Archive of SID

مدل ترکیبی مکان‌یابی بنادر خشک و تحلیل پوششی داده‌ها در شبکه‌های حمل ترکیبی کالا

سید سینا مهری*، کارشناس‌ارشد، دانشکده حمل‌ونقل، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران
امیرعباس رصافی، دانشیار، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه بین المللی امام خمینی(ره)، قزوین، ایران
حسین حق شناس، استادیار، دانشکده حمل‌ونقل، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران
*پست الکترونیکی نویسنده مسئول: ss.mohri@yahoo.com

دریافت: ۱۳۹۶/۰۸/۰۱ – پذیرش: ۱۳۹۷/۰۱/۲۰
صفحه ۱–۱۸

چکیده

انتقال محموله‌ها از شبکه جاده‌ای به شبکه ریلی موجب کاهش مصرف سوخت، آلودگی هوا و تصادفات جاده‌ای می‌گردد. احداث بنادر خشک سهم بسزایی در توسعه حمل‌ونقل ترکیبی و استفاده از مزایای هر دو سیستم ریلی و جاده‌ای دارد. در این پژوهش مدل جدیدی از مکان‌یابی هاب در ترکیب با روش تحلیل پوششی داده‌ها برای شبکه‌های حمل‌ونقل ترکیبی کالاهای کانتینری (ریلی-جاده‌ای) از نقطه نظر سیستم ریلی ارائه شده است. شاخص‌های درنظر گرفته شده در روش تحلیل پوششی داده‌ها بر اساس خروجی‌های مدل مکان‌یابی هاب همچون مجموع هزینه کل سفرهای شبکه، حجم مسیرهای ریلی، کانتینر کیلومتر ریلی و طول مسیرهای ریلی تعیین گردیده‌اند. مدل پیشنهادی بر روی شبکه حمل کانتینری کالا در ایران پیاده گردید. ٤٠ سناریو مختلف بر اساس تعداد بنادرخشک (۲ تا ۵) و درصد تخفیف مسیرهای ریلی (۰٪ تا ۹۰٪) برای مکان‌یابی بنادرخشک در ایران بررسی گردید. پیاده‌سازی مدل تحلیل پوششی داده‌ها بر نتایج سناریوهای مکان‌یابی نشان داد، سناریوهای احداث دو بندرخشک و اعمال ۰٪، ۱۰٪ و ۳۰٪ تخفیف در مسیرهای ریلی، سناریوهای کارا در شبکه ایران می‌باشند. مقایسه کیفی امکانات موجود در بنادرخشک پیشنهادی در این سه سناریو برتر، نشان داد احداث دو بندرخشک در شهرستانهای سیرجان و تهران و اعمال تخفیف ۱۰ درصد در تعرفه مسیرهای ریلی مطلوب‌ترین سناریو می‌باشد. در این سناریو کانتینر کیلومتر ریلی پیموده شده در شبکه ریلی برابر ۷۱۶ میلیون TEU-KM و طول مسیرهای ریلی استفاده شده برابر ۳۷۳۱ کیلومتر و متشکل از سه محور بندرعباس- سیرجان، سیرجان- تهران و تهران- بندرماهشهر خواهد بود.

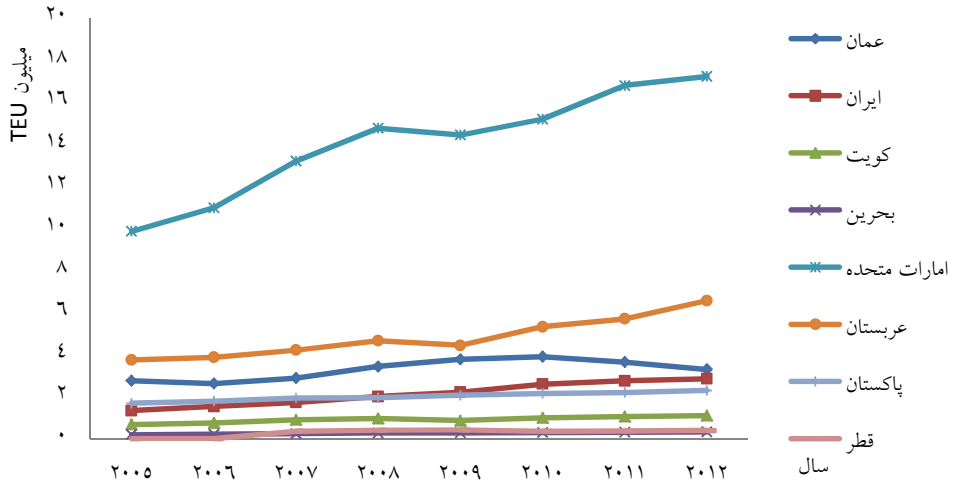
واژه‌های کلیدی: بندرخشک، مکان‌یابی هاب، تحلیل پوششی داده‌ها، حمل‌ونقل کانتینری

۱- مقدمه

مدت‌ها است مشکلات حمل‌ونقل چندوجهی را کشورهای مختلف از سد راه برداشته‌اند و با حمایت از کنوانسیون حمل‌ونقل چندوجهی سازمان ملل، مقررات جدید حمل‌ونقل چندوجهی را از ژانویه سال ۱۹۹۲ مورد اجرا گذاشته‌اند. حمل کالاها به صورت کانتینری، متداول‌ترین شیوه حمل‌ونقل چندوجهی می‌باشد. حمل‌ونقل ترکیبی در ایران با مشکلات فراوانی در تولید و جذب کالاهای کانتینری و همچنین حمل کالاهای کانتینری در فاصله داخل کشور مواجه است. از منظر تولید و جذب کالاهای کانتینری، کشور ایران عملکرد مناسبی را در فاصله سالهای ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۲ نسبت به سایر کشورهای حوزه خلیج فارس نداشته است. شکل ۱ روند تغییرات مبادلات کانتینری در بنادر کشورهای حوزه خلیج فارس را در فاصله سالهای ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۲ نشان می‌دهد[UNCTAD, 2011].

www.SID.ir

Archive of SID



شکل۱. مقایسه حجم مبادلات کانتینری در حوزه خلیج فارس در فاصله سال‌های ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۲

در کنار عملکرد ثابت کشور ایران در تولید و جذب کالاهای کانتینری، حمل کانتینری این کالاها در فاصله داخلی کشور (فاصله میان بنادر تا نقاط داخلی سرزمین) نیز از وضعیت نامطلوبی برخوردار است. مهری و حق شناس در سال ۱۳۹٤ با تحلیل اطلاعات سازمان راهداری، راه آهن و اداره بنادر و کشتیرانی در سال ۱۳۹۲ نشان دادند که اختلاف زیادی مابین تناژ کانتینرهای حمل شده به سمت بنادر کشور با آمار صادرات کانتینری از بنادر و همچنین تناژ کالاهای کانتینری حمل‌شده از بنادر با آمار واردات کانتینری به بنادر کشور وجود دارد. در این پژوهش دلایلی همچون استریپ کانتینرهای وارداتی در بندر و ادامه حمل آن به صورت غیرکانتینری و ارسال کالاهای صادراتی به صورت غیرکانتینری به بنادر کشور به دلیل عدم موجودی کانتینر خالی در نقاط داخلی کشور به عنوان مهمترین دلایل این مغایرت در اطلاعات ذکر گردیده‌است[مهری و حق شناس، ۱۳۹٤]. جدول ۱ جزییات تناژ وارداتی و صادراتی کالاهای کانتیری از/ به بنادر کشور را بر اساس گزارشات اداره بنادر و کشتیرانی و سازمانهای راهداری و راه‌آهن جمهوری اسلامی ایران را نشان می‌دهد.

جدول ۱. مقایسه اطلاعات حمل کانتینر به/ از بنادر در سیستم ریلی و جاده‌ای با اطلاعات اداره بنادر و کشتیرانی

سال	دسته حمل	مجموع تناژ حمل جاده ای و ریلی کانتینر به/ از بنادر(میلیون تن)	تناژ گزارش شده توسط بنادر(میلیون تن)	سهم حمل کانتینری
۱۳۹۲	واردات	۲.۷	۱۱.۵	٪۲۳
۱۳۹۲	صادرات	۱.۵	۷.۷	٪۱۹

مهری و حق‌شناس ۲۰۱۷ با استفاده از روش درخت تصمیم به شناسایی مهمترین دلایل حمل غیرکانتینری کالاها در فاصله داخلی کشور پرداختند. در این پژوهش ناتوانی سیستم حمل ترکیبی کالا در داخل کشور به عنوان عامل اصلی کاهش تناژ حمل کانتینری کالاها در فاصله داخلی کشور معرفی شده و راهکار ایجاد بنادر خشک به عنوان یکی از موثرترین راهکارهای حل این مشکل معرفی گردیده‌است[Mohri and Haghshenas, 2017]. یکی از مهمترین مشکلات موجود در بنادرآبی، موضوع رسوب کانتینرها در آنجا می‌باشد. رسوب کانتینرها در بنادر آبی مشکلات متعددی از جمله: کاهش ظرفیت فضای انبار بندر، افزایش زمان سرویس‌دهی، افزایش هزینه‌های مشتریان، ایجاد ترافیک در پسکرانه بندر، افزایش آمار تصادفات و افزایش هزینه‌های بنادر را به همراه دارد[Roso, Woxenius and Lumsden, 2009]. احداث بنادر خشک و اتصال مستقیم آن با بنادر آبی، نه تنها باعث حل مشکل رسوب کانتینرها خواهد شد، بلکه منجر به افزایش حمل‌ونقل ترکیبی و افزایش موجودی کانتینرها در نقاط داخلی کشور می‌گردد

www.SID.ir

Archive of SID

ر[Xie (et al.), 2017]. راهکار ایجاد بنادر خشک ابتدا توسط اسلک ۱۹۹۹، ون کلیک و ون دربرگ ۱۹۹۸ و نوتبام۲۰۰۲ مطرح گردید [Slack,1999; Notteboom, 2002; Van Klink and Van Den Berg,1998]. پس از آن پژوهشگران تعاریف و دسته بندی‌های مختلفی برای بنادر خشک ارائه نمودند[Jarzemskis and Vasiliauskas, 2007; Roso, Woxenius and Lumsden, 2009; Roso and Lumsden, 2010; Cullinane and Wilmsmeier, 2011; Veenstra, Zuidwijk and Van Asperen, 2012]. به طور کلی بنادر خشک در پسکرانه بنادر ساحلی به عنوان پایانه ترکیبی جهت اتصال مدهای مختلف به یکدیگر عمل کرده و به صورت مستقیم توسط یک گونه حمل و نقلی با ظرفیت بالا (راه آهن) به یک یا چند بندر ساحلی متصل است[Leveque and Roso, 2002]. همچنین بنادر خشک بر اساس فاصله از دریا و عملکرد آنها به سه دسته بنادر خشک با فاصله نزدیک از دریا، متوسط و دور تقسیم بندی می‌شوند[Roso, Woxenius and Lumsden, 2009].

