ISSN: 2251-9092 | doi 10.52547/jpbud.27.2.175 | The Journal of PLANNING & BUDGET | Vol. 27 | No. 2 | Summer 2022 | PP 175-191

Two-Stage Model of Dry Port Location Using Hub Location Problem and Cost Function

Niloofar Dezhsetan[1]
Mehrdad Alimoradi[2] | m.alimoradi@imps.ac.ir
Babak Farhang Moghadam[3]

Received: 07/09/2022 | Accepted: 13/10/2022

Abstract In recent years the increase in the quantity of cargo in the main ports of Iran has finally led to the development and establishment of dry ports in the country. Among the important advantages of the dry ports are: reducing the sedimentation of goods, increasing the share of rail transport and reducing road traffic, reducing the costs of transporting container cargo, and speeding up customs operations. The establishment of a dry port requires facilities and equipment for the entry and clearance of goods, changing the type of transportation, warehouse spaces, and customs operations, the cost of which varies according to the capacity level. This article is written to locate dry ports for Shahid Rajaei and Imam ports. The location of the dry port was modeled based on the location of the hub and the cost function, and because it is mixed linear programming, it has been solved by the exact simplex algorithm method. The optimum location of the dry port for Rajaei and Imam ports was done once separately for each and once again in a combined form. According to the results, the smaller the volume and dispersion of cargo origins/ destinations, the less the need for a dry port and the more optimal the use of the capacity of the main ports. Accordingly, the optimal possible state for Rajaei port is to use 37% of its capacity and for Imam port, it is 74%. The multiplicity of dry ports with greater spatial distribution in the country is more beneficial for the users. If the problem is solved for all ports in the country, due to the 90% share of Rajaei port in attracting container cargo, the optimal places for the construction of the dry port will be Aprin and the special economic zone of Sirjan, and the load between the mentioned hubs and the main port will be proportional to the cost of transportation. That is, the optimal dry port of Bandar Rajaei can be generalized to the macro scale of the country due to its significant role in the share of container cargo.

Keywords: Dry Port, Hub Location, Shahid Rajaei Port, Imam Khomeini Port, Mixed Linear Programming, Simplex Method.

JEL Classification: R12, R14, R41, R53, R58.

1. M.A. in Industrial Engineering, Institute for Management and Planning Studies, Tehran, Iran.
2. Faculty Member (Lecturer), Department of Systems Planning and Economic Sciences, Institute for Management and Planning Studies, Tehran, Iran, (Corresponding Author).
3. Associate Professor, Department of Systems Planning and Economic Sciences, Institute for Management and Planning Studies, Tehran, Iran.

مدل دومرحله‌ای مکان‌یابی بندر خشک با کاربرد مسئله مکان‌یابی هاب و تابع هزینه

نیلوفر دژستان
دانش‌آموخته کارشناسی ارشد مهندسی صنایع موسسه عالی آموزش و پژوهش مدیریت و برنامه‌ریزی، تهران، ایران.

مهرداد علیمرادی | m.alimoradi@imps.ac.ir
هیئت علمی، گروه برنامه‌ریزی سیستم‌ها و علوم اقتصادی، موسسه عالی آموزش و پژوهش مدیریت و برنامه‌ریزی، تهران، ایران (نویسنده مسئول).

بابک فرهنگ مقدم
دانشیار علمی، گروه برنامه‌ریزی سیستم‌ها و علوم اقتصادی، موسسه عالی آموزش و پژوهش مدیریت و برنامه‌ریزی، تهران، ایران.

مقاله پژوهشی

دریافت: ۱۴۰۱/۰۶/۱۶ | پذیرش: ۱۴۰۱/۰۷/۲۱

چکیده: افزایش میزان بار در بندرهای اصلی ایران در سال‌های اخیر به طراحی و راه‌اندازی بندرهای خشک در کشور منجر شده است. از مزایای مهم بندر خشک، کاهش رسوب کالا، افزایش سهم حمل ریلی و کاهش ترافیک جاده‌ها، کاهش هزینه‌های حمل بار کانتینری، و سرعت‌دهی به عملیات گمرک است. تاسیس بندر خشک نیازمند امکانات و تجهیزات برای ورود و ترخیص کالا، تغییر نوع حمل‌ونقل، فضای انبار و عملیات گمرک است که هزینهٔ آن با توجه به سطح ظرفیت، متغیر است. این پژوهش با هدف مکان‌یابی بندرهای خشک برای دو بندر شهید رجایی و امام خمینی نوشته شده است. مکان‌یابی بندر خشک بر پایه مکان‌یابی هاب و تابع هزینه مدلسازی شد و چون از گونهٔ برنامه‌ریزی خطی مختلط است، با روش الگوریتم دقیق سیمپلکس حل شده است. جایابی بهینه بندر خشک برای دو بندر شهید رجایی و امام خمینی، یک بار جدا برای هر یک و بار دیگر به صورت ترکیبی انجام شد. طبق نتایج پژوهش، هرچه حجم و پراکندگی مبادی/مقاصد بار کم‌تر باشد، نیاز به بندر خشک کم می‌شود و کاربرد ظرفیت بندرهای اصلی، بهینه‌تر است، به‌گونه‌ای که حالت بهینه ممکن برای بندر شهید رجایی استفاده ۳۷ درصدی از ظرفیت آن و برای بندر امام خمینی ۷۴ درصدی است. تعدد بندرهای خشک با پراکندگی مکانی بیش‌تر در کشور، مطلوبیت بیش‌تری برای کاربران سامانه دارد. اگر مسئله برای همه بندرهای کشور هم حل شود، به سبب سهم ۹۰ درصدی بندر شهید رجایی در جذب بار کانتینری، مکان‌های بهینه برای ساخت بندر خشک، آپرین، و منطقه ویژه اقتصادی سیرجان خواهد بود و بار بین هاب‌های یادشده و بندر اصلی، متناسب با هزینهٔ حمل بار تا بندر اصلی توزیع می‌شود، یعنی بندر خشک بهینه بندر شهید رجایی به سبب نقش بسزای آن در سهم بار کانتینری، تعمیم‌پذیر به مقیاس کلان کشوری است.

کلیدواژه‌ها: بندر خشک، مکان‌یابی هاب، بندر شهید رجایی، بندر امام خمینی، برنامه‌ریزی خطی مختلط، روش سیمپلکس.

طبقه‌بندی JEL: R14, R41, R53, R58.

