

## 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 ۹۴ 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>۱</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

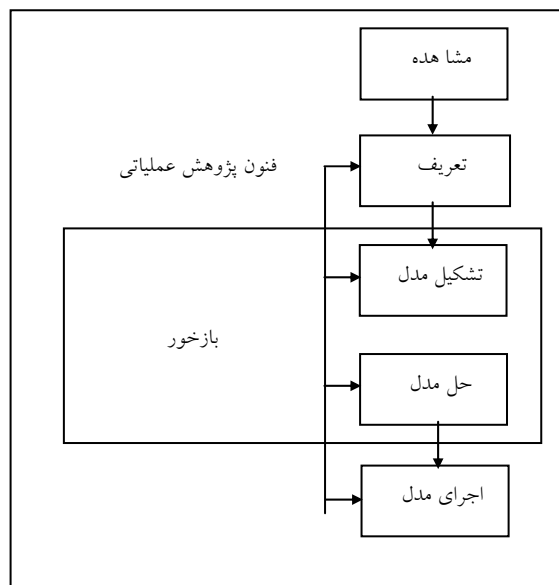
### ۱. مقدمه

روش علمی پژوهش عملیاتی مستلزم فرایندی سیستماتیک از مشاهده، تعریف مسأله، تشکیل مدل، حل مدل، کسب نتایج و اجرای مدل است. مراحل یک تجسس علمی در شکل ۱ نمایش داده شده اند.

قیمت‌های سایه مربوط به محدودیت‌ها و هزینه‌های فرصت<sup>۴</sup>  
 ارائه می‌شوند.

## ۲. بررسی وضعیت حمل کالا در کشور

در سالهای اخیر از مجموع واردات و صادرات، سهم حمل و نقل جاده‌ای ۴ درصد، حمل و نقل ریلی ۲ درصد و سهم حمل و نقل دریایی ۹۴ 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 ۹۴ 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 ۱. فرآیند پژوهش عملیاتی

### ۲-۱ 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 ۳۵ 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 ۳۰ 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 بندر نفتی سیری و لاوان، از بنادر مهم استان هرمزگان هستند که در این بندر، ظرفیت بندر شهید رجایی به تنهایی دارای ظرفیتی حدود ۲۷ میلیون تن در سال است. ظرفیت بندر شهید باهنر، حدود ۳ میلیون تن در سال است.

بندر چابهار نیز به عنوان یکی دیگر از بنادر مهم جنوبی کشور با ظرفیت پذیرش حدود ۳ 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 بندر شمال کشور ظرفیت سالیانه ۷ میلیون تن را دارند که بندر انزلی، ظرفیت ۳ میلیون تن (۱/۵ میلیون تن کالای تجارتي و ۱/۵ میلیون تن مواد نفتی)، و بندر نوشهر ظرفیت

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>۲</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 [۱].

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>۳</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 ظرفیت هر یک از مبادی، آنالیز حساسیت مربوط به مسئله و

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 می‌آید. بنابراین تابع هدف به شکل زیر است:

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

(۱)

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

#### ۴-۱ 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 می‌شوند. در این نماد، اندیس i مربوط به مبدأیی است که کالا در آنجا بارگیری می‌شود و اندیس j مربوط به مقصد یا همان مناطق مصرف است که کالا به آنجا حمل می‌شود.

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 [۴].

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، می‌تواند در مورد تقاضای سکونتگاه B نیز باشد البته بسته به مقدار مصرف، هر سکونتگاه می‌تواند کمتر و یا بیشتر تقاضا کند.

۳ میلیون تن (۱ میلیون تن کالای تجارتنی و ۲ میلیون تن مواد نفتی) را دارند.

بنابراین در این تحقیق مبادی ورودی کالا ۶ بندر مرکزی و مهم کشور در نظر گرفته شده اند که عبارتند از بنادر عباس (شامل ۲ بندر شهید رجایی و شهید باهنر) بندر امام خمینی، بندر چابهار (شهید بهشتی)، بندر بوشهر، بندر انزلی و بندر نوشهر [۲].