یکی از مسائل استراتژیک در استقرار بنادر خشک، شناسایی تعداد و مکان بهینه احداث آنها در شبکه‌های حمل کالا می‌باشد. با استفاده از رویکرد شبکه‌ای، بنادرخشک را می‌توان به عنوان گره‌های هاب در شبکه معرفی نمود که وظیفه جمع آوری[1] و توزیع[2] کالاهای داخل کشور را برعهده داشته باشند. مدل‌های ریاضی مکان‌یابی بنادرخشک متعلق به شاخه مهمی از مسائل مکان‌یابی امکانات[3] به نام مسائل مکانیابی هاب[4] می‌باشند[Hekmatfar and Pishvaee, 2009]. مسائل مکان‌یابی هاب به طور همزمان به مکان‌یابی موقعیت هاب[5] و تخصیص تقاضای موجود در شبکه به گره‌های هاب[6] می‌پردازد. در یک تقسیم‌بندی بر اساس تفاوت‌های ساختاری و عملکردی در مدل‌های مکان‌یابی هاب بخصوص در عملکرد تابع هدف، مدل‌های مکان‌یابی هاب در پنج شاخه‌ی مسئله مکان‌یابی میانه[7]، مسئله مکان‌یابی مرکز[8]، مسئله مکان‌یابی پوششی[9]، مسئله مکان‌یابی چندهدفه[10] و مسئله مکان‌یابی پیوسته[11] قرار می‌گیرند[Farahani (et al.), 2013]. مسائل مکان‌یابی میانه دارای تفاوت‌های زیادی با یکدیگر می‌باشند که در جدول ۲ به تعدادی از آنها اشاره شده‌است.

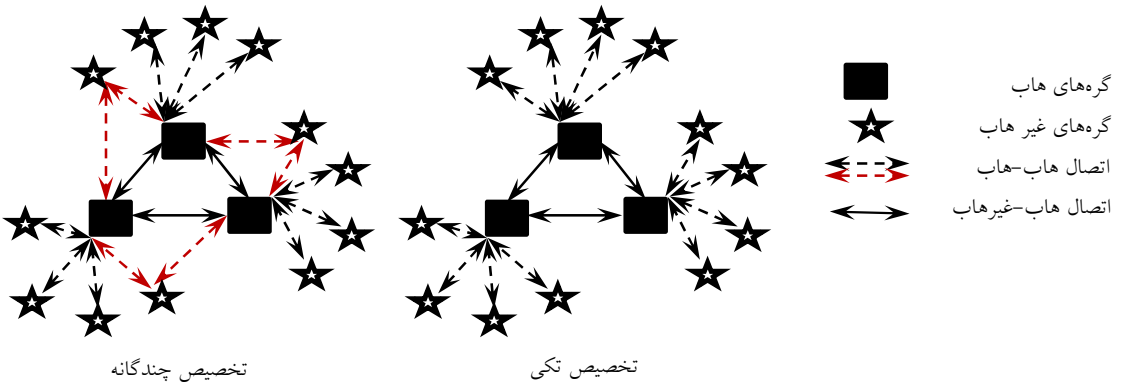
جدول۲. مهمترین تفاوت‌های مدل‌های مکانیابی هاب میانه

عنوان	زیرشاخه‌ها
فضای حل مسئله	گسسته-پیوسته
تابع هدف	MiniMax- MiniSum- Multi-objective
تعداد هاب مورد نیاز	مشخص- نامشخص
تعداد هاب	یک- بیش از یک
ظرفیت هاب	محدود- نامحدود
هزینه ساخت هاب	بدون هزینه- هزینه ثابت- هزینه متغیر
اتصال گره ها به هاب	تنها به یک هاب[12]- اتصال به بیش از یک هاب[13]
هزینه اتصال گره ها به یکدیگر و به هاب	بدون هزینه- هزینه ثابت- هزینه متغیر

مدل اولیه مکان‌یابی هاب میانه ابتدا توسط اکلی در سال ۱۹۷۸ مطرح گردید. تابع هدف این مسئله به صورت غیرخطی بوده و به نام رویکرد مدلسازی کمانی[14] شناخته می‌شود[O'Kelly, 1987]. کمبل در سال ۱۹۹٤ سه مدل ریاضی جدید برای مسائل مکان‌یابی هاب میانه، مکان‌یابی هاب مرکزی و مکان‌یابی هاب پوششی ارائه کرد. این مدل‌ها دارای یک تابع هدف خطی بوده و به نام رویکرد مسیری[15] شناخته می‌شوند. مدل ریاضی مکان یابی هاب میانه در پژوهش کمبل ۱۹۹٤ در گروه مسائل تخصیص چندگانه p-هاب میانه[16] دسته‌بندی می‌شود. مسئله تخصیص p-هاب میانه خود به دو مسئله تخصیص تکی و تخصیص چندگانه تقسیم می‌گردد[Campbell, 1994]. در مسئله تخصیص تکی p-هاب میانه[17] هر گره غیر هاب تنها اجازه اتصال به یک هاب را دارد اما در تخصیص چندگانه[18] گره‌های غیرهاب می‌توانند به چندهاب متصل باشند. شکل زیر تفاوت میان تخصیص تکی و چندگانه را دریک شبکه دارای سه هاب نشان می‌دهد.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل۲. تفاوت میان تخصیص تکی و چندگانه را دریک شبکه دارای سه هاب

در بسیاری از شرایط، مطلوب است که گره‌های غیرهاب تنها به یک گره هاب متصل گردند. سورین کاپو و همکاران ۱۹۹٦ چند محدودیت مدل تخصیص تکی را با محدودیت‌های ساده تری جایگزین کردند. متغیرهای تصمیم مدل‌های خطی ارائه شده تا آن زمان از درجه ٤[19] برخوردار بودند [Skorin-Kapov, D., Skorin-Kapov, J. and O'Kelly, 1996]. ارنست و کیریشنامورثی ۱۹۹۹ مدل خطی جدیدی برای مسئله مکان‌یابی هاب با تخصیص تکی و از درجه سه ارائه نمودند. این مدل، رفتاری شبیه به هر دو مدل کمانی و مسیری معرفی شده در مطالعات گذشته دارد [Ernst and Krishnamoorthy, 1999]. ابری و همکاران ۲۰۰۰ و بلانـد و همکاران ۲۰۰٤ مدل ارنست و کیریشنامورثی را برای تخصیص چندگانه توسعه دادند [Ebery (et al.), 2001; Boland (et al.), 2004]. مارین ۲۰۰۵ با ایده گرفتن از پژوهش [Ebery (et al.), 2001] مدل جدیدی برای مکان یابی هاب با تخصیص چندگانه ارائه نمود [Marin, 2005]. کمبل و همکاران ۲۰۰۵ مدل جدیدی به نام مکان‌یابی کمانی هاب را برای مسئله تخصیص p–هاب میانه معرفی نمودند. بر اساس این روش به جای انتخاب گره‌های هاب در شبکه، ابتدا کمان‌های هاب انتخاب می‌شوند. در این روش گره‌های دو سر کمان‌های هاب، گره‌های هاب شبکه می‌باشند [Campbell (et al.), 2005].

موازی با گسترش تئوری مدل‌های مکان‌یابی هاب، پژوهش‌های متعددی براساس کاربرد مدل‌های هاب در دنیای واقعی انجام شده‌است. در سالهای اخیر پژوهشگران توجه زیادی به طراحی شبکه‌های دارای هاب کرده‌اند. پیاده‌سازی شبکه‌های دارای هاب در زمینه‌های متعدد علمی از جمله حمل‌ونقل هوائی[20] [Aykin, 1995]، حمل‌ونقل چندوجهی[21] [Vidovic (et al.), 2011]، ارتباطات[22] [Kim and O'Kelly, 2009] و تحویل بار[23] [Vasconcelos (et al.), 2011] گسترش پیدا کرده‌است.

پژوهش حاضر به دسته پژوهش‌های مربوط به مکان‌یابی هاب در شبکه های حمل کالا به ویژه شبکه‌های حمل‌ونقل چندوجهی تعلق دارد. در ادامه مهمترین پژوهش‌های انجام شده در مکان‌یابی هاب برای شبکه‌های حمل‌ونقلی کالا به ویژه شبکه‌های چندوجهی حمل کالا ارائه گردیده است.

سیمیک در سال ۲۰۰۰ مسئله مکان‌یابی هاب را بر روی ۲۸ گره جذب و تولید کالاهای ریلی در راه‌آهن سراسری اروپا پیاده نمود. در این مطالعه هزینه‌های حمل وابسته به حجم تردد کالاها بوده و هدف مسئله حداقل نمودن مجموع هزینه‌های حمل کالا در شبکه می‌باشد [SIMIQ, 2000]. راکونیکا و وینتر در سال ۲۰۰۵ مدلی جهت مکان‌یابی گره‌های هاب در یک شبکه ریلی ارائه نمودند که ویژگی‌های حمل ترکیبی کالا نیز در این مدل آورده شده است. در این پژوهش یک سرویس ارزان، سریع و قابل اطمینان برای اتصال گره‌های هاب به یکدیگر درنظر گرفته شده است. نتایج مدل نشان می‌دهد پیاده سازی چنین سیستمی هزینه‌های پرسنل و فرکانس سرویس را کاهش خواهد داد [Racunicam and Wynter, 2005]. جنگ و همکاران در سال ۲۰۰۷ به مکان‌یابی هاب در شبکه‌های ترکیبی پرداختند. مطالعه موردی این پژوهش بر روی شبکه ریلی ۱۰ کشور اروپایی با ٤۸ گره جذب و تولید انجام شده‌است. هدف این پژوهش ارائه بهترین ترکیب از موقعیت هاب، مسیرهای حرکت انواع قطارها، فرکانس حرکت انواع قطارها و تناژ

www.SID.ir

Archive of SID

حمل هریک از قطارها بوده است. در این پژوهش هزینه‌های عملکردی قطارهای با ظرفیت مختلف در طول مسیر، هزینه تغییر آرایش واگن‌ها در هاب، هزینه تفکیک قطارها در هاب، هزینه انتظار واگن‌ها در هاب و هزینه سفر انواع قطارها درنظر گرفته شده‌است [Jeong, Lee, and Bookbinder, 2007].