فصلنامه علمی - پژوهشی برنامه‌ریزی و بودجه
شاپا (چاپی) ۲۲۵۱-۹۰۹۲ | doi 10.52547/jpbud.27.2.175
سال بیست و هفتم | شماره ۲ | تابستان ۱۴۰۱ | ص ص ۱۹۱-۱۷۵

مقدمه

با توجه به رشد حمل‌ونقل کانتینری در جهان از میانه دهه ۱۹۵۰ ساخت کشتی‌های حمل کانتینرهای بزرگ گسترش یافت. ترافیک حمل‌ونقل دریایی منتهی به بندرهای ساحلی، نبود فضای کافی برای پهلوگیری کشتی‌ها، خلأ مدیریت بر کانتینرهای خالی، طولانی بودن زمان انجام کارهای اداری گمرکی، هزینه‌های زیاد حمل‌ونقل، عدم کاربرد بهینه حمل‌ونقل ترکیبی، عدم رعایت زمان تحویل بار به مقاصد، و کمبود امنیت در حمل‌ونقل بار به‌گونه‌ای در سراسر دنیا افزایش یافت که ضرورت وجود تسهیلاتی را برای مدیریت این خلأها در حمل بار، به‌ویژه حمل‌ونقل شبکه متصل به راه‌های دریایی، پدید آورد (De Langen & Sornn-Friese, 2019; Kovačič Lukman *et al*., 2022; Steuer *et al*., 2021).

بندرهای دریایی سنتی به منظور بهبود رقابت‌پذیری برای حفظ یا افزایش سهم بازار خود در مقایسه با سایر بندرهای دریایی، متحمل فشارهایی هستند. با مفهوم بندر خشک، بندرهای دریایی می‌توانند سطوح خدمات، ظرفیت‌ها و نواحی ذخیره‌سازی خود را در پایانه‌های ترکیبی مکان‌یابی‌شدهٔ درون کشور بیفزایند. ساخت بندر خشک از تصمیم‌های راهبردی است، هزینه‌های سنگینی دارد و هرگونه خطا در این تصمیم‌گیری زیان‌های سنگینی را به بار می‌آورد (Feng *et al*., 2013).

ادبیات، روش خوشه‌بندی را برای حل مسئله مکان‌یابی بندر خشک (تعداد و مکان آن) پیشنهاد می‌دهد (Li *et al*., 2011). لی و همکاران (۲۰۱۱)، مدلی را برای مکان‌یابی شبکه بندر دریایی-بندر خشک برای ایجاد دیدگاه جدیدی در روابط بندر دریایی و بندر خشک با توسعه الگوریتم حریصانه[1] و الگوریتم ژنتیک[2] توسعه می‌دهند. در سال‌های اخیر، برای حل مسئلهٔ تعیین بهترین مکان تاسیسات، پژوهش‌های گسترده‌ای صورت گرفته است (Owen & Daskin, 1998; Hale & Moberg, 2003). برخی مسئله مکان‌یابی بندر خشک را برای جابه‌جایی بار در حمل‌ونقل چندوجهی مطرح می‌کنند (Ambrosino & Sciomachen, 2014). همچنین، پژوهشگران دیگر نیز روش‌های گوناگونی از جمله وزن‌دهی به عوامل اثرگذار در انتخاب محل ساخت بندر خشک، تحلیل پوششی داده‌ها، و انواع روش‌های فازی را ارائه و توسعه داده‌اند (Mańkowska *et al*., 2020; Nguyen *et al*., 2021; Shoukat & Xiaoqiang, 2022).

با گذشت چند دهه از مطرح شدن بندرهای خشک در ایران، هنوز اقدام جدی و منسجمی برای

1. Greedy Algorithm
2. Genetic

راه‌اندازی و بهره‌برداری از آن‌ها انجام نشده است. تاکنون چندین پژوهش درباره مکان‌یابی بنادر خشک انجام شده است. در پژوهش‌های انجام‌شده، همه بندرها در ارزیابی تعیین نقاط بهینه در نظرگرفته شده است (پارسی و سلطانی‌نژاد، ۱۳۹۴؛ سعیدی و همکاران، ۱۳۹۰؛ سعیدی‌پور، ۱۳۸۹؛ شیخ‌الاسلامی و براتی، ۱۳۹۰). برای نمونه حاتمی‌نسب و زارع (۲۰۱۸)، به شناخت و اولویت‌بندی عوامل مورد نیاز برای تاسیس بندر خشک در ایران می‌پردازند و از بازنگری ادبیات و فن دلفی برای استخراج عوامل زمینه‌ساز ساخت بندر خشک بهره می‌برند.

با توجه به این‌که هدف اصلی بندرهای خشک کاهش حجم ترافیکی در بندرهای اصلی و بین‌المللی برای افزایش ظرفیت، ساده‌سازی انبارداری و در نتیجه، ارتقای بهره‌وری بندرهایی با حجم ترافیکی بالاست، این پژوهش با تمرکز بر دو بندر شهید رجایی و امام خمینی به تعیین مکان بندرهای خشک می‌پردازد. در سال ۱۳۹۸ بندر شهید رجایی با ۵۲ درصد بیش‌ترین سهم تخلیه و بارگیری همه انواع بار بندرها را داشت و پس از آن بندر امام خمینی با سهم ۲۹/۹ درصد در رتبه دوم بود. در تخلیه و بارگیری محمولات کانتینری بندر شهید رجایی با سهم ۹۰ درصد بیش‌ترین میزان عملکرد را میان بندرها داشته و بندر امام خمینی با ۵ درصد در جایگاه دوم بوده است.

سهم این پژوهش در مقایسه با سایر پژوهش‌های انجام‌شده، دیدگاه و رویکرد واقع‌گرایانه با تکیه بر اطلاعات و وضعیت کنونی کشور ایران است. پژوهش حاضر در گام نخست، با کاربرد روش‌های علمی و تکیه بر شاخص‌های اولیه و کلان اقتصادی برآمده از ادبیات موضوع، از جمله رویکرد مکان‌یابی هاب، مکان‌های نامزد را تعیین می‌کند که از دید کلان، قابلیت ساخت بندر خشک را دارند و در گام بعد، با مدلسازی ریاضی و اجرای مدل بر پایه شرایط و وضعیت موجود و داده‌های واقعی به تعیین تعداد و نقاط بهینه (از میان نقاط نامزد) برای احداث بندر خشک می‌پردازد.

مبانی نظری پژوهش

ایران ظرفیت بالایی در زمینهٔ لجستیک دارد که به جرئت می‌توان گفت کم‌تر کشوری را در جهان می‌توان سراغ گرفت که این مزیت‌ها را یکجا داشته باشد. اما در عملکرد لجستیکی، وضعیت ایران به مراتب ضعیف‌تر از کشورهایی است که این‌گونه مزایا را ندارند. ترافیک در بندرها و مسیرهای منتهی به آن‌ها، کمبود فضای بندرها برای تخلیه، بارگیری و انبارسازی موقت کانتینرها و رسوب کالا در آن‌ها از مهم‌ترین مشکل‌هایی است که بندرهای اصلی دارای حجم گسترده صادرات و واردات کالا با آن روبه‌رو هستند. بندرهای خشک به عنوان پاسخی برای حل مشکل افزایش شلوغی جاده‌ها، نبود فضاهای باز

در تاسیسات بندر و آثار زیست‌محیطی قابل‌توجه در بندرها طراحی شده‌اند. روسو[1] (۲۰۰۸)، بندر خشک را به‌اختصار، پایانه چندوجهی درون‌سرزمینی معرفی می‌کند که به‌طور مستقیم با راه‌آهن و جاده به بندر دریایی متصل می‌شود و در واقع، محلی است که مشتریان می‌توانند به شکل استاندارد، بارهای خود را همچون بندر دریایی ترخیص یا بارگیری نمایند.

