

# بررسی و ارزیابی شرایط تعادلی عرضه و تقاضا برای حمل کالا از مبادی ورودی به مناطق مصرف\*

شهریار افندی زاده، دانشیار، دانشکده عمران، دانشگاه علم و صنعت، تهران، ایران  
مرتضی شاه نظری، کارشناس ارشد، دانشکده عمران، دانشگاه علم و صنعت، تهران، ایران  
E-mail: Zargari@iust.ac.ir

## چکیده

یکی از مباحث مهم بخش حمل و نقل، تعیین مقدار حمل بهینه کالاهای وارداتی از مبادی ورودی به مناطق مختلف مصرف است، در این تحقیق با شناخت عوامل تعیین کننده تقاضای جاده ای، اقدام به تدوین مدل برنامه ریزی خطی به منظور معرفی مقادیر بهینه حمل کالاهای وارداتی از مبادی ورودی به مراکز مصرف شده و هدف از آن کمینه کردن کل هزینه های حمل و نقل است.

از آنجا که سهم واردات کالا از مرزهای آبی بیش از 94 درصد است، بنادر به عنوان مبادی ورودی کشور در نظر گرفته شده اند. سپس زمینه های نظری روش برنامه ریزی خطی (LP)، خصوصیات و فرضهای اساسی برنامه ریزی خطی، شیوه ساخت مدل و مدل عمومی ریاضی در برنامه ریزی خطی مشخص شده و روش ساخت مدل عرضه و تقاضا ارائه می شود. همچنین برای منطقه بندی انتخابی در این تحقیق با توجه به عوامل مهم از قبیل جمعیت، شبکه توزیع، موقعیت جغرافیایی استانها، وضع موجود شبکه راه های استانی و نرخ خدمات رسانی حمل و نقل، استانهای کشور به عنوان مراکز مصرف در نظر گرفته شده اند. ضرایب تابع هدف در مدل تقاضا، کرایه حمل مبدأ - مقصد کالا هستند و در توابع قید نیز ظرفیت هریک از مبادی ورودی و نیاز هر استان از کل واردات کشور ضرایب توابع هستند. این ارقام براساس اطلاعات سازمان راهداری و حمل و نقل جاده ای و سازمان بنادر و کشتیرانی استخراج شده اند. نهایتاً به کمک روش برنامه ریزی خطی، مقادیر حمل بهینه کالاهای وارداتی از بنادر به مراکز استانها، مقدار استفاده از ظرفیت هر یک از مبادی، آنالیز حساسیت مربوط به مسئله و قیمت های سایه<sup>1</sup> مربوط به محدودیت ها و هزینه های فرصت مشخص شده اند.

واژه های کلیدی: برنامه ریزی خطی، تقاضای کالا، عرضه کالا، شبکه حمل و نقل

## 1. مقدمه

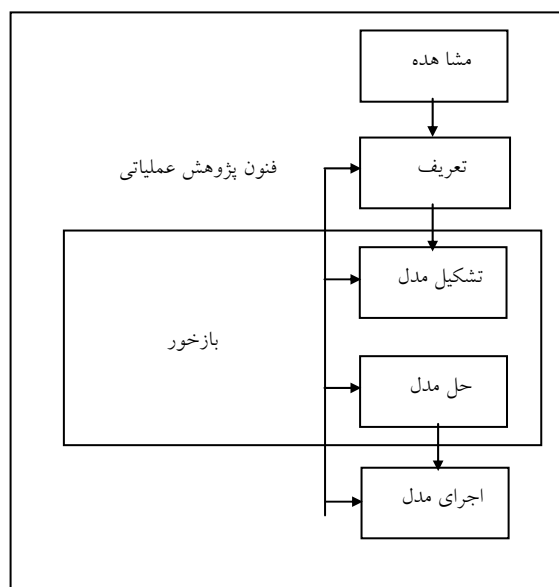
اجرای مدل است. مراحل یک تجسس علمی در شکل 1 نمایش داده شده اند.

روش علمی پژوهش عملیاتی مستلزم فرایندی سیستماتیک از مشاهده، تعریف مسأله، تشکیل مدل، حل مدل، کسب نتایج و

ظرفیت هر یک از مبادی، آنالیز حساسیت مربوط به مسئله و قیمت‌های سایه مربوط به محدودیت‌ها و هزینه‌های فرصت<sup>4</sup> ارائه می‌شوند.

## 2. بررسی وضعیت حمل کالا در کشور

در سالهای اخیر از مجموع واردات و صادرات، سهم حمل و نقل جاده‌ای 4 درصد، حمل و نقل ریلی 2 درصد و سهم حمل و نقل دریایی 94 درصد بوده است. به همین دلیل با توجه به نقش و اهمیت زیاد واردات و صادرات از طریق دریا، بنادر مهم کشور که بیش از 94 درصد سهم واردات کشور از طریق آنها صورت می‌گیرد به عنوان مبادی اصلی ورودی در نظر گرفته می‌شوند. در ادامه به معرفی این مبادی پرداخته می‌شود.