لیمبرگ و جورکین در سال ۲۰۰۹ بر اساس یک فرآیند تکرارشونده میان مسئله مکانیابی هاب و مسئله تخصیص چندگونه‌سفر، به مکانیابی تعداد p هاب بر روی نقاط دارای پتانسیل تشکیل هاب پرداختند [Limbourg and Jourquin, 2009]. آشفک و ساکس در سال ۲۰۱۱ به مکانیابی هاب در یک شبکه ترکیبی ریل و جاده با هدف حداقل نمودن هزینه‌های حمل و هزینه‌های ثابت (هزینه‌های ساخت هاب، هزینه‌های انتقال کالا از یک گونه سفر به گونه دیگر، باربرداری، بارگیری و ...) مربوط به هاب‌ها پرداخته‌اند. در این پژوهش علاوه بر کمینه نمودن هزینه‌های حمل، زمان سفر مسیرها نیز به مقداری مطلوب محدود شده‌است [Ishfaq and Sox, 2011]. آمروسینو و سیموچن در سال ۲۰۱٤ به مکان‌یابی بنادر خشک برای بارهای کانتینری حمل شده در فاصله داخلی کشور پرداخته‌اند. مدل پیشنهادی در این پژوهش تنها اجازه عبور کالا از یک هاب را داده است و انتقال کالا از یک هاب به هاب دیگر میسر نمی‌باشد [Ambrosino and Sciomachen, 2014]. آمروسینو و سیموچن ۲۰۱٦ یک مدل مکان‌یابی چندگانه با در نظر گرفتن ظرفیت گره‌های هاب برای جابه‌های بارهای موجود در بنادر کشور به سمت نقاط داخلی سرزمین و برعکس ارائه کردند. در این پژوهش هدف انتقال بارهای یک مبدا- مقصد از طریق چند مسیر عبوری از گره‌های هاب و توسط سیستم‌های ریلی، جاده‌ای و ترکیب این دو بوده‌است. در این پژوهش مکان‌یابی بر اساس وضعیت موجود دو سیستم ریلی و جاده‌ای با توجه به هزینه‌های احداث گره‌های هاب و نامحدود بودن ظرفیت مسیرهای ریلی و جاده ای انجام شده است [Ambrosino and Sciomachen, 2016]. وانگ و همکاران ۲۰۱۷ یک مدل مکان یابی بندر خشک برای بندر تیانجین ارائه نمودند. در این پژوهش علاوه بر امکان ایجاد بنادر خشک جدید، امکان بستن بنادر خشک موجود نیز در نظر گرفته شده است. تابع هدف مسئله به کمینه‌سازی هزینه هایی همچون حمل کالا، بازگشایی و بستن بنادر خشک اختصاص یافته است. نتایج این مدل با در نظر گرفتن عدم قطعیت و تحلیل حساسیت نشان داد، بازگشایی بنادر خشک جدید برای سرویس‌دهی به کالاهای این بندر سناریوای بهینه‌تر از بستن بنادر خشک موجود می‌باشد [Wang (et al.), 2017].

در پژوهش حاضر مدل جدیدی از مکان‌یابی هاب در ترکیب با روش تحلیل پوششی داده‌ها برای شبکه‌های حمل‌ونقل ترکیبی کالاهای کانتینری (ریلی-جاده‌ای) از نقطه نظر سیستم ریلی ارائه شده است. در پژوهش‌های گذشته گونه‌های مختلف سفر در شبکه‌های چندوجهی از اهمیت یکسانی برخوردار بوده و هدف کاهش هزینه‌های حمل، هزینه‌های احداث هاب و احداث کمانهای جدید بوده‌است. این در حالی است که انتقال کانتینرها از شبکه جاده‌ای به شبکه ریلی موجب کاهش هزینه‌های غیرمستقیمی همچون کاهش مصرف سوخت، آلودگی هوا و تصادفات جاده‌ای می‌گردد. بنابراین مسئله اصلی پژوهش حاضر شناسایی مناسب‌ترین موقعیت‌ها جهت احداث بنادر خشک در یک شبکه ترکیبی در راستای افزایش منافع سیستم ریلی و سهم حمل ریلی کالاهای کانتینری می‌باشد.

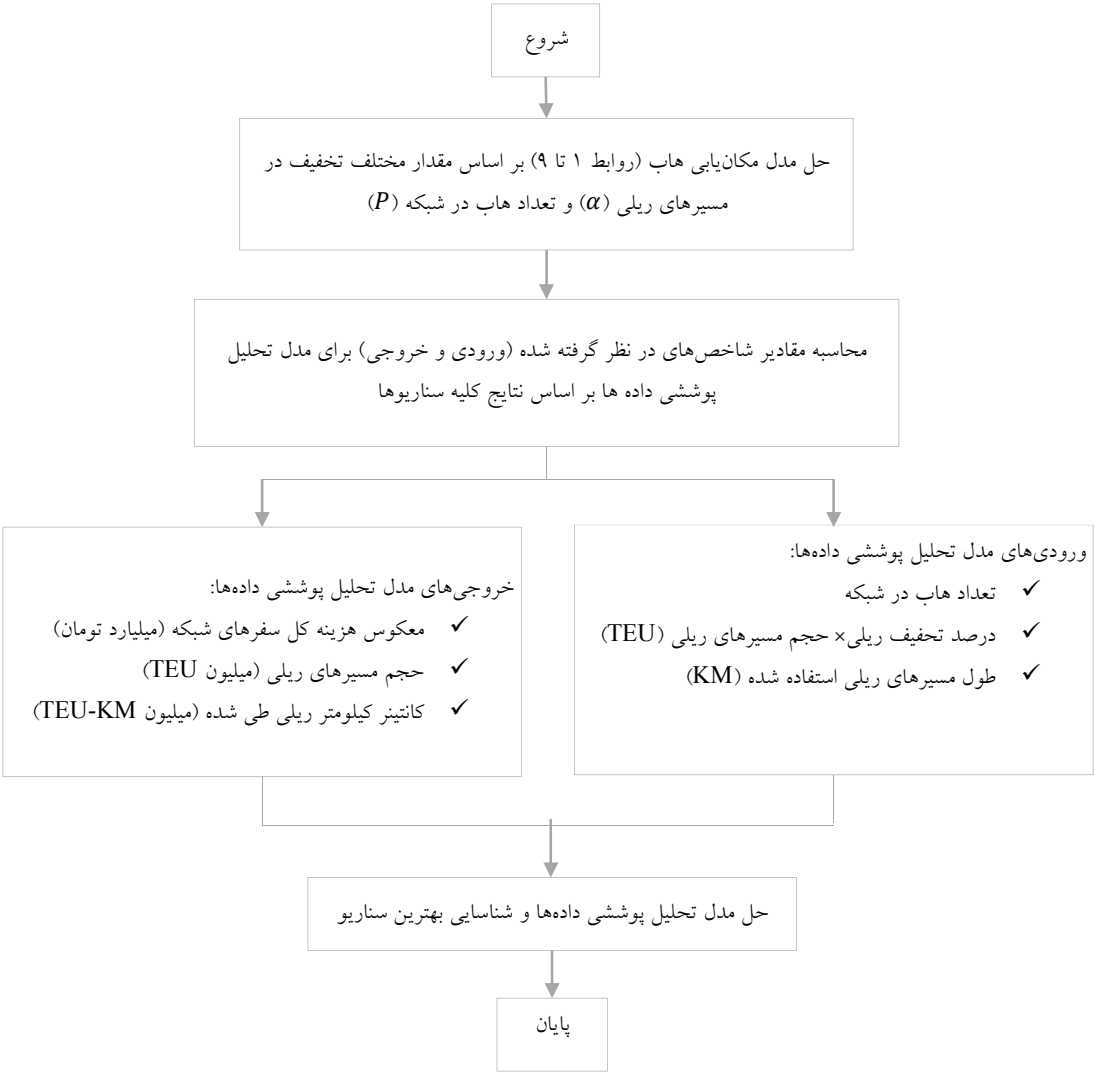
جمع آوری اطلاعات دقیقی از هزینه‌های ساخت گره‌های هاب و هزینه‌های ساخت کمان‌های غیرهاب-هاب و هاب-هاب برای شبکه‌ها امری دشوار و همراه با خطا می‌باشد. در این پژوهش بجای حل یک مدل مکان‌یابی هاب با در نظر گرفتن هزینه‌های نامبرده و شناسایی گزینه برتر، از ترکیب یک مدل بدون محدودیت ظرفیت گره‌های هاب و کمانهای شبکه و هزینه‌های احداث آنها در ترکیب با روش تحلیل پوششی داده‌ها استفاده شده‌است. در این روش سناریوهای متعددی براساس تغییرات تعداد هاب در شبکه (۲ تا ۵) و درصد تخفیف در مسیرهای ریلی (۰٪ تا ۹۰٪) تولید گردیده و در ادامه با استفاده از تکنیک تحلیل پوششی داده‌ها، سناریو برتر انتخاب گردیده‌است. شاخص‌های درنظر گرفته شده در روش تحلیل پوششی داده ها بر اساس خروجی‌های مدل مکان‌یابی هاب همچون مجموع هزینه کل سفرهای شبکه، حجم مسیرهای ریلی، کانتینر کیلومتر ریلی و طول مسیرهای ریلی تعیین گردیده و به صورت غیرمستقیم منعکس کننده هزینه‌های نامبرده می‌باشند.

