

مدل ظرفیت‌سنجی ناوگان عمومی حمل و نقل جاده‌ای

محمدرضا امین ناصری^{۱*}، عباس محمودآبادی^۲

۱- دانشیار بخش مهندسی صنایع، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه تربیت مدرس

۲- معاون دفتر ایمنی و ترافیک، سازمان راهداری و حمل و نقل جاده‌ای، وزارت راه و ترابری

* تهران، صندوق پستی ۱۴۳-۱۴۱۱۵

Amin_nas@modares.ac.ir

(دریافت مقاله: اسفند ۱۳۸۲، پذیرش مقاله: دی ۱۳۸۵)

چکیده - حمل و نقل یکی از مهمترین ارکان رشد اقتصادی و توسعه محسوب می‌شود و در ایران نیز به دلیل شرایط جغرافیایی، اقتصادی و همچنین انعطاف‌پذیری حمل و نقل جاده‌ای و وجود زیرساخت‌های کافی، حمل و نقل جاده‌ای از جایگاه و اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. وسایل نقلیه یکی از ارکان حمل و نقل جاده‌ای به‌شمار می‌روند، از این‌رو ظرفیت‌سنجی ناوگان یا وسایل نقلیه حمل و نقل جاده‌ای، از عوامل اساسی مورد استفاده در برنامه‌ریزی حمل و نقل است.

در این تحقیق مدلی ریاضی برای تعیین میزان نیاز به انواع وسایل نقلیه در استانهای مختلف کشور ارائه شده است. از آنجاکه برنامه ظرفیت‌سنجی با در نظر گرفتن چندین معیار مدنظر بوده، از روش برنامه‌ریزی آرمانی در مدلسازی استفاده شده است. به دلیل طبیعت مسأله، متغیرهای صفر و یک به مدل وارد شده که این - به‌نوبه خود - مدل را به‌صورت نوعی مسأله برنامه‌ریزی غیرخطی عدد صحیح مخلوط تبدیل کرده است. از آنجاکه حل این‌گونه مسائل به‌ویژه برای اندازه‌های بزرگ با مشکلاتی همراه است، با توجه به ساختار مسأله، روشی ابتکاری ارائه شده که مسأله غیرخطی را به یک مسأله خطی تبدیل می‌کند. سپس با استفاده از اطلاعات برنامه‌ریزی حمل و نقل، مدل ارائه شده با نرم‌افزار GAMS حل شده و نیاز کشور در استانهای مختلف به انواع وسایل نقلیه بررسی شده است. علاوه بر این، نیاز به انواع وسایل نقلیه در حالت‌های مختلف نیز - نظیر افزایش حمل و نقل با کانتینر - مطرح و تجزیه و تحلیل شد.

کلید واژگان: حمل و نقل، ناوگان عمومی، برنامه‌ریزی آرمانی، ظرفیت‌سنجی.

۱- مقدمه

(ناوگان) که حمل و نقل را به عهده دارند، از اهمیت و جایگاه خاصی برخوردار است، زیرا هم‌اکنون مهمترین عامل در بخش عرضه حمل و نقل را ناوگان عمومی تشکیل می‌دهد. تعادل بین عرضه و تقاضای حمل و نقل - با توجه به حجم قابل‌توجه جابه‌جایی مسافر و کالا همواره مدنظر برنامه‌ریزان حمل و نقل بوده است.

بخش حمل و نقل به‌دلیل ویژگی‌های خاص آن، یکی از بخش‌های اساسی در اقتصاد کشور به‌شمار می‌رود و سهم جابه‌جایی کالا در کشور در سالهای دهه ۱۳۷۰، هشت درصد از کل تولید ناخالص ملی بوده است. با توجه به شرایط حمل و نقل جاده‌ای، وسایل نقلیه

استانهای کشور و تنوع گروههای کالا، نیاز به انواع وسایل نقلیه در استانهای کشور تعیین شود. بر این اساس با توجه به مسائل متعدد دخیل در تابع هدف از برنامه‌ریزی آرمانی که امکان برآورده ساختن چندین تابع هدف را میسر می‌سازد، استفاده شده است. با توجه به خصوصیات حمل و نقل جاده‌ای، مسائلی که در مدلسازی در نظر گرفته شده به شرح زیر است.

۳-۱- نبود امکان حمل تمامی گروههای کالا به وسیله انواع وسایل نقلیه

با توجه به شکل بارگیری وسایل نقلیه و شرایط حمل کالا به وسیله آنها، امکان حمل تمامی انواع کالا به وسیله هر نوع از وسایل نقلیه وجود ندارد. به عنوان مثال حمل محمولات فله‌ای به وسیله وسایل نقلیه کفی امکان‌پذیر نیست. بنابراین باید برنامه‌ریزی در شرایطی انجام شود که محدودیت حمل کالا به وسیله وسایل نقلیه نیز در نظر گرفته شود.

۳-۲- تفاوت مقدار تقاضا، مسافت مبدأ و مقصد برای انواع کالا

مسافت یکی از پارامترهایی است که در برآورد تقاضای حمل و نقل در نظر گرفته می‌شود. از آنجاکه اطلاع از وزن کالا در تقاضای حمل و نقل، به تنهایی کافی نیست، مسافت جابه‌جایی کالا نیز باید در مطالعات مدنظر قرار گیرد. این پارامترها از حاصل ضرب وزن محمولات در مسافت جابه‌جایی موردنظر محاسبه می‌شود. تقاضای حمل و نقل با واحد تن - کیلومتر سنجیده می‌شود.

۳-۳- اختلاف ظرفیت وسایل نقلیه برای بارگیری انواع کالاها

وسایل نقلیه براساس تفکیکی که برای آنها صورت گرفته شده، بارگیریهایی با شکلهای متفاوت دارند و با توجه به شکل بارگیری، حجم متفاوتی نیز داشته و لذا ظرفیت بارگیری انواع کالا در گونه‌های مختلف وسایل نقلیه متفاوت است.

در حال حاضر به علت ارائه سوخت به قیمت ارزان، حمل و نقل جاده‌ای در مقایسه با سایر انواع حمل و نقل (ریلی، دریایی و هوایی) جایگاه ویژه‌ای دارد به نحوی که ۹۵٪ کل مسافر و حدود ۸۳٪ کل کالا در سطح کشور، به وسیله ناوگان عمومی حمل و نقل جاده‌ای جابه‌جا می‌شود [۲].

براساس آخرین نتایج آمار سال ۱۳۷۸، حدود ۱۲۰۰۰۰۰ نفر به طور مستقیم یا غیرمستقیم در امور حمل و نقل فعالیت داشته‌اند که مزد و حقوق بیمه پرداختی آنها ۲۳۳۷/۳ میلیارد ریال برآورد شده است [۲]. به دلیل گستردگی موضوع، مطالعات انجام شده در این مقاله، بر برآورد تعداد کامیونهای مورد نیاز در سیستم حمل و نقل جاده‌ای متمرکز شده است.

۲- سابقه تحقیق

برآورد تعداد کامیونهای مورد نیاز در سیستم حمل و نقل جاده‌ای در ایران، در گزارش ناوگان طرح مطالعه جامع حمل و نقل کشور [۴] مطالعه شده است. در مطالعات انجام شده در کشورهای دیگر نیز، به روشهای مختلفی مسأله تعیین تعداد وسایل نقلیه مورد نیاز را بررسی کرده‌اند. مطالعه‌ای که در سال ۱۹۸۵ انجام شده [۱۲] عوامل مؤثر بر تعیین تعداد و انواع اتومبیلهای مورد نیاز شرکتها را بررسی می‌کند و در همان سال [۹، ۱۱، ۱۳]، مدل‌های احتمالی نیز به این منظور توسعه داده شده است که با توجه به نیاز مشتریان، هزینه‌های عملیاتی و دسترسی وسایل نقلیه، برآورد تعداد وسایل نقلیه را به دست می‌دهند. با توجه به چند معیاره بودن تابع هدف در مدلسازی حمل و نقل، بسیاری از محققان از روش برنامه‌ریزی آرمانی استفاده کرده‌اند که می‌توان به تحقیقات دهه ۱۹۹۰ برای تعیین ماتریس مبدأ-مقصد اشاره کرد [۱۰، ۱۵].

