Industrial Management Journal
Print ISSN: 2008-5885
Online ISSN: 2423-5369

Estimation of the Utility Function of Rail Transportation in Absorbing Mineral Demand using the Dual Logit Model

Akram Rostamkhani
Ph.D. Candidate, Department of Business Management, Faculty of Management, University of Tehran, Tehran, Iran. E-mail: rostamkhani.a@ut.ac.ir

Mohsen Nazari *
*Corresponding Author, Associate Prof., Department of Business Management, Faculty of Management, University of Tehran, Tehran, Iran. E-mail: mohsen.nazari@ut.ac.ir

Hosein Safari
Prof., Department of Industrial Management, Faculty of Management, University of Tehran, Tehran, Iran. E-mail: hsafari@ut.ac.ir

Mohsen Pourseyed Aghaee
Assistant Prof., Department of Rail Transportation, Faculty of Railway Engineering, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran. E-mail: maghae@iust.ac.ir

Abstract

Objective: Considering the large volume of mineral resources in Iran and the geographical extent of mines and related industries in the country, its transportation is of particular importance. Although this product is known as a rail-friendly product in terms of transportation mode, but the 39% share of the rail transportation industry is far from the capabilities and expectations of this field. Therefore, in order to increase the share of rail transportation, it is necessary to identify the factors in the attractiveness of rail transport compared to road one. Identifying the factors in mode choice of transportation is one of the most important issues that has always been of interest to researchers in this field. Several studies have been conducted on understanding the behavior of customers to choose the mode of transport. In this paper, the most important factors that affect the mode choice have been identified and the demand function for minerals rail transport is estimated.

Methods: For this purpose, at first step, the affective factors in choosing the mode of transportation have been identified with the revealed preference method through literature review and background studies. Using the multiple regression model and the SPSS software, the correlation between the dependent variable (share or demand) and independent variables have been measured and a list of variables that effect on attracting demand and have a significant presence has been identified. In the end, using the double logit model and NLOGIT software, the rail utility function has been estimated to absorb the demand for minerals. The logit model is a discrete choice model, which in this

research includes a utility function with different choice options and parameters affecting them. The structure of these models is of the probability type and in it the behavior of the decision maker and his efforts to maximize the utility resulting from the choice are modeled through mathematical relationships. The "forward selection" method has been used to build the model. In this method, the independent variables are entered into the model one by one in the order of their influence on the dependent variable and are evaluated, and at each stage, according to their t test statistic sign, chi-square test statistic and model fit. The next step is to obtain the final model of the utility function**.** Finally, the validity of the model was measured by the in-sample method, which shows a 3% error in demand forecasting

Results: The results show that the most important factors affecting the choice of mineral transportation method are the ratio of rail transportation tariff to road tariff per ton, the bulk of the mine load, and the accessibility of the origin and destination to the rail network. This means that with the increase in the price of the rail tariff compared to the road, the desirability of rail transportation decreases and the probability of transferring cargo to the road increases. Also, having origin and destination access to the rail network was identified as one of the favorable factors for the rail transportation. This can be included in network development policies for investing in connecting major cargo centers to the network. On the other hand, the lack of access to the network increases the cost of combined transportation, which, in addition to wasting time, causes additional time and unloading and loading operations, which will lead to a decrease in the attractiveness of rail. Load accumulation with a threshold of 200 million ton-km increases the possibility of attracting demand to the rail side. Also, by increasing the ratio of rail to road distance on a fixed route, the possibility of rail and road competition decreases.

Conclusion: The results of this model help the transportation service providers to focus on improving the identified factors that lead to the growth of their performance in the transportation market of this product.

Keywords: Demand estimation, Dual logit model, Factors influencing mode choice, Minerals, Utility function.

Citation: Rostamkhani, Akram; Nazari, Mohsen; Safari, Hosein & Pourseyed Aghaee, Mohsen (2022). Estimation of the Utility Function of Rail Transportation in Absorbing Mineral Demand using the Dual Logit Model. *Industrial Management Journal*, 14(2), 267-284. (*in Persian*)

Industrial Management Journal, 2021, Vol. 14, No 2, pp. 267- 284
Published by University of Tehran, Faculty of Management
https://doi.org/10.22059/IMJ.2022.344410.1007954
Article Type: Research Paper
© Authors
Received: March 06, 2022
Received in revised form: May 07, 2022
Accepted: June 15, 2022
Published online: July 20, 2022

مدیریت صنعتی
شاپا چاپی: ۲۰۰۸-۵۸۸۵
شاپا الکترونیکی: ۲۴۲۳-۵۳۶۹

مدل‌سازی تابع برآورد تقاضای حمل‌ونقل مواد معدنی با استفاده از مدل لوجیت دوگانه

اکرم رستمخانی
دانشجوی دکتری، گروه مدیریت بازرگانی، دانشکده مدیریت، دانشگاه تهران، تهران، ایران. رایانامه: rostamkhani.a@ut.ac.ir

محسن نظری*
* نویسنده مسئول، دانشیار، گروه مدیریت بازرگانی، دانشکده مدیریت، دانشگاه تهران، تهران، ایران. رایانامه: mohsen.nazari@ut.ac.ir

حسین صفری
استاد، گروه مدیریت صنعتی، دانشکده مدیریت، دانشگاه تهران، تهران، ایران. رایانامه: hsafari@ut.ac.ir

محسن پورسیدآقایی
استادیار، گروه حمل‌ونقل ریلی، دانشکده راه‌آهن، دانشگاه علم و صنعت، تهران، ایران. رایانامه: maghae@iust.ac.ir

چکیده

هدف: با توجه به حجم عظیم ذخایر مواد معدنی در ایران و گستردگی جغرافیایی معادن و صنایع مرتبط با آن در کشور، حمل‌ونقل آن از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. این کالا از نظر شیوه حمل‌ونقلی، کالای ریل‌پسندی شناخته می‌شود؛ اما سهم ۳۹درصدی صنعت حمل‌ونقل ریلی با قابلیت‌ها و انتظارهای این حوزه فاصله زیادی دارد. در این پژوهش، ضمن شناسایی عوامل بسیار مهمِ مؤثر بر انتخاب شیوه حمل‌ونقل، تابع مطلوبیت حمل ریلی برای جذب تقاضای مواد معدنی تدوین شد.

روش: پس از مرور ادبیات و مطالعات پیشین در این خصوص، عوامل مؤثر در انتخاب شیوه حمل‌ونقل با روش رجحان آشکارشده شناسایی شدند، سپس با استفاده از مدل رگرسیون چندگانه و به‌کمک نرم‌افزار اس‌پی‌اس‌اس، هم‌بستگی بین متغیر وابسته (سهم یا تقاضا) و متغیرهای مستقل سنجیده شد. در ادامه، فهرستی از متغیرهایی به‌دست آمد که در جذب تقاضا مؤثرند و حضور معناداری دارند. در پایان با استفاده از مدل لوجیت دوگانه و به‌کمک نرم‌افزار ان‌لوجیت، مدل تابع مطلوبیت ریلی برای جذب تقاضای مواد معدنی برآورد شد. اعتبار مدل با روش درون‌نمونه‌ای سنجیده شد و خطای ۳درصدی در پیش‌بینی را نشان داد.

یافته‌ها: نتایج به‌دست‌آمده نشان می‌دهد که عوامل مهم تأثیرگذار بر انتخاب شیوه حمل‌ونقل مواد معدنی، به‌ترتیب عبارت‌اند از: نسبت تعرفه حمل‌ونقل ریلی به تعرفه جاده‌ای به‌ازای هر تُن، انبوه‌بودن بار معدن مدنظر و دسترسی مبدأ و مقصد به شبکه ریلی.

نتیجه‌گیری: نتایج این مدل به ارائه‌دهندگان خدمات حمل‌ونقل کمک می‌کند تا با تمرکز بر بهبود عوامل شناسایی‌شده، عملکرد خود را در بازار حمل‌ونقل این کالا رشد دهند.

کلیدواژه‌ها: تابع برآورد تقاضا، تابع مطلوبیت انتخاب وسیله سفر، فاکتورهای مؤثر در انتخاب روش، مدل لوجیت دوگانه، مواد معدنی.

استناد: رستمخانی، اکرم؛ نظری، محسن؛ صفری، حسین و پورسیدآقایی، محسن (۱۴۰۱). مدل‌سازی تابع برآورد تقاضای حمل‌ونقل مواد معدنی با استفاده از مدل لوجیت دوگانه. *مدیریت صنعتی*، ۱۴(۲)، ۲۶۷- ۲۸۴.

