

# مکان‌یابی بندر خشک با رویکرد مکان‌یابی محورها در شرایط عدم قطعیت

## تقاضا: مطالعه موردی ایران

محدثه دورودیان، دانشجوی کارشناسی ارشد، موسسه آموزش و پژوهش مدیریت و برنامه‌ریزی، تهران، ایران  
میر سامان پیشوایی\*، استادیار، دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران  
بابک فرهنگ مقدم، استادیار، عضو هیئت علمی موسسه آموزش و پژوهش مدیریت و برنامه‌ریزی، تهران، ایران

\*پست الکترونیکی نویسنده مسئول: [pishvae@iust.ac.ir](mailto:pishvae@iust.ac.ir)

دریافت: ۱۳۹۶/۰۲/۱۸ - پذیرش: ۱۳۹۶/۰۸/۰۳

صفحه ۱۸۵-۲۰۸

### چکیده

مهم‌ترین مشکلی که امروزه بنادر ساحلی به علت استفاده روزافزون از کانتینر در حمل‌ونقل دریایی با آن مواجه‌اند، فقدان فضای کافی جهت انبارش کانتینرها، هزینه‌های بالای زمین و عدم وجود دسترسی مطلوب به مبادی و مقاصد کالا است. مناسب‌ترین شیوه برای غلبه بر مسائل جاری استفاده از مفهوم بندر خشک به‌عنوان پایانه‌ی حمل‌ونقل چندوجهی، با فاصله مناسب نسبت به بنادر ساحلی و مبادی و مقاصد داخل کشور است. در این پژوهش به مدل‌سازی مسئله مکان‌یابی بندر خشک به‌عنوان پایانه‌ی حمل‌ونقل چندوجهی با استفاده از رویکرد مسئله مکان‌یابی-تخصیص  $p$ -هاب میانه پرداخته شده است. برای نزدیک شدن به شرایط دنیای واقعی پارامتر تقاضا، غیرقطعی فرض شده است؛ بنابراین در این پژوهش مدلی استوار که در برابر عدم قطعیت مقاوم باشد پیشنهاد شده است. مدل‌های بهینه‌سازی استوار سناریو محور، امکان تولید جواب موجه و بهینه در برابر نوسان پارامترهای غیرقطعی مسئله را دارند. داده‌های استفاده شده برای این مدل داده‌های واقعی مربوط به شبکه حمل‌ونقل ریلی و جاده‌ای ایران است. نتایج به‌کارگیری مدل پیشنهادی برای مکان‌یابی بندر خشک در کشور نشان می‌دهد که پتانسیل احداث سه بندر خشک در شهرهای کرمان، فارس و خراسان شمالی وجود دارد. در انتهای پژوهش اعتبارسنجی مدل استوار ارائه شده است. نتایج نشان دهنده ۳۱٪ بهبود عملکرد مدل و کارایی خروجی مدل استوار پیشنهادی است.

واژه‌های کلیدی: بندر خشک، مکان‌یابی هاب، حمل‌ونقل چند وجهی، بهینه‌سازی استوار

### ۱- مقدمه

تحویل بار به مقاصد، کم بودن امنیت در حمل‌ونقل بار به‌گونه‌ای در سراسر دنیا افزایش یافت که ضرورت وجود تسهیلاتی را برای مدیریت بر این خلأها در حمل‌ونقل بار به‌ویژه حمل‌ونقل شبکه متصل به راه‌های دریایی ایجاد کرد (Cullinane and Wilmsmeier, 2011; Jarzemskis and Vasiliauskas, 2007; Roso and Lumsden, 2010; Veenstra, Zuihwijk

با توجه به رشد حمل‌ونقل کانتینری در جهان از اواسط دهه ۱۹۵۰، ساخت کشتی‌های حمل کانتینرهای بزرگ توسعه یافت. ترافیک حمل‌ونقل دریایی منتهی به بنادر ساحلی، نبود فضای کافی برای پهلوگیری کشتی‌ها، خلأ مدیریت بر کانتینرهای خالی، طولانی بودن زمان انجام کارهای اداری گمرکی، هزینه‌های حمل‌ونقلی بالا، عدم استفاده بهینه از حمل‌ونقل ترکیبی، عدم رعایت زمان

(and van Asperen, 2012). بندر خشک یک پایانه ترکیبی در پس کرانه است که با استفاده از یک یا چند شیوه حمل و نقلی با ظرفیت بالا، به یک یا چند بندر ساحلی متصل است. تجهیزات لازم و کافی برای مواجهه با ترافیک ناشی از استفاده چندین شیوه حمل و نقلی در آن در نظر گرفته شده و مشتریان می‌توانند کالاهایشان را با استفاده از این شیوه‌ها به آن ارسال نمایند و یا از آن تحویل گیرند. با توجه به تعریف ارائه شده در بالا به تسهیل مورد نیاز بندر خشک می‌گویند (UNCTAD, 1991; Woxenius, Roso, & Lumsden, 2004). منافع و پیشرفت‌های ناشی از ایجاد بندر خشک، بسته به رویه‌های موجود، هزینه‌های صرف شده، مسیرهای مورد استفاده، تسهیلات فراهم شده و شرایط محلی؛ در هر مورد، متفاوت است. منافع بالفعل و بالقوه احداث بندر خشک می‌تواند به صورت زیر فهرست شود (UNCTAD, 1991):

- افزایش در جریان‌های تجاری
- کاهش نرخ‌های باربری درب به درب
- اجتناب از دیرکرد در تخلیه بار و تأخیر در ثبت سوابق
- استفاده بهینه از حمل و نقل جاده‌ای و ریلی
- استفاده از راه آهن ملی
- استفاده بهتر از ظرفیت‌ها
- استفاده بیشتر از کانتینرها
- بندر خشک، کنترل‌های ملی بیشتری را در مورد عملیات حمل و نقل ممکن می‌سازد.
- با کاهش در کاغذبازی تأخیرها کم می‌شوند؛ و اطلاعات بهتر جریان می‌یابند.
- در هر بندر خشک، سعی بر آن است که با به‌کارگیری شیوه‌های مختلف حمل و نقلی، کارایی و اثربخشی حمل و نقل افزایش یابد. مهم‌ترین مسئله در برخورد با این راه‌حل یافتن محل مناسب جهت احداث آن است که منجر به گشوده شدن زمینه‌های پژوهشی بسیاری در این باب شده است (Ambrosino and Sciomachen, 2004; de Langed and Chouly, 2012a). مسئله ارزیابی مکان‌های ممکن برای ایجاد بندر خشک می‌تواند به‌عنوان یک نوع خاص از مسئله مکان‌یابی هاب، که

اخیراً بسیار مورد توجه مجامع علمی است، در نظر گرفته شود.

ایران با داشتن بنادر تجاری بزرگی همچون بندر شهید رجایی، شهید باهنر و بندر امام خمینی و دسترسی این بنادر به راه‌های اقیانوسی، امکان ارتباط با نقاط مختلف جهان و حضور در بازارهای رقابتی بین‌المللی را دارد؛ همچنین از دلایل اساسی نیاز شبکه حمل بار ایران به بندر خشک و توسعه آن، جابه‌جایی نزدیک به ۹۰٪ بارها از راه دریا می‌باشد. توسعه حمل و نقل چند وجهی و ترکیب هم‌زمان ریل و جاده در شبکه حمل بار که منجر به کاهش زمان ارسال کالا از بندر به مقاضی در نتیجه افزایش مطلوبیت او می‌گردد و صرفه‌جویی در هزینه‌های شبکه را در پی خواهد داشت، در دسته موارد ضرورت این پژوهش در ایران است، در حال حاضر در ایران سه خط ریلی وجود دارد که مقیاس بسیار کمی در مقابل خطوط جاده‌ای برای حمل بار است؛ با فرض این پژوهش مبنی بر کمان‌های چند وجهی ما بین تمامی شهرستان‌ها و یافتن خطوط مورد استفاده در سناریوهای پیشنهادی که تا حد امکان پوشش دهنده وضعیت بار را داشته باشند؛ امکان توسعه خطوط ریلی فراهم می‌گردد. در شکل ۱ دلایل احداث بندر خشک که منجر به خلأ پژوهشی و نیاز ایران و جهان به بندر خشک می‌باشد آورده شده است. جهت انتخاب مناسب‌ترین محل احداث بندر خشک مدلی نیز پیشنهاد شده است. بعلاوه تمام پارامترها در دنیای واقعی همیشه ثابت و مشخص نیستند. رویکردی که در سال‌های اخیر برای مقابله با عدم قطعیت داده‌ها بسط داده شده است، بهینه‌سازی استوار می‌باشد. رویکرد استوار برای حل مسائل بهینه‌سازی با عدم قطعیت داده‌ها در اوایل دهه‌ی ۱۹۷۰ پیشنهاد شد و اخیراً به‌طور گسترده‌ای مورد مطالعه قرار گرفته و توسعه یافته است. با توجه به اینکه مسئله مورد بررسی در این پژوهش دارای عدم قطعیت در داده‌ها که از نوع عدم قطعیت احتمالی (وجود داده‌های تاریخی و واقعی) می‌باشد، از رویکرد بهینه‌سازی استوار مبتنی بر سناریو برای برخورد با عدم قطعیت استفاده شده است.

بهینه‌سازی استوار نوعی مدل‌سازی است که در آن به بهینه‌سازی به هنگام رخ دادن بدترین موارد پرداخته می‌شود و مهم‌تر اینکه در تمامی پژوهش‌های مرتبط به بندرخشک چه در سطح جهانی و چه در مقیاس ایران؛ بهینه‌سازی استوار استفاده نشده است. در نتیجه نوآوری‌های پرداخته شده در این مقاله به صورت موردی عبارت‌اند از: تعیین تعداد بهینه بندر/بنداربخشک به صورت درون‌زا توسط مدل؛ مکان‌یابی بندر/بنداربخشک با رویکرد مسائل مکان‌یابی و تخصیص مراکز صادراتی و وارداتی کشور به آن‌ها؛ تعیین تعداد و ظرفیت بندر/بنداربخشک؛ در نظر گرفتن محدودیت جابه‌جایی کمان‌ها در جابه‌جایی بار؛ در نظر گرفتن هزینه عملیاتی در بنداربخشک؛ استفاده از نرم‌افزار GIS جهت تعیین نقاط نامزد احداث بندرخشک با توجه به معیارهای خبرگان؛ اعمال شرایط واقعی از جمله نوسان در پارامتر تقاضا و استفاده از روش‌های بهینه‌سازی و استوارسازی در شرایط عدم قطعیت. همچنین که در پژوهش جاری مطالعه موردی کشور ایران قرار داده شده است زیرا تا کنون مشابه این دیدگاه برای ایران در نظر گرفته نشده است.

در نهایت با پیشنهاد نقاطی جهت احداث بندرخشک توسط مدل پیشنهادی و مقایسه نمودن این نقاط با کارهای عملیاتی گذشته از دیدگاه هزینه در ایران به علاوه اعتبارسنجی مدل پیشنهادی، میزان کارایی و اثربخشی مدل نشان داده می‌شود. در این پژوهش به بررسی ضرورت احداث بندرخشک و بررسی وجود آن در ایران نیز پرداخته می‌شود. همچنین مدلی جهت مکان‌یابی بندرخشک با استفاده از رویکرد P-هاب میانه و در نظر گرفتن حمل و نقل چندوجهی ارائه داده شده است. مسئله در شرایط عدم قطعیت نیز مورد بررسی و توسعه قرار گرفته است. مسئله مورد بحث بر روی یک شبکه چندوجهی دارای محدودیت ظرفیت فرموله شده است.

در ادامه در بخش دوم به مرور ادبیات موجود در این حوزه پرداخته شده است. بخش سوم شامل تعریف مسئله

به صورت دقیق و مدل پیشنهادی است. بخش چهارم به بررسی نتایج و مطالعه موردی می‌پردازد و در نهایت بخش پنجم و ششم شامل اعتبارسنجی مدل‌ها، نتیجه‌گیری و پیشنهادها هستند.

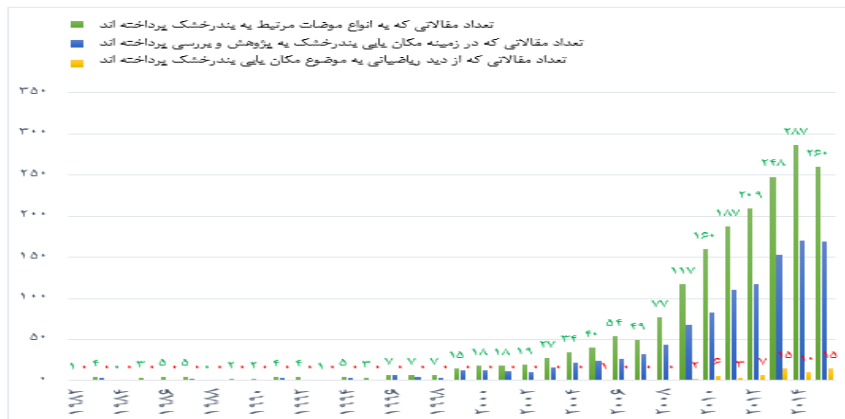
## ۲-پیشینه تحقیق

بنادر دریایی سنتی به منظور بهبود رقابت‌پذیری برای حفظ یا افزایش سهم بازاریشان در مقایسه با سایر بنادر دریایی متحمل فشارهایی هستند. با مفهوم بندرخشک، بنادر دریایی می‌توانند سطوح خدمات، ظرفیت‌ها و نواحی ذخیره‌سازی‌شان را در پایانه‌های ترکیبی مکان‌دهی شده در داخل کشور افزایش دهند. احداث بندرخشک از جمله تصمیمات استراتژیک بوده و هزینه‌های سنگینی را شامل می‌شود و هر گونه اشتباه در این تصمیم‌گیری ضررهای سنگینی را نتیجه می‌دهد (Feng et al, 2013). در سال ۲۰۱۱ لی و همکارانش، روش خوشه‌بندی برای حل مسئله مکان‌یابی بندرخشک (تعداد و مکان آن) پیشنهاد دادند (Li, Shi, & Hu, 2011). سپس مدلی برای مکان‌یابی شبکه بندر دریایی-بندرخشک جهت ایجاد دیدگاه جدیدی در روابط بندر دریایی و بندرخشک با توسعه الگوریتم حریمانه و الگوریتم ژنتیک توسعه دادند (Ambrosino & Sciomachen, 2014). دنیا امبرسینو و آنا سایماکن در سال ۲۰۱۴ مسئله مکان‌یابی بندرخشک را برای جابجایی بار در حمل و نقل چندوجهی با ارائه مدل MILP<sup>۲</sup> مطرح کردند (Ambrosino & Sciomachen, 2014). به علاوه محققان دیگر روش‌های گوناگونی از جمله وزن دهی به فاکتورهای مؤثر در انتخاب محل احداث بندرخشک، روش‌های تحلیل پوششی داده و انواع روش‌های فازی را ارائه و توسعه دادند (Bourgani & Stylios, 2013; Deveci et al, 2015; Hanaoka, 2012; Wang & Wei, 2009; Zhang & Wang, 2011).

به‌طور کلی تمامی مطالعات انجام شده در این زمینه‌ها را می‌توان به صورت شکل ۱ نشان داد.



شکل ۱. روند تعداد پژوهش‌های زمینه بندرخشک از زمان تعریف بندرخشک تاکنون



روش‌های فازی و ... پرداخته‌اند ( Canh & Notteboom, 2016; Crainic et al., 2014).  
 واضح است که خلأ پژوهشی در زمینه مکان‌یابی بندرخشک با رویکرد بهینه‌سازی وجود دارد.  
 با توجه به ویژگی‌های مسئله جایابی بندرخشک و شباهت رویکرد آن با مسئله مکان‌یابی p-هاب میانه مانند

ستون نارنجی رنگ نشان دهنده تعداد مقالاتی است که به مکان‌یابی بندرخشک از روش‌های ریاضیاتی مختلف من جمله روش تعیین وزن دهی به فاکتورهای انتخاب محل احداث، روش‌های تحلیل پوششی داده،

حداقل کردن جمع کل هزینه‌های حمل‌ونقلی در شبکه، تعیین تعداد و مکان بنادر خشک، تخصیص مراکز تقاضا به آن‌ها و ... می‌توان نتیجه گرفت بهترین رویکرد برخورد با این مسئله توسعه مدل پایه مکان‌یابی p-هاب میانه می‌باشد. در مطالعات انجام شده تعداد بنادر خشک عموماً به صورت برون‌زا انتخاب می‌شدند. اما در این پژوهش تعداد بنادر خشک به صورت درون‌زا توسط مدل تعیین می‌گردد که منجر به کاهش هزینه‌ها و بهبود عملکرد سیستم می‌شود. علاوه بر اهمیت تعیین مکان بهینه احداث؛ مشخص نمودن چگونگی جابه‌جایی بار نیز بسیار حائز اهمیت است. با توجه به قابلیت چندوجهی بودن بندرخشک می‌توان به مطالعات مربوط به حمل‌ونقل چندوجهی اشاره کرد. از دهه ۱۹۷۰ به بعد توجهات به حمل‌ونقل چندوجهی با مطالعه ناتر و همکارانش آغاز شد و با گذشت زمان به بررسی و توسعه مطالعات حمل‌ونقل چندوجهی، انواع آن و کاربردش در علوم مختلف پرداخته شد (RD Nutter, CA Zraket, 1970; Steadieseifi et al, 2014). در زمینه مکان‌یابی و بندرخشک نیز به علت تسهیل در حمل‌ونقل و مزایای آن مورد توجه پژوهشگران قرار گرفته است. به‌طور مثال در سال ۲۰۱۱ مسئله مکان‌یابی هاب در شبکه چندوجهی راه‌آهن - جاده توسط ایشفک و ساکس ارائه شد (Ishfaq & Sox, 2011). مدلی نیز در مسئله شبکه هاب و کمان با هدف تقویت و حمایت از افزایش میزان جابه‌جایی از طریق راه‌آهن توسعه یافت (Racunica & Wynter, 2005).

هاب یا محور نیز تسهیل خاصی است که به‌عنوان یک مرکز سویچ در سیستم‌هایی با فواصل طولانی استفاده می‌شود، در شبکه‌هایی جریان بین گره‌ها بر روی یال‌ها نشان داده می‌شود که این متغیر می‌تواند به‌عنوان هزینه، زمان، فاصله و... تعریف شود. جریان در سیستم چرخ و تویی به صورت واحد تقاضا بین هر دو گره در نظر گرفته می‌شود. با توجه به شناخته شده بودن حیطة مکان‌یابی برای آشنایی بیشتر در این زمینه مقالات مروری از جمله (Alumur & Kara, 2008; Ben-Tal & Nemirovski, 1998; Campbell & O'Kelly, 2012; Farahani et al, 2013; O'Kelly &

Miller, 1994) بسیار مفید می‌باشند. در دنیای واقعی پارامترها به ندرت مقادیر دقیق و قطعی دارند. پس به‌منظور نزدیک‌تر شدن خروجی مدل به دنیای واقعی بهتر است نوسانات پارامترهای دارای عدم قطعیت در مدل آورده شود. توسعه مدل مکان‌یابی بندرخشک با در نظرگیری عدم قطعیت شکاف مهمی در تحقیقات موجود در این زمینه است، که در پژوهش‌های مکان‌یابی بندرخشک تاکنون به این مسئله پرداخته نشده است. رویکردهای متنوعی برای مدل‌سازی تحت شرایط عدم قطعیت وجود دارد و مدل‌سازی استوار سناریو محور یکی از بهترین این رویکردهاست. در این مقاله یک مدل غیرقطعی مکان‌یابی بندرخشک ارائه و با استفاده از روش بهینه‌سازی استوار سناریو محور آقازف حل شده است.

در مدل‌های مکان‌یابی - تخصیص بندرخشک، به‌موازات اهمیت در نظرگیری عدم قطعیت در مدل و نزدیک‌تر شدن نتیجه به شرایط دنیای واقعی، داشتن مطالعه موردی برای بررسی صحت مدل بسیار حائز اهمیت است. به‌عنوان مثال، دنیل امبرسینو و آنا سایمکن یک مدل مکان‌یابی بندرخشک با در نظر گرفتن حمل‌ونقل ترکیبی با محدودیت ظرفیت را طراحی و در نهایت مدل خود را در منطقه جنوبی ایتالیا پیاده کردند؛ تا پتانسیل اقتصادی مدل، ساختارهای موجود را بررسی کنند (Ambrosino & Sciomachen, 2014). فنگ و همکاران یک مدل قطعی نیز برای مکان‌یابی بندرخشک در نظر گرفتند و مدل خود را در منطقه تنگه تایوان در چین پیاده کردند (Feng et al., 2013). همچنین مدلی برای مکان‌یابی بندرخشک در مناطق داخلی کشور مربوط به بندر کوتونا در غرب آفریقا توسط لیمبورگ و همکاران ارائه شده است (Lihoussou & Limbourg, 2012). با توجه به ادبیات انجام شده در موضوع بندرخشک و کارهای انجام شده در زمینه یافتن مناسب‌ترین محل در جهت احداث آن در جهان و بالأخص در ایران شکاف‌های ادبیاتی موجود در زمینه بندرخشک و مکان‌یابی آن عبارت است از:

(۱) تعیین تعداد بهینه بندر/بنادر خشک به صورت درون‌زا توسط مدل

۲) مکان‌یابی بندر/بنادرخشک با رویکرد مسائل مکان‌یابی و تخصیص مراکز صادراتی و وارداتی کشور به آن‌ها

۳) تعیین ظرفیت بندر/بنادرخشک

۴) در نظر گرفتن محدودیت جابه‌جایی کمان‌ها در جابه‌جایی بار

۵) در نظر گرفتن هزینه عملیاتی در بنادرخشک

۶) استفاده از نرم‌افزار GIS جهت تعیین نقاط نامزد احداث بندرخشک با توجه به معیارهای خبرگان

۷) در نظر گرفتن انواع کالا و خدمات موجود در بار در حال جابه‌جایی در شبکه

۸) اعمال دوره‌های زمانی برای تحویل کالاها

۹) اعمال شرایط واقعی از جمله نوسان در داده‌ها و پارامترها مانند هزینه احداث بندرخشک، تقاضای بار و ...

۱۰) تعیین معیارهای زیست محیطی در انتخاب بهینه مکان بندرخشک

۱۱) استفاده از روش‌های بهینه‌سازی و استوارسازی در شرایط عدم قطعیت

که از بین موارد بالا شماره‌های ۱ الی ۶ و ۹ و ۱۱ در این پژوهش به‌عنوان نوآوری‌های پژوهشی مورد بررسی قرار داده شده است. به عبارت دیگر به‌صورت خلاصه می‌توان گفت: در این پژوهش ضرورت احداث بندرخشک در کشورهای دارای تجارت از راه دریا و آب‌های آزاد و بالأخص ایران مطرح شد. فواید احداث بندرخشک نیز ذکر شد و به دنبال آن در جهت توسعه خطوط ریلی در شبکه حمل بار در تمامی کشورها و بخصوص ایران از مفهوم حمل‌ونقل ترکیبی استفاده شد. به‌گونه‌ای که استفاده هم‌زمان از ریل و جاده با در نظر گرفتن هزینه شبکه حمل بار و تقسیم بار میان کامیون و قطار به‌صورت هم‌زمان با استفاده از داده‌های ایران این مزیت را نمایش قرار خواهد داد. ظرفیت بندرخشک اگر مشخص گردد بجای هزینه برای مساحت‌هایی از بندرخشک که استفاده نخواهد شد در بخش توسعه ریل و واگن به بهره‌برداری خواهد رسید؛ این دیدگاه نیز در مدل‌سازی آورده شده است. در ادامه نوآوری‌های این

مقاله؛ در بخش مدل‌های ارائه شده، مکان‌یابی بهینه چه در شرایط اطلاعات ثابت و مشخص تمامی داده‌های مسئله و چه در شرایط وجود پارامتر تقاضا با مقدار دارای نوسان ارائه داده شده است. همچنین توسعه خطوط ریلی که تاکنون مورد توجه نویسندگان این حوزه و بخصوص در ایران قرار نگرفته است از جمله نوآوری‌های این پژوهش است. اعمال ظرفیت بندرخشک در جایگاه متغیر و مشخص کردن آن توسط مدل از دیگر نوآوری‌های این حوزه است. تخصیص مناسب بندر دریایی و نقاط داخلی کشور نیز در ایران تا به اکنون مورد مطالعه قرار نگرفته است و در مدل پیشنهادی نمایش داده خواهد شد. در این پژوهش نیز مدل مکان‌یابی بندرخشک و تخصیص نقاط داخلی کشور به آن‌ها در ایران مورد ارزیابی قرار گرفته است و این رویکرد مدل‌سازی و تعیین ساختار شبکه حمل‌ونقلی مرتبط با بندرخشک برای اولین بار است که در ایران مورد مطالعه قرار می‌گیرد.

### ۳- تعریف مسئله و مدل‌سازی

شبکه حمل‌ونقل بار شامل نقاطی در داخل کشور است که بار میان آن‌ها در حرکت می‌باشد؛ بخشی از این بار از راه‌های بنادر دریایی وارد کشور می‌شوند و یا از آن خارج می‌گردند. این مقاله به دنبال طراحی بهینه شبکه حمل بار وارد شده از بنادر دریایی است که این طراحی بهینه و کاهش هزینه‌های شبکه منجر به احداث بندرخشک می‌گردد.

شبکه مورد بحث در این پژوهش شامل نقاط صادرات و واردات کالا در شهرستان‌های مختلف ایران و بنادر دریایی شهید رجائی و شهید باهنر و امام خمینی در جنوب کشور و خطوط جاده‌ای موجود می‌باشد. این حالت نمایانگر مشکلات ناشی از نبود بندرخشک مشخص است، تعداد بالای خطوط ارتباطی و استفاده از یک نوع شیوه حمل‌ونقل و باقی مشکلات ناشی در شبکه که در بخش مقدمه توضیح داده شد، اما در حالت احداث بندرخشک و توسعه خطوط ریلی مابین نقاط از تعداد

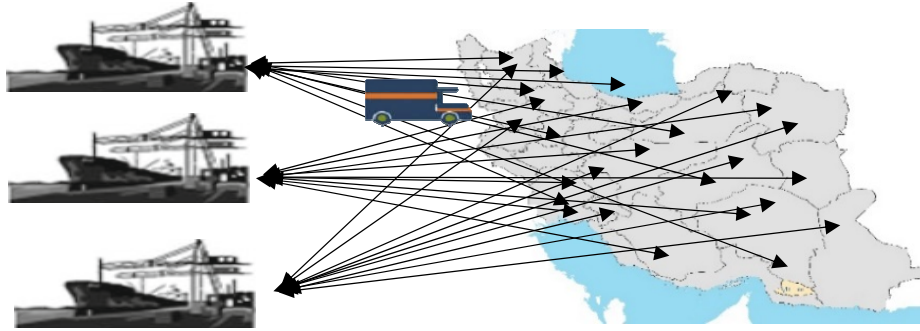
خطوط ارتباطی کاهش می‌یابد و به شیوه حمل‌ونقلی ریلی اضافه می‌گردد. ترافیک کشتی‌ها در بنادر دریایی کاسته شده، خطوط ریلی گسترش یافته و همان‌گونه که از شکل و شکل مشخص است، با ایجاد بندرخشک در شبکه بسیاری از جابه‌جایی‌ها و هزینه‌های حمل‌ونقلی کاهش می‌یابد. سپس می‌توان هزینه‌های صرفه‌جویی شده را در بخش احداث و توسعه انواع خطوط حمل‌ونقلی مانند ریل تخصیص داد و در طولانی مدت منجر به کاهش کل هزینه سیستم حمل بار شد. از طرفی در داخل شبکه حمل بار نیز جابه‌جایی بار مابین شهرستان‌ها وجود دارد. که با انتخاب بندرخشک ارتباط سایر نقاط و بار جاری در شبکه داخلی نیز از راه این محورها خواهد بود. هدف از این پژوهش بررسی ضرورت احداث بندرخشک و سپس مکان‌یابی و تعیین تعداد آن با در نظر گرفتن حمل‌ونقل چندوجهی به صورت ترکیب جاده و ریل و تخصیص بهینه نقاط وارداتی و صادراتی و بنادر ساحلی به آن‌ها می‌باشد. جهت توسعه خطوط ریلی فرض شده است که مابین تمامی نقاط شبکه، ریل وجود دارد. از دلایل انتخاب قطار و توسعه آن در مسئله می‌توان به مواردی از قبیل امنیت بالای حمل بار که منجر به افزایش رضایت و مطلوبیت متقاضی خواهد شد؛ سازگاری با محیط زیست، بالا بودن ظرفیت قطار نسبت به کامیون، اشغال فضای کمتر جهت احداث ریل نسبت به جاده، کمتر بودن هزینه حمل‌ونقل ریلی و ... اشاره کرد. در ایران نیز با جست‌وجوی مناسب‌ترین محل جهت احداث بندرخشک از میان نقاط نامزد که از اشتراک خطوط ریلی و جاده‌ای و اعمال نظر خبرگان انتخاب شده‌اند، کشور را به سمت حمل بار در شرایط ترکیب ریل و جاده و توسعه ریل سوق داد. از طرفی به علت بالا بودن زمان خواب کالا در انبارهای ساحلی ایران که منجر به ترافیک کشتی‌ها و زمان بالای انتظار جهت پهلوگیری و تخلیه یا بارگیری در بندر دریایی

است بسیاری از کشتی‌های حامل بار به مقصد ایران به بنادر پرسرعتی همچون جبل علی در امارات رفته و از طریق پرداخت هزینه در مرز مشترک وارد کشور می‌شود و این مسئله سبب خروج ارز به علت کارایی پایین خدمات در بندر دریایی و ساحل است.

مفروضات در نظر گرفته شده در مدل شامل این موارد می‌باشد که مسیرهای ما بین مبادی و مقاصد لزوماً تک بندرخشکی نیستند و می‌توانند بیش از یک بندرخشک را شامل شوند؛ مانند مسیر: مبدأ-بندرخشک-بندرخشک-مقصد. همچنین بعد از مشخص شدن مکان بندرخشک هیچ مسیر مستقیمی مابین مبادی و مقاصد بار وجود ندارد. در حمل‌ونقل پارامتر زمان در کنار پارامتر هزینه دیده می‌شود؛ اما در مسئله حمل‌ونقل بار به علت جزئی بودن اهمیت فاکتور زمان در مدل‌سازی حذف گردیده و بهینه‌سازی تنها روی فاکتور هزینه اعمال می‌شود. ابتدا با ثابت بودن تمام پارامترهای مسئله مدل‌سازی صورت می‌گیرد و در بخش بعدی، به ارائه مدل با فرض غیرقطعی بودن پارامتر تقاضا پرداخته خواهد شد.

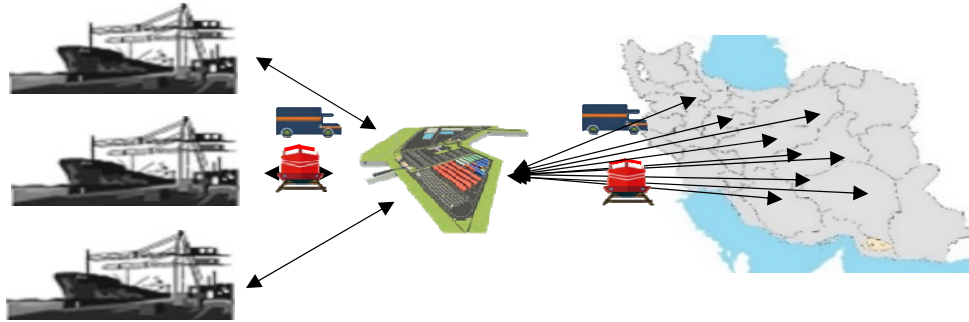
### ۳-۱- مدل‌سازی

مدل ارائه شده در این بخش توسعه یک مدل برنامه‌ریزی  $p$ -هاب میانه با تخصیص چندگانه با تغییراتی در تابع هدف و محدودیت‌ها متناسب با اهداف و فرض‌های مسئله می‌باشد. اندیس‌ها، پارامترها و متغیرهای استفاده شده در ساخت مدل ریاضی مسئله در زیر توضیح داده شده‌اند.



جابه‌جایی بار مابین بندر دریایی و نقاط داخلی کشور تخلیه و بارگیری در بندر

شکل ۲. وضعیت جریان بار قبل از احداث بندر خشک



انتقال بار به نقاط داخلی کشور از بندر خشک  
تخلیه و بارگیری در بندر بندر خشک

شکل ۳. وضعیت شبکه حمل‌ونقل دریایی به داخل کشور بعد از احداث بندر خشک

اندیس‌ها	پارامترها
اندیس مبادی ارسال کالا می‌باشد $\{i, j, k, l, m, n, o, p, q, r, s, t, u, v, w, x, y, z\}$	$f_i^k$
اندیس مقاصد دریافت کننده کالا است $\{i, j, k, l, m, n, o, p, q, r, s, t, u, v, w, x, y, z\}$	$o_i$
اندیس نخستین محور وارد شونده بار در شبکه محورها می‌باشد $\{i, j, k, l, m, n, o, p, q, r, s, t, u, v, w, x, y, z\}$	$x_i^m$
اندیس محور آخر عبوری بار از شبکه محورها می‌باشد $\{i, j, k, l, m, n, o, p, q, r, s, t, u, v, w, x, y, z\}$	$o_i^m$
اندیس روش حمل‌ونقلی کالا است که دو روش جاده و ریل می‌باشد $\{i, j, k, l, m, n, o, p, q, r, s, t, u, v, w, x, y, z\}$	$o_i^m$
هزینه ثابت تأسیس محور $k$ در حالت شماره $i$ برای سطح ظرفیت محور	$f_i^k$
میزان تقاضای جابه‌جایی بار از مبادی $i$ به تمام مقاصد	$o_i$
هر واحد هزینه جابه‌جایی بار از مبادی به محورها از روش حمل‌ونقلی $m$	$x_i^m$
هر واحد هزینه جابه‌جایی بار از محورها به سمت مقاصد از روش حمل‌ونقلی $m$	$o_i^m$
هر واحد هزینه جابه‌جایی بار در داخل شبکه محورها از روش حمل‌ونقلی $m$	$o_i^m$
ظرفیت مسیر با روش جابه‌جایی $m$	$p_i^m$
ماتریس تقاضای بار میان مبادی $i$ و مقاصد $j$	$W_{ij}$
هزینه عملیاتی به ازای هر واحد جریان بار وارد شده به محور $k$	$ch_k$



فاصله مبدأ $i$ از محور $k$	$d_{ik}$
فاصله محور $k$ تا محور $l$	$d_{kl}$
فاصله محور $l$ تا مقصد $j$	$d_{lj}$
سطح ظرفیت در حالت $c$ برای احداث محور $k$	$p_k^c$
هزینه ثابت تأسیس محور $k$ در حالت شماره $c$ برای سطح ظرفیت محور	$f_k^c$
میزان تقاضای جابه‌جایی بار از مبدا $i$ به تمام مقاصد	$Q_i$
ماتریس تقاضای بار میان مبدا $i$ و مقاصد $j$	$W_{ij}$

متغیرها

متغیر مکان‌یابی بندر خشک از نوع متغیرهای باینری $(x_k, y_k)$	$x_k$
میزان جریان بار جابه‌جا شده میان مبدا $i$ به محور $k$ با روش جابه‌جایی $m$	$w_{ik}^m$
میزان جریان بار جابه‌جا شده میان محورها و مقاصد از مبدأ $i$ به مقصد $j$ که از هاب $k$ با روش جابه‌جایی $m$	$v_{ij}^m$
میزان جریان بار جابه‌جا شده میان محورها در شبکه میان محورها که از مبدأ $i$ به سمت شبکه محورها آمده‌اند و با روش $m$ میان محورهای $k$ و $l$ جابه‌جا می‌شوند.	$z_{kl}^m$
میزان جریان بار جابه‌جا شده میان مبدا $i$ به محور $k$ با روش جابه‌جایی $m$	$u_{ik}^m$
میزان جریان بار جابه‌جا شده میان محورها و مقاصد از مبدأ $i$ به مقصد $j$ که از هاب $k$ با روش جابه‌جایی $m$	$v_{ij}^m$
میزان جریان بار جابه‌جا شده میان محورها در شبکه میان محورها که از مبدأ $i$ به سمت شبکه محورها آمده‌اند و با روش $m$ میان محورهای $k$ و $l$ جابه‌جا می‌شوند.	$z_{kl}^m$

به دست می‌آید. هزینه عملیاتی هر محور  $ch_k$  به ازای میزان جریان وارد شده به آن یعنی  $w_{ik}^m$ . بخش سوم نیز مشابه بخش دوم هزینه حمل‌ونقلی و عملیاتی داخل شبکه محورها را نشان می‌دهد و در نهایت بخش چهارم هزینه حمل‌ونقلی مابین جریان بار از محورها به مقاصد را محاسبه می‌کند.

تابع هدف (۱) شامل هزینه‌هاست که چهار بخش می‌باشد: بخش اول هزینه تأسیس هر محور که از نقاط کاندید انتخاب بندر خشک در سطح ظرفیت  $c$  انتخاب می‌شود؛ است. بخش دوم هزینه‌های حمل‌ونقلی از مبدا  $i$  حمل بار به سمت محور بر اساس ضرب هر واحد هزینه حمل‌ونقلی با روش جابه‌جایی مشخص جاده یا ریل  $x^m$  در مقدار فاصله مبدأ تا محور  $d_{ik}$  در میزان جریان کالا  $w_{ik}^m$

$$\sum_{i \in H} \sum_{k \in H} f_k^c x_k^c + \sum_{m \in M} \sum_{i \in H} \sum_{k \in H} (d_{ik} x^m + ch_k) w_{ik}^m + \sum_{m \in M} \sum_{i \in H} \sum_{k \in H} \sum_{l \in H} (d_{kl} z^m + ch_l) y_{kl}^m + \sum_{m \in M} \sum_{i \in H} \sum_{j \in H} \sum_{k \in H} d_{ij} v_{ij}^m \quad (1)$$

$$\sum_{i \in H} \sum_{m \in M} v_{ij}^m = W_{ij} \quad \forall i, j \quad (2)$$

محدودیت (۲) تضمین می‌کند که تمام جریان‌هایی که به ازای هر مبدأ  $i$  به سمت مقاصد فرستاده می‌شود توسط شبکه محورها جمع‌آوری می‌شوند.

محدودیت‌های مدل شامل محدودیت‌های زیر می‌باشد: محدودیت (۲) تضمین می‌کند که تمام جریان‌هایی که به ازای هر مبدأ  $i$  به سمت مقاصد فرستاده می‌شود توسط شبکه محورها جمع‌آوری می‌شوند.

$$\sum_{k \in H} \sum_{m \in M} w_{ik}^m = Q_i \quad \forall i \quad (3)$$

محدودیت (۳) تضمین می‌کند تمام جریان‌های توزیع شده از محورها یا مجموع تمام جریان‌های خروجی از شبکه محورها برابر مقادیر ماتریس تقاضا می‌باشد.

$$\sum_{k \in \mathcal{K}} \sum_{m \in \mathcal{M}} y_{kl}^m - \sum_{l \in \mathcal{L}} \sum_{m \in \mathcal{M}} y_{lk}^m - \sum_{m \in \mathcal{M}} w_{lk}^m - \sum_{j \in \mathcal{J}} \sum_{m \in \mathcal{M}} w_{lj}^m \quad \forall l, k \quad (4)$$

است. یا به عبارت دیگر اگر نقطه کاندید  $k$  به عنوان محور انتخاب شود جمع جریان‌هایی که از مبدأ  $l$  به سمت محور  $k$  جریان دارد از کل جریان خروجی از مبدأ  $l$  کمتر است. محدودیت (۷) تضمین می‌کند که میزان جریان خارج شده از آخرین محور شبکه محورهای عبوری در مسیر بهینه میان مبدأ و مقصد بار در شبکه بنادرخشک به سمت مقصد بار کمتر است از میزان تقاضای بار میان آن مبدأ و مقصد مشخص.

محدودیت (۵) تضمین می‌کند که میزان جریان بار در شبکه بنادرخشک میان دو محور از میزان جریان ورودی از مبادی بار به سمت محورها کمتر می‌باشد. زیرا ممکن است برخی از بارها به محض ورود در شبکه محورها بدون جابه‌جایی میان دو هاب از شبکه خارج شده و به مقصد برسند. به عبارتی مسیر بهینه میان مبادی و مقاصد برخی از بارها فقط یک هاب از شبکه محورها باشد. محدودیت (۶) تضمین می‌کند که میزان جمع جریان‌های بار از هر مبدأ به یک محور از جمع جریان‌های خارج شده از آن مبدأ کمتر

$$\sum_{l \in \mathcal{L}} \sum_{m \in \mathcal{M}} y_{lk}^m \leq \sum_{m \in \mathcal{M}} w_{lk}^m \quad \forall l, k \quad (5)$$

$$\sum_{m \in \mathcal{M}} w_{lk}^m \leq \sum_{c \in \mathcal{C}} Q_c x_k^c \quad \forall l, k \quad (6)$$

$$\sum_{m \in \mathcal{M}} w_{lj}^m \leq \sum_{c \in \mathcal{C}} W_{lj} x_c^c \quad \forall l, j, l \quad (7)$$

محدودیت (۸) تضمین می‌کند که جریان وارد شده به هر محور از ظرفیت آن محور کمتر است.

$$\sum_{k \in \mathcal{K}} \sum_{m \in \mathcal{M}} w_{lk}^m \leq \sum_{c \in \mathcal{C}} T_k^c x_k^c \quad \forall k \quad (8)$$

محدودیت (۹) تضمین می‌کند که هر محور تنها در یک سطح ظرفیت احداث می‌شود.

$$\sum_{m \in \mathcal{M}} x_k^c \leq 1 \quad \forall k \quad (9)$$

محدودیت (۱۰) و (۱۱) و (۱۲) تضمین کننده اعمال محدودیت ظرفیت کمان ریلی و جاده‌ای می‌باشد.

$$w_{lk}^m \leq \gamma^m \quad \forall l, k, m \quad (10)$$

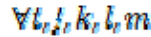
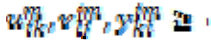
$$w_{lj}^m \leq \gamma^m \quad \forall l, j, k, m \quad (11)$$

$$y_{kl}^m \leq \gamma^m \quad \forall l, k, i, m \quad (12)$$

محدودیت (۱۳) بیان می‌کند متغیر مکان‌یابی متغیری باینری است.

$$x_k^c \in \{0, 1\} \quad \forall k \quad (13)$$

محدودیت (۱۴) نیز بیان کننده مثبت بودن مقدار جریان بار در شبکه حمل و نقلی ما بین مبادی و محورها و ما بین محورها با یکدیگر و ما بین محورها و مقاصد بار است.



(۱۴)

### ۳-۲- مدل سازی در شرایط عدم قطعیت

معمولاً، مسائل دنیای واقعی با فرض ثابت بودن و قطعی بودن پارامترهای ورودی آنالیز می شوند. در هر حال، در عمل، بسته به فرضیات مدل های ریاضیاتی پارامترهای ورودی مختلفی وجود دارد. بنابراین، این فرضیات گاهی منجر به جواب هایی غیر بهینه و غیر شدنی بر روی موردهای مطالعه دنیای واقعی می شوند. تقاضا، انواع هزینه ها و ظرفیت ها و مواردی که در طول زمان تغییراتی در مسائل مکان یابی تسهیلات از طراحی های شبکه ایجاد می کنند از این دسته پارامترها هستند. مسائلی که دارای پارامترهای غیر ثابت باشند را مسائل دارای عدم قطعیت می نامند. در مسئله مکان یابی بندر خشک نیز به علت وجود شرایطی از قبیل ثابت نبودن برخی اطلاعات از قبیل تقاضای بار، هزینه های احداث و ... استفاده از مدل های قطعی نتایج سودمندی در پی نخواهد داشت و منجر به جواب های غیر واقعی و خروجی های غیر بهینه و در نتیجه از دست رفتن سرمایه گذاری های بزرگ و عمده می گردد. با توجه به این واقعیت و اهداف و ویژگی های مسئله و خلأ پژوهشی موجود، رویکرد بهینه سازی استوار مناسب ترین رویکرد برای یافتن جواب موجه می باشد. تصمیم استوار تصمیمی است که نسبت به عدم قطعیت محیط تاب آورده، موجه و بهینه باشد. در بهینه سازی استوار، توابع احتمالی قابل استفاده نیستند و پارامتر تصادفی از طریق سناریوهای گسسته یا فواصل (بازه های) پیوسته تخمین زده می شوند.

در حالت گسسته برای هر پارامتر دارای عدم قطعیت چندین سناریو بر مبنای تجربیات گذشته و مطالعات امکان سنجی تعریف می شود (Mulvey et al, 1995). از نقطه نظر مدل سازی مسائل بهینه سازی استوار می توانند به سه دسته تقسیم شوند که عبارت اند از:

(۱) برنامه ریزی تصادفی استوار مبتنی بر سناریو ۳، ۲) برنامه ریزی استوار مبتنی بر مجموعه های عدم قطعیت محدب

بسته ۴ و ۳) برنامه ریزی استوار امکانی ۵. هدف از توسعه روش برنامه ریزی تصادفی مبتنی بر سناریو، کشف محتمل ترین حالات برای پارامترها و جمع بندی آن در قالب سناریوهای ممکن است. هر سناریو در واقع یک توصیف منطقی از شرایط آینده پارامترها یا جریان و مسیر رخدادهای از موقعیت فعلی به موقعیت آینده است. در نتیجه انتظار می رود در صورت وقوع هر سناریو، مقادیر متفاوتی از پارامترها و داده ها تحقق یابند. باید توجه داشت، افزایش حجم مسئله با افزایش سناریوها، میزان پیچیدگی مسئله را به طور قابل توجهی افزایش می دهد. در این مسئله نیز سه سناریو بر مبنای داده های تاریخی تقاضا در نظر گرفته شده است. از پیش تازان عرصه بهینه سازی استوار مبتنی بر سناریو، پژوهش مولوی و همکارانش است که می تواند به عنوان نقطه عطفی در توسعه مفهوم استواری ۶ نیز در نظر گرفته شود. به عنوان منبعی دیگر در این زمینه می توان به مطالعه کولیس و یو در سال ۲۰۱۳ در کتابی با عنوان "بهینه سازی استوار گسسته و کاربردهایش ۷" اشاره کرد. آقازف و همکاران در سال ۲۰۱۰ نیز با ایده گرفتن از مولوی و همکاران و با استفاده از رویکرد حداکثر تأسف به توسعه یک روش جدید بهینه سازی استوار مبتنی بر سناریو پرداختند. در این پژوهش از روش آقازف استفاده شده است (Aghezaf, Sitompul, & Najid, 2010; Mulvey et al., 1995).

در روش آقازف ابتدا حل بهینه حاصل از هر سناریو را به دست آورده و سپس مقادیر به دست آمده از حل بهینه را به صورت پارامتر وارد مدل استوار می نماییم، تابع هدف مدل استوار شامل کمینه کردن بیشترین اختلاف از حل بهینه (تأسف مطلق ۸) و کمینه کردن متوسط حالات سناریوها که حاصل ضرب احتمال هر سناریو که با  $\pi_s$  است (S اندیس سناریو می باشد) در مقدار تابع هدف در سناریو مورد نظر. بدین صورت می توانیم اطمینان حاصل کنیم که علاوه بر اینکه هزینه متوسط حالات کمینه می شود بدترین حالت را

هرچه  $\lambda$  کمتر باشد درجه اهمیت توجه به بدترین حالت را نشان می‌دهد (Aghezzaf et al., 2010).

در مدل فوق  $Z_s^*$  نشان‌دهنده مقدار تابع هدف به ازای سناریو  $s$  است و  $Z_s^{**}$  نشان‌دهنده مقدار بهینه تابع هدف از مقادیر سناریو  $S$  از مدل قطعی می‌باشد. توضیحات باقی محدودیت‌ها مشابه مدل قبلی است با در نظر گرفتن اندیس سناریو برای نشان دادن وارد شدن عدم قطعیت تقاضا با انواع سناریوهای محتمل.

نیز در نظر گرفته‌ایم. در این روش استوار سازی با توجه به اینکه به کمینه کردن هزینه بدترین حالت می‌پردازد می‌توانیم با اطمینان اظهار کنیم که جواب‌های به دست آمده از حل مدل در اکثریت سناریوهای ممکن و محتمل شدنی و نزدیک به حالت بهینه می‌باشد. این تابع هدف شامل دو جمله است، جمله اول به کمینه کردن بدترین حالت و جمله دوم به متوسط حالات موجود می‌پردازد لذا جواب‌های حاصل از حل مدل در اکثریت سناریوهای محتمل، شدنی و نزدیک به حالت بهینه می‌باشد. پارامتر  $\lambda$  توسط تصمیم گیرنده آزادانه انتخاب می‌شود، چرا که میزان وزنی اهمیت بدترین حالت و متوسط حالات را مشخص می‌سازد بدین صورت که هرچه وزن  $\lambda$  بیشتر باشد مدل به سمت متوسط حالات پیش میرد و

### □ اندیس‌ها، پارامترها و متغیرهای تغییر یافته

$s$	اندیس سناریو می‌باشد که در این پژوهش تعداد سه سناریو با توجه به داده‌های تاریخی برای پارامتر تقاضا می‌باشد. که عبارت‌اند از داده‌های سال‌های ۹۲، ۹۳ و ۹۳ که به ترتیب به این صورت نمایش داده می‌شود. $s = 1, 2, 3$
$f_k^s$	هزینه ثابت تأسیس محور $k$ در حالت شماره $s$ برای سطح ظرفیت محور است در سناریو $s$
$c_k^s$	میزان تقاضای جابه‌جایی بار از مبادی $k$ به تمام مقاصد تحت سناریو $s$
$\pi_s$	احتمال وقوع سناریو $s$
$w_k^m$	ماتریس تقاضای بار میان مبادی $k$ و مقاصد $m$ تحت سناریو $s$
$w_k^m$	میزان جریان بار جابه‌جا شده میان مبادی و محورها از مبدأ $k$ به محور $k$ با روش جابه‌جایی $m$ تحت سناریو $s$
$w_k^m$	میزان جریان بار جابه‌جا شده میان محورها و مقاصد از مبدأ $k$ به مقصد $m$ از هاب $k$ با روش جابه‌جایی $m$ تحت سناریو $s$
$w_k^m$	میزان جریان بار جابه‌جا شده میان محورها در شبکه میان محورها که از مبدأ $k$ به سمت شبکه محورها آمده‌اند و با روش $m$ میان محورهای $k$ و $k$ جابه‌جا می‌شوند تحت سناریو $s$

$$\text{Min } \mu (\text{Max}_s \pi_s (Z_s - Z_s^*)) + \lambda \sum_s \pi_s Z_s$$

$$Z_s = \sum_{s \in S} \sum_{k \in K} f_k^s x_k^s + \sum_{m \in M} \sum_{k \in K} \sum_{k' \in K} (d_{kk'} x_k^m + c h_{kk'}) w_{kk'}^m + \sum_{m \in M} \sum_{k \in K} \sum_{k' \in K} \sum_{k'' \in K} (d_{kk''} x_k^m + c h_{kk''}) \alpha_{kk''}^m \delta_{kk''}^m \quad (13)$$

$$\sum_{k \in K} \sum_{m \in M} w_{kk'}^m = c_k^s \quad \forall k, s \quad (14)$$

$$\sum_{l \in M} \sum_{m \in M} w_{ij}^{ims} = W_{ij}^s \quad \forall l, j, s \quad (15)$$

$$\sum_{k \in M} \sum_{m \in M} y_{kl}^{ims} - \sum_{l \in M} \sum_{m \in M} y_{lk}^{ims} = \sum_{m \in M} w_{ik}^{ms} - \sum_{j \in N} \sum_{m \in M} v_{ij}^{ims} \quad \forall l, k, s \quad (16)$$

$$\sum_{l \in M} \sum_{m \in M} y_{lk}^{ims} \leq \sum_{m \in M} w_{ik}^{ms} \quad \forall l, k, s \quad (17)$$

$$\sum_{m \in M} w_{ik}^{ms} \leq \sum_{c \in C} U_k^c x_k^c \quad \forall l, k, s \quad (18)$$

$$\sum_{m \in M} v_{ij}^{ims} \leq \sum_{c \in C} W_{ij}^c x_i^c \quad \forall l, j, l, s \quad (19)$$

$$\sum_{k \in M} \sum_{m \in M} w_{ik}^{ms} \leq \sum_{c \in C} I_k^c x_k^c \quad \forall k, s \quad (20)$$

$$\sum_{m \in M} x_k^c \leq 1 \quad \forall k \quad (21)$$

$$w_{ik}^{ms} \leq \gamma^{ms} \quad \forall l, k, m, s \quad (22)$$

$$v_{ij}^{ims} \leq \gamma^{ms} \quad \forall l, j, k, m, s \quad (23)$$

$$y_{kl}^{ims} \leq \gamma^{ms} \quad \forall l, k, l, m, s \quad (24)$$

## ۲- پیاده‌سازی و مطالعه موردی

در این بخش کارایی مدل پیشنهادی با استفاده از یک مطالعه موردی به منظور طراحی شبکه حمل و نقل بار میان بنادر دریایی و نقاط وارداتی و صادراتی داخلی کشور با ایجاد بندر خشک ارزیابی و آنالیز می‌شود. لازم به ذکر است مطالعه حاضر اولین مطالعه در راستای توسعه مدل مکان‌یابی بندر خشک با استفاده از رویکرد مسئله مکان‌یابی p-هاب میانه با تخصیص چندگانه در کشور است. با احداث بندر خشک و توسعه هر چه بیشتر خطوط حمل و نقلی و بخصوص ریلی در کشور،

می‌توان در زمینه صادرات و واردات نقاط داخلی کشور از بنادر دریایی چشم‌اندازهای خوبی را در منطقه و جهان ایجاد کرد. از مهم‌ترین انگیزه‌های احداث بندر خشک و توسعه حمل و نقل ترکیبی در ایران می‌توان به موارد زیر اشاره نمود: (۱) گستردگی جغرافیایی وسیع که در صورت احداث بندر خشک منجر به کاهش تعداد خطوط ارتباطی و صرفه‌جویی در هزینه‌های زیرساختی و جابه‌جایی بار می‌شود. (۲) تراکم کشتیهای حمل بار در اسکله‌ها به علت کمبود ظرفیت انبارهای بندر دریایی و پایین بودن مدیریت در این ناحیه (۳)

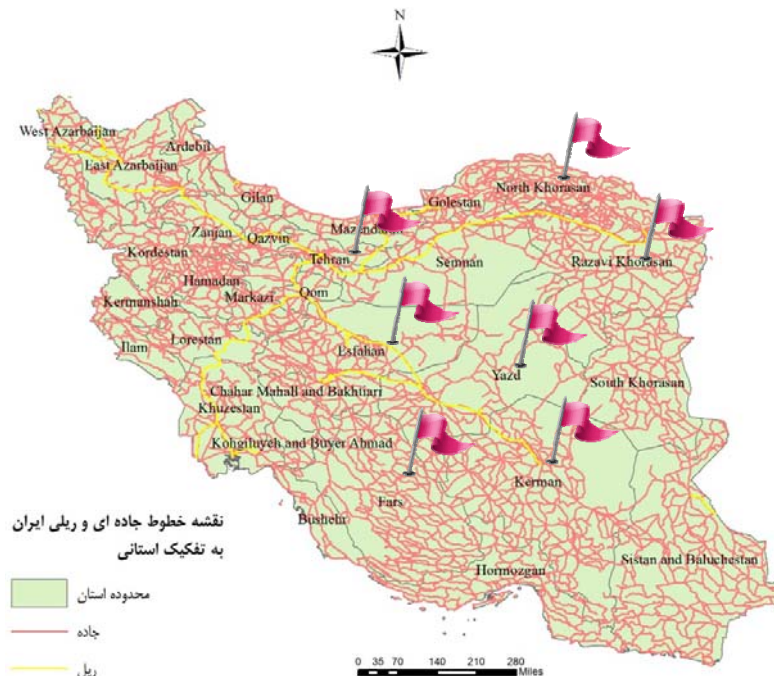
توسعه خطوط ریلی؛ در ایران عموماً حمل و نقل بار از طریق جاده صورت می‌گیرد در صورتی که جابه‌جایی بار توسط ریل به صورت چشمگیری سازگارتر با محیط زیست، ارزان‌تر و سریع‌تر است.

#### ۴-۱- مفروضات داده‌های مدل

در این مطالعه موردی، مفروضات و داده‌های زیر مورد استفاده

قرار گرفته است:

(۱) همان‌طور که در شکل ۲ نشان داده شده است، نقاط نامزد احداث بندر خشک از تجمیع نقاط اشتراک خطوط ریلی و جاده‌ای و نقاط بررسی‌های گذشته در ایران و مطابق با نظر خبرگان مشخص شده‌اند و عبارت‌اند از: تهران، اصفهان، خراسان رضوی، خراسان شمالی، کرمان، فارس و یزد.



شکل ۲. نمایش نقاط کاندید جهت انتخاب بندر خشک

(۲) یکی از مهم‌ترین فاکتورهای اقتصادی تأثیرگذار در مدل توسعه داده شده، هزینه‌های احداث و عملیاتی بندر خشک می‌باشد. هزینه زمین در هر کدام از مناطق با توجه به نظر خبرگان مشخص شده‌اند.

(۳) جریان بار میان نقاط مختلف شبکه حمل بار از اطلاعات به دست آمده از سازمان بنادر و دریانوردی و سازمان راهداری و حمل و نقل جاده‌ای استخراج شده است.

(۴) در ایران سه خط ریلی به صورت مشخص وجود دارد. جهت توسعه حمل و نقل با قطار فرض بر این است که

میان تمامی نقاط شبکه ریل وجود دارد.

(۵) برای پارامتر تقاضا سه سناریو بر اساس داده‌های تاریخی موجود در نظر گرفته شد و برای به دست آوردن نتیجه مدل قطعی از میانگین تقاضای سه سناریو استفاده شده است.

(۶) ظرفیت خطوط ریلی و جاده‌ای برای جابه‌جایی بار به ترتیب ۱۰ و ۸ هزار تن در طول سال فرض شده است.

(۷) سطوح فرض شده برای بندر خشک به صورت جدول (۱) در مدل استفاده شده است.

جدول ۱. سطوح ظرفیت فرض شده برای احداث بندر خشک در مدل

کد شناسایی نقطه نامزد احداث بندر خشک	۱	۲	۳	۴	۵
ظرفیت بندر خشک (هزار تن)	۳۰	۴۵	۵۰	۶۵	۷۰

### ۳- نتایج مدل

در این بخش مهم ترین نتایج به دست آمده از به کارگیری مدل های قطعی و استوار مکان یابی - تخصیص p-هاب میانه در مطالعه موردی تحلیل شده و تفاوت های بین آن ها بررسی می شود. لازم به ذکر است مدل های قطعی و استوار توسط حل کننده CPLEX نرم افزار بهینه سازی GAMS نسخه ۲۴.۱.۲ حل شده اند.

### ۳-۱- هزینه کل شبکه و عملکرد محاسباتی

در ابتدا لازم است مدل طراحی شبکه حمل و نقلی بندر خشک در حالت های قطعی و استوار از منظر هزینه کل شبکه حمل و نقلی و عملکرد محاسباتی مقایسه شوند. جدول (۲) هزینه کل شبکه حمل و نقل در حالت قطعی و استوار را نشان می دهد.

جدول ۲. مقایسه تابع هدف در حالات استوار و قطعی

	مدل آقازف	مدل قطعی
مقدار تابع هدف (ریال)	۱.۶۸۰۰۰E+۱۲	۱.۲۶۰۰۰E+۱۱

نتایج نشان می دهد که مدل های استوار منجر به هزینه های حمل و نقلی بالاتری در مقایسه با مدل های قطعی می شوند. گرچه از پیش انتظار می رفت که مدل های بهینه سازی استوار به علت افزایش پایداری شبکه و تسخیر عدم قطعیت های تقاضا، هزینه بالاتری در مقایسه با مدل های قطعی دارند.

### ۳-۲- طراحی بهینه شبکه حمل و نقلی در حالت قطعی و استوار

یکی از مهم ترین تصمیمات این پژوهش تعیین موقعیت و ظرفیت بندر خشک و تخصیص بنادر دریایی و مراکز وارداتی و صادراتی داخلی کشور است. شکل ۳، شکل ۴، شکل ۵ و شکل ۶ موقعیت بندر خشک و نحوه تخصیص نقاط شبکه حمل و نقل بار را تحت مدل قطعی و مدل استوار نشان می دهد. نتایج نشان می دهد مدل های قطعی و استوار مکان های کاندید مشابهی را برای بندر خشک پیشنهاد می کنند لذا می توان گفت که موقعیت بهینه بندر خشک تا حد زیادی استوار است به عبارت دیگر

