مهندسی صنایع و مدیریت شریف، (تابستان ۱۳۹۵)
دوره‌ی ۱ - ۳۲، شماره‌ی ۱/۱، ص. ۲۱-۳۰

Original Article

مکان‌یابی و تخصیص بنادر مسافری در استان مازندران با تلفیق مدل «پوشش مجموعه» و روش «تاپسیس فازی»

سارا طالبی (دانشجوی کارشناسی ارشد)
دانشکده‌ی مهندسی صنایع، دانشگاه ایواکی
محمدرضا اکبری جوکار* (استاد)
دانشکده‌ی مهندسی صنایع، دانشگاه صنعتی شریف
حسین بدری (دانشجوی دکتری)
دانشکده‌ی مهندسی صنایع، دانشگاه صنعتی امیرکبیر

بنادر، به‌عنوان مهم‌ترین زیرساخت حمل و نقل دریایی مسافران، در توسعه‌ی این صنعت نقش ویژه‌یی دارند. نقش‌آفرینی معیارهای متعدد کیفی و کمی در جایابی بنادر مسافری و نیز هزینه‌های بالای احداث این بنادر، ضرورت طراحی یک چارچوب تصمیم‌گیری مطمئن برای شبکه‌ی بنادر مسافری را مشخص می‌سازد. در نوشتار حاضر مسئله‌ی مکان‌یابی و تخصیص بنادر مسافری در دو مرحله به انجام می‌رسد. در همین راستا، رویکردی مبتنی بر روش تاپسیس فازی[1]، مدل پوشش مجموعه و نیز مدل پوشش مطلوبیت ارائه می‌شود. شناسایی معیارهای مهم در جایابی بنادر مسافری، محاسبه‌ی مطلوبیت نقاط کاندید، محاسبه‌ی تعداد بنادر مورد نیاز برای پوشش تقاضای کل و انتخاب نقاط کاندید، گام‌های اصلی رویکرد پیشنهادی هستند. از رویکرد پیشنهادی در این مطالعه، برای طراحی شبکه‌ی بنادر مسافری استان مازندران ــ به‌عنوان یکی از استان‌های مهم ساحلی کشور ــ استفاده شده و براساس نتایج حاصل از مدل فوق مکان‌های رامسر، فریدون‌کنار و بابلسر برای احداث بندر از نوع داخلی، و مکان‌های نوشهر و بهشهر برای احداث بندر از نوع بین‌المللی انتخاب شدند. نتایج حاصله با تحلیل حساسیت روی دو پارامتر شعاع پوشش و حداکثر بودجه مورد ارزیابی قرار می‌گیرد.

واژگان کلیدی: بنادر مسافری، مکان‌یابی، تاپسیس فازی ، پوشش مجموعه، مطلوبیت.

sara.talebi@ymail.com
reza.akbari@sharif.edu
badri@aut.ac.ir

۱. مقدمه

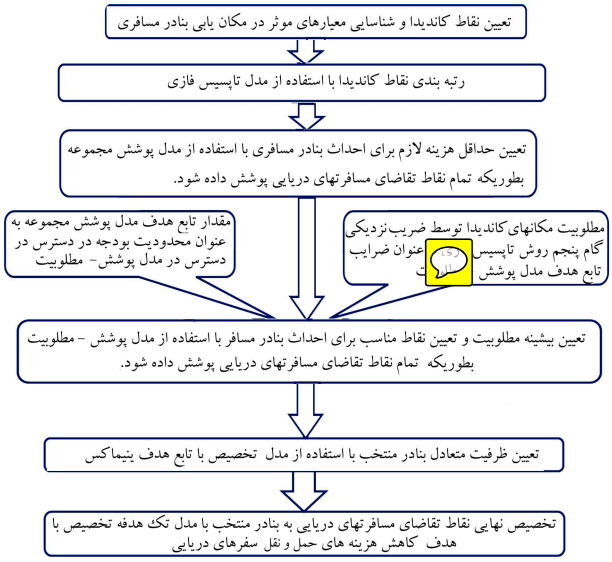
کشور ایران با در اختیار داشتن ۵۷۸۰ کیلومتر ساحل آبی،[1] و با احتساب سواحل کشور و دسترسی به رودخانه‌ها و حوضه‌های آبی، از ظرفیت‌های عظیمی در حوزه‌ی گردشگری و حمل‌ونقل دریایی مسافران برخوردار است. از آنجا که احداث بنادر مسافری تصمیمی استراتژیک و پرهزینه است، انتخاب صحیح مکان احداث بنادر برای توجیه‌پذیری هزینه‌های احداث و بهره‌برداری امری ضروری است. از سوی دیگر، با توجه به پیش‌بینی‌های انجام شده در افزایش میزان تقاضای مسافرت‌های دریایی،[1] توسعه‌ی زیرساخت‌های بندری مناسب برای تأمین تقاضای مسافرت دریایی کشور طی سال‌های آینده از اهمیت خاصی برخوردار است و عدم توجه به این مهم قطعاً توسعه‌ی صنعت مسافری دریایی کشور را مختل می‌سازد.

دست‌یابی به جایگاه مطلوب در حمل و نقل مسافری دریایی تنها زمانی محقق خواهد شد که ضمن توسعه‌ی زیرساخت‌ها، شبکه‌ی مدرن حمل و نقل دریایی ایجاد شود. در نوشتار حاضر مدلی جامع برای طراحی شبکه‌ی بنادر مسافری استان مازندران ارائه، و مدل مذکور برای مناطق ساحلی استان مازندران پیاده‌سازی شده است. در این راستا معیارهای مناسب برای مکان‌یابی بنادر مسافری با توجه به ویژگی‌های خاص آن تعیین شده است و پس از تلفیق سه مدل تاپسیس فازی، پوشش مجموعه و پوشش مطلوبیت برای تعیین مکان‌های مناسب احداث بنادر مسافری در محدوده‌ی سواحل استان مازندران استفاده شده است.