مدیریت صنعتی، ۱۴۰۱، دوره ۱۴، شماره ۲، صص. ۲۶۷- ۲۸۴
ناشر: دانشکدهٔ مدیریت دانشگاه تهران
نوع مقاله: علمی پژوهشی
© نویسندگان
تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۲/۱۵
تاریخ ویرایش: ۱۴۰۱/۰۲/۱۷
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۳/۲۵
تاریخ انتشار: ۱۴۰۱/۰۵/۱۵
doi: https://doi.org/10.22059/IMJ.2022.344410.1007954

مقدمه

بخش معدن به‌عنوان یکی از بخش‌های مهم و عمدهٔ تأمین مواد اولیه صنعت و یکی از پایه‌های اصلی توسعه زیرساخت کشور به شمار می‌رود. با توجه به وجود ذخایر عظیم آن در ایران، از امکان بالقوه‌ای برای ایفای نقشی اساسی در توسعه کشور برخوردار است. طبق آمار منتشرشده وزارت صنعت، معدن و تجارت، ایران با داشتن حدود ۱درصد جمعیت جهان، حدود ۷درصد ذخایر کشف‌شده معدنی جهان را دارد و وجود حدود ۶۸ نوع ماده معدنی (غیرنفتی)، ۳۷ میلیارد تُن ذخایر کشف‌شده و ۵۷ میلیارد تُن ذخایر بالقوه سبب شده است که ایران در بین ۱۵ قدرت معدنی جهان جای گیرد و در بسیاری از ذخایر مواد معدنی جایگاه ممتازی داشته باشد[۱].

در این میان حمل‌ونقل مواد معدنی نقشی کلیدی در این حوزه ایفا می‌کند و با توجه به اینکه ارزش افزوده جابه‌جایی کالای معدنی، گاهی از ارزش خود کالا بیشتر می‌شود، انتخاب بهینه متناسب با شرایط خاص مواد معدنی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. این در حالی است که حجم انبوه این نوع کالا باعث شده است که مواد معدنی جایگاه ویژه‌ای در حمل‌ونقل زمینی داشته باشد. با توجه به آمار منتشرشده سازمان راهداری و حمل‌ونقل جاده‌ای، گروه مواد معدنی بیش از ۳۵ درصد از کل سبد حمل‌ونقل جاده‌ای را به خود اختصاص داده است[۲]. از طرفی، تناسب مزیت‌های حمل‌ونقل ریلی با نیاز حمل‌ونقلی مواد معدنی، از جمله حمل در حجم انبوه و قیمت پایین‌تر نسبت به جاده به‌ویژه در مسافت‌های بلندتر، باعث شده است که این نوع کالا با سهم ۶۶ درصدی از کل حمل‌ونقل ریلی در سال ۱۳۹۹، بیشترین سهم را در عملکرد ریلی داشته باشد[۳]. با وجود این، سهم حمل‌ونقل ریلی از کل حمل‌ونقل زمینی کشور در حوزه مواد معدنی فاصله زیادی تا انتظارات کلان کشور دارد. برابر برنامه ششم سند چشم‌انداز توسعه کشور، سهم حمل‌ونقل ریلی از کل حمل‌ونقل زمینی، ۳۰ درصد باشد؛ اما عملکرد ریلی نشان می‌دهد که هنوز فاصله زیادی تا تحقق این هدف وجود دارد. این در حالی است که حتی سهم راه‌آهن در ریل‌پسندترین نوع کالا، یعنی گروه مواد معدنی نیز فاصله زیادی تا وضعیت مطلوب دارد. جدول ۱ عملکرد حمل‌ونقل زمینی مواد معدنی در ایران را طی پنج سال گذشته نمایش می‌دهد.

جدول ۱. مقایسه سهم جاده و ریل از حمل‌ونقل کل و مواد معدنی

سال	۱۳۹۵	۱۳۹۶	۱۳۹۷	۱۳۹۸	۱۳۹۹
عملکرد حمل‌ونقل جاده‌ای ـ مواد معدنی (میلیون تُن)	۱۳۷	۱۴۸	۱۵۱	۱۶۲	۱۷۹
عملکرد حمل‌ونقل ریلی ـ مواد معدنی (میلیون تُن)	۲۸	۳۳	۳۶	۳۴	۳۴
سهم حمل‌ونقل ریلی ـ مواد معدنی (درصد)	۱۷٫۲	۱۸٫۳	۱۹٫۴	۱۷٫۲	۱۵٫۸
عملکرد حمل‌ونقل جاده‌ای ـ کل (میلیون تُن)	۳۸۸	۴۲۸	۴۴۲	۴۶۷	۵۰۰
عملکرد حمل‌ونقل ریلی ـ کل (میلیون تُن)	۴۰	۴۷	۵۰	۴۷	۵۱
سهم حمل‌ونقل ریلی ـ کل (درصد)	۹٫۴	۹٫۹	۱۰٫۲	۹٫۱	۹٫۲

۱. آمارها و شاخص‌های بین‌المللی، گزارش شماره ۹، تولید و ذخایر مواد معدنی، ۱۳۹۵

۲. سالنامه آماری سازمان راهداری و حمل‌ونقل جاده‌ای، ۱۳۹۹

۳. سالنامه آماری حمل‌ونقل ریلی کشور، ۱۳۹۹

جدول ۱ نشان می‌دهد که سهم ریل و جاده در سال‌های مختلف، نوسان شایان توجهی داشته است. همچنین تفاوت سهم ریل و جاده از حمل‌ونقل مواد معدنی با سهم سایر کالاهای همان نوع، بیانگر این است که عوامل مؤثر در مطلوبیت انتخاب صاحبان کالاهای مختلف با یکدیگر تفاوت دارند. از این رو برای افزایش سهم شیوهٔ ریلی در حمل‌ونقل مواد معدنی، لازم است که عوامل مؤثر در انتخاب ریل در برابر جاده در نظر مشتریان شناسایی و در جهت بهبود آنها برنامه ریزی نمود. مسئلهٔ شناسایی عوامل تأثیرگذار در انتخاب شیوه حمل‌ونقل نیز یکی از مسائلی است که همواره در کانون توجه پژوهشگران این حوزه بوده و مطالعات متعددی در خصوص درک رفتار مشتریان برای انتخاب شیوه سفر انجام شده است (بن آکیوا و لرمن[1]، ۱۹۸۵).

در این پژوهش با استفاده از مدل لوجیت و تابع مطلوبیت آن، به شناسایی عوامل مؤثر در انتخاب شیوه حمل‌ونقل زمینی پرداخته می‌شود و پس آن با تعیین ضرایب این عوامل، تابع مطلوبیت نسبی بین ریل و جاده ارائه خواهد شد. بدین منظور، برای تحلیل عوامل مؤثر بر سهم حمل‌ونقل ریلی، ابتدا پس از بررسی متن‌ها و پژوهش‌های داخلی و بین‌المللی در زمینه انتخاب وسیله حمل بار بین راه‌آهن و جاده، متغیرها و مدل‌های پرتکرار مشخص می‌شوند. در ادامه، فهرستی از عوامل و متغیرهای تأثیرگذاری تهیه می‌شود که می‌توان با داده‌های این پژوهش محاسبه کرد. میزان تأثیر هر یک از آنها بر سهم هر یک از روش‌ها تعیین می‌شود، سپس متناسب با رابطه و اهمیتشان در مدل‌سازی استفاده می‌شوند. همچنین، تلاش شده است که از ساختار مدل لوجیت و تابع مطلوبیت آن، به‌عنوان یکی از مدل‌های انتخاب گسسته در حمل‌ونقل، برای تعیین سهم حمل مواد معدنی، به‌عنوان کلیدی‌ترین کالای صنعت ریلی استفاده شود.

پیشینه پژوهش

به‌منظور برنامه‌ریزی حمل‌ونقل، می‌بایست ترجیحات مشتریان و استفاده‌کنندگان از آن سیستم ارزیابی و مطلوبیت‌ها و ویژگی‌های مثبت و منفی نوع حمل‌ونقل از نظر آن‌ها شناسایی شود. این کار، علاوه بر ارزش‌گذاری بر خدمات ارائه‌شده، خدمات فعلی را بهبود می‌بخشد یا حتی خدمت جدیدی ایجاد می‌کند که تاکنون در حمل‌ونقل ارائه نمی‌شد (کوتز[2]، ۲۰۰۴). تاکنون مطالعات بسیاری در کشورهای مختلف برای برآورد مطلوبیت و فاکتورهای مؤثر بر انتخاب یکی از انواع حمل‌ونقل، به‌ویژه در بخش حمل‌ونقل زمینی انجام شده است.

رایج‌ترین روش استخراج این فاکتورها، روش‌های مبتنی بر ترجیحات مشتریان است. این روش‌ها به دو گروه کلی دسته‌بندی می‌شوند: روش‌های ترجیح بیان‌شده (SP)[3] و روش‌های ترجیح آشکارشده (RP)[4]. رویکرد RP، مبتنی بر استخراج ترجیحات مشتریان نسبت به یکی از انواع حمل‌ونقل است؛ در مقابل، رویکرد SP با بهره‌بردن از رفتار خود مشتری و با استفاده از ابزاری مانند پرسش‌نامه یا مصاحبه، ترجیحات مشتریان را برای انتخاب نوع حمل ارزیابی می‌کند (میکسل و نوربیز[5]، ۲۰۰۸).

