در نتیجه کاهش زمان توقفات
۵. برنامه‌ای نمودن حرکت قطارهای ترانزیتی
۶. افزایش تعداد لکوموتیو موجود در شبکه جهت افزایش احتمال اجرایی شدن قطارهای برنامه‌ای و در نتیجه افزایش قابلیت اطمینان
۷. ارائه تخفیف در هزینه حمل از طرف شرکت‌های حمل و نقلی با توجه به مقدار تقاضای صاحب بار جهت کاهش هزینه حمل

#### ۷- پی‌نوشت‌ها

1. Jeremy Bentham
2. Fuzzy Delphi
3. Fuzzy Electre
4. Incheon
5. Qingdao
6. Horgos
7. Almaty
8. Biogeme
9. analytic hierarchy process (AHP)
10. expertchoice
11. Commonwealth of Independent States (CIS)
12. eviws
13. vensim PLE
14. International Union of Railways (UIC)

#### ۸- مراجع

- فرجی، ی.، (۱۳۸۴)، "تئوری اقتصاد خرد"، تهران، شرکت چاپ و نشر بازرگانی وابسته به موسسه مطالعات و پژوهش‌های بازرگانی.

- ابراهیمی، ب.، امین‌نیری، م. و رمضانی خورشید دوست، ر.، (۱۳۹۰)، "بررسی تابع مطلوبیت و ارائه روشی جدید برای محاسبه تابع مطلوبیت دو شاخصه وابسته (مطالعه موردی: تابع مطلوبیت فشار خون و ضربان قلب)"، هشتمین کنفرانس بین‌المللی مهندسی صنایع، تهران، بهمن، ص. ۲۶-۲۷.

- احدی، ح. و ضیاتبارا احمدی، ح.، (۱۳۹۲)، "تحلیل دینامیکی پارامترهای موثر در مطلوبیت کریدورهای ترانزیت

با استفاده از ضرائب به دست آمده از روش رگرسیون برای متغیرها در تابع مطلوبیت و یکبار با استفاده از ضرائب به دست آمده از روش تحلیل سلسله مراتبی برای متغیرها در تابع مطلوبیت و با استفاده از نرم افزار ونسیم اجرا شد. پس از محاسبه قدر مطلق خطا و تایید اعتبار مدل در هر دو حالت، مدل با استفاده از نرم افزار ونسیم و برای مدت ۲۰ سال شبیه‌سازی شد و این نتیجه به دست آمد که مدل دینامیکی اجرا شده با ضرائب به دست آمده از روش تحلیل سلسله مراتبی برای متغیرها در تابع مطلوبیت، مقادیر بیشتری را برای مطلوبیت و تناژ ترانزیت در بازه شبیه‌سازی به دست می‌دهد و بنابراین این مدل به عنوان مدل نهایی انتخاب شد و ادامه‌ی تحلیل‌ها و ارزیابی‌ها بر روی این مدل صورت گرفت. نتایج شبیه‌سازی مدل مذکور نشان می‌دهد که مقدار تناژ ترانزیت در مسیر بندرعباس- سرخس از سال ۱۳۹۵ تا سال ۱۴۰۰ با افزایش مطلوبیت افزایش یافته، سپس تا سال ۱۴۰۶ با کاهش مطلوبیت، کاهش یافته و پس از آن مجدداً تا سال ۱۴۱۲ با افزایش مطلوبیت افزایش یافته و به مقدار ۵۱۰۶۹۴ تن خواهد رسید. هرچند این مقدار با توجه به ظرفیت فعلی مسیر بندرعباس- سرخس نیز مقدار بسیار کمی می‌باشد.

در نهایت جهت افزایش مطلوبیت و تقاضا در کریدور مورد نظر، سناریوهایی مبنی بر تغییر برخی از متغیرها ارائه شد و این نتیجه حاصل شد که با اعمال همزمان سه سناریوی بهبود سیستم رهگیری واگن، افزایش سرعت تجاری قطارها در مسیر مذکور و افزایش تعداد لکوموتیو موجود در کل شبکه ریلی، بیشترین افزایش را در مطلوبیت و تناژ ترانزیت خواهیم داشت. هرچند به دلیل اهمیت هزینه حمل برای صاحب بار، ارائه تخفیف در هزینه حمل نیز باید در نظر گرفته شود. بنابراین راهکارهای زیر جهت افزایش مطلوبیت کریدور ریلی بندرعباس- سرخس ارائه شده است:

۱. بهبود سیستم رهگیری واگن جهت کنترل بیشتر و بهتر بر سیر واگن
۲. نوسازی ناوگان موجود و خرید ناوگان با قابلیت سیر با سرعت بالا به منظور افزایش سرعت سیر قطارهای باری ترانزیتی
۳. بهبود و افزایش تجهیزات بارگیری و تخلیه و مانور و در نتیجه بهبود زمان انجام عملیات آن‌ها