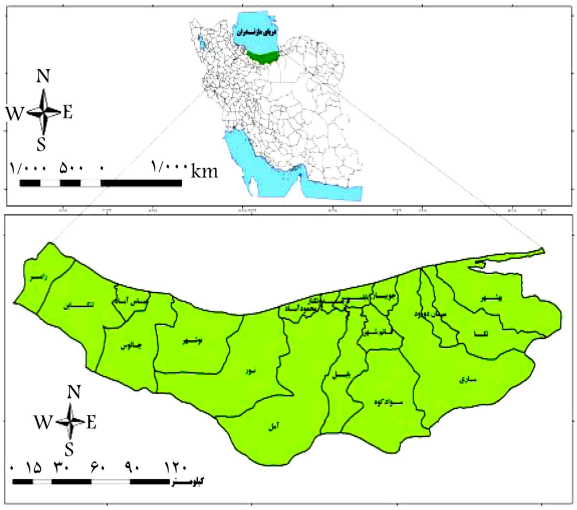
۲. مراحل اجرای تحقیق

در ادامه‌ی این نوشتار ابتدا معیارهای لازم برای مکان‌یابی بنادر معرفی می‌شود؛ این معیارها براساس مطالعه‌ی کتابخانه‌یی و مطالعات خبرگی شناسایی شده‌اند. سپس با استفاده از مدل تاپسیس این معیارها وزن‌دهی شده و مطلوبیت چهارده منطقه در نقاط ساحلی استان مازندران اندازه‌گیری شده است. سپس با استفاده از مدل پوشش

* نویسنده مسئول
تاریخ: دریافت ۱۳۹۲/۸/۸، اصلاحیه ۱۳۹۳/۳/۲، پذیرش ۱۳۹۳/۷/۹.



شکل ۱. مراحل اجرای تحقیق.



نقشه‌ی ۱. منطقه‌ی مورد مطالعه (استان مازندران).

مجموعه کم‌ترین هزینه‌ی لازم برای پوشش تمامی تقاضاها تعیین شده و سپس در مدل پوشش مطلوبیت ضمن پوشش کل تقاضا، مطلوبیت مکان‌های انتخابی بیشینه شد. البته در مدل پوشش مطلوبیت محدودیت بودجه نیز در نظر گرفته شده است. مقدار بودجه‌ی در دسترس توسط نهادهای دولتی مربوطه ــ نظیر سازمان بنادر و دریانوردی ــ تعیین می‌شود. در این تحقیق به‌علت نامشخص بودن بودجه از سوی دولت، کم‌ترین مقدار بودجه که بتوان تمامی تقاضاها را پوشش داد مبنا قرار گرفته است. این مقدار بودجه با حل یک مسئله‌ی پوشش مجموعه با هدف کمینه‌سازی هزینه‌ی احداث بنادر به دست آمده است. سپس به‌منظور متعادل کردن ظرفیت بنادر و کاهش هزینه‌ی حمل و نقل، مدل تخصیص را تعیین کرده و به‌کمک تکنیک برنامه‌ریزی صفر و ۱ آن را حل کرده و هریک از نقاط تقاضا به بنادر منتخب تخصیص می‌یابد. درانتها تحلیل حساسیت روی شعاع پوشش بنادر و مقدار بودجه صورت گرفته است. مراحل اجرای تحقیق خلاصه‌وار در شکل ۱ نشان داده شده است.

۳. منطقه‌ی مورد مطالعه

استان مازندران در شمال کشور ایران و در حاشیه‌ی دریای خزر واقع شده است. مساحت این استان ۲۳۷۵۶٫۴ کیلومتر مربع است. استان مازندران دارای ۲۵۰ کیلومتر نوار ساحلی است که ۱۰۰ کیلومتر آن جزو سواحل درجه ۱ محسوب می‌شود که قرارگرفتن آن در ساحل جنوبی بزرگ‌ترین دریاچه‌ی جهان موسوم به دریای خزر یا کاسپین و همجواری با چهار کشور ساحلی این دریا ــ ترکمنستان، قزاقستان، روسیه و آذربایجان ــ از یک‌سو و قرار گرفتن در شمال کلان‌شهر تهران (پایتخت ایران) از موقعیت جغرافیایی استراتژیکی برخوردار است (نقشه‌ی ۱).[۲] در این تحقیق برای احداث بنادر مسافری، تمامی شهرستان‌های دارای نوار ساحلی ــ شامل: ۱. رامسر، ۲. تنکابن، ۳. عباس‌آباد، ۴. چالوس، ۵. نوشهر، ۶. نور، ۷. محمودآباد، ۸. فریدونکنار، ۹. بابلسر، ۱۰. جویبار، ۱۱. ساری، ۱۲. میان‌دورود، ۱۳. نکا، ۱۴. بهشهر ــ ارزیابی می‌شود. نقاط تقاضایی که در این تحقیق در نظر گرفته می‌شود عبارت‌اند از: ۱. رامسر، ۲. تنکابن، ۳. عباس‌آباد، ۴. چالوس، ۵. نوشهر، ۶. نور، ۷. محمودآباد، ۸. فریدونکنار، ۹. بابلسر، ۱۰. جویبار، ۱۱. ساری، ۱۲. میان‌دورود، ۱۳. نکا، ۱۴. بهشهر، ۱۵. بندر آستارا، ۱۶. بندر انزلی، ۱۷. بندر نوشهر، ۱۸. بندر امیرآباد، ۱۹. بندر گز، ۲۰. بندر ترکمن، ۲۱. بندر آستراخان (روسیه)، ۲۲. بندر ماخاچ‌قلعه (روسیه)، ۲۳. بندر باکو (آذربایجان)، ۲۴. بندر آکتائو (قزاقستان)، ۲۵. بندر ترکمن‌باشی (ترکمنستان).

