مطلوبیت انتخاب راه آهن در رقابت با جاده برای حمل و نقل کانتینر در ایران

سید سینا مهری، دانش آموخته کارشناسی ارشد، دانشکده حمل و نقل، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران

حسین حق شناس، استادیار ، دانشکده حمل و نقل، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران

Email: ho_hagh@cc.iut.ac.ir

دریافت: ۱۳۹۵/۰٤/۲٦ پذیرش: ۱۳۹٦/۰۱/۲۱

چکیده

باوجود روبه رشد بودن حمل‌ونقل کانتینری در جهان، در ایران تنها ۱,۶ درصد از کل جابه‌جایی کالا توسط کانتینر حمل می‌گردد. در ایران سهم حمل و نقل ریلی در جابه جایی کانتینر علیرغم مزایای نسبی آن به حمل‌ونقل جاده‌ای ناچیز است. در سال ۱۳۹۲ از مجموع ۶,۵ میلیون تن کالای کانتینری حمل شده در کشور تنها ۰,۵ میلیون تن(۸درصد) از آن توسط راه‌آهن حمل شده است. این پژوهش با هدف بررسی دلایل برتری حمل و نقل جاده ای در جابه جایی کانینتر و عدم استقبال صاحبان بار از حمل و نقل ریلی انجام شده است. برای این منظور از مدل انتخاب وسیله لوجیت دوگانه در ریل وجاده برمبنای اطلاعات بارنامه‌های ثبت شده راه‌آهن و سازمان راهداری استفاده شده است. از منابع مختلف اطلاعاتی، مقادیر متغیرهای مرتبط با انتخاب وسیله کانتینر برای مبادی و مقاصد مختلف کشور محاسبه گردید برترین مدل لوجیت در انتخاب وسیله ریل و جاده، براساس آزمون های مختلف آماری، شناسایی و بر اساس آن مهمترین متغیرهای تاثیر گذار در انتخاب شیوه‌حمل کانتینرمعرفی گردید. برترین مدل انتخاب وسیله حمل از متغیرهای بندر بودن مبدأ، بندر بودن مقصد ، بار انبوه بالای ۱۰۰۰۰ تن، زمان جاده‌ای، زمان ریلی، مبدأ- مقصد پرتردد، مبدأ- مقصد فعال ریلی و هزینه کل ریلی به جاده‌ای تشکیل‌شده است. سه متغیر زمان سفر جاده‌ای، زمان سفر ریلی و هزینه کل ریلی نسبت به جاده‌ای با توجه به الاستیسیته بالا از تأثیرگذارترین متغیرها در این مدل بوده اند. مقایسه مقادیر پیش‌بینی کننده تناژ ریلی توسط این مدل و تناژ ریلی واقعی نشان داد که مدل به‌طور قابل قبولی می تواند نزدیک به واقعیت پیش‌بینی کند. در پایان بر اساس مدل انتخاب وسیله، راهکارهایی جهت افزایش سهم بار ریلی پیشنهاد گردیده است که اصلاح تعرفه‌ها، احداث بنادر خشک و زمان‌بندی خطوط از مهم‌ترین این راهکارهای هستند.

واژه‌های کلیدی: انتخاب وسیله، تحلیل همفزون، حمل‌ونقل کانتینری، راه‌آهن، مدل لوجیت

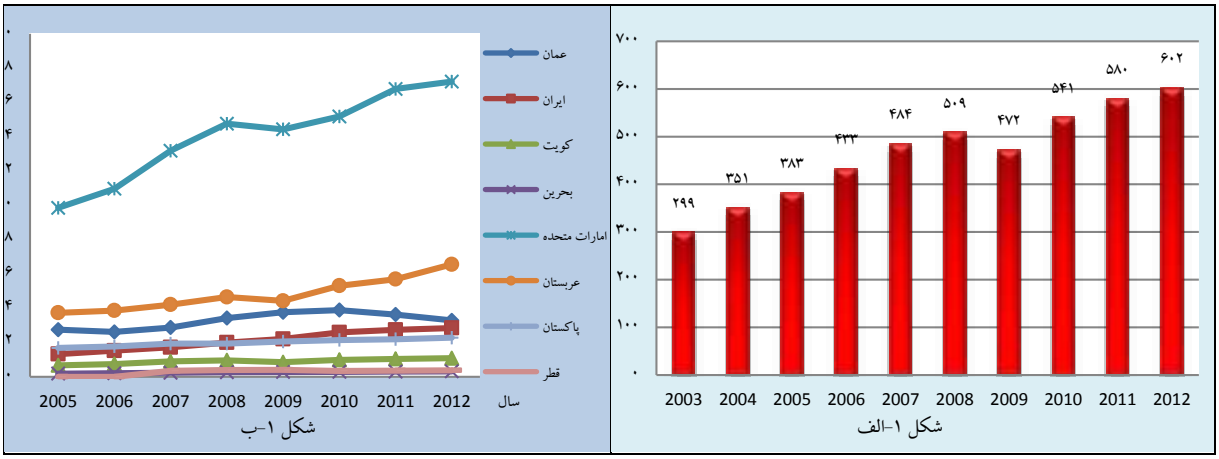
۱. مقدمه

امروزه حمل‌ونقل ترکیبی به سبب دارا بودن مزایای هر دو گونه ریلی و جاده‌ای با تغییر در ساختار وسایل نقلیه و نوع بسته‌بندی کالاها با استفاده از کانتینر، هزینه و زمان سفر را کاهش داده و ایمنی و سهولت حمل دوچندانی را برای صاحبان کالا فراهم نموده است وجود مزایای بسیار در حمل کانتینری کالا، باعث افزایش رغبت صاحبان کالا در کل جهان به این شیوه حمل‌ونقلی گردیده است. شکل ۱-الف روند تغییرات جابه‌جایی کانتینر در جهان و شکل ۱-ب آمار تجارت حمل‌ونقل کانتینری در کشورهای خلیج‌فارس و دریای عمان از سال ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۲ نشان می‌دهند.

بر اساس شکل ۱-الف حجم جابه‌جایی کانتینر در جهان از ۲۹۹ میلیون TEU در سال ۲۰۰۳ به ۶۰۲ میلیون TEU در سال ۲۰۱۲ افزایش پیداکرده است[Degerland , 2011]. بااین‌وجود شکل ۱-ب آمار تجارت حمل‌ونقل کانتینر در کشورهای خلیج‌فارس و دریای عمان از سال ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۲ را نشان می‌دهد که میزان تجارت حمل‌ونقل کانتینری در ایران با درصد کمی رشد نموده است (در حدود ۰,۷ میلیون تن در سال ۲۰۰۵ و ۲,۲ میلیون تن در سال ۲۰۱۲) [UNCTAD, 2011].

مطالعه سهم حمل‌ونقل ریلی بار در ایران در مقایسه با حمل‌ونقل جاده‌ای و هوایی حاکی از این مطلب است که بیش از ۹۰ درصد از جابجایی کالا در کشور توسط جاده حمل می‌گردد و سهم حمل‌ونقل ریلی در حدود ۱۰ درصد است[پژوهشکده حمل و نقل، ۱۳۹۳]. حمل‌ونقل کانتینر توسط راه‌آهن دارای مزایای بالقوه‌ای ازجمله جابه‌جایی حجم انبوه کانتینر، هزینه حمل کمتر نسبت به حمل‌ونقل جاده‌ای، مصرف سوخت کمتر، آلایندگی کمتر و... است. بااین‌حال حمل کانتینر با راه‌آهن از جایگاه بسیار نامطلوبی در ایران برخوردار است. شناسایی دلایل این برتری به‌خصوص در گروه کالاهای کانتینری مسئله اصلی پژوهش حاضر است. هدف از پژوهش حاضر شناسایی مهمترین عوامل موثر بر انتخاب شیوه حمل کانتینر و میزان تاثیر هر عامل است. مدل‌های انتخاب وسیله برای کالاهای کانتینری منجر به شناسایی مهم‌ترین متغیرهای تأثیرگذار بر انتخاب شیوه‌حمل می‌گردد و با ارائه راهکارهای مؤثر در جهت مهم‌ترین متغیرهای مدل انتخاب وسیله که از تحلیل حساسیت متغیرهای مدل بدست می‌آید، امکان افزایش تقاضا ریلی کالای کانتینر میسر می‌گردد.