- Arencibia, A., Feo-Valero, M., García-Menéndez, L. and Román, C., (2015) "Modelling mode choice for freight transport using advanced choice experiments", *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, Vol. 75, pp. 252-267.
- Nugroho, M., Whiteing, A. and Jong, G., (2016), "Port and inland mode choice from the exporters' and forwarders' perspectives: Case study—Java, Indonesia", *Research in Transportation Business & Management*, Vol. 19, pp. 73-82.
- Wang, Y. and Yeo, G., (2017), "Intermodal route selection for cargo transportation from Korea to Central Asia by adopting Fuzzy Delphi and Fuzzy ELECTRE I methods", *Maritime Policy & Management*, pp. 1-16.
- Flodén, J., Bärthel, F. and Sorkina, E., (2017), "Transport buyers choice of transport service—A literature review of empirical results", *Research in Transportation Business & Management*, Vol. 23, pp. 35-45.
- Wanders, G., (2014), "Determining shippers' attribute preference for container transport on the Rotterdam-Venlo corridor", MSc thesis project, Delft: Delft University of Technology.
- ریلی؛ مطالعه موردی محور سرخس- بندرعباس"، فصلنامه مهندسی حمل و نقل، سال پنجم، شماره دوم، ص. ۱۵۳-۱۶۶.
- عرب، ع.، (۱۳۸۷)، "تعیین سهم ترافیک بار و مسافر جذب شونده به راه آهن جدیدالاحداث از شیوه حمل و نقل جاده ای با استفاده از روش لوجیت"، هشتمین کنفرانس مهندسی حمل و نقل و ترافیک ایران، تهران، اردیبهشت، ص. ۲۴-۲۶.
- سیف نیا، ف. و آین، ش.، (۱۳۹۳)، "برآورد تابع مطلوبیت حمل و نقل ریلی سیمان و کلینکر"، شانزدهمین همایش بین المللی حمل و نقل ریلی، تهران، مهر، ص. ۲۷-۲۸.
- "نقشه‌های شبکه راه‌آهن جمهوری اسلامی ایران، معاونت بهره برداری و سیر و حرکت راه‌آهن جمهوری اسلامی ایران"، (۱۳۸۵-۱۳۹۶).
- "سالنامه‌های آماری راه آهن جمهوری اسلامی ایران"، (۱۳۸۵-۱۳۹۵).
- "سالنامه‌های آماری سازمان راه‌داری و حمل و نقل جاده ای"، (۱۳۸۵-۱۳۹۵).
- حمیدی زاده، م.، (۱۳۹۴)، "پویایی های سیستم"، تهران، دانشگاه شهید بهشتی.
- Gohari, A., Nasir Matori, A., Yusof, K. W., Toloue, I., Myint, K. C. and Sholagberu, A. T., (2018), "Route/Modal choice analysis and tradeoffs evaluation of the intermodal transport network of Peninsular Malaysia", *Cogent Engineering*, vol. 5, pp. 1436948.
- Ghaderi, H., Namazi-Rad, M., Cahoon, S. and Fei, J., (2015), "Improving the quality of rail freight services by managing the time-based attributes: the case of non-bulk rail network in Australia", *World Review of Intermodal Transportation Research*, Vol. 5, pp. 203-220.

# **A Dynamic Model for Evaluating the Utility of Railway Transit Corridors**

## **(Case Study: Bandar Abbas- Sarakhs Corridor)**

*Hamidreza Ahadi, Assistant Professor, School of Railway Engineering, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran.*  
*Golshan Torabian Esfahani, M.Sc., Grad., School of Railway Engineering, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran.*

*E-mail: golshan\_92@yahoo.com*

Received: September 2020-Accepted: January 2021

### **ABSTRACT**

Currently, road transportation is the main mode of freight transit in Iran and about 90% of freight transit is done through this mode of transportation which is not in line with the transportation policies that based on them 70% of the freight transit should be done through road transportation and 30% of the freight transit should be done through rail transportation. However, Iran's railway network is very wide and we can increase the share of railway in freight transit. Therefore it is important to recognize the effective factors which increase the share of rail transit. The purpose of this research is to recognize the factors increasing the utility of railway transit corridors and to improve the competitive position of railway in freight transit. So the concepts of utility and transit are described in the first place, then the factors affecting the utility of railway transit corridors from the perspective of the owner of goods are determined by making a literature review and investigating the opinions of experts. These factors include transportation cost, commercial speed, reliability, safety, the system of tracing wagons and service frequency. Then a utility function for Bandar Abbas- Sarakhs corridor is developed based on the mentioned factors. At last, a dynamic model to evaluate the utility of the mentioned corridor is developed and after verifying the validation of it, the model is simulated by vensim PLE software for 20 years. The results of the simulation show that simultaneous improvement in reliability, the system of tracing wagons and commercial speed and also giving discount on the cost of transportation according to the demand of the owner of goods can play a significant role in increasing the utility of the mentioned corridor, and changing only one factor will not result in major changes in the utility of the corridor.

**Keywords:** Utility, Corridor, Rail Transit, System Dynamics