www.SID.ir

Archive of SID

۲- تعریف مسئله و فرمول بندی آن

به منظور مکان‌یابی بنادر خشک در یک شبکه ترکیبی ریلی- جاده‌ای و از نگاه سیستم ریلی، مدل جدیدی برپایه مدل ارائه شده در [Campbell, 1994] ارائه شده‌است. پژوهش‌های گذشته در مکان‌یابی بنادرخشک در شبکه‌های ترکیبی، تفاوتی میان سیستم‌های دخیل در شبکه ترکیبی در نظر نگرفته و مدلسازی از نگاه کلیه سیستم‌های موجود در حمل ترکیبی کالا انجام شده است. با توجه به طراحی یک شبکه دارای بندر خشک از نگاه سیستم ریلی و به منظور تعیین حداکثر پتانسیل شبکه ریلی جهت حمل محموله‌ها، محدودیت‌های ظرفیتی (گره‌های هاب و کمان‌های شبکه) به طور مستقیم در مدل ارائه شده اعمال نگردیده است. مدل ارائه شده بر اساس مقادیر مختلف تخفیف در تعرفه مسیرهای ریلی و تعداد هاب در شبکه حل گردیده و نتایج سناریوهای حاصل با استفاده از تکنیک تحلیل پوششی داده‌ها ارزیابی گردیده‌اند. ترکیب یک مدل مکان‌یابی هاب بدون ظرفیت با روش تحلیل پوششی داده‌ها بر اساس شاخص‌های متعدد اقتصادی منجر به شناسایی کارآمدترین برنامه توسعه‌ای برای سیستم ریلی خواهد شد. شکل ۳ روند انجام مدل‌سازی در این پژوهش را نشان می‌دهد.



شکل ۳. چارچوب انتخاب بهترین مکان جهت احداث بندرخشک از نگاه سیستم ریلی

www.SID.ir

Archive of SID

در زیر مدل ریاضی ارائه شده براساس تخصیص چندگانه p– هاب میانه آورده شده است. ورودی‌های مسئله شامل اطلاعات تقاضا و ماتریس هزینه سفر می‌باشد.

$$Min \sum_i \sum_j \sum_k \sum_m C_{ij}^{km} h_{ij} z_{ij}^{km} \quad (۱)$$

St:

$$\sum_k X_k = P \quad (۲)$$

$$\sum_k \sum_m z_{ij}^{km} = 1 \qquad \forall i,j \in P_{all} \quad (۳)$$

$$C_{ij}^{km} = C_{ik} + \alpha C_{km} + C_{mj} \qquad \forall i,j,k,m \in P_{all} \quad (٤)$$

$$z_{ij}^{km} \le \mathrm{X}_m \ \text{ and } \ z_{ij}^{km} \le \mathrm{X}_k \quad \forall i,j,k,m \in P_{all} \quad (٥)$$

$$z_{ij}^{km} \ge 0 \ \text{ and } \ \mathrm{X}_k \in \{0,1\} \quad \forall i,j,k,m \in P_{all} \quad (٦)$$

در مدل ریاضی بالا C_{ij}^{km} تعرفه حمل یک واحد کالا از i به jبوده که از دو هاب k و m نیز عبور کرده و براساس رابطه (٤) از سه قسمت تعرفه حمل کالا از مبدا به هاب C_{ik} (جمع آوری)، تعرفه حمل کالا میان دو هاب C_{km} (انتقال) و تعرفه حمل کالا از هاب به مقصد C_{mj} (توزیع) تشکیل شده‌است. α یک ضریب تخفیف برای حمل کالاها میان دو هاب می‌باشد. در صورتی که مسئله همانند مسئله بالا به صورت ظرفیت نامحدود طراحی گردد، z_{ij}^{km} یک متغیر صفر و یک خواهد بود و در غیر این صورت برابر نسبت حجم جریان منتقل شده از i به j که از دو هاب k و m عبور کرده به کل تقاضای موجود میان گره i وjمی‌باشد. h_{ij} تقاضا موجود میان گره i وj و متغیر $\mathrm{X_k}$ یک متغیر صفر و یک بوده بطوریکه درصورت درنظر گرفتن گره k به عنوان هاب برابر یک و درغیر این صورت صفر می‌باشد. مدل بالا دارای $n^4 + n^2 + n$ متغیر تصمیم بوده که همگی از نوع صفر و یک[۲۴] می‌باشد. در مدل ارائه شده، رابطه (۱) تابع هدف مسئله بوده و مجموع هزینه‌های سفر در شبکه ترکیبی حمل کالا را حداقل می‌سازد. رابطه (۲) بیان می‌کند که تعداد کل گره‌های هاب درنظر گرفته شده در شبکه باید برابر p باشد. رابطه (۳) شرط عبور کل تقاضا میان دوگره i وjرا تامین می‌کند. رابطه (٤) هزینه حمل ترکیبی حمل کالا در شبکه ترکیبی را از نگاه سیستم تصمیم گیرنده (ریلی) محاسبه می‌کند. رابطه (٥) بیان می‌کند، در صورت عبور تقاضا از دو گره هاب k و m، این دو گره باید به عنوان گره هاب انتخاب شوند. رابطه (٦) متغیرهای تصمیم مسئله را نشان می‌دهد که از جنس صفر و یک می‌باشند. در این پژوهش مقادیر C_{ik}، C_{km} و C_{mj} در رابطه (٤) با توجه به وجود دو سیستم ریلی و جاده‌ای و درنظر گرفتن سیستم ریلی به عنوان تصمیم‌گیرنده بر اساس روابط (۷) تا (۹) تعیین شده‌اند.

$$C_{ik} = \begin{cases} min\{C_{ik}^{rail}, C_{ki}^{rail}\} & if \quad i \in P_{port} \ \& \ i \in P_{rail} \ \& \ k \in P_{rail} \\ min\{C_{ik}^{road}, C_{ki}^{road}\} & if \quad other \end{cases} \quad (۷)$$

$$C_{ik} = \begin{cases} min\{C_{mj}^{rail}, C_{jm}^{rail}\} & if \quad j \in P_{port} \ \& \ j \in P_{rail} \ \& \ m \in P_{rail} \\ min\{C_{mj}^{road}, C_{jm}^{road}\} & if \quad other \end{cases} \quad (۸)$$

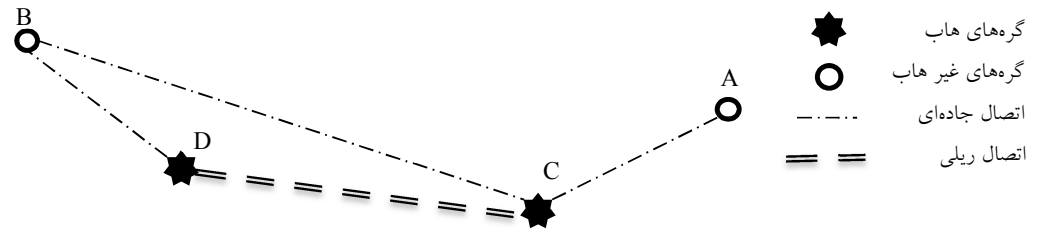
www.SID.ir

Archive of SID

$$C_{km}=\begin{cases}\left(1-\frac{\alpha}{100}\right)min\{C_{km}^{rail},C_{km}^{rail}\} & if \quad k\in P_{rail}\ \&\ m\in P_{rail}\\ min\{C_{km}^{road},C_{km}^{road}\} & if \quad other\end{cases} \qquad (۹)$$

بدلیل ناچیز بودن هزینه های تخلیه و بارگیری کانتینر در بنادر خشک در مقایسه با هزینه‌های حمل و مطلوبیت ورود کانتینرها به بنادرخشک برای سیستم ریلی این هزینه‌ها به عنوان خدمات رایگان در بنادر خشک درنظر گرفته شده‌است. در روابط بالا C_{ik}^{rail} تعرفه حمل‌ریلی از گره i به گره k C_{ik}^{road} تعرفه حمل جاده‌ای از گره i به گره k P_{rail} مجموعه گره‌های دارای ایستگاه ریلی در شبکه و P_{port} مجموعه گره‌های مستقر در بنادر شبکه می‌باشند. در یک شبکه دارای هاب و با توجه به تعریف بنادر خشک، سیستم ریلی در دو حالت مطلوبیت جذب تقاضا خواهد داشت. حالت اول مربوط به ارتباط بنادر دارای ایستگاه ریلی به بنادر خشک بوده و حالت دوم به ارتباط میان دو بندر خشک اشاره دارد.

روابط (۷) و (۸) نشان می‌دهند، در صورتی که گره مبدا و یا مقصد سفر، یکی از بنادر کشور و دارای ایستگاه ریلی باشد، تعرفه حمل کالا میان این نقاط و بنادرخشک برحسب تعرفه ریلی محاسبه می‌شود. این دو رابطه بر اساس تعریف بنادرخشک که ارتباط بنادر تا بندر خشک را به صورت یک سیستم پرظرفیت (ریلی) درنظر می‌گرفت، تعریف شده‌است. در رابطه (۹) تعرفه حمل کالا میان بنادرخشک دارای ایستگاه ریلی، به صورت ریلی درنظر گرفته شده‌است.همچنین α درصد تخفیف تعرفه برای حمل کالاها میان دو بندرخشک در سیستم ریلی می‌باشد. افزایش درصد تخفیف تعرفه ریلی میان بنادر خشک باعث افزایش سهم حمل‌ونقل ریلی از کل تقاضا کانتینری شبکه خواهد گردید. به طور مثال در شکل ٤ تقاضایی از مبدا A به B وجود دارد و گره های C و D به عنوان بنادرخشک در شبکه پیشنهاد شده‌اند. درصورتی که هزینه حمل از C به D و از D به B بیشتر از هزینه حمل از C به B باشد، جریان تقاضا از محور C-D عبور نخواهد کرد و مسیر A-C-C-B را انتخاب خواهد کرد. در این وضعیت شرط عبور تقاضا از بنادرخشک رعایت شده است اما محور ریلی میان دو بندرخشک بدون استفاده مانده است.



