فصل‌نامه‌ی مطالعات اقتصاد انرژی/ سال دهم / شماره‌ی ۳۹/ زمستان ۱۳۹۲/ صفحات ۱۳۱- ۱۰۵

بهینه‌یابی شبکه‌ی حمل و نقل نفت کوره

حسین صادقی*

عضو هیئت علمی گروه اقتصاد دانشگاه تربیت مدرس sadeghih@modares.ac.ir

نفیسه صفری

کارشناسی ارشد اقتصاد انرژی دانشگاه تربیت مدرس s.nafise6574@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۹۱/۰۲/۱۸ تاریخ پذیرش: ۹۲/۰۲/۱۸

چکیده

حمل و نقل یکی از مؤثرترین فعالیت‌های اقتصادی است که عرضه را با تقاضا مرتبط می‌کند و نقش مستقیمی در کاهش هزینه‌های تمام شده‌ی تولید و دسترسی به بازار و در نهایت افزایش توان رقابت در عرصه تجارت بین‌الملل دارد. با توجه به این‌که نفت کوره بیش‌ترین سهم را در صادرات فرآورده‌های نفتی کشور ایفا می‌کند، در این مطالعه به بهینه‌یابی شبکه‌ی حمل و نقل نفت کوره با استفاده از مدل حمل و نقل مرکب یک کالایی پرداخته شده است. در مدل طراحی شده هدف حداقل کردن هزینه‌های ناشی از ارسال نفت کوره از پالایشگاه‌های تولید کننده به مناطق مصرف کننده‌ی این فرآورده می‌باشد. نتایج نشان می‌دهد با بهینه‌یابی شبکه‌ی حمل و نقل با استفاده از روش حمل و نقل مرکب، ۶۶ درصد در هزینه‌های حمل و نقل صرفه‌جویی می‌شود.

طبقه‌بندی JEL: D_{39}, R_{41}, Q_{49} .

کلید واژه: حمل و نقل، مرکب، تحلیل حساسیت، خطوط لوله، نفت‌کش جاده پیما، مخازن راه آهن

*- نویسنده‌ی مسئول

Archive of SID

www.SID.ir

۱- مقدمه

حمل ونقل، پایه‌های پل رابطی است که بخش‌های مختلف جوامع با عبور از روی آن، به سمت توسعه‌ی پایدار حرکت می‌کنند. حمل و نقل نشانگر یکی از مهم‌ترین فعالیت‌های انسانی در کل جهان است. درجهان امروز، حمل و نقل از جمله بخش‌های زیربنایی اقتصاد است که فرآیند توسعه‌ی اقتصادی را تحت تأثیر قرارداده و اساس مبادلات بازرگانی و کلید توسعه‌ی اقتصادی و اجتماعی است. برخی متخصصان حمل و نقل براین باورند که بین کارآیی در بخش حمل و نقل و کارآیی عمومی اقتصاد و رشد اقتصادی، رابطه‌ای مستقیم وجود دارد و حمل و نقل را واسطه‌ی میان فعالیت‌های کشاورزی، صنعتی، بازرگانی و خدماتی در سطح ملی و بین‌المللی می‌دانند. گروهی دیگر، حمل و نقل را قلب جریان توسعه می‌دانند و معتقدند حمل ونقل در توزیع درآمدها و کاهش نابرابری‌های اقتصادی و اجتماعی و کاهش آثار فقر و اختلاف درآمد روستانشینان و شهرنشینان نقشی مؤثر دارد. به اعتقاد بسیاری از اقتصاددانان بین‌المللی، مطالعات انجام شده در سطح کلان اقتصادی برخی کشورها نشان می‌دهد که سرمایه‌گذاری در حمل و نقل سبب افزایش رشد اقتصادی این کشورها شده و با افزودن بر بازدهی اجتماعی در سرمایه‌گذاری‌های خصوصی، موجبات سرمایه‌گذاری در زیرساخت‌های حمل و نقل را فراهم آورده است.

تکامل حمل و نقل همیشه با توسعه‌ی اقتصادی همراه بوده است. حمل و نقل یک صنعت است (تولید خودرو، شرکت‌های حمل و نقل هوایی و غیره). هم‌چنین بخش حمل و نقل یک عامل اقتصادی در تولید کالاها و خدمات می‌باشد. حمل و نقل ارزش را بین فعالیت‌های اقتصادی توزیع می‌کند، مقیاس اقتصادی را تسهیل می‌کند. حمل و نقل عاملی است که هم به فعالیت‌های اقتصادی شکل می‌دهد و هم توسط آن‌ها شکل می‌گیرد. این صنعت در ایران نیز طی دوران مختلف، با فراز و فرودهایی همراه بوده و هدف اصلی آن، تلاش برای رسیدن به جایگاهی مطلوب و فردایی بهتر است و با توجه به موقعیت حساس کشور در منطقه، ایجاد سیستم حمل و نقل کارآمد در توسعه‌ی اقتصادی اجتماعی، جایگاه و نقش ویژه‌ای دارد.

چگونگی توزیع فرآورده‌های تولیدی کارخانجات یکی از مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار بر روی هزینه‌ی تولید می‌باشد و بهینه کردن شبکه‌ی توزیع می‌تواند سبب کاهش هزینه‌ی تولید و در نتیجه مصرف بهینه‌ی انرژی شود. به این علت است که شرکت‌های بزرگ علاوه بر این‌که طرح‌های مختلف جهت بهینه کردن تولید برای کاهش مصرف

Archive of SID

www.SID.ir

انرژی (که به عنوان یکی از اصلی ترین شاخص‌های هزینه‌ی تولید است) را مورد مطالعه قرار می‌دهند. به موازات آن مدل‌های مختلف توزیع را بررسی می‌کنند تا به این وسیله هزینه‌ی تولید کاهش یابد. هر چند که هدف آن‌ها کاهش هزینه‌ی تولید می‌باشد ولی به موازات آن کاهش مصرف انرژی در حمل و نقل به عنوان یکی از عوامل پرمصرف انرژی در کشور، نیز کاهش می‌یابد (شمس خامنه، ۱۳۸۶).

کشور ایران ۹ پالایشگاه دارد که فرآورده‌های نفتی تولید می‌کنند، یکی از مهم‌ترین این فرآورده‌ها، نفت کوره است که بیش‌ترین نقش را در صادرات فرآورده‌های نفتی دارد. از این رو در این مطالعه، الگویی به منظور بهینه‌یابی شبکه‌ی توزیع نفت کوره از پالایشگاه‌ها و بنادر ورودی به مراکز مصرف (شهرهای بزرگ)[1]، ارائه شده است. در این مطالعه به عنوان نخستین مطالعه در زمینه‌ی نفت کوره، از مراکز مصرفی به عنوان مقصد استفاده شده و در انتها نیز انحراف مقدار واقعی هزینه‌ها از مقدار بهینه به‌دست آمده برآورد شده است.

ساختار مقاله به این شکل تنظیم شده است که پس از اشاره به مطالعات پیشین در بخش دوم، به بیان وضعیت شبکه‌ی توزیع نفت کوره در ایران در بخش سوم پرداخته شده است. بخش چهارم، روش تحقیق و بیان ریاضی تابع هدف و محدودیت‌ها و بخش پنجم، به ارزیابی نتایج حاصل از تخمین و آزمون تحلیل حساسیت اختصاص داده شده است. در بخش ششم، خلاصه و پیشنهادات آمده است.

۲- شبکه‌ی توزیع نفت کوره

در حال حاضر، بخش پالایش ایران توسط ۹ پالایشگاه داخلی با ظرفیت اسمی ۱۳۴۷ هزار بشکه در روز به منظور تأمین نیازهای انرژی داخل کشور، تأمین بخشی از خوراک صنایع و واحدهای پتروشیمی و صادرات پاره‌ای از فرآورده‌های مازاد بر مصرف داخلی فعالیت دارد. بیش‌ترین سهم پالایش عملی نفت خام در سال ۱۳۸۸ مربوط به پالایشگاه آبادان با ۲۳ درصد و کم‌ترین آن مربوط به پالایشگاه کرمانشاه با ۱,۴ درصد می‌باشد. بیش‌تر فرآورده‌های نفتی که در حال حاضر در ۹ پالایشگاه کشور تولید می‌شود شامل بنزین معمولی، گاز مایع، نفت سفید، نفت‌گاز و نفت کوره می‌باشد. در سال ۱۳۸۸ روزانه حدود ۲۶۶,۵ هزار متر مکعب فرآورده تولید شده که حدود ۲۳۶,۴

۱- شهرهای که بیش از ۲۵۰ هزار نفر جمعیت دارند به عنوان شهرهای بزرگ محسوب می‌شوند.

Archive of SID

www.SID.ir

هزار متر مکعب آن به تولید ۵ فرآورده‌ی اصلی اختصاص داشته است. تولید نفت کوره‌ی پالایشگاه‌های کشور در سال ۱۳۸۸، ۷۶ میلیون لیتر در روز بوده است که در این میان پالایشگاه آبادان با تولید ۲۳,۹ میلیون لیتر در روز بیش‌ترین تولید را داشته است. میزان صادرات نفت کوره در سال ۱۳۸۸، ۱۹۵۶۴۶۳ هزار لیتر بوده، که نسبت به سایر فرآورده‌های صادراتی (بنزین، نفت سفید، نفت‌گاز و نفت جت) حجم صادرات بیش‌تری داشته است، از این رو نقش مهمی در تجارت خارجی کشور ایفا می‌کند (دفتر برنامه‌ریزی کلان برق و انرژی، ۱۳۸۸).