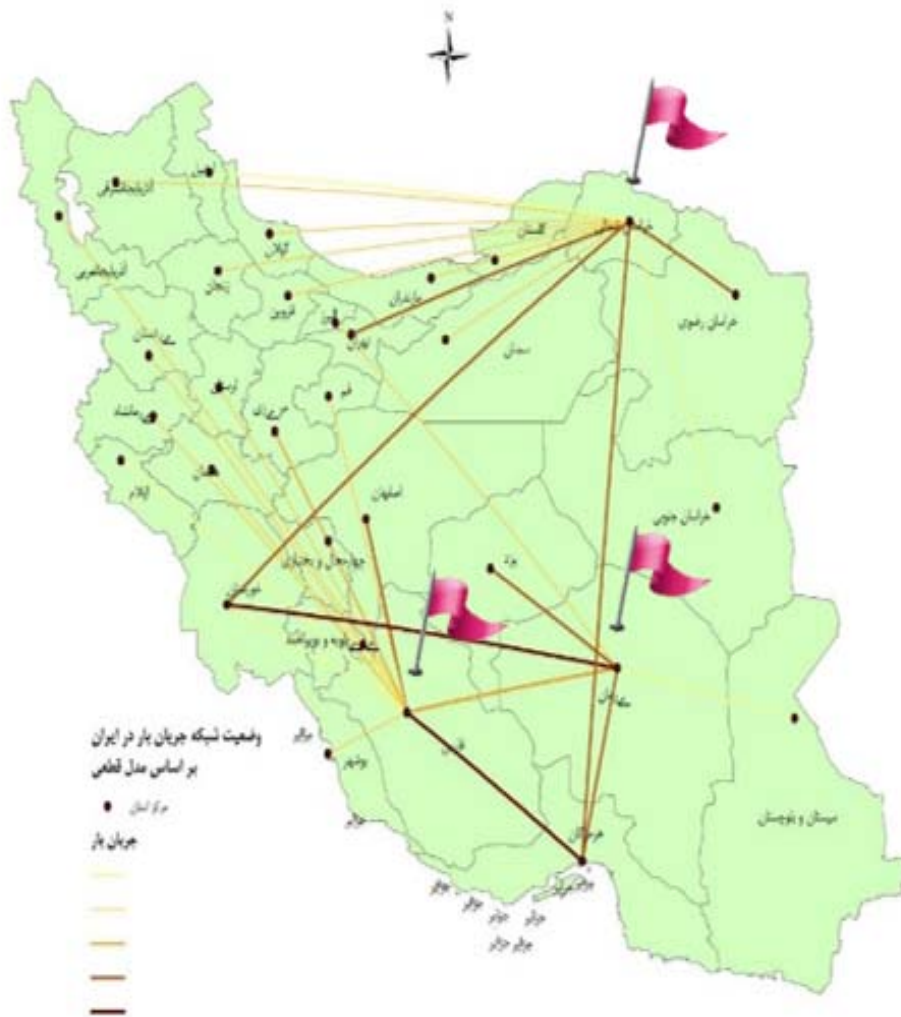
بهینه بودن این تصمیمات تحت نوسان داده ها تغییر نکرده و موقعیت بندر خشک به ازای تقریباً تمام مقادیر پارامتر غیرقطعی بهینه باقی می ماند. این نقاط عبارتند از: کرمان، فارس، خراسان شمالی و ظرفیت به دست آمده از مدل پیشنهادی نیز برابر با ۵۰،۰۰۰،۰۰۰ تن می باشد. جریان بار شبکه حمل و نقلی نیز به صورت شکل ۷ قابل ارائه است. با توجه به بالا بودن نتایج جریان بار اعداد مربوطه آورده نشده است و تنها در مسیرهای بین شهرهای هرمزگان - خراسان شمالی و هرمزگان - فارس مابقی بار که از ظرفیت قطار بیشتر است از راه جاده جابه جا می شود.

### ۳-۳- آنالیز حساسیت

در شبکه حمل و نقلی بندر خشک و نقاط داخلی کشور هزینه های جابه جایی میان نقاط نقش مهمی در کاهش یا افزایش هزینه کل شبکه دارند. در شبکه حمل و نقلی بندر خشک پارامترهای عملیاتی و هزینه ای مختلفی وجود دارند که می توانند نقش مهمی در کاهش یا افزایش هزینه داشته باشند. همان طور که می دانیم روش آنالیز حساسیت به

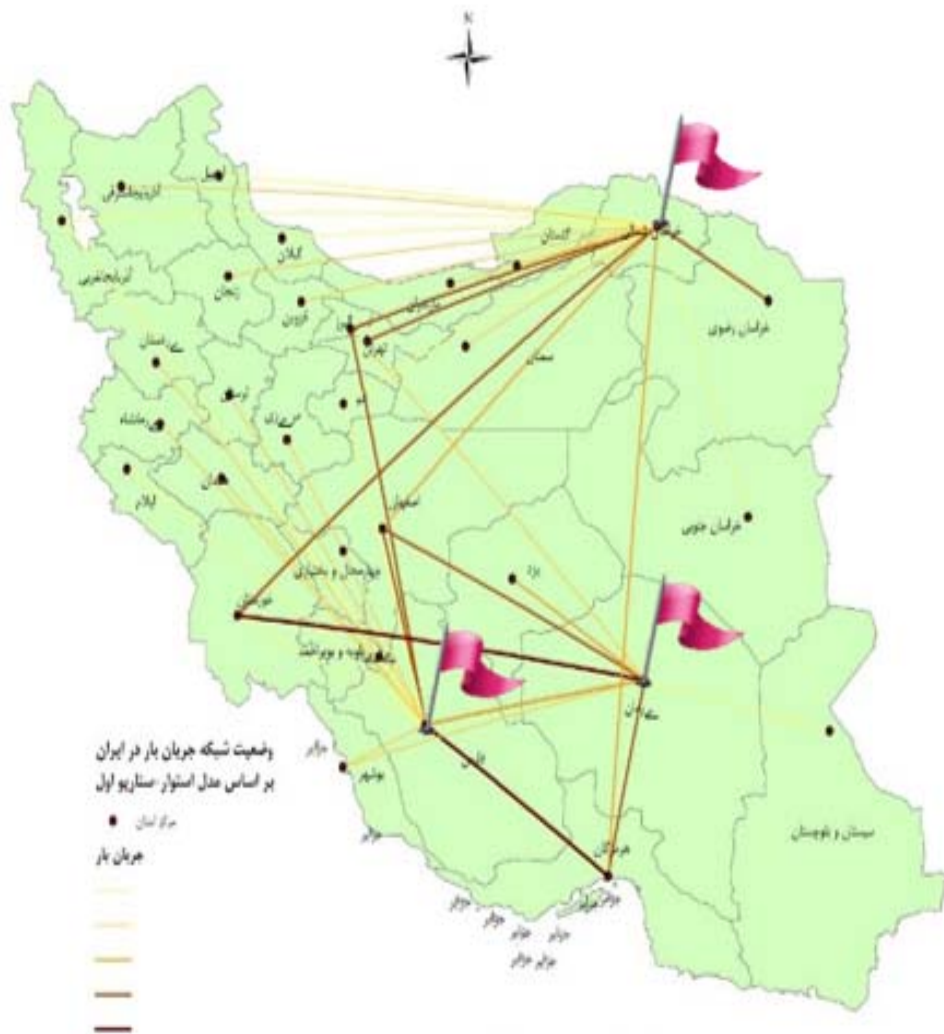
عملیاتی و هزینه‌ای شبکه حمل و نقلی بندر خشک اهمیت هر یک از آن‌ها را بر هزینه کل شبکه مشخص می‌کند.

دنبال تغییر مقدار پارامترهای ورودی مختلف و بررسی اثر آن بر تابع هدف می‌باشد. انجام این روش برای پارامترهای