شکل 1. فرآیند پژوهش عملیاتی

### 1-2 معرفی مبادی ورودی مهم کالا به کشور

در میان بنادر تجارتي ایران، سالیانه حدود نیمی از مبادلات غیرنفتی کشور به تنهایی از طریق بندر امام خمینی انجام می‌شود. از این رو مهم‌ترین و بزرگ‌ترین پایانه تجارتي ایران است. این بندر ظرفیت پذیرش سالیانه 35 میلیون تن کالا را دارد. بندرصادرات نفتی ماهشهر، اسکله‌های اختصاصی شرکت شیمیایی رازی، اسکله‌های اختصاصی شرکت پتروشیمی امام، بندر خرمشهر و بندرآبادان از بنادر تابعه بندر امام خمینی هستند. بندر عباس یکی دیگر از مهم‌ترین بنادر کشور است. این بندر، دارای ظرفیت پذیرش حدود 30 میلیون تن کالا در سال است. لازم به ذکر است که بنادر مهم: مجتمع بندری شهید رجایی، بندر شهید باهنر، بندر لنگه و کنگ، بندر قشم و درگهان، بندر جاسک، بندرچارک و بنادر نفتی سیری و لاوان، از بنادر مهم استان هرمزگان هستند که در این بنادر، ظرفیت بندر شهید رجایی به تنهایی دارای ظرفیتی حدود 27 میلیون تن در سال است. ظرفیت بندر شهید باهنر، حدود 3 میلیون تن در سال است. بندر چابهار نیز به عنوان یکی دیگر از بنادر مهم جنوبی کشور با ظرفیت پذیرش حدود 3 میلیون تن کالا در استان سیستان و بلوچستان قرار دارد.

ظرفیت بندر شمال کشور به مراتب کمتر از ظرفیت بندر جنوبی است. در حال حاضر بنادر شمال کشور ظرفیت سالیانه 7 میلیون

اگر مسأله حل شده از نوع تکرار پذیر باشد، روش علمی می‌تواند مدلی باشد که از آن برای حل مسائل مشابه استفاده شده است. فرآیند ایجاد مدل‌های تعمیم یافته به عنوان برخوردی استقرایی برای ساختن مدل شناخته شده است. همچنین می‌توان مدل‌های عمومی<sup>2</sup> را با استفاده از برخورد قیاسی ایجاد کرد.

این کار مبتنی بر فرضیات معین (مانند خطی بودن، غیر احتمالی بودن و پیوسته بودن متغیرها) است. این مدل عمومی با بهره‌گیری از قوانین ریاضی ایجاد می‌شود. در این پژوهش نیز با توجه به خطی بودن فعالیت‌ها، از مدل‌های عمومی استفاده شده است [1].

تحقیق حاضر یک بررسی علمی به منظور معرفی مقادیر بهینه حمل کالاهای وارداتی از مبادی ورودی به مراکز مصرف است که در این ارتباط مقادیر آن برای تقاضا کنندگان حمل جاده‌ای کالا از مبادی به داخل کشور به دست آورده می‌شوند و مبحث مورد نظر توزیع فیزیکی کالا از چندین محل تولید به مراکز مصرف است. با تعیین مدل تعادلی عرضه و تقاضا در سطح کشور، مقادیر بهینه حمل کالاهای وارداتی از مبادی ورودی به مراکز مصرف با کمترین هزینه‌های حمل و نقل کالاهای وارداتی بررسی می‌شود.

در این مقاله ابتدا مبادی ورودی مهم کشور معرفی می‌شوند. سپس با تعریف زمینه‌های نظری روش برنامه‌ریزی خطی<sup>3</sup>، روش ساخت مدل تقاضا معرفی شده و در نهایت نیز نتایج حاصل از حل مدل تقاضا، شامل مقادیر بهینه حمل کالا از هر مبدأ، مقدار استفاده از

کالای تجارتي و 1/5 میلیون تن مواد نفتی)، و بندر نوشهر ظرفیت n: تعداد مراکز مصرف) هزینه است، به طوری که هزینه کل جمع هزینه‌های حمل از هر مبدأ به هر مقصد باشد که از ضرب کرایه حمل هر تن کالا در مقدار تناژ حمل شده به هر مبدأ - مقصد، به دست می آید. بنابراین تابع هدف به شکل زیر است:

$$\text{MIN } Z = C_{11}X_{11} + C_{12}X_{12} + \dots + C_{1,28} X_{1,28} \\ + C_{21}X_{21} + C_{22}X_{22} + \dots + C_{2,28} X_{2,28}$$

(1)

$$+ C_{61}X_{61} + C_{62}X_{62} + \dots + C_{6,28} X_{6,28}$$

#### 4-1 متغیرهای تصمیم گیری

در این مدل، متغیرهای تصمیم گیری، مقادیر کالاهایی هستند که از مبدأ ورودی به هر مرکز مصرف، حمل شده اند که با  $X_{ij}$  نمایش داده می شوند. در این نماد، اندیس i مربوط به مبدأیی است که کالا در آنجا بارگیری می شود و اندیس j مربوط به مقصد یا همان مناطق مصرف است که کالا به آنجا حمل می شود.

در این تحقیق  $i=6$  برابر تعداد بنادر مهم کشور به عنوان مبادی ورودی انتخاب شده و  $j=28$  برابر تعداد استانهای سطح کشور در نظر گرفته شده است [4].

نکته‌ای که بیان آن در اینجا ضروری است این است که کالای حمل شده از انواع مختلف از جمله کالاهای اساسی، نظیر: گندم، برنج، روغن گیاهی، گوشت، شکر، آهن‌آلات، کود شیمیایی و ... و در مواردی نیز کالاهای نفتی هستند. تقاضای مناطق مصرف کشور، نیز به طور عمده شامل تمامی کالاها است.

در تحقیق حاضر، همه کالاها به صورت یکجا و با توجه به وزن مورد نظر قرار گرفته‌اند که این مسئله در کیفیت نتایج حاصله تأثیری نخواهد گذاشت. در هر حال همان کالاهایی که مورد تقاضای سکونتگاه A است، می تواند در مورد تقاضای سکونتگاه B نیز باشد البته بسته به مقدار مصرف، هر سکونتگاه می تواند کمتر و یا بیشتر تقاضا کند.