هاب‌ها تسهیلاتی هستند که نقش نقاط تعویض، انتقال و طبقه‌بندی را در سیستم‌های توزیع دارند. هاب به‌جای جریان مستقیم بین هر جفت مبدأ-مقصد، جریان‌هایی را در جهت بهینه‌سازی صرفه‌های اقتصادی متمرکز می‌کند. عیدی و میرآخورلی (۲۰۱۲)، هاب را محلی می‌گویند که کالا یا اطلاعات فراهم‌شده از چندین منبع در آن گرد می‌آید، سپس به سوی دیگر هاب‌های شبکه یا مقصد نهایی منتقل می‌شود. آغاز بررسی مسائل مکان‌یابی هاب توسط اوکلی و میلر[2] (۱۹۹۴)، با معرفی نخستین مدل ریاضی درجه دوم برای یک مسئله P هاب میانه با تخصیص تکی با روش حل ابتکاری نزدیک‌ترین فاصله بود. اوکلی (۱۹۸۷)، همچنین نخستین فرمول‌نویسی ریاضی را بر اساس اطلاعات جابه‌جایی مسافران شرکت‌های هواپیمایی در سال ۱۹۷۰ میان ۲۵ شهر آمریکا ارائه کرد. پس از آن، پژوهشگران دیگر نیز از این مجموعه داده‌ها با عنوان CAB[3] در مسائل مکان‌یابی هاب بهره بردند (Alumur & Kara, 2008). کریمی و بشیری (۲۰۱۱)، مسئله مکان‌یابی هاب را برای شبکه هاب‌های فرودگاهی ایران با استفاده از دو رویکرد ابتکاری حل کردند.

مطالعات و بررسی‌های این پژوهش شامل دو بخش است: رویکرد کلان اقتصادی به مکان‌یابی بندرهای خشک؛ و رویکرد خرد اقتصادی برای یافتن بهترین نامزد بندرهای خشک با مدلسازی.

رویکرد کلان اقتصادی مکان‌یابی بنادر خشک

حاتمی‌نسب و زارع (۲۰۱۸)، به شناخت و اولویت‌بندی عوامل لازم برای تاسیس بندر خشک در ایران می‌پردازند که به‌ترتیبِ اولویت شامل ساختار و زیرساخت، شبکه ریلی، بندرهای دریایی، مالی، مسیر جاده‌ای، حفاظت از محیط‌زیست، محیط فیزیکی، و فرایند و اجراست. آیین‌نامه اجرایی تاسیس و بهره‌برداری از بنادر خشک، مطابق با موافقت‌نامه اسکاپ[4]، مناطق با اولویت اصلی برای ساخت بندر خشک در ایران را شامل منطقه ویژه اقتصادی سلفچگان قم (استان قم)، ایستگاه شهید مطهری

1. Roso
2. O'Kelly & Miller
3. Civil Aeronautics Board
4. ESCAP

(استان خراسان رضوی)، منطقه ویژه اقتصادی سیرجان (استان کرمان)، و فرودگاه بین‌المللی امام خمینی (استان تهران)، و مناطق با اولویت فرعی را منطقه ویژه اقتصادی سهلان (استان آذربایجان شرقی)، فرودگاه بین‌المللی دستغیب شیراز (استان فارس)، منطقه ویژه اقتصادی سرخس (استان خراسان رضوی)، منطقه آزاد اروند (استان خوزستان)، و مرکز لجستیکی زاهدان (استان سیستان و بلوچستان) می‌دانند (خبرگزاری تین نیوز، ۱۳۹۳). همچنین، افزون بر موارد نام‌برده، منطقه آپرین در نزدیکی استان تهران، منطقه مهریز استان یزد و ایستگاه سیستان در استان اصفهان با طی مراحل قانونی از مجوز یادشده برخوردار شده‌اند.

با توجه به پارامترهای ارائه‌شده در پژوهش حاتمی‌نسب و زارع (۲۰۱۸)، مکان‌های برگزیده ساخت بندر خشک برای دو بندر شهید رجایی و امام خمینی به منظور ورود به مسئله بهینه‌سازی عبارت‌اند از: منطقه ویژه اقتصادی سلفچگان قم، ایستگاه شهید مطهری، منطقه ویژه اقتصادی سیرجان، فرودگاه بین‌المللی امام خمینی، منطقه ویژه اقتصادی سهلان، منطقه ویژه اقتصادی سرخس، منطقه آزاد اروند، منطقه آپرین، و منطقه مهریز یزد.

رویکرد خرد اقتصادی برای یافتن بهترین نامزد بندرهای خشک با مدلسازی

مدلسازی با توجه به مطالب و مفروضات گفته‌شده و با کمک مدل مکان‌یابی هاب ارائه شده است. هدف این مدل، کمینه‌سازی هزینهٔ کل است که شامل هزینهٔ تاسیس، هزینهٔ ذخیره‌سازی در بندرهای خشک، و هزینهٔ حمل‌ونقل بین مناطق داخلی و بندر است. ظرفیت بندرهای خشک تاثیر تعیین‌کننده‌ای در هزینهٔ تاسیس و هزینهٔ حمل‌ونقل دارد که باید به عنوان بخشی از فرایند تصمیم‌گیری برای مکان‌یابی مورد توجه باشد. برای حل این مسئله به شکل واقع‌بینانه، محدودیت‌های ظرفیت نیز در مدل دیده شده که برای هر سطح ظرفیت، یک هزینهٔ ساخت‌وساز ثابت لحاظ شده است.

روش‌شناسی پژوهش

این پژوهش با کاربرد رویکرد مکان‌یابی هاب به تعیین محل و تعداد بهینه بندرهای خشک می‌پردازد و در این راستا ضمن بررسی شاخص‌های اولیه مکان‌های نامزد برای ساخت بندر خشک، به مدلسازی ریاضی و اجرای آن بر پایه داده‌های واقعی اقدام می‌کند. گام‌های انجام پژوهش شامل این موارد می‌شوند: تبیین و شناخت مسئله و تطبیق فرض‌ها و هدف‌ها؛ ارزیابی اولیه مکان‌های نامزد؛ مدلسازی ریاضی؛ اعتبارسنجی مدل؛ پیاده‌سازی در مقیاس کلان؛ و تحلیل نتایج.

مفروضات مدل

۱. هدف مدل، کمینه‌سازی هزینهٔ جریان میان مبادی و مقاصد بار و هزینهٔ ساخت بندرهای خشک است؛

۲. ظرفیت بندرهای خشک، متغیر و در سه سطح در نظرگرفته شده است؛

۳. تعداد بندرهای خشک به صورت بهینه، درون‌زا و توسط مدل تعیین می‌شود؛

۴. بین مبادی و مقاصد بار دست‌بالا یک بندر خشک قرار دارد (مدل در صورت عدم بهینگی بندرهای خشک نامزد نسبت به بندرهای اصلی، این قابلیت را دارد که بندر را برگزیند. پس این امکان وجود دارد که ارتباط بین مبدأ و مقصد بدون واسطه هاب انجام شود)؛

۵. هزینهٔ ساخت بندرهای خشک، ثابت و بر پایه میزان ظرفیت تعیین شده است؛ و

۶. تخصیص مبادی و مقاصد بار به بندرهای خشک، یگانه است.