۴. شناسایی معیارها

مطالعات پژوهشی اندکی درخصوص مکان‌یابی بنادر مسافری در دسترس است. در این تحقیق عوامل مؤثر در مکان‌یابی بنادر مسافری از مطالعات موجود در ادبیات و اخذ نظر برخی از خبرگان این صنعت استخراج شده است. برخی از معیارهای مکان‌یابی بنادر تجاری (کالا)، در مکان‌یابی بنادر مسافری نیز قابل استفاده است؛ ازجمله‌ی این معیارها می‌توان به عمق مناسب، شرایط دریایی (امواج) و شرایط اقلیمی، پارامترهای ژئوتکنیک و لرزه‌نگاری، فرسایش و جنس بستر، و نیز ویژگی‌های زیست‌محیطی اشاره کرد.[۳و۴]

در سال ۲۰۰۵ وضعیت زمین‌شناسی منطقه، نظیر احتمال وجود صخره یا حفره در مجاورت نقاط مورد نظر و جنس بستر، عمق مناسب، محل سکوی عرشه و عرض آن، داده‌های هیدرولوژیکی مانند جزر و مد و متوسط ارتفاع آب، طوفان و باد، انرژی آب و آلودگی‌های خطرناک مورد بررسی قرارگرفت.[۵] همچنین در سال ۲۰۱۳ معیارهای اثر بر سکونت‌گاه انسانی، پهلوگیری شناورهای بزرگ‌تر، امکان توسعه‌ی بندر، سازگاری با کاربری‌های مجاور، عمق، شیب، موقعیت‌های شغلی، تهدید اقتصاد جوامع محلی، جمعیت انسانی، ارزش زمین، دسترسی به زیرساخت‌های توسعه، لرزه‌خیزی، ناپایداری پساکرانه، رسوب‌گذاری، مناطق حساس ساحلی، سنگ بستر و پدیده‌های دریایی در محدوده‌ی شهرستان بوشهر به‌منظور مکان‌یابی اسکله‌های نفتی بررسی، و با روش تحلیل شبکه مکان‌های کاندیدا اولویت‌بندی شد.[۶] در سال ۱۳۸۳سواحل جنوب به‌منظور احداث بندر تجاری مورد بررسی قرار گرفت و با توجه به معیارهای فنی ـ مهندسی شامل: وضعیت هیدروگرافی و عمق‌سنجی، پراکندگی جمعیت، لرزه‌خیزی و پهنه‌بندی خطر زلزله، روان‌گرایی، وضعیت اقلیمی و وضعیت دسترسی به منابع آب، روش‌هایی

جدول ۱. دسته‌بندی معیارها.

ردیف		معیارها
۱	فنی ـ مهندسی	عمق مناسب
۲		جنس سنگ بستر
۳		پایداری پساکرانه
۴		پدیده‌های دریایی
۵		فاصله از نقاط رسوب‌گذاری
۶		کم بودن ریسک لرزه‌خیزی
۷	اجتماعی	نیاز شهرستان به ایجاد اشتغال
۸	زیست‌محیطی	وضعیت اقلیمی (باد، میزان بارندگی، درجه حرارت و رطوبت ...)
۹		دوری از مناطق حساس و آسیب‌پذیر
۱۰		کیفیت آب
۱۱	اقتصادی	دسترسی به امکانات زیربنایی
۱۲		امکان توسعه‌ی بندر (گستردگی نوار ساحلی و محوطه‌های بندری)
۱۳		در دسترس بودن زمین با قیمت مناسب
۱۴		پتانسیل گردشگری برای جذب مسافر
۱۵		نزدیکی به مسیرهای اصلی دریایی
۱۶		امکان جایگزینی مسیر دریایی با سایر روش‌های حمل و نقل
۱۷		امکان دسترسی به بندر از طریق مسیرهای جاده‌یی یا هوایی
۱۸		سازگاری بندر با سایر کاربری‌های مجاور

شامل روش تحلیل همایی[۲]، مجموع ساده وزین (SAW) و تاپسیس اتخاذ شد.[۷]

در جدول ۱ معیارهای مکان‌یابی بنادر مسافری، مورد استفاده در این تحقیق، معرفی شده است. این معیارها در چهارگروه فنی ـ مهندسی، اجتماعی، زیست‌محیطی و اقتصادی دسته‌بندی شده است. در ادبیات موضوع به معیارهای اقتصادی توجه کم‌تری شده، ولی براساس سیاست‌های کلان کشور درخصوص واگذاری توسعه‌ی بنادر مسافری به بخش خصوصی، پارامترهای اقتصادی برای سرمایه‌گذاری بخش خصوصی از اهمیت ویژه‌یی برخوردار است و لذا در این تحقیق مورد توجه خاص قرارگرفته است.

۵. مدل تاپسیس فازی

موضوع تعیین مکان مناسب برای احداث بنادر مسافری به‌دلیل وابستگی به عوامل و معیارهای متعدد موضوعی بسیار پیچیده است و لذا باید از نظر خبرگان مختلف برای تعیین و وزن‌دهی معیارها و گزینه‌های مختلف استفاده کرد. با توجه به مطالعات میدانی انجام شده و مصاحبه‌ی اولیه با خبرگان مشاهده شد که نحوه‌ی اظهار نظر ایشان در این خصوص حالت فازی دارد و معمولاً به‌صورت متغیرهای زبانی منطبق با منطق فازی اظهار نظر می‌کنند. با توجه به این مشاهده، استفاده از مدل‌های فازی مورد نظر قرارگرفت. گام‌های مورد استفاده برای امتیازدهی مکان‌ها با استفاده از روش تاپسیس فازی در ادامه تشریح شده است.