نفت کوره برخلاف سایر فرآورده‌ها از تنوع چندانی در بخش‌های مختلف مصرف برخوردار نبوده و عمدتا در نیروگاه‌ها و کارخانجات به مصرف می‌رسد. در سال ۱۳۸۸، مصرف نفت کوره نسبت به سال قبل ۴,۷ درصد کاهش داشته است. ۵۹ درصد نفت کوره‌ی عرضه شده در بخش نیروگاهی و مابقی در سایر بخش‌ها به مصرف رسیده است. در میان استان‌های کشور سه استان اصفهان، آذربایجان شرقی و قزوین به ترتیب ۱۵,۶، ۸,۵ و ۸,۲ درصد بیش‌ترین میزان مصرف را داشته‌اند. با توجه به موقعیت جغرافیایی کشور ایران که در مجاورت خلیج فارس و دریای عمان قرار دارد و از توان بالقوه‌ای در صنعت بانکرینگ برخوردار می‌باشد. از جمله توانمندی‌های بالقوه‌ی ایران در صنعت بانکرینگ[1] برخورداری از حجم قابل توجه نفت کوره‌ی تولیدی توسط پالایشگاه‌هاست. نفت کوره در بخش حمل و نقل برای استفاده‌ی سوخت کشتی‌ها به مصرف می‌رسد، در سال ۱۳۸۶، ۱۳۸۷ و ۱۳۸۸ مصرف این فرآورده به علت فروش سوخت به کشتی‌های بین‌المللی و توسعه‌ی مراکز بانکرینگ دارای رشد قابل ملاحظه‌ای بوده است. مصرف نفت کوره در بخش صنعت با اجرای سیاست‌های جایگزینی گاز طبیعی با این فرآورده ۱۳,۶ درصد کاهش داشته است. جدول ۱ سهم هر یک از بخش‌ها در مصرف نفت کوره را در سال ۱۳۸۸ نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود نیروگاه‌ها بیش‌ترین استفاده را از نفت کوره‌ی تولیدی دارند.

۱- Bunkering، عملیات بانکرینگ یا سوخت‌رسانی به کشتی‌ها در منطقه‌ی خلیج فارس و دریای عمان و سایر حوزه‌ها یکی از فعالیت‌های جدید شرکت ملی پخش فرآورده‌های نفتی ایران است که با توجه به موقعیت جغرافیایی ایران و قرار گرفتن در مجاورت آب‌های خلیج فارس و دریای عمان و برخورداری از حجم قابل توجه نفت کوره‌ی تولیدی پالایشگاه‌ها می‌توان نقش موثری در ایجاد کسب‌وکار و رونق اقتصادی منطقه ایفا کرد.

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۱- سهم هر یک از بخش‌ها در مصرف نفت کوره (درصد)

سال/بخش	حمل و نقل	صنایع	کشاورزی	ارتش	برق	اصناف	خانگی	ادارات	کشتی
۱۳۸۸	۰	۲۴	۰	۱	۵۹	۶	۰	۰	۱۰

مأخذ: آمار نامه‌ی ۱۳۸۸، شرکت پخش و پالایش فرآورده‌های نفتی

مبادی عرضه کننده‌ی نفت کوره شامل ۹ پالایشگاه می‌باشد که عبارتند از :

- پالایشگاه آبادان
- پالایشگاه اراک
- پالایشگاه اصفهان
- پالایشگاه بندرعباس
- پالایشگاه تبریز
- پالایشگاه تهران
- پالایشگاه شیراز
- پالایشگاه کرمانشاه
- پالایشگاه لاوان

استفاده از شبکه‌ی خطوط لوله، حمل و نقل ریلی، جاده‌ای و دریایی از روش‌های انتقال فرآورده‌های نفتی در کشور محسوب می‌شوند. بخش حمل و نقل یکی از مهم‌ترین بخش‌هایی است که یارانه‌ی انرژی به آن تعلق یافته است. انتقال نفت کوره معمولا توسط خط لوله یا نفت‌کش و در بعضی مواقع با کشتی انجام می‌شود، هم‌چنین هنگامی که مبدا و یا مقصد جزایر باشند، از شناورها به عنوان جایگزین کشتی استفاده می‌شود. برای انتقال نفت کوره به مناطقی که در مسیرهای خطوط ریلی قرار دارند از مخازن راه‌آهن استفاده می‌شود. در جدول ۲ هزینه‌ی حمل و انتقال هر تن کیلومتر فرآورده‌ی نفتی، حجم حمل شده و هزینه‌ی کل حمل توسط انواع مختلف وسایل حمل نشان داده شده است. در سال ۱۳۸۸، بیش‌ترین هزینه‌ی حمل فرآورده‌های نفتی مربوط به شناورهای سوخت‌رسان است که رقمی معادل ۸۱۷ ریال بر تن کیلومتر می‌باشد که کم‌ترین حجم انتقال فرآورده‌های نفتی از این راه انجام گرفته است. کم‌ترین میزان هزینه‌ی حمل فرآورده‌های نفتی مربوط به خط لوله است که رقمی معادل ۷۷,۹۳ ریال بر تن کیلومتر می‌باشد. بیش‌ترین حجم انتقال فرآورده‌های نفتی از طریق خط لوله انجام می‌گیرد که هزینه‌ی کم‌تری نیز دارد.

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۲- عملکرد وسایل حمل نفت کوره در سال ۱۳۸۸

وسیله‌ی حمل		نرخ متوسط حمل ریال- تن کیلومتر	حجم حمل شده میلیون لیتر	هزینه‌های حمل میلیون ریال
خط لوله		۷۷,۹۳	۵۳۹۳۱,۷۳	۲۱۶۰۱۷۶
مخزن‌دارهای راه‌آهن		۳۴۵	۲۴۰۱,۸	۶۵۹۶۰۶
نفت‌کش جاده‌پیما		۳۵۶	۶۵۵۱۹,۴۵	۳۰۴۷۷۵۸
نفت‌کش دریایی	کشتی استیجاری	۲۲۱	۵۹۸۹,۶۶	۵۹۰۰۹۵
	شناور استیجاری	۸۱۷	۲۲۲,۲۱	۲۴۱۱۲

مأخذ: ترازنامه‌ی هیدروکربوری ۱۳۸۸

۳- مطالعات انجام شده

سفبمیکسی و همکاران[1] (۲۰۰)، در مطالعه‌ی خود به بهینه‌یابی استراتژی شبکه‌ی توزیع و انتقال پرداخته‌اند. آن‌ها در این مطالعه، از برنامه‌ریزی خطی با هدف حداقل هزینه استفاده کرده‌اند. چنگ و درن[2] (۲۰۰۴)، در زمینه‌ی برنامه‌ریزی حمل و نقل نفت خام با روش کنترل بهینه و شبیه سازی فعالیت کرده‌اند، هم‌چنین در همین سال گیلیس و تاتسی اپلس[3] به طراحی یک سیستم پشتیبانی برای زمانبندی و برنامه‌ریزی مسیر نفت‌کش‌ها پرداخته‌اند.

رلواس[4] و همکاران (۲۰۰۹)، به بررسی سیستم توزیع فرآورده‌های نفتی با روش تجزیه براساس خط لوله و برنامه‌ریزی کنترل موجودی پرداخته‌اند. با توجه به تجهیزات پیچیده‌ی مورد نیاز لوله‌های چند محصولی و نیاز به افق برنامه‌ریزی طولانی مدت‌تر، که البته اگر از یک روش بهینه‌سازی دقیق مانند برنامه‌ریزی ریاضی استفاده شود، این پیچیدگی به میزان قابل ملاحظه‌ای با گسترش افق زمانی افزایش می‌یابد؛ آن‌ها با هدف کاهش پیچیدگی مسئله و مراحل محاسباتی کم‌تر از روش ترکیبی، از دو مدل به هم پیوسته‌ی MILP[5] با سطوح متفاوت از جزئیات با یک روش تکرار شونده که اطلاعات را میان دو سطح تبادل می‌کند، استفاده کرده‌اند. در مطالعه‌ی آن‌ها از اطلاعات واقعی یک

1- Sophabmixay et al
2- Cheng and Duran
3- Gayialis and Tatsiopoulos
4- Relvas et al
5- Multi Interger Linear Programming

Archive of SID

www.SID.ir

شرکت پرتغالی که حمل و نقل شش فرآورده نفتی را به عهده داشته‌اند استفاده شده است.

هرمن و همکاران[1] (۲۰۱۰)، در مطالعه‌ی خویش تلاش کرده‌اند به وسیله‌ی خطوط لوله‌ی چند محصولی یک روش اقتصادی برای انتقال حجم زیادی از فرآورده‌های نفتی تصفیه شده در مسافت‌های طولانی ارائه کنند. این مطالعه یک روش نوین ریاضیات گسسته را برای حل برنامه‌ریزی عملیاتی کوتاه مدت سیستم‌های خطوط لوله چند محصولی برای فرآورده‌های نفتی تصفیه شده پیشنهاد می‌کند؛ هم‌چنین آن‌ها در سال ۲۰۱۲ در مطالعه‌ی جدیدی با توسعه‌ی الگوریتم‌های فرا ابتکاری کارآیی روش MILP در مورد استفاده برای برنامه‌ریزی حمل و نقل فرآورده‌های نفتی مختلف در سیستم خطوط لوله چند محصولی را بهبود داده‌اند.

محمدزاده (۱۳۷۵)، در مطالعه‌ی خود به بهینه‌یابی حمل و نقل بنزین از پالایشگاه‌ها و مبادی ورودی کشور به انبارهای شرکت نفت پرداخته است. وی با استفاده از داده‌های سال ۱۳۷۳ و به‌کارگیری تکنیک برنامه‌ریزی خطی با هدف حداقل کردن هزینه‌ی حمل و نقل، راهکار بهینه را برای میزان بنزین از هر مبدا به هر مقصد را مشخص می‌کند. مدل وی از نظر مکانی برای تمامی کشور ایران و از نظر زمانی برای سال ۱۳۷۳ می‌باشد. نتایج به‌دست آمده از مدل وی نشان داده که خط لوله با حمل ۷۳/۶۵ درصد بنزین، ۳۵/۲ درصد هزینه را داشته و ۲۳/۴۵ درصد بنزین با ۵۶/۴۲ درصد مجموع هزینه، از طریق حمل و نقل جاده‌ای حمل شده است. سهم حمل و نقل آبی (کشتی) از حمل بنزین ۲/۹ درصد با هزینه‌ای معادل ۸/۳۸ درصد می‌باشد. هم‌چنین کابلی‌زاده (۱۳۷۸)، با استفاده از تکنیک M.G.A[2]، سیستم حمل و نقل بنزین در سطح کشور را بهینه‌یابی کرده است. شمس خامنه (۱۳۸۶)، نیز حمل و نقل گازوئیل (نفت‌گاز) از پالایشگاه‌ها و مبادی ورودی کشور به انبارهای اصلی شرکت ملی نفت ایران را بهینه‌یابی کرده است. نتایج معاطعه‌ی وی نشان می‌دهد که معادل ۸۳,۲ درصد از کل گازوئیل انتقال یافته توسط خطوط لوله با هزینه‌ی معادل ۳۶,۰۴ درصد، ۱۵,۱ درصد توسط نفت‌کش‌های جاده پیما با هزینه‌ی معادل ۴۵,۷۸ درصد و مابقی توسط حمل و نقل دریایی با هزینه‌ی معادل ۱۸,۱۸ درصد منتقل می‌شود.