1. Ben-Akiva & Lerman.
2. Kutz
3. Stated preferences
4. Revealed preferens
5. Meixell & Norbis

در دهه‌های اخیر، مدل‌های انتخاب در مقایسه با سایر مدل‌های تفکیک سفر، پیشرفت چشمگیری داشته‌اند و بیشتر در کانون توجه قرار گرفته‌اند. ساختار این مدل‌ها از نوع احتمال است و در آن، رفتار تصمیم‌گیرنده و تلاش او در بیشینه‌سازی مطلوبیت ناشی از انتخاب، از طریق روابط ریاضی مدل‌سازی می‌شود (بن آکیوا و همکاران). این مدل‌ها بر اساس نظریه مصرف‌کننده بنا شده‌اند و مهم‌ترین ویژگی‌شان، ماهیت رفتاری آنهاست (ارتوزار و ویلومسن[1]، ۲۰۱۱). هدف پیش‌بینی انتخاب از بین چند گزینه مختلف با کمک افراد تصمیم‌گیرنده، به توسعه مدل‌ها و تحلیل‌های انتخابی همچون مدل‌های آنالیز انتخاب گسسته منتهی شده است. معرفی عملکرد تحلیل‌های انتخاب گسسته را می‌توان از طریق اصل حداکثرسازی مطلوبیت بیان نمود؛ بدین معنا که رفتار فرد تصمیم‌گیرنده بر اساس انتخاب گزینه‌ای با حداکثر مطلوبیت از بین گزینه‌های مختلف با مطلوبیت‌های مختلف، مدل‌بندی می‌شود. چنین مدل‌هایی را مدل‌های انتخاب گسسته می‌نامند. مدل‌های انتخاب گسسته شامل یک تابع مطلوبیت‌اند که گزینه‌های مختلف انتخاب و پارامترهای تأثیرگذار بر آنها را شامل می‌شود (بن آکیوا، ۱۹۸۵).

برای مدل‌سازی تفکیک وسیله حمل بار نیز معمولاً، از مدل‌های انتخاب لوجیت استفاده می‌شود. قابلیت‌های مدل لوجیت از جمله بسته بودن رابطه ریاضی و سادگی ظاهری مدل، امکان مدل‌سازی هم‌فزون یا ناهم‌فزون متناسب با نوع داده‌های موجود، گنجاندن متغیرهای مؤثر بر انتخاب در مدل به همراه امکان بررسی آماری آنها جهت استفاده در پیش‌بینی‌های واقعی، امکان بررسی تغییرات و تحلیل حساسیت در شرایط موجود برای اعمال سیاست‌ها به‌کمک مفاهیمی مثل الستیسیته، سبب گرایش به استفاده از این مدل‌هاست. شناخته‌شده‌تر بودن این مدل‌ها برای مدل‌سازان نیز در این زمینه بی‌تأثیر نیست (ارتوزار و ویلومسن، ۲۰۱۱). مرور پژوهش‌های گذشته نیز نشان می‌دهد از میان انواع مدل‌های استفاده‌شده در پژوهش‌های مربوط به انتخاب شیوهٔ حمل‌ونقل نظیر مدل‌های لوجیت، رگرسیون خطی، حذف معیارها[2]، شبکه عصبی، کلاس پنهان[3] و...، مدل‌های لوجیت، به‌ویژه مدل‌های لوجیت دوگانه و چندگانه به‌علت سادگی محاسبه‌ها و فرمول‌های ریاضی و از طرف دیگر، کامل و واضح بودن تئوری ساختاری آن، پرکاربردترین مدل مورد استفاده بوده است. ویلسون و همکارانش از پیشگامان استفاده از مدل لوجیت برای برآورد تابع مطلوبیت انتخاب شیوهٔ حمل بار بوده‌اند. آنها نشان دادند که علاوه بر هزینه، فاکتورهای دیگری از جمله زمان حمل، قابلیت اطمینان و تعداد سرویس روزانه حمل در انتخاب مشتریان تأثیر می‌گذارد (ویلسون، بیسون و کوبیا[4]، ۱۹۸۶). ویرا[5] (۱۹۹۲) با تلفیق رویکردهای SP و RP و استفاده از مدل لوجیت دوگانه، دریافت که قابلیت اطمینان و زمان حمل، دو عامل مهم انتخاب شیوهٔ حمل‌ونقل هستند که در ذهن صاحبان بار تأثیر می‌گذارند. او همچنین اظهار کرد که قیمت حمل برای حمل جاده‌ای و دسترسی به تسهیلات و تجهیزات برای حمل ترکیبی (ریل و جاده) نیز اهمیت زیادی دارد. شینگال و فوکس[6] در سال ۲۰۰۲ برای امکان‌سنجی راه‌اندازی نوع جدیدی از حمل‌ونقل در کشور هند، با استفاده از رویکرد SP و مدل

1. Ortúzar & Willumsen
2. Elimination By Aspects (EBA)
3 Latent Class
4. Wilson, Bisson & Kobia
5. Vieira
6. Shinghal & Fowkes

لوجیت چندگانه، فاکتورهای مؤثر در مطلوبیت ۳۲ شرکت در ۶ نوع کالا را ارزیابی کردند. آنها ترجیحات مشتریان را برای چهار سرویس حمل‌ونقل جاده‌ای فعلی، حمل‌ونقل جاده‌ای پیشنهادی، حمل‌ونقل ترکیبی و حمل‌ونقل ریلی سریع‌السیر مطالعه کردند. نتایج پژوهش آنها نشان داد که کمترین تمایل به حمل‌ونقل ریلی برای کالاهای باارزش است و این تمایل در کالاهای صادراتی کمتر است. همچنین نشان دادند که فاکتورهای هزینه سفر، زمان سفر، قابلیت اطمینان زمانی و رسیدن به‌موقع بار، توالی و فراوانی سرویس‌های حمل‌ونقل، فاکتورهای مهم مؤثر در انتخاب نوع حمل‌ونقل هستند. آنها در نهایت اذعان کردند که نوع حمل‌ونقل پیشنهادی برای کالاهای باارزش و محصولات نهایی (تولیدشده) مناسب است؛ اما به توالی سفر بیشتر، قابلیت اطمینان و سرعت بیشتر نیاز دارد. نوروجونو و یانگ[1] (۲۰۰۳) با استفاده از رویکرد SP و مدل لوجیت پروبیت، مطلوبیت‌های صاحبان بار را در مسیرهایی مشترک ریلی و جاده‌ای در چهار گروه کالایی بررسی کردند و ایمنی، قابلیت اطمینان و پاسخ‌گو بودن را به‌عنوان عوامل مهم و مؤثر در مطلوبیت مشتریان برای انتخاب یکی از انواع حمل‌ونقل معرفی نمودند. فرایز، ناش، ویچسر و ابی[2] (۲۰۰۸) عوامل مؤثر در انتخاب شیوه حمل بار در میان مدهای ریل، جاده و ترکیبی ریل و جاده در کشور سوئیس را هزینه، زمان، قابلیت اطمینان و نوع کالا معرفی نمودند که برای این منظور از روش RP و مدل لوجیت چندگانه استفاده کردند. ماشوو و گیانوپلو[3] (۲۰۱۲) عوامل مؤثر در انتخاب شیوهٔ حمل‌ونقل بار میان جاده و ریل در یونان را با رویکرد RP و مدل لوجیت دوگانه بررسی کردند. در این پژوهش، هزینه، زمان، نوع و ارزش کالا، وزن کالا، مسافت، کیفیت خدمات، ایمنی حمل بار، در دسترس بودن تجهیزات بارگیری و تخلیه و دسترسی به شیوهٔ حمل، به‌عنوان عوامل مؤثر معرفی شدند. وانگ، دینگ، لیو و ژی[4] (۲۰۱۳) با استفاده از رویکرد RP و مدل لوجیت دوگانه، هزینه سوخت، زمان، نوع و ارزش کالا، فاصله و ویژگی‌های جغرافیایی را در انتخاب شیوه حمل بار میان ریل و جاده مؤثر خواندند.

هارتونو گانتور، مختار و ویداستوتی[5] (۲۰۱۷) با تلفیق رویکردهای SP و RP و استفاده از مدل لوجیت چندگانه، هزینه، زمان، ایمنی و انعطاف‌پذیری را عوامل مهم مؤثر در انتخاب روش حمل‌ونقل میان ریل، جاده و دریا در اندونزی دانستند. تاپیا، سنا، لاراناگا و سیبیز[6] (۲۰۱۸) نیز به همین منوال، هزینه، زمان، ایمنی و قابلیت اطمینان زمانی را از عوامل بسیار مهم مؤثر در انتخاب شیوه حمل‌ونقل بار میان ریل و جاده در کشور آرژانتین معرفی کردند. زیبک[7] (۲۰۱۹) به‌منظور ارائه پیشنهادهایی در خصوص ارتقای سطح خدمات به مشتریان بار در راه‌آهن ترکیه، عوامل مؤثر در انتخاب روش حمل‌ونقل از دیدگاه شرکت‌های حمل‌ونقلی را با رویکرد SP و مدل لوجیت دوگانه ارزیابی کرد. پژوهش او نشان داد هزینه (قیمت)، سرعت و امنیت حمل بار مهم‌ترین مؤلفه‌های مؤثر در مطلوبیت مشتریان است. شین، رو و هور[8] (۲۰۱۹) به‌منظور پیشنهاد یک سیستم حمل‌ونقل جدید، مطالعات انجام‌شده در خصوص شناسایی مطلوبیت‌ها در انتخاب مشتریان

1. Norojono & Young
2. Fries, Nash, Wichser & Abay
3. Moschovou & Giannopoulo
4. Wang, Ding, Liu & Xie
5. Hartono Guntur, Mochtar & Widyastuti
6. Tapia, Senna, Larranaga & Cybis
7. Zeybek
8. Shin, Roh & Hur

حمل بار را در کشور کره جنوبی بررسی کرده و متغیرهای اولیه را از این مطالعات استخراج نمودند. آنها نشان دادند در پژوهش‌هایی که داده مورد نیاز وجود دارد، رویکرد RP رویکرد مناسب‌تری است. مدل مورد استفاده آنها مدل لوجیت چندگانه بود و نتایج نشان داد که زمان، تعرفه و سطح خدمات سه عامل مهم مؤثر در انتخاب مشتریان است.