۵.۱. گام اول) شناسایی معیارهای ارزیابی و متغیرهای زبانی مناسب

کمیته‌یی متشکل از k تصمیم‌گیرنده $(D^1, D^2, ..., D^k)$ که مسئول ارزیابی m گزینه $(A_1, A_2, ..., A_m)$ براساس n معیار $(C_1, C_2, ..., C_n)$ هستند را در نظر بگیرید. معیارها به‌صورت هزینه (C) و منفعت (B) طبقه‌بندی می‌شوند. همچنین:

$$j = 1, 2, ..., n, \qquad x_{ij}^t \in R^+, \qquad i = 1, 2, ..., m,$$
$$x_{ij}^t = (a_{ij}^t, b_{ij}^t, c_{ij}^t) \qquad (1)$$

یک عدد فازی مثلثی، و معادل امتیاز تخصیص داده‌شده به گزینه‌ی A_i توسط تصمیم‌گیرنده‌ی D^t براساس معیار C_j است. از سوی دیگر:

$$t = 1, 2, ..., k, \qquad w_{ij}^t \in R^+, \qquad j = 1, 2, ..., n,$$
$$w_{ij}^t = (e_j^t, f_j^t, g_j^t) \qquad (2)$$

یک عدد فازی مثلثی، و معادل وزن تخصیص داده‌شده توسط تصمیم‌گیرنده‌ی D^t براساس معیار C_j است.[۸-۱۰]

برای تعیین مقادیر هریک از موارد فوق، پرسش‌نامه‌یی تهیه و بین خبرگان توزیع شد. نتایج حاصل از این پرسش‌نامه درگام دوم و سوم مورد استفاده قرارگرفته است.

۲.۵. گام دوم) ایجاد ماتریس نرمال شده‌ی تصمیم‌گیری فازی (NFDM)[۳]

با توجه به توضیحات گام قبلی، امتیازدهی گزینه‌ها برمبنای هر معیار و نیز وزن آن معیار محاسبه می‌شود:[۱۱]

$$x_{ij} = ۱/k \times [x_{ij}^{۱} + x_{ij}^{۲} + ... + x_{ij}^{k}];$$
$$a_{ij} = \sum_{t=۱}^{k} a_{ij}^{t}/k; \quad b_{ij} = \sum_{t=۱}^{k} b_{ij}^{t}/k; \quad c_{ij} = \sum_{t=۱}^{k} c_{ij}^{t}/k \qquad (۳)$$
$$w_j = ۱/k \times [w_j^{۱} + w_j^{۲} + ... + w_j^{k}];$$
$$e_j = \sum_{t=۱}^{k} e_j^{t}/k; \quad f_j = \sum_{t=۱}^{k} f_j^{t}/k; \quad g_j = \sum_{t=۱}^{k} g_j^{t}/k \qquad (۴)$$

به‌منظور اطمینان از سازگاری بین میانگین امتیازات و میانگین اوزان باید آن‌ها را نرمال‌سازی کرد تا به مقیاس‌های قابل مقایسه تبدیل شوند. در اینجا با استفاده از مقیاس یا نُرم خطی برای تبدیل مقیاس‌های مربوط به معیارهای مختلف، ماتریس تصمیم فازی نرمال‌شده ($\tilde{U}$) محاسبه می‌شود.[۱۱-۱۴] برای محاسبه‌ی این ماتریس:

$$c_j^{+} = \max_i c_{ij}, \quad j \in B;$$
$$a_j^{-} = \min_i a_{ij}, \quad j \in c;$$
$$\tilde{U}_{ij} = \left(\frac{a_{ij}}{c_j^{+}}, \frac{b_{ij}}{c_j^{+}}, \frac{c_{ij}}{c_j^{+}}\right), \quad j \in B;$$
$$\tilde{U}_{ij} = \left(\frac{a_j^{-}}{c_{ij}}, \frac{a_j^{-}}{b_{ij}}, \frac{a_j^{-}}{a_{ij}}\right), \quad j \in C; \qquad (۵)$$

با توجه به روش نرمال‌سازی بالا، بازه اعداد مثلثی فازی محدود به [۰,۱] است. در این مرحله مطابق گام اول، میانگین اوزان معیارهای C_j و نیز میانگین وزن‌های هرگزینه‌ی A_i هر بار با توجه به یک معیار C_j با امتیازاتی که تصمیم‌گیرندگان در پرسش‌نامه داده بودند، محاسبه شد (جدول ۲).

۳.۵. گام سوم) ایجاد ماتریس تصمیم نرمالایز وزن‌دهی شده‌ی فازی (WNFDM)[۴]

با توجه به معادله‌ی ۶ می‌توان ماتریس تصمیم فازی وزن‌دهی شده‌ی نرمال را محاسبه کرد.[۱۵-۱۷]

$$\tilde{V} = \tilde{U}(\times)\tilde{W} \qquad (۶)$$

محاسبات این گام نیز انجام شده است.

۴.۵. گام چهارم) تعیین راه حل ایده‌آل مثبت و راه حل ایده‌آل منفی فازی

می‌دانیم که V_{ij}ها اعداد فازی مثلثی مثبت نرمال شده‌اند و محدوده‌ی آن‌ها در بازه بسته‌ی [۰,۱] است. سپس راه‌حل‌های ایده‌آل مثبت و منفی فازی عبارت‌اند از:[۱۶و۱۷]

$$S^{+} = \tilde{V}_{۱}^{+}, \tilde{V}_{۲}^{+}, ..., \tilde{V}_{n}^{+}),$$
$$\tilde{V}_j^{+} = (\max_i \tilde{V}_{ij}^{a}, \max_i \tilde{V}_{ij}^{b}, \max_i \tilde{V}_{ij}^{c}),$$
$$S^{-} = (\tilde{V}_{۱}^{-}, \tilde{V}_{۲}^{-}, ..., \tilde{V}_{n}^{-}),$$
$$\tilde{V}_j^{-} = (\min_i \tilde{V}_{ij}^{a}, \min_i \tilde{V}_{ij}^{b}, \min_i \tilde{V}_{ij}^{c}), \qquad (۷)$$

نتایج محاسبات این گام در جدول ۳ نشان داده شده است.

۵.۵. گام پنجم) رتبه‌بندی نهایی گزینه‌ها

۱.۵.۵. محاسبه‌ی ضریب نزدیکی[۵]

در نوشتار حاضر برای محاسبه‌ی فاصله‌ی هرگزینه از راه حل‌های ایده‌آل مثبت و منفی، از رابطه‌ی ۸ استفاده می‌شود:[۱۶و۱۷]

$$d(\tilde{V}_{ij}, \tilde{V}_j^{+}) = \{۱/۳([\tilde{V}_{ij}^{a} - \max_i \tilde{V}_{ij}^{a}]^{۲} + [\tilde{V}_{ij}^{b} - \max_i \tilde{V}_{ij}^{b}]^{۲} + [\tilde{V}_{ij}^{c} - \max_i \tilde{V}_{ij}^{c}]^{۲})\}^{۱/۲}$$
$$d(\tilde{V}_{ij}, \tilde{V}_j^{-}) = \{۱/۳([\tilde{V}_{ij}^{a} - \min_i \tilde{V}_{ij}^{a}]^{۲} + [\tilde{V}_{ij}^{b} - \min_i \tilde{V}_{ij}^{b}]^{۲} + [\tilde{V}_{ij}^{c} - \min_i \tilde{V}_{ij}^{c}]^{۲})\}^{۱/۲} \qquad (۸)$$

که در آن d_i^{+} فاصله‌ی هرگزینه از راه حل ایده‌آل مثبت و d_i^{-} فاصله‌ی هرگزینه از راه حل ایده‌آل منفی است.

برای رتبه‌بندی گزینه‌ها، ضریب نزدیکی آن‌ها براساس d_i^{+} و d_i^{-}، چنین محاسبه می‌شود:[۱۱و۱۷]

$$\mathrm{CC}_i = \frac{d_i^{-}}{d_i^{+} + d_i^{-}}, \qquad i = ۱, ۲, ..., m \qquad (۹)$$

نتایج رتبه‌بندی مکان‌های کاندیدا در جدول ۴ آمده است.

اگر گزینه‌ی A_i به S^{+} یا راه‌حل ایده‌آل مثبت نزدیک‌تر و به S^{-} یا راه‌حل ایده‌آل منفی دورتر باشد، ضریب نزدیکی CC_i به سمت ۱ میل خواهد کرد. در حقیقت گزینه‌هایی که CC_i بیشتری دارند از رتبه‌ی بالاتری برخوردار خواهند بود. این رتبه‌بندی بدون در نظرگرفتن هزینه‌ی احداث بنادر و پوشش تمام تقاضاهای مسافرت‌های دریایی است.

۶. مدل پوشش مجموعه

در مرحله‌ی تاپسیس فازی مکان‌های کاندیدا اولویت‌بندی شدند بدون این که پوشش تمام نقاط تقاضا در نظر گرفته شود. اما از آنجا که پوشش دادن کل تقاضا مورد نظر دولت است، با استفاده از مدل پوشش مجموعه مکان‌های مناسب برای احداث بنادر مسافری چنان تعیین می‌شود که مجموع هزینه‌ی احداث بنادرکمینه شود. مدل

جدول ۲. اوزان معیارها.

ردیف	معیار	W_j		
		g_j	f_j	e_j
۱	عمق مناسب	۰٫۸۳	۰٫۶۳	۰٫۴۳
۲	جنس سنگ بستر	۰٫۵۷	۰٫۴	۰٫۲۷
۳	پایداری پساکرانه	۰٫۸۳	۰٫۶۳	۰٫۴۳
۴	پدیده‌های دریایی	۰٫۵۷	۰٫۳۷	۰٫۱۷
۵	فاصله از نقاط رسوب‌گذاری	۰٫۷۷	۰٫۵۷	۰٫۳۷
۶	کم بودن ریسک لرزه‌خیزی	۰٫۴۳	۰٫۲۷	۰٫۱۳
۷	نیاز شهرستان به ایجاد اشتغال	۰٫۹	۰٫۷	۰٫۵
۸	وضعیت اقلیمی (باد، میزان بارندگی، درجه حرارت و رطوبت ...)	۰٫۷۷	۰٫۵۷	۰٫۳۷
۹	دوری از مناطق حساس و آسیب‌پذیر	۰٫۷	۰٫۵	۰٫۳۳
۱۰	کیفیت آب	۰٫۶	۰٫۴۷	۰٫۳۳
۱۱	دسترسی به امکانات زیربنایی	۰٫۸۳	۰٫۶۳	۰٫۴۳
۱۲	امکان توسعه‌ی بندر (گستردگی نوار ساحلی و محوطه‌های بندری)	۰٫۷۳	۰٫۵۷	۰٫۴
۱۳	در دسترس بودن زمین با قیمت مناسب	۰٫۶۳	۰٫۴۳	۰٫۲۳
۱۴	پتانسیل گردشگری برای جذب مسافر	۰٫۹۷	۰٫۹	۰٫۷۷
۱۵	نزدیکی به مسیرهای اصلی دریایی	۰٫۶۷	۰٫۵	۰٫۳
۱۶	امکان جایگزینی مسیر دریایی با سایر روش‌های حمل و نقل	۰٫۶	۰٫۴۳	۰٫۴۳
۱۷	امکان دسترسی به بندر از طریق مسیرهای جاده‌یی یا هوایی	۰٫۹۷	۰٫۹	۰٫۷۷
۱۸	سازگاری بندر با سایر کاربری‌های مجاور	۰٫۷۳	۰٫۶	۰٫۴۷

جدول ۳. مقادیر راه حل‌های ایده‌آل مثبت و منفی.

ایده‌آل	عمق مناسب			جنس سنگ بستر			پایداری پساکرانه		
S^+	۰٫۸۳۳	۰٫۵۴۸	۰٫۲۸۴	۰٫۵۶۷	۰٫۳۲۷	۰٫۱۶۰۶	۰٫۸۳۳	۰٫۵۴۸	۰٫۲۸۴
S^-	۰٫۴۸۶	۰٫۲۸۴	۰٫۱۰۴	۰٫۱۴	۰٫۰۲۶	۰	۰٫۵۷۳	۰٫۳۳	۰٫۱۴۹
	پدیده‌های دریایی			فاصله از نقاط رسوب‌گذاری			کم بودن ریسک لرزه‌خیزی		
S^+	۰٫۵۶۷	۰٫۳۵۵	۰٫۱۱۳	۰٫۷۶۷	۰٫۴۸۷	۰٫۲۴۸	۰٫۴۳۳	۰٫۲۳۹	۰٫۰۹۷۲
S^-	۰٫۳۶۶	۰٫۱۸۱	۰٫۰۵۴	۰٫۲۹۷	۰٫۱۲۲	۰٫۰۲۴	۰٫۱۹۴	۰٫۰۶۴	۰٫۰۱۸۱
	نیاز شهرستان به ایجاد اشتغال			وضعیت اقلیمی (باد، میزان بارندگی، درجه حرارت و رطوبت ...)			دوری از مناطق حساس و آسیب‌پذیر		
S^+	۰٫۹	۰٫۶۷۲	۰٫۴۱۵	۰٫۷۶۷	۰٫۵۴۴	۰٫۳۰۴	۰٫۷	۰٫۴۶۹	۰٫۲۶۴
S^-	۰٫۵۴	۰٫۳۲۲	۰٫۱۶۱	۰٫۶۹	۰٫۳۹۷	۰٫۱۸۳	۰٫۵۳۲	۰٫۲۹۲	۰٫۱۳۹
	کیفیت آب			دسترسی به امکانات زیربنایی			امکان توسعه‌ی بندر (گستردگی نوار ساحلی و محوطه‌های بندری)		
S^+	۰٫۶	۰٫۴۳۴	۰٫۲۵۳	۰٫۸۳۳	۰٫۶۰۸	۰٫۳۶	۰٫۷۳۳	۰٫۴۶۳	۰٫۲۴۱
S^-	۰٫۴۲	۰٫۲۳۳	۰٫۱۱	۰٫۵۸۳	۰٫۳۵۵	۰٫۱۵۶	۰٫۲۳۷	۰٫۰۹۷	۰٫۰۱۳
	در دسترس بودن زمین با قیمت مناسب			پتانسیل گردشگری برای جذب مسافر			نزدیکی به مسیرهای اصلی دریایی		
S^+	۰٫۶۳۳	۰٫۳۵۴	۰٫۱۴۰۵	۰٫۹۶۷	۰٫۹	۰٫۶۹	۰٫۶۶۷	۰٫۴۲۲	۰٫۱۸۱
S^-	۰٫۲۰۴	۰٫۰۶۱	۰٫۰۰۷۵	۰٫۴۸۳	۰٫۲۷	۰٫۰۷۷	۰٫۲۸۹	۰٫۰۹۶	۰٫۰۱۱
	امکان جایگزینی مسیر دریایی با سایر روش‌های حمل و نقل			امکان دسترسی به بندر از طریق مسیرهای جاده‌یی یا هوایی			سازگاری بندر با سایر کاربری‌های مجاور		
S^+	۰٫۶	۰٫۳۴۸	۰٫۲۶۳	۰٫۹۶۷	۰٫۸۴۴	۰٫۶۰۷	۰٫۷۳۳	۰٫۵۴	۰٫۳۲۷
S^-	۰٫۱۴۵	۰٫۰۲	۰	۰٫۶۶۵	۰٫۴۶۹	۰٫۲۴	۰٫۲۲	۰٫۰۹۶	۰٫۰۴۷

جدول ۴. رتبه‌بندی گزینه‌ها براساس معیار ضریب نزدیکی.

رتبه	گزینه	ضریب نزدیکی (CC_i)
۱	رامسر	۰٫۹۰۸۶۷۷۴۷۶
۲	فریدون‌کنار	۰٫۸۴۷۸۶۴۱۸۶
۳	بابلسر	۰٫۸۴۵۵۵۵۹۸۶
۴	بهشهر	۰٫۷۸۶۶۹۸۲۲۶
۵	نوشهر	۰٫۷۶۹۱۸۵۶۷۱
۶	ساری	۰٫۶۴۷۰۱۸۳۲۸
۷	عباس‌آباد	۰٫۵۷۲۹۱۹۷۸۴
۸	محمودآباد	۰٫۵۴۹۲۴۷۱۴۸
۹	نور	۰٫۴۵۴۲۲۶۴۹۲
۱۰	جویبار	۰٫۴۵۳۴۱۹۷۱۵
۱۱	تنکابن	۰٫۳۹۰۸۲۵۰۱
۱۲	چالوس	۰٫۳۰۲۴۴۳۸۷۶
۱۳	میان دورود	۰٫۲۳۲۲۱۲۳۹۶
۱۴	نکا	۰٫۲۱۸۷۲۱۱۰۲

مذکور عبارت است از:

$$\min Z_1 = \sum_{i=1}^{m} C_{Ii} X_{Ii} + \sum_{i=l}^{m} C_{Ni} X_{Ni}$$

St :

$$\sum_{i=1}^{m} A_{Iij} X_{Ii} + \sum_{i=l}^{m} A_{Nij} X_{Ni} \geq 1 \qquad j = 1, ..., n$$

$$X_{Ii} + X_{Ni} \leq 1 \qquad i = 1, ..., m$$

$$X_{Ni} \in \{0, 1\}$$

$$X_{Ii} \in \{0, 1\} \qquad (10)$$

فرض بر این است که ۱۴ مکان کاندیدا برای احداث بنادر و ۲۵ نقطه‌ی تقاضا موجود است. X_{Ni} و X_{Ii} متغیر صفر و ۱ هستند که اگر مکان کاندیدای i برای استقرار یک بندر مناسب باشد مقدار ۱ خواهد گرفت، و در غیر این‌صورت، مقدار صفر خواهد داشت. اندیس N و I بیان‌گر نوع بندر در مکان انتخاب شده است: بندر داخلی[۶] (X_{Ni}) یا بندر بین‌المللی[۷] (X_{Ii}). محدودیت $X_{Ii} + X_{Ni} \leq 1$ نیز بیان‌گر آن است که در مکان i فقط یک نوع بندر داخلی (X_{Ni}) یا بندر بین‌المللی (X_{Ii}) باید انتخاب شود. ضرایب تابع هدف عبارت‌اند از ضرایب نسبی هزینه‌ی احداث بنادر در مکان‌های کاندیدا i. همچنین A_{ij} یک پارامتر صفر و ۱ است، به‌طوری که اگر مکان کاندیدای i بتواند نقطه‌ی تقاضای j را پوشش دهد، مقدار ۱ خواهد گرفت و در غیر این‌صورت مقدار صفر خواهد داشت. این پارامتر به شعاع پوشش بستگی دارد. شعاع پوشش، بیشینه زمان یا فاصله‌یی است که یک بندر می‌تواند خدمت‌رسانی کند. ما در این مسئله، شعاع پوشش برای نقاط داخلی محدوده‌ی منطقه‌ی مورد مطالعه را ۵۰ کیلومتر در نظر می‌گیریم، یعنی هر بندر می‌تواند تا فاصله‌یی معادل ۵۰ کیلومتر را پوشش دهد. نقاط تقاضای خارج از محدوده‌ی مطالعاتی براساس سفرهای کاری بین مناطق ضریب پوشش ایجاد شد. محدودیت $\sum_{i=1}^{m} A_{Iij} X_{Ii} + \sum_{i=1}^{m} A_{Nij} X_{Ni} \geq 1$ تضمین می‌کند که تمامی نقاط تقاضا باید پوشش داده شود. تابع هدف هزینه‌ی احداث بنادر را کمینه می‌کند. برای حل این مدل از نرم‌افزار LINGO استفاده شد و تابع هدف برابر ۳٫۲ واحد شد.

نکته‌ی قابل توجه این است که در این مدل بدون توجه به مطلوبیت (امتیاز) هریک از بنادر، تابع هدف فقط هزینه‌ی احداث بنادر را کمینه می‌کند، و سایر امتیازات و ویژگی‌های مورد توجه در مدل تاپسیس مد نظر قرار نگرفته است. برای رفع این نقیصه مقدار تابع هدف مسئله‌ی پوشش مجموعه را که برابر ۳٫۲ شده است (و ۴۰٪ این هزینه قابل قبول است) به‌عنوان محدودیت بودجه در مدل پوشش مطلوبیت مد نظر قرار داده و سپس بنادری انتخاب می‌شود که ضمن پوشش کل تقاضا، تابع هدف مجموع مطلوبیت بنادر را نیز بیشینه کند.

۷. مدل تک‌هدفه‌ی مکان‌یابی (پوشش مطلوبیت)

بعد از انجام روش‌های تاپسیس فازی و مدل پوشش مجموعه، باید مکان‌هایی انتخاب کرد که دارای بیشترین مطلوبیت برای احداث باشند و هزینه‌ی احداث آن‌ها از میزان بودجه بیشتر نباشد. لذا مدل پوشش مطلوبیت چنین ارائه شد:

$$\max Z_2 = \sum_{i=l}^{m} \mathrm{CC}_i (X_{Ii} + X_{Ni})$$

St :

$$\sum_{i=l}^{m} A_{Iij} X_{Ii} + \sum_{i=l}^{m} A_{Nij} X_{Ni} \geq 1 \qquad j = 1, ..., n$$

$$X_{Ii} + X_{Ni} \leq 1 \qquad i = 1, ..., m$$

$$\sum_{i=1}^{14} C_{Ii} X_{Ii} + \sum_{i=1}^{14} C_{Ni} X_{Ni} \leq Z_l$$

$$X_{Ni} \in \{0, 1\}$$

$$X_{Ii} \in \{0, 1\} \qquad (11)$$

بیشینه‌سازی مطلوبیت احداث بنادر بدین معنی است که تابع هدف، محل احداث بنادر را به‌گونه‌یی تعیین می‌کند که مجموع مطلوبیت بنادر انتخابی بیشینه شود. برای این منظور مطلوبیت مکان‌های کاندیدا که توسط ضریب نزدیکی در گام پنجم روش تاپسیس فازی محاسبه شده، به‌عنوان ضرایب تابع هدف در نظرگرفته می‌شود. در این مرحله مقدار تابع هدف Z_1 (مقدار تابع هدف مدل پوشش مجموعه) به‌عنوان پایه‌یی برای تعیین مقدار بودجه‌ی دراختیار در نظرگرفته می‌شود. در این مرحله می‌توانیم دقیقاً همان مقدار تابع هدف مسئله‌ی پوشش مجموعه (معادل ۳٫۲) را به‌عنوان محدودیت بودجه در نظر بگیریم. اما اگر بودجه‌ی در اختیار بیشتر از این مقدار باشد آنگاه شانس انتخاب بنادری که مطلوبیت بیشتری به همراه داشته باشد بیشتر خواهد شد. لذا در این تحقیق فرض بر آن است که بودجه‌ی در اختیار ۴۰ درصد بیشتر از کم‌ترین بودجه‌ی مورد نیاز برای پوشش کل تقاضا باشد. به‌عبارت دیگر بودجه‌ی در اختیار برابر ۴٫۴۸ در نظرگرفته شده است. این مدل توسط نرم‌افزار LINGO حل شد که نتایج حاصله در جدول ۵ آمده است.

جدول ۵. خلاصه‌ی نتایج مدل پوشش مطلوبیت.

مقدار تابع هدف	X_{N1}	X_{I5}	X_{N8}	X_{N9}	X_{I14}
۴٫۱۵۷۹۸۲	۱	۱	۱	۱	۱

جدول ۶. نقاط تقاضای تخصیص داده شده به بنادر.