۳- تعریف مسأله

هدف اصلی در این تحقیق آن است که با توجه به تقاضای حمل و نقل، وضعیت ساختاری حمل و نقلی در

۳-۴- کاهش هزینه عمومی حمل و نقل و خرید ناوگان

به دلیل تفاوت بین هزینه‌های عملیاتی و ظرفیت بارگیری برای انواع مختلف وسایل نقلیه، هزینه حمل و نقل به‌ازای هر تن - کیلومتر جابه‌جایی برای آنها متفاوت است. معمولاً وسایل نقلیه‌ای که ظرفیت بارگیری بیشتری دارند، در حمل و نقل جاده‌ای، مزیت نسبی بهتری دارند. بنابراین ضرورت دارد که با توجه به نوع و مقدار کالا، از وسایل نقلیه مناسب استفاده شود.

علاوه بر این با توجه به محدودیت اعتبار در سرمایه‌گذاری برای تأمین ناوگان جدید برای سیستم حمل و نقل عمومی کشور، لازم است محدودیتی در مدل در نظر گرفته شود تا حد بالای سرمایه‌گذاری را تضمین کند.

۳-۵- عملکرد متفاوت وسایل نقلیه در برآورده ساختن تقاضای استانها

با توجه به ویژگیهای مربوط بر عملکرد وسایل نقلیه، برخی از وسایل نقلیه، توانایی انجام سفرهای طولانی و حمل کالا را از کلیه مبادی به کلیه مقاصد در کشور دارند و حوزه فعالیت آنها در کل کشور گسترده است. این‌گونه وسایل را وسایل نقلیه شناور می‌نامند و گروه دیگری از وسایل نقلیه که معمولاً در حوزه استان خود فعالیت داشته و تمایل به جابه‌جایی محمولات در کل کشور را ندارند، وسایل غیرشناور نامیده می‌شوند. بر این اساس لازم است تفکیکی برای تقاضا تعریف شود و با این تفکیک، مقدار تقاضایی که به‌وسیله وسایل نقلیه شناور برآورده می‌شود تقاضای شناور و بقیه را تقاضای غیرشناور می‌نامیم.

شایان ذکر است که در سیستم ثبت اطلاعات سازمان راهداری و حمل و نقل جاده‌ای، محمولات (کالاها) به نه گروه و انواع وسایل نقلیه به ده گروه تقسیم‌بندی شده و از آنجا که در اطلاعات بررسی شده، اطلاعات استانهای قم و قزوین در تهران، استان گلستان در مازندران و خراسان

جنوبی و شمالی در خراسان در نظر گرفته شده و تعداد کل استانها در کشور ۲۵ در نظر گرفته شده است. این پارامتر با استفاده از حدود ده میلیون رکورد پانچ شده اطلاعات سالیانه بارنامه‌های کل کشور در سازمان راهداری و حمل و نقل جاده‌ای محاسبه شده است.

۴- طراحی مدل ریاضی مسأله

با توجه به توضیحات ارائه شده درباره مسأله ظرفیت‌سنجی ناوگان حمل و نقل - که در آن بهینه‌سازی چندین معیار مدنظر است - از برنامه‌ریزی آرمانی^۱ در طراحی مدل استفاده شده است. در این قسمت مختصری درباره برنامه‌ریزی آرمانی و در ادامه، جزئیات مدل طراحی شده برای حل مسأله موردنظر توضیح داده می‌شود. علاوه بر این با توجه به اینکه اهداف با ماهیت متفاوت در تابع هدف نمایان شده‌اند (مقدار جابه‌جایی به تن - کیلومتر و هزینه به ریال) از روش نرمال‌سازی اقلیدسی برای یکنواخت‌سازی اهداف در تابع هدف استفاده شده است.

۴-۱- برنامه‌ریزی آرمانی

در مسائل بهینه‌سازی برنامه‌ریزی خطی^۲ وقتی فقط یک تابع هدف مطرح است، حل مسأله با به‌کارگیری روش سیمپلکس به‌آسانی قابل انجام است. اما اگر بیش از یک تابع هدف (بهینه‌سازی چندمعیاره)^۳ مطرح باشد به‌آسانی قابل حل نیست. معمولاً یکی از روشهای حل اینگونه مسائل، روش آرمانی است که در آن معیارهای مختلف به‌جای آنکه مستقیماً بهینه شوند، به‌صورت محدودیت‌هایی^۴ یا به عبارت دیگر آرمان‌هایی^۵ در مدل نوشته شده و مدل به‌نحوی طراحی می‌شود که تا حد ممکن، انحرافات مثبت و منفی آن محدودیت کمینه شود. به‌بیان دیگر مسأله

1. Goal Programming
2. Linear Programming
3. Multi-Objective Optimization
4. Constraints
5. Goals

بهینه‌سازی چندمعیاره به یک مسأله بهینه‌سازی تک‌معیاره تبدیل می‌شود که در آن تابع هدف، کمینه‌سازی مجموع انحرافات مثبت و منفی هر یک از آرمانها است.

فرض کنید X_1, X_2, \dots, X_n متغیرهای تصمیم مسأله، K تعداد هدفهای موردنظر، c_{jk} ضریب X_j در تابع هدف k و m/k آرمان تعیین شده برای این هدف و تابع هدف k (یا آرمان k در برنامه‌ریزی آرمانی) نیز به صورت زیر تعریف شده باشد [۱]:

$$\sum_{j=1}^n c_{jk} X_j \begin{cases} \geq g_k \\ = g_k \\ \leq g_k \end{cases}, \quad k = 1, \dots, K \quad (1)$$

در این صورت برای اینکه تابع هدف k در شکل بهینه‌سازی چندمعیاره بهینه شود، کافی است انحراف این آرمان را به نوعی کمینه کنیم. در این صورت تابع هدف نوشته شده در رابطه (۱) چنین نوشته می‌شود:

$$\sum_{j=1}^n c_{jk} x_j - d_k^+ + d_k^- = g_k, \quad k = 1, \dots, K \quad (2)$$

که در آن d_k^+ انحراف مثبت و d_k^- انحراف منفی از آرمان g_k است. واضح است که برای تحقق آرمان k رابطه (۱) باید به نحوی باشد که تا حد ممکن انحرافها (d_k^- و d_k^+) به حداقل برسند. به این منظور در برنامه‌ریزی آرمانی، تابع هدف، تابع هدف اصلی نیست بلکه به صورت کمینه‌سازی مجموعه انحرافات در مدل ظاهر شده و به شکل زیر نوشته می‌شود:

$$\text{Min } Z = \sum_{k=1}^K (d_k^+ + d_k^-) \quad (3)$$

با شرط:

$$\sum_{j=1}^n c_{jk} x_j - d_k^+ + d_k^- = g_k, \quad k = 1, \dots, K \quad (4)$$

اگر در رابطه (۱) نامساوی به صورت \geq باشد، در تابع هدف، فقط d_k^- باید وارد شود زیرا سعی بر آن است که تابع از حداقل g_k کمتر نباشد. اگر در رابطه (۱) نامساوی به صورت \leq باشد، آنگاه در تابع هدف، فقط

مقدار d_k^+ و d_k^- در تابع هدف وارد می‌شوند. اما از آنجاکه در بسیاری از موارد، انحرافات لزوماً واحد یکسانی ندارند، محققان عموماً وزنهایی را برای هر یک از انحرافات در نظر گرفته و تفاوت در اهمیت این انحرافات را با منظور کردن ضرایب وزنی w_k^+ و w_k^- در تابع هدف در نظر می‌گیرند. در نهایت تابع هدف به صورت زیر نوشته می‌شود:

$$\text{Min } Z = \sum_{k=1}^K [w_k^+ d_k^+ + w_k^- d_k^-] \quad (5)$$

در صورتی که عناصر تابع هدف واحدهای مختلفی داشته باشند، با استفاده از روشهای یکنواخت (نرمال) سازی^۱ تابع هدف - نظیر روش انحراف نسبی، روش نرم اقلیدسی، کاربرد توأم انحراف نسبی و نرم اقلیدسی و تعدیل انحرافات - اجزای تابع هدف یکنواخت سازی می‌شوند [۱۴]. در این تحقیق از روش نرم اقلیدسی برای یکنواخت سازی تابع هدف استفاده شده است.