وینستون در سال ۱۹۸۱ به مطالعه جابه جایی کالاهای خانگی و انتخاب شیوه حمل کانتینری برای این کالاها در کریدور کاستال پرداخته است[Winston 1981]. ویرا در سال ۱۹۹۲حمل و نقل کانتینری کالا را به عنوان یک گزینه در مدهای انتخاب وارد نموده است. در این مطالعه به دلیل کمبود اطلاعات متوسط هزینه و زمان سفر برای حمل کالاهای کانتینری در سیستم جاده ای و ریلی برابر با متوسط هزینه و زمان سفر کلیه کالاها در این دو سیستم در نظر گرفته شده است. همچنین این مطالعه نتوانست به خوبی دلایلی جهت تفکیک سیستم ریلی و جاده ای از یکدیگر شناسایی کند[Vieira , 1992]. کولیان و همکاران در سال ۲۰۰۰ در مقاله‌ای تحت عنوان شناسایی متغیرهای موثر بر تصمیم‌گیری انتخاب وسیله و مسیر بار به بررسی و شناسایی متغیرهای موثر بر انتخاب وسیله‌ی حمل بار که بوسیله روش رجحان بیان‌شده در مطالعات مختلف آمده است پرداخته‌اند، روش استفاده‌شده برای این بررسی تجزیه و تحلیل محتوایی متون است. متغیرها بر اساس فراوانی تکرار لغات در مقالات رتبه‌بندی شدند. بیشترین متغیرهای تکرار شده در ۷۵ پژوهش، پنج متغیر هزینه حمل، سرعت، قابلیت اطمینان به زمان، ویژگی کالاها و خدمات بوده‌اند[Cullinane, 2000].



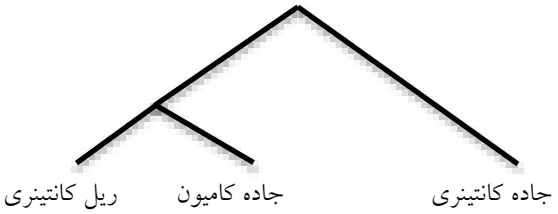
شکل ۱. مقایسه حجم مبادلات کانتینری در کشورهای جهان در فاصله سال‌های ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۲

شینگال و فوکس در سال ۲۰۰۲ با استفاده از داده‌های گردآوری شده به روش رجحان بیان شده در کشور هند به مطالعه انتخاب وسیله حمل بار در کشور هند پرداخته‌اند. اطلاعات از طریق مصاحبه با ۳۲ شرکت صادراتی و داخلی حاصل گردیده است. مطالعات بر روی کریدور شمال به غرب از دهلی به بمبئی که یکی از مهمترین کریدورهای انتقال بار داخلی و همچنین بار صادراتی و وارداتی به این کشور است بررسی می‌شود. محققین در این مطالعه ٤ گزینه یا طریقه‌ی حمل به نام‌های، جاده (وضعیت موجود)، سرویس جدید جاده‌ای، سرویس کانتینری ترکیبی و سرویس ریلی(سرویس سریع السیر) پیشنهاد کرده‌اند. با در نظر گرفتن متغیرهای تاثیر گذار از جمله هزینه حمل، زمان سفر، قابلیت اطمینان به زمان و فراوانی سرویس، مدل های همفزون بر روی اطلاعات جمع آوری شده ساخته شده است. طبق نتایج به دست آمده، کالاهای باارزش کمترین میزان رغبت را برای حمل با ریل از خود نشان داده وکالاهای صادراتی نیز تمایلی به حمل بار از طریق ریل ندارند. در نهایت سیستم ریلی میتواند با ۱۵ الی ۳۰ درصد تخفیف در حمل کالا و رساندن کیفیت سرویس خود به سیستم جاده‌ای مورد استفاده قرار بگیرد. فراوانی سرویس نیز یکی از عوامل مهم در انتخاب طریقه مخصوصا برای گروه کالاهای صنعتی بوده است[Shinghal, 2002]. رانگاراج در سال ۲۰۰۳ به استراتژی‌های قیمت‌گذاری و سرمایه‌گذاری و سایر جنبه‌های رقابتی دیگر در انتخاب وسیله حمل پرداخته است[Rangaraj, 2003].

عدم تعادل مکانی تابع عرضه و تقاضا باعث خالی حرکت کردن وسایل و عدم تعادل زمانی تابع عرضه و تقاضا باعث توقف ناوگان در ایستگاه می‌شود. هر دو این عوامل افزایش هزینه‌ها را در بردارند. نوع کالای باری در این مقاله کانتینر بوده، که توسط راه‌آهن یا جاده یا حمل ترکیبی، حمل می‌گردد. در این مقاله با استفاده از یک مدل بهینه‌سازی با تابع هدف حداکثر کردن سود یک شرکت، تعرفه بهینه محاسبه گردیده است. فوکس و همکاران با استفاده از روش (LSAP) به مدل سازی تحرکات داخلی حمل کالاهای کانتینری از بریتانیا به قاره اروپا پرداخته اند[Fowkes, 1991]. مشابه روش فوکس توسط شینگال و فوکس در سال ۲۰۰٦ در کشور هند مورد مطالعه قرار گرفت[Shinghal, 2006].

فریز و همکاران در سال ۲۰۰۸ با در نظر گرفتن گروه‌های مختلف کالا، مدل انتخاب برای شیوه‌های ریلی، جاده‌ای و ترکیبی را در ٤ بخش بارهای داخلی، وارداتی، صادراتی و ترانزیت برای کشور سوئیس ساخته‌اند. اطلاعات لازم برای مدلسازی از طریق مصاحبه (تلفن و ایمیل) با ۹۷ شرکت حمل بار جمع‌آوری گردیده است. متغیرهای در نظر گرفته شده در این مطالعه هزینه حمل، زمان سفر، قابلیت اطمینان به زمان و در دسترس بودن خط ریلی کمکی است. در تمامی مدل‌ها متغیرهای هزینه و قابلیت اطمینان به زمان وارد مدل شده‌اند، در مدل حمل‌ونقل داخلی بار، علاوه بر دو متغیر ذکر شده، زمان سفر نیز وارد مدل شده‌است، متغیر خط کمکی خصوصی نیز

فقط در دو مدل مربوط به حمل‌ونقل داخلی بار معنادار شده است[Fries, 2008].



شکل ۲. بهترین مدل آشیانه‌ای برای حمل کالاهای صادراتی از هند

شن در سال ۲۰۱۲ با استفاده از مدل انتخاب وسیله دوگانه و رگرسیون به برآورد سهم جاده و ریل در حمل غلات (شامل گندم، جو، ذرت و ...) در آمریکا با استفاده از اطلاعات سال ۲۰۰۲ پرداخته است. اطلاعات استفاده‌شده شامل ۱۱ مبدأ و ۲۲ مقصد است، و تنها مبادی مقاصدی در نظر گرفته شدند که از هر دو سیستم ریل و جاده بار ارسال و دریافت می‌کنند. متغیرهای در نظر گرفته‌شده شامل ویژگی‌های کالا، شبکه و سوخت است. در پایان اختلاف نسبی تخمین مدلهای لوجیت و رگرسیون با مقادیر مشاهده‌شده مقایسه شدند که برای جاده به ترتیب مقادیر ۰,۷٤ ، ۱,۷۵ و برای ریل ۱,۳۸ ، ۲,۱٤ به دست آمد که نشان‌دهنده آن است که مدل لوجیت تخمین بهتری را ارائه کرده است[Shen, 2012].

شی و همکاران در سال ۲۰۱۲ به بررسی اصلاح تعرفه حمل بار در راه‌آهن با استفاده از کشش قیمتی تعرفه حمل بار راه‌آهن پرداخته‌اند. در این پژوهش کالاها به دو دسته فله و کالاهای قابل بسته‌بندی تقسیم شده‌اند. کل منطقه موردمطالعه طبق تقسیمات ناحیه‌ای تقسیم شده و جریان بین این مناطق مورد ارزیابی قرار داده شده است. این پژوهش بیان می‌کند، تنها اصلاح تعرفه راه‌آهن گره‌گشا نیست و باید به تعرفه گونه رقیب (جاده) نیز توجه نمود. در این پژوهش تغییرات تولید ناخالص داخلی نیز بررسی شده و نتیجه گرفته شده است، برای بعضی گونه‌های کالا با افزایش تولید ناخالص ملی حجم کالا جابجایی همواره افزایش می‌یابد و برای بعضی گونه‌ها ابتدا افزایش‌یافته تا به حد مشخصی برسد سپس کاهش می‌یابد[Shi, 2012].

راویبابو در سال ۲۰۱۳ به مدل‌سازی انتخاب وسیله حمل کالاهای صادراتی از کشور هند در مسیر کریدور مومبای- دهلی پرداخته است. در این مقاله سه نوع شیوه‌حمل (حمل کانتینری با جاده، حمل کانتینری با ریل و حمل به‌صورت فله توسط جاده) در نظر گرفته‌شده است. اطلاعات موردنیاز توسط ۱۲٤ پرسشنامه از صاحبان بار و همچنین اطلاعات پایانه‌ها و شرکت‌های صادراتی تهیه گردیده است. بهترین مدل لوجیت آشیانه‌ای این مطالعه در شکل۲ آورده شده است [Ravibabu, 2013].