اما در ایران، مطالعات اندکی در خصوص برآورد تابع مطلوبیت انتخاب شیوهٔ حمل‌ونقل انجام شده است. یارمحمدیان، صفاری و مرادی (۱۳۹۹) با استفاده از یک مدل لوجیت چندگانه، عوامل بسیار مهم تصمیم‌گیری مسافران برای انتخاب وسیله حمل‌ونقل شهری را شناسایی کردند. آنها نشان دادند که متغیرهای زمان پیاده‌روی، زمان انتظار، هزینه، مالکیت خودرو شخصی و دسترسی به سیستم اتوبوس تندرو، عوامل مهم انتخاب شیوهٔ حمل‌ونقل شهری برای مشتریان است.

دانشگاه صنعتی اصفهان (۱۳۹۸) در مطالعه‌ای که با همکاری مرکز تحقیقات شرکت راه‌آهن با عنوان «طراحی برنامه توسعه بازار حمل‌ونقل ریلی مبتنی بر تحلیل تقاضا و مدل STP_4P» انجام داد، مدل مطلوبیت را برای انواع گروه کالاها تهیه کرد. در این گزارش با استفاده از مدل لوجیت دوگانه، متغیرهای تأثیرگذار بر تقاضای مواد معدنی شناسایی شدند. این متغیرها عبارت‌اند از: بار انبوه، اختلاف هزینه ریل از جاده، شاخص دسترسی به ریل، فاصله بیش از ۷۰۰ کیلومتر، بزرگی شهر مقصد، درصد کالای باارزش و درصد کالای اشتعال‌پذیر.

تی‌تی دژ، رشیدی و کاظم بابایی (۱۳۹۶) به‌منظور تعیین عوامل مؤثر در انتخاب شیوه‌های حمل‌ونقل برای جابه‌جایی کالا در بندر شهید رجایی، ابتدا با مطالعه پژوهش‌های گذشته، مدل لوجیت دوگانه را انتخاب کردند. پس از شناسایی شاخص‌های پرسش‌نامه از طریق مرور ادبیات و نظر خبرگان و توزیع و تحلیل پرسش‌نامه‌ها، عوامل مؤثر در انتخاب ۱۰۰ شرکت حمل‌ونقلی میان سه شیوهٔ ریلی، جاده‌ای و ترکیبی را مورد ارزیابی قراردادند. نتایج پژوهش آنها نشان می‌دهد که امنیت و ظرفیت با توجه به نوع کالا، دو متغیر تأثیرگذار در مطلوبیت انتخاب شیوه حمل‌ونقل است که در هر سه شیوه به‌صورت مشترک معنادار است.

مهری و حق‌شناس (۱۳۹۷) به‌منظور ریشه‌یابی علت سهم اندک ریل در حمل‌ونقل کانتینر در کشور، با استفاده از رویکرد RP و مدل لوجیت دوگانه و با بررسی اطلاعات حمل جاده‌ای و ریلی کانتینرها از بنادر کشور ایران، عوامل مهم مؤثر در ترجیح مشتریان برای حمل کانتینر با جاده نسبت به ریل را مورد ارزیابی قرار دادند. نتیجه پژوهش آنها نشان داد که متغیرهای بندربودن مبدأ و مقصد، بار انبوه بالای ۱۰ هزار تُن، زمان حمل‌ونقل، نسبت هزینهٔ ریلی به جاده‌ای، مبدأ و مقصد فعال ریلی، متغیرهای تأثیرگذار بر سهم ریلی بارهای کانتینری هستند. آنها بیان کردند که متغیرهای نسبت هزینهٔ ریلی به جاده‌ای و زمان حمل‌ونقل، حساسیت بیشتری نسبت به سایر متغیرها دارند.

صمیمی، رحیمی و امینی (۱۳۹۷) افزایش سهم ریلی از حمل‌ونقل زمینی را دلیلی می‌دانستند برای کاهش هزینه‌های اقتصادی و اجتماعی کلان، از جمله کاهش مصرف سوخت، کاهش تولید آلاینده‌ها، کاهش تلفات انسانی و سوانح. از این رو، با استفاده از یک مدل لوجیت دوگانه، عوامل مؤثر در تغییر شیوهٔ حمل‌ونقل در چهار نوع کالای رقابت‌پذیر میان جاده و ریل (شامل مواد معدنی، فلزات خام، کالاهای ساختمانی و مواد نفتی) را بررسی کردند تا سیاست‌ها و راهبردهایی را پیشنهاد دهند که سهم ریلی را افزایش دهد. آنها نشان دادند که متغیرهای هزینه حمل، وزن محموله، فاصله زمانی و دسترسی مبدأ و مقصد به شبکه ریلی، عوامل بسیار تأثیرگذار در انتخاب مشتری است.

مجیدی، رضایی و صفارزاده (۱۳۹۹) با استفاده از مدل‌های لوجیت ساده و ترکیبی، عوامل مؤثر بر انتخاب وسیله سفر، مسیر سفر و زمان سفر مسافران را ارزیابی کردند و نشان دادند که چگونه مسافران به تغییر عواملی همچون قیمت و زمان واکنش نشان می‌دهند. با توجه به اینکه شرایط بازار و رفتار مشتریان، همواره دستخوش تغییرات می‌شود و عوامل جدیدی پدیدار شده است که در تصمیم‌ها و انتخاب‌های مشتریان اثر می‌گذارد، لازم است مطلوبیت‌های مشتریان، با گذشت زمان بازبینی شود. از طرفی، عوامل مؤثر در مطلوبیت مشتریان، ممکن است در کشورهای مختلف یکسان نباشد. همچنین، با وجود انجام پژوهش‌های متعدد داخلی، حوزه پُراهمیت حمل‌ونقل مواد معدنی به‌صورت یکپارچه مطالعه نشده است و اجرای پژوهش در این حوزه می‌تواند به تصمیم‌های مدیران ارشد سازمان‌های مربوطه کمک شایانی کند و زمینه‌ساز تدوین استراتژی‌های مناسب و بهینه در این حوزه باشد.

روش‌شناسی پژوهش

همان طور که در پیشینه پژوهش اشاره شد، زمانی که داده‌های مدنظر به میزان کافی و با دقت قابل قبول وجود داشته باشد، روش‌های مبتنی بر داده یا همان رجحان آشکارشده (RP) از دقت بالاتری برخوردارند. در واقع روش رجحان بیان‌شده زمانی استفاده می‌شود که داده‌های مدنظر به‌صورت کامل و به میزان کافی در دسترس نباشند. با توجه به اینکه رفتار مشتریان و آمار عملکردی حمل‌ونقل با داده‌های مختلف و در زمان طولانی در دسترس است، در این پژوهش روش رجحان آشکارشده (RP) مورد استفاده قرار می‌گیرد.

همان طور که از عنوان پژوهش پیداست، این تحقیق به‌دنبال شناسایی متغیرهای مؤثر بر جذب تقاضا (سهم بازار) است؛ از این رو می‌توان گفت سهم ریلی (تقاضای جذب شده) متغیر وابسته است و در ادامه محقق به‌دنبال شناسایی متغیرهای مستقل و میزان اثرگذاری آنها بر متغیر وابسته خواهد بود.

برای سنجش هم‌بستگی متغیرها، از نرم‌افزار اس‌پی‌اس‌اس و برای مدل‌سازی تابع برآورد تقاضا، از نرم‌افزار ان‌لوجیت استفاده شده است.

شناسایی متغیرهای مؤثر بر جذب تقاضای حمل‌ونقل مواد معدنی

در این بخش، ابتدا از طریق مرور ادبیات و انجام مصاحبه با خبرگان صنعت حمل‌ونقل زمینی، متغیرهای مهم و مؤثر بر جذب تقاضا (سهم) شناسایی و نتایج آن در جدول ۲ آورده شده است. در ادامه، هم‌بستگی بین متغیرهای مستقل (جدول ۲) و تقاضای حمل‌ونقل ریلی (متغیر وابسته) در گروه کالاهای مواد معدنی سنجیده و فهرست متغیرهای مؤثر بر سهم استخراج می‌شوند. پس از استخراج فهرست نهایی متغیرهای مستقل، نوبت به ورود متغیرها به نرم‌افزار لوجیت و تعیین ضرایب متغیرها و مدل‌سازی تابع برآورد تقاضا می‌رسد.