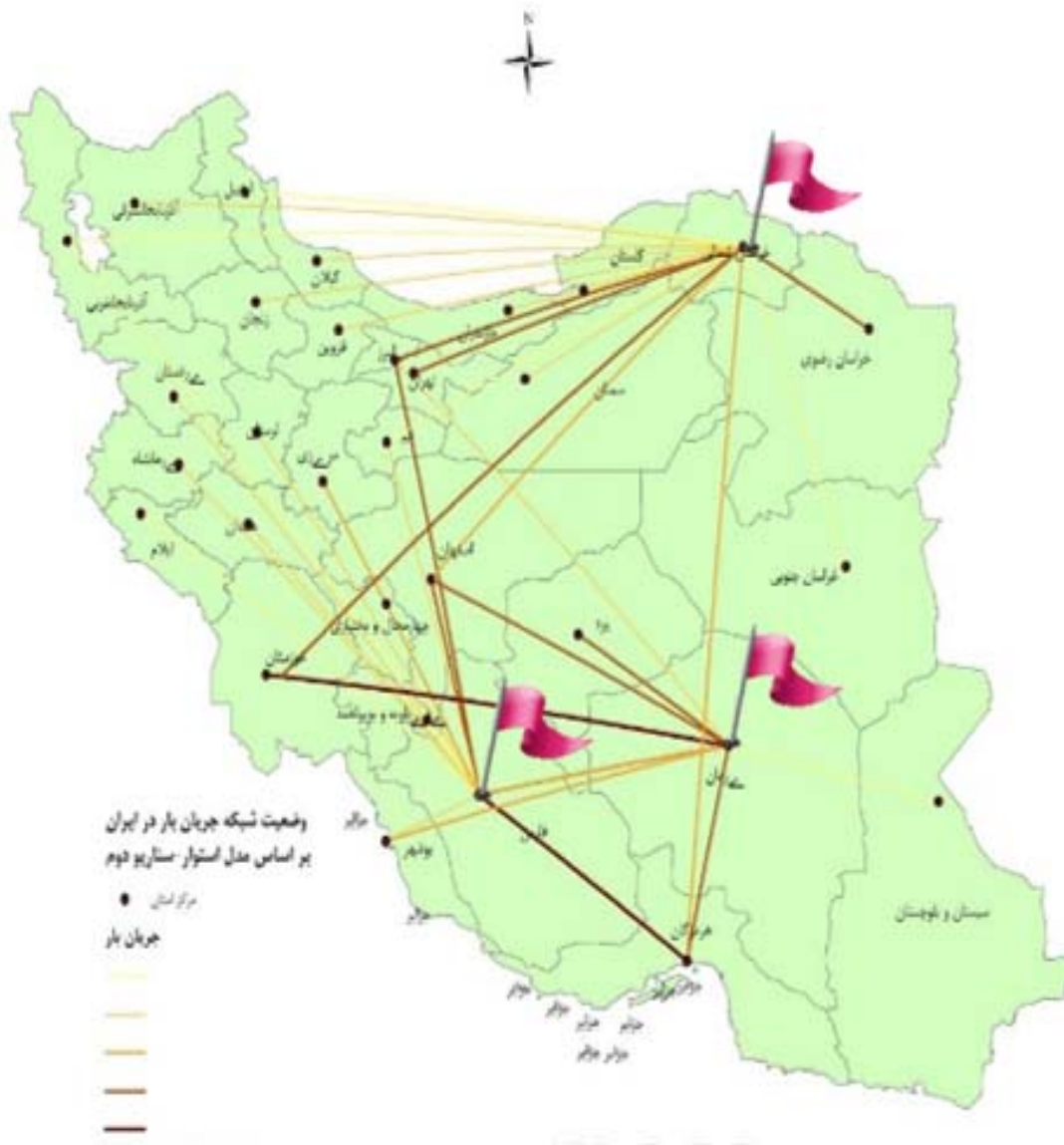


شکل ۳. وضعیت جریان بار بر اساس مدل قطعی

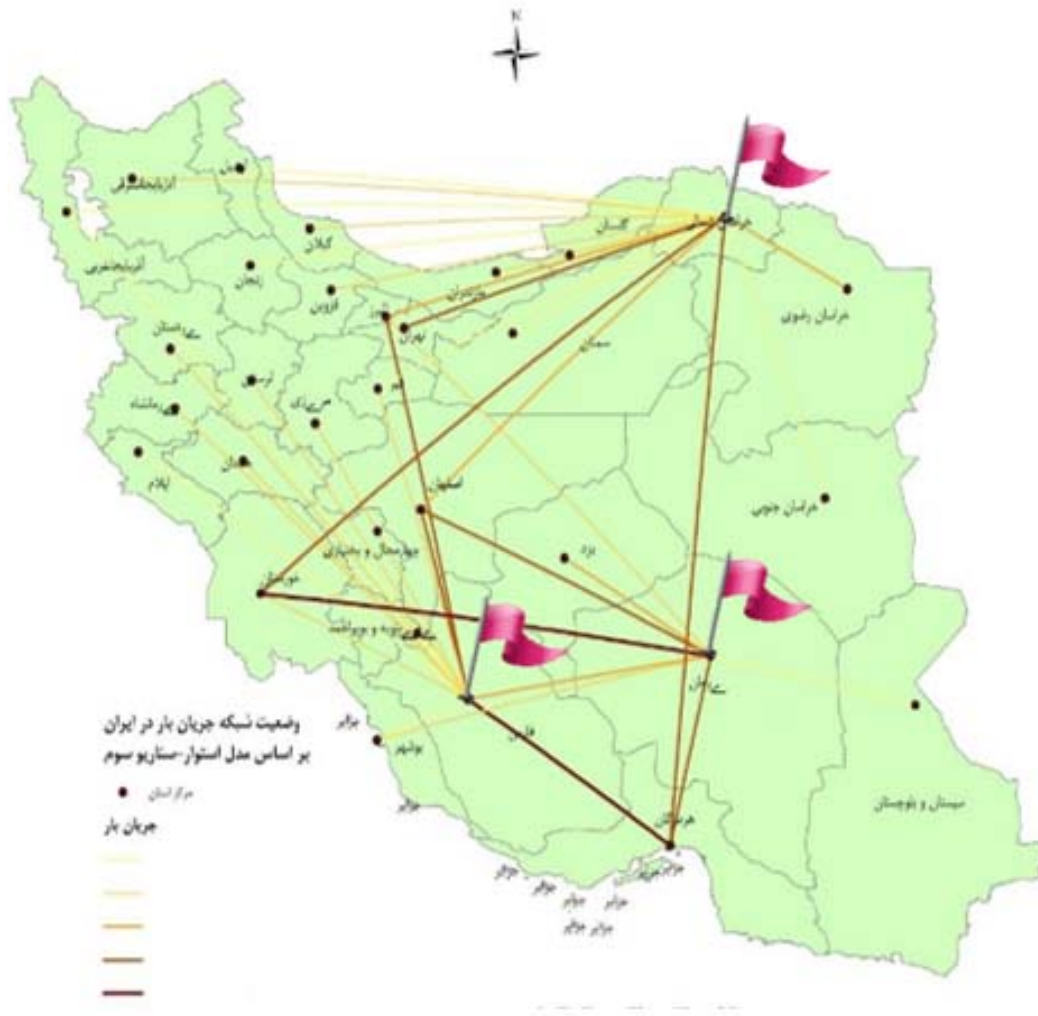




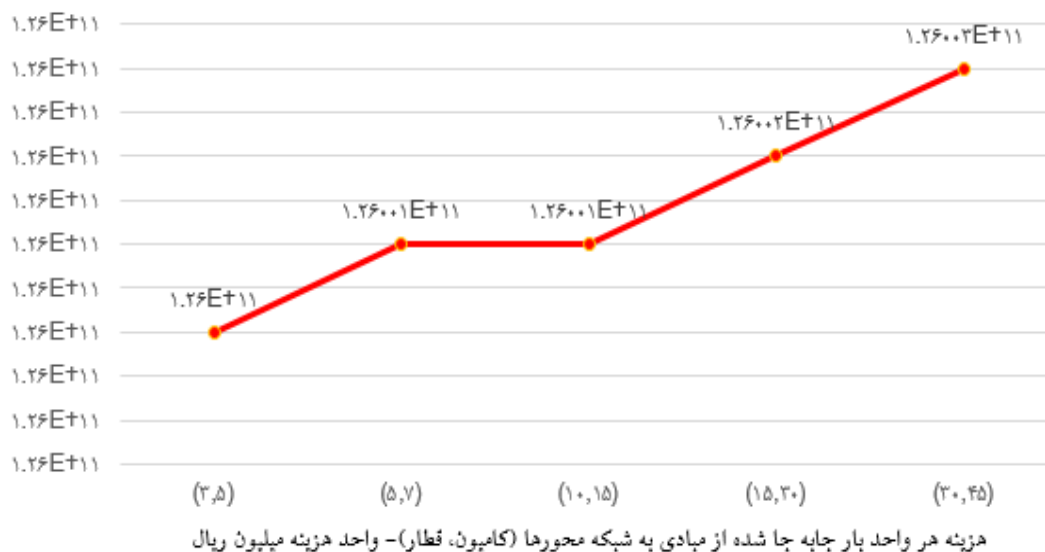
شکل ۴. وضعیت جریان بار بر اساس مدل استوار- سناریو اول



شکل ۵. وضعیت جریان بار بر اساس مدل استوار- سناریو دوم



شکل ۶. وضعیت جریان بار بر اساس مدل استوار- سناریو سوم



هزینه کل شبکه حمل و نقل - ریال

شکل ۷. نتایج آنالیز حساسیت

احتمال سناریو اول برابر ۲۰ درصد و احتمال رخداد سناریو دوم برابر ۳۰ درصد و احتمال رخداد سناریو سوم برابر ۵۰ درصد در نظر گرفته شده است. حال مقدار احتمال تجمعی هر کدام از سناریوها محاسبه می‌شود. احتمال تجمعی سناریو اول ۲۰ درصد و احتمال تجمعی سناریو دوم ۵۰ درصد و احتمال تجمعی سناریو سوم نیز ۱۰۰ درصد است. سپس یک عدد تصادفی ما بین عدد ۰ تا ۱ انتخاب شده و بعد از انتخاب عدد با توجه به تابع توزیع تجمعی سناریو مرتبط را از ما بین سناریوهای موجود انتخاب کرده و مقدار پارامتر غیرقطعی را برابر با مقدار سناریو قرار می‌دهیم. جواب‌های به دست آمده از مدل‌های قطعی و استوار مستقلاً در "مدل واقع‌نمایی" جایگزین می‌شود و به منظور بررسی مطلوبیت خروجی‌های مدل برنامه‌ریزی قطعی و برنامه‌ریزی استوار و نتایج آن‌ها که میانگین و انحراف از میانگین است تحلیل می‌شود.

جدول (۳) عملکرد مدل‌های قطعی و استوار را در واقع‌نمایی‌های انجام شده نشان می‌دهد. در این جدول میانگین و انحراف استاندارد ۱۰ مقادیر تابع هدف تحت واقع‌نمایی‌های ایجاد شده به‌عنوان معیارهای عملکردی برای ارزیابی مدل ارائه شده مورد بررسی قرار گرفته‌اند. ملاحظه

و به‌طور مشابه نتیجه آنالیز حساسیت بر هزینه‌های جابه‌جایی هر واحد بار میان محورها و مقاصد و مابین محورها به‌صورت شکل ۷ خواهد شد. می‌توان نتیجه گرفته که با افزایش هر گونه هزینه حمل و نقل بار هزینه کل شبکه افزایش خواهد یافت.

### ۳-۵- اعتبار سنجی مدل‌های توسعه داده شده

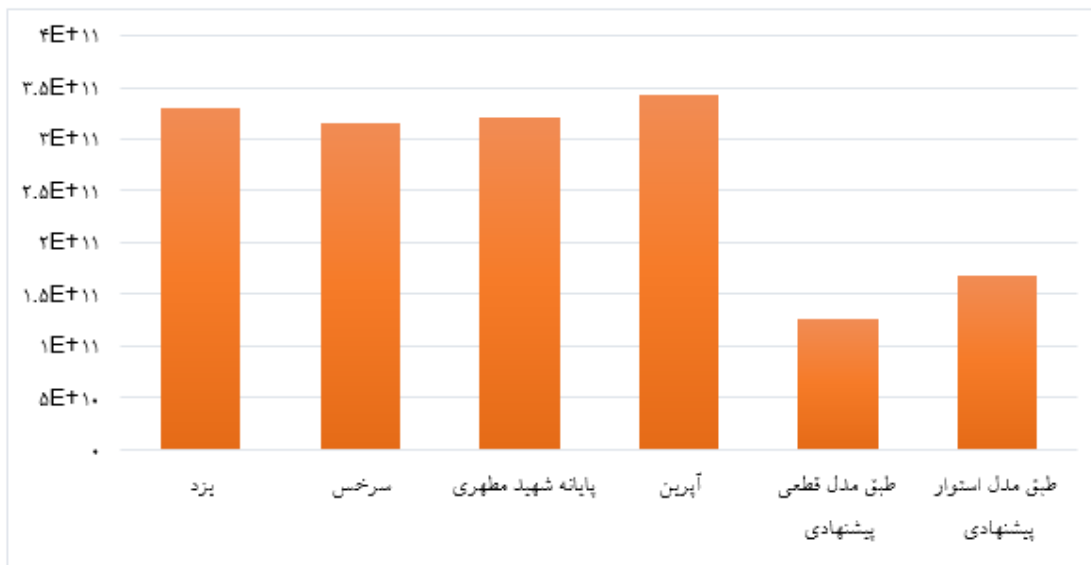
همان‌طور که در بخش نتایج مدل مشاهده شد، جواب‌های به دست آمده از مدل‌های قطعی و استوار طراحی شبکه حمل و نقل متفاوت است. لذا لازم است جواب‌های به دست آمده از مدل‌های قطعی و استوار بررسی و مقایسه شوند و مطلوبیت (استحکام) جواب‌ها به دست آمده از آن‌ها ارزیابی شود. برای این هدف از روش اعتبار سنجی مدل‌های برنامه‌ریزی استوار که توسط پیشوایی و همکاران ارائه شده است استفاده می‌شود (Pishvae & Torabi, 2010). این روش که به دنبال تولید واقعیت محتمل در آینده برای ارزیابی نتایج است از مراحل زیر تشکیل می‌شود: ابتدا برای هر سناریو که از داده‌های تاریخی تقاضا در سال‌های گذشته به دست آمده است مقدار احتمالی در نظر گرفته می‌شود؛

می‌شود که مدل استوار آقازف با وجود جنبه سخت‌گیرانه‌اش از لحاظ میانگین تابع هدف و انحراف استاندارد، تحت واقع‌نمایی‌های مختلف، عملکرد بهتری نسبت به مدل قطعی دارد. در نتیجه استفاده از مدل‌های استوار به نسبت مدل قطعی کارکرد مناسب‌تری دارند. دلیل این امر آن است که مدل استوار بر خلاف مدل قطعی، عدم قطعیت ناشی از اختلالات را در نظر می‌گیرد و پیش‌فعاله‌ها ۱۱ می‌باشد. همان‌طور که ملاحظه می‌شود اختلاف بین انحراف معیار واقع‌نمایی‌های

انجام شده بر روی مدل‌های قطعی و استوار ۴۳۶۵۸۳ می‌باشد. بهبود عملکرد مدل استوار نیز برابر ۳۱٪ است. این عدد به این معناست که در واقعیت مدل استوار به‌طور متوسط عملکرد بهتری نسبت به مدل قطعی خواهد داشت. از آنجا که ما در زمان حال بوده و امکان پیش‌بینی شرایط آینده را نداریم لذا با استفاده از تولید عدد تصادفی و تعیین سناریوی مورد نظر، به‌نوعی شرایط آینده شبیه‌سازی می‌شود.

جدول ۳. مقایسه عملکرد مدل قطعی و مدل استوار تحت واقع‌نمایی‌های مختلف

ردیف	سناریو منتخب مربوط به سال	مقدار تابع هدف مدل قطعی	مقدار تابع هدف مدل آقازف
۱	۹۳	۱.۲۶۰۰۵E+۱۱	۸.۴۰۱۲۴E+۱۰
۲	۹۱	۱.۲۶۰۰۷E+۱۱	۸.۴۰۱۱۲E+۱۰
۳	۹۲	۱.۲۶۰۰۳E+۱۱	۸.۴۰۱۳۹E+۱۰
۴	۹۲	۱.۲۶۰۰۳E+۱۱	۸.۴۰۱۳۹E+۱۰
۵	۹۳	۱.۲۶۰۰۵E+۱۱	۸.۴۰۱۲۴E+۱۰
۶	۹۲	۱.۲۶۰۰۳E+۱۱	۸.۴۰۱۳۹E+۱۰
۷	۹۲	۱.۲۶۰۰۳E+۱۱	۸.۴۰۱۳۹E+۱۰
۸	۹۳	۱.۲۶۰۰۳E+۱۱	۸.۴۰۱۲۴E+۱۰
۹	۹۳	۱.۲۶۰۰۵E+۱۱	۸.۴۰۱۲۴E+۱۰
۱۰	۹۲	۱.۲۶۰۰۳E+۱۱	۸.۴۰۱۳۹E+۱۰
۱۱	۹۲	۱.۲۶۰۰۳E+۱۱	۸.۴۰۱۳۹E+۱۰
۱۲	۹۲	۱.۲۶۰۰۳E+۱۱	۸.۴۰۱۳۹E+۱۰
۱۳	۹۱	۱.۲۶۰۰۷E+۱۱	۸.۴۰۱۱۲E+۱۰
۱۴	۹۲	۱.۲۶۰۰۳E+۱۱	۸.۴۰۱۳۹E+۱۰
۱۵	۹۳	۱.۲۶۰۰۵E+۱۱	۸.۴۰۱۲۴E+۱۰
۱۶	۹۳	۱.۲۶۰۰۵E+۱۱	۸.۴۰۱۲۴E+۱۰
۱۷	۹۳	۱.۲۶۰۰۵E+۱۱	۸.۴۰۱۲۴E+۱۰
۱۸	۹۱	۱.۲۶۰۰۷E+۱۱	۸.۴۰۱۱۲E+۱۰
۱۹	۹۳	۱.۲۶۰۰۵E+۱۱	۸.۴۰۱۲۴E+۱۰
۲۰	۹۲	۱.۲۶۰۰۳E+۱۱	۸.۴۰۱۳۹E+۱۰
میانگین		۱.۲۶۰۰۴E+۱۱	۸.۴۰۱۲۹E+۱۰
واریانس		۲.۰۴E+۱۲	۹.۸۳۴۷۵E+۱۱
انحراف معیار		۱.۴۲۸.۲۸۶	۹۹۱.۷۰۳
درصد بهبود عملکرد			٪۳۱



شکل ۸. مقایسه هزینه‌های شبکه حمل و نقلی در نقاط مختلف نامزد احداث بندر خشک

این بخش به بررسی نقاط کاندید و انتخاب دقیق آن‌ها پرداخته شد.

## ۶- نتیجه‌گیری

در این مقاله نخست به بررسی ضرورت احداث بندر خشک در شبکه حمل بار از راه دریا پرداخته شد. سپس ضرورت وجود بندر خشک در ایران نیز ارائه شد. مهم‌ترین سؤال در مواجهه با احداث بندر خشک محل مناسب برای آن است؛ یک مدل قطعی مکان‌یابی P-هاب میانه برای مکان‌یابی بندر/بنادر خشک با در نظر گرفتن حمل و نقل چندوجهی ارائه شد. مدل پیشنهادی، تصمیمات مربوط به مکان‌یابی بنادر خشک، تعداد مناسب آن‌ها و تخصیص نقاط وارداتی و صادراتی داخل کشور و بنادر دریایی را به این بنادر خشک ارائه کرد. تابع هدف نیز شامل کمینه‌سازی هزینه‌های حمل و نقلی و عملیاتی و احداث است. از ویژگی‌های بارز مدل پیشنهادی، مشخص کردن سطح ظرفیت هر کدام از بنادر خشک و تعیین میزان بار جابه‌جا شده در شبکه حمل و نقلی از هر کدام از خطوط ریلی و جاده‌ای به صورت ترکیبی و هم‌زمان است. برای مقابله با ابهام ذاتی موجود در برخی پارامترهای مسئله مورد نظر، مانند تقاضا، بهینه‌سازی

با عنایت به توضیحات فوق می‌توان استنباط نمود که استفاده از رویکرد برنامه‌ریزی استوار برای باز طراحی شبکه حمل و نقل بار در شرایط اختلال توجیه‌پذیر می‌باشد. تاکنون مطالعاتی در زمینه احداث بندر خشک در نقاط یزد، سرخس، پایانه شهید مطهری و آبرین انجام شده است هر چند که هیچ یک از این پروژه‌ها تاکنون به نتیجه نهایی نرسیده‌اند. انتخاب هر یک از این نقاط به عنوان نقطه کاندید برای احداث بندر خشک به صورت برون‌زا بوده است. از میان نقاط ذکر شده تنها در یزد به بررسی هزینه‌های شبکه پرداخته شده است. هم‌اکنون نقاط ذکر شده را در تابع هدف مدل پیشنهادی قرار داده و هزینه شبکه برآورد می‌شود. همان‌گونه که در شکل ۸ مشاهده می‌شود، هزینه شبکه حمل و نقلی در حالت انتخاب مناطق کرمان، فارس و خراسان شمالی به صورت درون‌زا و توسط مدل؛ کمتر از سایر حالات است. همان‌طور که مشاهده می‌شود هزینه‌های شبکه حمل و نقل بار با در نظر گرفتن فقط یک بندر خشک به عنوان پیش فرض بسیار بیشتر از زمانی است که مدل در شرایط بهینه و به صورت درون‌زا تعداد و مکان بندر خشک را مشخص می‌کند. پس انتخاب تعداد و مکان بندر/بنادر خشک توسط مدل استوار آقازف بهترین جواب را با توجه به نوسان پارامتر تقاضا در طی سناریوهای مختلف ارائه می‌دهد. در

## ۷- پی‌نوشت‌ها

1. hub location
2. Mixed Integer Linear Programming
3. Robust Scenario-based Stochastic programming
4. Robust Programming based on Closed Convex Uncertainty Sets
5. Robust Possibilistic Programming
6. Robustness
7. Robust discrete optimization and its applications
8. Abolut regret
9. Average
10. Standard deviation
11. Proactive

## ۸- مراجع

-Aghezzaf, E. H., Sitompul, C., & Najid, N. M. (2010), "Models for robust tactical planning in multi-stage production systems with uncertain demands". *Computers and Operations Research*, 37(5), pp.880-889. <http://doi.org/10.1016/j.cor.2009.03.012>.

-Alumur, S., & Kara, B. Y. (2008), "Network hub location problems: The state of the art". *European Journal of Operational Research*, 190(1), pp.1-21. <http://doi.org/10.1016/j.ejor.2007.06.008>.

-Ambrosino, D., & Sciomachen, A. (2014), "Location of Mid-range Dry Ports in Multimodal Logistic Networks". *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 108, pp.118-128. <http://doi.org/10.1016/j.sbspro.2013.12.825>.

-Ben-Tal, a., & Nemirovski, a. (1998), "Robust Convex Optimization. *Mathematics of Operations Research*", 23(4), pp.769-805. <http://doi.org/10.1287/moor.23.4.769>.

-Bourgani, E., & Stylios, C. D. (2013), "Fuzzy Cognitive Maps for Decision Making of Complex Logistic Systems". *Dept. of Computer Engineering*, 1.

-Campbell, J. F., & O'Kelly, M. E. (2012), "Twenty-Five Years of Hub Location Research - Tags: TRANSPORTATION Science (Periodical) NETWORK hubs. *Transportation Science*, 46(2), pp.153-169. <http://doi.org/10.1287/trsc.1120.0410>.

استوار مورد استفاده قرار گرفت، بهینه‌سازی استوار با در نظر گرفتن سیر داده‌های تاریخی در مورد پارامتر مورد نظر جواب استواری را به‌عنوان جواب بهینه و موجه مشخص می‌سازد. خروجی‌های عددی جریان مدل نشان دهنده این واقعیت هستند که در هر شرایطی در درجه اول از ریل برای حمل بار استفاده می‌گردد. با توجه به نتایج مدل بهتر است ما بین تمام نقاط، خطوط ریلی جهت جابه‌جایی بار احداث و استفاده گردد. همچنین اعتبارسنجی مدل نشان می‌دهد برای احداث بندر خشک مشخص نمودن تعداد و مکان بندر خشک به‌صورت برون‌زا و پیش‌فرض، لزوماً منجر به جواب بهینه از نظر کمینه‌سازی هزینه‌های حمل‌ونقلی شبکه نمی‌شود.

پیشنهادات مدیریتی ارائه شده از مدل برای ایران احداث سه بندر خشک در سه شهر کرمان، فارس و خراسان شمالی است که ظرفیت پیشنهادی نیز ۵۰۰۰۰۰ هزار تن می‌باشد. از طرفی خطوطی که در شکل (۶) حامل جریان کالا نشان داده شد؛ خطوط پیشنهادی احداث ریل جهت توسعه حمل‌ونقل با قطار در کنار کامیون می‌باشد. به این ترتیب با احداث خطوط جدید حمل‌ونقلی وارد بازار رقابتی بزرگ‌تری از کالاها شده و ایران به‌عنوان یک هاب تجاری در منطقه شناخته خواهد شد.

انتقال انبارش کالاهای کشتی‌های کانتینری از بندر دریایی به بندر خشک منجر به افزایش سرعت در پهلوگیری کشتی‌ها شده و ترافیک آن‌ها در بندرگاه کاسته می‌شود. به‌علاوه از خروج ارز از کشور نیز کاهش می‌یابد زیرا در صورت نبود بندر خشک و ترافیک کشتی در بندر، بسیاری از کشتی‌های حامل بار به مقصد ایران در بندر مجاور با سرعت بارگیری بالاتر مانند جبل علی و رشید در عمارات متحمل هزینه‌های گمرکی جهت ورود بار از مرز می‌شود.

در تحقیقات آتی می‌توان از سایر رویکردهای بهینه‌سازی استوار نیز استفاده نمود. همچنین می‌توان موارد زیر را به‌عنوان مسیرهای پیشنهادی جهت تحقیقات آینده ارائه نمود.

- وارد کردن انواع خدمات به‌عنوان اندیس در متغیرهای مدل،
- وارد کردن انواع روش حمل‌ونقلی دیگر مانند هوایی،
- افزایش تعداد پارامترهای دارای عدم قطعیت.

---

Conference on Logistics, Informatics and Service Science, 2(5), pp.255–261. Retrieved from <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0.084885923516&partnerID=40&md5=c66e4b924063f39927bd8d60538bfc4e>.

-Lihoussou, M., & Limbourg, S. (2012), "Intermodal transportation network design under uncertainty : case of the Hinterland of the port of Cotonou", (May).

-Mulvey, J. M., Vanderbei, R. J., Zenios, S. a, & John M Mulvey, Robert J Vanderbei, S. a Z. (1995), "Robust optimization of large-scale systems". *Operations Research*, 43(2), pp.264–281.  
<http://doi.org/10.1287/opre.43.2.264>.

-O’Kelly, M. E., & Miller, H. J. (1994), The hub network design problem:: A review and synthesis. *Journal of Transport Geography*, 2(1), pp.31–40.

-Pishvaei, M. S., & Torabi, S. A. (2010), A possibilistic programming approach for closed-loop supply chain network design under uncertainty. *Fuzzy Sets and Systems*, 161(20), pp.2668–2683.  
<http://doi.org/10.1016/j.fss.2010.04.010>.

-Racunica, I., & Wynter, L. (2005), Optimal location of intermodal freight hubs. *Transportation Research Part B: Methodological*, 39(5), pp.453–477.  
<http://doi.org/10.1016/j.trb.2004.07.001>.

-Stadieseifi, M., Dellaert, N. P., Nuijten, W., Van Woensel, T., & Raoufi, R. (2014), "Multimodal freight transportation planning: A literature review. *European Journal of Operational Research*", 233(1), pp.1–15.  
<http://doi.org/10.1016/j.ejor.2013.06.055>.  
UNCTAD. (1991). *Handbook on the management and operation of dry ports*. Unctad.

-Wang, C. H., & Wei, J. Y. (2009), "Research on the dry port location of Tianjin Port based on analytic network process. 2008

---

-Canh, L., & Notteboom, T. (2016), "A Multi-Criteria Approach to Dry Port Location in Developing Economies with Application to Vietnam", 32(1), pp.23–32.  
Crainic, T. G., Dell’Olmo, P., Ricciardi, N., Sgalambro, A., Dell’Olmo, P., Ricciardi, N., ... Sgalambro, A. (2014), "Modeling dry-port-based freight distribution planning". *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 55, 518–534.  
<http://doi.org/10.1016/j.trc.2015.03.026>.

-Deveci, M., Demirel, N. etin, John, R., & ??zcan, E. (2015), "Fuzzy multi-criteria decision making for carbon dioxide geological storage in Turkey". *Journal of Natural Gas Science and Engineering*.  
<http://doi.org/10.1016/j.jngse.2015.09.004>.

-Farahani, R. Z., Hekmatfar, M., Arabani, A. B., & Nikbakhsh, E. (2013), "Hub location problems: A review of models, classification, solution techniques, and applications". *Computers and Industrial Engineering*, 64(4), pp.1096–1109.  
<http://doi.org/10.1016/j.cie.2013.01.012>.

-Feng, X., Zhang, Y., Li, Y., & Wang, W. (2013), "A location-allocation model for seaport-dry port system optimization. *Discrete Dynamics in Nature and Society*", <http://doi.org/10.1155/2013/309585>.

-Hanaoka, S. (2012), "Application of analytic hierarchy process for location analysis of logistics centers in Laos. *TRB Annual Meeting Compendium*". Retrieved from [http://t2r2.star.titech.ac.jp/cgi-bin/publicationinfo.cgi?q\\_publication\\_content\\_number=CTT100633376](http://t2r2.star.titech.ac.jp/cgi-bin/publicationinfo.cgi?q_publication_content_number=CTT100633376)  
<http://docs.trb.org/prp/12-0471.pdf>.

-Ishfaq, R., & Sox, C. R. (2011), "Hub location-allocation in intermodal logistic networks". *European Journal of Operational Research*, 210(2), pp.213–230.  
<http://doi.org/10.1016/j.ejor.2010.09.017>.

-Li, F., Shi, X., & Hu, H. (2011), "Location selection of dry port based on AP clustering: The case of SouthWest China. *LISS 2011 - Proceedings of the 1st International*



---

International Seminar on Business and Information Management, ISBIM 2008, 1, pp.75-78.

<http://doi.org/10.1109/ISBIM.2008.74>.

-Woxenius, J., Roso, V., & Lumsden, K. (2004), "The dry port concept-connecting seaports with their hinterland by rail. ICLSP, Dalian, (September), pp.22-26.

-Zhang, X., & Wang, C. C.-Z. (2011), "Application of analytic network process in agricultural products logistics performance evaluation Innovative Computing and Information, 231, pp.500-506. Retrieved from

<http://www.scopus.com/inward/record.url?>