متغیرهای در نظر گرفته‌شده شامل متغیرهای مربوط به ویژگی کالاها (ارزش کالا و چگالی)، اندازه شرکت صادراتی (گردش مالی سالیانه شرکت)، نوع وسیله حمل (هزینه، زمان سفر، اطمینان‌پذیری، خسارت) و همچنین یک سری متغیرهای اضافی مربوط به حمل کانتینری ازجمله: متناسب بودن برای کانتینری شدن کالا، مزایای ارسال صادرات کالا (درصدی از ارزش کالا)، سفارش‌های فوری، فرکانس و فراوانی سرویس هستند. با توجه به مدل ساخته‌شده نتیجه گرفته‌شده است که پارامترهای هزینه سفر و زمان سفر از همه مهم‌تر هستند و جهت افزایش حمل کانتینری باید به اصلاح این پارامترها پرداخت و پیشنهادشده است که به‌جای بررسی یک کریدور کلیه مسیرها بررسی گردند و تمامی کالاهای صادراتی، وارداتی، ترانزیت، داخلی در نظر گرفته شوند[Ravibabu, 2013].

پژوهشکده حمل ونقل دانشگاه صنعتی اصفهان بعد از تقسیم‌بندی کلیه کالاهای داخلی کشور در بارنامه‌های جاده‌ای و ریلی به گروه‌های کالایی فولادی، معدنی، کشاورزی،ساختمانی، نفتی و خرده بار مدل‌های مطلوبیت ریل به جاده ساخته‌شده است. در این پژوهش کالاهای کانتینری در گروه کالاهای خرده بار قرارگرفته است و به‌صورت جداگانه مدل‌سازی نشد. در این مطالعه با پیش‌بینی تقاضای کالا در افق‌های ۱۳۹۸ و ۱٤۰٤ به پیش بینی سهم راه‌آهن در این افق‌ها تحت سناریوهای مختلف

پرداخته‌شده‌است. در این پژوهش مشکلات حمل‌ونقل ریلی از نگاه صاحبان کالا، شرکت‌های حمل‌ونقل ریلی و کارشناسان راه‌آهن با استفاده از پرسش‌نامه‌ها و مصاحبه‌های جامعی در سطح کشور تهیه گردید. رتبه‌بندی مهم‌ترین موانع توسعه حمل ریلی در این پژوهش از دید مصاحبه‌شوندگان تعرفه بالای حمل ریلی، زمان طولانی حمل، مشکلات دسترسی و حمل ترکیبی و امکانات تخلیه و بارگیری هستند. به‌طور نمونه مصاحبه‌ای که با مسئولان گروه صنعتی انتخاب (به‌عنوان بزرگ‌ترین تولیدکننده لوازم‌خانگی در ایران) صورت گرفته است، بیان می‌کند که هزینه حمل جاده‌ای یک کانتینر ٤٠ فوتی پس از ترخیص از گمرک بندرعباس تا درب کارخانه‌ها گروه صنعتی انتخاب در سال ۱۳۹۲ حدود هشت‌صد هزار تومان و هزینه برگشت کانتینر خالی حدود پانصد هزار تومان و درمجموع هزینه رفت‌وبرگشت یک کانتینر یک‌میلیون و سیصد هزار تومان بوده است، درحالی‌که در همان سال هزینه حمل ریلی در مسیر رفت یک‌میلیون و دویست هزار تومان و هزینه حمل جاده‌ای از ایستگاه راه‌آهن تا درب کارخانه دویست هزار تومان و هزینه حمل کانتینر خالی از کارخانه تا ایستگاه راه‌آهن دویست هزار تومان و هزینه حمل ریلی کانتینر خالی در مسیر برگشت به بندرعباس دویست و پنجاه‌هزار تومان و همچنین هزینه جرثقیل در ایستگاه راه‌آهن اصفهان (ایستگاه مقصد) (در هر بار جابه‌جایی هفتادوپنج هزار تومان) حدود صد و پنجاه‌هزار تومان و درمجموع حدود دو میلیون تومان بوده، که در حدود ۱,۵ برابر هزینه حمل جاده‌ای کانتینر بوده است [Transportation Research Institute, 2014].

در پژوهش حاضر برای شناسایی عوامل موثر در انتخاب شیوه حمل کانتینر از مدل سازی انتخاب وسیله لوجیت استفاده می شود. مدل سازی امکان بررسی میزان اهمیت متغیرها نسبت به یکدیگر در حضور همزمان آنها در مدل را فراهم می سازد. مدل لوجیت برمبنای انتخاب وسیله براساس مطلوبیت شیوه حمل ساخته می شود و در اکثر منابع مختلف فوق الذکر به عنوان یک مدل مناسب در بررسی شیوه حمل مورد استفاده قرار گرفته است. دلایلی چون عدم امکان در نظر گرفتن همه متغیرهای تاثیرگذار در تابع مطلوبیت(V)، غیر قابل مشاهده و یا اندازه‌گیری کردن بسیاری از ویژگی‌هایی که مطلوبیت افراد را تحت تأثیر قرار می‌دهد و همچنین نبودن یک قانون منطقی و ثابت جهت مدل کردن رفتار مصرف‌کننده‌ها موجب گردیده‌است که مطلوبیت به‌صورت تصادفی مدل شود. در این پژوهش از مدلهای لوجیت دوگانه برای انتخاب وسیله کالای کانتینری در ریل و جاده استفاده شده‌است. برای ارزیابی مدل لوجیت از آزمون‌های، بررسی منطقی بودن ضرایب مدل، شاخص ρ^2 و ρ_C^2 برای سنجش برازندگی مدل مشابه مدل‌های روندگرای خطی، آزمون t به‌منظور تعیین اهمیت هر یک از متغیرهای توصیفی مدل در سطوح اطمینان مختلف و آزمون مربع‌کای‌دو جهت ارزیابی برازندگی مجموعه‌ی متغیرها درمدل استفاده شده‌است.

آمار بارنامه‌های داخلی اداره راهداری و راه‌آهن جمهوری اسلامی ایران مبنای تحلیل و مدل‌سازی انتخاب وسیله کالاهای کانتینری قرار گرفت. در اطلاعات بارنامه حمل و نقل جاده ای اخذ شده از سازمان راهداری، تنها تناژ حمل شده از مبادی به مقاصد وجود داشته و اطلاعات به تفکیک سفرهای انجام شده و صاحبان بار نیست. علاوه بر این مشکل، اطلاعات فردی یا شرکتی صاحبان بار نیز وجود ندارد. براین اساس در این پژوهش مدل لوجیت همفزون ساخته می شود و نوع اطلاعات در اختیار، پرداخت مدل لوجیت ناهمفزون را ناممکن می سازد.

۲. معرفی و آماده‌سازی اطلاعات

آمار حمل کالاهای کانتینری جاده‌ای در حوزه های صادرات و واردات که از مرزهای آبی کشور انجام می‌شود، در بارنامه های داخلی سازمان‌های راهداری و راه آهن جمهوری اسلامی ایران ذخیره می‌شود. همچنین بر اساس آمار سازمان‌های نام‌برده صادرات و واردات کانتینری از مرزهای زمینی بسیار ناچیز بوده است[Transportation Research Institite, 2014]

آمار بارنامه‌های داخلی اداره راهداری و راه‌آهن جمهوری اسلامی ایران در سال ۱۳۹۲ مبنای تحلیل و مدل‌سازی انتخاب وسیله کالاهای کانتینری قرار گرفت. بر اساس این اطلاعات از مجموع ٦,٥ میلیون تن کالای کانتینری حمل شده در سال ۱۳۹۲، سهم راه‌آهن از کل بارهای کانتینری تنها ۸ درصد بوده‌است.

صاحبان کالا بر اساس پارامترهای مختلف ازجمله ویژگی‌های گونه‌های حمل در کشور، ماهیت کالای خود و ویژگی‌های

شرکت، گونه برتر جهت حمل کالا را انتخاب می‌کنند. اطلاعات بارنامه‌های جاده و راه‌آهن، فاقد اطلاعات و ویژگی‌های شرکت‌های فرستنده است. همچنین ویژگی کالاها پس از کانتینری شدن کالاها، تاثیری در انتخاب شیوه‌حمل کانتینر نداشته، به‌طوری‌که در اکثر گروه‌بندی‌های کالایی در کشورهای مختلف و ایران، کالای کانتینری را به عنوان یک گروه مجزا بدون در نظر گرفتن کالای داخل آن در نظر می‌گیرند. در ادامه کلیه متغیرهای در نظر گرفته‌شده در ساخت مدل‌های انتخاب شیوه‌حمل کالای کانتینری توضیح داده‌شده‌اند.