تن را دارند که بندر انزلی، ظرفیت 3 میلیون تن (1/5 میلیون تن 3 میلیون تن (1 میلیون تن کالای تجارتي و 2 میلیون تن مواد نفتی) را دارند.

بنابراین در این تحقیق مبادی ورودی کالا 6 بندر مرکزی و مهم کشور در نظر گرفته شده اند که عبارتند از بنادر عباس (شامل 2 بندر شهید رجایی و شهید باهنر) بندر امام خمینی، بندر چابهار (شهید بهشتی)، بندر بوشهر، بندر انزلی و بندر نوشهر [2].

### 3. ساخت مدل و روش تحقیق

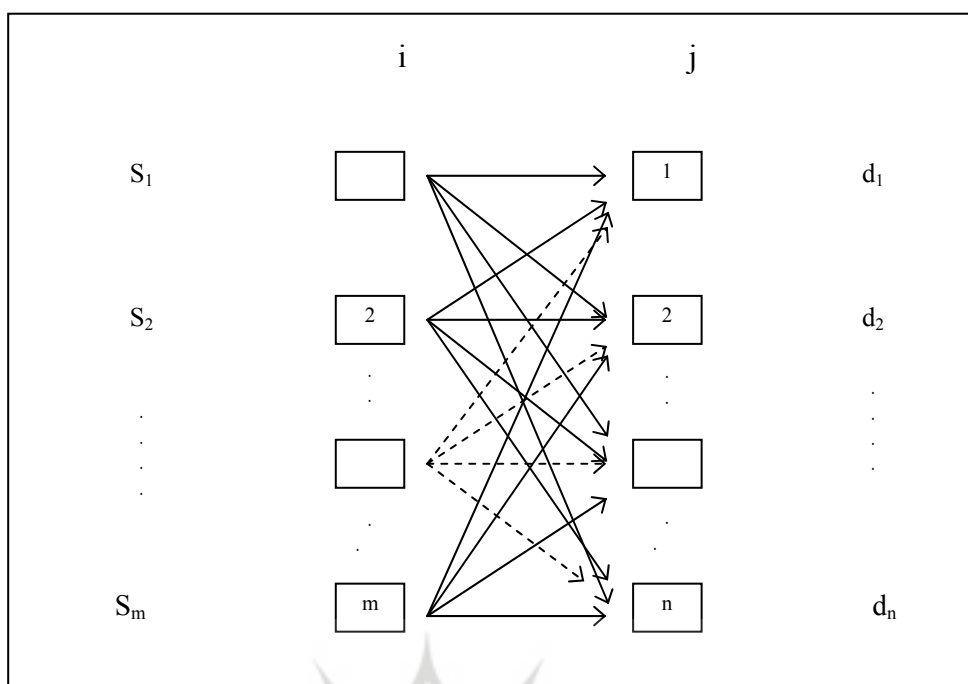
معمولاً در مسایلی از این دست که هدف نهایی آنها حداکثر یا حداقل کردن یک تابع چند متغیره است، از مدل‌های برنامه ریزی خطی استفاده می شود. مدل برنامه ریزی، شامل مناسب ترین ترکیب از منابع محدود در رسیدن به هدف یا هدفهای مورد نظر است. در صورتی که روابط فی مابین عوامل، خطی و نیز راه حل‌های مختلفی در برنامه ریزی موجود باشند، وجود راه حل‌های مختلف در برنامه ریزی خطی، نشان دهنده این است که فعالیتها یا متغیرهای تصمیم گیری، باید دارای خواص جمع پذیری و تقسیم پذیری باشند [3].

در قلمرو پژوهش عملیاتی، حمل و نقل مقدار معینی از یک محصول از m نقطه به عنوان مبدأ برای عرضه، به n نقطه به عنوان مقصد به منظور تأمین تقاضای مقصدها، به صورت یک مدل حمل و نقل با توجه به شبکه توزیع شکل 2 تعریف می شود.

مسئله ای که در این تحقیق مورد توجه قرار دارد این است که مقدار حمل کالا از هر یک از مبادی ورودی کالا به هر یک از مقاصد (مراکز مصرف) چه مقدار باشد تا ضمن برآورده شدن تمامی تقاضاها، هزینه کل حمل و نقل حداقل شود.

### 4. مدل تابع تقاضا و تعیین تابع هدف

در مدل تقاضا هدف پیدا کردن مقادیر بهینه حمل کالا از بنادر به مراکز مصرف کشور است، به نحوی که کل هزینه‌های حمل و نقل کالاهای وارداتی از مبادی ورودی به مراکز مصرف حداقل شود. به عبارت دیگر، دستیابی به شرایط تقاضایی که کل هزینه‌های حمل و نقل کالاها را حداقل کند که به عبارت ساده، این شرایط را شرایط تعادلی تقاضای حمل و نقل گویند. بنابراین در تابع هدف، هدف حداقل کردن جمع  $m \times n$  (m: تعداد مبادی ورودی و