1- Herran et al
2- Modeling to Generate Alternative

Archive of SID

www.SID.ir

طباطبایی محمدی (۱۳۸۷)، توزیع مواد نفتی بین کشورهای تولید کننده و مصرف کننده را بررسی و حمل و نقل آن را ارزیابی کرده است. وی در مطالعه‌ی خود از روش برنامه‌ریزی خطی استفاده کرده است. میرحسینی و همکاران (۱۳۸۸)، با به‌کارگیری برنامه‌ریزی عدد صحیح و یا گسسته سازی پارامتر زمان، یک مدل ریاضی برای انتقال محصولات نفتی ارائه کرده‌اند. مدل آن‌ها برای سیستمی طراحی شده است که شامل پالایشگاه، خط لوله‌ی چند فرآورده ای- چند شاخه ای و تعدادی انبار است. در حقیقت هدف آن‌ها تأمین نیاز مصرف کنندگان با رعایت محدودیت‌های فنی و عملیاتی و هم‌چنین حداقل تداخل بوده است.

۴- تدوین الگو

به سبب محدودیت منابع قابل دسترس، وجود یک برنامه‌ریزی صحیح و منطقی برای استفاده از منابع موجود، در راستای برنامه‌ریزی برای پیشرفت هر کشوری ضروری است. یکی از مهم‌ترین عوامل زیربنایی برای توسعه‌ی هر کشور، وجود یک شبکه‌ی کارآ و مناسب در آن کشور برای برطرف کردن نیازهای حمل و نقل آن است. به‌طور کلی، حمل و نقل به منظور رفع نیازهای مختلف اقتصادی، اجتماعی، نظامی، استراتژیکی،... انجام می‌گیرد. در صورت فقدان شبکه‌ای متناسب با نیازها، این فعالیت‌ها دچار اختلال و وقفه خواهند شد و این امر هزینه‌های زیادی را به جامعه تحمیل می‌کند. از این‌رو مطالعه‌ی حاضر تلاش می‌کند به تعیین میزان حمل و نقل نفت کوره از مبادی مختلف ورودی و مراکز تولید داخل به مراکز مختلف مصرف بپردازد (محمدزاده، ۱۳۷۵).

تمامی مدل‌های برنامه‌ریزی خطی با استفاده از روش سیمپلکس[1] قابل حل می‌باشد؛ اما برخی از آن‌ها به دلیل برخورداری از ساختاری ویژه با استفاده از تکنیک‌های خاصی حل می‌شوند. این فنون در حل مسائل ویژه نسبت به سیمپلکس از کارایی بیش‌تری برخوردارند. مدل حمل و نقل یکی از مهم‌ترین ساختارهای خاص در برنامه‌ریزی خطی می‌باشد (مهرگان، ۱۳۷۸).

در مسأله‌ی حمل و نقل همواره تعدادی کالا از چند مبدا یا منبع به یکسری مقصد یا مرکز تقاضا ارسال می‌شود. ظرفیت‌های موجود در هر مبدا حداکثر s_i و مقدار تقاضا در هر مقصد حداقل d_j می‌باشد. هم‌چنین هزینه‌ی حمل هر واحد کالا از منبع i به مقصد j برابر c_{ij} است. با توجه به غیرپویا بودن مدل، الزامی به تأمین مقادیر تقاضا در

1- Simplex Method

Archive of SID

www.SID.ir

یک لحظه‌ی زمانی مشخص نیست. از همین سو محدودیت ظرفیت انتقال وسایل حمل در نظر گرفته نشده است و می‌توان بدون توجه به ظرفیت انتقال در طول زمان (یک سال) تقاضای نقاط مصرف کننده را تأمین کرد. هدف اصلی در چنین مسائلی تخصیص بهینه‌ی مقادیر عرضه به مراکز تقاضاست، با این شرط که میزان کالای ارسالی از مبدا بیش‌تر از ظرفیت عرضه‌ی آن نبوده و از سوی دیگر، میزان کالای دریافتی توسط هر مقصد کم‌تر از نیاز آن مقصد نباشد. تابع هدف در چنین مدلی معمولا حداقل کردن کل هزینه‌ی حمل کالا از مبدا به مقصدها می‌باشد. متغیر تصمیم x_{ij} نیز میزان کالای انتقالی از مبدا i به مقصد j تعریف می‌شود.

در بعضی شرایط ارسال مستقیم کالا از مبداها به مقصدها اقتصادی نیست، بلکه شاید اقتصادی‌تر این باشد که کالا قبل از رسیدن به مقصد نهایی از مبداها و مقصدهای دیگر عبور کند. مسئله‌ی حمل و نقلی که هر مقصد مانند هر مبدا توانایی ارسال کالا داشته و هر مبدا نیز امکان دریافت داشته باشد، مسئله‌ی حمل و نقل مرکب نامیده می‌شود. مدل ریاضی مسئله حمل و نقل مرکب ساختار خاصی دارد که با مدل مسئله‌ی حمل و نقل فوق العاده نزدیک است. مسأله‌ی حمل و نقل استاندارد هیجکاک-کوپمنز[1] به‌وسیله‌ی اوردن[2]، در سال ۱۹۵۶ برای دربرگرفتن حالات حمل و نقل مرکب توسعه داده شده است. عوامل و متغیرهای مورد استفاده در این مدل عبارتند از:

کل هزینه‌ی حمل و نقل	Z
مقدار محصول حمل شده از مبدا i به مقصد j	X_{ij}
هزینه‌ی حمل هر واحد محصول از مبدا i به مقصدj توسط وسیله kام	
مقدار عرضه‌ی مبدا i (در واحد زمان)	S_i
مقدار تقاضای مقصد j (در واحد زمان)	d_j
ظرفیت منبع میانی q ام نسبت به دریافت محصول	
تقاضای مقصد میانی q ام نسبت به مصرف محصول	
تابع هدف	$\text{minimize } Z = \sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n}\sum_{k=1}^{K} C_{ij}^{k} X_{ij}^{k}$

Subject to:

محدودیت عرضه	$\sum_{j=1}^{n}\sum_{k=1}^{K} X_{ij}^{k} + \sum_{q=1}^{Q}\sum_{k=1}^{K} X_{iq}^{k} \le S_i,\ i=1,2,\ldots,m$
محدودیت تقاضا	$\sum_{i=1}^{m}\sum_{k=1}^{K} X_{ij}^{k} + \sum_{q=1}^{Q}\sum_{k=1}^{K} X_{qj}^{k} \ge d_j, j = 1,2,\ldots,n$

1- Hitchcock_Koopmans.
2- Orden

Archive of SID

www.SID.ir

محدودیت عرضه‌ی نقاط میانی $\sum_{q=1}^{Q}\sum_{k=1}^{K} X_{iq}^{k} \leq \tilde{s}_q$

محدودیت تقاضای نقاط میانی $\sum_{i=1}^{m}\sum_{k=1}^{K} X_{iq}^{k} - \sum_{j=1}^{n}\sum_{k=1}^{K} X_{qj}^{k} \geq \tilde{d}_q$

محدودیت متغیرهای غیرمنفی (به ازاء تمام iها، j ها، kها و q ها) $X_{iq}^{k}, X_{qj}^{k}, X_{ij}^{k} \geq 0$ (معماریان و پروین،۱۳۷۹).

برای ساختن و طراحی الگوی مسئله‌ی مورد تحقیق لازم است خود مسئله به صورت روشن بیان شود تا متغیرها و پارامترهای مسئله شناسایی شوند، لذا در این‌جا ابتدا به بیان مسئله پرداخته می‌شود. کل مسئله به این صورت است که نفت کوره از ۹ نقطه مبدا (پالایشگاه‌های کشور) به ۵۷ نقطه‌ی تقاضا انتقال می‌یابد. در انتقال این فرآورده از ۴ نوع وسیله‌ی حمل استفاده می‌شود. مقدار عرضه و هم‌چنین مقدار تقاضا در دوره‌ی زمانی مورد مطالعه در سال ۱۳۸۸ ثابت می‌باشد.

به طور کلی، حل هر مسئله از طریق برنامه‌ریزی خطی شامل دو قسمت کلی می‌شود که عبارتند از:

الگوسازی و سپس اجرای الگو

بنابراین ابتدا باید صورت کلی مسئله را مطابق با فرض‌ها و ویژگی‌های مدل فرموله کرد و پس از آن الگو را با روش‌های موجود حل نمود.

گام اول: تعریف و تعیین مجموعه مبادی و مقاصد

همان‌طور که گفته شد شبکه‌ی انتقال نفت کوره ۹ نقطه‌ی عرضه به شرح زیر دارد:

جدول ۳- مبادی عرضه کننده‌ی نفت کوره (میلیون لیتر در روز)

نام پالایشگاه	آبادان	بندرعباس	اصفهان	تهران	اراک	تبریز	شیراز	لاوان	کرمانشاه	جمع
مقدار عرضه	۲۳,۹	۱۷,۱	۱۲,۲	۷,۹	۶,۴	۳,۶	۱,۹	۱,۷	۱,۵	۷۶,۰

مأخذ: شرکت پخش فرآورده‌های نفتی

شهرهایی با جمعیت بیش از ۲۵۰ هزار نفر، شهرهای بزرگ میانی هستند که بیش از ۶۴ درصد از نفت کوره‌ی تولیدی کشور را مصرف می‌کنند؛ در واقع بیش از نیمی از منابع انرژی به منظور تأمین نیاز این مناطق از سمت مبادی تولیدکننده به سوی این

Archive of SID

www.SID.ir

مناطق پرجمعیت سوق پیدا می‌کنند. از همین سو، این شهرها به‌عنوان نقاط مصـرف در نظر گرفته شده‌اند و در جدول ۴ آمده‌اند.