- **زمان سفر ریلی**

یکی از عوامل مهم در انتخاب وسیله حمل کالا، زمان حمل آن طریقه است به‌طوری‌که با توجه به نظرات صاحبان کالا مهم‌ترین دلیل عدم مطلوبیت حمل ریلی زمان سفر بالای آن است. از مهم‌ترین دلایل بالا بودن زمان ریلی می‌توان به محدودیت ظرفیت مسیرهای ریلی کشور به‌ویژه در مسیرهای تک خطه اشاره کرد[Fries, 2008]. به منظور محاسبه متوسط زمان سفر ریلی میان مبادی و مقاصد مختلف کشور از اطلاعات سیر و حرکت راه‌آهن ج.ا.ا در سال ۱۳۹۲ در قالب SQL با بیش از ٦ گیگابایت اطلاعات و ۵۰ جدول مختلف استفاده گردید. در این اطلاعات مجموع زمان هر واگن از مبدا تا مقصد در حال حرکت و زمان انتظار ثبت شده بود. بر اساس این اطلاعات، متوسط زمان طی بلاک‌های شبکه و متوسط زمان انتظار واگن‌ها در ایستگاه‌های راه‌آهن پس از حذف داده‌های پرت و ناهمگون، محاسبه و در آخر با استفاده از نرم افزار GIS کوتاه‌ترین زمان سفر میان تمامی مبدأ مقصدهای ریلی محاسبه گردید. چون به تفکیک مبادی و مقاصد اطلاعات زمان انتظار بارگیری وجود نداشت، زمان تخلیه و بارگیری و انتظار برای بارگیری به صورت یک عدد میانگین و ثابت به همه مبدا مقصد ها اضافه گردید. قسمتی از زمان سفر ریلی میان مبادی و مقاصد مختلف کشور در جدول۳ نشان داده‌شده است. با توجه به اطلاعات سیر حرکت که از سازمان راه آهن دریافت گردید، متوسط زمان سفر برای شهرستان‌های دارای ایستگاه ریلی تخمین زده شده‌است. بنابراین با استفاده از این اطلاعات نمی توان زمان سفر ریلی را برای شهرستان هایی که ایستگاه ریلی ندارند تخمین زد، مگر این که از زمان حمل ترکیبی استفاده شود. به همین منظور زمان حمل ریلی برای شهرستانهای فاقد دسترسی ریلی به صورت رابطه ۳ محاسبه شده است. اطلاعات مبدا، مقصد مربوط به مبدا و مقصدهای نهایی است. در فرایند مدل‌سازی برای مبادی مقاصدی که راه آهن هیچ عملکردی نداشته است (ایستگاه ریلی در شهرستان های مبدا و یا مقصد و یا هر دو وجود نداشته است)، اطلاعات زمان سفر به صورت ترکیب با جاده برای شیوه ریلی در نظر گرفته شده است که این محاسبه در نرم افزار GIS انجام شده است.با ورود نقشه راههای کشور در نرم افزار GIS و تبدیل آن به به یک شبکه (شبکه ای که کمانهای آن با تابع هزینه زمان سفر مشخص شده اند و گره های آن مراکز شهرستانها هستند)، زمان سفر میان کلیه مبدا، مقصد های جاده‌ای محاسبه گردید. با وارد نمودن لایه نقاط ایستگاههای ریلی به نرم افزار، GIS نزدیک ترین ایستگاهها به مراکز هریک از شهرستانها و مقدار زمان سفر میان این دو گره محاسبه گردید.

$$T_{rail} = \left(D_{mb} + D_{mg}\right) * T_{road} + T'_{rail} \qquad (۱)$$

T_{rail}، زمان حمل ریلی به‌صورت ترکیبی، D_{mb} ، فاصله نزدیک‌ترین ایستگاه ریلی تا مبدأ حرکت در سیستم جاده‌ای برحسب کیلومتر، D_{mg} ، فاصله نزدیک‌ترین ایستگاه ریلی تا مقصد حرکت در سیستم جاده‌ای برحسب کیلومتر، T_{road} ، متوسط زمان حرکت یک کیلومتر فاصله در سیستم جاده‌ای میان مبدأ مقصد مربوطه، T'_{rail} ، زمان حمل ریلی از نزدیک‌ترین ایستگاه‌های ریلی به مبدأ و مقصد اصلی موردنظر.

جدول ۱. اطلاعات کلی تناژ کل کالاها و کالاهای کانتینری در ریل و جاده

سال	شیوه‌حمل	تناژ حمل کانتینر (میلیون تن)	کل تناژ حمل (میلیون تن)	سهم کانتینر	سهم شیوه‌حمل از مجموع بارهای کانتینری
۱۳۹۲	جاده‌ای	٦,۰۷	۳۸۰,۹۳	۱,٦ درصد	۹۲درصد
۱۳۹۲	ریلی	۰,۵۲	۳۰,۲٦	۱,۷ درصد	۸درصد

- **زمان سفر جاده‌ای**

زمان سفر حمل‌ونقل جاده‌ای تابعی از عوامل مختلف همچون مسافت، زیرساخت‌های مسیر، عوارض زمین، شرایط آب و هوایی و ... است[Morgul, 2013]. زمان سفر جاده‌ای بر اساس شیب‌راه‌های کشور و سرعت متوسط حرکت وسایل نقلیه باری در هر یک از شیب‌های مختلف برای قطعه‌های مختلف راه محاسبه گردید. در پایان با استفاده از نرم‌افزار GIS کوتاه‌ترین زمان سفر میان تمامی مبادی- مقاصد جاده‌ای کشور محاسبه گردید. همچنین متوسط زمان موردنیاز جهت استراحت رانندگان در مسیر به زمان مبدأ مقصد جاده‌ای افزوده گردید. در جدول۳ نمونه‌ای از اطلاعات زمان سفر جاده‌ای نشان داده‌شده است.

- **تعرفه حمل جاده‌ای و ریلی**

هزینه تمام شده حمل کانتینر یکی از مهم‌ترین عوامل تعیین‌کننده در انتخاب وسیله حمل بار بوده که تعرفه حمل کالا قسمت اعظمی از این هزینه را تشکیل می‌دهد. تعرفه جاده‌ای در حمل بارهای داخلی توسط انجمن‌های صنفی حمل بار هر شهرستان و تعرفه حمل ریلی توسط سازمان راه آهن کشور تصویب و به نهادهای اجرائی ابلاغ می‌گردد. به‌منظور تعیین نرخ تعرفه‌ای برحسب تن کیلومتر برای مبدأ مقصدهای ریلی و جاده‌ای کشور تمامی اطلاعات حمل کانتینر در کشور از آمار بارنامه‌های ریلی و جاده‌ای جدا گردید. در این اطلاعات هزینه دریافتی از صاحب کالا برای تمامی ردیف‌ها مشخص‌شده بود. با همفزون کردن این اطلاعات بر روی مبدأ مقصدهای کشور و محاسبه میانگین تعرفه حمل کالا به ازای هر تن کیلومتر حمل، تعرفه متوسط تمامی مبادی مقاصد کانتینری کشور محاسبه گردید. محاسبه هزینه حمل ریلی برای شهرستان‌هایی که فاقد ایستگاه ریلی هستند به صورت ترکیبی و با استفاده از رابطه ۲ محاسبه گردید.

$$C_{rail} = D_{mb} * Ta_{mb} + D_{mg} * Ta_{mg} + C'_{rail} + 2 * C_l \quad (۲)$$

C_{rail} : هزینه حمل ریلی به‌صورت ترکیبی، D_{mb} : فاصله نزدیک‌ترین ایستگاه ریلی تا مبدأ حرکت در سیستم جاده‌ای برحسب کیلومتر، D_{mg} : فاصله نزدیک‌ترین ایستگاه ریلی تا مقصد حرکت در سیستم جاده‌ای برحسب کیلومتر، Ta_{mb} : متوسط تعرفه تن کیلومتر جاده‌ای از مبدا حرکت،Ta_{mg} : متوسط تعرفه تن کیلومتر جاده‌ای از مقصد حرکت، C'_{rail} : هزینه حمل ریلی از نزدیک‌ترین ایستگاه‌های ریلی به مبدأ و مقصد اصلی موردنظر، C_l: هزینه تخلیه و یا بارگیری بار در سیستم جاده‌ای. در جدول۳ نمونه‌ای از تعرفه‌های ریلی و جاده‌ای حمل کانتینر نشان داده‌شده است.