شکل٤. تاثیر درصد تخفیف تعرفه در مسیرهای ریلی بر روی تقاضای جذب شده

۳- آماده‌سازی اطلاعات

مدل ارائه شده در این پژوهش بر روی شبکه حمل کانتینری کالا در کشور ایران پیاده شده است. اطلاعات تقاضا از بارنامه‌های اداره راهداری و راه‌آهن در سال ۱۳۹۲ استخراج گردیده است. جهت در نظر گرفتن تقاضای کالاهای صادراتی که فاصله داخلی را به طور غیرکانتینری طی کرده اما به صورت کانتینری از کشور خارج شده است و همچنین کالاهای کانتینری که استریپ شده و فاصله داخلی را به صورت غیرکانتینری طی کرده‌اند، از مفهومی به نام کالاهای با پتانسیل بالای کانتینری شدن استفاده شده است. کالاهای با پتانسیل بالای کانتینری شدن به کالاهایی گفته می شود که یا به صورت کانتینری حمل شده اند و یا در غیر این صورت در نوع کالا ، مبدا و مقصد سفر آن تجربه حمل به صورت کانتینری بیش از ۱۰۰ تن بار وجود دارد. براساس این تعریف مجموع کالاهای با پتانسیل بالای کانتینری شدن که به بنادر و یا از بنادر کشور حمل شده‌اند برابر با ۱۹.٦ میلیون تن گردید که به مقدار واقعی ۱۹.۲ میلیون تن اعلام شده توسط اداره بنادر و کشتیرانی کشور بسیار نزدیک می‌باشد. شکل ۵ شبکه ریلی کشور ایران و ۲۵ شهرستان فعال در حمل‌ونقل کالاهای

www.SID.ir

Archive of SID

دارای پتانسیل بالای کانتینری شدن که بـه عنـوان گـره‌هـای مسئله مکان‌یـابی هـاب در نظـر گرفتـه شـده‌اسـت را نشـان می‌دهد. همچنین برای هر یک از گره های شبکه یک شناسه منحصر به فرد در نظر گرفته شده که در جدول ۳ نشـان داده شده است.



شکل۵. شبکه ریلی ایران و شهرستانهای فعال در حمل‌ونقل کالاهای دارای پتانسیل بالای کانتینری شدن به عنوان گره‌های مسئله مکان‌یابی بندرخشک

جدول۳. شناسه اختصاص داده شده به هریک از گره‌های شبکه (شهرستانهای کشور) دارای هاب

شهرستان	شناسه	شهرستان	شناسه	شهرستان	شناسه	شهرستان	شناسه
تهران	۱	بم	۸	مشهد خراسان	۱۵	ساوه	۲۲
قم	۲	سیرجان	۹	خواف	۱۶	بندرعباس	۲۳
قزوین	۳	یزد	۱۰	آبادان	۱۷	بروجرد	۲٤
کرج	٤	کاشان	۱۱	ماهشهر	۱۸	بوشهر	۲۵
اصفهان	۵	برخوار	۱۲	خرمشهر	۱۹	-----	-----
مبارکه	٦	شاهین شهر	۱۳	شیراز فارس	۲۰	-----	-----
اهواز	۷	تبریز	۱٤	کرمان	۲۱	-----	-----

ماتریس هزینه سفر مبادی-مقاصد بـر اسـاس تعرفـه رسـمی اعلام شده در شبکه جاده‌ای و ریلی کشور ایران آماده شـده است. در شبکه دارای هاب (بندرخشک) هزینه هـای حمـل به سه قسمت انتقال کالا از گره مبدا به هاب، هاب به هاب و هاب به گره مقصد تقسیم شـده‌اسـت. در بسـیاری از مـوارد تفاوت در میزان تقاضا سفر در مسیر رفت و برگشـت باعـث می‌گردد، هزینـه حمـل کـالا در مسـیر رفـت و برگشـت بـا یکدیگر متفاوت باشد. در شبکه حمل‌ونقل جاده‌ای ایران این اختلاف برای تعدادی از مسیرها به ۱.۷ برابر نیز رسیده است.

در شبکه‌های دارای هاب به جهت حذف کمان‌هـای مسـتقیم انتقال کالا و انتقال جریان کالایی آنها بر کمان‌های متصل بـه هاب، جریان کالایی در محورهای متصل به هـاب در هـر دو جهت رفت و برگشـت افـزایش یافتـه کـه در نتیجـه انتظـار برابری هزینه حمل کالا در مسیر رفت و برگشت را خـواهیم داشت. برابری هزینه‌هـای رفـت و برگشـت کـالا در شـبکه دارای هاب در قیمت قبـل توسـط روابـط (۷) تـا (۹) تـامین شده‌است.

www.SID.ir

Archive of SID

٤- نتایج مدلسازی

مدل ریاضی صفر ویک عدد صحیح مختلط در این پـژوهش توسط نرم افزار تجاری Cplex 12 به منظور یـافتن جـواب دقیق این مسئله حل گردیده است. مدل ریاضی مسئله در نرم افزار Java با استفاده از کتابخانه Cplex مـدل شـده اسـت. مدل ارائه شده برای مقادیر مختلف α از صفر تـا ۹۰ درصـد تخفیف در مسیرهای ریلی و همچنین تعداد هـاب در شـبکه برابر دو، سه و چهار هاب حل شده است و نتایج آن درادامه با یکدیگر مقایسه شده‌اند. جدول ٤ نتایج مدلسازی را بـرای تعداد ۲ تا ۵ بندرخشک در شـبکه و مقـادیری از α (درصـد تخفیف تعرفه در محورهای ریلی) نشـان مـی‌دهـد. جـداول کامل به پیوست آورده شده است.

جدول٤. نتایج مسئله مکانیابی بندرخشک برای تعداد ۲ تا ۵ بندرخشک در شبکه و مقادیری از α

تعداد بندرخشک (p)	درصد تخفیف در محورهای ریلی (α)	هزینه سفر (میلیارد تومان)	حجم مسیرهای ریلی (میلیون TEU)	کانتینر کیلومتر ریلی (میلیون TEU-KM)	طول مسیرهای ریلی استفاده شده (KM)	گره‌های هاب
۲	٪۵۰	۱۲٤۳.۸	۱.۱۱	۸۱۲.٤	۳۱۷۲	۲,۸
۲	٪۱۰	۱۳۰۸.۳	۰.۷۸	۷۱۵.۷	۳۷۳۱	۱,۹
۳	٪۵۰	۱۱۱۳.۹	۱.۱٦	۸۰۷.۰	۵٦۸۰	۱,۲,۹
۳	٪۱۰	۱۲۰۱.٤	۱.۰۳	۷۰٦.٤	۵٤٦۸	۱,۲,۹
٤	٪۵۰	۱۰۰۵.٤	۱.۳۹	۱۱۱٦.٦	۹۷۳۰	۱,۲,۸,۹
٤	٪۱۰	۱۱۵۱.۰	۱.۲٦	۱۰۹۵.۷	۱۰۲۹۰	۱,۲,۸,۹
۵	٪۵۰	۹۸۸.۸	۱.۳۹	۱۱۱۲.۷	۱۲۰۰۹	۱,۲,۷,۸,۹
۵	٪۱۰	۱۱۳۳.۸	۱.۲٦	۱۰۹۰.۲	۱۰۵۹۱	۱,۲,۷,۸,۹

در جدول بالا ستون اول تعداد بندرخشک در شبکه را نشـان می دهد که مقادیر دو تا پنج برای آن در نظرگرفته شده است. ستون دوم درصد تخفیف ریلی بوده که هر ۱۰ درصد یکبـار از مقدار ۰ تا ۹۰ درصد تغییر می کند. بنابراین برای هر تعداد بندرخشک در شبکه درصد تخفیف ریلی ده حالـت مختلـف فرض شده است که در مجموع ٤۰ حالـت مختلـف بررسـی شده است. مجموع هزینه سفر در شبکه هاب در سـتون دوم نشان داده شده است. ستون چهـارم حجـم مسـیرهای ریلـی (میلیون TEU) و ستون پنجم میلیون کانتینر کیلـومتر پیمـوده شـده در شـبکه را نشـان مـی‌دهـد. سـتون ششـم جـدول نشان‌دهنـده مجمـوع طـول مسـیرهای ریلـی اسـتفاده شـده درشبکه می‌باشد. ستون هفتم نیز گره های پیشـنهادی جهـت احداث بندر خشک در کشور را معرفی مـی‌کنـد. بـه منظـور تعیین کارا ترین گزینـه پیشـنهادی از روش تحلیـل پوششـی داده‌ها- ورودی محور CCR استفاده شده است. این مدل در سال ۱۹۷۸ توسط چـارلز، کـوپر و رودز در مقالـه ای تحـت عنوان "اندازه گیری کارایی واحد های تصمیم گیرنده" ارائـه شـد[Charnes, Cooper and Rhode, 1978]. در ایـن روش هر یـک از حالتهـای تعـداد هـاب درشـبکه و درصـد تخفیف در سیستم ریلی به عنوان یک DMU (واحد تصـمیم گیری) در نظر گرفته شده است. جدول ۵ متغیرهـای ورودی و خروجی استفاده شده در این ارزیابی را نشان می‌دهد.

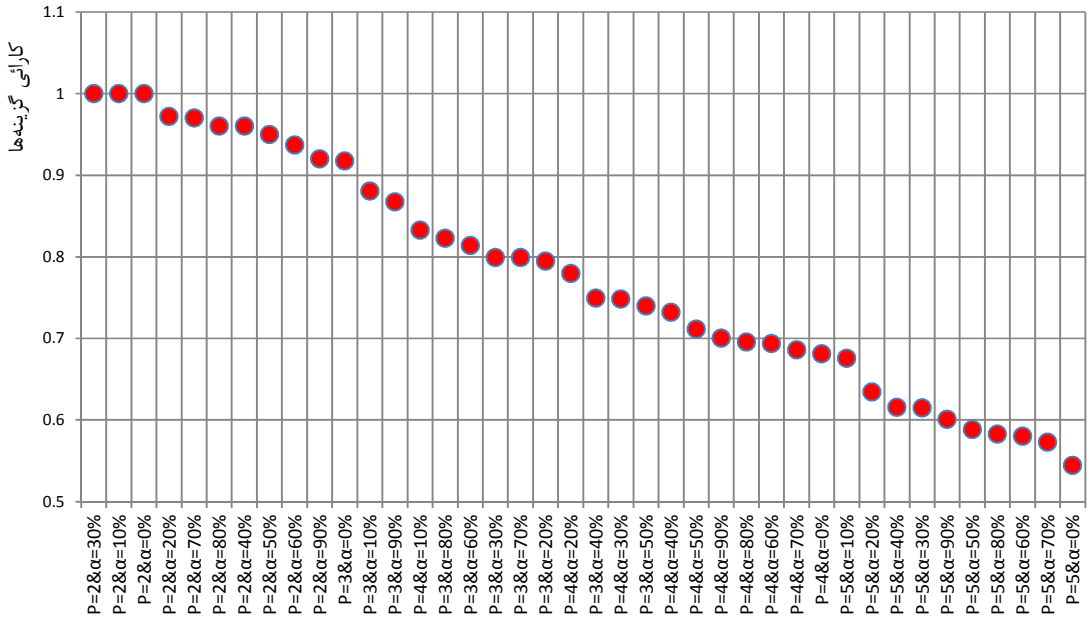
جدول ۵. معرفی متغیرهای ورودی و خروجی استفاده شده در روش تحلیل پوششی داده‌ها

ورودی ها	خروجی ها
تعداد هاب در شبکه	معکوس هزینه کل سفرهای شبکه (میلیارد تومان)
درصد تخفیف ریلی× حجم مسیرهای ریلی (TEU)	حجم مسیرهای ریلی (میلیون TEU)
طول مسیرهای ریلی استفاده شده (KM)	کانتینر کیلومتر ریلی طی شده (میلیون TEU-KM)

www.SID.ir

Archive of SID

متغیرهای تعداد هـاب در شـبکه و افـزایش درصـد تخفیـف ریلی× حجم مسیرهای ریلی (TEU) از ورودی‌هـای مسـئله بوده و افزایش آنها باعث کاهش هزینه‌هـای سـفر و افـزایش حجم مسیرهای ریلی مـی‌گـردد. بـرای روشـن شـدن علـت قراردادن طول مسـیرهای ریلـی اسـتفاده شـده در متغیرهـای ورودی مثالی آورده شده است. فرض کنید مقـادیر ورودی و خروجی در مقایسه دو واحـد تصـمیم گیـری تنهـا در طـول مسیرهای ریلی متفاوت باشد. بطوریکـه در گزینـه اول یـک محور ریلی و گزینه دوم سه محـور ریلـی در حـال اسـتفاده می‌باشند. بنابراین به جهت متمرکز شدن سـرمایه‌گـذاری بـر روی یک محور به جای تقویت سه محور مختلف، هزینه‌های ورودی کاهش یافتـه و گزینـه اول اقتصـادی تـر مـی‌باشـد. افـزایش مقـدار ورودی هـا باعـث کـاهش هزینـه‌هـای کـل سفرهای شبکه می‌گردد، در صورتی که در ارزیابی کارائی بـا افزایش ورودی‌ها انتظار افزایش خروجی‌ها را داریم. بنابراین معکوس هزینه‌های کل سفرهای شـبکه بـه عنـوان خروجـی درنظرگرفته شـده‌اسـت. نتـایج ارزیـابی کـارائی هـر یـک از گزینه‌ها بر اساس روش تحلیل پوششی داده هـا در شـکل ٦ آورده شده است.



شکل٦. نتایج ارزیابی گزینه‌ها براساس روش تحلیل پوششی داده‌ها

بر اسـاس نتـایج حاصـل شـده، سـناریوهای دارای دو بنـدر خشک از کارائی یک تا ۰.۹، سناریوهای با سه بندر خشک از کارائی ۰.۹ تـا ۰.۷۵، سـناریوهای بـا چهـار بنـدر خشـک از کارائی ۰.۸۳ تا ۰.٦٨ و سـناریوهای بـا پـنج بنـدر خشـک از کارائی ۰.٦٧ تا ۰.٥٤ برخوردار مـی‌باشـند. بنـابراین افـزایش تعداد بنادر خشک باعث کاهش کارائی شبکه گردیده اسـت. براین اساس احداث سناریوهای با دو بنـدر خشـک مناسـب ترین سناریوها بـرای سـرویس‌دهـی بـه کالاهـای کـانتینری درکشور ایران می‌باشـند. از میـان سـناریوهای دارای ۲ بنـدر خشک، سه سناریو احـداث ۲ بندرخشـک و اعمـال سـطوح تخفیف ۰٪، ۱۰٪ و ۳۰٪ در تعرفه مسیرهای ریلـی مجموعـه کارا این ارزیابی بوده و منجر به بالاترین منفعت شبکه ریلـی خواهند گردید. در ادامه جزئیات نتایج این سه سناریو بررسی گردیده‌است. جدول زیر جزئیات نتایج مدلسازی در این سـه سناریو را نشان می‌دهد. بر اساس مجموعه‌های مرجع معرفی شده برای سایر سناریوها غیر کارا، سناریو سـاخت ۲هـاب و اعمال صفر درصد تخفیف ۱۰ مرتبه، ساخت ۲ هاب و اعمال ۱۰ درصد تخفیف ۲۳ مرتبه و ساخت ۲هـاب بـا ۳۰ درصـد تخفیف ۹ مرتبه به عنوان جوامع مرجع تکرار شده‌اند. تکرار سـناریو سـاخت ۲ هـاب و اعمـال ۱۰ درصـد تخفیـف در مجموعه مرجـع سـایر سـناریوهای نشـان از کارآمـدی ایـن سناریو می‌باشد.

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ٦. جزییات نتایج مدلسازی برای سه گزینه با بیشترین کارائی

تعداد هاب	درصد تخفیف در محورهای ریلی (α)	هزینه کل (میلیارد تومان)	حجم مسیرهای ریلی (میلیون TEU)	کانتینر کیلومتر ریلی (میلیون TEU-KM)	طول مسیرهای ریلی استفاده شده (KM)	گره‌های هاب
۲	٪۳۰	۱۲۸٦.۳	۱.۰۸	۸۰۸.۰	۳۱۷۲	۲،۸
۲	٪۱۰	۱۳۰۸.۳	۰.۷۸	۷۱۵.۷	۳۷۳۱	۱،۹
۲	٪۰	۱۳۱٦.۲	۰.٦۹	٦٤۲.٤	۲٦۹۰	۲،۸

در شرایط اعمال تخفیف صفر و سی درصد شهرستان‌های قم و بم و در حالت اعمال تخفیف ده درصد شهرستانهای تهران و سیرجان به عنوان مراکز احداث بنادر خشک پیشنهاد شده‌اند. علاوه بر شاخص‌های درنظر گرفته شده در مدل تحلیل پوششی داده‌ها، معیارهای کیفی دیگری در تعیین موقعیت بنادرخشک تاثیرگذار هستند.

در این پژوهش مکان‌یابی بنادرخشک بر اساس اطلاعات کالاهای کانتینری انجام گرفت. این درحالی است که توسعه بنادرخشک باعث جذب بیشترسایر کالاها و استفاده آنها از امکانات این مجموعه‌ها خواهد شد. دو شهرستان تهران و سیرجان از لحاظ نزدیکی به مراکز عمده جذب و تولید بار و مراکز صنعتی و شهرهای بزرگ نسبت به دو شهرستان قم و بم در اولویت می‌باشند.

بنابراین این دو شهرستان موقعیت‌های مناسب‌تری به منظور جذب بارهای غیرکانتینری در بنادر خشک می‌باشند. یکی دیگر از شاخص‌های تاثیر گذار در تعیین موقعیت بنادرخشک حضور زیرساخت های حمل‌ونقلی مناسب در مجاورت مکان‌های پیشنهادی می‌باشد. شهرستان تهران به عنوان پایتخت کشور ایران از زیرساخت‌های مناسب‌تری نسبت به سایر شهرستان‌های ایران برخوردار است. بنابراین با توجه به کیفیت زیرساخت‌های حمل‌ونقلی مناسب در مجاورت مکان‌های پیشنهادی، سناریو انتخاب دو شهرستان تهران و سیرجان سناریو برتری خواهد بود. بررسی موقعیت‌های درنظر گرفته شده برای احداث بندرخشک در سناریوهای ساخت سه هاب در شبکه نشان داد، کلیه سناریو ها سه شهرستان تهران، قم و سیرجان را به عنوان شهرستانهای دارای پتانسیل احداث بندر خشک معرفی نموده‌اند (جداول پیوست).

بنابراین انتخاب شهرستانهای تهران و سیرجان به عنوان مکان‌های احداث بندر خشک، امکان توسعه شبکه در آینده و اضافه نمودن بندر خشک قم را نیز مهیا خواهد نمود. بنابراین با توجه به موارد ذکر شده سناریو احداث بندر خشک در شهرستان سیرجان و تهران و اعمال تخفیف ۱۰ درصد در تعرفه مسیرهای ریلی به عنوان سناریو برتر در این پژوهش معرفی گردیده است.