#### ۳. ساخت مدل و روش تحقیق

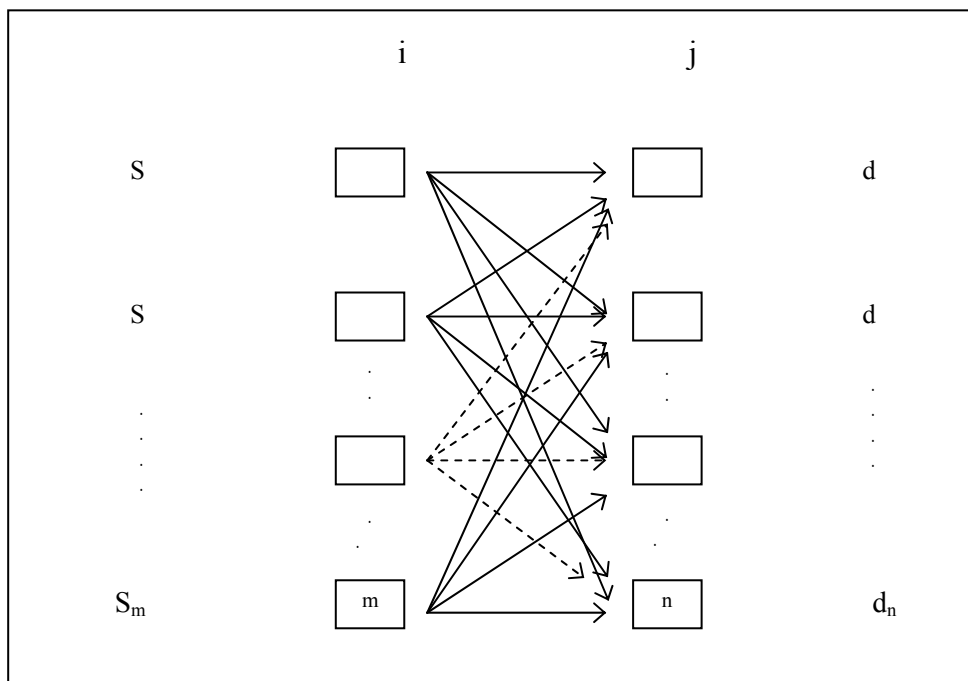
معمولاً در مسایلی از این دست که هدف نهایی آنها حداکثر یا حداقل کردن یک تابع چند متغیره است، از مدل‌های برنامه ریزی خطی استفاده می‌شود. مدل برنامه ریزی، شامل مناسب ترین ترکیب از منابع محدود در رسیدن به هدف یا هدفهای مورد نظر است. در صورتی که روابط فی مابین عوامل، خطی و نیز راه حل‌های مختلفی در برنامه‌ریزی 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 [۳].

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 ۲ تعریف می‌شود.

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.

#### ۴. 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 ۲. شبکه توزیع برای یک مدل حمل و نقل

#### ۲-۴ محدودیت های مدل تقاضا

در مدل مورد بررسی ۳ دسته پارامتر وجود دارند. دسته اول، ضریبهایی هستند که در تابع هدف به کار می روند که با  $C_{ij}$  نشان داده شده اند.  $C_{ij}$  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 محدودیت ها (نامعادله ها)، بکار گرفته شده اند، یعنی ضریب های متغیرها در محدودیت ها 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 ۱) خواهند بود و دسته سوم، پارامترهایی هستند که سمت راست نامعادله های محدودیت -ها (معادله ها) را تشکیل می دهند و به تعداد ۳۴ محدودیت هستند، که ۶ محدودیت آنها، نشان دهنده مقدار عرضه هر یک از مبادی به تمام مقاصد (ظرفیت بنادر) بوده و با  $S_i$  نمایش داده می شوند و ۲۸ 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.