- **هزینه کل حمل ریلی به هزینه کل حمل جاده‌ای**

به منظور محاسبه هزینه های کل حمل ریلی و جاده‌ای کانتینر، هزینه‌های حمل کانتینر پر برای مبدأ- مقصدهای مختلف در سیستم ریلی و جاده‌ای با هزینه‌های حمل کانتینر خالی که بر اساس نظرات کارشناسان حمل و نقلی تقریباً برابر ۷۰ درصد هزینه حمل به صورت پر است، جمع گردید. در ادامه هزینه تخلیه و بارگیری ریلی و جاده‌ای در مبدأ و مقصد هر سفر بر اساس اطلاعات دریافت شده از اداره انبارهای گمرک جمهوری اسلامی و شرکت های حمل بار ریلی به هزینه های کل حمل اضافه گردید. سپس با توجه به زمان رفت کانتینر در سیستم جاده‌ای زمان برگشت نیز برابر با همین زمان در نظر گرفته شد و درصورتی‌که زمان رفت‌وبرگشت کانتینر بیش از زمان مجاز برای امانت کانتینر بود هزینه‌های دموراژ کانتینر بر اساس دستورالعمل سال ۹۲ اضافه گردید. همچنین اطلاعاتی از گمرک جمهوری

اسلامی ایران دریافت شده بود که کلیه بارهای ترانزیت داخلی (ورود موقت) را مشخص می‌نمود با قرار دادن این اطلاعات در کنار اطلاعات بارنامه‌ای جاده، بارهای ترانزیت داخلی که در بارنامه‌های جاده‌ای قرار داشت شناسایی شد. برای بارهای ورود موقت در بارنامه‌های داخلی هزینه‌های کارمزد ترانزیت داخلی بر اساس مقادیر دریافت شده از شرکت‌های حمل بار به این اطلاعات اضافه شد. برای بارهای ریلی زمان برگشت کانتینر در سیستم ریلی با توجه به نظر کارشناسان و مطالعات انجام‌شده دو برابر زمان رفت در نظر گرفته شد و بر اساس زمان رفت‌وبرگشت هزینه دموراژ کانتینر به این اطلاعات افزوده شد. در پایان با تقسیم هزینه کل حمل ریلی به هزینه کل حمل جاده‌ای متغیری جهت انجام مدلسازی تعریف گردید. نمونه‌ای از هزینه کل حمل ریلی به هزینه کل حمل جاده‌ای در کشور در جدول۲ نشان داده‌شده است.

جدول۲. نمونه‌ای از مقادیرمتغیرهای درنظرگرفته شده میان تعدادی از زوج مبدا-مقصدها

مبدأ	مقصد	زمان سفر ریلی(ساعت)	زمان سفر جاده‌ای با استراحت(ساعت)	تعرفه جاده (ریال/تن کیلومتر)	تعرفه ریل (ریال/تن کیلومتر)	تعرفه کل ریل به جاده
بندرعباس	تهران	۷۲٫۸	۲۳٫۳	۸۳۱	۲۷۰	۱٫۳۷
خواف	بندرعباس	۷۱٫۹	۲۸٫۷	٦۲۹	۳۷۳	۱٫٤۲
بوشهر	تهران	۸۵٫۷	۲۲٫٦	۱٤۱۰	۳۰۲	۱٫٤۷
تهران	بندرعباس	۷۲٫۸	۲۳٫۳	۷۳۰	۱٦۵	۲٫۸٤
خرمشهر	تهران	۵٦٫۵	۲۵٫۷	۱۳۳٦	۳۰٦	۱٫٤۹
تهران	بوشهر	۸۵٫۷	۲۲٫٦	۸۱۳	۱٦۵	۲٫۸۱

- **بندر بودن مبدأ یا مقصد سفر**

با شناسایی کلیه بنادر کشور و شهرستانهای آنها متغیرهایی با دو مقدار صفر و یک جهت بررسی تاثیر بنادر در سهم ریلی و جاده ای حمل و نقل کانتینری تعریف گردید. در صورت قرار گرفتن مبدا یا مقصد سفر در شهرستانهای دارای بنادر آبی برای متغیر مقدار یک و در غیر این صورت مقدار صفر تعریف شده است.

- **فاصله حمل(جاده‌ای)**

در اکثر کشورهای جهان حمل ریلی کالا در مسافت های طولانی بر حمل جاده‌ای آن ارجحیت دارد. در ایران نیز این قاعده در بعضی از مبدأ مقصدها رعایت شده است اما همچنان مبادی و مقاصدی با فاصله بسیار زیاد در کشور ازجمله تبریز – بندرعباس وجود دارد که جاده گونه غالب است. این متغیر برحسب فاصله به کیلومتر در مدل‌سازی استفاده‌شده است.

- **بارهای انبوه**

در این پژوهش بارهای انبوه به نوع کالای داخل کانتینر وابسته بوده و به‌صورت درصدی از کل بارهای بین یک مبدأ- مقصد در نظر گرفته‌شده است. به همین منظور کلیه بارهای جاده و راه‌آهن به تفکیک بر روی مبدأ- مقصد- کالا همفزون گردید. انبوه بودن بار سطوح بالای پنج، ده، پانزده و بیست هزار تن موردبررسی قرار گرفت. به‌طور مثال برای متغیر بار انبوه بالای ده هزار تن کلیه مبدأ- مقصد- کالاهایی که تناژ بیش از ده هزار تن داشتند هم برای جاده و هم ریل جدا گردیده و مجدداً این اطلاعات بر روی مبدأ- مقصد همفزون گردیدند و تناژ مجموع بارهای بالای ده هزار تن این مبدأ مقصدها به جدول اطلاعات مدل‌سازی ارتباط داده شد. در آخر با تقسیم میزان تناژ بار بالای ده هزار تن به‌کل تناژ بار یک مبدأ- مقصد درصد بار انبوه در آن مبدأ- مقصد محاسبه گردید. با درنظر گرفتن نوع کالا در محاسبه درصد بار انبوه یک مبدا- مقصد، رفتار صاحبان کالا در انتخاب وسیله حمل در نظر گرفته شده است. به طور مثال مبدا- مقصدی را در نظر بگیرید که ۱۰ نوع کالا متفاوت با تناژ هریک هزار تن تقاضا دارد. در این مورد با توجه به تفاوت کالاها به احتمال زیاد صاحبان کالاها نیز افرادی متفاوت هستند. با فرض متفاوت بودن صاحبان هر ده نوع کالا، بنابراین انتخاب وسیله از دید هر صاحب کالا برای هزار تن کالا صورت می پذیرد.

درحالیکه اگر همان مبدا مقصد یک نوع کالا با تناژ ده هزار تن تقاضا داشت، انتخاب وسیله از دید صاحب کالا برای تناژ ده هزار تن انجام می‌شد. بنابراین این متغیر جهت توصیف بالا بودن مطلوبیت راه آهن در حمل کالاهای با تناژ بالا که در اکثر مطالعات و نظرات کارشناسان به آن اشاره شده بود، تعریف گردید.

- **مبدا-مقصد پرتردد**

پر تردد بودن یا نبودن یک مبدا- مقصد به‌صورت یک متغیر ساختگی با مقادیر صفر و یک برای سطوح بالای بیست، سی، چهل و پنجاه هزار تن موردبررسی قرار گرفت. به طور مثال در سطح بیست هزار تن، درصورتی‌که تناژ در جهت رفت و یا برگشت یک سال بیش از بیست هزار تن باشد مقدار یک و در غیر این صورت مقدار صفر برای متغیر ساختگی مبدا-مقصد پرتردد در نظر گرفته شدبا وجود مبدا-مقصدهای پرتردد و حمل درصدی از این تناژ در سیستم ریلی کشور زمان انتظار واگن‌ها جهت تشکیل قطار به‌شدت کاهش پیداکرده و همچنین با افزایش تقاضا ریلی امکان کاهش تعرفه ریلی نیز در این محور وجود خواهد داشت. بنابراین انتظار داریم راه‌آهن در مبدا- مقصدهای پرتردد تقاضای خوبی داشته باشد.

- **دسترسی به ریل**

به دلیل عدم توسعه شبکه ریلی کشور بسیاری از کالاها باوجود تقاضای زیادی که دارند نمی‌توانند از خطوط ریلی استفاده کنند، به همین دلیل دسترسی مبدأ و مقصدهای حمل کالا در کشور به شبکه ریلی در افزایش تقاضای ریلی بسیار تأثیرگذار است. این متغیر به‌صورت فاصله مرکز شهرستان‌های کشور تا نزدیک‌ترین ایستگاه راه‌آهن در نظر گرفته شد. با توجه به گستردگی شبکه جاده‌ای و اختلاف ناچیز فاصله جاده و هوایی مراکز شهرستان‌ها تا نزدیک‌ترین ایستگاه ریلی، این فاصله به‌صورت فاصله هوایی برحسب کیلومتر در نظر گرفته شد.

- **وجود یا عدم وجود ریل در شهرستان مبدأ و مقصد**

به دلیل ناتوانی سیستم حمل‌ونقل ترکیبی در کشور ایران و پیچیدگی حمل کالا به این شیوه برای صاحبان کالا، وجود یا عدم وجود ایستگاه ریلی در مراکز تولید و جذب بار در افزایش تقاضای بار ریلی بسیار تأثیرگذار است. به همین دلیل تمامی شهرستان‌های دارای ایستگاه ریلی از نقشه GIS راه‌آهن کشور استخراج گردید. متغیر وجود یا عدم وجود ریل در شهرستان‌های کشور به‌صورت یک متغیر ساختگی با دو مقدار صفر و یک در نظر گرفته شد. مقدار یک برای شهرهای دارای دسترسی مستقیم ریلی و مقدار صفر برای سایر شهرها تعریف گردید. شکل ۳ شهرستانهای دارای ایستگاه ریلی را در کشور نشان می دهد.