شکل ۷ موقعیت مکان احداث بندر خشک و کمانهای ریلی استفاده شده در شبکه را نشان می‌دهد.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل۷. محل احداث بنادرخشک و مسیرهای ریلی استفاده شده در سناریو برتر

۵- نتیجه‌گیری

در این پژوهش مدل جدیدی از مکان‌یابی هاب در ترکیب با روش تحلیل پوششی داده‌ها برای شبکه‌های حمل‌ونقل ترکیبی کالاهای کانتینری (ریلی–جاده‌ای) از نقطه نظر سیستم ریلی ارائه شده است. در پژوهش‌های گذشته گونه‌های مختلف سفر در شبکه‌های چندوجهی از اهمیت یکسانی برخوردا بوده و هدف کاهش هزینه‌های حمل، هزینه‌های احداث هاب و احداث کمانهای جدید برای شبکه بوده‌است. این در حالی است که انتقال کالاها از شبکه جاده‌ای به شبکه ریلی موجب کاهش هزینه‌های غیرمستقیمی همچون کاهش مصرف سوخت، آلودگی هوا و تصادفات جاده‌ای می‌گردد. در این پژوهش به منظور طراحی یک شبکه دارای بندر خشک از نگاه سیستم ریلی و به منظور تعیین حداکثر پتانسیل شبکه ریلی جهت حمل محموله‌ها، محدودیت‌های ظرفیتی (گره‌های هاب و کمان‌های شبکه) به طور مستقیم در مدل ارائه شده اعمال نگردیده است. مدل ارائه شده بر اساس مقادیر مختلف تخفیف در تعرفه مسیرهای ریلی و تعداد هاب در شبکه حل گردیده و نتایج سناریوهای حاصل با استفاده از تکنیک تحلیل پوششی داده‌ها ارزیابی گردیده‌اند. ترکیب یک مدل مکان‌یابی هاب بدون ظرفیت با روش تحلیل پوششی داده‌ها بر اساس شاخص‌های متعدد اقتصادی منجر به شناسایی کارآمدترین برنامه توسعه‌ای برای سیستم ریلی خواهد شد. شاخص‌های درنظر گرفته شده در روش تحلیل پوششی داده‌ها بر اساس خروجی‌های مدل مکان‌یابی هاب همچون مجموع هزینه کل سفرهای شبکه، حجم مسیرهای ریلی، کانتینر کیلومتر ریلی و طول مسیرهای ریلی تعیین گردیده و به صورت غیرمستقیم منعکس کننده هزینه‌های نامبرده می‌باشند. مدل مکان‌یابی بنادرخشک در ترکیب با روش تحلیل پوششی داده‌ها بر روی شبکه کالاهای کانتینری کشور ایران پیاده گردید. سناریوهای درنظر گرفته شده براساس تغییرات تعداد هاب در شبکه (۲ تا ۵) و درصد تخفیف در مسیرهای ریلی (۰٪ تا ۹۰٪) پیاده شده و با استفاده از تکنیک تحلیل پوششی داده‌ها، سناریو برتر انتخاب گردیده‌است. بر اساس نتایج ارزیابی سناریوها، سه سناریو احداث ۲ بندرخشک و اعمال سطوح تخفیف ۰٪، ۱۰٪ و ۳۰٪ در تعرفه مسیرهای ریلی مجموعه کارا این ارزیابی می‌باشند و منجر به بالاترین منفعت شبکه ریلی خواهند گردید. در شرایط اعمال تخفیف صفر و سی درصد شهرستان‌های قم و بم و در حالت اعمال تخفیف ده درصد

www.SID.ir

Archive of SID

شهرستانهای تهران و سیرجان به عنوان مراکز احداث بنادر خشک پیشنهاد شدند. بمنظور شناسایی سناریو برتر، علاوه بر شاخص‌های درنظر گرفته شده در مدل تحلیل پوششی داده‌ها، معیارهای کیفی دیگری همچون نزدیکی به مراکز عمده جذب و تولید بار و مراکز صنعتی و شهرهای بزرگ و کیفیت زیرساخت های حمل‌ونقلی مناسب در مجاورت مکان‌های پیشنهادی برای سه سناریو کارا بررسی گردید. بررسی کیفی موقعیت بنادرخشک نشان داد سناریو احداث بندر خشک در شهرستان سیرجان و تهران و اعمال تخفیف ۱۰ درصد در تعرفه مسیرهای ریلی، سناریو برتر احداث بندرخشک از نگاه سیستم ریلی خواهد بود. در این سناریو حجم مسیرهای ریلی برابر ۷۸۰ هزار TEU، کانتینر کیلومتر ریلی پیموده شده ۷۱٦ میلیون TEU-KM و طول مسیرهای ریلی برابر ۳۷۳۱ کیلومتر و متشکل از سه محور بندرعباس- سیرجان ، سیرجان- تهران و تهران- بندرماهشهر می‌باشد.

٦-پی‌نوشت

1- Collection
2- Distribution
3- Facility location problem
4- Hub location problem
5- Locating hub facilities
6- Allocating demand nodes to hub
7- Hub median location problem
8- Hub center location problem
9- Hub covering location problem
10- Multi-objective hub location problem
11- Continuous hub location problem
12- Single allocation
13- Multiple Allocations
14- Link-based
15- Path-based
16- P-hub median location problem
17- Single allocation p-HLP
18- Multiple allocation p-HLP
19- Index 4
20- Air transportation
21- Intermodal transportation
22- Telecommunications
23- Cargo delivery
24- Binary

۷-مراجع

- مهری، سی.س.، حق شناس، ح.، (۱۳۹٤)، " تحلیل وضع موجود حمل‌ونقل کانتینری در ایران و راهکارهای افزایش مطلوبیت حمل آن با راه‌آهن"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده حمل و نقل دانشگاه صنعتی.

Ambrosino, D. and Sciomachen, A. (2014), "Location of mid-range dry ports in multimodal logistic networks" Procedia-Social and Behavioral Sciences, Vol. 108, pp. 118-128.

- Ambrosino, D. and Sciomachen, A., (2016), "A capacitated hub location problem in freight logistics multimodal networks" Optimization Letters, Vol. 10, No. 5, pp. 875-901.

- Aykin, T., (1995), "Networking policies for hub-and-spoke systems with application to the air transportation system" Transportation Science, Vol. 29, No. 3, pp. 201-221.

- Boland, N., Krishnamoorthy, M., Ernst, A., &Ebery, J. (2004), "Preprocessing and cutting for multiple allocation hub location problems" European Journal of Operational Research, Vol. 155, pp. 638–653.

- Campbell, J.F. (1992), "Location and allocation for distribution systems with transshipments and transportation economies of scale", Annals of Operations Research, Vol. 40, pp. 77–99.

- Campbell, J.F. (1994), "Integer programming formulations of discrete hub location problems", European Journal of Operational Research, Vol. 72, pp. 387–405.

- Campbell, J.F., Ernst, A.T. and Krishnamoorthy, M. (2005), "Hub arc location problems: part II—formulations and optimal algorithms" Management Science, Vol. 51, No. 10, pp.1556-1571.

- Charnes, A., ww.cooper and E.Rhode. (1978), "Measuring the Efficiency of Decision Making units", European Journal of operational Research, Vol. 2, pp. 424-444.

- Cullinane, K. and Wilmsmeier, G. (2011), "The contribution of the dry port concept to the extension of port life cycles", Handbook of Terminal Planning. Springer, New York, pp. 359–379.

- Ebery, J., Krishnamoorthy, M., Ernst, A., &Boland, N. (2000), "The capacitated multiple allocation hub location problem: Formulations and algorithms" European Journal of Operational Research,Vol. 120, pp. 614–631.

- Ernst, A., &Krishnamoorthy, M. (1999), "Solution algorithms for the capacitated single

www.SID.ir

Archive of SID

- Mohri, S.S. and Haghshenas, H. (2017), "Modeling the Container Selection for Freight Transportation: Case Study of Iran". International Journal of Transportation Engineering, Vol. 5, No. 1, pp.31-44.

- Notteboom, T. E. (2002), "Consolidation and contestability in the European container handling industry", Maritime Policy and Management, Vol. 29, pp. 257–270.

- O'Kelly, M.E. (1987), "A quadratic integer program for the location of interacting hub facilities" European Journal of Operational Research, Vol. 32, pp. 393-404.

- Racunicam, I. and Wynter, L. (2005), "Optimal location of intermodal freight hubs", Transportation Research Part B, Vol. 39, No. 5, pp. 453–477.

- Roso, V., Woxenius, J. and Lumsden, K. (2009), "The dry port concept: Connecting container seaports with the hinterland", Journal of Transport Geography, Vol. 17, No. 5, pp. 338-345.

- Roso, V. and Lumsden, K. (2010), "A review of dry ports", Maritime Economics & Logistics, Vol. 12, pp. 196-213.

- SIMIQ. (2000), "Intermodal Quality (IQ)", Technical report for the European Commission, coordinated by INRETS, pp. 67.

- Skorin-Kapov, D., Skorin-Kapov, J. and O'Kelly, M. (1996), "Tight linear programming relaxations of uncapacitated p-hub median problems", European Journal of Operational Research, Vol. 94, pp. 582–593.

- Slack, B. (1999), "Satellite terminals: a local solution to hub congestion", Journal of Transport Geography, Vol. 7, No. 2, pp. 241–246.

- Sohn, J. and Park, S. (1998), "Efficient Solution procedure and reduced size formulations for p-hub location problems", European Journal of Operational Research, Vol. 108, pp. 118–126.

- UNCTAD (2012), "Review of Maritime Transport", source: United Nations Conference on Trade and Development, 04 Dec 2012, 196 page(s), Website: www.unctad.org

allocation hub location problem" Annals of Operations Research, Vol. 86, pp. 141–159.

- Farahani, R.Z., Hekmatfar, M., Arabani, A.B. and Nikbakhsh, E. (2013), "Hub location problems: A review of models, classification, solution techniques, and applications", Computers & Industrial Engineering, Vol. 64, No. 4, pp. 1096-1109.

- Hamacher, H. W., Labbé, M., Nickel, S., and Sonneborn, T. (2004), "Adapting polyhedral properties from facility to hub location problems", Discrete Applied Mathematics, Vol. 145, No. 1, pp. 104–116.

- Hekmatfar, M. and Pishvaee, M. (2009), In R. Z. Farahani, M. Hekmatfar (Eds.), "Hub location problem, in facilities location: Concepts, models, algorithms and case studies", Heidelberg: Springer-Verlag.

- Ishfaq, R. and Sox, C. R. (2011), "Hub location–allocation in intermodal logistic networks", European Journal of Operational Research, Vol. 210, pp. 213–230.

- Jarzemskis, A. and Vasiliauskas, A.V. (2007), "Research on dry port concept as intermodal node", Transport Vol. 22, No. 3, pp. 207–213.

- Jeong, S.J., Lee, C.G. and Bookbinder, J.H. (2007), "The European freight railway system as a hub-and-spoke network", Transportation Research Part A: Policy and Practice, Vol. 41, No. 6, pp. 523-536.

- Kim, H., & O'Kelly, M. E. (2009), "Reliable p-hub location problems in telecommunication networks" Geographical Analysis, Vol. 41, No. 3, pp. 283–306.

- Leveque, P. and Roso, V. (2002), "Dry Port concept for seaport inland access with intermodal solutions", Master's thesis, Department of Logistics and Transportation, Chalmers University of Technology.

- Limbourg, S. and Jourquin, B. (2009), "Optimal rail -road container terminal locations on the European network" Transportation Research Part E, Vol. 45, pp. 551–563.

- Mari´n, A. (2005), "Formulating and solving splittable capacitated multiple allocation hub location problems" Computers & OR Vo. 32, No. 12, pp. 3093–3109.

www.SID.ir

Archive of SID

p-hub model with hub-catchment areas, existing hubs, and simulation: A case study of Serbian intermodal terminals" Networks and Spatial Economics, Vol. 11, No. 2, pp. 295–314.

- Wang, C., Chen, Q. and Huang, R. (2017), "Locating dry ports on a network: a case study on Tianjin Port" Maritime Policy & Management, pp.1-18.

- Xie, Y., Liang, X., Ma, L. and Yan, H. (2017), "Empty container management and coordination in intermodal transport" European Journal of Operational Research, Vol. 257, No. 1, pp. 223-232.

- Van Klink, H.A. and Van Den Berg, G. (1998), "Gateways and Intermodals", Journal of Transport Geography, Vol. 6, No. 1, pp. 1–9.

- Vasconcelos, A. D., Nassi, C. D., & Lopes, L. A. S. (2011), "The uncapacitated hub location problem in networks under decentralized management" Computers and Operations Research, Vol. 38, pp. 1656–1666.

- Veenstra, A., Zuidwijk, R. and Van Asperen, E. (2012), "The extended gate concept for container terminals: expanding the notion of dry ports", Maritime Economics & Logistics Vol. 14, No. 1, pp. 14–32.

- Vidovic, M., Zecevic, S., Kilibarda, M., Vlajic, J., Bjelic, N., & Tadic, S. (2011), "The

www.SID.ir

Archive of SID

پیوست

جدول۱. پ. نتایج مسئله مکانیابی بندرخشک برای تعداد دو بندرخشک در شبکه و مقادیر مختلف α

تعداد هاب	درصد تخفیف در محورهای ریلی (α)	هزینه کل (میلیارد تومان)	حجم مسیرهای ریلی (میلیون TEU)	کانتینر کیلومتر ریلی (میلیون TEU-KM)	طول مسیرهای ریلی استفاده شده (KM)	گره‌های هاب
۲	٪۹۰	۱۰۳۱.۸	۱.٤۲	۸٥۳.٥	۳٤٥٥	۲,۹
۲	٪۸۰	۱۰۹٦.۸	۱.۳۹	۹٦٦.۸	۳۹۱۹	۱,۹
۲	٪۷۰	۱۱٥۹.۸	۱.۳۹	۹٥۸.۷	۳۹۱۹	۱,۹
۲	٪٦۰	۱۲۱۳.٦	۱.۱٦	۷۲۰.۲	۳۹۱۹	۱,۹
۲	٪٥۰	۱۲٤۳.۸	۱.۱۱	۸۱۲.٤	۳۱۷۲	۲,۸
۲	٪٤۰	۱۲٦٥.۳	۱.۱۱	۸۱۱.۸	۳۱۷۲	۲,۸
۲	٪۳۰	۱۲۸٦.۳	۱.۰۸	۸۰۸.۰	۳۱۷۲	۲,۸
۲	٪۲۰	۱۲۹۹.۳	۰.۷۸	۷۱٦.٥	۳۷۳۱	۱,۹
۲	٪۱۰	۱۳۰۸.۳	۰.۷۸	۷۱٥.۷	۳۷۳۱	۱,۹
۲	٪۰	۱۳۱٦.۲	۰.٦۹	٦٤۲.٤	۲٦۹۰	۲,۸

جدول۲. پ. نتایج مسئله مکانیابی بندرخشک برای تعداد سه بندرخشک در شبکه و مقادیر مختلف α

تعداد هاب	درصد تخفیف در محورهای ریلی (α)	هزینه کل (میلیارد تومان)	حجم مسیرهای ریلی (میلیون TEU)	کانتینر کیلومتر ریلی (میلیون TEU-KM)	طول مسیرهای ریلی استفاده شده (KM)	گره‌های هاب
۳	٪۹۰	۸٥٤.۸	۱.٤۷	۹٤٥.۷	٤۹۹۳	۱,۲,۹
۳	٪۸۰	۹۳۲.۲	۱.٤٤	۹۱۸.۹	٥٦۸۰	۱,۲,۹
۳	٪۷۰	۱۰۰٦.۸	۱.٤۲	۹۰٥.۳	٦٦٤۰	۱,۲,۹
۳	٪٦۰	۱۰۷۹.۸	۱.٤۲	۹۰۷.۷	٥٦۸۰	۱,۲,۹
۳	٪٥۰	۱۱۱۳.۹	۱.۱٦	۸۰۷.۰	٥٦۸۰	۱,۲,۹
۳	٪٤۰	۱۱۳۸.۸	۱.۱٥	۸۰۲.۸	٥٦۸۰	۱,۲,۹
۳	٪۳۰	۱۱٦۳.۰	۱.۱٤	۷۹۸.۰	٦۳۲۰	۱,۲,۹
۳	٪۲۰	۱۱۸۳.٥	۱.۰۳	۷۰۷.۷	٦۳۲۰	۱,۲,۹
۳	٪۱۰	۱۲۰۱.٤	۱.۰۳	۷۰٦.٤	٥٤٦۸	۱,۲,۹
۳	٪۰	۱۲۱۷.٥	۰.۹٥	٦۸۲.٦	٥٤٦۸	۱,۲,۹

www.SID.ir

Archive of SID

جدول۳. پ. نتایج مسئله مکانیابی بندرخشک برای تعداد چهار بندرخشک در شبکه و مقادیر مختلف α

تعداد هاب	درصد تخفیف در محورهای ریلی (α)	هزینه کل (میلیارد تومان)	حجم مسیرهای ریلی (میلیون TEU)	کانتینر کیلومتر ریلی (میلیون TEU-KM)	طول مسیرهای ریلی استفاده شده (KM)	گره‌های هاب
٤	٪۹۰	۸۲٦.۱	۱.٤۷	۱۰۲۰.۰	۷۷۳۲	۱,۲,۷,۹
٤	٪۸۰	۸۷۳.۵	۱.٤۳	۱۱۵۱.٤	۹۷۳۰	۱,۲,۸,۹
٤	٪۷۰	۹۱۸.۵	۱.٤۱	۱۱۳۰.۱	۹۷۳۰	۱,۲,۸,۹
٤	٪٦۰	۹٦۲.٤	۱.٤۰	۱۱۲۰.۷	۹۷۳۰	۱,۲,۸,۹
٤	٪۵۰	۱۰۰۵.٤	۱.۳۹	۱۱۱٦.٦	۹۷۳۰	۱,۲,۸,۹
٤	٪٤۰	۱۰٤۸.۱	۱.۳۹	۱۱۰٤.۸	۹۷۳۰	۱,۲,۸,۹
٤	٪۳۰	۱۰۸۳.٦	۱.۲۹	۱۱۰۵.۲	۱۱۱٤۵	۱,۲,۸,۹
٤	٪۲۰	۱۱۱۷.٦	۱.۲٦	۱۰۹٦.٦	۱۱۱٤۵	۱,۲,۸,۹
٤	٪۱۰	۱۱۵۱.۰	۱.۲٦	۱۰۹۵.۷	۱۰۲۹۰	۱,۲,۸,۹
٤	٪۰	۱۱۸۲.۱	۰.۹٤	۸٤٤.۰	۱۰۲۹۰	۱,۲,۸,۹

جدول٤. پ. نتایج مسئله مکانیابی بندرخشک برای تعداد پنج بندرخشک در شبکه و مقادیر مختلف α

تعداد هاب	درصد تخفیف در محورهای ریلی (α)	هزینه کل (میلیارد تومان)	حجم مسیرهای ریلی (میلیون TEU)	کانتینر کیلومتر ریلی (میلیون TEU-KM)	طول مسیرهای ریلی استفاده شده (KM)	گره‌های هاب
۵	٪۹۰	۸۰۱.۹	۱.٤۵	۱۱۷۰.۳	۱۲۵۵۸	۱,۲,۷,۸,۹
۵	٪۸۰	۸۵۱.۲	۱.٤۳	۱۱٦۳.۸	۱۲۵۵۸	۱,۲,۷,۸,۹
۵	٪۷۰	۸۹۹.٤	۱.٤۱	۱۱٤۳.٤	۱۱٦۷٦	۱,۲,۷,۸,۹
۵	٪٦۰	۹٤۵.۸	۱.۳۹	۱۱۳۱.۷	۱٤٤۵۹	۱,۲,۷,۸,۹
۵	٪۵۰	۹۸۸.۸	۱.۳۹	۱۱۱۲.۷	۱۲۰۰۹	۱,۲,۷,۸,۹
۵	٪٤۰	۱۰۳۱.٤	۱.۳۹	۱۰۹۹.۳	۱۲۰۰۹	۱,۲,۷,۸,۹
۵	٪۳۰	۱۰٦٦.۸	۱.۲۸	۱۰۹۹.۷	۱۲۵۵۸	۱,۲,۷,۸,۹
۵	٪۲۰	۱۱۰۰.٦	۱.۲٦	۱۰۹۱.۱	۱۲۵۵۸	۱,۲,۷,۸,۹
۵	٪۱۰	۱۱۳۳.۸	۱.۲٦	۱۰۹۰.۲	۱۰۵۹۱	۱,۲,۷,۸,۹
۵	٪۰	۱۱٦٤.۸	۰.۹٤	۸۳۹.۰	۱۰۵۹۱	۱,۲,۷,۸,۹

www.SID.ir

Archive of SID

www.SID.ir