#### ۳-۴ 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 [۵ و ۶].

محدودیت های مربوط به منابع، عبارتند از:

$$\begin{aligned} X_{11} + X_{12} + \dots + X_{1,28} &< S_1 \\ X_{21} + X_{22} + \dots + X_{2,28} &< S_2 \\ \dots & \dots \\ X_{61} + X_{62} + \dots + X_{6,28} &< S_6 \end{aligned} \quad (۲)$$

و محدودیت های مربوط به بازارها، عبارتند از:

$$\begin{aligned} X_{11} + X_{21} + \dots + X_{61} &< d_1 \\ X_{12} + X_{22} + \dots + X_{62} &< d_2 \\ \dots & \dots \\ X_{1,28} + X_{2,28} + \dots + X_{6,28} &< d_{28} \end{aligned} \quad (۳)$$

اگر الگو به صورت فشرده نوشته شود:

( $d_j$  ها) براساس آخرین آمار سازمان راهداری و حمل و نقل جاده ای به دست آمد که در جدول (۲) نمایش داده شده است. مقادیر نشان داده شده توسط سیستم حمل و نقل جاده ای 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.

### ۵. مدل عرضه

در مدل عرضه، هدف، به دست آوردن مقادیر بهینه عرضه حمل کالا از هریک از مبادی ورودی کالا از خارج به هریک 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 ۲ 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:

$$\begin{aligned} \text{Min} Z &= \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n C_{ij} X_{ij} \\ \sum_{j=1}^n X_{ij} &\leq s_i \quad i=1,2,3, \dots, 6 \\ \sum_{i=1}^m X_{ij} &= d_j \quad j=1,2,3, \dots, 28 \\ \sum_i \sum_j X_{ij} &\geq 0 \end{aligned} \quad (4)$$

علاوه بر مطالب فوق فرض بر این است که:

$$\sum_i s_i = \sum_j d_j \quad (5)$$

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 روبه‌رو 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.

### ۴-۴ 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، ۶ مبدأ ورودی کالا و ۲۸ استان به عنوان مراکز مصرف و مقصدهای سفر در نظر گرفته شده‌اند، در مجموع  $28 \times 6 = 168$  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 بارنامه‌های سازمان راهداری و حمل و نقل جاده ای استفاده شده است. ضرایب قیمت مورد استفاده در مدل ( $C_{ij}$  ها) در جدول (۱) نمایش داده شده‌اند [۷].

در تابع‌های قید نیز ۲ ضریب عمده ظرفیت هریک 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

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

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

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

$$\sum_i \sum_j X_{ij} \geq 0$$

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، برای حمل‌کنندگان است. حاصل تفریق  $C_{ij}$  و  $P_{ij}$  ( $C_{ij} - P_{ij}$ ) برابر سود هر تن - کیلومتر کالا، برای حمل‌کنندگان است. بنابراین، ضریب‌های فعالیت‌های تابع هدف، یک متغیر تلفیقی است که نتیجه آن، سود است [۸].