- **مبدأ و مقصد فعال ریلی**

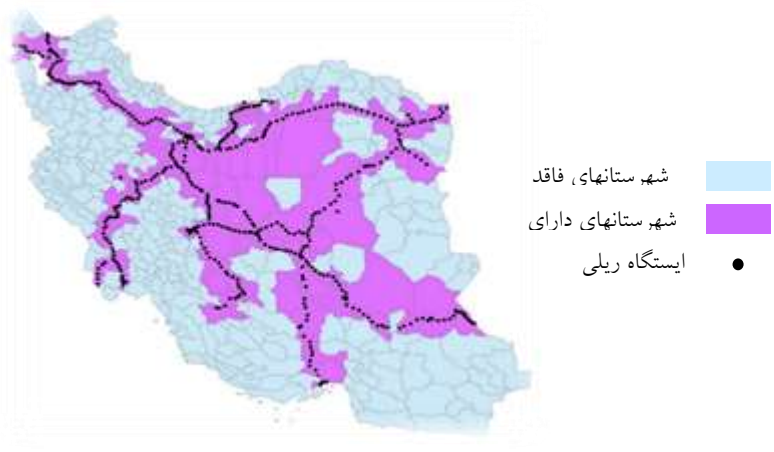
متغیری ساختگی به‌صورت دو مقدار صفر و یک برای شهرهای فعال ریلی در سطوح بالای بیست، سی، چهل و پنجاه هزار تن تعریف گردید. به طور مثال در سطح بیست هزار تن، مقدار یک برای شهرستان‌هایی که تولید یا جذب بار ریلی آن‌ها بالای بیست هزار تن بود در نظر گرفته شد و برای سایر مبادی و یا مقاصد مقدار صفر فرض گردید.

- **سهم حمل بار کانتینری ریلی**

با بررسی تناژ حمل شده ریلی و جاده‌ای کالاهای کانتینری در یک مبدا- مقصد، سهم حمل بار کانتینری ریلی در هر مبدا- مقصد محاسبه گردید. این متغیر، متغیر وابسته و هدف جهت انجام مدل سازی انتخاب وسیله به صورت لوجیت دوگانه در نظر گرفته شده است.

۳. مدل‌سازی

به‌منظور شناسایی متغیرهای تأثیرگذار در سهم حمل بار کانتینری ریلی میزان همبستگی این متغیر با سایر متغیرهای در نظر گرفته‌شده بر اساس ضریب همبستگی اسپیرمن بررسی‌شده است. همبستگی متغیرها با سهم ریلی در سه سطح معناداری یک درصد (***)، پنج درصد(**) و ده درصد(*) بررسی‌شده‌اند. علاوه بر بررسی سطح معناداری همبستگی متغیرهای مربوطه با سهم ریلی، منطقی بودن ضریب اسپیرمن آن متغیر نیز مهم است. علامت منفی ضریب اسپیرمن نشان‌دهنده رابطه معکوس میان دو متغیر و علامت مثبت نشان‌دهنده یک رابطه مستقیم است. جدول۳ مهمترین متغیرهای همبسته با سهم بار کانتینری ریلی را نشان می‌دهد.



شکل ۳. شهرستان‌های دارای ایستگاه ریلی در کشور

جدول۳. مهمترین متغیرهای همبسته با سهم حمل بار کانتینری ریلی

متغیرها	سهم حمل بار کانتینری ریلی		متغیرها	سهم حمل بار کانتینری ریلی	
	ضریب همبستگی	سطح معناداری		ضریب همبستگی	سطح معناداری
مسافت جاده‌ای	۰,۱۶۳**	۰,۰۰۰	بار انبوه بالای ۱۰ هزار	۰,۴۷۹***	۰,۰۰۰
هزینه حمل ریلی	-۰,۰۹۱**	۰,۰۰۰	دسترسی ریلی در مبدأ	-۰,۱۲۴**	۰,۰۰۵
هزینه تخلیه ریل	-۰,۷۰۱**	۰,۰۰۰	دسترسی ریلی در مقصد	-۰,۱۱۶**	۰,۰۰۰
بندر بودن مبدأ حرکت	۰,۲۲۳**	۰,۰۰۳	زمان حمل جاده‌ای	۰,۳۷**	۰,۰۰۰
بندر بودن مقصد حرکت	۰,۱۷۸**	۰,۰۰۵	زمان حمل ریلی	-۰,۳۲۹***	۰,۰۰۴
بار انبوه بالای ۵ هزار	۰,۴۵۶***	۰,۰۰۰	هزینه کل ریلی به جاده‌ای	-۰,۴۱۲**	۰,۰۰۰

بر اساس نتایج همبستگی میان متغیرهای انتخاب سیستم حمل‌ونقلی کانتینر در کشور ابتدا متغیرهایی که از همبستگی بیشتری نسبت به سایر متغیرها برخوردار بوده‌اند در اولویت ورود برای ساخت مدل‌های لوجیت قرار گرفت. مدل لوجیت دوگانه دارای ساختار ریاضی نشان داده شده در رابطه ۳ است.

$$P_{Rail} = \frac{e^{U_{Rail}}}{e^{U_{Rail}} + e^{U_{Road}}}$$

در رابطه بالا P_{Rail}: سهم احتمال انتخاب گزینه ریلی، U_{Rail}: مطلوبیت گزینه ریلی ، U_{Road}: مطلوبیت گزینه جاده ای است. برای صاحب بار دو گزینه ریلی و جاده ای برای انتخاب وجود دارد، گزینه ریلی برای سهمی از صاحبان بار برگزیده می-شود که مطلوبیت آن از گزینه جاده ای بیشتر باشد جهت تخمین مدل‌های انتخاب دوگانه از نرم‌افزار NLOGIT، به روش ماکزیمم درست نمایی[1] استفاده شد. ورود متغیرها به مدل ابتدا با استفاده از متغیرهای با همبستگی بالا شروع گردید و در ادامه متغیرهای دیگر نیز به مدل اضافه شدند و در صورت بهبود مدل این روند ادامه یافته و یا در غیراین صورت آن متغیر از مدل حذف‌شده و سایر متغیرها جهت بررسی اهمیت آن‌ها در مدل، وارد مدل گردیدند. بررسی بهبود مدل با استفاده از آزمون‌های برازندگی توضیح داده‌شده در هر مرحله بررسی گردید. در نهایت مدل نشان داده شده در جدول ٤ بعد از ۵۳ مرحله مدل سازی، به عنوان بهترین مدل مطلوبیت ریل به جاده حاصل گردید.

بر اساس جدول ٤ مدل مطلوبیت ریل به جاده برای کالاهای کانتینری (U) به صورت رابطه ٤ نشان داده شده‌است.

$$\begin{aligned} U_{Rail} = {} & -1.38 + 1.97P_o + 1.58P_d \\ & + 0.04L_h + 0.41T_{r1} \\ & - 0.13T_{r2} - 2.11C \\ & + 3.23A_{od} + 1.29V_{od} \end{aligned} \qquad (٤)$$

در رابطه ٤ متغیرهای بندر بودن مبدأ(P_o)، بندر بودن مقصد(P_d)، مبدأ و مقصد فعال ریلی(A_{od}) و مبدأ- مقصد پرتردد(V_{od}) و بار

انبوه بالای ۱۰۰۰۰ تن (L_h)متغیرهای ساختگی به صورت صفر و یک هستند.

برای ارزیابی مدل لوجیت معمولاً آزمون‌های متفاوتی از جمله بررسی منطقی بودن ضرایب مدل، شاخص ρ^2 (شاخص برازش خوبی) و ρ_C^2 (شاخص برازش مک فادن برای مقایسه مدلهای با سهم بازار مختلف) برای سنجش برازندگی مدل مشابه مدل‌های روندگرای خطی، آزمون t به‌منظور تعیین اهمیت هر یک از متغیرهای توصیفی مدل در سطوح اطمینان مختلف و آزمون مربع‌کای‌دو جهت ارزیابی برازندگی مجموعه‌ی متغیرها درمدل استفاده می‌شود [OrtÃoza Willumsen, 2011 and]. در ایران نیز مطالعات متعددی بر اساس روش‌های اعتباری سنجی معرفی شده انجام شده است [Askari et al. 2016, Habibian and Kermanshah, 2012, Mamdoohi and Baghestani, 2013, Mamdoohi et al. 2015]

از میان متغیرهای مدل تنها با افزایش ۲ متغیر زمان سفر ریلی و هزینه ریل به جاده، انتظار کاهش مطلوبیت ریل به جاده را می‌توان داشت. در مدل نهایی این دو متغیر با ضریب منفی ظاهر شده‌اند و از نظر منطقی مورد قبول هستند. در مدل نهایی مقدار شاخص برازش خوبی ρ^2 برابر ۰,٤٤٨ و ρ_C^2 برابر ۰,۲۹۷ است. مطالعات گذشته نشان‌دادند شاخص خوبی برازش بین ۰,۲ تا ۰,٤ نشان دهنده یک برازش کامل است[Train, 2009] Hensher et al. 2005، بطوریکه این مقادیر با اعداد ۰,۷ تا ۰,۹ در مدل‌های خطی قابل مقایسه است[Colombo et al. 2005]. طبق نتایج جدول ٤، در این مدل همچنین آزمون خطای درست نمایی طبق توزیع مربع کای دو، $\chi 2$ کمتر از ۰,۰۰۵ است که حاکی از صحت آماری مدل برآورد شده است.