مدل‌های انتخاب وسیله (مدل برآورد تابع تقاضا)

ناکارایی مدل‌های خطی در زمینه پژوهش‌های علوم اجتماعی، پژوهشگران را به استفاده از مدل‌های انتخاب متمایل ساخته است که در علوم اقتصادی، اجتماعی و حمل‌ونقل سابقه طولانی دارند. برای مدل‌سازی تفکیک وسیله حمل بار

نیز، معمولاً از مدل‌های انتخاب لوجیت استفاده می‌شود. در این پژوهش نیز مشابه اغلب پژوهش‌های انتخاب وسیله بار، مدل‌های انتخاب لوجیت استفاده شده است. مدل لوجیت به‌کاررفته در این پژوهش، مدل لوجیت دوگانه است که بین شیوه‌های حمل‌ونقل ریلی و جاده‌ای انجام می‌شود. این مدل با استفاده از نسخهٔ ۶ نرم‌افزار ان‌لوجیت توسعه یافته است. بر این اساس، تابع مطلوبیت حمل‌ونقل ریلی برای حمل مواد معدنی برآورد می‌شود که بر مبنای آن می‌توان سهم حمل‌ونقل ریلی و جاده‌ای را در هر مسیر و با توجه به ویژگی‌های این کالا محاسبه کرد.

برای ساخت مدل از روش «انتخاب پیش رو» استفاده می‌شود. در این روش، متغیرهای مستقل به‌ترتیب تأثیرگذاری روی متغیر وابسته، یک‌به‌یک وارد مدل شده و ارزیابی می‌شوند. در هر مرحله، علامت آنها، آماره آزمون t، آماره آزمون کای‌دو و برازندگی مدل بررسی می‌شود و در صورت ارضای این مشخصات به مرحله بعد رفته تا مدل نهایی تابع مطلوبیت به‌دست آید. برای انتخاب بین دو یا چند متغیر مشابه (از یک جنس) مثل انواع متغیرهای بار انبوه نیز از مدل‌های تک‌متغیره لوجیت استفاده می‌شود؛ به این ترتیب که مدل‌های جداگانه با هریک از متغیرها به تنهایی ساخته می‌شود، آماره t ضریب و آماره‌های مدل بررسی خواهد شد و هر یک که مدل بهتری را ارائه دهد، در مدل نهایی به‌کارخواهد رفت (دانشگاه صنعتی اصفهان، ۱۳۹۸).

مبانی نظری مدل لوجیت

رایج‌ترین الگو برای مدل‌های انتخاب لوجیت، نظریه مطلوبیت تصادفی است. فروض این نظریه به شرح زیر است:

۱. افراد انتخاب‌کننده متعلق به جمعیت N به‌صورت منطقی عمل می‌کنند و اطلاعات کاملی درباره گزینه‌های پیش رویشان دارند. آنها با توجه به محدودیت‌های قانونی، اجتماعی، فیزیکی، زمانی و مالی خود، همیشه گزینه‌ای را که مطلوبیت بیشتری برایشان دارد، انتخاب می‌کنند.

۲. مجموعه خاصی از گزینه‌های موجود $C = \{C_1. C_2. \dots . C_j\}$ و مجموعه‌ای از بردارهای ویژگی‌های اندازه‌گیری شده افراد انتخاب‌کننده (X) و گزینه‌هایشان وجود دارد. هر فرد انتخاب‌کننده (n) یک سری ویژگی‌های $x \in X$ دارد و با یک مجموعه انتخاب $C_n \in C$ مواجه است.

۳. هر گزینه $C_i \in C$ از طریق مطلوبیت فرد انتخاب‌کننده (U_{nj}) با وی در ارتباط است. پژوهشگر درباره همه عناصر مدنظر فرد برای تصمیم‌گیری و انتخاب اطلاعات کاملی ندارد. بنابراین، فرض می‌شود که مطلوبیت فرد می‌تواند دومؤلفه داشته باشد: یک بخش قابل اندازه‌گیری، سیستماتیک یا مشاهده شده مطلوبیت (V_{nj}) که تابعی از ویژگی‌های اندازه‌گیری شده (x) است و یک بخش تصادفی(ε_{nj}) که خصوصیات اخلاقی و سلیقه خاص هر فرد انتخاب‌کننده را همراه با خطاهای اندازه‌گیری یا مشاهدهٔ صورت‌گرفته در فرایند تحلیل در نظر می‌گیرد. برای مثال، ممکن است دو انتخاب‌کننده با ویژگی‌های یکسان و در رویارویی با مجموعه انتخاب یکسان گزینه‌های مختلفی را انتخاب کنند یا ممکن است برخی افراد همیشه بهترین گزینه را انتخاب نکنند. برای توضیح رفتار غیر منطقی فرد در انتخاب گزینه‌ها، به این عبارت خطا نیاز است. به این ترتیب رابطه ذیل برقرار است:

رابطهٔ ۱) $$U_{nj} = V_{nj} + \varepsilon_{nj}$$

U_{nj} مطلوبیت گزینه j برای فرد n؛ V_{nj} مطلوبیت مشاهده شده گزینه j برای فرد n و ε_{nj} بخش تصادفی مطلوبیت گزینه j برای فرد n.

یک شکل مرسوم و ساده برای V_{nj} به صورت رابطه زیر است:

رابطهٔ ۲) $$V_{nj} = \sum_{k} \beta_{jk} X_{njk}$$

X_{njk} متغیرهای توضیحی مربوط به ویژگی‌های فرد n یا گزینه j و β_{jk} ضرایب متغیرهای توضیحی است.

ضرایب β_{jk}، ثابت‌هایی هستند که برای افراد در یک جمعیت همگن یکسان فرض می‌شوند؛ اما می‌توانند برای گزینه‌های مختلف متفاوت باشند. این ضرایب اهمیت نسبی هر متغیر را تعیین می‌کنند.

همان طور که در بند یک اشاره شد، فرد n گزینه با بیشترین مطلوبیت را انتخاب می‌کند، یعنی فرد C_J را انتخاب می‌کند، اگر و فقط اگر رابطه زیر برقرار باشد:

رابطهٔ ۳) $$U_{nj} \geq U_{ni} \quad \forall C_J \in C_n$$

که معادل است با این که:

رابطهٔ ۴) $$V_{nj} - V_{ni} \geq \varepsilon_{ni} - \varepsilon_{nj}$$

تعیین مقدار $(\varepsilon_{ni} - \varepsilon_{nj})$ از رابطه فوق ممکن نیست و بنابراین احتمال انتخاب C_J برابر است با:

رابطهٔ ۵) $$P_{ni} = Prob\{\varepsilon_{ni} \leq \varepsilon_{nj} + (V_{nj} - V_{ni})\} \quad \forall C_J \in C_n$$

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

مدل لوجیت دوگانه

با توجه به مفهوم مدل‌های مطلوبیت تصادفی، اگر مجموعه انتخاب افراد تنها دارای دو عضو i و j باشد، احتمال انتخاب گزینه i توسط فرد n به‌صورت رابطه زیر است:

رابطهٔ ۶) $$P_{ni} = P_r(U_i > U_j)$$

و احتمال انتخاب گزینه j برابر $P_{nj} = ۱ - P_{ni}$ خواهد بود.

با این فرض که $\varepsilon = \varepsilon_i - \varepsilon_j$ دارای توزیع لجستیک است و ε_i و ε_j هر دو توزیع مستقل گامبل با پارامترهای μ=۱ و η = ۰ هستند، رابطه مدل لوجیت دوگانه به‌صورت زیر به‌دست می‌آید:

$$P_i = P_r(U_i > U_j) = P_r(V_i + \varepsilon_i > V_j + \varepsilon_j) = P_r(\varepsilon_i - \varepsilon_j > V_j - V_i)$$
$$= P_r(\varepsilon > V_j - V_i) = \frac{e^{vi}}{e^{vi} + e^{vj}} = \frac{1}{1 + e^{vj-vi}}$$ رابطهٔ ۷)

P_i احتمال انتخاب گزینه i؛ V_i بخش قابل مشاهده مطلوبیت گزینه i برای فرد n و V_j بخش قابل مشاهده مطلوبیت گزینه j برای فرد n است.

برآورد مدل لوجیت

برآورد ضرایب توابع مطلوبیت مدل لوجیت به روش درست‌نمایی بیشینه[1] صورت می‌گیرد. اگر برای نمونه‌ای N نفری، انتخاب افراد (J_n) و مقادیر X_{njk} برای هر گزینه مشخص باشد، از آنجا که مشاهدات مستقل هستند، تابع درست‌نمایی از حاصل‌ضرب احتمالات مدل برای گزینه انتخابی هر فرد در واقعیت به‌صورت رابطه زیر به دست می‌آید:

$$L(\beta) = P_{1J_1} P_{2J_2} P_{3J_3} \dots$$ رابطهٔ ۸)

با تعریف متغیر جایگزین y_{nj} به‌صورت زیر، تابع درست‌نمایی به‌صورت رابطه زیر خواهد شد:

$$L(\beta) = \prod_{n-1}^{N} \prod_{C_j \in C(n)} (P_{nj})^{y_{nj}}$$ رابطهٔ ۹)

P_{nj} احتمال انتخاب گزینه $(C_j$ سهم گزینه C_j برای مبدأ ـ مقصد nام)؛ y_{nj} اگر C_j انتخاب واقعی فرد باشد، برابر با یک و در غیر این صورت، برابر با صفر در نظر گرفته می‌شود. $L(\beta)$ بردار پارامترهای مدل است که برای بیشینه‌نمودن این تابع، نسبت به β مشتق‌گیری شده و حاصل برابر با صفر قرار می‌گیرد. در عمل لگاریتم طبیعی $L(\beta)$ را که کنترل‌پذیرتر است و به یک جواب بهینه می‌رسد، بیشینه می‌کنند که به آن لگاریتم درست‌نمایی یا لوگ لایکلی‌هود[2] $LL(\beta)$ گفته می‌شود و نشان دهنده برازندگی مدل است (دانشگاه صنعتی اصفهان، ۱۳۹۸).