این مدلسازی در پی یافتن مکان بهینه بندرهای خشک از میان مکان‌های نامزد و میزان ظرفیت بهینه آن‌هاست. پارامترها و متغیرهای مدل به این شرح است: P: مجموعه مکان‌های نامزد بندر خشک و بندر اصلی؛ Q: مجموعه مبادی/ مقاصد بار؛ Q: زیرمجموعه Q، مجموعه مبادی/ مقاصد بار که بار خود را با حمل‌ونقل ریلی جابه‌جا می‌کنند؛ Q': زیرمجموعه Q، مجموعه مبادی/ مقاصد بار که بار خود را با حمل‌ونقل جاده‌ای جابه‌جا می‌نمایند؛ اندیس i: معرف مکان‌های نامزد بندر خشک و بندر اصلی است؛ اندیس j: معرف مبادی/ مقاصد بار که از راه ریل با بندر تبادل بار دارند؛ اندیس j': معرف مبادی/ مقاصد بار که از راه جاده با بندر تبادل بار دارند؛ اندیس k: معرف سطوح ظرفیت مکان‌های نامزد است؛ Cik: هزینهٔ تاسیس بندر خشک با سطح ظرفیت k و در مکان نامزد i (واحد ریال)؛ Z_{ik}: متغیر دودویی، اگر مکان نامزد i با سطح ظرفیت k انتخاب شود ۱ و در غیر این صورت ۰؛ Cr: هزینهٔ حمل بار با ریل (واحد $\frac{Rial}{Ton.Km}$)؛ C'r: هزینهٔ حمل بار با جاده (واحد $\frac{Rial}{Ton.Km}$)؛ I_{ij}: فاصله ریلی از مبادی/ مقاصد بار (j) تا مکان نامزد (i) (واحد km)؛ $I'_{ij'}$: فاصله مستقیم جاده‌ای از مبادی/ مقاصد بار (j') تا مکان نامزد (i) (واحد km)؛ Idi: فاصله مستقیم ریلی از مکان نامزد (i) تا بندر اصلی (واحد km)؛ X_{ijk}: حجم بار جابه‌جاشده از مبادی/ مقاصد بار (j) تا مکان نامزد (i) با سطح ظرفیت k (واحد تن)؛ $X'_{ij'k}$: حجم بار جابه‌جاشده از مبادی/ مقاصد بار (j') تا مکان نامزد (i) با سطح ظرفیت k (واحد تن)؛ Xd_{ik}: حجم بار جابه‌جاشده از مکان نامزد (i) با سطح ظرفیت k تا بندر اصلی (واحد تن)؛ Cstr: هزینهٔ ذخیره‌سازی در مکان نامزد (i) (واحد)؛ Ti: مدت زمان ذخیره‌سازی بار در مکان نامزد (i) (واحد Day)؛ Dj: عرضه/ تقاضای کل بار از مبادی/ مقاصد بار (j) (واحد Ton)؛ $D'_{j'}$: عرضه/ تقاضای کل بار از مبادی/ مقاصد بار (j') (واحد Ton)؛ S_{ik}: ظرفیت مکان

نامزد i با سطح ظرفیت k (واحد Ton)؛ و B: بیش‌ترین تعداد بندر خشک جدید.

مدلسازی با توجه به مفروضات بیان‌شده و با کمک مدل مکان‌یابی هاب ارائه شده است. هدف مدل کمینه‌سازی هزینهٔ کل است که شامل هزینهٔ تاسیس، هزینهٔ ذخیره‌سازی در بندرهای خشک، و هزینهٔ حمل‌ونقل میان مناطق داخلی و بندر است.

$$\min C = \sum_{i\in P}\sum_{k\in T} C_{ik} \times Z_{ik} + \sum_{i\in P}\sum_{j'\in Q'}\sum_{k\in T} C'r \times I'_{ij'} \times X'_{ij'k} + \sum_{i\in P}\sum_{j\in Q}\sum_{k\in T} Cr \times I_{ij} \times X_{ijk} + \sum_{i\in P}\sum_{j\in Q}\sum_{k\in T} Cstr \times T_i \times x_{ijk} + \sum_{i\in P}\sum_{j'\in Q'}\sum_{k\in T} Cstr \times T_i \times X'_{ij'k} + \sum_{i\in P}\sum_{k\in T} Cr \times ld_i \times Xd_{ik}$$

subject to

$$1)\sum_{j\in Q} X_{ijk} + \sum_{j'\in Q'} X'_{ij'k} = Xd_{ik}$$

$$2)\sum_{i\in P}\sum_{k\in T} X_{ijk} = D_j$$

$$3)\sum_{i\in P}\sum_{k\in T} X'_{ij'k} = D'_{j'}$$

$$4)\sum_{j\in Q} X_{ijk} + \sum_{j'\in Q'} X'_{ij'k} \le S_{ik} Z_{ik}$$

$$5)\sum_{k\in T} Z_{ik} \le 1$$

$$6)\sum_{i\in P}\sum_{k\in T} Z_{ik} \le B$$

$$7)X_{ijk} \ge 0, X'_{ij'k} \ge 0, Xd_{ik} \ge 0$$

$$8)Z_{ik} = 0,1$$

تابع هدف برای کمینه‌سازی کل هزینه‌های ساخت‌وساز، ذخیره‌سازی، و تخصیص بار تعریف شده است. سطر (۱)، اطمینان می‌یابد که در بندر خشک، جریان ورودی با جریان خروجی برابر باشد. سطور (۲) و (۳)، تضمین می‌کنند که تقاضای مبادی/ مقاصد بار برآورده می‌شود. سطر (۴)، تضمین می‌کند که بندر خشک ظرفیت کافی را برای تقاضای همه مبادی/ مقاصد بار فراهم می‌کند. سطر (۵)، بیانگر آن است که در صورت انتخاب مکان بهینه باید تنها یک سطح ظرفیت برای آن انتخاب شود. سطر (۶)، محدودیت تعداد بندرهای خشک و سطر (۷) محدودیت دامنه است. سطر (۸)، محدودیت دودویی متغیر تصمیم‌گیری است.

داده‌ها

تجزیه‌وتحلیل اطلاعات در این پژوهش با کاربرد مدل‌های بهینه‌سازی ریاضی موجود در حوزه پژوهش عملیاتی است و برای حل و اجرای مدل، نرم‌افزار تخصصی GAMS بکار می‌رود. اطلاعات

بکاررفته در این پژوهش شامل مواردی است که از سامانه گراف حمل‌ونقل ریلی[1]، سازمان راهداری و حمل‌ونقل جاده‌ای[2]، و سازمان بنادر و دریانوردی[3] استخراج شده است، مانند: آمار ریلی تبادل بار میان نقاط عرضه/ تقاضای بار و بندر شهید رجایی در سال ۱۳۹۸ و فاصله بین نقاط یادشده؛ آمار جاده‌ای تبادل بار میان نقاط عرضه/ تقاضای بار و بندر شهید رجایی در سال ۱۳۹۸ و فاصله بین نقاط نام‌برده؛ تعرفه حمل بار ریلی؛ تعرفه حمل بار جاده‌ای؛ و تعرفه ذخیره‌سازی کالا در بندرها و مناطق ویژه اقتصادی.