بر اساس مدل نهایی انتخاب وسیله حمل کانتینر متغیرهای بندر بودن مبدأ، بندر بودن مقصد، بار انبوه بالای ده هزار تن، زمان جاده‌ای با استراحت، زمان ریلی، هزینه کل حمل ریلی به جاده‌ای، مبدأ و مقصد فعال ریلی، مبدأ- مقصد پرتردد متغیرهای تاثیر گذار بر سهم ریلی بارهای کانتینری است. بر اساس ضریب الاستیسیته هر متغیر در مدل نهایی، سه متغیر هزینه کل ریلی به جاده‌ای، زمان ریلی و زمان جاده‌ای از حساسیت بسیار بالاتری نسبت به سایر متغیرها برخوردار هستند. ازجمله مشکلات سیستم ریلی که باعث تمایل صاحبان کالاهای کانتینری به جابه جایی کالا با شیوه جاده گردیده است، می توان به دو برابر بودن هزینه‌های حمل یک کانتینر در راه‌آهن نسبت به جاده برای صاحبان کالا اشاره کرد. نرخ تعرفه در راه‌آهن نیز به‌جای تن-کیلومتر، واگن-کیلومتر است که هزینه های حمل کانتینر را برای صاحبان کالا توسط راه آهن افزایش داده است. این متغیر در مدل نهایی هم با حساسیت بالا وجود دارد که صحت این مطلب را به‌خوبی نشان می‌دهد

جدول٤. متغیرها و ویژگی‌های مدل نهایی انتخاب وسیله کانتینر بر اساس روش ماکزیمم درست نمایی

نام متغیر	ضریب	آماره t	درصد خطا	اثر حاشیه‌ای	الاستیسیته
عدد ثابت	-۱,۳۸۳***	-۲,۲۱	۰,۰۲۷٤	-	-
بندر بودن مبدأ(P_o)	۱,۹٦۷۳***	۵,۰۱	۰	۰,۰۰۵۱	۰,۵۳۹۸
بندر بودن مقصد(P_d)	۱,۵۷۷٤***	۳,۳	۰,۰۰۱	۰,۰۰۱	۰,۳۲۹۸
بار انبوه بالای ۱۰۰۰۰ تن(L_h)	۰,۰۳۹۲***	٦,۰۲	۰	۰,۰۰۰۰۱	۰,۰۵۹٤
زمان جاده‌ای با استراحت(T_{r1})	۰,٤۱***	۸,۲۵	۰	۰,۰۰۰۱۳	۵,۲۹٦
زمان ریلی(T_{r2})	-۰,۱۲٦***	-۷,٤۷	۰	-۰,۰۰۰٤	-٦,۹۷۳۵
هزینه کل ریلی به جاده(C)	-۲,۱۰۵***	-۵,٤۹	۰	-۰,۰۰۰٦٤	-۵,۵۵۹۹
مبدأ و مقصد فعال ریلی(A_{od})	۳,۲۳۳۷***	۹,۵۲	۰	۰,۰۰٦۸	۰,۵٦۱۷
مبدأ- مقصد پرتردد(V_{od})	۱,۲۸۷۳**	۲,۳۲	۰,۰۲۰٦	۰,۰۰۰۷۹	۰,۰۲۸۷

تعداد مشاهدات: ۵۲۷٦

LL(β)= -۱۷۷,۸

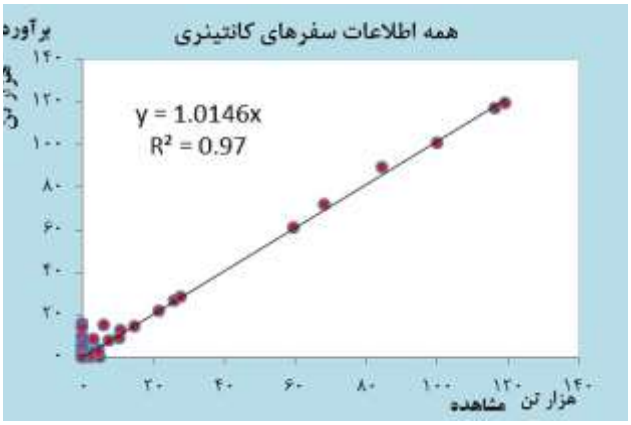
LL(c)= -۲۵۲,۹ LL(0)= -۳۲۲,۲

نام متغیر	ضریب	آماره t	درصد خطا	اثر حاشیه‌ای	الاستیسیته
$\rho_c^2 = ۰,۲۹۷$ $\rho_0^2 = ۰,٤٤٨$					
درصد خطا <۰,۰۰۵ و $X^2 = 288.85$					

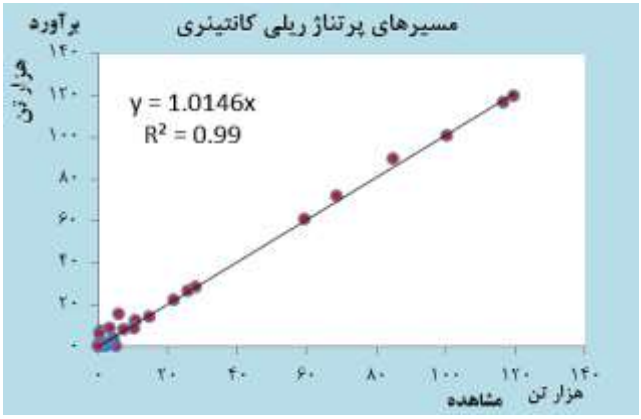
. علامت منفی متغیر زمان سفر ریلی گواه یکی دیگر از مشکلات راه‌آهن در بالا بودن زمان حمل کانتینر در شبکه ریلی است. هرچه زمان سفر ریلی افزایش یابد مطلوبیت ریل کاهش پیدا خواهد کرد. متغیرهای دیگر مانند بندر بودن مبدأ یا مقصد سفر نیز باعث افزایش مطلوبیت راه‌آهن می‌شوند و در مدل نهایی هم خود را نشان داده است. با استفاده از مدل لوجیت دوگانه مقدار تخمین زده شده برای سهم کانتینری ریلی بر اساس مدل مطلوبیت ریل به جاده (رابطه ٤) با استفاده از رابطه (۵) محاسبه می‌گردد. در این رابطه P_{rail} سهم راه‌آهن از مجموع تناژ (ریلی+جاده‌ای) در هر مبدا–مقصد است. تناژ تخمین زده شده توسط مدل برای هر مبدا– مقصد از حاصلضرب سهم راه آهن در مجموع تناژ هر مبدا– مقصد محاسبه می‌گردد.

$$P_{rail} = \frac{1}{1 + e^{-U}} \qquad (۵)$$

در شکل٤ مقایسه تناژ واقعی با تناژ تخمین زده شده توسط مدل برای همه اطلاعات سفر و در شکل۵ برای مسیرهای پر تناژ ریلی انجام شده است که از میان ۵۲۷۸ ردیف اطلاعات مبدأ–مقصد کانتینرهای کشور تنها ٤۳ مبدا– مقصد دارای تناژ ریلی هستند. در این نمودارها تناژ واقعی بر روی محور افقی و تناژ پیش‌بینی‌شده ریلی توسط مدل بر روی محور قائم قرار داده‌شده‌اند. در صورت نزدیک بودن خط برازش داده‌شده بر روی نقاط این نمودار به خط Y=X مدل توانسته است واقعیت را به‌خوبی مدل کند و برای پیش‌بینی آینده می‌توان از آن استفاده نمود.



شکل٤. مقایسه تناژ واقعی و برآورد شده ریلی برای کلیه مبدا مقصد ها



شکل ۵ . مقایسه تناژ واقعی و برآورد شده ریلی برای مبدا مقصدهای ریلی

شکل ٤ نشان می دهد که برای همه مبادی مقاصد شیب خط برازش $Y=1.0146X$ بسیار نزدیک به خط نیمساز است و شاخص برازش (R^2) آن ۰,۹۷ است که حاکی از قدرت برآورد مدل از واقعیت است.

شکل ٥ نشان می دهد که پیش بینی مدل فقط برای مبدا مقصدهای با تناژ ریلی بسیار نزدیک به واقعیت بوده به طوری که شاخص برازش خط (R^2)، ۰,۹۹ است. یکی از دلایل بالا بودن شاخص های برازش به همفزون بودن مدل لوجیت ساخته شده برمی گردد که دلیل استفاده از مدل همفزون همانگونه که در بخش مقدمه توضیح داده شد به نوع اطلاعات در دسترس این پژوهش بر می‌گردد.

٥- نتیجه گیری

در این پژوهش با معرفی مهمترین متغیرهای تاثیر گذار در سهم حمل و نقل کانتینری در ریل و جاده به مدل سازی انتخاب وسیله کانتینر پرداخته شد. به منظور شناسایی تمامی هزینه های صاحبان کالا و مدل کردن آن به عنوان یکی از متغیرها در مراحل مدل سازی، کلیه هزینه های لجستیکی حمل کانتینر از جمله هزینه های تخلیه و بارگیری، هزینه برگشت کانتینر خالی، هزینه دموراژ و هزینه‌های مخصوص ترانزیت داخلی در نظر گرفته‌شد. بر اساس مدل نهایی انتخاب وسیله حمل کانتینر متغیرهای بندر بودن مبدأ، بندر بودن مقصد، بار انبوه بالای ده هزار تن، زمان جاده‌ای با استراحت، زمان ریلی، هزینه کل ریلی به جاده، مبدأ و مقصد فعال ریلی، مبدأ- مقصد پرتردد متغیرهای تاثیر گذار بر سهم ریلی بارهای کانتینری هستند. سه متغیر هزینه کل ریلی به جاده‌ای، زمان ریلی و زمان جاده‌ای از حساسیت بسیار بالاتری نسبت به سایر متغیرها برخوردار هستند. متغیرهای دیگر مانند بندر بودن مبدأ یا مقصد سفر نیز باعث افزایش مطلوبیت راه‌آهن می‌شوند و در مدل نهایی هم خود را نشان داده است. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که احداث بنادر خشک در فاصله‌ای مناسب از بنادر کشور می‌تواند باعث جذب بارهای ورودی و خروجی از بنادر گردد و با ارتباط ریلی مناسب بندر خشک با بنادر کشور، تقاضای کانتینری ریلی افزایش پیدا خواهدکرد. در صورت افزایش بارهای صاحبان کالا و انتخاب واژه بار انبوه بالای ده تن برای این کالاها سهم راه‌آهن در حمل این کالاها افزایش می‌یابد. این نتیجه‌گیری بارها در مصاحبه‌های انجام‌شده با شرکت‌های حمل بار بیان‌شده بود. به همین دلیل یکی از سؤالات اساسی شرکت‌ها از صاحبان کالا میزان تناژ کالای آن‌ها است.

٦. سپاسگزاری

از مرکز تحقیقات راه آهن جمهوری اسلامی ایران برای ارائه اطلاعات و همکاری در انجام این پژوهش سپاسگزاری می‌شود.

۷. مراجع

- پژوهشکده حمل‌ونقل. دانشگاه صنعتی اصفهان (۱۳۹۳) "گزارش تحلیل تقاضای حمل و نقل بار و ظرفیت محورهای اصلی شبکه راه آهن کشور، مرحله اول"، پژوهشکده حمل‌ونقل دانشگاه صنعتی اصفهان، مرکز تحقیقات و آموزش راه آهن.
- حبیبیان، م. و کرمانشاه، م. (۱۳۹۱) " بررسی سهم سیاستهای مدیریتی حملونقل بر انتخاب طریقه های جایگزین سواری شخصی در سفرهای کاری روزانه "، فصلنامه مهندسی حمل‌ونقل، سال سوم، شماره سوم، بهار ۱۳۹۱، ص. ۱۸۱-۱۹۸
- عسگری طورزنی، ع. و حبیبیان، م. (۱۳۹۵) "شناسایی سیاست‌های موثر بر سیستم اشتراک دوچرخه در شهر تهران"، فصلنامه مهندسی حمل‌ونقل، سال هفتم، شماره سوم، بهار ۱۳۹۵، ص. ٤٦٣-٤٨٠
- ممدوحی، الف. و باغستانی، الف. (۱۳۹۲) " تحلیل سطوح مختلف انتقالپذیری مدلهای انتخاب وسیله (نمونه موردی: سفرهای با هدف خرید)"، فصلنامه مهندسی حمل‌ونقل، سال پنجم، شماره اول، پائیز ۱۳۹۲، ص.۸۵-۹٤
- ممدوحی، الف.،، مهدی زاده، م. و فلاح زواره، م. (۱۳۹٤) " یک مدل تصمیم والدین برای شیوه سفر

تحصیلی کودکان دبستانی"، فصلنامه مهندسی حمل‌ونقل، سال هفتم، شماره اول، پائیز ۱۳۹٤، ص.۱٦۷-۱۷۸

- مهدوی، ع. (۱۳۹۳) "بررسی عوامل موثر بر افزایش تقاضای بار در حمل و نقل ریلی نسبت به جاده ای با برآورد مدل انتخاب طریقه"، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه اصفهان

-Colombo, S. H.-R. (2005) "Designing policy for reducing the off-farm", Journal of Agricultural Economics, Vol. 56, No. 1, pp. 81-95.

-Cullinane, K. and Toy, N. (2000) "Identifying influential attributes in freight route/mode choice decisions: a content analysis", Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, Vol. 36, No. 1, pp. 41-53.

-OrtÃozar J. D., & Willumsen, L. G. (2011). "Modelling transport", John Wiley & Sons.

-Degerland, J. (2011) "Containerisation International Year Book", source: Baird Maritime, April, 2011. Website: www.informacargo.com/ciyb

-Fries, N., Nash, A., Wichser, J., Abay, G., Moreni, G. and Ag, R. T. (2008) "Modal split functions for a Swiss national freight transport model", European Transport Conference 2008; Proceedings (pp. 17p-17p).

-Fowkes, A. S., Nash, C. A. and Twedle, G. (1991) "Investigating the market for intermodal freight technologies", Transportation Research A, Vol. 25, No. 4, pp.161-172.

-Hensher, D. A., Rose, J. M. and Greene, W. H. (2005) "Applied choice analysis", Cambridge University Press.

-Kanafani,A. (1983) "Transportatin Demand Analysis", Mc Graw-Hill Book Company,New York

-Morgul, E. F., Ozbay, K., Iyer, S. and Holguin-Veras, J. (2013) "Commercial vehicle travel time estimation in urban networks using GPS data from multiple sources", In 92nd Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington, DC.

-Rangaraj, N. (2003) "An analysis of operations, mode choice, pricing and network economics of container movement", Publishing House Pvt.Ltd., pp.687-698.

-Ravibabu, M. (2013),"A nested logit model of mode choice for inland movement of export shipments: A case study of containerised export cargo from India." Research in Transportation Economics Vol. 38, pp.91-100.1.

-Shen, G. and Wang, J. (2012) "A freight mode choice analysis using a binary logit model and GIS: The case of cereal grains transportation in the United States", Journal of Transportation Technologies, Vol.2, No. 02, pp.175.

-Shi, Y., Fang, X. and Chen, Z. (2012) "Price analysis of railway freight transport under marketing mechanism", Physics Procedia, Vol. 25, pp.2038-2044.

-Shinghal, N. and Fowkes, T. (2002) "Freight mode choice and adaptive stated preferences", Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, Vol. 38, No. 5, pp.367-378.

-Train, K. (2009), “Discrete Choice Methods with Simulation”, Cambridge University Press, Second edition.

-UNCTAD (2012) "Review of maritime transport", source: United Nations Conference on Trade and Development, 04 Dec 2012, 196 page(s), Website: www.unctad.org

-Vieira, L. F. M. (1992) "The value of service in freight transportation", PhD Thesis. Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, MA. USA: MIT Libraries.

-Winston, C. M. (1981b) "A multinomial model for prediction of the demand for domestic ocean container service", Journal of Transport Economics and Policy, Vol.15, pp.243-252.

سید سینا مهری، حسین حق شناس

حسین حق شناس، درجه کارشناسی در رشته مهندسی عمران را در سال ۱۳۸۳ از دانشگاه صنعتی شـریف و درجه کارشناسی ارشد در رشته برنامه ریزی حمل و نقل را در سال ۱۳۸۵ از دانشگاه صـنعتی شـریف اخذ نمود. در سال ۱۳۹۱ موفق به کسب درجه دکتری در رشته برنامـه ریـزی حمـل و نقـل از دانشـگاه صنعتی شریف گردید. زمینه های پژوهشی مورد علاقه ایشان برنامه ریزی حمل ونقل، تقاضا در حمـل و نقل و ایمنی بوده و در حال حاضر عضو هیات علمی با مرتبه استادیار در دانشگاه صنعتی اصفهان است.

سید سینا مهری، درجه کارشناسی در رشته مهندسی عمران را در سال ۱۳۹۲ از دانشگاه صنعتی اصفهان و درجه کارشناسی ارشد در گرایش برنامه ریزی حمل و نقل را در سال ۱۳۹٤ از دانشگاه صنعتی اصفهان اخذ نمود. زمینه های پژوهشی مورد علاقه ایشان برنامه ریزی حمل و نقل، حمل و نقل بار و بهینه سازی حمل ونقل است.