یافته‌های پژوهش

طبق روش‌شناسی توضیح داده شده در بخش فوق، در این پژوهش از طریق مرور ادبیات و انجام مصاحبه با خبرگان صنعت حمل‌ونقل زمینی، متغیرهای مهم و مورد نیاز برای مدل‌سازی مطلوبیت انتخاب وسیله حمل بار استخراج و در جدول ۲ آورده شده است.

به‌طور کلی متغیرهای شناسایی شده را می‌توان به دو گروه زیر دسته‌بندی کرد:

۱. متغیرهای مربوط به ویژگی‌های شبکه و سرویس‌دهی، از جمله زمان سفر، مسافت حمل، هزینه حمل، دسترسی به شبکه؛

۲. ویژگی‌های مبدأ ـ مقصد، از جمله انبوه‌بودن تقاضای بار، گروه کالا.

1. Maximum likelihood estimation
2. Log likelihood

هزینه و زمان‌های ریل و جاده برای مدل‌سازی به‌صورت نسبت در نظر گرفته شده‌اند.

جدول ۲. متغیرهای مدنظر برای بررسی و استفاده در مدل

متغیر	توضیح
r-time	زمان سفر کل ریلی بین مبدأ- مقصد (دقیقه)
j-time	زمان سفر کل جاده‌ای بین مبدأ- مقصد (دقیقه)
r-j-time	نسبت زمان سفر کل ریل به جاده
r-cost	هزینه کل ریل به ازای هر تُن (تومان)
j-cost	هزینه کل جاده به ازای هر تُن (تومان)
r-j-cost	نسبت تعرفه ریل به جاده (به ازای تُن)
r-acc	دسترسی مبدأ و مقصد به شبکه ریلی
r-inter-cost	هزینه حمل ترکیبی در حمل‌ونقل ریلی به ازای هر تُن (میلیون ریال)
bulk-200tk	بار انبوه ریلی: بیش از ۲۰۰ میلیون تُن کیلومتر ۱ و در غیر این صورت صفر (محاسبه شده با تُن کیلومتر کل ریل و جاده)
r-dist	مسافت ریلی
j-dist	مسافت جاده‌ای
r-j-dist	نسبت مسافت ریلی به جاده‌ای

جامعه آماری و نمونه

از آنجا که دسترسی به اطلاعات جاده‌ای قبل از سال ۹۰ میسر نبود، نمونه مورد بررسی مربوط به داده‌های سال ۹۰ تا ۹۸ است و از بارنامه‌های ریلی و جاده‌ای و سایرسیستم‌های عملیاتی اخذ شده است. نمونه استفاده شده برای ساخت مدل ۱۴۴۸۳ مشاهده به‌صورت مسیر ـ گروه‌کالاست. آمار توصیفی متغیرها در جدول ۳ مشاهده می‌شود. با توجه به اینکه نمونه به‌طور تصادفی از جامعه استخراج نشده و انحراف استاندارد جامعه نامعلوم است، از آزمون T استفاده شده است. در ادامه آمار توصیفی این متغیرها که با کمک نرم افزار اس‌پی‌اس‌اس استخراج شده است، در جدول ۳ مشاهده می‌شود.

جدول ۳. آمار توصیفی متغیرها

	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation	Variance
r-j-cost	۰/۰۰۰۰۰۰۲۳	۰/۰۰۰۲۴۰۴	۰/۰۰۰۰۶۹۱۰۶	۰/۰۰۰۰۸۷۶۱۳۴	۰/۰۰۰
R-DIST	۱۵۰	۱۹۱۲	۶۱۸/۵۸	۴۳۸/۸۶۹	۱۹۲۶۰۶/۱۳۹
J-DIST	۴۰/۰۰۰	۱۵۴۹/۰۰۰	۵۳۹/۵۳۴۶۸	۳۹۵/۸۹۹۳۶۱	۱۵۶۷۳۶/۳۰۴
r-cost	۰/۷۸۹۰۴۱۸۳۳۷۵	۱۰/۸۲۰۰۰۰۰۰۰	۴/۷۴۰۸۵۶۷۲۳۳۷۹۸	۳/۶۱۰۴۴۵۴۵۱۷۹۰۵۰	۱۳/۰۳۵
R-ACC	۰	۲	۱/۳۱	۰/۷۸۴	۰/۶۱۴
r-inter-cost	۰/۰۰۰۰۰	۲/۵۶۰۰۰	۰/۱۵۴۹۶۴۰	۰/۲۷۵۶۲۵۶۷	۰/۰۷۶
R-J-TIME	۲/۹	۱۰/۰	۵/۰۱۱	۱/۴۹۲۰	۲/۲۲۶
BULK-200TK	۰	۱	۰/۳۱	۰/۴۶۳	۰/۲۱۴
R-J-DIST	۰/۷۴۰۴۵۸۰۱۷	۳/۷۵۰۰۰۰۰	۱/۲۸۵۴۳۸۰۳۶۰۶	۰/۵۰۲۵۱۱۴۵۷۵۴	۰/۲۵۳

در گام بعدی بین متغیرهای شناسایی شده فوق و تقاضای حمل‌ونقل ریلی در گروه کالاهای مواد معدنی رابطه هم‌بستگی سنجیده شده و متغیرهایی که رابطه معناداری با سهم ریلی دارند، به‌عنوان متغیرهای مورد استفاده در تابع برآورد تقاضا استفاده خواهند شد. نتایج تحلیل این متغیرها که از طریق نرم‌افزار اس‌پی‌اس‌اس به‌دست آمده، در جدول ۴ تا ۸ درج شده است.

جدول ٤. ضریب هم‌بستگی متغیر زمان سفر با سهم حمل‌ونقل ریلی در گروه کالای مواد معدنی

متغیر	زمان سفر کل ریلی بین مبدأ- مقصد (r-time)	زمان سفر کل جاده‌ای بین مبدأ- مقصد (j-time)	نسبت زمان سفر کل ریل به جاده (r-j-time)
زمان سفر	-۰/۰۱۴	-۰/۰۸	۰/۰۶۸

نتایج تحلیل هم‌بستگی متغیرهای زمان حمل بار با سهم حمل‌ونقل ریلی در جدول فوق آورده شده‌است. ضرایب نشان می‌دهد رابطه معناداری بین زمان سفر و تقاضای حمل کالای معدنی وجود ندارد.

جدول ٥. ضریب هم‌بستگی متغیرهای هزینه با سهم حمل‌ونقل ریلی در گروه کالای مواد معدنی

گروه کالا	هزینه کل ریل به ازای هر تُن (r-cost)	هزینه کل جاده به ازای هر تُن (j-cost)	نسبت تعرفه ریل به جاده به ازای هر تُن (r-j-cost)
هزینه	۰/۰۱	-۰/۰۷۱	-۰/۲۱۴*

* هم‌بستگی با P_value کمتر از ۰/۰۵

همان گونه که ضرایب منطقی و معنادار مشخص شده دراین جداول نشان می‌دهند، افزایش هزینه حمل جاده تأثیر قابل‌توجهی بر سهم حمل‌ونقل ریلی در این گروه کالا دارد.

بررسی ضرایب هم‌بستگی متغیرهای نسبت هزینه ریل و جاده و موارد با علامت منطقی و معنادار نتیجه می‌شود که متغیر نسبت هزینه ریل به جاده به ازای هر تُن متغیر معناداری بر سهم ریلی است. همینطور می‌توان اشاره نمود که متغیر نسبی هزینه ریل به جاده بیشتر از متغیرهای خالص هزینه ریل یا جاده بر سهم حمل‌ونقل ریلی تأثیرگذار است.

جدول ٦. ضریب هم‌بستگی متغیر مسافت با سهم حمل‌ونقل ریلی در گروه کالای مواد معدنی

متغیر	مسافت ریلی (r-dist)	مسافت جاده‌ای (j-dost)	نسبت مسافت ریلی به جاده‌ای (r-j-dist)
مسافت	۰/۱۵۳*	-۰/۱۲۶	-۰/۰۶۵*

* هم‌بستگی با P_value کمتر از ۰/۰۵

بررسی ارتباط متغیرهای مسافتی با سهم ریل نشان می‌دهد که متغیر مسافت ریلی با سهم ریل در گروه محصولات معدنی ارتباط معنادار و منطقی دارد.

جدول ۷. ضریب هم‌بستگی متغیر حجم انبوه با سهم حمل‌ونقل ریلی در گروه کالای مواد معدنی

متغیر	انبوه بودن بار بر اساس آستانه ۲۰۰ میلیون تُن کیلومتر (bulk-200tk)	انبوه بودن بار بر اساس آستانه ۱۰۰ هزار تُن (bulk-100t)
حجم انبوه	۱/۲۱۴*	-۰/۸۲۵

* هم‌بستگی با P_value کمتر از ۰/۰۵

برای مشخص‌تر کردن شاخص انبوه بودن بار، این شاخص بر اساس مقادیر مختلفی از تناژ و تُن کیلومتر تست شده‌است و برای گروه کالاهای معدنی در ۲۰۰ میلیون تُن کیلومتر رابطه مثبتی میان این شاخص‌ها با سهم ریلی دیده می‌شود. در بین متغیرهای بار انبوه، متغیرهای محاسبه شده بر اساس تُن کیلومتر تأثیر بیشتری بر سهم حمل‌ونقل ریلی داشته است.