افندی زاده و شاه نظری

جدول ۱. میانگین نرخ کرایه حمل کالا (تن - کیلومتر) از بندر به مراکز استانها

نوشهر	ماه شهر	بندر انزلی	بندر بوشهر	بندر چابهار	بندر عباس	
۲۳۶	۱۵۷	۲۱۸	۱۸۴	۱۱۸	۱۵۰	آذربایجان شرقی
۱۹۳	۱۷۲	۱۷۲	۲۰۴	۳۲۶	۱۴۸	آذربایجان غربی
۲۷۲	۱۵۳	۳۸۶	۱۴۵	۱۰۹	۱۳۹	اردبیل
۱۸۰	۱۹۵	۱۵۹	۲۵۸	۱۳۶	۱۷۰	اصفهان
۱۷۲	۲۰۹	۱۹۰	۲۰۳	۱۴۶	۱۷۱	ایلام
۱۴۱	۲۵۹	۲۰۲	۵۱۷	۱۸۱	۱۹۷	بوشهر
۳۴۷	۱۷۶	۲۵۴	۳۴۰	۱۶۸	۱۷۰	تهران
۲۵۰	۲۴۰	۱۶۵	۲۵۳	۱۳۵	۱۸۱	چهارمحال و بختیاری
۱۵۳	۱۴۲	۱۳۹	۱۸۷	۱۳۰	۱۶۴	خراسان
۱۲۹	۳۶۹	۱۲۲	۳۵۰	۲۰۱	۱۸۹	خوزستان
۳۷۸	۱۶۷	۳۲۷	۱۶۷	۱۰۸	۱۵۴	زنجان
۲۸۴	۱۵۳	۱۶۰	۱۶۵	۱۰۴	۱۶۳	سمنان
۱۱۳	۱۵۴	۱۴۹	۱۹۴	۲۷۰	۱۷۲	سیستان و بلوچستان
۱۳۵	۲۵۰	۱۲۴	۳۳۶	۱۷۵	۲۳۳	فارس
۲۸۶	۱۶۹	۲۵۰	۱۸۴	۱۲۶	۱۶۴	قزوین
۳۳۷	۳۷۱	۲۴۱	۲۰۴	۱۱۵	۱۸۴	قم
۲۴۳	۱۸۶	۲۳۳	۲۵۵	۱۱۵	۱۴۵	کردستان
۱۳۶	۱۶۶	۱۱۳	۲۲۰	۱۹۸	۱۹۶	کرمان
۱۸۶	۱۹۱	۱۵۳	۱۶۹	۱۳۷	۱۴۰	کرمانشاه
۱۵۸	۳۴۳	۱۹۰	۲۳۴	۱۷۳	۲۱۱	کهگلویه و بویر احمد
۲۴۵	۱۶۱	۲۲۰	۱۷۰	۱۲۰	۱۴۹	گلستان
۴۴۸	۱۶۹	۵۰۶	۱۸۸	۱۲۸	۱۶۰	گیلان
۱۹۴	۲۰۸	۱۸۲	۱۹۱	۱۰۲	۱۸۸	لرستان
۱۰۴۳	۱۶۹	۳۱۴	۱۸۴	۱۷۳	۱۳۳	مازندران
۲۰۹	۱۷۸	۲۱۹	۱۵۹	۱۲۱	۱۷۳	مرکزی
۱۰۹	۱۹۷	۱۸۲	۲۷۸	۴۴۹	۲۳۳	هرمزگان
۲۱۸	۱۹۳	۱۸۵	۲۲۶	۱۹۹	۱۵۵	همدان
۱۷۵	۱۷۸	۱۲۵	۱۹۰	۲۱۵	۲۰۵	یزد
۲۴۹	۲۰۰	۲۱۰	۲۲۷	۱۶۷	۱۷۲	میانگین کرایه

جدول ۲. مقدار تقاضای هر یک از مراکز مصرف از تمامی مبادی ورودی کالا به داخل کشور (تن)

نوشهر	ماه شهر	بندر انزلی	بندر بوشهر	بندر چابهار	بندر عباس	جمع (dj)
۵۳۹۳۱	۳۰۹۷۲۲	۲۹۵۸۶۷	۱۴۷۹۴	۲۹۵۷	۲۲۰۱۵۲	۸۹۷۴۲۳
۸۰۹۵	۱۶۸۷۰۸	۴۵۷۵۷	۴۶۹۱	۸۷	۶۸۶۲۲	۲۹۶۰۰۰
۸۲۴۹	۷۶۳۲۷	۲۳۸۵۱	۷۰۶۳	۴۵۶	۵۲۲۸۷	۱۶۸۲۳۳
۱۴۵۳۵۶	۷۳۴۵۶۶	۳۸۰۰۲۶	۶۳۶۸۰	۳۰۳۹۶	۱۲۸۱۱۶۸	۲۶۳۵۱۹۲
۴۸۳	۹۰۳۱۷	۱۱۷۹	۱۷۱	۹۰	۱۱۴۰۶	۱۰۳۶۴۶
۴۸۴۹	۱۳۷۳۶۹	۷۹۲۲	۳۴۴۷۵۵	۲۴۳۶	۶۱۵۰۵۳	۱۱۱۳۳۸۴
۵۴۶۷۲۷	۱۴۶۱۷۵۲	۱۴۷۴۴۹۲	۲۴۷۹۱۳	۹۶۳۰۵	۴۰۲۱۶۱۲	۷۸۴۸۱۰۱
۶۸۰	۷۸۳۳۳	۳۱۲۷	۱۹۹۴	۱۸۴۰	۵۴۵۱۸	۱۴۰۴۸۲
۷۶۵۳۴	۳۴۶۴۰۹	۱۱۶۷۳	۱۴۶۹۶	۹۹۴۰۵	۶۴۷۰۷۳	۱۳۰۰۶۹۰
۴۸۳۷۳	۱۳۶۰۰۴۵	۷۰۴۹۲	۱۹۴۵۰	۸۱۹۶	۱۱۸۷۹۴	۱۶۲۵۳۵۰
۲۲۶۲	۸۸۶۱۱	۱۸۷۳۷	۷۹۰	۸۱۴۷	۱۲۲۱۳۸	۲۴۰۶۸۵
۱۰۳۰۸	۱۶۶۷۵۲	۶۰۳۹۱	۱۵۰۴	۱۱۵۸۵	۱۱۷۹۱۶	۳۶۸۴۵۶
۵۸۲۰	۱۳۵۶۰	۳۷۴۰	۲۰۱۴	۱۹۸۷۴۶	۱۷۰۷۹۴	۳۹۴۶۷۴
۱۱۵۳۲	۳۹۷۷۶۵	۴۰۴۰۸	۲۱۴۷۸۴	۸۴۵۶	۶۴۳۷۴۷	۱۳۱۶۶۹۲
۳۸۸۳۶	۲۹۶۴۰۹	۱۹۸۹۳۶	۵۸۲۴۸	۱۰۹۹۲	۴۱۴۵۶۴	۱۰۱۷۹۸۵
۱۰۷۵۶	۳۸۲۸۷۳	۱۴۰۹۷	۷۶۷۹۰	۵۹۴۳	۱۸۴۷۹۴	۶۷۵۲۵۳
۱۵۰۰	۱۰۲۸۵۸	۳۴۵۹	۱۳۵۱	۱۵۰۷	۲۳۰۱۵	۱۳۳۶۹۰
۲۲۷۳۷	۱۰۲۲۴۴	۶۶۲۶۱	۹۰۵۷	۱۸۸۷۷	۷۵۱۷۲۲	۹۷۰۸۷۸
۵۹۹۹	۴۵۹۴۷۱	۲۳۶۵۱	۷۳۲۸	۸۹۰	۷۱۸۱۱	۵۶۹۱۵۰
۳۵۸	۳۸۱۱۳	۷۱۳	۲۶۰۳۸	۱۰۴	۱۵۸۶۵	۸۱۱۹۱
۲۳۹۸۵	۱۰۱۸۹۸	۴۷۴۲	۱۷۱۱۸	۲۳۱۳	۵۳۴۸۳	۲۰۳۵۳۹
۱۳۳۷۹	۱۲۸۷۴۰	۸۶۱۸۵	۲۹۰۴۱	۱۱۷۴۹	۲۰۶۵۲۵	۴۷۵۶۱۹
۲۷۸۱	۱۵۲۸۸۱	۱۸۳۶۵	۸۳۹۶	۱۵۳۴	۴۱۹۷۰	۲۳۵۹۲۷
۱۴۵۱۹۳	۵۴۷۹۳۵	۵۶۹۶۰	۹۰۸۸	۲۹۳۳	۲۷۱۰۷۰	۱۰۳۳۱۷۹
۳۷۲۸۶	۶۱۲۵۹۴	۸۲۰۴۶	۵۵۶۷	۴۷۶۶	۳۰۹۶۵۷	۱۰۵۱۹۱۶
۹۳۴۸	۶۵۳۶۴	۲۱۱۹۷	۱۷۵۸۶	۸۷۷۹	۱۰۱۹۶۹۲	۱۱۴۱۹۶۶
۷۲۲۴	۱۶۹۶۷۶	۱۹۱۰۹	۱۲۸۷۹	۶۰۳	۵۴۹۱۶	۲۶۴۴۰۷
۱۸۱۰۴	۱۷۲۹۵۲	۱۱۱۲۶۸	۱۴۴۷۶	۱۳۱۹۲	۴۲۸۸۳۹	۷۵۹۵۳۱
۱۲۶۱۳۸۵	۸۷۶۴۲۱۴	۳۲۴۹۷۵۱	۱۲۳۱۲۶۲	۵۵۳۰۸۴	۱۱۹۹۳۲۴۳	۲۷۰۵۲۹۳۹

$$\begin{aligned} & \text{MAXE}_j [W_{(X)}] \\ & j \in A \end{aligned} \quad (9)$$

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

در این تحقیق نیز شرایط تعادلی عرضه و تقاضا به تصمیم گیری ۲ 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 [۹ و ۱۰].

برای این کار دو تابع با یکدیگر جمع می شود:

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

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:

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

و یا:

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

$$\begin{aligned} \sum X_{ij} &\leq S_i & i=1,2,3, \dots, 6 \\ \sum X_{ij} &= d_j & j=1,2,3, \dots, 28 \end{aligned} \quad (12)$$

## ۸. 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

## ۶. شرایط تعادلی عرضه و تقاضا

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 [۹].

## ۷. 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.

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

که در آن:

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

$$W(X) = \text{تابع مطلوبیت گروه}$$

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

که در آن:

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

I برای ژامین نتیجه،

به طوری که معادله (۷) تابع مطلوبیت گروه و معادله (۸) 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:

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

(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 ۲ مبدا ورودی وارد کنند.

## ۹. 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 ۳۱۵۶ میلیارد ریال می شود که حاصل از حل مسئله با ۳۴ تکرار است. این هزینه حداقل شده، براساس مقادیر بهینه حمل کالا که در نتایج مدل به دست آمده اند، برقرار می شود. در سال ۱۳۸۲ هزینه حمل کالاها از مبادی ورودی به مناطق مصرف حدود ۴۲۲۵ میلیارد ریال بوده که با اجرای توزیع بهینه مقادیر حمل کالا سالیانه ۱۰۶۹ میلیارد ریال از این محل صرفه جویی خواهد شد [۱].

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

$i$  = 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 ۱۰ درصد بوده است. به همین دلیل نرخ رشد سالیانه ۱۰ 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 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 (۳) نشان داده شده است:

نویه 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 ۹۴٪ 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 به بندر دیگر یکی است (یعنی کرایه حمل کالا از بنادر خارجی به خلیج فارس از هر مبادی به هر مقصدی در این منطقه تفاوتی نمی کند) 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:



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

جدول ۳. مقادیر بهینه کالای حمل شده از مبادی ورودی (بنادر) به مراکز مصرف (استانها) - تن

بندر عباس	بندر چابهار	بندر بوشهر	بندرانزلی	بندر امام خمینی	بندر نوشهر	
		۱/۱۱۲/۳۸۴	۸۹۷/۴۲۳			آذربایجان شرقی
				۲۹۶/۰۰۰		آذربایجان غربی
			۱۶۸/۲۳۳			اردبیل
				۲/۶۳۵/۱۹۲		اصفهان
				۱۰۳/۶۴۶		ایلام
						بوشهر
			۷۲/۲۸۴	۴/۹۸۰/۰۵۶	۲/۷۹۶/۴۶۱	تهران
				۱۴۰/۴۸۲		چهارمحال و بختیاری
	۱/۳۰۰/۶۹۰					خراسان
				۱/۶۲۵/۳۵۰		خوزستان
				۲۴۰/۶۸۵		زنجان
			۳۶۸/۴۵۶			سمنان
۶۷۴/۳۹۴						سیستان و بلوچستان
		۱/۳۱۶/۶۹۲				فارس
			۱/۰۱۷/۹۸۵			قزوین
	۱۸۵/۵۲۰	۴۸۹/۷۳۳				قم
				۱۳۳/۶۹۰		کردستان
۹۷۰/۸۷۸						کرمان
				۵۶۹/۱۵۰		کرمانشاه
		۸۱/۱۹۱				کهگلویه و بویر احمد
					۲۰۳/۵۳۹	گلستان
			۴۷۵/۶۱۹			گیلان
				۲۲۵/۹۲۷		لرستان
۱/۰۳۳/۱۷۹						مازندران
				۱/۰۵۱/۹۱۶		مرکزی
۱/۱۴۱/۹۶۶						هرمزگان
				۲۶۴/۴۰۷		همدان
۷۵۹/۵۳۱						یزد