نُه مکان نامزد بندر خشک به علاوهٔ بندر اصلی در مدلسازی ارزیابی شده‌اند. مبادی/ مقاصد بار از آمار حمل بار کانتینری از راه جاده و ریل به بندر اصلی درآمده است. مبادی/ مقاصد بار به بندر شهید رجایی شامل ۱۸۰ مورد و به بندر امام خمینی دربرگیرندهٔ ۴۶ مورد است.

نتایج حل مسئله

بررسی مکان‌های بهینه برای بندر شهید رجایی

بررسی نه مکان نامزد بندر خشک و بندر شهید رجایی به عنوان نامزد مکان‌های بهینه با سه سطح ظرفیت به عنوان هاب به منظور حمل بار کانتینری بین مبادی/ مقاصد بار و بندر شهید رجایی انجام شده است. در جدول (۱)، هزینهٔ تاسیس هر سطح با واحد ریال آمده است. در این جدول فرض می‌شود که هزینهٔ تاسیس در هر سطح ظرفیت برای همه مکان‌های نامزد بندر خشک، یکسان و برای بندر شهید رجایی صفر است.

جدول ۱: سطوح ظرفیت مکان‌های نامزد- بندر شهید رجایی (۱۳۹۸)

کد سطح ظرفیت	میزان ظرفیت (تن)	هزینهٔ تاسیس (ریال)
۱	۲×۱۰^{۷}	$۳/۰۱ \times ۱۰^{۱۲}$
۲	۱×۱۰^{۷}	$۱/۵ \times ۱۰^{۱۲}$
۳	۷×۱۰^{۶}	$۱/۰۵ \times ۱۰^{۱۲}$

یافته‌ها نشان می‌دهد که سه مکان نامزد بندر شهید رجایی، منطقه ویژه اقتصادی سیرجان، و آپرین با مشخصات آمده در جدول (۲) بیش‌ترین بهینگی را دارند. میزان هزینهٔ کل برآوردشده در این حالت $\times ۱۰^{۱۳}$

1. https://www.rai.ir/
2. https://rmto.ir/
3. https://www.pmo.ir/

۳/۹۸۹۸۲ ریال است. اگر سطح ظرفیت منطقه آپرین به ۱۰^۶ ×۶ کاسته شود، هزینهٔ کل ۱۰^۱۳ × ۳/۹۷۶۷۷ ریال می‌شود. نتایج نشان می‌دهد، در حالتی که بندر شهید رجایی تقریباً ۳۷ درصد ظرفیت خود را برای عملیات ترخیص/ ورود کالا استفاده کند و ۶۳ درصد باقی محمولات کانتینری را به بندرهای خشک واگذار نماید، بهینه‌ترین حالت ممکن از دید کمینه هزینه‌کرد تاسیس بندر خشک، حمل بار و رسوب کالا رخ می‌دهد.

جدول ۲: مشخصات مکان‌های بهینه منتخب- بندر شهید رجایی (۱۳۹۸)

نام منطقه	سطح ظرفیت (تن)	میزان بار بهینه برای عملیات (تن)	سهم بار (درصد)
بندر شهید رجایی	۱۰ × ۱۰^۶	۷/۳۱ × ۱۰^۶	۳۷
منطقه ویژه اقتصادی سیرجان	۷ × ۱۰^۶	۷ × ۱۰^۶	۳۵
آپرین	۷ × ۱۰^۶	۵/۵۵ × ۱۰^۶	۲۸

جدول (۳)، مقایسه تناژ بار کانتینر انتقالی با ریل و جاده را در وضعیت کنونی با تناژ بار انتقالی ریل و جاده به واسطه بندرهای خشک سیرجان و آپرین نشان می‌دهد. با ساخت بندرهای خشک برگزیده، حمل بار ریلی به میزان ۸۸۲ درصد افزایش و حمل بار جاده‌ای ۴۹ درصد کاهش می‌یابد. به بیان دیگر، میزان تناژ حمل کانتینر با ریل تقریباً ۱۰ برابر و میزان تناژ حمل کانتینر با جاده حدوداً نصف خواهد شد.

جدول ۳: میزان تغییر حمل بار با ریل و جاده- بندر شهید رجایی (۱۳۹۸)

تن- کیلومتر بار ریلی در وضعیت اولیه	تن- کیلومتر بار جاده‌ای در وضعیت اولیه	تن- کیلومتر بار ریلی در وضعیت با بندر خشک	میزان تغییر در حمل بار ریلی (درصد)	تن- کیلومتر بار جاده‌ای در وضعیت با بندر خشک	میزان تغییر در حمل بار جاده‌ای (درصد)
۱۰^۹ × ۱/۰۹۷	۱۰^۱۰ × ۱/۸۴	۱۰^۱۰ × ۱/۰۸	۸۸۲	۱۰^۹ × ۹/۲۹۲	-۴۹

بررسی مکان بهینه برای بندر امام خمینی

بررسی نه مکان نامزد بندر خشک و بندر امام خمینی به عنوان نامزد مکان‌های بهینه با سه سطح ظرفیت به عنوان هاب به منظور حمل بار کانتینری بین مبادی/ مقاصد بار و بندر امام خمینی

انجام شده است. در جدول (۴)، هزینهٔ ساخت هر سطح با واحد ریال آمده است. در این جدول فرض می‌شود که هزینهٔ ساخت در هر سطح ظرفیت برای کلیه مکان‌های نامزد بندر خشک، یکسان و برای بندر امام خمینی صفر است.

جدول ۴: سطوح ظرفیت مکان‌های نامزد- بندر امام خمینی (۱۳۹۸)

کد سطح ظرفیت	میزان ظرفیت (تن)	هزینهٔ تاسیس (ریال)
۱	$۱/۱ \times ۱۰^{۶}$	$۱/۶۵ \times ۱۰^{۱۱}$
۲	$۵/۵ \times ۱۰^{۵}$	$۸/۲ \times ۱۰^{۱۰}$
۳	$۳/۳ \times ۱۰^{۵}$	$۴/۹ \times ۱۰^{۱۰}$

نتایج نشان می‌دهد، دو مکان نامزد بندر امام خمینی و فرودگاه بین‌المللی امام خمینی با مشخصات جدول (۵) بیش‌ترین بهینگی را دارند. میزان هزینهٔ کل برآوردشده در این حالت $۱/۷۱۳۹۹ \times ۱۰^{۱۲}$ ریال است. اگر سطح ظرفیت فرودگاه بین‌المللی امام خمینی به ۳×۱۰^{۵} کاهش یابد، هزینهٔ کل $۱/۷۱۰۹۹ \times ۱۰^{۱۲}$ ریال می‌شود. نتایج نشان می‌دهد، در حالتی که بندر امام خمینی تقریباً از ۷۴ درصد ظرفیت خود برای عملیات ترخیص/ورود کالا استفاده کند و ۲۶ درصد باقی محمولات کانتینری را به بندر خشک واگذار نماید، بهینه‌ترین حالت ممکن از دید کمینه هزینه‌کرد هزینهٔ ساخت بندر خشک، حمل بار، و رسوب کالا اتفاق می‌افتد.

جدول ۵: مشخصات مکان‌های بهینه منتخب- بندر امام خمینی (۱۳۹۸)

نام منطقه	سطح ظرفیت (تن)	میزان بار بهینه برای عملیات (تن)	سهم بار (درصد)
بندر امام خمینی	$۱/۱ \times ۱۰^{۶}$	$۷/۸۱ \times ۱۰^{۵}$	۷۴
فرودگاه بین‌المللی امام خمینی	$۳/۳ \times ۱۰^{۵}$	$۲/۷۶ \times ۱۰^{۵}$	۲۶

جدول (۶)، مقایسه تناژ بار (کانتینر) انتقالی با ریل و جاده را در وضعیت کنونی با تناژ بار انتقالی ریل و جاده به واسطه بندرهای خشک فرودگاه بین‌المللی امام خمینی نشان می‌دهد. با ساخت بندرهای خشک برگزیده، حمل بار ریلی به میزان ۵۴۹۷۳ درصد افزایش و حمل بار جاده‌ای به میزان ۳۵ درصد کاهش می‌یابد. به دیگر سخن، میزان تناژ حمل کانتینر با ریل تقریباً ۵۵۰ برابر و میزان تناژ حمل کانتینر با جاده حدوداً یک‌سوم کم خواهد شد.

جدول ۶: میزان تغییر حمل بار با ریل و جاده- بندر امام خمینی (۱۳۹۸)

تن- کیلومتر بار ریلی در وضعیت اولیه	تن- کیلومتر بار جاده‌ای در وضعیت اولیه	تن- کیلومتر بار ریلی در وضعیت با بندر خشک	میزان تغییر در حمل بار ریلی (درصد)	تن- کیلومتر بار جاده‌ای در وضعیت با بندر خشک	میزان تغییر در حمل بار جاده‌ای (درصد)
۴/۴۴ × ۱۰^۵	۶/۶۳ × ۱۰^۸	۲/۴۴ × ۱۰^۸	۵۴۹۷۳	۴/۳۳ × ۱۰^۸	-۳۵

بررسی مکان بهینه برای بندرهای شهید جایی و امام خمینی (به صورت توام)

بررسی نه مکان نامزد بندر خشک، بندر شهید رجایی، و بندر امام خمینی به عنوان نامزد مکان‌های بهینه با سه سطح ظرفیت به عنوان هاب به منظور حمل بار کانتینری بین مبادی/ مقاصد بار و بندر امام خمینی و شهید رجایی انجام شده است. در جدول (۷)، هزینهٔ تاسیس هر سطح با واحد ریال آمده است. در این جدول فرض می‌شود که هزینهٔ تاسیس در هر سطح ظرفیت برای کلیه مکان‌های نامزد بندر خشک، یکسان و برای بندر امام خمینی صفر است.

جدول ۷: سطوح ظرفیت مکان‌های نامزد بندرهای خشک، بندر شهید رجایی، و بندر امام خمینی (۱۳۹۸)

کد سطح ظرفیت نامزدهای بندرهای خشک	میزان ظرفیت (تن)	هزینهٔ تاسیس (ریال)
۱	۲/۱۱ × ۱۰^۷	۳/۱ × ۱۰^۱۲
۲	۱/۰۵۵ × ۱۰^۷	۱/۵۸ × ۱۰^۱۲
۳	۷/۳۳ × ۱۰^۶	۱/۱ × ۱۰^۱۲
کد سطح ظرفیت بندر شهید رجایی	**میزان ظرفیت (تن)**	**هزینهٔ تاسیس (ریال)**
۱	۲ × ۱۰^۷	۰
۲	۱ × ۱۰^۷	۰
۳	۷ × ۱۰^۶	۰
کد سطح ظرفیت بندر امام خمینی	**میزان ظرفیت (تن)**	**هزینهٔ تاسیس (ریال)**
۱	۱/۱ × ۱۰^۶	۰
۲	۵/۵ × ۱۰^۵	۰
۳	۳/۳ × ۱۰^۵	۰

نتایج نشان می‌دهد که سه مکان نامزد بندر شهید رجایی، منطقه ویژه اقتصادی سیرجان، و آپرین با مشخصات جدول (۸) بیش‌ترین بهینگی را دارند. میزان هزینهٔ کل برآوردشده در این حالت $۴/۳۱۰۵۵ \times ۱۰^{۱۳}$ ریال است. اگر سطح ظرفیت آپرین به ۶×۱۰^{۶} کم شود، هزینهٔ کل $۴/۲۹۱۰۵ \times ۱۰^{۱۳}$ ریال می‌شود.

جدول ۸: مشخصات مکان‌های بهینه منتخب- بندر شهید رجایی و امام خمینی (۱۳۹۸)

نام منطقه	سطح ظرفیت (تن)	میزان بار بهینه برای عملیات (تن)	سهم بار (درصد)
بندر شهید رجایی	۷×۱۰^{۶}	$۶/۹۸ \times ۱۰^{۶}$	۳۵
منطقه ویژه اقتصادی سیرجان	$۷/۳۳ \times ۱۰^{۶}$	$۷/۳۳ \times ۱۰^{۶}$	۳۷
آپرین	$۷/۳۳ \times ۱۰^{۶}$	$۵۵/۵ \times ۱۰^{۶}$	۲۸

جدول (۹)، مقایسه تناژ بار (کانتینر) انتقالی با ریل و جاده را در وضعیت کنونی با تناژ بار انتقالی ریل و جاده به واسطه بندرهای خشک نشان می‌دهد. در صورت ساخت بندرهای خشک برگزیده، حمل بار ریلی به میزان ۹۸۲ درصد افزایش و حمل بار جاده‌ای به میزان ۴۸ درصد کاهش می‌یابد. به بیان دیگر، میزان تناژ حمل کانتینر با ریل بیش از ۱۰ برابر و میزان تناژ حمل کانتینر با جاده حدوداً نصف خواهد شد.

جدول ۹: میزان تغییر حمل بار از راه ریل و جاده- بندر شهید رجایی و امام خمینی (۱۳۹۸)

تن- کیلومتر بار ریلی در وضعیت اولیه	تن- کیلومتر بار جاده‌ای در وضعیت اولیه	تن- کیلومتر بار ریلی در وضعیت با بندر خشک	نرخ تغییر در حمل بار ریلی (درصد)	تن- کیلومتر بار جاده‌ای در وضعیت با بندر خشک	نرخ تغییر در حمل بار جاده‌ای (درصد)
$۱/۰۹۸ \times ۱۰^{۹}$	$۱/۹۱ \times ۱۰^{۱۰}$	$۱/۱۹ \times ۱۰^{۱۰}$	۹۸۲	$۹/۹۷ \times ۱۰^{۹}$	-۴۸

جدول (۱۰)، نشان می‌دهد که برای تاسیس بندرهای خشک، آپرین و منطقه ویژه اقتصادی سیرجان از بهینه‌ترین مکان‌های هاب هستند. در واقع، چون حذف کامل بندر امام خمینی برای صاحبان بار بهینه نیست و گاهی سبب تحمیل هزینهٔ اضافی ناشی از طی مسافت‌های غیرضروری

می‌شود، اگر سه مکان بندر امام خمینی، آپرین، و منطقه ویژه اقتصادی سیرجان برای توزیع محمولات این بندر در نظرگرفته شود، شیوه تقسیم بار به صورت جدول (۱۰) خواهد بود.

جدول ۱۰: توزیع بار بین مکان‌های بندر امام خمینی، سیرجان، و آپرین (۱۳۹۸)

نام منطقه	سطح ظرفیت (تن)	میزان بار بهینه برای عملیات (تن)	سهم بار (درصد)
بندر امام خمینی	۱/۱ × ۱۰^۶	۷/۸۴ × ۱۰^۵	۷۴
منطقه ویژه اقتصادی سیرجان	۷/۳۳ × ۱۰^۶	۰	۰
آپرین	۷/۳۳ × ۱۰^۶	۲/۷۲ × ۱۰^۵	۲۶

تحلیل نتایج

با توجه به موقعیت و وضعیت قیمت زمین بندرها در کشور، ساخت بندر خشک با حجم بار و پراکندگی بالای مبادی/ مقاصد بار، توجیه اقتصادی بیش‌تری دارد. چنان‌که نشان داده شد، بکارگیری ظرفیت بندرهای خشک برای بندر شهید رجایی ۶۳ درصد و برای بندر امام خمینی ۲۶ درصد بهینگی پدید می‌آورد. این در حالی است که بندر شهید رجایی ۹۰ درصد و بندر امام خمینی ۵ درصد از کل بار کانتینری کشور را دارند.

سهم ۹۰ درصدی بندر شهید رجایی در جذب کانتینر، یکسان بودن نتایج را در زمینهٔ مکان‌های بهینه برگزیده توجیه می‌کند. به سخن دیگر، مکان‌یابی بندرهای خشک مطابق با بیش‌ترین بهینگی پارامترهای مربوط به بندر شهید رجایی انجام شده است. مقایسه میزان هزینهٔ کل برآوردشده در سه حالت نشان می‌دهد که رویکرد ساخت جداگانه بندر خشک برای هر یک از بندرها، هزینهٔ کم‌تری را نسبت به حل همزمان مسئله برای دو بندر شهید رجایی و امام خمینی به سیستم تحمیل می‌کند.

بحث و نتیجه‌گیری

این پژوهش درباره بندر خشک بر پایه مدلسازی مکان‌یابی هاب و در پی یافتن مکان بهینه بندر خشک است که نخست با بررسی لزوم ساخت بندر خشک برای بندرهایی با ترافیک زیاد بار به استخراج نقاط نامزد برای احداث بندر خشک پرداخت که ارزیابی اولیه منتج به گزینش نه مکان نامزد برای ایجاد بندر خشک شد. در ادامه، با مطالعه انواع مدل‌های مکان‌یابی هاب، مدلسازی مسئله

برنامه‌ریزی خطی مختلط انجام شد. به دلیل این‌که اکنون تجهیزات بسنده‌ای در بندرهای شهید رجایی و امام خمینی وجود دارد، تصمیم‌گیری برای بکارگیری یا عدم کاربرد این ظرفیت به مسئله واگذار شد. شایان اشاره است که اعتبارسنجی این مدل با داده‌های فرضی و تحلیل منطقی نتایج انجام شده است.

نظر به درون‌زا بودن مسئله در زمینهٔ تعداد مکان بهینه، گزینش این مناطق در سه حالت بررسی شد: بررسی جداگانه بندر شهید رجایی و بندر امام خمینی، و سپس ارزیابی به شکل ترکیبی در یک مسئله. نتایج نشان می‌دهد که هرچه حجم و پراکندگی مبادی/ مقاصد بار کم‌تر باشد، نیاز به بندر خشک نیز کاهش می‌یابد و کاربرد ظرفیت بندرهای اصلی، بهینه‌تر است. به‌گونه‌ای که حالت بهینه ممکن برای بندر شهید رجایی استفاده ۳۷ درصدی از ظرفیت آن و برای بندر امام خمینی ۷۴ درصدی است. همچنین، تعدد بندرهای خشک با پراکندگی مکانی بیش‌تر در سطح کشور، مطلوبیت بالاتری را برای کاربران سامانه در پی دارد. اگر مسئله برای همه بندرهای کشور نیز حل شود، به سبب سهم ۹۰ درصدی بندر شهید رجایی در جذب بار کانتینری، مکان‌های بهینه برای ساخت بندر خشک، آپرین، و منطقه ویژه اقتصادی سیرجان خواهد بود و توزیع بار بین هاب‌های یادشده و بندر اصلی، متناسب با هزینهٔ حمل بار تا بندر اصلی انجام می‌شود. به سخن دیگر، بندر خشک بهینه برای بندر شهید رجایی به دلیل نقش بسزای آن در سهم بار کانتینری قابل‌تعمیم به مقیاس کلان کشوری است.

در این پژوهش، مکان بهینه بندرهای خشک برای دو بندر شهید رجایی و امام خمینی (با بیش‌ترین سهم کالا در کشور) تعیین شده است. سهم پژوهش حاضر، درنظرگیری ظرفیت بندر اصلی در مسئله و واگذاری تصمیم به مدل درباره میزان بکارگیری این ظرفیت، و ارزیابی دومرحله‌ای برای تعیین بندر خشک بهینه است. حل مسئله با کاربرد داده‌های واقعی و سنجش نرخ تغییر حمل بار ریلی و جاده‌ای نیز در سناریوهای گوناگون انجام شده است.

مبتنی بر نتایج پژوهش پیشنهاد می‌شود، با ارزیابی هزینهٔ افزایش ظرفیت گونهٔ حمل‌ونقل ریلی، محدودیت ظرفیت آن برای کاربرد بیش‌تر در نتیجهٔ ساخت بندر در نظرگرفته شود. لازم است مکان‌یابی بندرهای خشک با درنظرگیری تصویر آینده از حجم بار مورد تقاضا برای حمل و مسائل بازرگانی مرتبط انجام شود، زیرا در این پژوهش، مکان‌یابی بندرهای خشک تنها با توجه به وضعیت موجود انجام شده است.