جدول ۸. ضریب هم‌بستگی سایر متغیرها با سهم حمل‌ونقل ریلی در گروه کالای مواد معدنی

عنوان متغیر	دسترسی به شبکه ریلی (r-acc)	هزینه ترکیبی (r-inter-cost)
سایر متغیرها	۰/۳۳۶*	-۰/۱۰۸*

* هم‌بستگی با P_value کمتر از ۰/۰۵

جدول فوق ضرایب هم‌بستگی سایر متغیرها با سهم حمل‌ونقل ریلی را نشان می‌دهد. همان طور که مشخص است، شاخص‌های دسترسی و هزینه ترکیبی درگروه کالای مواد معدنی رابطه معناداری دارند.

برای اطمینان از عدم هم‌بستگی بین متغیرهای مستقل نیز آزمون هم‌بستگی انجام شد که رابطه معناداری بین متغیرهای مستقل دیده نمی‌شود. حال لازم است که تابع برآورد تقاضا، یعنی ضرایب این متغیرها را با استفاده از نرم‌افزار ان‌لوجیت محاسبه نمود.

مدل‌سازی تابع برآورد تقاضا با استفاده از مدل لوجیت دوگانه

در این بخش و پس از بررسی هم‌بستگی میان متغیرهای مستقل و سهم این شیوهٔ حمل‌ونقلی، مدل تقاضای حمل مواد معدنی با استفاده از روش لوجیت که پیش‌تر به آن اشاره شد، برآورد شده است. مدل‌سازی تفکیک سفر باری به‌صورت لوجیت دوگانه بین شیوه‌های حمل‌ونقل ریلی و جاده‌ای انجام می‌شود. به این ترتیب، تابع مطلوبیت حمل‌ونقل ریلی برای مواد معدنی برآورد می‌شود که سهم حمل‌ونقل ریلی و جاده‌ای بر مبنای آن قابل محاسبه است.

مدل نهایی به‌دست‌آمده در جدول ۹ مشاهده می‌شود. متغیرهای معنادار با اطمینان ۹۹ درصد شامل نسبت تعرفه ریل به جاده به ازای هر تُن، دسترسی مبدأ و مقصد به شبکه ریلی، مجموع هزینه ترکیبی به ازای هر تُن در مبدأ و مقصد، انبوه‌بودن بار بر اساس ۲۰۰ میلیون تُن ـ کیلومتر و نسبت فاصله ریلی به جاده‌ای است. در این میان، به غیر از شاخص‌های انبوه بودن بار و دسترسی به شبکه ریلی، مابقی شاخص‌ها عوامل منفی در تابع تقاضای حمل‌ونقل ریلی هستند.

جدول ۹. مدل نهایی تابع برآورد تقاضا برای گروه کالای معدنی

نام متغیر	توضیح متغیر	ضریب در مدل تقاضا	آماره t	Sig.
r-j-cost	نسبت تعرفه ریل به جاده به ازای تُن	−۴/۱	−۶/۹۸۷	۰/۰۰۰
r-j-dist	نسبت مسافت ریلی به جاده‌ای	−۰/۶۴	−۸/۲۱۴	۰/۰۰۰
r-acc	دسترسی مبدأ و مقصد به شبکه ریلی	۱/۶۱	۱۱/۴۶۵	۰/۰۰۱
r-inter-cost	هزینه حمل ترکیبی در حمل‌ونقل ریلی به ازای هر تُن	−۰/۷۷	−۷/۹۲۶	۰/۰۰۰
bulk-200tk	انبوه بودن بار بر اساس ۲۰۰ میلیون تُن کیلومتر	۲/۱۲	۵/۱۹۸	۰/۰۰۵
Constant	عدد ثابت	−۰/۵۸	−۵/۳۲۹	۰/۰۰۰

$LL(\beta) = -۲۴۱۶/۳$ $\quad LL(C) = -۳۱۲۸/۴$

$\rho_c^۲ = ۱ - \frac{LL(\beta)}{LL(C)} = ۰/۲۴$ $\quad -۲(LL(C) - LL(\beta)) = ۱۶۰۴ > X^۲_{۵,۰/۰۱} = ۱۵/۱$

تمامی متغیرهای پذیرفته شده در مدل نهایی این پژوهش، علامت منطقی دارند، از لحاظ آماری معنادار و از سطح اطمینان بالای ۹۰درصد برخوردارند. مقدار لگاریتم تابع بیشینه درست‌نمایی، به‌ازای عدد ثابت و همچنین پارامترهای برآورد شده، آماره کای‌دو و مقدار برازندگی برای مدل تمامی شرایط آماری مورد نیاز را ارضا می‌کند.

ضرایب به‌دست‌آمده در مدل نشان می‌دهد عوامل مهم تأثیرگذار بر مطلوبیت حمل‌ونقل ریلی برای حمل کالاهای معدنی، به‌ترتیب عبارت‌اند از: نسبت تعرفه حمل‌ونقل ریلی به تعرفه جاده‌ای به‌ازای هر تُن؛ انبوه‌بودن بار مدنظر؛ دسترسی مبدأ و مقصد به شبکه ریلی. این در حالی است که سایر عوامل، نظیر زمان سفر، تأثیری بر تغییر شیوه حمل‌ونقل مواد معدنی و از دست رفتن سهم ریلی ندارد.

اعتبارسنجی مدل

همان طور که در بخش روش‌شناسی پژوهش گفته شد، داده‌های مورد استفاده برای مدل‌سازی مربوط به سال‌های ۹۰ تا ۹۸ بوده است. به‌منظور سنجش اعتبار مدل، با استفاده از روش اعتبارسنجی درون نمونه ای، سهم تقاضای سال ۱۳۹۹ با استفاده از مدل تقاضای برآورد شده پیش‌بینی شده است؛ سپس خطای مدل پیش‌بینی با استفاده از مقادیر واقعی در هر یک از مسیرها به‌دست آمده است. تعداد کل مسیر ـ کالاهای مورد بررسی ۲۹۷ مسیر است. میانگین خطای مدل برابر ۳درصد و بیشترین خطا برابر با ۸ درصد است که هم از لحاظ آماری و هم از نظر خبرگان صنعت ریلی حاکی از پیش‌بینی مناسب و قابل قبولی است.

تحلیل حساسیت

تحلیل حساسیت مدل تقاضا با توجه به تغییر تعرفه حمل ریلی نشان می‌دهد که کاهش تعرفه، به افزایش تقاضای حمل‌ونقل ریلی منجر می‌شود (در حمایت از سیاست‌های تعدیل قیمت و افزایش سهم ریلی)؛ اما در مقابل به همان اندازه که تعرفه کاهش یافته است، درآمد کاهش نمی‌یابد که به‌صورت منطقی از طریق افزایش تقاضا جبران می‌شود. نتایج

نشان می‌دهد۱۰ درصد کاهش در تعرفه، به ۳ درصد افزایش در تقاضای کل منجر شده است؛ در حالی‌که ۲/۴۶ درصد درآمد کاهش یافته است. همچنین ۱۰ درصد افزایش در مسافت ریلی باعث کاهش ۱/۵ درصدی تقاضا می‌شود.

محدودیت‌ها و چالش‌ها

- با توجه به اینکه مطلوبیت نسبی بین دو شیوه حمل‌ونقل مورد بررسی قرار گرفت، دسترسی به اطلاعات حمل‌ونقل جاده‌ای مهم‌ترین چالش پیش روی تحقیق بود که زمان زیادی هم برای جمع‌آوری آن صرف شد.
- برخی متغیرهای مستقل که به‌طور قطع در مطلوبیت جذب تقاضا تأثیرگذارند، متغیرهای کیفی هستند که به‌علت نبود داده و عدم امکان محاسبه مقادیر آنها، از آنها صرف‌نظر شده و پژوهش با روش RP و براساس متغیرهای کمی با داده‌های موجود انجام شده است.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

شناسایی عوامل مؤثر در انتخاب وسیله حمل‌ونقل و به‌تبع آن تعیین تابع مطلوبیت شیوه حمل‌ونقل و برآورد تقاضا، می‌تواند زمینه‌ساز تصمیم‌های کلان در حوزه حمل‌ونقل و یکی از مهم‌ترین ورودی‌ها برای تدوین استراتژی‌های این حوزه باشد. این مهم در حوزه مواد معدنی به‌عنوان مهم‌ترین مواد اولیه صنایع و یکی از اساسی‌ترین منابع توسعه زیرساختی کشور بسیار حائز اهمیت و در اولویت است. در این پژوهش عوامل مهم مؤثر بر انتخاب شیوه حمل‌ونقل شناسایی و با استفاده از مدل لوجیت دوگانه، تابع مطلوبیت حمل‌ونقل زمینی مواد معدنی در کشور ایران برآورد گردیده است. نتایج به‌دست‌آمده نشان می‌دهد که عوامل مهم تأثیرگذار بر انتخاب شیوه حمل‌ونقل مواد معدنی، به‌ترتیب عبارت‌اند از: نسبت تعرفه حمل‌ونقل ریلی به تعرفه جاده‌ای به‌ازای هر تُن، انبوه‌بودن بار معدن مدنظر و دسترسی مبدأ و مقصد به شبکه ریلی. لذا ارائه‌دهندگان خدمات حمل‌ونقل با تمرکز بر بهبود این عوامل، می‌توانند زمینه‌ساز رشد عملکرد خود در بازار حمل‌ونقل این کالا باشند.