جدول ۴- نقاط مصرف کننده‌ی نفت کوره (هزار لیتر در روز)

مقصد	میزان تقاضا	مقصد	میزان تقاضا	مقصد	میزان تقاضا
تبریز	۲۰۸۶	شهرکرد	۴۳	سنندج	۴۹
ارومیه	۵۹۶	بیرجند	۱۹۵	رفسنجان	۳۲۸
خوی	۸۹	تربت جام	۹۸	سیرجان	۱۳۶
سلماس	۲۴	سبزوار	۴۳۳	کرمان	۳۲۳
میاندواب	۲۱۷	مشهد	۷۹۴	کرمانشاه	۲,۱۶
اردبیل	۸۲	نیشابور	۸۱	گرگان	۱۴۲
پارس آباد	۳	بجنورد	۵۰	گنبدکاووس	۶۹
مشگین شهر	۳	آبادان	۱۳	رشت	۳۵
اصفهان	۶۴۴۹	اهواز	۷۶۷	بروجرد	۱۳۴
شاهین شهر	۶۴۳	بندر ماهشهر	۷۳	خرم آباد	۷۷
کاشان	۲۵۵	دزفول	۷۷	آمل	۲۶
نجف آباد	۴۰	زنجان	۳۰۱	بابل	۱۲
کرج	۱۰۶۴	زابل	۱۵۳	ساری	۲۵
اسلامشهر	۱۵	زاهدان	۱۶۳	قائمشهر	۹
پاکدشت	۶۶	شیراز	۱۳۷	اراک	۲۵۵۹
تهران	۸۱۵	کازرون	۳۱	بندرعباس	۲,۱
رباط کریم	۱۰۸	مرودشت	۳۸۷	ملایر	۱۹
شهریار	۸۸	قزوین	۴۰۲۳	همدان	۲۱۵۷
ورامین	۹۶	قم	۶۲۶	یزد	۱۶۴۱

مأخذ: شرکت پخش فرآورده‌های نفتی

گام دوم: مشخص کردن متغیرهای تصمیم

در این مسئله متغیرهای تصمیم مقدار فرآورده‌ی است کـه از گـره‌ی i بـه گـره‌ی j می‌رود و i نشانه‌ی مبدأ می‌رود و j نشانه‌ی مقصد می‌باشد. مدل‌هـای بهینـه‌ی شـبکه‌ی انتقال نفت کوره ۴۳۵۶ متغیر تصمیم دارند.

Archive of SID

www.SID.ir

گام سوم: تعیین پارامترهای الگو

در مسایل حمل و نقل سه دسته پارامتر وجود دارد:

دسته‌ی اول ضریب‌هایی هستند که در تابع هدف به کار می‌روند و با C_{ij}^{K} نشان داده می‌شوند. C_{ij}^{K} عبارت از هزینه‌ی انتقال یک واحد از هر انرژی روی کمان (i و j) توسط وسیله‌ی K است که جمله‌ی داده شده‌ی مسئله محسوب می‌شود. C_{ij}^{K} شامل دو قسمت است؛ به عبارت دیگر از ضرب کردن دو عدد به دست آمده است، یکی نرخ هزینه‌ی حمل نفت کوره‌ی بین دو شهر بر حسب تن کیلومتر و دیگری مسافت میان دو شهر است.

برای تعیین هزینه‌های مذکور بدین صورت عمل شده است که اگر بین دو شهر خط لوله وجود داشته باشد، به دلیل ارزان بودن حمل از طریق آن نسبت به نفت‌کش جاده‌پیما و مخازن راه آهن، هزینه‌ی حمل با خط لوله در نظر گرفته شده است و در مورد حمل بین بنادر، چون فقط امکان حمل با کشتی وجود دارد، به همین دلیل هزینه‌ی حمل با کشتی در نظر گرفته می‌شود و برای سایر مسیرها نیز در صورت وجود خطوط ریلی، از مخازن راه آهن و در غیر این‌صورت از نفت‌کش جاده‌پیما استفاده می‌شود.

دسته‌ی دوم از پارامترهای مدل آن‌ها یی هستند که در سمت چپ معادله‌های (نامعادله‌های) محدودیت‌های مورد استفاده قرار گرفته‌اند. اما از آن‌جا که این پارامترها عبارت از ضریب فنی X_{ij} هستند و در این بررسی نوع حمل و نقل هر واحد از نفت کوره که در تابع هدف در نظر گرفته شده است مزیتی ندارد، بنابراین همه‌ی آن‌ها برابر واحد (عدد ۱) خواهند بود.

دسته‌ی سوم، پارامترهایی هستند که سمت راست نامعادله‌های (معادله‌های) محدودیت‌ها را تشکیل می‌دهند و برون‌زا هستند که شامل میزان عرضه‌ی مبادی و میزان تقاضای مقاصد هستند و در جدول‌های شماره‌ی ۳ و ۴ گزارش شده‌اند.

گام چهارم: محدودیت‌های مدل

اولین محدودیت در مدل، بیان کننده‌ی این است که مجموع کل فرآورده که از مبدا iام توسط تمامی وسایل نقلیه به مقاصد اصلی و میانی حمل می‌شود باید کوچک‌تر از ظرفیت تولید مبدا iام باشد. در حقیقت این محدودیت کنترل کننده‌ی ظرفیت تولیدی هر یک از مبادی است. محدودیت نوع دوم بیان کننده‌ی این است که مجموع کل فرآورده که از نقاط واسطه و مبادی اصلی به مقصد jام توسط تمامی وسایل نقلیه

Archive of SID

www.SID.ir

حمل می‌شود باید بزرگ‌تر از نیاز مقصد j ام باشد؛ یعنی این محدودیت کنترل کننده‌ی برآورده شدن نیاز هر یک از مقاصد است.

محدودیت‌های سوم و چهارم نیز کنترل کننده میزان نیاز و هم‌چنین میزان ظرفیت ارسال نقاط میانی است. محدودیت پنجم محدودیت غیرمنفی شدن متغیرهای مدل است.

تحلیل حساسیت

تحلیل حساسیت رویه‌ای است که به طور کلی بعد از به دست آوردن حل بهینه به اجرا در می‌آید. تحلیل حساسیت تعیین کننده‌ی میزان حساسیت جواب بهینه در مقابل تغییرات معین در مدل اصلی است. منظور از تحلیل حساسیت، بررسی تأثیر تغییرات محتمل پارامترها بر روی جواب بهینه است. پارامترها به دو دسته‌ی کلی تقسیم می‌شوند، برخی پارامترها می‌توانند مقادیر منطقی را اختیار کنند و در عین حال تأثیری بر روی بهینگی جواب نداشته باشند، اما در مقابل اندک تغییری در بعضی از پارامترهای دیگر ممکن است اصولا به جواب بهینه‌ی جدیدی منجر شود. اهمیت این موضوع وقتی بیش‌تر می‌شود که در اثر این تغییرات مقدار تابع هدف بهینه‌ی قبلی کاملا نامناسب و حتی در مواردی غیرموجه شود.

بنابراین هدف اصلی تحلیل حساسیت، شناخت پارامترهای کاملا حساس است تا تخمین آن‌ها با دقت بیش‌تری انجام گیرد و در عین حال جوابی انتخاب شود که در مجموع به ازاء تمام مقادیر محتمل پارامترها، به عنوان یک جواب خوب مطرح باشد. در همه‌ی برنامه‌های اجرا شده فرض بر این است که ضرایب تشکیل دهنده‌ی شکل ریاضی برنامه همگی ثابت بوده و در این گونه ضرایب مانند میزان عرضه‌ی مبادی و میزان تقاضا و هزینه‌های حمل تغییری رخ ندهد، اما در دنیای واقعی ممکن است بعضی پارامترهای مدل تغییر کند. در شرایط تغییر پذیری یک و یا چند پارامتر سئوالی که مطرح می‌شود این است که این تغییرات چه تأثیری بر روی راه حل بهینه و نهایی مسئله خواهد گذاشت (مهرگان، ۱۳۷۸).

تحلیل حساسیت مقادیر سمت راست (مقدار عرضه و تقاضا)

هدف در تحلیل حساسیت اعداد سمت راست، تعیین دامنه‌ی تغییراتی برای عدد سمت راست یک محدودیت مشخص است که در صورت تغییر اعداد سمت راست در آن

Archive of SID

www.SID.ir

دامنه، جواب نهایی هم‌چنان موجه باقی بماند. اگر میزان تغییرات در جواب بهینه در داخل محدوده‌ی معین باشد، در این صورت جواب بهینه‌ی برنامه‌ی توزیع تغییر خواهد کرد؛ ولی اگر در اثر عواملی میزان اعداد سمت راست (عرضه و یا تقاضا) از یکی از حدود بالا و پایین تجاوز کند، در این صورت یکی از متغیرها و یا تمامی متغیرهای پایه ای تغییر می‌کند و به ازاء هر واحد تغییر در مقدار عرضه و یا تقاضا، معادل قیمت سایه ای آن در جواب بهینه تغییر ایجاد می‌شود (مهرگان، ۱۳۷۸).

تحلیل حساسیت ضرایب تابع هدف متغیرهای پایه ای (هزینه‌ی انتقال یک تن)

در این قسمت هدف بررسی تغییرات ضرایب تابع هدف متغیرهای پایه ای بر جواب بهینه است. متغیرهای پایه ای، متغیرهایی هستند که در الگوی بهینه مقدار غیرصفر دارند و انتقال نفت کوره در آن مسیرها انجام می‌شود. به عبارت دیگر متغیرهای پایه‌ای شامل مسیرهایی هستند که در شبکه‌ی توزیع بهینه برای انتقال نفت کوره انتخاب شده‌اند. با توجه به آن که از این متغیرها استفاده شده است، هزینه‌ی فرصت آن‌ها صفر است و تا زمانی که تغییرات ضرایب این متغیرها در محدوده‌ی مجاز انجام گیرد؛ شبکه‌ی توزیع بهینه تغییر نکرده و این متغیرها به عنوان متغیر پایه ای باقی می‌مانند. به بیان بهتر، تغییر در مسیر انتقال فرآورده انجام نمی‌گیرد. اما در صورتی که تغییرات این ضرایب (هزینه‌ی انتقال یک تن) از این حدود تجاوز کند، علاوه بر تبدیل متغیر مذکور به متغیر غیرپایه‌ای، شبکه‌ی توزیع بهینه نیز تغییر می‌کند.

۵- نتایج تحقیق

نتایج استخراج شده از نرم افزار WinQSB در جدول ۹ در پیوست گزارش شده است. در شبکه‌ی طراحی شده حدود ۷۵۳۲ میلیون لیتر با هزینه‌ی ۱۲۷۴۶۷٫۸ میلیون ریال از مبادی و نقاط واسط به مقاصد انتقال یافته است؛ خطوط لوله با حمل ۶۵۰۹ میلیون لیتر از این مقدار معادن ۸۶ درصد از کل حجم حمل شده بیش‌ترین نقش را در انتقال نفت کوره داشته است، نفت‌کش جاده پیما با انتقال ۷۲۲ میلیون لیتر و مخازن راه آهن با ۳۰۱٫۲۵ میلیون لیتر به ترتیب ۹٫۶ و ۴ درصد از کل حجم انتقال یافته را به خود اختصاص داده‌اند.

همان‌طور که در جدول ۵ مشاهده می‌شود خطوط لوله با حمل ۸۶٫۴ درصد از کل حجم حمل شده تقریبا ۶۳ درصد از کل هزینه‌های حمل را به خود اختصاص داده است؛ این در حالی است که نفت‌کش جاده‌پیما تنها با حمل ۹٫۶ درصد و مخزن‌دارهای

Archive of SID

www.SID.ir

راه‌آهن با حمل ۴ درصد از کل حجم حمل شده به ترتیب ۲۷ و ۱۰ درصد از کل هزینه‌ها را دربرداشته‌اند. متوسط مسافت حمل شده توسط خطوط لوله حدود ۲۸۳ کیلومتر بوده است. متوسط مسافت حمل شده توسط نفت‌کش جاده پیما و مخازن راه آهن به ترتیب ۱۴۸ و ۲۱۱ کیلومتر بوده است.

خطوط لوله با انتقال حجمی تقریبا ۹ برابر حجم حمل شده توسط نفت‌کش و بیش از ۲۱,۵ برابر حجم حمل شده توسط مخازن راه آهن، نقش مؤثرتری نسبت به سایر وسایل حمل در انتقال نفت کوره داشته است. لازم به ذکر است به منظور حداقل کردن هزینه‌ی حمل، در انتقال نفت کوره از مبادی به مقاصد نیاز به استفاده از مسیرهای آبی نبوده است.

جدول ۵- مقایسه عملکرد وسایل حمل در انتقال نفت کوره

وسایل حمل	نسبت حجم حمل شده (درصد)	نسبت هزینه‌ی حمل (درصد)	متوسط مسافت حمل شده (کیلومتر)
خطوط لوله	۸۶,۴	۶۳,۲	۲۸۳
نفت‌کش جاده پیما	۹,۶	۲۶,۷	۱۴۸
مخازن راه آهن	۴	۱۰,۱	۲۱۱

مأخذ: یافته‌های محقق

نتایج آزمون تحلیل حساسیت

نتایج تحلیل حساسیت مقادیر سمت راست (مقدار عرضه و تقاضا)

در این مرحله به توضیح نتایج آزمون تحلیل حساسیت پرداخته شده است. در جدول ۶، قیمت سایه‌ای و محدوده‌ی مجاز تغییر مقدار عرضه‌ی هر یک از مبادی نشان داده شده است که با تغییر مقدار عرضه در این محدوده، تغییری در شبکه‌ی بهینه‌ی توزیع انجام نمی‌گیرد، اما اگر در اثر عواملی میزان عرضه‌ی مبدا از حدود مجاز تجاوز کند، در این صورت شبکه‌ی بهینه‌ی توزیع تغییر می‌کند. به ازاء هر واحد تغییر در عرضه‌ی معادل قیمت سایه‌ای در میان مبادی، تنها پالایشگاه تهران از حساسیت برخوردار است و قیمت سایه‌ی مابقی پالایشگاه‌ها صفر می‌باشد، بنابراین وزارت نفت با افزایش عرضه‌ی پالایشگاه تهران، هزینه‌ی حمل و نقل کم‌تری را متحمل می‌شود. قیمت‌های سایه‌ای صفر به علت آن است که مبادی مربوطه دارای مازاد عرضه هستند.

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۶- نتایج تحلیل حساسیت مقادیر عرضه

مبدا	مقدار عرضه	قیمت سایه‌ای	کم‌ترین مقدار مجاز	بیش‌ترین مقدار مجاز
تهران	۲۸۸۳,۵	-۱۹۴۰۴,۵۷	۲۸۸۳,۳۴۵	۲۹۳۷,۹۷۸
شیراز	۴۴۵۳	۰	۶۹۳,۳۴۴۹	۱۳۱۳,۸۶
اصفهان	۱۳۱۴	۰	۴۴۵۲,۸۴۳	۵۰۷۳,۳۵۸
تبریز	۶۹۳,۵	۰	۱۳۱۳,۸۴۷	۱۹۳۴,۳۶۲
اراک	۵۴۷,۵	۰	۲۳۳۵,۸۴۲	۲۹۵۶,۳۵۶
بندرعباس	۶۲۰,۵	۰	۶۲۴۱,۳۵	۶۸۶۱,۸۶۵
لاوان	۸۷۲۳,۵	۰	۶۲۰,۲۹۴۷	M
کرمانشاه	۲۳۳۶	۰	۵۴۷,۳۴۷۵	۱۱۶۷,۸۶۲
آبادان	۶۲۴۱,۵	۰	۸۷۲۳,۳۴۵	۹۳۴۳,۸۶

مأخذ: یافته‌های محقق

در مورد نقاط تقاضا کننده نیز مطالب بالا صادق است، تا زمانی که مقدار تقاضای این نقاط در محدوده‌ی مورد نظر تغییر کند، شبکه‌ی توزیع بهینه تغییر نمی‌کند؛ ولی در صورت که کاهش مقدار تقاضا کم‌تر از مقدار مجاز باشد، به ازای هر یک واحد افزایش تقاضا، معادل قیمت سایه‌ای به هزینه‌ی کل توزیع افزوده می‌شود. در میان نقاط مصرف کننده، بیرجند بیش‌ترین حساسیت را دارد، به ازای یک واحد افزایش تقاضای بیرجند، ۲۲۰۴۴۰ ریال به هزینه‌ی کل افزوده می‌شود. بعد از بیرجند شهرهای زابل، زاهدان و بجنورد به ترتیب بیش‌ترین حساسیت را دارند. رفسنجان با قیمت سایه‌ای ۳۵۰۷ ریال کم‌ترین حساسیت را دارد؛ هم‌چنین قیمت سایه‌ای شهرهای تبریز، اصفهان، آبادان، شیراز، کرمانشاه، اراک و بندرعباس قیمت سایه‌ای صفر است (نتایج در جدول ۱۰ در پیوست آمده است).

نتایج تحلیل حساسیت ضرایب تابع هدف متغیرهای پایه‌ای (هزینه‌ی انتقال یک تن)

جدول ۱۱، حدود تغییرات ضرایب تابع هدف مربوط به متغیرهای پایه‌ای را نشان می‌دهد. همان‌طور که پیش از این نیز گفته شد، متغیرهای پایه‌ای متغیرهایی هستند

Archive of SID

www.SID.ir

که در الگوی بهینه مقدار غیرصفر داشته و انتقال نفت کوره در آن مسیرها انجام می‌شود. تا زمانی که هزینه‌ی انتقال یک تن نفت کوره از تهران به کرج در محدوده‌ی ۳۹۷۴,۴۳ تا ۱۶۵۷۴۰,۴ ریال تغییر کند، تأثیری بر مقدار حجم حمل شده از طریق این مسیر و هم‌چنین شبکه‌ی توزیع بهینه ندارد و این مسیر به عنوان یک متغیر پایه‌ای باقی می‌ماند. اما هنگامی که مقدار هزینه به بیش از ۱۶۵۷۴۰,۴ ریال افزایش یابد، موجب تغییر مقدار حجم انتقال یافته، تبدیل این مسیر به متغیر غیرپایه‌ای و هم‌چنین تغییر شبکه‌ی توزیع بهینه می‌شود. مسیر تهران به مشهد نسبت به سایر مسیرها به علت اختلاف فاحشی که میان ضرایب کنونی آن و حد بالای محدوده‌ی مجاز تغییر دارد؛ دارای حساسیت کم‌تری است. به بیان بهتر با افزایش این هزینه تا حدود ۳۲۹۴۱۴ ریال (مقدار حد بالا) این مسیر هم‌چنان به عنوان مسیر انتقال باقی می‌ماند که نسبت به سایر مسیرها این اختلاف بیش‌تر است. اما مسیرهای تهران به ساری، اصفهان به شاهین شهر، تبریز به سلماس، اراک به قم، ملایر و همدان، کرمانشاه به سنندج، آبادان به خرم آباد، ساری به آمل، مشهد به تربت جام، اهواز به دزفول و اردبیل به پارس آباد از حساسیت بسیار بالایی برخوردارند، به گونه‌ای که کوچک‌ترین افزایشی در هزینه‌های انتقال موجود سبب تغییر جواب بهینه می‌شود.

شایان ذکر است در برخی مسیرها، حد پایین مقدار منفی است که چون ضریب مربوطه ماهیت هزینه‌ای دارد، منفی بودن آن بی معنی است. از همین رو، حد پایین مسیرهای مذکور صفر در نظر گرفته می‌شود.

اختلاف شبکه‌ی توزیع بهینه و شبکه‌ی واقعی

در سیستم واقعی توزیع فرآورده در سال ۱۳۸۸، ۱۲۸۳۳۲,۲ میلیون لیتر فرآورده به‌نقاط مختلف کشور حمل شده است. در مدل بهینه‌ی پیشنهاد شده، حجم حمل شده ۵,۸۷ درصد از کل حجم واقعی حمل شده در سال ۱۳۸۸ است که با ضرب این نسبت در هزینه‌ی کل تحقق یافته‌ی حمل فرآورده، می‌توان به مقدار تقریبی هزینه‌ی کل واقعی حمل نفت کوره دست یافت. در جدول ۷، مقادیر واقعی و بهینه‌ی هزینه‌ی حمل نشان داده شده است. مقایسه‌ی هزینه‌های تحقق یافته با هزینه‌های بهینه به‌دست آمده از مدل، نشان می‌دهد که با انجام برخی اصلاحات در شیوه‌ی انتقال نفت کوره از پالایشگاه‌های تولیدکننده به شهرستان‌های مصرف‌کننده، می‌توان حدود ۶۶٪ در هزینه‌های انتقال صرفه‌جویی کرد. همان‌طور که در جدول ۸ مشاهده می‌شود در مدل

Archive of SID

www.SID.ir

بهینه از خطوط لوله و مخازن راه‌آهن بیش از آن‌چه در واقعیت در انتقال نفت کوره استفاده شده، بهره برده شده است.

جدول ۷- مقایسه‌ی هزینه‌های حمل تحقیق یافته و بهینه (میلیون ریال)

	هزینه‌ی واقعی حمل	هزینه‌ی بهینه حمل	اختلاف مقدار واقعی از مقدار بهینه	میزان صرفه‌جویی
هزینه‌ی کل	۳۸۱۵۶۴,۷	۱۲۷۴۶۷,۸۵	۲۵۴۰۹۶,۸	٪۶۶,۵۹

مأخذ: تراز هیدروکربوری ۱۳۸۸ و یافته‌های محقق

جدول ۸- مقایسه‌ی حجم حمل شده در حالت بهینه با واقعیت

وسیله	نسبت حجم حمل شده‌ی بهینه به حجم واقعی حمل شده
خطوط لوله	۴,۸۹
نفت‌کش جاده پیما	۰,۳۶
مخازن راه آهن	۱۱,۴۳

مأخذ: تراز هیدروکربوری ۱۳۸۸ و یافته‌های محقق

۶- خلاصه و نتیجه گیری

بخش حمل و نقل یک عامل اقتصادی در تولید کالاها و خدمات است. حمل و نقل عاملی است که هم به فعالیت‌های اقتصادی شکل می‌دهد و هم توسط آن‌ها شکل می‌گیرد. در حقیقت حمل و نقل ارزش را بین فعالیت‌های اقتصادی توزیع و مقیاس اقتصادی را تسهیل می‌کند. فشرده شدن رقابت در عرصه‌های جهانی موجب شده است تا حمل و نقل به‌واسطه‌ی نقش مستقیم درکاهش هزینه‌های تمام شده‌ی تولید و دسترسی به بازار و در نهایت افزایش توان رقابت در عرصه‌ی تجارت بین‌الملل به‌ویژه برای کشورهایی که حجم تجارت خارجی (صادرات و واردات) آن‌ها بالا می‌باشد، از جایگاه بالایی در مدیریت، برنامه‌ریزی و سرمایه‌گذاری و حتی تحقیقات برخوردار شود.

با توجه به حجم قابل توجه نفت کوره در صادرات فرآورده‌های نفتی، در این مطالعه تلاش شده به بهینه‌یابی شبکه‌ی توزیع نفت کوره از پالایشگاه‌ها به مناطق مصرفی پرداخته شود. نتایج نشان می‌دهند که استفاده‌ی بیش‌تر از خطوط لوله در مسیرهایی که امکان آن وجود دارد موجب بهینه شدن شبکه‌ی توزیع این فرآورده می‌شود،

Archive of SID

www.SID.ir

هم‌چنین در مسیرهایی که امکان استفاده از خطوط نیست، در صورت در دسترس بودن خطوط راه آهن، استفاده از مخازن راه آهن مقرون به صرفه است. هم‌چنین نتایج حاصل از تحلیل حساسیت نشان می‌دهد در صورتی که وزارت نفت تمایل به افزایش ظرفیت تولید پالایشگاه‌ها داشته باشد، به منظور جلوگیری از افزایش هزینه‌های حمل و نقل، بهتر است پالایشگاه تهران در اولویت قرار گیرد. هم‌چنین برای جلوگیری از افزایش هزینه‌های حمل و نقل، جلوگیری از افزایش بیش از اندازه‌ی تقاضای شهرستان‌های بیرجند، زابل، زاهدان و بجنورد نسبت به سایر نقاط مصرفی اولویت دارد؛ علت این امر فاصله‌ی زیاد این نقاط از مبادی ورودی و هم‌چنین عدم دسترسی به خطوط لوله است. این نکته لزوم توسعه و گسترش خطوط لوله را مورد تأکید قرار می‌دهد. به طور کلی یافته‌های تحقیق نشان دهنده‌ی موارد زیر است:

- اولویت استفاده از خطوط لوله در مسیرهای که این خطوط وجود دارد و یا در نزدیکی خطوط لوله قرار دارند.
- در بلندمدت توجه بیش‌تری به برنامه‌های توسعه‌ی خطوط لوله شود.
- اولویت استفاده از مخازن راه آهن نسبت به نفت‌کش جاده پیما در برخی مسیرها.
- اولویت پالایشگاه تهران در افزایش ظرفیت تولید
- لزوم جلوگیری از افزایش مصرف بیش از حد شهرهای بیرجند، زابل، زاهدان و بجنورد

فهرست منابع

آمار نامه (۱۳۸۸)، شرکت ملی پخش فرآورده‌های نفتی ایران.

ترازنامه‌ی انرژی (۱۳۸۸)، معاونت امور برق و انرژی، دفتر برنامه‌ریزی کلان برق و انرژی.

ترازنامه‌ی هیدروکربوری (۱۳۸۸)، مؤسسه‌ی مطالعات بین‌المللی انرژی.

شمس خامنه، مهدی، (۱۳۸۶)، *بهینه‌یابی حمل و نقل گازوئیل (نفت‌گاز) از پالایشگاه‌ها و مبادی ورودی کشور به انبارهای اصلی شرکت ملی نفت ایران*، دانشگاه اصفهان.

کابلی زاده، احمد، (۱۳۷۸)، *بهینه‌یابی حمل و نقل بنزین در سطح کشور با استفاده از تکنیک M.G.A*، دانشگاه شهید بهشتی.

Archive of SID

www.SID.ir

محمدزاده، جواد (۱۳۷۵)، *بهینه‌یابی حمل و نقل بنزین از پالایشگاه‌ها و مبادی ورودی کشور به انبارهای شرکت نفت*، دانشگاه تربیت مدرس.

معماریان، عزیزا... و پروین روحانی، محمدعلی (۱۳۷۹)، *مدل برنامه‌ریزی حمل و نقل مرکب با پارامترهای فازی*، دانش مدیریت، شماره‌ی ۴۹، صص ۱۱-۳.

مهرگان، محمدرضا (۱۳۷۸)، *پژوهش عملیاتی: برنامه‌ریزی خطی و کاربردهای آن*، نشر کتاب دانشگاهی.

میرحسینی، سید علی و قربانعلی زاده، مریم و فانی، حامد (۱۳۸۸)، *بهینه سازی برنامه‌ریزی حمل فرآورده‌های نفتی با خطوط لوله*، اولین همایش راهکارهای نوین تأمین، نگهداشت، انتقال و توزیع فرآورده‌های نفتی.

طباطبایی محمدی، سید شهرام (۱۳۸۷)، *بررسی توزیع مواد نفتی بین کشورهای تولیدکننده و مصرف‌کننده و ارزیابی حمل و نقل آن*، دانشگاه صنعتی شریف.

وفادار مقدم، حمیدرضا (۱۳۷۴)، الگوی توزیع بهینه (حمل و نقل) گوشت قرمز در ایران، دانشگاه شهید بهشتی.

Jin. D, L.Kite_Powell. H, (1999), *On the Optimal Environmental liability limit for Marine Oil Transport, Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review* 35, 77-100.

Herran_Gonzalez. A and Cruz.L.D.M.J and Andres_Toro. D.B and Risco-Martin.L.J, (2009), *Modeling and Simulation of a Gas Distribution Pipeline Network, A.lied Mathematical Modeling* 33, 1584-1600.

Herran.A and Cruz. L.D.M.J and Andres.D.B, (2010), *A Mathematical Model for Planning Transportation of Multiple Petroleum Products in a Multi-Pipeline System, Computers & Chemical Engineering* 34, 401-413.

Herran.A and Cruz. L.D.M.J and Andres.D.B, (2012), *Global Search Metaheuristics for Planning Transportation of Multiple Petroleum Products in a Multi-Pipeline System, Computers & Chemical Engineering* 37248-261.

Morlok. E. K, (1982), *An Introduction to Transportation Engineering and Planning, Megrow-Hill*, New York.

Nihoul. J, (2003), *A None-Linear Mathematical Model for the Transport and Spreading of Oil Slicks, Ecological Modeling* 22, 325-339.

Pootakham. T, Kumar. A, (2010), *Bio*-Oil Transport by Pipeline: A Techno-Economic Assessment, *Bioresource Technology* 101, 7137-7143.

Archive of SID

www.SID.ir

Relvas. S, Paula Barbosa_Povoa. A, A.Matos. H, (2009), *Oil products Distribution Systems: Decomposition A.roach on Pipeline and Inventory Scheduling*, *Computer Aided Chemical Engineering* 27, 1971-1976.

Sazi Murat. Y, Ceylan. H, (2006),*Use of Artificial Neural Networks for Transport Energy Demand Modeling*, *Energy Policy* 34, 3165-3172.

Archive of SID

www.SID.ir

پیوست

جدول ۹- مقادیر نفت کوره‌ی محاسبه شده برای حمل از هر مبدا به هر مقصد

مبدا	مقصد	مقدار (میلیون لیتر)	هزینه (ریال/تن)	هزینه‌ی کل (میلیون ریال)
تهران	کرج	۴۵۹,۹	۳۹۷۴,۴۳	۱۴۲۰,۲۶
تهران	اسلامشهر	۵,۴۷۵	۱۵۴۱۴,۸۰	۶۵,۶۵
تهران	پاکدشت	۲۴,۰۹	۱۳۰۲۹,۶۰	۲۴۳,۹۰
تهران	ورامین	۳۵,۰۴	۲۱۲۸۸,۸۰	۵۷۹,۶۸
تهران	سبزوار	۱۵۸,۰۴۵	۴۹۳۴۵,۲۸	۶۰۵۹,۵۵
تهران	مشهد	۳۲۵,۵۸	۶۵۵۷۸,۱۰	۱۶۵۸۹,۲۸
تهران	نیشابور	۲۹,۵۶۵	۵۷۹۱۷,۵۸	۱۳۳۰,۳۸
تهران	قزوین	۱۴۶۸,۳۹۵	۱۱۸۹۹,۹۱	۱۳۵۷۷,۰۸
تهران	گرگان	۷۰,۰۸	۳۹۲۲۹,۹۶	۲۱۳۶,۰۴
تهران	گنبدکاووس	۲۵,۱۸۵	۳۹۰۷۴,۱۰	۷۶۴,۶۶
تهران	رشت	۱۲,۷۷۵	۲۴۶۷۲,۶۴	۲۴۴,۹۹
تهران	ساری	۲۶,۲۸	۲۲۱۵۵,۵۰	۴۵۲,۱۶
شیراز	کازرون	۱۱,۳۱۵	۴۷۳۴۸	۴۱۶,۱۴
شیراز	مرودشت	۱۴۱,۲۵۵	۱۳۱۱۰	۱۴۳۸,۹۶
اصفهان	شاهین شهر	۲۳۴,۶۹۵	۱۶۲۶۹,۲۰	۲۹۶۶,۸۵
اصفهان	نجف آباد	۱۴,۶	۱۵۰۹۴,۴۰	۱۷۱,۳۰
اصفهان	شهرکرد	۱۵,۶۹۵	۴۴۸۵۶	۵۴۷,۲۲
تبریز	خوی	۳۲,۴۸۵	۵۹۰۹۶	۱۴۹۱,۵۸
تبریز	سلماس	۷,۴۲۴۵۹	۵۵۵۴۵	۳۲۰,۴۷۹۶
تبریز	میاندوآب	۲۹۶,۷۴۵	۱۱۱۹۸,۵۴	۲۵۸۲,۰۲۴
تبریز	اردبیل	۳۲,۱۲	۱۷۷۳۶,۸۷	۴۴۲,۶۷
تبریز	زنجان	۱۰۹,۸۶۵	۲۳۷۶۸,۶۵	۲۰۲۹,۱۱
اراک	قم	۳۷۵,۹۵	۹۳۵۱,۶۰	۲۷۳۱,۷۲
اراک	بروجرد	۴۸,۹۱	۴۴۵۰۰	۱۶۹۱,۰۰
اراک	ملایر	۶,۹۳۵	۸۷۲۸,۱۶	۴۷,۰۵
اراک	همدان	۷۸۷,۳۰۵	۱۵۹۷۵,۶۵	۹۷۷۲,۹۵
بندرعباس	رفسنجان	۷۱۸,۶۸۵	۳۵۰۶,۸۵	۱۹۵۸,۲۹
بندرعباس	سیرجان	۴۹,۶۴	۲۶۰۲۸,۶۲	۱۰۰۳,۸۸

Archive of SID

www.SID.ir

مبدا	مقصد	مقدار (میلیون لیتر)	هزینه (ریال/تن)	هزینه‌ی کل (میلیون ریال)
بندرعباس	کرمان	۳۰۴,۴۱	۱۳۲۴۸,۱۰	۳۱۳۳,۵۸
کرمانشاه	سنندج	۱۷,۸۸۵	۱۰۰۲۹,۵۹	۱۳۹,۴۰
آبادان	اهواز	۳۰۸,۰۶	۱۱۷۶۷,۴۳	۲۸۱۶,۷۵
آبادان	بندر ماهشهر	۲۶,۶۴۵	۹۱۱۷,۸۱	۱۸۸,۷۳
آبادان	خرم آباد	۲۸,۱۰۵	۳۹۰۰۳,۹۷	۸۵۱,۸۱
میاندوآب	ارومیه	۲۱۷,۵۴	۱۰۸۰۱,۱۰	۱۸۲۵,۷۰۲
ساری	آمل	۹,۴۹	۲۸۸۳۶	۲۱۲,۵۲
ساری	بابل	۴,۳۸	۱۴۹۸۷,۶۰	۵۰,۹۴
ساری	قائم‌شهر	۳,۲۸۵	۸۱۵۲,۴۰	۲۰,۷۹
مشهد	تربت جام	۳۵,۷۷	۶۷۹۹۶	۱۸۸۹,۶۱
رفسنجان	یزد	۵۹۸,۹۶۵	۱۷۲۲۲,۵۳	۸۰۱۵,۳۴
کرج	رباط کریم	۳۹,۴۲	۱۸۲۹۸,۴۰	۵۶۰,۴۸
کرج	شهریار	۳۲,۱۲	۸۵۴۴	۲۱۳,۲۵
اهواز	دزفول	۲۸,۱۰۵	۵۳۴۰۰	۱۱۶۶,۲۱
قم	کاشان	۹۳,۰۷۵	۳۳۸۱۰	۲۴۴۵,۱۱
قم	تهران	۵۴,۳۸۵	۱۰۰۵۲,۹۷	۴۲۴,۷۷
کرمان	بیرجند	۷۱,۱۷۵	۲۰۷۱۹۲	۱۱۴۵۷,۶۷
کرمان	زابل	۵۵,۸۴۵	۱۹۹۰۰۴	۸۶۳۴,۸۴
کرمان	زاهدان	۵۹,۴۹۵	۱۸۸۳۷۰	۸۷۰۸,۴۰
اردبیل	پارس آباد	۱,۰۹۵	۷۲۹۸۰	۶۱,۹۴
اردبیل	مشگین شهر	۱,۰۹۵	۳۵۹۵۶	۳۰,۵۲
گرگان	بجنورد	۱۸,۲۵	۱۰۸۹۳۶	۱۵۴۴,۶۳
هزینه‌ی کل=۱۲۷۴۶۷,۸۰ میلیون ریال				

مأخذ: یافته‌های محقق

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۱۰- نتایج تحلیل حساسیت مقادیر تقاضا

مقصد	مقدار تقاضا	قیمت سایه‌ای	کم‌ترین مقدار مجاز	بیش‌ترین مقدار مجاز
تبریز	۷۶۱,۳۹	۰	۱۴۱,۰۲۸۳	۷۶۱,۵۴۳۱
ارومیه	۲۱۷,۵۴	۲۱۹۹۹,۶۴	-۰,۰۰۱۲۹	۲۱۷,۶۹۵
خوی	۳۲,۴۸۵	۵۹۰۹۶	-۰,۰۰۱۲۹	۳۲,۶۳۷۰۷
سلماس	۷,۴۲۵	۵۵۵۴۵	-۰,۰۰۱۲۹	۷,۵۷۹۱۵۱
میاندوآب	۷۹,۲۰۵	۱۱۱۹۸,۵۴	-۲۱۷,۵۴۳	۷۹,۳۵۵۲۱
اردبیل	۲۹,۹۳	۱۷۷۳۶,۸۷	-۲,۱۸۹۱۹	۳۰,۰۸۸۸
پارس آباد	۱,۰۹۵	۹۰۷۱۶,۸۷	-۰,۰۰۱۲۹	۱,۲۴۷۱۰۴
مشگین شهر	۱,۰۹۵	۵۳۶۹۲,۸۷	-۰,۰۰۱۲۹	۱,۲۴۷۱۰۴
اصفهان	۲۳۵۳,۸۸۵	۰	۱۷۳۳,۵۳۸	۲۳۵۴,۰۴
شاهین شهر	۲۳۴,۶۹۵	۱۶۲۶۹,۲۰	-۰,۰۰۱۲۹	۲۳۴,۸۵۰۷
کاشان	۹۳,۰۷۵	۴۳۱۶۱,۶۰	-۰,۰۰۱۲۹	۹۳,۲۲۹۰۹
نجف آباد	۱۴,۶	۱۵۰۹۴,۴	-۰,۰۰۱۲۹	۱۴,۷۶۰۶۲
کرج	۳۸۸,۳۶	۲۳۳۷۹	۳۳۳,۸۸۵۵	۳۸۸,۵۱۸۷
اسلامشهر	۵,۴۷۵	۳۴۸۱۹,۳۷	-۰,۰۰۱۲۹	۵,۶۳۵۷۷۹
پاکدشت	۲۴,۰۹	۳۲۴۳۴,۱۷	-۰,۰۰۱۲۹	۲۴,۲۴۵۸۲
تهران	۲۹۷,۴۷۵	۱۹۴۰۴,۵۷	۲۴۲,۹۹۷۴	۲۹۷,۶۳۰۶
رباط کریم	۳۹,۴۲	۴۱۶۷۷,۴	-۰,۰۰۱۲۹	۳۹,۵۷۴
شهریار	۳۲,۱۲	۳۱۹۲۳	-۰,۰۰۱۲۹	۳۲,۲۷۶۷۱
ورامین	۳۵,۰۴	۴۰۶۹۳,۳۷	-۰,۰۰۱۲۹	۳۵,۱۹۸۲
شهرکرد	۱۵,۶۹۵	۴۴۸۵۶	-۰,۰۰۱۲۹	۱۵,۸۵۴۵۷
بیرجند	۷۱,۱۷۵	۲۲۰۴۴۰,۱	-۰,۰۰۱۲۹	۷۱,۳۲۴۳۲
تربت جام	۳۵,۷۷	۱۵۲۹۷۸,۷	-۰,۰۰۱۲۹	۳۵,۹۱۸۹۲
سبزوار	۱۵۸,۰۴۵	۶۸۷۴۹,۸۵	۱۰۳,۵۶۳۷	۱۵۸,۱۹۶۹
مشهد	۲۸۹,۸۱	۸۴۹۸۲,۶۷	۲۳۵,۳۲۶۹	۲۸۹,۹۶۰۱
نیشابور	۲۹,۵۶۵	۷۷۳۲۲,۱۵	-۰,۰۰۱۲۹	۲۹,۷۱۵۵۷
بجنورد	۱۸,۲۵	۱۶۷۵۷۰,۵	-۰,۰۰۱۲۹	۱۸,۴۰۲۸۳
آبادان	۴,۷۴۵	۰	-۶۱۵,۶۱۳	۴,۹۰۲۱۸۸
اهواز	۲۷۹,۹۵۵	۱۱۷۶۷,۴۳	-۲۸,۱۰۹۴	۲۸۰,۱۱۴۵
بندر ماهشهر	۲۶,۶۴۵	۹۱۱۷,۸۱	-۰,۰۰۱۲۹	۲۶,۷۹۴۰۸