بی‌نهایت است، اما برای زوجهای مبدأ - مقصد منتخب بهینه معکوس است.

ضریب‌های حساسیت برای قیدهای مدل نیز به دست آمده‌اند که این ضریب‌ها برای قیدهای ظرفیت مبادی، تماماً دارای حد پایین و بالای بی‌نهایت هستند، به این معنی که با کاهش ظرفیتها، نتایج مدل دچار تغییر می‌شود، 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 بالایی 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.

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 می‌شود، در بیشترین مقدار خود برای مبدأ - مقصد استان هرمزگان به آذربایجان غربی برابر ۶۲۷۹۸۰ ریال است. یعنی هر تن کالایی که به استان آذربایجان غربی از مبدأ چابهار حمل می‌شود، معادل ۶۲۷۹۸۰ ریال هزینه‌ها را افزایش می‌دهد. همچنین حمل کالا از مبدأ نوشهر به استان اردبیل، حداقل هزینه فرصت را دارد. با مروری به این هزینه‌ها، مشاهده می‌شود که با عملکرد در شرایط بهینه مبالغ قابل توجهی از هزینه‌های حمل و نقل صرفه جویی می‌شوند.

ضریب‌های حساسیت مسئله نشان دهنده محدودهای هستند که در آن محدوده، ضریب‌های کرایه حمل کالا برای هر زوج مبدأ - مقصد می‌تواند تغییر کنند، بدون اینکه در نتایج انتخاب‌های مبدأ - مقصد‌های حمل کالا در پاسخ بهینه تغییری ایجاد شود. این محدوده برای مقادیر کالای متعلق به زوجهای مبدأ - مقصدی که نباید بین آنها کالا حمل شود، دارای حداقل صفر و حداکثر

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.
۷. سالنامه آماری حمل و نقل جاده‌ای (۱۳۸۲)، 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

#### پانویس‌ها:

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

بنادر امام خمینی، بندر چابهار و بندرعباس ظرفیت مازاد دارند که ظرفیت های مازاد این بنادر به ترتیب برابر ۲۲/۷۳۳ میلیون تن، ۱/۵۱۳ میلیون تن و ۲۵/۷۰۰ میلیون تن هستند.

برای بندر نوشهر قیمت سایه بیشترین مقدار را داشته و برابر ۱۰۶/۸۴۲ ریال است و این به آن معنی است که در صورت افزایش هر واحد (یک تن) ظرفیت بندر نوشهر به میزان ۱۰۶/۸۴۲ 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 ۸۸۹۰۲ ریال و ۱۹۲۶۳ 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 ۸ میلیون تن و هم چنین توزیع بهینه مقادیر حمل کالا از بنادر به مناطق مصرف سالیانه رقمی در حدود ۲۰۴۷ میلیارد ریال در هزینه های حمل کالاها صرفه جویی خواهد شد.

#### ۱۰. مراجع

1. Hamdy A.Taha. (2002) "Operations research: An introduction (7th Edition)", Prentice Hall.
۲. 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 production-distribution network design" in Proceedings of the 2004 IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics (SMC2004), The Hague, Netherlands, IEEE (editor).
۴. عزتی، مرتضی (۱۳۷۴) «بررسی و تعیین شرایط تعادلی عرضه و تقاضای حمل و نقل جاده‌ای کالا»، موسسه تحقیقات اقتصادی دانشگاه تربیت مدرس.