شکل 2. شبکه توزیع برای یک مدل حمل و نقل

#### 2-4 محدودیت های مدل تقاضا

در مدل مورد بررسی 3 دسته پارامتر وجود دارند. دسته اول، ضریبهایی هستند که در تابع هدف به کار می روند که با  $C_{ij}$  نشان داده شده اند. عبارت از کرایه حمل و نقل هر تن - کیلومتر کالا از مبدأ  $i$  به محل مصرف  $j$  است. دسته دوم از پارامترها، آنهایی هستند که در سمت چپ معادله های محدودیتها (نامعادله ها)، بکار گرفته شده اند، یعنی ضریب های متغیرها در محدودیتها هستند، اما از آنجا که در تابع هدف، حمل و نقل هر واحد کالا (تن) بر حمل و نقل دیگر کالاها مزیتی ندارد، بنابراین همه آنها برابر واحد (عدد 1) خواهند بود و دسته سوم، پارامترهایی هستند که سمت راست نامعادله های محدودیتها (معادله ها) را تشکیل می دهند و به تعداد 34 محدودیت هستند، که 6 محدودیت آنها، نشان دهنده مقدار عرضه هر یک از مبادی به تمام مقاصد (ظرفیت بندر) بوده و با  $S_i$  نمایش داده می شوند و 28 محدودیت دیگر، مقدار تقاضای هر یک از مراکز مصرف را از تمامی مبادی ورودی کالا به داخل کشور (نیاز هر استان از سهم واردات) بیان می کنند و با  $d_j$  نمایش داده می شوند.

#### 3-4 تعیین معادله ها و نامعادله های مدل

$S_i$ ، مقدار ظرفیت عرضه اسمی هر مبدأ ورودی است و  $d_j$ ، مقدار تقاضای کالاهای وارداتی هر مقصد است. بنابراین مجموع کالایی که از هر مبدأ فرستاده می شود حداکثر برابر با ظرفیت اسمی آن مبدأ است و مجموع کالاهایی که هر مقصد از تمامی مبادی دریافت می کند، برابر تقاضایی است که آن مقصد برای کالاهای وارداتی دارد [5 و 6].

محدودیت های مربوط به منابع، عبارتند از:

$$\begin{aligned} X_{11} + X_{12} + \dots + X_{1,28} &< S_1 \\ X_{21} + X_{22} + \dots + X_{2,28} &< S_2 \\ &\dots \\ X_{61} + X_{62} + \dots + X_{6,28} &< S_6 \end{aligned} \quad (2)$$

و محدودیت های مربوط به بازارها، عبارتند از:

$$\begin{aligned} X_{11} + X_{21} + \dots + X_{61} &< d_1 \\ X_{12} + X_{22} + \dots + X_{62} &< d_2 \\ &\dots \end{aligned} \quad (3)$$

جاده ای استفاده شده است. ضرایب قیمت مورد استفاده در مدل  $(C_{ij})$  ها در جدول (1) نمایش داده شده اند [7].

در تابع‌های قید نیز 2 ضریب عمده ظرفیت هر یک از مبادی ورودی و نیاز هر استان از کل واردات کشور لازم است. مقدار نیاز هر استان از جمع کل واردات از مبادی مختلف به داخل استان  $(d_j)$  ها براساس آخرین آمار سازمان راهداری و حمل‌ونقل جاده ای به دست آمد که در جدول (2) نمایش داده شده است. مقادیر نشان داده شده توسط سیستم حمل و نقل جاده‌ای جابه‌جا می‌شود و بر همین اساس یافته‌های مدل نیز مقادیر بهینه حمل کالا توسط سیستم حمل و نقل جاده ای از مبادی ورودی به مراکز استانها را مشخص می‌کند.

### 5. مدل عرضه

در مدل عرضه، هدف، به دست آوردن مقادیر بهینه عرضه حمل کالا از هر یک از مبادی ورودی کالا از خارج به هر یک از مراکز مصرف در داخل کشور است به طوری که سود حمل‌کنندگان را به عنوان یک کل، به مقدار بیشینه برساند. پس در اینجا، مسئله، عکس مدل تقاضای حمل و نقل است، یعنی مدل برنامه‌ریزی به صورت یک الگوی حداکثر کننده مطرح می‌شود. اگرچه هدف مدل عرضه، عکس هدف مدل تقاضاست. اما در کلیت مسئله، هر 2 مدل از یک شیوه کلی پیروی می‌کنند و همچنین در تعداد فعالیتها و متغیر تصمیم مشترک و یکسانند. نهایتاً مدل تابع عرضه به شکل زیر است:

$$MaxH = \sum_{i=1}^6 \sum_{j=1}^{28} (C_{ij} - P_{ij}) X_{ij}$$

$$\sum_{j=1}^n X_{ij} \leq s_i \quad i=1,2,3, \dots, 6$$

(6)

$$\sum_{i=1}^m X_{ij} = d_j \quad j=1,2,3, \dots, 28$$

$$\sum \sum X_{ij} \geq 0$$

$$X_{1,28} + X_{2,28} + \dots + X_{6,28} < d_{28}$$

اگر الگو به صورت فشرده نوشته شود:

$$MinZ = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n C_{ij} X_{ij}$$

$$\sum_{j=1}^n X_{ij} \leq s_i \quad i=1,2,3, \dots, 6$$

(4)

$$\sum_{i=1}^m X_{ij} = d_j \quad j=1,2,3, \dots, 28$$

$$\sum \sum X_{ij} \geq 0$$

علاوه بر مطالب فوق فرض بر این است که:

(5)

$$\sum_i s_i = \sum_j d_j$$

یعنی مجموع مقدار کل عرضه با مجموع مقادیر تقاضا برابر است. چون ظرفیت مبادی ورودی بیش از نیازهای داخلی است، بنابراین، طرف مبادی با یک مازاد ظرفیت روبه رو است. برای جبران این مازاد ظرفیت، باید متغیرهای دائمی برای طرف عرضه کالا از مبادی در نظر گرفت که این متغیر در مدل کامپیوتری عملاً با قید  $\sum X_{ij} \leq s_i$  وارد می‌شوند.

### 4-4 تعیین ضرایب مدل تقاضا

همان‌طور که قبلاً بیان شد، متغیر تصمیم‌گیری در تابع هدف، مقادیر حمل کالا از هر مبدأ ورودی به هر استان است که با شرایط حداقل کردن هزینه‌های حمل و نقل این کالاها برای صاحبان کالاها می‌باید به عنوان یک کل تعیین شود. بنابراین در تابع هدف ضریب کرایه حمل مبدأ - مقصد کالا مورد نظر است. با توجه به اینکه در بررسی انجام شده، 6 مبدأ ورودی کالا و 28 استان به عنوان مراکز مصرف و مقصدهای سفر در نظر گرفته شده‌اند، در مجموع  $28 \times 6$  برابر 168 ضریب قیمت وجود دارد که ضریب‌های متغیر تصمیم‌گیری در تابع هدف مدل هستند که برای به دست آوردن آنها از استخراج میانگین هزینه‌های حمل و نقل از اطلاعات موجود در برنامه‌های سازمان راهداری و حمل و نقل

در مدل فوق همانند مدل تقاضا، پارامتر  $C_{ij}$  برابر کرایه هر تن - کیلومتر کالا است و پارامتر  $P_{ij}$  برابر هزینه حمل هر تن - کیلومتر کالا است. بنابراین، ضریب‌های فعالیت‌های تابع هدف، یک متغیر تلفیقی است که نتیجه آن، سود است [8].

جدول 1. میانگین نرخ کرایه حمل کالا (تن- کیلومتر) از بنادر به مراکز استانها

بندر عباس	بندر چابهار	بندر بوشهر	بندر انزلی	ماه شهر	نوشهر	
150	118	184	218	157	236	اذربایجان شرقی
148	326	204	172	172	193	اذربایجان غربی
139	109	145	386	153	272	اردبیل
170	136	258	159	195	180	اصفهان
171	146	203	190	209	172	ایلام
197	181	517	202	259	141	بوشهر
170	168	340	254	176	347	تهران
181	135	253	165	240	250	چهارمحال و بختیاری
164	130	187	139	142	153	خراسان
189	201	350	122	369	129	خوزستان
154	108	167	327	167	378	زنجان
163	104	165	160	153	284	سمنان
172	270	194	149	154	113	سیستان و بلوچستان
233	175	336	124	250	135	فارس
164	126	184	250	169	286	قزوین
184	115	204	241	271	337	قم
145	115	255	233	186	243	کردستان
196	198	220	113	166	136	کرمان
140	137	169	153	191	186	کرمانشاه
211	173	234	190	343	158	کهگلویه و بویر احمد
149	120	170	220	161	245	گلستان
160	128	188	506	169	448	گیلان
188	102	191	182	208	194	لرستان
133	173	184	314	169	1043	مازندران
173	121	159	219	178	209	مرکزی
223	449	278	182	197	109	هرمزگان
155	199	226	185	193	218	همدان
205	215	190	125	178	175	یزد
172	167	227	210	200	249	میانگین کرایه

جدول 2. مقدار تقاضای هر یک از مراکز مصرف از تمامی مبادی ورودی کالا به داخل کشور (تن)

جمع (dj)	بندر عباس	بندر چابهار	بندر بوشهر	بندر انزلی	ماه شهر	نوشهر	
897423	220152	2957	14794	295867	309722	53931	اذربایجان شرقی
296000	68662	87	4691	45757	168708	8095	اذربایجان غربی
168233	52287	456	7063	23851	76327	8249	اردبیل
2635192	1281168	30396	63680	380026	734566	145356	اصفهان
103646	11406	90	171	1179	90317	483	ایلام
1112384	615053	2436	344755	7922	137369	4849	بوشهر
7848801	4021612	96305	247913	1474492	1461752	546727	تهران
140482	54518	1840	1994	3127	78323	680	چهارمحال و بختیاری
1300690	647073	99205	14696	116773	346409	76534	خراسان
1625350	118794	8196	19450	70492	1360045	48373	خوزستان
240685	122138	8147	790	18737	88611	2262	زنجان
368456	117916	11585	1504	60391	166752	10308	سمنان
394674	170794	198746	2014	3740	13560	5820	سیستان و بلوچستان
1316692	643747	8456	214784	40408	397765	11532	فارس
1017985	414564	10992	58248	198936	296409	38836	قزوین
675253	184794	5943	76790	14097	382873	10756	قم
133690	23015	1507	1351	3459	102858	1500	کردستان
970878	751722	18877	9057	66261	102224	22737	کرمان
569150	71811	890	7328	23651	459471	5999	کرمانشاه
81191	15865	104	26038	713	38113	358	کهگلویه و بویر احمد
203539	53483	2313	17118	4742	101898	23985	گلستان
475619	206525	11749	29041	86185	128740	13379	گیلان



225927	41970	1534	8396	18365	152881	2781	لرستان
1033179	271070	2933	9088	56960	547935	145193	مازندران
1051916	309657	4766	5567	82046	612594	37286	مرکزی
1141966	1019692	8779	17586	21197	65364	9348	هرمزگان
264407	54916	603	12879	19109	169676	7224	همدان
759531	428839	13192	14476	111268	172952	18804	یزد
27052939	11993243	553084	1231262	3249751	8764214	1261385	جمع (ظرفیت فعلی مورد استفاده)

## 6. شرایط تعادلی عرضه و تقاضا

$F_j^i(X)$  = تابع چگالی احتمالی وابسته که مربوط به فرد

I برای زامین نتیجه،

به طوری که معادله (7) تابع مطلوبیت گروه و معادله (8) وابسته به گروه هستند. با داشتن معادله های فوق، تصمیم گروه می تواند انجام شود، به گونه ای که مطلوبیت انتظاری گروه حداکثر شود. به طور مشخص باید:

$$\text{MAXE}_j [W(X)] \quad j \in A \quad (9)$$

$$E_j [W(X)] = \sum_{\forall X} W(X) F_j(X)$$

در این تحقیق نیز شرایط تعادلی عرضه و تقاضا به تصمیم گیری 2 گروه مربوط می شود. عرضه کننده (صاحبان کامیون)، که خواهان حداکثر کردن سود، و گروه تقاضا کننده (صاحبان کالا)، که در پی حداقل کردن هزینه های حمل و نقل کالا هستند. در اینجا نیز چارچوب مدل، برنامه ریزی خطی انتخاب شده است که در آن، با اجرا شدن همزمان دو هدف، هدف عمومی برای همه جامعه برآورده می شود [9 و 10].

برای این کار دو تابع با یکدیگر جمع می شود:

$$\text{Max} \sum_{i=1}^6 \sum_{j=1}^{28} (C_{ij} - P_{ij}) X_{ij} + \text{MIN} \sum_{i=1}^6 \sum_{j=1}^{28} C_{ij} X_{ij} \quad (10)$$

(10)

در صورت حل مدل عرضه و تقاضا، مقادیر حمل کالا بین هر زوج مبدأ - مقصد به طور مجزا برای شرایط بهینه عرضه کنندگان و تقاضا کنندگان به دست می آید. از این نتایج مقادیر مازاد یا کمبود عرضه یا به عبارت دیگر، اختلاف عرضه به دست می آید. اما به منظور برقراری تعادل بازار می باید مقدار این اختلاف در هر مسیر صفر باشد. بنابراین، برای به دست آوردن شرایط تعادلی بازار، می باید تابعهای هدف عرضه و تقاضا را به طور همزمان بهینه کرد. به عبارت دیگر لازم است که تابع هدف تقاضا، حداقل و تابع هدف عرضه، حداکثر شود و شرایطی ایجاد شود که هم سود عرضه کنندگان به بیشینه مقدار خود برسد و هم هزینه های حمل صاحبان کالا حداقل شود. بر این اساس در برنامه ریزی خطی از مدل های چند هدفی استفاده شده است [9].

## 7. مدل های چند هدفی (روش رفتار اخلاقی)

اگر افراد گروه و خود گروه، به عنوان یک ماهیت مستقل باشند و هر دو بر اساس اصول مطلوبیت رفتار کنند، مسئله تصمیم گیری جمعی اساساً شامل پیدا کردن قاعده های جمعی F و G به صورت زیر است.

$$W(X) = G[U_1(X), U_2(X), \dots, U_N] \quad (7)$$

که در آن:

$$U_i(X) = \text{تابع مطلوبیت فرد } i$$

$$W(X) = \text{تابع مطلوبیت گروه}$$

در تابع  $\text{Min} Z = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n C_{ij} X_{ij}$ ، چون کمینه کردن مقدار Z به

مفهوم حداکثر (-Z) است لذا برای بیشینه کردن تابع هدف کفایت، مقدار کمینه به صورت منفی در نظر گرفته شود:

$$F_j(X) = F[F_j^1(X), F_j^2(X), \dots, F_j^N(X)] \quad (8)$$

که در آن:

$$\text{Max}: \sum_{i=1}^6 \sum_{j=1}^{28} (C_{ij} - P_{ij}) X_{ij} - \sum_{i=1}^6 \sum_{j=1}^{28} C_{ij} X_{ij} \quad (11)$$

و یا:

به بندر دیگر یکی است (یعنی کرایه حمل کالا از بنادر خارجی به خلیج فارس از هر مبدایی به هر مقصدی در این منطقه تفاوتی نمی‌کند) انتخاب بندر وارد کننده کالا در جنوب کشور، به عهده شرایط بهینه مدل است.

$$\sum X_{ij} = SD_i \quad j=1,2,3, \dots, 28 \quad (13)$$

(مقدار عملکرد واردات از بنادر جنوب به مراکز مصرف)

همین استدلال برای واردات از مبادی ورودی شمال کشور نیز وجود دارد، یعنی می باید نسبت تقریباً معینی از کالاهای وارداتی، از مبادی شمالی وارد شوند. قید این بخش به صورت زیر است:

$$\sum X_{ij} = SD_i \quad j=1,2,3, \dots, 28 \quad (14)$$

(مقدار عملکرد واردات از مبادی شمالی به مراکز مصرف)

به این ترتیب با قیدهای اعمال شده مراکز مصرف، کالاهای مورد نیازشان را باید حداقل از 2 مبدا ورودی وارد کنند.

## 9. نتایج

چون مدل برای حداقل ساختن هزینه های حمل کالاهای وارداتی به مراکز مصرف تدوین شده است، نتایج مدل نیز می باید مجموع هزینه های حمل کالاها را حداقل کند. براساس پاسخ های به دست آمده از حل مدل، جمع هزینه های حداقل شده حدود 3156 میلیارد ریال می شود که حاصل از حل مسئله با 34 تکرار است. این هزینه حداقل شده، براساس مقادیر بهینه حمل کالا که در نتایج مدل به دست آمده اند، برقرار می شود. در سال 1382 هزینه حمل کالاها از مبادی ورودی به مناطق مصرف حدود 4225 میلیارد ریال بوده که با اجرای توزیع بهینه مقادیر حمل کالا سالیانه 1069 میلیارد ریال از این محل صرفه جویی خواهد شد [1]. مبلغ صرفه جویی حاصل از اجرای توزیع بهینه مقادیر حمل کالا برای سالهای آینده نیز به راحتی از فرمول زیر محاسبه می شود.