۴-۲- متغیر تصمیم

متغیر تصمیم، تعداد وسایل نقلیه مورد نیاز هر استان است که برای حمل کالای نوع (j) تعریف شده و با x_{ijp} نشان داده می‌شود که i نوع وسیله نقلیه، j نوع کالا و p شماره استان می‌باشد و هر یک به صورت زیر تغییر می‌کنند:

$$i=1, \dots, 10, \quad j=1, \dots, 9, \quad p=1, \dots, 25$$

۴-۳- پارامترها

به منظور تعیین پارامترهایی که در مدل به کار رفته، جامعه آماری مناسبی باید در نظر گرفته شود. از این رو کلیه اطلاعات بارنامه‌های صادر شده در یک سال بررسی و پارامترهای مورد

1. Normalization
2. Decision Variable

رابطه ما، مقدار تن - کیلومتر جابه‌جا شده برای انواع کالا در استانهای مختلف، از حاصل ضرب کارکرد سالیانه وسایل نقلیه (U_i)، بخشی از وسایل نقلیه که به صورت غیرشناور (در سطح استان) فعالیت می‌کنند (F_i)، ظرفیت بارگیری وسایل نقلیه (C_{ij}) و تعداد آنها در استان (x_{ijp}) تعیین می‌شود:

$$\sum_{i=1}^{10} U_i F_i C_{ij} x_{ijp} \geq g_{1pj}, j=1, \dots, 9 \text{ and } p=1, \dots, 25 \quad (6)$$

با منظور کردن انحرافات مثبت و منفی، محدودیت فوق به شکل رابطه آرمانی زیر نوشته می‌شود:

$$\sum_{i=1}^{10} U_i F_i C_{ij} x_{ijp} - d_{1pj}^+ + d_{1pj}^- = g_{1pj} \quad (7)$$

$$j=1, \dots, 9 \text{ and } p=1, \dots, 25$$

و با توجه به اینکه حداقل تقاضای هر استان برای هر کالا یعنی g_{1pj} باید برآورده شود، لذا باید انحرافات منفی d_{1pj}^- در این بخش از تابع هدف کمینه شود. با در نظر گرفتن ضریب وزنی آرمان، بخشی از تابع هدف که باید در مدل کمینه شود، چنین است:

$$\sum_{p=1}^{25} \sum_{j=1}^9 \frac{w_{1pj} d_{1pj}^-}{m_{1pj}}, j=1, \dots, 9 \text{ and } p=1, \dots, 25 \quad (8)$$

که در آن w_{1pj} ضریب وزنی آرمان اول و m_{1pj} ضریب نرمال‌سازی آرمان اول است.

آرمان دوم: از آنجاکه بخش عمده‌ای از تقاضای حمل و نقل در کشور با استفاده از وسایل نقلیه شناور برآورده می‌شود، این آرمان، مقدار دستیابی به برآورده شدن تقاضای شناور انواع کالاها در کل کشور را با استفاده از وسایل نقلیه شناور تضمین می‌کند. مقدار برآورد شده این آرمان برای انواع کالاها متفاوت بوده و در مدل، با g_{2j} نشان داده شده است. سایر پارامترهای به کار رفته، مانند آرمان اول است با این تفاوت که در این رابطه، کسری از وسایل نقلیه که به فعالیت حمل و نقل شناور می‌پردازند، به صورت $1-F_i$ در نظر گرفته شده است:

$$\sum_{i=1}^{10} U_i C_{ij} (1-F_i) \sum_{p=1}^{25} x_{ijp} \geq g_{2j}, j=1, \dots, 9 \quad (9)$$

نیاز محاسبه شده است. به عنوان مثال میانگین کارکرد کل وسایل نقلیه از هر نوع به عنوان مقدار کارکرد در نظر گرفته شده است. به علاوه این اطلاعات در فایل‌های بارنامه کدهای مبدأ و مقصد نیز درج می‌شود و امکان تحلیل‌های آماری دیگری برای تعیین سایر پارامترها - نظیر ظرفیت انواع وسایل نقلیه برای حمل انواع کالا، تقاضا و وسایل نقلیه شناور - نیز وجود دارد. با توجه به این موضوع، پارامترهای زیر با استفاده از بررسی حدود ده میلیون رکورد اطلاعاتی بارنامه محاسبه و در مدل با نمادهای متناظر در نظر گرفته شده است.

U_i متوسط کارکرد وسیله نقلیه نوع i در سال (کیلومتر)

H_i متوسط هزینه حمل بار با وسیله نقلیه نوع i (ریال بر تن - کیلومتر)

F_i بخشی از وسایل نقلیه نوع i که تمایل به برآورده ساختن تقاضای حمل و نقل استان خود دارند.

$1-F_i$ بخشی از وسایل نقلیه نوع i که تقاضای شناور در کل کشور را برآورد می‌کند.

V_i ارزش (قیمت) متوسط خرید وسیله نقلیه نوع i (ریال)

Z_i متغیری دو مقداره برای کنترل تخصیص هزینه خرید ناوگان جدید از نوع i

α_{ij} بخشی از کالای نوع j که به وسیله وسیله نقلیه نوع i حمل می‌شود.

C_{ij} ظرفیت وسیله نقلیه نوع i برای حمل کالای نوع j (تن)

A_{ip} تعداد وسایل نقلیه موجود از نوع i در استان p

PR حداکثر تعداد ناوگان جدیدی که می‌تواند به سیستم حمل و نقل اضافه شود.

۴-۴-۴- فرمول بندی آرمانها

آرمان اول: وسایل نقلیه در هر استان باید بتوانند نیازهای حمل و نقل استان را برآورده سازند. اگر نیاز حمل و نقل استان p برای کالای نوع j را با g_{1pj} نشان دهیم، آنگاه آرمان اول باید کلیه تقاضای استانها را حداقل به اندازه g_{1pj} برآورده سازد. در

1. Formulation

آرمان چهارم: قبل از معرفی آرمان چهارم، توجه به این نکته ضروری است که هزینه خرید ناوگان جدید، به‌صورتی باید به مدل وارد شود که تعداد وسایل نقلیه مورد نیاز در هر استان، از تعداد موجود در آن استان بیشتر باشد؛ در غیر این‌صورت، هزینه‌ای برای آن در نظر گرفته نمی‌شود. این موضوع در مدل‌های ریاضی با استفاده از متغیرهای عدد صحیح صفر و یک به‌شکل زیر قابل مدل‌سازی است:

$$Z_i = \begin{cases} 1 & \text{if } \sum_{p=1}^{25} (\sum_{j=1}^9 x_{ijp} - A_{ip}) > 0 \\ 0 & \text{if } \sum_{p=1}^{25} (\sum_{j=1}^9 x_{ijp} - A_{ip}) \leq 0 \end{cases}, i = 1, \dots, 10 \quad (15)$$

در این مدل متغیر Z_i زمانی مقدار یک را خواهد داشت که تعداد وسایل نقلیه مورد نیاز، از تعداد وسایل نقلیه موجود بیشتر باشد، در غیر این‌صورت مقدار آن صفر است. اما برای آنکه این محدودیت در مدل اعمال شود، از روش M بزرگ^۱ به شکل زیر استفاده می‌شود:

$$MZ_i \geq \sum_{p=1}^{25} (\sum_{j=1}^9 x_{ijp} - A_{ip}), i = 1, \dots, 10 \quad (16)$$

$$M(Z_i - 1) \leq \sum_{p=1}^{25} (\sum_{j=1}^9 x_{ijp} - A_{ip}), i = 1, \dots, 10 \quad (17)$$

در واقع دو محدودیت (۱۶) و (۱۷) به‌جای محدودیت (۱۵) در مدل وارد شده و شرط فوق را تأمین می‌کنند. بنابراین محدودیت سرمایه‌گذاری در خرید ناوگان جدید به‌صورت زیر در مدل وارد می‌شود که در آن g^4 حد بالای سرمایه‌گذاری، A_{ip} تعداد وسایل نقلیه موجود از نوع i در استان p و V_i قیمت وسیله نقلیه نوع i است.

$$\sum_{i=1}^{10} Z_i \left[\sum_{p=1}^{25} (\sum_{j=1}^9 x_{ijp} - A_{ip}) \right] V_i \leq g^4 \quad (18)$$

با منظور کردن انحرافات مثبت و منفی، محدودیت فوق به‌شکل رابطه آرمانی (۱۹) نوشته می‌شود:

$$\sum_{i=1}^{10} Z_i \left[\sum_{p=1}^{25} (\sum_{j=1}^9 x_{ijp} - A_{ip}) \right] V_i - d^4+ + d^4- = g^4 \quad (19)$$

با منظور کردن انحرافات مثبت و منفی، محدودیت فوق به‌شکل رابطه آرمانی زیر نوشته می‌شود:

$$\sum_{i=1}^{10} U_i C_{ij} (1 - F_i) \sum_{p=1}^{25} x_{ijp} - d^2+ + d^2- = g^2, j = 1, \dots, 9 \quad (10)$$

با توجه به توضیحی که برای آرمان اول داده شد، باید انحرافات منفی در این بخش از تابع هدف کمینه شود. با در نظر گرفتن ضریب وزنی آرمان، بخشی از تابع هدف که باید در مدل کمینه شود، چنین است:

$$\sum_{j=1}^9 \frac{w^2_j d^2_j-}{n^2_j}, j = 1, \dots, 9 \quad (11)$$

که در آن w^2_j ضریب وزنی آرمان دوم و n^2 ضریب نرمال‌سازی آرمان دوم است.

آرمان سوم: این آرمان سعی دارد که با کمینه‌سازی هزینه جابه‌جایی کالاها، هزینه عمومی حمل و نقل را کاهش دهد و در واقع، بیشتر از وسایل نقلیه‌ای استفاده کند که هزینه جابه‌جایی کمتری داشته باشند. به این منظور با استفاده از اطلاعات ظرفیت بارگیری انواع وسایل نقلیه C_{ij} و متوسط هزینه حمل بار به‌وسیله وسیله نقلیه نوع i (H_i) ریال بر تن-کیلومتر)، این آرمان به‌شکل زیر نوشته می‌شود:

$$\sum_{i=1}^{10} H_i U_i \sum_{i=1}^9 C_{ij} \sum_{p=1}^{25} x_{ijp} \leq g^3 \quad (12)$$

g^3 حد بالای هزینه جابه‌جایی کل کشور است. با منظور کردن انحرافات مثبت و منفی، محدودیت فوق به‌شکل رابطه آرمانی زیر نوشته می‌شود:

$$\sum_{i=1}^{10} H_i U_i \sum_{i=1}^9 C_{ij} \sum_{p=1}^{25} x_{ijp} - d^3+ + d^3- = g^3 \quad (13)$$

با توجه به اینکه انحرافات مثبت در این بخش از تابع هدف باید کمینه شود، با در نظر گرفتن ضریب وزنی آرمان، بخشی از تابع هدف که باید در مدل کمینه شود، چنین است:

$$\frac{w^3 d^3+}{n^3} \quad (14)$$

w^3 ضریب وزنی آرمان سوم و n^3 ضریب نرمال‌سازی آرمان سوم است.

w_5 ضریب وزنی آرمان پنجم و n_5 ضریب نرمال‌سازی آرمان پنجم است.

۴-۵- فرمول‌بندی محدودیت در افزایش تعداد ناوگان

با توجه به اینکه افزایش تعداد ناوگان حمل و نقل - چه از نظر ساخت در داخل و چه از نظر واردات - با موانع و محدودیتهایی روبه‌رو است، لذا این محدودیت نیز باید در مدل منظور شود. با توضیحی که برای آرمان چهارم داده شد و با استفاده از متغیرهای صفر و یک تعریف شده، معادله زیر را برای در نظر گرفتن محدودیت می‌توان ارائه کرد:

$$\sum_{i=1}^{10} Z_i \left[\sum_{p=1}^{25} \left(\sum_{j=1}^9 x_{ijp} - A_{ip} \right) \right] \leq PR \quad (24)$$

همانطور که ملاحظه می‌شود، متغیر تصمیم مسأله یعنی x_{ijp} در متغیر دیگری که مقادیر صفر و یک دارد (Z_i) ضرب شده و لذا مسأله به صورت غیرخطی مختلط عدد درست (صفر و یک) در می‌آید.

۴-۶- فرمول‌بندی مربوط به محدودیت ناوگان موجود

از آنجاکه بخش عمده‌ای از ناوگان حمل و نقل جاده‌ای کشور را ناوگان با مالکیت خصوصی تشکیل می‌دهد [۷] برای تطبیق یافتن مدل با واقعیت، باید اختلاف تعداد ناوگان مورد نیاز برای آینده با ناوگان موجود کمترین مقدار باشد. با فرض اینکه ناوگان مورد نیاز باید بیش از ۹۵ درصد ناوگان موجود باشد، این محدودیت را به صورت زیر می‌توان نوشت:

$$\sum_{j=1}^9 x_{ijp} \geq 0.95 A_{ip}, \quad i = 1, \dots, 10 \text{ and } p = 1, \dots, 25 \quad (25)$$

با توجه به اینکه انحرافات مثبت در این بخش از تابع هدف باید کمینه شود، با در نظر گرفتن ضریب وزنی آرمان، بخشی از تابع هدف که باید در مدل کمینه شود، چنین است:

$$\frac{w_4 d_4^+}{n_4} \quad (20)$$

w_4 ضریب وزنی آرمان چهارم و n_4 ضریب نرمال‌سازی آرمان چهارم است.

آرمان پنجم: در حمل و نقل، این محدودیت وجود دارد که صددرصد از کالای نوع j لزوماً با نوع خاصی از وسیله نقلیه i جابه‌جا نمی‌شود، بلکه همواره درصدی از کالای j به وسیله وسیله نقلیه i (α_{ij}) حمل می‌شود. بنابراین لازم است این محدودیت - که واقعیت عینی مسأله است - به نحوی در مدل گنجانیده شود. از آنجاکه مقدار حمل شده از کالای نوع j با وسیله نقلیه نوع i از رابطه $\sum_{p=1}^{25} U_i C_{ij} x_{ijp}$ به دست می‌آید، لذا کل کالای حمل شده از نوع j با وسیله نقلیه نوع i ، برابر است با حاصل ضرب کل کالای جابه‌جا شده در ضریب α_{ij} و در این صورت، معادله زیر را برای این محدودیت می‌توان در نظر گرفت:

$$(21)$$

$$\sum_{p=1}^{25} U_i C_{ij} x_{ijp} = \alpha_{ij} \sum_{i=1}^{10} \sum_{p=1}^{25} U_i C_{ij} x_{ijp}, \quad i = 1, \dots, 10 \text{ and } j = 1, \dots, 9$$

با منظور کردن انحرافات مثبت و منفی، محدودیت فوق به شکل رابطه آرمانی زیر نوشته می‌شود:

$$(22)$$

$$\sum_{p=1}^{25} U_i C_{ij} x_{ijp} = \alpha_{ij} \sum_{i=1}^{10} \sum_{p=1}^{25} U_i C_{ij} x_{ijp} - d_{ij}^+ + d_{ij}^-, \quad i = 1, \dots, 10 \text{ and } j = 1, \dots, 9$$

با توجه به اینکه انحرافات مثبت و منفی در این بخش از تابع هدف باید کمینه شود و با در نظر گرفتن ضریب وزنی آرمان، بخشی از تابع هدف که باید در مدل کمینه شود، چنین است:

$$w_5 \sum_{j=1}^9 \sum_{i=1}^{10} \frac{(d_{ij}^+ + d_{ij}^-)}{n_5}, \quad i = 1, \dots, 10 \text{ and } j = 1, \dots, 9 \quad (23)$$

۴-۷- تبدیل شکل غیرخطی محدودیتها به شکل خطی

همان‌طور که در معادلات (۱۵)، (۱۶) و (۱۷) توضیح داده شد، با ضرب شدن متغیر تصمیم x_{ijp} در متغیر عدد صحیح Z_i (صفر و یک) در آرمان چهارم و افزایش تعداد ناوگان جدید به شکل برنامه‌ریزی مختلط عدد صحیح غیرخطی^۱ درآمده است. حل مسائلی که محدودیت‌های غیرخطی دارند، معمولاً به زمان طولانی نیاز داشته و در مواردی در عمل غیرممکن است. در این مقاله با روشی ابتکاری، مسأله غیرخطی به مسأله‌ای خطی تبدیل شده است که برای تبدیل شکل غیرخطی محدودیتها به حالت خطی، معادله زیر پیشنهاد شده است:

$$\sum_{p=1}^{25} (\sum_{j=1}^9 x_{ijp} - A_{ip}) - y_i^+ + y_i^- = 0 \quad y_i^+, y_i^- \geq 0 \quad i = 1, \dots, 10 \quad (26)$$

در صورتی که محدودیت فوق در مدل برنامه‌ریزی خطی وارد شود، y_i^+ وقتی مقدار خواهد داشت که:

$$\sum_{p=1}^{25} (\sum_{j=1}^9 x_{ijp} - A_{ip}) > 0, \quad i = 1, \dots, 10 \quad (27)$$

باشد بنابراین می‌توان معادلات (۱۸) و (۲۴) را با توجه به معادله (۲۶) تغییر داد و به جای آنها از معادلات (۲۸) و (۲۹) استفاده کرد.

$$\sum_{i=1}^{10} y_i^+ V_i \leq g^4 \quad (28)$$

$$\sum_{i=1}^{10} y_i^+ \leq PR \quad (29)$$

در معادلات (۲۸) و (۲۹) در صورتی که مدل، تعداد وسایل نقلیه مورد نیاز را بیش از تعداد موجود در نظر بگیرد، متغیر y_i^+ مقدار خواهد داشت؛ که در واقع مقدار آن برابر با تعداد وسایل نقلیه جدید نوع i است. در معادله (۲۸) براساس قیمت انواع وسایل نقلیه، نوعی محدودیت سرمایه‌گذاری در خرید آنها در نظر گرفته شده و در معادله (۲۹) نیز محدودیت توان تولید وسایل نقلیه، مدنظر قرار گرفته است.

1. Mixed Integer Non -Linear Programming

۴-۸- تابع هدف مدل

همان‌طور که پیشتر اشاره شده، تابع هدف در مدل برنامه‌ریزی آرمانی عبارت است از کمینه‌سازی مقدار انحرافات مثبت و منفی آرمانها که به‌طور مفصل درباره هر یک از قسمت‌های مربوط توضیح داده شد. بنابراین تابع هدف، مجموع مقادیر معادلات (۸)، (۱۱)، (۱۴)، (۲۰) و (۲۳) است که به‌صورت زیر فرمول‌بندی می‌شود:

$$\begin{aligned} \text{Min} \quad & \sum_{p=1}^{25} \sum_{j=1}^9 \frac{w_{pj} d_{pj}^-}{n_{pj}} + \sum_{j=1}^9 \frac{w_{\alpha_j} d_{\alpha_j}^-}{n_{\alpha_j}} + \frac{w_{\beta} d_{\beta}^+}{n_{\beta}} + \\ & \frac{w_{\gamma} d_{\gamma}^+}{n_{\gamma}} + w_{\delta} \sum_{j=1}^9 \sum_{i=1}^{10} \frac{(d_{\delta_{ij}}^+ + d_{\delta_{ij}}^-)}{n_{\delta_{ij}}} \\ & i = 1, \dots, 10, \quad j = 1, \dots, 9, \quad p = 1, \dots, 25 \end{aligned} \quad (30)$$

۴-۹- مدل نهایی برنامه‌ریزی آرمانی

بنابراین با توجه به محدودیتها و آرمانهای توضیح داده شده، مدل نهایی برای ظرفیت‌سنجی ناوگان چنین است:

$$\begin{aligned} \text{Min} \quad & \sum_{p=1}^{25} \sum_{j=1}^9 \frac{w_{pj} d_{pj}^-}{n_{pj}} + \sum_{j=1}^9 \frac{w_{\alpha_j} d_{\alpha_j}^-}{n_{\alpha_j}} + \frac{w_{\beta} d_{\beta}^+}{n_{\beta}} + \\ & \frac{w_{\gamma} d_{\gamma}^+}{n_{\gamma}} + w_{\delta} \sum_{j=1}^9 \sum_{i=1}^{10} \frac{(d_{\delta_{ij}}^+ + d_{\delta_{ij}}^-)}{n_{\delta_{ij}}} \\ & i = 1, \dots, 10, \quad j = 1, \dots, 9, \quad p = 1, \dots, 25 \end{aligned} \quad (31)$$

Subject to:

$$(32)$$

$$\sum_{i=1}^{10} U_i F_i C_{ij} x_{ijp} - d_{pj}^+ + d_{pj}^- = g_{pj} \quad j = 1, \dots, 9 \text{ and } p = 1, \dots, 25$$

$$\sum_{i=1}^{10} U_i C_{ij} (1 - F_i) \sum_{p=1}^{25} x_{ijp} - d_{\alpha_j}^+ + d_{\alpha_j}^- = g_{\alpha_j}, \quad j = 1, \dots, 9 \quad (33)$$

$$\sum_{i=1}^{10} H_i U_i \sum_{i=1}^9 C_{ij} \sum_{p=1}^{25} x_{ijp} - d_{\beta}^+ + d_{\beta}^- = g_{\beta} \quad (34)$$

...

$$\sum_{i=1}^{10} y_i^+ V_i - d_{\gamma}^+ + d_{\gamma}^- = g_{\gamma} \quad (35)$$

$$(36)$$

$$\sum_{p=1}^{25} U_i C_{ij} x_{ijp} = \alpha_{ij} \sum_{i=1}^{10} \sum_{p=1}^{25} U_i C_{ij} x_{ijp} - d_{\delta_{ij}}^+ + d_{\delta_{ij}}^-, \quad i = 1, \dots, 10 \text{ and } j = 1, \dots, 9$$

۶. تعدیل تقاضای حمل و نقل با کسر مقدار تقاضای جابه‌جایی مسافر؛

۷. تبدیل تقاضای حمل و نقل به واحد تن - کیلومتر با توجه به مسافت بین مناطق.

با استفاده از نتایج مطالعات موجود و اعمال مراحل هفت‌گانه فوق، تقاضای ارائه شده در گزارش «نتایج مدل عملکرد حمل و نقل جاده‌ای» [۵]. - که به شکل ساعت طراحی تعیین شده - به تقاضای حمل و نقل به شکل تن - کیلومتر تبدیل می‌شود تا بتوان در حل مدل از آن استفاده کرد، زیرا ورودی مدل برای تقاضای حمل و نقل برحسب تن - کیلومتر در نظر گرفته شده و تمامی روابط براین اساس طراحی شده است.

علاوه بر تقاضای حمل و نقل - که کلیات محاسبه آن در بالا تشریح شد و به نظر می‌رسد که ذکر جزئیات در این مقاله ضرورتی ندارد - پارامترهای دیگری مانند هزینه حمل بار به وسیله انواع وسایل نقلیه، ظرفیت حمل بار، نسبت وسایل نقلیه شناور و تعداد موجود نیز در مدل مورد نیاز است. پارامترهای فوق از تحلیل فایل‌های اطلاعاتی برنامه‌های صادر شده در یک سال (اطلاعات سازمان راهداری و حمل و نقل جاده‌ای) به دست آمده است.

۶- حل مدل و ارزیابی نتایج

برای حل مدل ظرفیت‌سنجی ناوگان عمومی حمل و نقل جاده‌ای - پس از طراحی مدل - با توجه به تعداد زیاد محدودیتها و متغیرها و بررسی انجام شده در زمینه قابلیت‌های نرم‌افزارهای موجود و دستیابی آسانتر به نرم‌افزار GAMS و قابلیت خوب آن در فرمولبندی مسأله، تمامی داده‌ها به شکل پارامتری در فرم مخصوص نرم‌افزار وارد شد. سپس نتایج مدل ظرفیت‌سنجی ناوگان حمل و نقل جاده‌ای، در سه حالت نیاز به ناوگان، حمل و نقل یکسربار و حمل و نقل کانتینری، بررسی و ارزیابی شد در این قسمت به صورت جداگانه به شرح هر یک از این حالتها پرداخته می‌شود.

$$\sum_{j=1}^4 x_{ijp} \geq 0.95 A_{ip}, i=1, \dots, 10 \text{ and } p=1, \dots, 25 \quad (37)$$

$$\sum_{p=1}^{25} (\sum_{j=1}^4 x_{ijp} - A_{ip}) - y_i^+ + y_i^- = 0, y_i^+, y_i^- \geq 0, i=1, \dots, 10 \quad (38)$$

$$\sum_{i=1}^{10} y_i^+ \leq PR \quad (39)$$

≥ 0 کلیه متغیرها

۵- تقاضای حمل و نقل

تعیین تقاضای حمل و نقل، با روشهای مختلفی انجام می‌شود که به دو روش زیر می‌توان اشاره کرد [۵]:

الف- تکیه بر روند گذشته و ساخت مدل‌های روندگرا برای برآورد تقاضای حمل و نقل آینده؛

ب- برآورد تقاضای حمل و نقل براساس برنامه‌های آینده دولت.