با توجه به محدودیت‌های پژوهش جاری، پژوهش‌های آینده می‌توانند با افزودن پارامتر زمان، با توجه به نوع محموله و تمایل کاربر سیستم به مدت زمان حمل و عملیات کالا در مسئله، نتیجه کار را

بهبود بخشند. از آن‌جایی که در این پژوهش فقط داده‌های سال ۱۳۹۸ به عنوان ورودی مسئله لحاظ شد، به نظر می‌رسد کاربرد میانگین داده‌های چند سال به عنوان ورودی مسئله، نتایج بهتری به‌دست دهد. همچنین، ارزیابی و محاسبه منافع ساخت و بهره‌برداری از بندرهای خشک نیز قابلیت‌های مدل را خواهد افزود.

اظهاریه قدردانی

لازم است از ریزبینی‌ها، نکته‌ها، و پیشنهادهای علمی و اصلاحی داوران ناشناس نشریه وزین برنامه‌ریزی و بودجه و نیز ویراستار فنی و ادبی نشریه (مازیار چابک)، که سبب بهبود و افزایش قابل‌توجه کیفیت ارائه مطالب شده است، سپاس ویژه به جا آورده شود.

منابع

الف) انگلیسی

Alumur, S., & Kara, B. Y. (2008). Network Hub Location Problems: The State of the Art. *European Journal of Operational Research, 190*(1), 1-21. https://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*(1), 118-128. https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2013.12.825

De Langen, P., & Sornn-Friese, H. (2019). Ports and the Circular Economy. In *Green Ports* (pp. 85-108): Elsevier. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814054-3.00005-0

Eydi, A., & Mirakhorli, A. (2012). Hybrid Heuristic Method Based on Genetic Algorithm for the Hub Covering Problem under Fuzzy Environment. *International Journal of Industiral Engineering & Producion Management, 23*(2), 161-173. http://ijiepm.iust.ac.ir/article-1-878-fa.html

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*. https://doi.org/10.1155/2013/309585

Hale, T. S., & Moberg, C. R. (2003). Location Science Research: A Review. *Annals of Operations Research, 123*(1), 21-35. https://doi.org/10.1023/A:1026110926707

Hatami Nasab, S. H., & Zare, H. (2018). Understanding Foregroung Factors in Creating Dry Ports in Iran by Hybrid Approach of GRA, MCDM and Interval-Valued Triangular Fuzzy Numbers. *New Marketing Research Journal, 8*(1), 57-74. https://doi.org/10.22108/nmrj.2018.103335.1202

Karimi, H., & Bashiri, M. (2011). Hub Covering Location Problems with Different Coverage Types. *Scientia Iranica, 18*(6), 1571-1578. https://doi.org/10.1016/j.scient.2011.09.018

Kovačič Lukman, R., Brglez, K., & Krajnc, D. (2022). A Conceptual Model for Measuring a Circular Economy of Seaports: A Case Study on Antwerp and Koper Ports. *Sustainability, 14*(6), 3467. https://doi.org/10.3390/su14063467

Li, F., Shi, X., & Hu, H. (2011). Location Selection of Dry Port Based on AP Clustering-the Case of Southwest China. *Journal of System and Management Sciences, 1*(5), 79-88.
Mańkowska, M., Kotowska, I., & Pluciński, M. (2020). Seaports as Nodal Points of Circular Supply Chains: Opportunities and Challenges for Secondary Ports. *Sustainability, 12*(9), 3926. https://doi.org/10.3390/su12093926
Nguyen, L. C., Thai, V. V., Nguyen, D. M., & Tran, M. D. (2021). Evaluating the Role of Dry Ports in the Port-Hinterland Settings: Conceptual Framework and the Case of Vietnam. *The Asian Journal of Shipping and Logistics, 37*(4), 307-320. https://doi.org/10.1016/j.ajsl.2021.09.001
O'kelly, M. E. (1987). A Quadratic Integer Program for the Location of Interacting Hub Facilities. *European Journal of Operational Research, 32*(3), 393-404. https://doi.org/10.1016/S0377-2217(87)80007-3
O'Kelly, M. E., & Miller, H. J. (1994). The Hub Network Design Problem: A Review and Synthesis. *Journal of Transport Geography, 2*(1), 31-40. https://doi.org/10.1016/0966-6923(94)90032-9
Owen, S. H., & Daskin, M. S. (1998). Strategic Facility Location: A Review. *European Journal of Operational Research, 111*(3), 423-447. https://doi.org/10.1016/S0377-2217(98)00186-6
Roso, V. (2008). Factors Influencing Implementation of a Dry Port. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management, 38*(10), 782-798. https://doi.org/10.1108/09600030810926493
Shoukat, R., & Xiaoqiang, Z. (2022). Sustainable Logistics Network Optimization from Dry Ports to Seaport: A Case Study From Pakistan. *Transportation Research Record*, 03611981221115121. https://doi.org/10.1177/03611981221115121
Steuer, B., Staudner, M., & Ramusch, R. (2021). Role and Potential of the Circular Economy in Managing End-of-Life Ships in China. *Resources, Conservation and Recycling, 164*(1), 105039. https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.105039

ب) فارسی

پارسی، سارا، و سلطانی‌نژاد، الهه (۱۳۹۴). *بررسی وضعیت بنادر خشک در ایران*. مرکز تحقیقات و بررسی‌های اقتصادی اتاق بازرگانی، صنایع، معادن و کشاورزی ایران.
خبرگزاری تین نیوز (۱۳۹۳). *آیین‌نامه اجرایی ایجاد و فعالیت بنادر خشک در کشور*. ۲۹ اردیبهشت. https://www.tinn.ir/fa/tiny/news-7505
سعیدی، سیدناصر؛ نورامین، امیرسعید؛ جوادپور، منصور، و مطهری، امیرحسین (۱۳۹۰). *مفهوم بندر خشک با نگاهی ویژه به نیازمندی‌های ایجاد آن در کشور ایران*. همایش ملّی دریانوردی و حمل‌ونقل دریایی.
سعیدی‌پور، محمدعلی (۱۳۸۹). چرا باید هاب شویم؟ (بررسی ضرورت‌ها و چالش‌های بنادر کانونی). *نشریه بندر و دریا*، ۲۵(۱۷۵).
شیخ‌الاسلامی، عبدالرضا، و براتی، الهام (۱۳۹۰). *بررسی معیارهای تعیین‌کننده در مکان‌یابی بنادر خشک و تحلیل مراحل مکان‌یابی*. ششمین کنگره ملّی مهندسی عمران.

نحوه ارجاع به مقاله:

دژستان، نیلوفر؛ علیمرادی، مهرداد، و فرهنگ مقدم، بابک (۱۴۰۱). مدل دومرحله‌ای مکان‌یابی بنـدر خشـک با کاربرد مسئله مکان‌یابی هاب و تابع هزینه. *نشریه برنامه‌ریزی و بودجه*، ۲۷(۲)، ۱۹۱-۱۷۵.

Nazifard, N., Alimoradi, M., & Farhang Moghadam, B. (2022). Two-Stage Model of Dry Port Location Using Hub Location Problem and Cost Function. *Planning and Budgeting*, *27*(2), 175-191.

DOI: https://doi.org/10.52547/jpbud.27.2.175

Copyrights:

Copyright for this article is retained by the author(s), with publication rights granted to Planning and Budgeting. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (http://Creativecommons.org/licenses/by/4.0), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.