$$P = p(1+i)^n \quad (15)$$

که در آن:

n = سال پایه - سال مورد نظر

$$MIN: \sum_{i=1}^6 \sum_{j=1}^{28} C_{ij} X_{ij} - \sum_{i=1}^6 \sum_{j=1}^{28} (C_{ij} - P_{ij}) X_{ij}$$

$$\sum X_{ij} \leq S_i \quad i=1,2,3, \dots, 6 \quad (12)$$

$$\sum X_{ij} = d_j \quad j=1,2,3, \dots, 28$$

## 8. الگوی تکمیلی

مسیر حمل و نقل جاده ای کالاهای وارداتی در داخل کشور، تنها به هزینه های حمل و نقل در داخل کشور بستگی ندارد و عوامل تعیین کننده مهم دیگری نیز در این رابطه بسیار مؤثرند، تنها حل مسئله به شیوه فوق نمی تواند گویای تمامی مسایل باشد، گرچه به نوبه خود از آنها استفاده خواهد شد. در هر حال، یکی از عوامل مهم انتخاب مسیر کالاهای وارداتی، محل بازارهای خارجی کالای خریداری شده برای واردات و مسیرهای ممکن حمل آنها به ایران است که این عامل در تعیین محل ورود کالا یا به عبارت بهتر مبدا ورودی کالا، اثر عمده و اصلی را دارد. به طور مثال، کالاهایی که از بنادر جنوبی به دلیل متصل بودن به دریای آزاد وارد کشور می شود را نمی توان از بنادر شمالی وارد کرد. علاوه بر این، عامل مهم دیگر و تعیین کننده مسیر حمل کالاهای وارداتی از بازار خرید تا مرزهای کشور، هزینه های حمل و نقل این کالا از بازار خرید تا مرزهای کشور است.

این هزینه ها باعث می شوند که کالاهای حجیم و نسبتاً ارزان قیمت، اغلب از طریق راه های آبی، نهایتاً به بنادر کشور وارد شوند، به همین دلیل در سالهای اخیر بیش از 94٪ کالاهای وارداتی از طریق بنادر وارد شده اند و تنها در برخی موارد هزینه های حمل از طریق خشکی ارزان تر بوده و کالا از مرزهای زمینی وارد کشور شده است. اما چون اغلب، این گونه کالاها، به تقریب در صد مشخصی از کالاهای وارداتی کشور است و مجموعه عوامل تعیین کننده در محل خرید، مسیر حمل و نقل و محل ورود کالا به داخل کشور در شرایط عادی ثابت است، به همین دلیل نسبت ثابتی از کالاهای وارداتی از بنادر جنوبی و بنادر شمالی وارد کشور می شود که می توان قید جدیدی را وارد مسئله کرد که واردات از مبادی جنوبی را محدود کند، اما به دلیل آن که قیمت یا کرایه حمل کالاها از طریق دریا برای حمل کالا از بنادر یک منطقه به بنادر منطقه دیگر که نزدیک به هم هستند از بندری



## بررسی و ارزیابی شرایط تعادلی عرضه و تقاضا برای حمل کالا از مبادی ورودی به مناطق مصرف

می دهند که مقادیر بهینه ای که هزینه های حمل کالاهای وارداتی را حداقل می کنند، با این عملکرد مغایرند. به طور مثال از برخی مبادی، باید تنها برای دو استان کالا وارد شود مثلاً از بندر نوشهر می باید فقط برای استانهای تهران و گلستان کالا وارد شود. خلاصه مقادیر بهینه بدست آمده از پاسخ مسئله در جدول (3) نشان داده شده است:

جدول 3. مقادیر بهینه کالای حمل شده از مبادی ورودی (بندر) به مراکز مصرف (استانها) - تن

بندر عباس	بندر چابهار	بندر بوشهر	بندرانزلی	بندر امام خمینی	بندر نوشهر	
		1/112/384	897/423			آذربایجان شرقی
				296/000		آذربایجان غربی
			168/233			اردبیل
				2/635/192		اصفهان
				103/646		ایلام
						بوشهر
			72/284	4/980/056	2/796/461	تهران
				140/482		چهارمحال و بختیاری
	1/300/690					خراسان
				1/625/350		خوزستان
				240/685		زنجان
			368/456			سمنان
674/394						سیستان و بلوچستان
		1/316/692				فارس
			1/017/985			قزوین
	185/520	489/733				قم
				133/690		کردستان
970/878				569/150		کرمان
		81/191				کرمانشاه
						کهگیلویه و بویر احمد
					203/539	گلستان
			475/619			گیلان
				225/927		لرستان
1/033/179						مازندران
				1/051/916		مرکزی
1/141/966						هرمزگان
				264/407		همدان
759/531						یزد

ضریب های حساسیت مسئله نشان دهنده محدودهای هستند که در آن محدوده، ضریب های کرایه حمل کالا برای هر زوج مبدا - مقصد می توانند تغییر کنند، بدون اینکه در نتایج انتخابهای مبدا - مقصد های حمل کالا در پاسخ بهینه تغییری ایجاد شود. این محدوده برای مقادیر کالای متعلق به زوجهای مبدا - مقصدی که نباید بین آنها کالا حمل شود، دارای حداقل صفر و حداکثر بی نهایت است، اما برای زوجهای مبدا - مقصد منتخب بهینه معکوس است.