«نتایج مدل عملکرد حمل و نقل جاده‌ای» [۵] تقاضای حمل و نقل را برای ۵۴ منطقه کشور [۳] به شکل ساعت طراحی^۱ ارائه کرده است. از آنجاکه در مدل ظرفیت‌سنجی ناوگان حمل و نقل جاده‌ای تقاضای حمل و نقل به صورت تن - کیلومتر در نظر گرفته شده، تقاضای طراحی ساعت مبدأ- مقصد باید به تن- کیلومتر حمل بار در سال تبدیل شود. برای تبدیل تقاضای طراحی ساعت مبدأ- مقصد به تقاضای حمل و نقل به صورت تن- کیلومتر مراحل زیر انجام می‌شود:

۱. تبدیل تقاضای ساعت طراحی به حجم روزانه تردد معادل سواری^۲؛
۲. تبدیل حجم روزانه تردد معادل سواری به تعداد روزانه سفر؛
۳. تعیین ظرفیت روزانه حمل بار؛
۴. تعیین مقدار تقاضای حمل بار با توجه به ضریب حمل و نقل مضاعف و ضریب حجمی کالاها؛
۵. تعیین تقاضای حمل و نقل سالیانه با توجه به میزان واردات و تولیدات فصلی؛

۱. میزان تردد معادل سواری از مبدأ به مقصد را در یک ساعت، تقاضای طراحی ساعت مبدأ - مقصد می‌گویند.

2. Passenger Car Unit (P.C.U)

۶-۱- نیاز به ناوگان

از آنجاکه تقاضای حمل و نقل برای اجرای مدل ظرفیت‌سنجی ناوگان برای سال ۱۳۸۵ (براساس تقاضای محاسبه شده در گزارش مدل عملکرد حمل و نقل جاده‌ای) محاسبه شده است، در این حالت تقاضای محاسبه شده که به صورت تن - کیلومتر برآورد شده و

همچنین پارامترهای محاسبه شده با استفاده از اطلاعات موجود، به مدل وارد شده و نتایج خروجی مدل - یعنی نیاز به انواع وسایل نقلیه در استانهای مختلف کشور - به دست آمده است. جدول ۱ نیاز به انواع ناوگان حمل و نقل را در استانهای مختلف کشور برای سال ۱۳۸۵ نشان می‌دهد.

جدول ۱ نیاز استانهای کشور به انواع وسایل نقلیه در سال ۱۳۸۵

ردیف	نام استان	اتاقدار	کمپرسی	مسقف	یخچالدار	بغلدار معمولی	تانکر و مخزن‌دار	بونکر	کفی	بغلدار چادری	سایر
۱	آذربایجان شرقی	۱۱۲۲۶	۱۵۷۹	۴	۱۵	۱۴۰	۱۳۰	۴۹۶	۲۹۸۷	۳۰۸	۵۴۲
۲	آذربایجان غربی	۵۱۶۹	۵۷۴	۴	۵	۱۹۸۴	۳۶	۲۴۲	۶۶۷	۲۵۴	۴۸۷
۳	اردبیل	۳۰۵	۷۳	۱	۰	۶۰۲	۴	۱	۰	۱	۱
۴	اصفهان	۱۰۱۶۳	۸۸۳	۶	۱۹	۳۰۸۹	۴۴۰	۵۹۶	۳۳۷۷	۴۰	۲۴۰
۵	ایلام	۴۴۷	۲۴۰	۰	۰	۵	۰	۹	۴۳۸	۷	۴
۶	بوشهر	۵۴۶	۳۶۶	۰	۸	۸۷	۱۸	۱۰	۶۶	۳	۶
۷	تهران	۱۰۹۸۶	۱۵۹۰	۳۸	۲۵۷	۲۶۶۹	۵۴۴	۱۹۵۵	۳۹۲۶	۷۶۶	۱۱۵۸
۸	چهارمحال و بختیاری	۷۰۷۲	۴۶۱	۲	۵	۴۸۵	۲۹	۹۲	۳۹۰	۲	۶
۹	خراسان	۱۴۰۱۱	۸۰۸	۱۰	۴۷	۴۸۰	۷۳	۶۵۸	۹۴۴	۲۴۰	۳۲۰
۱۰	خوزستان	۶۸۵۴	۱۰۴۵	۳	۵	۱۰۱۲	۵۴	۶۴۱	۱۱۹۴	۱۱	۳۰
۱۱	زنجان	۳۸۰۲	۴۱۵	۵	۶	۹۳	۲۳	۱۷۶	۶۴۸	۸۸	۵۰
۱۲	سمنان	۱۴۵۴	۳۱۱	۰	۰	۷۵۳	۱۰	۲۶	۹۴	۶	۶
۱۳	سیستان و بلوچستان	۱۹۳۵	۱۳۴	۰	۰	۸۹	۴	۴۴	۸۶	۴۲	۷۰
۱۴	فارس	۱۵۲۸۷	۱۷۶۳	۳	۲۸	۱۱۳	۴۹۴	۷۴۸	۱۹۳۱	۱۰۶	۲۶۸
۱۵	کردستان	۱۴۰۱	۲۳۹	۲	۲	۱۷۶	۱۰	۳۵	۲۷۲	۱۰	۱۸
۱۶	کرمان	۳۷۰۹	۴۵۶	۳	۵	۲۱۱۷	۱۱۷	۲۵۱	۴۹۱	۲۸	۲۷
۱۷	کرمانشاه	۴۴۹۴	۱۳۵۱	۹	۴	۱۱۱	۱۵۶	۲۱۳	۲۰۴۳	۱۷۳	۱۰۶
۱۸	کهگیلویه و بویراحمد	۲۰۷	۹۲	۰	۳	۱۱۸	۳	۱۴	۳۵	۰	۳
۱۹	گیلان	۱۸۶۶	۱۲۲	۳	۰	۷۷	۹	۱۷۶	۳۰۳	۲۴	۹۸
۲۰	لرستان	۲۳۱۵	۳۵۴	۰	۲	۲۳۵	۲۰	۱۹۳	۵۲۸	۲۰	۱۷
۲۱	مازندران	۷۲۲۰	۴۱۵	۱۰	۴	۴۲۹	۲۷	۲۲۳	۵۷۵	۴۸	۱۰۵
۲۲	مرکزی	۲۳۴۹	۳۱۲	۶	۲	۱۴۷۵	۴۱	۸۲	۸۴۸	۱۵	۲۹
۲۳	هرمزگان	۱۳۲	۸۴	۰	۰	۱۳۸۸	۱۵	۹	۲۱	۵	۰
۲۴	همدان	۳۲۸۵	۴۰۷	۳	۶	۸۲۸	۸۱	۱۴۷	۱۲۶۶	۱۶	۴۱
۲۵	یزد	۳۱۷۰	۴۸۱	۲	۳	۱۸۶	۳۵	۹۷۲۴۳	۱۰	۲۰	
	جمع	۱۱۴۵۰۵	۱۴۵۵۵	۱۱۴	۴۲۶	۱۸۷۴۱	۲۳۷۳	۷۱۳۴	۲۳۵۰۹	۲۲۲۳	۳۶۵۲

۶-۲- حمل و نقل یکسربار

در حال حاضر به دلیل ویژگیهای حمل و نقل جاده‌ای، تعدادی از وسایل نقلیه، پس از حمل کالای خود به مقصد، به صورت خالی (بدون بار) به مبدأ اولیه باز می‌گردند. این پدیده را در اصطلاح حمل و نقل، یکسربار می‌نامند. برای تعیین ضریب حمل و نقل یکسربار می‌توان از مدت سفر به عنوان یک ضریب به جای مسافت استفاده کرد [۱۳]:

$$\text{ضریب حمل و نقل یکسربار} = \frac{\text{مدت زمان سفر با بار}}{\text{مدت زمان سفر با بار} + \text{مدت زمان سفر بدون بار}}$$

در صورتی که برنامه‌ریزی به صورتی انجام شود که مدت زمان سفر بدون بار ۵۰٪ کاهش یابد، ضریب حمل و نقل یکسربار و کارکرد سالیانه تعدیلی، از روابط زیر به دست می‌آید:

$$\text{ضریب حمل و نقل یکسربار} - ۱ = \frac{\text{ضریب یکسربار تعدیلی}}{\text{ضریب حمل نقل یکسربار} + ۲}$$

$$\text{ضریب حمل و نقل یکسربار تعدیلی} = \frac{\text{کارکرد سالیانه} \times \text{ضریب حمل و نقل یکسربار}}{\text{کارکرد تعدیلی}}$$

پس از اجرای مدل ظرفیت‌سنجی ناوگان حمل و نقل جاده‌ای با کارکرد تعدیلی، نتیجه این بود که می‌توان بدون افزایش در ناوگان، جوابگوی نیاز حمل و نقل کشور در سال ۱۳۸۵ بود. ذکر این نکته حایز اهمیت است که به نوسازی ناوگان نیز باید توجه شود.

۶-۳- حمل و نقل کانتینری

کانتینر جعبه‌ای به شکل مستطیل است که ضد نفوذ باران بوده و برای حمل و نقل بعضی از انواع کالا

استفاده می‌شود. این محفظه محتویات را در برابر هرگونه فقدان و ریزش یا صدمه نگهداری می‌کند و به آسانی قابل جابه‌جا شدن میان انواع وسایل حمل و نقل است [۶]. به منظور تعیین نیاز به انواع وسایل نقلیه با توجه به حمل و نقل کانتینری سال ۱۳۸۵، تقاضای حمل کانتینر از بنادر مهم در کشور با استفاده از مدل زیر تعیین شده است:

$$\text{Min} \sum_{p=1}^{25} \sum_{j=1}^{2} d_{pj} \times x_{pj} \quad (40)$$

به شرط:

$$\sum_{j=1}^{2} x_{pj} = D_p \quad P=1, \dots, 25 \quad (41)$$

$$\sum_{p=1}^{25} x_{pj} = S_j \quad j=1, 2 \quad (42)$$

که در آن:

$$x_{pj} \geq 0 \quad p=1, \dots, 25, \quad j=1, 2 \quad (43)$$

x_{pj} : وزن کانتینرهای حمل شده از بندر j به استان p

d_{pj} : مسافت بندر j تا استان p

D_p : تقاضای کالاهای کانتینری استان p

S_j : میزان عرضه کالاهای کانتینری در بندر j

پس از حل مدل فوق، مسافت جابه‌جایی کانتینر تعیین شده است. احتمال حمل کالا با وسایل نقلیه نیز در این حالت تغییر می‌کند و ضریب یک برای حمل کانتینر به وسیله نقلیه کفی منظور می‌شود، علاوه بر آن متوسط حمل کالا به وسیله کانتینر کفی ۲۴ تن در نظر گرفته شده است. پس از حل مدل ظرفیت‌سنجی، تعداد مورد نیاز از انواع ناوگان برای استانهای کشور در جدول ۲ ارائه شده است.

جدول ۲ نیاز استانهای کشور به انواع وسایل نقلیه در سال ۱۳۸۵ (با توجه به حمل و نقل کانتینری)

ردیف	نام استان	اتاقدار	کمپرسی	مسقف	یخچالدار	بغلدار معمولی	تانکر و مخزن‌دار	بونکر	کفی	بغلدار چادری	سایر
۱	آذربایجان شرقی	۱۱۲۲۶	۱۵۷۹	۴	۱۵	۱۴۰	۱۳۰	۴۹۶	۲۹۸۷	۳۰۸	۲۴۲
۲	آذربایجان غربی	۵۱۶۹	۵۷۴	۴	۵	۲۰۰۸	۳۶	۲۴۲	۶۶۷	۲۵۴	۴۸۷
۳	اردبیل	۳۰۵	۷۳	۱	۰	۵۴۱	۴	۱	۹۵	۱	۱
۴	اصفهان	۱۵۲۲۶	۱۶۱۰	۱۱	۴۰	۵۲۱	۵۵۸	۹۵۲	۵۱۲۹	۴۰	۲۷۶
۵	ایلام	۴۴۷	۲۴۰	۰	۰	۱۸۰	۰	۹	۱۰۱	۷	۴
۶	بوشهر	۵۴۶	۵۷	۰	۸	۲۰۹	۱۸	۱۰	۶۶	۳	۶
۷	تهران	۱۰۹۸۶	۱۵۹۰	۳۸	۲۵۷	۲۳۰	۵۴۴	۱۹۵۵	۴۱۴۴	۷۶۶	۱۱۵۸
۸	چهارمحال و بختیاری	۲۰۷۲	۴۶۱	۲	۵	۵۶۹	۲۹	۹۲	۳۹۰	۲	۶
۹	خراسان	۱۴۰۱۱	۸۰۸	۱۰	۲۶	۷۱۶	۷۳	۳۸۴	۹۴۴	۲۴۰	۳۲۰
۱۰	خوزستان	۳۳۲۷	۱۰۴۵	۳	۵	۱۸۵۸	۵۴	۵۵۹	۱۱۹۴	۱۱	۳۰
۱۱	زنجان	۳۸۰۱	۴۱۵	۵	۶	۹۳	۲۳	۱۷۶	۶۸۴	۸۸	۵۰
۱۲	سمنان	۱۴۵۴	۳۱۱	۰	۰	۷۵۵	۱۰	۲۶	۹۴	۶	۶
۱۳	سیستان و بلوچستان	۱۱۶۴	۱۳۴	۰	۰	۳۳۲	۴	۴۴	۸۶	۴۲	۳۴
۱۴	فارس	۱۵۲۸۷	۱۷۶۳	۳	۲۸	۱۱۳	۴۹۴	۷۴۸	۱۹۳۱	۱۰۶	۲۶۸
۱۵	کردستان	۱۴۰۱	۲۳۹	۲	۲	۱۷۰	۱۰	۳۵	۲۷۲	۱۰	۱۸
۱۶	کرمان	۲۸۳۵	۴۵۶	۳	۵	۲۰۸۷	۱۱۷	۲۵۱	۸۵۷	۲۸	۲۷
۱۷	کرمانشاه	۴۴۹۴	۹۳۲	۹	۴	۱۲۳۱	۵۳	۲۱۳	۷۱۲	۶۲	۱۰۶
۱۸	کهگیلویه و بویراحمد	۲۰۷	۹۲	۰	۳	۱۳۱	۳	۱۴	۳۵	۰	۳
۱۹	گیلان	۱۸۶۶	۱۲۲	۳	۰	۶۷	۹	۱۷۶	۳۰۳	۲۴	۹۸
۲۰	لرستان	۲۹۷۸	۳۵۴	۰	۲	۱۷	۲۰	۱۹۳	۵۴۹	۱۳۱	۱۷
۲۱	مازندران	۶۶۶۷	۴۱۵	۵	۴	۵۱	۲۷	۲۲۳	۱۵۵۳	۴۸	۱۰۵
۲۲	مرکزی	۲۳۴۹	۳۱۲	۶	۲	۲۴	۴۱	۸۲	۳۰۶۲	۱۵	۲۹
۲۳	هرمزگان	۱۳۲	۸۴	۰	۰	۸۵۷	۰	۹	۸۰۵	۵	۰
۲۴	همدان	۳۳۸۵	۴۰۷	۳	۶	۷۴۸	۸۱	۱۴۷	۱۲۶۶	۱۶	۴۱
۲۵	یزد	۳۱۷۰	۴۸۱	۲	۳	۱۸۶	۳۵	۹۷	۳۴۳	۱۰	۲۰
	جمع	۱۱۴۵۰۵	۱۴۵۵۵	۱۱۴	۴۲۶	۱۳۸۳۴	۲۳۷۳	۷۱۳۴	۲۸۲۶۹	۲۲۲۳	۳۶۵۲