Archive of SID

www.SID.ir

مقصد	مقدار تقاضا	قیمت سایه‌ای	کم‌ترین مقدار مجاز	بیش‌ترین مقدار مجاز
دزفول	۲۸,۱۰۵	۶۵۱۶۷,۴۳	-۰,۰۰۱۲۹	۲۸,۲۶۱۲۶
زنجان	۱۰۹,۸۶۵	۲۳۷۶۸,۶۵	-۰,۰۰۱۲۹	۱۱۰,۰۲۴۵
زابل	۵۵,۸۴۵	۲۱۲۲۵۲,۱	-۰,۰۰۱۲۹	۵۵,۹۹۶۱۴
زاهدان	۵۹,۴۹۵	۲۰۱۶۱۸,۱	-۰,۰۰۱۲۹	۵۹,۶۵۱۲۲
شیراز	۵۰,۰۰۵	۰	-۵۷۰,۳۶۲	۵۰,۱۵۳۱۵
کازرون	۱۱,۳۱۵	۴۷۳۴۸	-۰,۰۰۱۲۹	۱۱,۴۶۵۸۹
مرودشت	۱۴۱,۲۵۵	۱۳۱۱۰	-۰,۰۰۱۲۹	۱۴۱,۴۱۴۴
قزوین	۱۴۶۸,۳۹۵	۳۱۳۰۴,۴۸	۱۴۱۳,۹۱۱	۱۴۶۸,۵۴۴
قم	۲۲۸,۴۹	۹۳۵۱,۶	-۱۴۷,۶۲	۲۲۸,۶۴۷۴
سنندج	۱۷,۸۸۵	۱۰۰۲۹,۵۹	-۰,۰۰۱۲۹	۱۸,۰۴۲۴۷
رفسنجان	۱۱۹,۷۲	۳۵۰۶,۸۵	-۵۰۰,۶۴۵	۱۱۹,۸۷
سیرجان	۴۹,۶۴	۲۶۰۲۸,۶۲	-۰,۰۰۱۲۹	۴۹,۷۹۲۷۹
کرمان	۱۱۷,۸۹۵	۱۳۲۴۸,۱	-۱۸۶,۵۱۴	۱۱۸,۰۵۵۳
کرمانشاه	۰,۷۸۸۴	۰	-۶۱۹,۵۷۷	۰,۹۳۸۲۲۴
گرگان	۵۱,۸۳	۵۸۶۳۴,۵۳	-۲,۶۵۲۵۱	۵۱,۹۸۰۶۹
گنبد کاووس	۲۵,۱۸۵	۵۸۴۷۸,۶۷	-۰,۰۰۱۲۹	۲۵,۳۳۹۷۷
رشت	۱۲,۷۷۵	۴۴۰۷۷,۲۱	-۰,۰۰۱۲۹	۱۲,۹۳۳۰۸
بروجرد	۴۸,۹۱	۴۴۵۰۰	-۰,۰۰۱۲۹	۴۹,۰۵۹۲
خرم آباد	۲۸,۱۰۵	۳۹۰۰۳,۹۷	-۰,۰۰۱۲۹	۲۸,۲۶۱۲۶
آمل	۹,۴۹	۷۰۳۹۶,۰۷	-۰,۰۰۱۲۹	۹,۶۳۸۳۵۳
بابل	۴,۳۸	۵۶۵۴۷,۶۷	-۰,۰۰۱۲۹	۴,۵۲۸۹۵۸
ساری	۹,۱۲۵	۴۱۵۶۰,۰۷	-۱۷,۱۴۴۱	۹,۲۷۷۹۹۲
قائمشهر	۳,۲۸۵	۴۹۷۱۶,۴۷	-۰,۰۰۱۲۹	۳,۴۳۵۰۰۶
اراک	۹۳۴,۰۳۵	۰	۳۱۳,۶۹۲۴	۹۳۴,۱۹۴۳
بندر عباس	۰,۷۶۶۵	۰	-۶۱۹,۵۸۹	۰,۹۲۵۳۵۴
ملایر	۶,۹۳۵	۸۷۲۸,۱۶	-۰,۰۰۱۲۹	۷,۰۹۰۰۹
همدان	۷۸۷,۳۰۵	۱۵۹۷۵,۶۵	۱۶۶,۹۶۱۴	۷۸۷,۴۶۳۳
یزد	۵۹۸,۹۶۵	۲۰۷۲۹,۳۸	-۰,۰۰۱۲۹	۵۹۹,۱۲۳۶

مأخذ: یافته‌های محقق

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۱۱- نتایج تحلیل حساسیت ضرایب متغیرهای پایه‌ای

مبدا	مقصد	هزینه(ریال/تن)	کم‌ترین مقدار مجاز	بیش‌ترین مقدار مجاز
تهران	کرج	۳۹۷۴,۴۳	۳۹۷۴,۴۳	۱۶۵۷۴۰,۴
تهران	اسلامشهر	۱۵۴۱۴,۸۰	۱۵۳۱۳,۴۹	۱۵۷۴۷,۹۷
تهران	پاکدشت	۱۳۰۲۹,۶۰	-۲۱۷۸۹,۷۷	۱۸۷۸۴,۰۳
تهران	ورامین	۲۱۲۸۸,۸۰	۵۹۱۰,۶	۲۹۱۹۸,۶۹
تهران	سبزوار	۴۹۳۴۵,۲۸	۸۶۵۱,۹۱	۷۱۹۰۲,۹۱
تهران	مشهد	۶۵۵۷۸,۱۰	۲۹۹۳۳,۳۵	۳۲۹۴۱۳,۶
تهران	نیشابور	۵۷۹۱۷,۵۸	۴۷۲۳۳,۴۴	۲۵۳۱۸۸,۳
تهران	قزوین	۱۱۸۹۹,۹۱	-۵۳۶۷۸,۱۹	۱۵۳۰۶۹,۸
تهران	گرگان	۳۹۲۲۹,۹۶	۳۹۲۲۹,۹۶	۳۹۳۳۱,۲۷
تهران	گنبدکاووس	۳۹۰۷۴,۱۰	-۱۹۵۶۰,۴۳	۴۹۷۵۸,۲۴
تهران	رشت	۲۴۶۷۲,۶۴	-۳۳۸۰۶,۰۳	۸۷۸۵۴,۰۴
تهران	ساری	۲۲۱۵۵,۵۰	-۳۳۸۹,۹۶۱	۲۲۱۵۵,۵
شیراز	کازرون	۴۷۳۴۸	۴۷۳۴۸	۲۱۷۳۷۷,۸
شیراز	مرودشت	۱۳۱۱۰	-۳۴۲۳۸	۱۰۲۶۸۳,۸
اصفهان	شاهین شهر	۱۶۲۶۹,۲۰	-۷۳۳۰۴,۶۱	۱۶۲۶۹,۲
اصفهان	نجف آباد	۱۵۰۹۴,۴۰	۱۵۰۹۴,۴	۶۰۳۴۸,۳۵
اصفهان	شهرکرد	۴۴۸۵۶	۲۸۵۸۶,۸	۱۴۱۰۸۲,۸
تبریز	خوی	۵۹۰۹۶	۱۴۲۴۰	۱۱۶۴۱۲
تبریز	سلماس	۵۵۵۴۵	۱۰۲۹۱,۰۵	۵۵۵۴۵
تبریز	میاندوآب	۱۱۱۹۸,۵۴	۱۱۱۹۸,۵۴	۳۳۵۹۵,۶۲
تبریز	اردبیل	۱۷۷۳۶,۸۷	-۴۱۳۵۹,۱۳	۲۹۴۱۲,۵۱
تبریز	زنجان	۲۳۷۶۸,۶۵	۱۱۰۵۰,۴۵	۲۴۰۴۳,۲۹
اراک	قم	۹۳۵۱,۶۰	۹۰۷۶,۹۵۹	۹۳۵۱,۶۰
اراک	بروجرد	۴۴۵۰۰	۲۶۷۶۳,۱۳	۹۷۲۵۱,۱۳
اراک	ملایر	۸۷۲۸,۱۶	-۱۰۳۶۴,۶۹	۸۷۲۸,۱۶
اراک	همدان	۱۵۹۷۵,۶۵	۸۰۶۵,۷۶	۱۵۹۷۵,۶۵
بندرعباس	رفسنجان	۳۵۰۶,۸۵	-۴۰۹۹۳,۱۵	۳۷۵۲۶,۸۲
بندرعباس	سیرجان	۲۶۰۲۸,۶۲	۲۶۰۲۸,۶۲	۴۳۴۸۴,۹۴
بندرعباس	کرمان	۱۳۲۴۸,۱۰	۴۵۱۹,۹۳۹	۵۲۰۵۷,۲۴

Archive of SID

www.SID.ir

مبدا	مقصد	هزینه(ریال/تن)	کم‌ترین مقدار مجاز	بیش‌ترین مقدار مجاز
کرمانشاه	سنندج	۱۰۰۲۹,۵۹	۴۴۴,۱۹۹۲	۱۰۰۲۹,۵۹
آبادان	اهواز	۱۱۷۶۷,۴۳	-۱۴۸۰,۶۷	۴۱۸۹۸,۱۹
آبادان	بندر ماهشهر	۹۱۱۷,۸۱	۹۱۱۷,۸۱	۳۵۶۱۴,۰۱
آبادان	خرم آباد	۳۹۰۰۳,۹۷	۳۴۶۶۳,۲۷	۳۹۰۰۳,۹۷
میاندوآب	ارومیه	۱۰۸۰۱,۱۰	۷۷۱,۵۰۹۸	۱۱۳۴۳۰,۱۰
ساری	آمل	۲۸۸۳۶	-۱۷۳۷۶,۴۹	۲۸۸۳۶
ساری	بابل	۱۴۹۸۷,۶۰	۱۴۹۸۷,۶۰	۳۳۲۲۳,۲۲
ساری	قائمشهر	۸۱۵۲,۴۰	-۹۶۵,۴۰۹۷	۵۴۳۶۴,۸۹
مشهد	تربت جام	۶۷۹۹۶	۳۳۹۷۶,۰۳	۶۷۹۹۶
رفسنجان	یزد	۱۷۲۲۲,۵۳	-۳۹۳۲۵,۱۴	۱۳۶۸۲۸,۱
کرج	رباط کریم	۱۸۲۹۸,۴۰	-۳۱۴۱۴,۰۷	۱۵۰۷۹۱,۲
کرج	شهریار	۸۵۴۴	-۱۴۴۴۳۴,۷	۲۰۳۸۱۴,۷
اهواز	دزفول	۵۳۴۰۰	-M	۵۳۴۰۰
قم	کاشان	۳۳۸۱۰	-M	۳۴۰۸۴,۶۴
قم	تهران	۱۰۰۵۲,۹۷	۵۷۱۲,۲۶۹	۱۳۵۵۹,۸۲
کرمان	بیرجند	۲۰۷۱۹۲	۲۰۶۸۵۸,۸	۲۰۷۲۹۳,۳
کرمان	زابل	۱۹۹۰۰۴	۱۵۷۳۲۶,۶	۱۹۹۳۳۷,۲۰
کرمان	زاهدان	۱۸۸۳۷	۱۵۶۴۴۷	۱۹۳۵۸۰,۴۰
اردبیل	پارس آباد	۷۲۹۸۰	۶۵۰۷۰,۱۱	۷۲۹۸۰
اردبیل	مشگین شهر	۳۵۹۵۶	۳۵۹۵۶	۴۳۸۶۵,۸۹
گرگان	بجنورد	۱۰۸۹۳۶	-M	۱۴۲۹۵۶

مأخذ: یافته‌های محقق

Archive of SID

www.SID.ir