ضریب های حساسیت برای قیدهای مدل نیز به دست آمده اند که این ضریب ها برای قیدهای ظرفیت مبادی، تماماً دارای حد پایین و

$i =$  نرخ رشد کرایه هر تن - کیلومتر طی شده از مبادی ورودی به مراکز مصرف است که با توجه به آمار و اطلاعات، میانگین نرخ رشد برای پنج سال گذشته حدود 10 درصد بوده است. به همین دلیل نرخ رشد سالیانه 10 درصد در نظر گرفته می شود. علی رغم اینکه در عمل، کالاهای وارداتی از هر مبدأ ورودی تقریباً به تمامی نقاط کشور فرستاده می شوند، نتایج مدل نشان

ضریب هزینه فرصت که نشان دهنده هزینه ای است که در صورت ارسال هر تن کالا به مقصد خاصی از مبدأ مشخصی، به حمل کننده تحمیل می شود، در بیشترین مقدار خود برای مبدا - مقصد استان هرمزگان به آذربایجان غربی برابر 627980 ریال است. یعنی هر تن کالایی که به استان آذربایجان غربی از مبدأ چابهار حمل می شود، معادل 627980 ریال هزینه ها را افزایش می دهد. همچنین حمل کالا از مبدأ نوشهر به استان اردبیل، حداقل هزینه فرصت را دارد. با مروری به این هزینه ها، مشاهده می شود که با عملکرد در شرایط بهینه مبالغ قابل توجهی از هزینه های حمل و نقل صرفه جویی می شوند.

production-distribution network design" in Proceedings of the 2004 IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics (SMC2004), The Hague, Netherlands, IEEE (editor).

4. عزتی، مرتضی (1374) «بررسی و تعیین شرایط تعادلی عرضه و تقاضای حمل و نقل جاده‌ای کالا»، موسسه تحقیقات اقتصادی دانشگاه تربیت مدرس.

5. Winston, W.L. (2003) "Opportunity cost operations research : Applications and Algorithms", Duxbury Press, 4<sup>th</sup>. edition (July 25).

6. Ding, H., Benyoucef, L., Xie, X., Hans, C. and Scuumacher (2004) "One, a new tool for supply chain network optimization and simulation", in Proceedings of the 2004 winter simulation conference, New Orleans, USA.

7. سالنامه آماری حمل و نقل جاده‌ای (1382)، دفتر فن‌آوری اطلاعات، سازمان راهداری و حمل و نقل جا ده ای.

8. Terlaky, Tam (2004) "Discrete optimization, a primal algorithm for transportation problem", Department of Computing and Software, McMaster University, Hamilton.

9. Daganzo, C. and Smilowitz, K. (2004) "Bounds and approximations for the transportation problem of linear programming and other scalable network problems", Northwestern University Transportation Science, 38-3, pp. 343-356.

10. Hillier, Frederick, S. and Lieberman, Gerald J. (2002) "Introduction to operations research", McGraw-Hill Science Engineering / Math; 7<sup>th</sup>. edition

بالای بی نهایت هستند، به این معنی که با کاهش ظرفیتها، نتایج مدل دچار تغییر می شود، اما ضریب‌های قیمت‌های مربوط به نیاز هر مقصد حمل کالا (یا مراکز مصرف)، در همه موارد حد پایین محدود (که برخی از این حدود صفر است) و در برخی موارد حد بالای محدودی دارند. حد پایین محدود، نشان دهنده مقداری است که در صورت کاهش نیاز استان مورد نظر به کمتر از آن حد، نتایج مدل تغییر خواهند کرد و هر تغییری در نیاز مقاصد در فاصله این حدود، هیچ گونه اثری بر روی انتخاب‌های مدل نخواهد داشت. ضریب‌های حساسیت قیده‌ای نیاز مراکز مصرف که دارای حد پایین نیز هستند، نشان دهنده مراکزی اند که براساس پاسخ‌های بهینه مدل باید از بیش از یک مبدأ ورودی کالاهای وارداتی مورد نیاز خود را وارد کنند.

بنادر امام خمینی، بندر چابهار و بندرعباس ظرفیت مازاد دارند که ظرفیت های مازاد این بنادر به ترتیب برابر 22/733 میلیون تن، 1/513 میلیون تن و 25/700 میلیون تن هستند.

برای بندر نوشهر قیمت سایه بیشترین مقدار را داشته و برابر 106/842 ریال است و این به آن معنی است که در صورت افزایش هر واحد (یک تن) ظرفیت بندر نوشهر به میزان 106/842 ریال از مقدار تابع هدف کاسته می شود (مجموع هزینه های حمل کالاها در کل کشور کاهش می یابد) و تابع هدف بهبود پیدا می کند. قیمت های سایه بنادر انزلی و نوشهر به ترتیب برابر 88902 ریال و 19263 ریال هستند و نشان دهنده الویت توسعه ظرفیت بنادر به ترتیب برای بنادر نوشهر، انزلی (بنادر شمالی) و بوشهر هستند که با افزایش ظرفیت دو بندر نوشهر و انزلی برای هر یک به مقدار 8 میلیون تن و هم چنین توزیع بهینه مقادیر حمل کالا از بنادر به مناطق مصرف سالیانه رقمی در حدود 2047 میلیارد ریال در هزینه های حمل کالاها صرفه‌جویی خواهد شد.

## 10. مراجع

1. Hamdy A.Taha. (2002) "Operations research: An introduction (7th Edition)", Prentice Hall.

2. وب سایت سازمان بنادر و کشتیرانی ([www.pso.ir](http://www.pso.ir))

3. Ding, H., Benyoucef, L. Xie, X. (2004) "A simulation-based optimization method for

## پانویس‌ها:

- 1- Shadow price
- 2- General models
- 3- Linear programming
- 4- Opportunity cost



پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی  
رتال جامع علوم انسانی