۷- خلاصه و نتیجه‌گیری

بخصوصی برخوردار بوده و تأثیر زیادی بر رشد اقتصادی و توسعه کشور دارد؛ لذا مدل ارائه شده، علاوه بر داشتن جنبه‌های علمی، ابعاد کاربردی مهمی دارد. یکی از ویژگیهای مدل ارائه شده، در نظر گرفتن تقاضای حمل و نقل برای کلیه استانهای کشور، با ملحوظ کردن تنوع

در این تحقیق، یک مدل ریاضی برای ظرفیت‌سنجی ناوگان عمومی حمل و نقل جاده‌ای کشور ارائه شد. حمل و نقل جاده‌ای به دلیل انعطاف‌پذیری و نیز به علت شرایط جغرافیایی خاص ایران، از جایگاه

میزان نیاز به انواع وسایل نقلیه در استانهای کشور به دست آمد. از آنجاکه به دلیل ویژگیهای حمل و نقل جاده‌ای، تعدادی از وسایل نقلیه پس از حمل کالای خود به مقصد، به صورت خالی (بدون بار) به مبدا اولیه بازمی‌گردند، مدل برای این حالت نیز حل شد. پس از اجرای مدل ظرفیت‌سنجی ناوگان حمل و نقل جاده‌ای برای این حالت، این نتیجه حاصل شد که بدون افزایش در ناوگان، جوابگویی نیاز حمل و نقل کشور امکان‌پذیر است.

از آنجاکه بخشی از حمل و نقل کشور به صورت کانتینری صورت می‌گیرد - که به آسانی قابل جابه‌جا شدن به وسیله انواع وسایل حمل و نقل است - لذا به منظور تعیین نیاز به انواع وسایل نقلیه با توجه به حمل و نقل کانتینری و مقدار تقاضای حمل کانتینر از بنادر مهم کشور، مدل دیگری ارائه و حل و نیاز این بخش از حمل و نقل کشوری نیز تعیین شد. به عنوان توسعه مدل برای بعضی حالات دو مورد زیر را می‌توان مطرح کرد:

۱- خرج ناوگان فرسوده: در این تحقیق، ناوگان موجود در کشور بدون ملحوظ کردن سن آن در نظر گرفته شده است. در صورتی که اگر مسائل زیست‌محیطی، ایمنی و مصرف سوخت وسایل نقلیه مدنظر باشد، آنگاه مدل را با در نظر گرفتن ملاحظات فوق باید بازنویسی کرد.

۲- اقتصادی بودن ناوگان: در این تحقیق هم‌چنین موضوع اقتصادی بودن وسایل نقلیه در مدل ملحوظ نشده و فقط ظرفیت‌ها مدنظر قرار گرفت؛ در حالی که بسیاری از وسایل نقلیه کوچک نسبت به وسایل بزرگ - مانند تریلر - کمتر اقتصادی هستند. لذا به عنوان ادامه تحقیقات در آینده، ملاحظات اقتصادی بودن استفاده از انواع وسایل نقلیه نیز می‌تواند مدنظر قرار گیرد.

۸- منابع

[۱] هیلیر و لیبرمن، «برنامه‌ریزی ریاضی - تحقیق در عملیات»؛ جلد دوم، ترجمه محمد مدرس یزدی، اردوان آصف وزیری؛ تهران؛ ۱۳۶۸.

گروههای کالا در استانهای مختلف و در کل کشور است. بدین منظور پارامترهای زیادی مانند نبود امکان حمل تمامی گروههای کالا به وسیله انواع وسایل نقلیه، تفاوت مقدار تقاضا و مسافت مبدأ و مقصد برای انواع کالا، اختلاف ظرفیت وسایل نقلیه برای بارگیری انواع کالا، کاهش هزینه عمومی حمل و نقل و محدودیت بودجه خرید ناوگان و عملکرد متفاوت وسایل نقلیه در برآورده ساختن تقاضای استانها در مدلسازی مدنظر قرار گرفت.

یکی از مراحل مهم طراحی و اجرای مدل، استخراج پارامترهای فوق (و سایر پارامترهای مدل) است که با پردازش بیش از ده میلیون رکورد اطلاعاتی سالیانه از بارنامه‌های کل کشور (سازمان راهداری و حمل و نقل جاده‌ای کشور) میسر شده است.

با در نظر گرفتن ملاحظات فوق - که هر یک به عنوان یک معیار ظاهر می‌شوند - مدل بهینه‌سازی چندمعیاره حاصل شد که به دلیل تعدد معیارها حل آن غیرممکن می‌نمود. لذا از روش برنامه‌ریزی آرمانی - که در آن معیارهای مختلف به جای آنکه مستقیماً بهینه شوند، به صورت محدودیت‌ها یا آرمان‌هایی در مدل نوشته می‌شوند - استفاده شد. هم‌چنین به دلیل وجود متغیرهای غیرخطی صفر و یک، مدل به یک مسأله برنامه‌ریزی آرمانی غیرخطی عدد صحیح تبدیل شد. آنگاه با استفاده از یک روش ابتکاری، مدل غیرخطی مسأله عدد صحیح به یک مدل خطی تبدیل شد که به راحتی با روش سیمپلکس با استفاده از نرم‌افزار GAMS حل شد. به دلیل تعداد زیاد متغیرها و محدودیتها در مدل، حل آن بدون انجام این تبدیلات غیرممکن بود.

مدل ریاضی طراحی شده، برای سه حالت نیازسنجی ناوگان، حمل و نقل یکسربار و حمل و نقل کانتینری، حل، تجزیه و تحلیل شد. در حالت نیازسنجی ناوگان،

- [۸] مرکز آمار ایران، «نتایج طرح آمارگیری از فعالیت حمل و نقل جاده‌ای (بخش بار)»، تهران، ۱۳۷۵.
- [9] Berkovec, J.; "Forecasting Automobile Demand Using Disaggregated Choice Models"; *Transportation Research*; Vol. 19 B, No.4; pp. 315-329; 1985.
- [10] Calfee, J., "Estimating the Demand for Electric Automobile Using Fully Disaggregated Probabilistic Choice Analysis"; *Transportation Research*; Vol. 19 B, No. 4; pp. 287-301; 1985.
- [11] Mannering, F.L; Train, K., "Recent Direction in Automobile Demand Modeling"; *Transportation Research*; Vol. 19B, No. 4; pp. 265-274; 1985.
- [12] Rhee, W.T.; "Probabilistic Analysis of a Capacity Vehicle Routing Problem"; *Journal Optimization*; Vol. 27, Iss-1-2; pp. 79-87; 1993.
- [13] Romero, C.; "Handbook of Critical Issues in Goal Programming"; Pergamon, 1991.
- [14] Teng, J.Y.; Tzeng, G.; "A Multi-Objective Programming Approach for Selecting Non-Independent Transportation Investment Alternatives"; *Transportation Research*; Vol. 30 B, No. 4; pp. 291-307; 1996.
- [۲] سازمان حمل و نقل و پایانه‌های کشور، دفتر برنامه‌ریزی و آموزش، «تحلیل عملکرد حمل و نقل جاده‌ای»، تهران؛ ۱۳۸۰.
- [۳] مؤسسه عالی پژوهش در برنامه‌ریزی و توسعه، «طرح مطالعه جامع حمل و نقل کشور، گزارش شماره ۳، منطقه‌بندی کشور برای برنامه‌ریزی حمل و نقل»، تهران؛ ۱۳۷۰.
- [۴] مؤسسه عالی پژوهش در برنامه‌ریزی و توسعه، «طرح مطالعه جامع حمل و نقل کشور، گزارش شماره ۱۰، ناوگان حمل و نقل»، تهران؛ ۱۳۷۰.
- [۵] مؤسسه عالی پژوهش در برنامه‌ریزی و توسعه، «طرح مطالعه جامع حمل و نقل کشور، گزارش شماره ۱۲، نتایج مدل عملکرد حمل و نقل جاده‌ای کشور»، تهران؛ ۱۳۷۱.
- [۶] سازمان حمل و نقل و پایانه‌های کشور، دفتر آمار و برنامه‌ریزی، «مکانیابی پایانه‌های کانتینری در سطح کشور»، تهران؛ ۱۳۷۶.
- [۷] سازمان حمل و نقل و پایانه‌های کشور، دفتر آمار و برنامه‌ریزی، «ناوگان عمومی حمل و نقل جاده‌ای (یافته‌های آماری)»، تهران؛ ۱۳۷۴.