با توجه به هزینه سنگین حمل ترکیبی و اثرگذاری آن روی مطلوبیت روش حمل و جذب تقاضا، پیشنهاد می‌شود که جذابیت سرمایه‌گذاری برای دسترسی به شبکه ریلی برای گروه کالاها و مسیرهایی محاسبه شود که برای سایر عوامل، غیر از دسترسی به شبکه ریلی شرایط مطلوبی دارد.

با توجه به اینکه برخی متغیرهای کیفی از جمله قابلیت اطمینان، ایمنی، سلامت بار و... نیز در انتخاب شیوه حمل‌ونقل و افزایش سهم بازار مؤثر است، پیشنهاد می‌شود همین پژوهش با رویکرد SP (رحجان بیان شده) نیز اجرا شده و نتایج آن با یافته‌های این پژوهش مقایسه شود.

منابع

تی‌تی‌دژ، امید؛ رشیدی، سیامک و بابایی، کاظم (۱۳۹۶). تعیین عوامل مؤثر بر انتخاب مدهای حمل‌ونقل در جابجایی کالا با استفاده از مدل انتخاب گسسته لاجیت. *کنفرانس بین‌المللی پیشرفت‌های نوین در مهندسی عمران*، ۱۰ تا ۱۷ آبان.

دانشگاه صنعتی اصفهان (۱۳۹۸). *طراحی برنامه توسعه بازار حمل و نقل ریلی مبتنی بر تحلیل تقاضا و مدل STP_4P*. مرکز تحقیقات شرکت راه آهن. (چاپ نشده).

زانا مجیدی، محمد؛ رضایی، حمید و صفارزاده، محمود (۱۳۹۹). بررسی و ارائه مدل قیمت‌گذاری عوارض آزادراه‌ها بر مبنای سهم تغییر وسیله، تغییر مسیر، تغییر زمان سفر و میزان تمایل به‌پرداخت کاربران (نمونه موردی: آزادراه تهران ـ ساوه). *پژوهشنامه حمل‌ونقل*.

صمیمی، امیر؛ رحیمی، احسان و امینی، حمیدرضا (۱۳۹۷). تحلیل مزایای تغییر شیوه حمل کالا از جاده‌ای به ریلی، از نگاه توسعه پایدار: مطالعه موردی ایران. *نشریه مهندسی عمران امیرکبیر*، ۵۰(۳)، ۵۱۹–۵۲۸.

مجیدی، محمد؛ رضایی، حمید و صفارزاده، محمود (۱۳۹۹). بررسی و ارائه مدل قیمت‌گذاری عوارض آزادراه‌ها بر مبنای سهم تغییر وسیله، تغییر مسیر، تغییر زمان سفر و میزان تمایل به‌پرداخت کاربران (نمونه موردی: آزادراه تهران ـ ساوه). *پژوهشنامه حمل‌ونقل*.

مهری، سید سینا و حق‌شناس، حسین (۱۳۹۷). مطلوبیت انتخاب راه‌آهن در رقابت با جاده برای حمل‌ونقل کانتینر در ایران. *فصلنامه مهندسی حمل‌ونقل*، ۹(۴)، ۶۳۱–۶۴۶.

یارمحمدیان، ناصر؛ صفاری، بابک و مرادی، منیره (۱۳۹۹). انتخاب حالت سفر و عوامل مؤثر بر آن با استفاده از مدل لاجیت چند جمله ای در شهر اصفهان. *فصلنامه مهندسی حمل‌ونقل*، ۱۱(۳)، ۷۳۷–۷۵۵.

References

Ben-Akiva, M. E., Lerman, S. R., Lerman, S. R., & others. (1985). *Discrete choice analysis: theory and application to travel demand* (Vol. 9). MIT press.

Cullinane, K. & Toy, N. (2000). Identifying influential attributes in freight route/mode choice decisions: A content analysis. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, *36*(1), 41–53. https://doi.org/10.1016/S1366-5545(99)00016-2

Feo-Valero, M. García-Menéndez, L. & Garrido-Hidalgo, R. (2011). Valuing freight transport time using transport demand modelling: A bibliographical review. *Transport Reviews*, *31*(5), 625–651. https://doi.org/10.1080/01441647.2011.564330

Fries, N., Nash, A., Wichser, J., & Abay, G. (2008). Modal Split Functions for a Swiss National Freight Transport Model. *AET Papers Repository*.

Hartono Guntur, R., Mochtar, I. B. & Widyastuti, H. (2017). *Modelling Modal Shift Preference of Freight Transport on Surabaya-Jakarta Corridor: A Preliminary Survey*.

International Statistics and Indicators, Report No. , Mineral Production and Reserves. (2016)

Isfahan University of Technology (2018). *The Report: Designing a Rail Transportation Market Development Plan Based on Demand Analysis and STP_4P Model*. Railway Company Research Center, unpublished. (*in Persian*)

Jourquin, B. & Beuthe, M. (2019). Cost, transit time and speed elasticity calculations for the European continental freight transport. *Transport Policy*, *83*(August), 1–12. https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2019.08.009

Kutz, M. (2004). *Handbook of Transportation-Engineering*. McGraw Hill Professional.

Majidi, M., Rezaei, H. & Saffarzadeh, M. (2020). Review and present the pricing model of freeway tolls based on the share of vehicle change, route change, travel time change and users' willingness to pay (Case study: Tehran_Saveh freeway). *Journal of Transportation Research.* (*in Persian*)

Mehri, S. & Haghshenas, H. (2018). The desirability of choosing the railway in competition with the road for container transportation in Iran. *Journal of Transportation Engineering*, 9(4), 631–646. (*in Persian*)

Meixell, M. J. & Norbis, M. (2008). A review of the transportation mode choice and carrier selection literature. *The International Journal of Logistics Management*, *19*(2), 183–211. https://doi.org/10.1108/09574090810895951

Moschovou, T. P., & Giannopoulos, G. A. (2012). Modeling Freight Mode Choice in Greece. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, *48*, 597–611. https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2012.06.1038

Norojono, O. & Young, W. (2003). A Stated preference freight mode choice model CHOICE MODEL. *Transportation Planning and Technology ISSN:*, *1060*(October). https://doi.org/10.1080/715020600

Ortúzar, J. de D. J. D., & Willumsen, L. G. L. G. (2011). Modelling Transport. In *Modelling Transport*. https://doi.org/10.1002/9781119993308

Samimi, A., Rahimi, A. & Amini, H. (2018). Analyzing the benefits of changing transportation mode by road to rail from the perspective of sustainable development: A case study of Iran. *Journal of Civil Engineering Amirkabir*, 50(3), 519–528. (*in Persian*)

Shin, S., Roh, H.-S., & Hur, S. (2019). Characteristics Analysis of Freight Mode Choice Model According to the Introduction of a New Freight Transport System. *Sustainability*, *11*(4), 1209. https://doi.org/10.3390/su11041209

Shinghal, N., & Fowkes, T. (2002). Freight mode choice and adaptive stated preferences. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, *38*(5), 367–378. https://doi.org/10.1016/S1366-5545(02)00012-1

Tapia, R., Senna, L., Larranaga, A., & Cybis, H. (2018). Joint mode and port choice for soy production in Buenos Aires province, Argentina. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, *121*. https://doi.org/10.1016/j.tre.2018.04.010

TT Dej, A., Rashidi, S. & Kazem Babaei, F. (2017). Determining the effective factors on the choice of transportation modes in the movement of goods using Logite discrete selection model. *International Conference on New Advances in Civil Engineering*, November, 1–9. (*in Persian*)

Vieira, L.F.M. (1992). *The value of service in freight transportation.pdf*.

Wilson, F. R., Bisson, B. J., & Kobia, K. B. (1986). Factors that determine mode choice in the transportation of general freight. *Transportation Research Record*, *1061*, 26–31.

Yarmohammadian, N., Saffari, B. & Moradi, M. (2020). Selecting the travel mode and the factors affecting it using the polynomial logit model in Isfahan. *Journal of Transportation Engineering*, 11(3), 737–755. (*in Persian*)

Zeybek, H. (2019). *Analysis of freight mode choice decisions of shippers and forwarders: pre-liberalisation survey and forwarders: pre-liberalisation survey Hulya Zeybek. September*.https://doi.org/10.1504/WRITR.2019.102357

Wang, Y., Ding, C., Liu, C., & Xie, B. (2013). An Analysis of Interstate Freight Mode Choice between Truck and Rail: A Case Study of Maryland, United States. Procedia - Social and Behavioral Sciences, 96, 1239–1249. https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2013.08.141

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی