Archive of SID

مدل ظرفیت‌سنجی ناوگان عمومی حمل و نقل جاده‌ای

محمدرضا امین ناصری[1*]، عباس محمودآبادی[2]

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 به‌دلیل 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، ازاین‌رو 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 درنظر گرفتن چندین معیار مدنظر بوده، از روش برنامه‌ریزی آرمانی در مدلسازی استفاده شده است. به‌دلیل طبیعت مسأله، متغیرهای صفر و یک به مدل وارد شده که این ـ به‌نوبه خود ـ مدل را به‌صورت نوعی مسأله برنامه‌ریزی غیرخطی عدد صحیح مخلوط تبدیل کرده است. ازآنجاکه 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 ـ نظیر افزایش حمل و نقل با کانتینر ـ مطرح و تجزیه و تحلیل شد.

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

۱- مقدمه

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 (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 ـ با توجه به حجم قابل‌توجه جابه‌جایی مسافر و کالا همواره مدنظر برنامه‌ریزان حمل و نقل بوده است.

www.SID.ir

Archive of SID

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

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

۲- سابقه تحقیق

براورد تعداد کامیونهای مورد نیاز در سیستم حمل و نقل جاده‌ای در ایران، در گزارش ناوگان طرح مطالعه جامع حمل و نقل کشور [٤] 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، براورد تعداد وسایل نقلیه را به‌دست 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 دههٔ 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 استانهای کشور و تنوع گروههای کالا، نیاز به انواع وسایل نقلیه در استانهای کشور تعیین شود. بر این‌اساس با توجه به مسائل متعدد دخیل در تابع هدف از برنامه‌ریزی آرمانی که امکان براورده ساختن چندین تابع هدف را میسر می‌سازد، استفاده شده است. با توجه به خصوصیات حمل و نقل جاده‌ای، مسائلی که در مدلسازی درنظر گرفته شده به شرح زیر است.

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

با توجه به‌شکل بارگیری وسایل نقلیه و شرایط حمل کالا به‌وسیله آنها، امکان حمل تمامی انواع کالا به‌وسیله هر نوع از وسایل نقلیه وجود ندارد. به‌عنوان مثال حمل محمولات فله‌ای به‌وسیله وسایل نقلیه کفی امکان‌پذیر نیست. بنابراین باید برنامه‌ریزی در شرایطی انجام شود که محدودیت حمل کالا به‌وسیله وسایل نقلیه نیز درنظرگرفته شود.

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

مسافت یکی از پارامترهایی است که در براورد تقاضای حمل و نقل درنظر گرفته می‌شود. از آنجاکه اطلاع از وزن کالا در تقاضای حمل و نقل، به‌تنهایی کافی نیست، مسافت جابه‌جایی کالا نیز باید در مطالعات مدنظر قرار گیرد. این پارامترها از حاصل‌ضرب 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 به‌شکل بارگیری، حجم متفاوتی نیز داشته و لذا ظرفیت بارگیری انواع کالا در گونه‌های مختلف وسایل نقلیه متفاوت است.

www.SID.ir

Archive of SID

۳-٤-کاهش هزینه عمومی حمل و نقل و خرید ناوگان

به‌دلیل تفاوت بین هزینه‌های عملیاتی و ظرفیت بارگیری برای انواع مختلف وسایل نقلیه، هزینه حمل و نقل به‌ازای هر تن ـ 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 درنظر گرفته شود تا حد بالای سرمایه‌گذاری را تضمین کند.

۳-۵- عملکرد متفاوت وسایل نقلیه در براورده 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 این‌اساس لازم است تفکیکی برای تقاضا تعریف شود و با این تفکیک، مقدار تقاضایی که به‌وسیله وسایل نقلیه شناور براورده 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 ازآنجاکه در اطلاعات بررسی شده، اطلاعات استانهای قم و قزوین در تهران، استان گلستان در مازندران و خراسان جنوبی و شمالی در خراسان درنظر گرفته شده و تعداد کل استانها در کشور ۲۵ درنظر 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.

٤- طراحی مدل ریاضی مسأله

با توجه به توضیحات ارائه شده دربارهٔ مسأله ظرفیت‌سنجی ناوگان حمل و نقل ـ که در آن بهینه‌سازی چندین معیار مدنظر است ـ از برنامه‌ریزی آرمانی[1] در طراحی مدل استفاده شده است. در این قسمت مختصری دربارهٔ 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 ـ کیلومتر و هزینه به ریال) از روش نرمال‌سازی اقلیدسی برای یکنواخت‌سازی اهداف در تابع هدف استفاده شده است.

٤-۱- برنامه‌ریزی آرمانی

در مسائل بهینه‌سازی برنامه‌ریزی خطی[2] 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)[3] 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[4] یا به عبارت دیگر آرمان‌هایی[5] 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

www.SID.ir

Archive of SID

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 ، ... x_n متغیرهای تصمیم مسأله، K تعداد هدفهای موردنظر، c_{jk} ضریب x_j در تابع هدف kام و g_k آرمان تعیین شده برای این هدف و تابع هدف k (یا آرمان k در برنامه‌ریزی آرمانی) نیز به‌صورت زیر تعریف شده باشد [۱]:

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

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

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

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 به‌نحوی باشد که تا حد ممکن انحرافها (d_k^+ و d_k^-) به حداقل برسند. به این‌منظور در برنامه‌ریزی آرمانی، تابع هدف، تابع هدف اصلی نیست بلکه به‌صورت کمینه‌سازی مجموعه انحرافات در مدل ظاهر شده و به‌شکل زیر نوشته می‌شود:

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

با شرط:

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

اگر در رابطه (۱) نامساوی به‌صورت $\geq$ 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 به‌صورت $\leq$ باشد، آنگاه در تابع هدف، فقط d_k^+ باید وارد شود زیرا سعی بر آن است که تابع از حد بالای g_k بیشتر نباشد و در صورت مساوی بودن هر دو مقدار d_k^+ و d_k^- در تابع هدف وارد می‌شوند.

اما ازآنجاکه در بسیاری از موارد، انحرافات لزوماً واحد یکسانی ندارند، محققان عموماً وزنهایی را برای هر یک از انحرافات درنظر گرفته و تفاوت در اهمیت این انحرافات را با منظور کردن ضرایب وزنی w_k^+ و w_k^- در تابع هدف درنظر می‌گیرند. درنهایت تابع هدف به‌صورت زیر نوشته می‌شود:

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

در صورتی‌که عناصر تابع هدف واحدهای مختلفی داشته باشند، با استفاده از روشهای یکنواخت (نرمال)سازی[1] تابع هدف ــ نظیر روش انحراف نسبی، روش نرم اقلیدسی، کاربرد توأم انحراف نسبی و نرم اقلیدسی و تعدیل انحرافات- اجزای تابع هدف یکنواخت‌سازی می‌شوند [۱۴]. در این تحقیق از روش نرم اقلیدسی برای یکنواخت‌سازی تابع هدف استفاده شده است.

٤-۲- متغیر تصمیم[2]

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 به‌صورت زیر تغییر می‌کنند:

i=۱،...،۱۰ ،j=۱،...،۹ p=۱،...،۲۵

٤-۳- پارامترها

به‌منظور تعیین پارامترهایی که در مدل به‌کار رفته، جامعه آماری مناسبی باید درنظر گرفته شود. از این‌رو کلیه اطلاعات بارنامه‌های صادر شده در یک سال بررسی و پارامترهای مورد

1. Normalization
2. Decision Variable

www.SID.ir

Archive of SID

نیاز محاسبه شده است. به‌عنوان مثال میانگین کارکرد کل وسایل نقلیه از هر نوع به‌عنوان مقدار کارکرد درنظر گرفته شده است. به‌علاوه این اطلاعات در فایلهای بارنامه کدهای مبدأ و مقصد نیز درج می‌شود و امکان تحلیلهای آماری دیگری برای تعیین سایر پارامترها ـ نظیر ظرفیت انواع وسایل نقلیه برای حمل انواع کالا، تقاضا و وسایل نقلیه شناور ـ 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 درنظر 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 براورده ساختن تقاضای حمل و نقل استان خود دارند.

$1\text{-}F_i$ بخشی از وسایل نقلیه نوع i که تقاضای شناور در کل کشور را براورد 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 به‌وسیله 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.

٤-٤- فرمول بندی[1] آرمانها

آرمان اول: وسایل نقلیه در هر استان باید بتوانند نیازهای حمل و نقل استان را براورده 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} براورده سازد. در رابطه ما، مقدار تن ـ کیلومتر جابه‌جا شده برای انواع کالا در استانهای مختلف، از حاصل‌ضرب کارکرد سالیانه وسایل نقلیه (U_i)، بخشی از وسایل نقلیه که به‌صورت غیرشناور (در سطح استان) فعالیت می‌کنند (F_i)، ظرفیت بارگیری وسایل نقلیه (C_{ij}) و تعداد آنها در استان (x_{ijp}) تعیین می‌شود:

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

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

$$\sum_{i=1}^{10} U_i F_i C_{ij} x_{ijp} - d_{1pj}^{+} + d_{1pj}^{-} = g_{1pj}, \qquad (7)$$
$$j=1,...,9 \ \ and \ \ p=1,...,25$$

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

$$\sum_{p=1}^{25}\sum_{j=1}^{9} \frac{w_{1pj} d_{1pj}^{-}}{n_{1pj}}\ ,\ j=1,...,9 \ and \ p=1,...,25 \qquad (8)$$

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

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

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

1. Fomulation

www.SID.ir

Archive of SID

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

$$\sum_{i=1}^{10} U_i\ C_{ij}(1-F_i)\sum_{p=1}^{25} x_{ijp} - d2_j^+ + d2_j^- = g2_j\ ,\ j=1,...,9 \qquad (10)$$

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

$$\sum_{j=1}^{9} \frac{w2_j d2_j^-}{n2_j} \quad , \qquad j=1,...,9 \qquad (11)$$

که در آن $w2_j$ ضریب وزنی آرمان دوم و $n2$ 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 این‌منظور 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:

$$\sum_{i=1}^{10} H_i U_i \sum_{i=1}^{9} C_{ij} \sum_{p=1}^{25} x_{ijp} \le g3 \qquad (12)$$

$g3$ حد بالای هزینه جابه‌جایی کل کشور است. با منظور کردن انحرافات مثبت و منفی، محدودیت فوق به‌شکل رابطه آرمانی زیر نوشته می‌شود:

$$\sum_{i=1}^{10} H_i U_i \sum_{i=1}^{9} C_{ij} \sum_{p=1}^{25} x_{ijp} - d3^+ + d3^- = g3 \qquad (13)$$

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

$$\frac{w3 d3^+}{n3} \qquad (14)$$

$w3$ ضریب وزنی آرمان سوم و $n3$ ضریب نرمال‌سازی آرمان سوم است.

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 درنظر گرفته نمی‌شود. این موضوع در مدلهای ریاضی با استفاده از متغیرهای عدد صحیح صفر و یک به‌شکل زیر قابل مدلسازی است:

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

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[1] به شکل زیر استفاده می‌شود:

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

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

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 $g4$ حد بالای سرمایه‌گذاری، A_{ip} تعداد وسایل نقلیه موجود از نوع i در استان p و V_i قیمت وسیله نقلیه نوع i است.

$$\sum_{i=1}^{10} Z_i \left[\sum_{p=1}^{25}(\sum_{j=1}^{9} x_{ijp} - A_{ip})\right] V_i \le g4 \qquad (18)$$

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

$$\sum_{i=1}^{10} Z_i \left[\sum_{p=1}^{25}(\sum_{j=1}^{9} x_{ijp} - A_{ip})\right] V_i - d4^+ + d4^- = g4 \qquad (19)$$

1. Big M Method

www.SID.ir

Archive of SID

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

$$\frac{w۴d۴^{+}}{n۴} \qquad (۲۰)$$

w۴ ضریب وزنی آرمان چهارم و n۴ 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 به‌وسیله وسیله نقلیه i (α_{ij}) حمل می‌شود. بنابراین لازم است این محدودیت ـ که واقعیت عینی مسأله است ـ به‌نحوی در مدل گنجانیده شود. از آنجاکه مقدار حمل شده از کالای نوع j با وسیلهٔ نقلیه نوع I از رابطهٔ $\sum_{p=۱}^{۲۵} U_i C_{ij} x_{ijp}$ به‌دست می‌آید، لذا کل کالای حمل شده از نوع j با وسیله نقلیه نوع i، برابر است با حاصل‌ضرب کل کالای جابه‌جا شده در ضریب α_{ij} و در این‌صورت، معادله زیر را برای این محدودیت می‌توان درنظر گرفت:

(۲۱)

$$\sum_{p=۱}^{۲۵} U_i C_{ij} x_{ijp} = \alpha_{ij} \sum_{i=۱}^{۱۰} \sum_{p=۱}^{۲۵} U_i C_{ij} x_{ijp} \;,\; i = ۱,...,۱۰ \quad and \quad j = ۱,...,۹$$

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

(۲۲)

$$\sum_{p=۱}^{۲۵} U_i C_{ij} x_{ijp} = \alpha_{ij} \sum_{i=۱}^{۱۰} \sum_{p=۱}^{۲۵} U_i C_{ij} x_{ijp} - d۵_{ij}^{+} + d۵_{ij}^{-} \;,\; i = ۱,...,۱۰ and \neq ۱,...,۹$$

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

$$w۵ \sum_{j=۱}^{۹} \sum_{i=۱}^{۱۰} \frac{(d۵_{ij}^{+} + d۵_{ij}^{-})}{n۵_{ij}}, \quad i = ۱,...,۱۰ \; and \; j = ۱,...,۹ \qquad (۲۳)$$

$w۵$ ضریب وزنی آرمان پنجم و $n۵_{ij}$ ضریب نرمال‌سازی آرمان پنجم است.

٤-۵- فرمول‌بندی محدودیت در افزایش تعداد ناوگان

با توجه به اینکه افزایش تعداد ناوگان حمل و نقل ـ چه ازنظر ساخت در داخل و چه ازنظر واردات ـ 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 درنظر گرفتن محدودیت می‌توان ارائه کرد:

$$\sum_{i=۱}^{۱۰} Z_i \left[\sum_{p=۱}^{۲۵} \left(\sum_{j=۱}^{۹} x_{ijp} - A_{ip} \right) \right] \le PR \qquad (۲٤)$$

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 به‌صورت غیرخطی مختلط عدد درست (صفر و یک) در می‌آید.

٤-۶- فرمول‌بندی مربوط به محدودیت ناوگان موجود

ازآنجاکه 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 به‌صورت زیر می‌توان نوشت:

$$\sum_{j=۱}^{۹} x_{ijp} \ge ۰.۹۵ A_{ip} \;,\; i = ۱,...,۱۰ \; and \; p = ۱,...,۲۵ \qquad (۲۵)$$

www.SID.ir

Archive of SID

٤-٧- تبدیل شکل غیرخطی محدودیتها به‌شکل خطی

همان‌طور که در معادلات (١٥)، (١٦) و (١٧) 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 به‌شکل برنامه‌ریزی مختلط عدد صحیح غیرخطی[1] 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:

$$\sum_{p=1}^{25}(\sum_{j=1}^{9} x_{ijp} - A_{ip}) - y_i^+ + y_i^- = 0 \quad y_i^+, y_i^- \geq 0 \quad i = 1,...,10 \qquad (٢٦)$$

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

$$\sum_{p=1}^{25}(\sum_{j=1}^{9} x_{ijp} - A_{ip}) \rangle 0 \quad , \; i = 1,..., 10 \qquad (٢٧)$$

باشد بنابراین می‌توان معادلات (١٨) و (٢٤) را با توجه به معادله (٢٦) تغییر داد و به جای آنها از معادلات (٢٨) و (٢٩) استفاده کرد.

$$\sum_{i=1}^{10} y_i^+ V_i \leq g4 \qquad (٢٨)$$

$$\sum_{i=1}^{10} y_i^+ \leq PR \qquad (٢٩)$$

در معادلات (٢٨) و (٢٩) در صورتی‌که مدل، تعداد وسایل نقلیه مورد نیاز را بیش از تعداد موجود درنظر بگیرد، متغیر y_i^+ مقدار خواهد داشت؛ که در واقع مقدار آن برابر با تعداد وسایل نقلیه جدید نوع i است. در معادله (٢٨) براساس قیمت انواع وسایل نقلیه، نوعی محدودیت سرمایه‌گذاری در خرید آنها درنظر گرفته شده و در معادله (٢٩) نیز محدودیت توان تولید وسایل نقلیه، مدنظر قرار گرفته است.

1. Mixed Integer Non -Linear Programming

٤-٨- 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 (٨)، (١١)، (١٤)، (٢٠) و (٢٣) است که به‌صورت زیر فرمول‌بندی می‌شود:

(٣٠)

$$Min \quad \sum_{p=1}^{25}\sum_{j=1}^{9}\frac{w1_{pj}d1_{pj}^-}{n1_{pj}} + \sum_{j=1}^{9}\frac{w2_j d2_j^-}{n2_j} + \frac{w3d_3^+}{n3} + \frac{w4d_4^+}{n4} + w5\sum_{j=1}^{9}\sum_{i=1}^{10}\frac{(d5_{ij}^+ + d5_{ij}^-)}{n5_{ij}}$$

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

٤-٩- مدل نهایی برنامه‌ریزی آرمانی

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

(٣١)

$$Min \quad \sum_{p=1}^{25}\sum_{j=1}^{9}\frac{w1_{pj}d1_{pj}^-}{n1_{pj}} + \sum_{j=1}^{9}\frac{w2_j d2_j^-}{n2_j} + \frac{w3d_3^+}{n3} + \frac{w4d_4^+}{n4} + w5\sum_{j=1}^{9}\sum_{i=1}^{10}\frac{(d5_{ij}^+ + d5_{ij}^-)}{n5_{ij}}$$

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

Subject to:

(٣٢)

$$\sum_{i=1}^{10} U_i F_i C_{ij} x_{ijp} - d1_{pj}^+ + d1_{pj}^- = g1_{pj}; j = 1,...,9 \; and \; p = 1,...,25$$

$$\sum_{i=1}^{10} U_i \; C_{ij}(1 - F_i)\sum_{p=1}^{25} x_{ijp} - d2_j^+ + d2_j^- = g2_j, \quad j = 1,...,9 \qquad (٣٣)$$

$$\sum_{i=1}^{10} H_i U_i \sum_{i=1}^{9} C_{ij} \sum_{p=1}^{25} x_{ijp} - d3^+ + d3^- = g3 \qquad (٣٤)$$

...

$$\sum_{i=1}^{10} y_i^+ V_i - d4^+ + d4^- = g4 \qquad (٣٥)$$

(٣٦)

$$\sum_{p=1}^{25} U_i C_{ij} x_{ijp} = \alpha_{ij} \sum_{i=1}^{10}\sum_{p=1}^{25} U_i C_{ij} x_{ijp} - d5_{ij}^+ + d5_{ij}^- \; , \; i = 1,...,10 \; and \; j = 1,...,9$$

www.SID.ir

Archive of SID

$$\sum_{j=1}^{9} x_{ijp} \geq 0/95 A_{ip} \;, i = 1,...,10 \; and \; p = 1,...,25 \quad (37)$$

$$\sum_{p=1}^{25} (\sum_{j=1}^{9} x_{ijp} - A_{ip}) - y_i^+ + y_i^- = 0 \quad y_i^+, y_i^- \geq 0 \; i = 1,...,10 \quad (38)$$

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

کلیه متغیرها ≥ 0

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 براورد تقاضای حمل و نقل آینده؛

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

«نتایج مدل عملکرد حمل و نقل جاده‌ای» [۵] تقاضای حمل و نقل را برای ٥٤ منطقه کشور [۳] به‌شکل ساعت طراحی[1] ارائه کرده است. ازآنجاکه در مدل ظرفیت‌سنجی ناوگان حمل و نقل جاده‌ای تقاضای حمل و نقل به‌صورت تن ـ کیلومتر درنظر 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 به‌صورت تن- کیلومتر مراحل زیر انجام می‌شود:

۱. تبدیل تقاضای ساعت طراحی به حجم روزانه تردد معادل سواری[2] ؛
۲. تبدیل حجم روزانه تردد معادل سواری به تعداد روزانه سفر؛
۳. تعیین ظرفیت روزانه حمل بار؛
٤. 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؛
٦. 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]. ـ که به شکل ساعت طراحی تعیین شده ـ به تقاضای حمل و نقل به‌شکل تن ـ کیلومتر تبدیل می‌شود تا بتوان در حل مدل از آن استفاده کرد، زیرا ورودی مدل برای تقاضای حمل و نقل برحسب تن ـ کیلومتر درنظر گرفته شده و تمامی روابط براین‌اساس طراحی شده است.

علاوه بر تقاضای حمل و نقل ـ که کلیات محاسبه آن در بالا تشریح شد و به‌نظر می‌رسد که ذکر جزییات در این مقاله ضرورتی ندارد ـ پارامترهای دیگری مانند هزینه حمل بار به‌وسیله 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 بارنامه‌های صادر شده در یک سال (اطلاعات سازمان راهداری و حمل و نقل جاده‌ای) به‌دست‌آمده است.

۶- حل مدل و ارزیابی نتایج

برای حل مدل ظرفیت‌سنجی ناوگان عمومی حمل و نقل جاده‌ای ـ پس از طراحی مدل ـ با توجه به تعداد زیاد محدودیتها و متغیرها و بررسی انجام شده در زمینهٔ قابلیتهای نرم‌افزارهای موجود و دستیابی آسانتر به نرم‌افزارGAMS و قابلیت خوب آن در فرمولبندی مسأله، تمامی داده‌ها به‌شکل 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 به‌صورت جداگانه به شرح هر یک از این حالتها پرداخته می‌شود.

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)

www.SID.ir

Archive of SID

۶-۱- نیاز به ناوگان

ازآنجاکه 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 به‌صورت تن ـ کیلومتر براورد شده و همچنین پارامترهای محاسبه شده با استفاده از اطلاعات موجود، به مدل وارد شده و نتایج خروجی مدل ـ یعنی نیاز به انواع وسایل نقلیه در استانهای مختلف کشور ـ به‌دست 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	٤	۱۵	۱٤۰	۱۳۰	٤۹٦	۲۹۸۷	۳۰۸	٥٤۲
۲	آذربایجان غربی	٥۱٦۹	٥۷٤	٤	٥	۱۹۸٤	۳٦	۲٤۲	٦٦۷	۲٥٤	٤۸۷
۳	اردبیل	۳۰٥	۷۳	۱	۰	٦۰۲	٤	۱	۰	۱	۱
٤	اصفهان	۱۰۱٦۳	۸۸۳	٦	۱۹	۳۰۸۹	٤٤۰	٥۹٦	۳۳۷۷	٤۰	۲٤۰
٥	ایلام	٤٤۷	۲٤۰	۰	۰	٥	۰	۹	٤۳۸	۷	٤
٦	بوشهر	٥٤٦	۳٦٦	۰	۸	۸۷	۱۸	۱۰	٦٦	۳	٦
۷	تهران	۱۰۹۸٦	۱٥۹۰	۳۸	۲٥۷	۲٦٦۹	٥٤٤	۱۹٥٥	۳۹۲٦	۷٦٦	۱۱٥۸
۸	چهارمحال و بختیاری	۷۰۷۲	٤٦۱	۲	٥	٤۸٥	۲۹	۹۲	۳۹۰	۲	٦
۹	خراسان	۱٤۰۱۱	۸۰۸	۱۰	٤۷	٤۸۰	۷۳	٦٥۸	۹٤٤	۲٤۰	۳۲۰
۱۰	خوزستان	٦۸٥٤	۱۰٤٥	۳	٥	۱۰۱۲	٥٤	٦٤۱	۱۱۹٤	۱۱	۳۰
۱۱	زنجان	۳۸۰۲	٤۱٥	٥	٦	۹۳	۲۳	۱۷٦	٦٤۸	۸۸	٥۰
۱۲	سمنان	۱٤٥٤	۳۱۱	۰	۰	۷٥۳	۱۰	۲٦	۹٤	٦	٦
۱۳	سیستان و بلوچستان	۱۹۳٥	۱۳٤	۰	۰	۸۹	٤	٤٤	۸٦	٤۲	۷۰
۱٤	فارس	۱٥۲۸۷	۱۷٦۳	۳	۲۸	۱۱۳	٤۹٤	۷٤۸	۱۹۳۱	۱۰٦	۲٦۸
۱٥	کردستان	۱٤۰۱	۲۳۹	۲	۲	۱۷٦	۱۰	۳٥	۲۷۲	۱۰	۱۸
۱٦	کرمان	۳۷۰۹	٤٥٦	۳	٥	۲۱۱۷	۱۱۷	۲٥۱	٤۹۱	۲۸	۲۷
۱۷	کرمانشاه	٤٤۹٤	۱۳٥۱	۹	٤	۱۱۱	۱٥٦	۲۱۳	۲۰٤۳	۱۷۳	۱۰٦
۱۸	کهگیلویه و بویراحمد	۲۰۷	۹۲	۰	۳	۱۱۸	۳	۱٤	۳٥	۰	۳
۱۹	گیلان	۱۸٦٦	۱۲۲	۳	۰	۷۷	۹	۱۷٦	۳۰۳	۲٤	۹۸
۲۰	لرستان	۲۳۱٥	۳٥٤	۰	۲	۲۳٥	۲۰	۱۹۳	٥۲۸	۲۰	۱۷
۲۱	مازندران	۷۲۲۰	٤۱٥	۱۰	٤	٤۲۹	۲۷	۲۲۳	٥۷٥	٤۸	۱۰٥
۲۲	مرکزی	۲۳٤۹	۳۱۲	٦	۲	۱٤۷٥	٤۱	۸۲	۸٤۸	۱٥	۲۹
۲۳	هرمزگان	۱۳۲	۸٤	۰	۰	۱۳۸۸	۱٥	۹	۲۱	٥	۰
۲٤	همدان	۳۲۸٥	٤۰۷	۳	٦	۸۲۸	۸۱	۱٤۷	۱۲٦٦	۱٦	٤۱
۲٥	یزد	۳۱۷۰	٤۸۱	۲	۳	۱۸٦	۳٥	۹۷۲٤۳	۱۰	۲۰	
	جمع	**۱۱٤٥۰٥**	**۱٤٥٥٥**	**۱۱٤**	**٤۲٦**	**۱۸۷٤۱**	**۲۳۷۳**	**۷۱۳٤**	**۲۳٥۰۹**	**۲۲۲۳**	**۳٦٥۲**

www.SID.ir

Archive of SID

۶-۲- حمل و نقل یکسربار

در حال حاضر به‌دلیل ویژگیهای حمل و نقل جاده‌ای، تعدادی از وسایل نقلیه، پس از حمل کالای خود به مقصد، به‌صورت 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 به‌عنوان یک ضریب به‌جای مسافت استفاده کرد [۱۳]:

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

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

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

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

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 به‌شکل 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 به‌آسانی قابل جابه‌جا شدن میان انواع وسایل حمل و نقل است [٦]. به‌منظور 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:

$$Min \sum_{P=۱}^{۲۵}\sum_{j=۱}^{۲} d_{pj} \times x_{pj} \qquad (٤٠)$$

به شرط:

$$\sum_{j=۱}^{۲} x_{pj} = D_p \qquad P=۱,...,۲۵ \qquad (٤١)$$

$$\sum_{p=۱}^{۲۵} x_{pj} = S_j \qquad j=۱,۲ \qquad (٤٢)$$

که در آن:

$$x_{pj} \geq ۰ \qquad p=۱,...,۲۵, \quad j=۱,۲ \qquad (٤٣)$$

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 به‌وسیله نقلیه کفی منظور می‌شود، علاوه بر آن متوسط حمل کالا به‌وسیله کانتینر کفی ۲٤ تن درنظر گرفته شده است. پس از حل مدل ظرفیت‌سنجی، تعداد مورد نیاز از انواع ناوگان برای استانهای کشور در جدول ۲ ارائه شده است.

www.SID.ir

Archive of SID

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	٤	۱۵	۱٤۰	۱۳۰	٤۹٦	۲۹۸۷	۳۰۸	۲٤۲
۲	آذربایجان غربی	۵۱٦۹	۵۷٤	٤	۵	۲۰۰۸	۳٦	۲٤۲	٦٦۷	۲۵٤	٤۸۷
۳	اردبیل	۳۰۵	۷۳	۱	۰	۵٤۱	٤	۱	۹۵	۱	۱
٤	اصفهان	۱۵۲۲٦	۱٦۱۰	۱۱	٤۰	۵۲۱	۵۵۸	۹۵۲	۵۱۲۹	٤۰	۲۷٦
۵	ایلام	٤٤۷	۲٤۰	۰	۰	۱۸۰	۰	۹	۱۰۱	۷	٤
٦	بوشهر	۵٤٦	۵۷	۰	۸	۲۰۹	۱۸	۱۰	٦٦	۳	٦
۷	تهران	۱۰۹۸٦	۱۵۹۰	۳۸	۲۵۷	۲۳۰	۵٤٤	۱۹۵۵	٤۱٤٤	۷٦٦	۱۱۵۸
۸	چهارمحال و بختیاری	۲۰۷۲	٤٦۱	۲	۵	۵٦۹	۲۹	۹۲	۳۹۰	۲	٦
۹	خراسان	۱٤۰۱۱	۸۰۸	۱۰	۲٦	۷۱٦	۷۳	۳۸٤	۹٤٤	۲٤۰	۳۲۰
۱۰	خوزستان	۳۳۲۷	۱۰٤۵	۳	۵	۱۸۵۸	۵٤	۵۵۹	۱۱۹٤	۱۱	۳۰
۱۱	زنجان	۳۸۰۱	٤۱۵	۵	٦	۹۳	۲۳	۱۷٦	٦۸٤	۸۸	۵۰
۱۲	سمنان	۱٤۵٤	۳۱۱	۰	۰	۷۵۵	۱۰	۲٦	۹٤	٦	٦
۱۳	سیستان و بلوچستان	۱۱٦٤	۱۳٤	۰	۰	۳۳۲	٤	٤٤	۸٦	٤۲	۳٤
۱٤	فارس	۱۵۲۸۷	۱۷٦۳	۳	۲۸	۱۱۳	٤۹٤	۷٤۸	۱۹۳۱	۱۰٦	۲٦۸
۱۵	کردستان	۱٤۰۱	۲۳۹	۲	۲	۱۷۰	۱۰	۳۵	۲۷۲	۱۰	۱۸
۱٦	کرمان	۲۸۳۵	٤۵٦	۳	۵	۲۰۸۷	۱۱۷	۲۵۱	۸۵۷	۲۸	۲۷
۱۷	کرمانشاه	٤٤۹٤	۹۳۲	۹	٤	۱۲۳۱	۵۳	۲۱۳	۷۱۲	٦۲	۱۰٦
۱۸	کهگیلویه و بویراحمد	۲۰۷	۹۲	۰	۳	۱۳۱	۳	۱٤	۳۵	۰	۳
۱۹	گیلان	۱۸٦٦	۱۲۲	۳	۰	٦۷	۹	۱۷٦	۳۰۳	۲٤	۹۸
۲۰	لرستان	۲۹۷۸	۳۵٤	۰	۲	۱۷	۲۰	۱۹۳	۵٤۹	۱۳۱	۱۷
۲۱	مازندران	٦٦٦۷	٤۱۵	۵	٤	۵۱	۲۷	۲۲۳	۱۵۵۳	٤۸	۱۰۵
۲۲	مرکزی	۲۳٤۹	۳۱۲	٦	۲	۲٤	٤۱	۸۲	۳۰٦۲	۱۵	۲۹
۲۳	هرمزگان	۱۳۲	۸٤	۰	۰	۸۵۷	۰	۹	۸۰۵	۵	۰
۲٤	همدان	۳۳۸۵	٤۰۷	۳	٦	۷٤۸	۸۱	۱٤۷	۱۲٦٦	۱٦	٤۱
۲۵	یزد	۳۱۷۰	٤۸۱	۲	۳	۱۸٦	۳۵	۹۷	۳٤۳	۱۰	۲۰
جمع		**۱۱٤۵۰۵**	**۱٤۵۵۵**	**۱۱٤**	**٤۲٦**	**۱۳۸۳٤**	**۲۳۷۳**	**۷۱۳٤**	**۲۸۲٦۹**	**۲۲۲۳**	**۳٦۵۲**

۷- خلاصه و نتیجه‌گیری

در این تحقیق، یک مدل ریاضی برای ظرفیت‌سنجی ناوگان عمومی حمل و نقل جاده‌ای کشور ارائه شد. حمل و نقل جاده‌ای به‌دلیل انعطاف‌پذیری و نیز به‌علت شرایط جغرافیائی خاص ایران، از جایگاه 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، درنظر گرفتن تقاضای حمل و نقل برای کلیه استانهای کشور، با ملحوظ کردن تنوع

www.SID.ir

Archive of SID

گروههای کالا در استانهای مختلف و در کل کشور است. بدین‌منظور پارامترهای زیادی مانند نبود امکان حمل تمامی گروههای کالا به‌وسیله 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 براورده 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 درنظر گرفتن ملاحظات فوق ـ که هر یک به‌عنوان یک معیار ظاهر می‌شوند ـ مدل بهینه‌سازی چندمعیاره حاصل شد که به‌دلیل تعدد معیارها حل آن غیرممکن می‌نمود. لذا از روش برنامه‌ریزی آرمانی ـ که در آن معیارهای مختلف به‌جای آنکه مستقیماً بهینه شوند، به‌صورت محدودیت‌ها یا آرمان‌هایی در مدل نوشته می‌شوند ـ استفاده شد. همچنین به‌دلیل 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 به‌راحتی 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، میزان نیاز به انواع وسایل نقلیه در استانهای کشور به‌دست آمد. ازآنجاکه به‌دلیل ویژگیهای حمل و نقل جاده‌ای، تعدادی از وسایل نقلیه پس از حمل کالای خود به مقصد، به‌صورت 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 این‌حالت، این نتیجه حاصل شد که بدون افزایش در ناوگان، جوابگویی نیاز حمل و نقل کشور امکان‌پذیر است.

ازآنجاکه بخشی از حمل و نقل کشور به‌صورت کانتینری صورت می‌گیرد ـ که به‌آسانی قابل جابه‌جا شدن به‌وسیله انواع وسایل حمل و نقل است ـ لذا به‌منظور 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 درنظر گرفته شده است. در صورتی‌که اگر مسائل زیست‌محیطی، ایمنی و مصرف سوخت وسایل نقلیه مدنظر باشد، آنگاه مدل را با درنظرگرفتن 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؛ درحالی‌که بسیاری از وسایل نقلیه کوچک نسبت به وسایل بزرگ‌ـ مانند تریلر ـ کمتر اقتصادی هستند. لذا به‌عنوان 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.

www.SID.ir

Archive of SID

[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.

[٤] مؤسسه عالی پژوهش در برنامه‌ریزی و توسعه، «طرح مطالعه جامع حمل و نقل کشور، گزارش شماره ۱۰، ناوگان حمل و نقل»، تهران؛ ۱۳۷۰.

[٥] 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.

[٦] سازمان حمل و نقل و پایانه‌های کشور، دفتر آمار و برنامه‌ریزی، «مکانیابی پایانه‌های کانتینری در سطح کشور»، تهران؛ ۱۳۷٦.

[۷] سازمان حمل و نقل و پایانه‌های کشور، دفتر آمار و برنامه‌ریزی، «ناوگان عمومی حمل و نقل جاده‌ای (یافته‌های آماری)»، تهران؛ ۱۳۷٤.

[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.

www.SID.ir