نوع بندر	نام بنادر منتخب	نام نقاط تقاضای تخصیص داده شده	تعداد مسافرت‌های دریایی تخصیص داده شده
داخلی	رامسر	رامسر، تنکابن، بندر آستارا، بندر نوشهر، بندر انزلی	۵۰۴۵۷
	فریدون‌کنار	جویبار، محمودآباد، فریدون‌کنار، بابلسر، بندر امیرآباد	۴۶۷۴۶
	بابلسر	ساری	۵۱۴۸۳
بین‌المللی	نوشهر	عباس آباد، چالوس، نوشهر، نور، بندرگز، بندر آستراخان، بندر ماخاچ قلعه، بندر باکو، بندر آکتائو	۴۴۴۲۹
	بهشهر	میان دورود، نکا، بهشهر، بندر ترکمن، بندر ترکمن باشی	۳۳۹۵۴

چنان که مشاهده می‌شود با حل مدل پوشش مطلوبیت، مکان‌های رامسر، فریدون‌کنار، و بابلسر برای احداث بنادر داخلی و مکان‌های نوشهر و بهشهر برای احداث بنادر بین‌المللی معرفی می‌شوند. مقدار بودجه‌ی مصرفی نیز معادل ۴٫۳ واحد و مطلوبیت کل معادل ۴٫۱۵۷۹۸۲ است.

۸. مدل تخصیص

۱.۸. تعیین ظرفیت متعادل بنادر منتخب

از حل مدل قبلی به این نتیجه رسیدیم که در بین مکان‌های کاندیدا، رامسر، فریدون‌کنار و بابلسر برای احداث بنادر داخلی، و نوشهر و بهشهر برای احداث بنادر بین‌المللی مسافری مناسب‌اند. حال می‌خواهیم نقاط تقاضا را به‌گونه‌یی به این بنادر تخصیص دهیم که هزینه‌ی حمل و نقل کاهش یابد. بدین‌منظور ابتدا باید ظرفیت بنادر متعادل شود بنابراین از تابع هدف مینی‌ماکس استفاده می‌کنیم تا بیشینه مقدار تخصیص داد شده به هریک از بنادر کمینه شود. تابع هدف و محدودیت‌های مربوطه عبارت‌اند از:

$$\min_y B$$

St :

$$y_{kj} \le a_{kj}$$

$$\sum_{j=1}^{n} w_j a_{kj} y_{kj} \le B \qquad \forall\, k = N1, I5, N8, N9, I14$$

$$\sum_{k=1}^{q} y_{kj} = 1 \qquad \forall j$$

$$y_{kj} \in \{0, 1\} \qquad (12)$$

ماتریس (a_{kj}) از حذف سطرهای مربوط به مکان‌های غیرمنتخب از ماتریس پوشش اولیه‌ی A به دست می‌آید. y_{kj} یک متغیر صفر و ۱ است که اگر نقطه‌ی تقاضای j به بندر جدید در مکان منتخب k تخصیص یابد مقدار آن معادل ۱ خواهد بود و در غیر این صورت، مقدار صفر خواهد داشت. w_j وزن نقطه‌ی تقاضای j است که نشان‌گر اهمیت یا مقدار تقاضای مسافرت‌های دریایی آن نقطه است. محدودیت $\sum_{j=1}^{n} w_j y_{kj} \le B$ تضمین می‌کند که تقاضای مسافرت‌های دریایی متعادل شود و بیشینه مقدار تخصیص یافته کمینه می‌شود. محدودیت‌های $y_{kj} \le a_{kj}$ و $\sum_{k=1}^{q} y_{kj} = 1$ درکنار یکدیگر تضمین‌کننده‌ی این محدودیت‌اند که هر نقطه‌ی تقاضا فقط به یکی از بنادر منتخب تخصیص داده شود. از آنجا که هدف کمینه‌کردن هزینه‌ی حمل و نقل است لذا در مرحله‌ی بعد از مدل تک‌هدفه‌ی تخصیص با تابع هدف کاهش هزینه‌ی حمل و نقل استفاده می‌شود.

از تابع هدف مینی‌ماکس مقدار B محاسبه و برابر با ۵۱۴۸۳ شد و در محدودیت مدل تک‌هدفه‌ی تخصیص قرار گرفت.

۲.۸. مدل تک‌هدفه‌ی تخصیص

تابع هدف این مدل تضمین می‌کند که با تخصیص تقاضاهای داده شده به بنادر جدید در مکان‌های منتخب هزینه‌ی حمل و نقل کمینه می‌شود. B بیشینه ظرفیت بنادر مسافری است که از تابع هدف مینی‌ماکس محاسبه و برابر با مقدار ۵۱۴۸۳ تعیین شد.

$$\min Z_2 = \sum_{j=1}^{25} t_{N1j} W_j y_{N1j} + \sum_{j=1}^{25} t_{I5j} W_j y_{I5j} + \sum_{j=1}^{25} t_{N8j} W_j y_{N8j} + \sum_{j=1}^{25} t_{I9j} W_j y_{I9j} + \sum_{j=1}^{25} t_{I14j} W_j y_{I14j}$$

St :

$$y_{kj} \le a_{kj}$$

$$\sum_{j=1}^{n} W_j y_{kj} \le 51483 \qquad \forall\, N1, I5, N8, N9, I14$$

$$\sum_{k=1}^{q} y_{kj} = 1 \qquad \forall\, j = 1, 2, ..., 25$$

$$y_{kj} \in \{0, 1\} \qquad (13)$$

نتایج حل این مدل در جدول ۶ ثبت شده است. در جدول ۶ مجموع تقاضای اختصاص داده شده به هر یک از بنادر مشاهده می‌شود. براین اساس، هر نقطه‌ی تقاضا به یک بندر منتخب تخصیص داده شده است و می‌توان تقاضای شهر بابلسر را به خود بابلسر اختصاص داد و میزان ۱۲۳۸۵ تقاضای شهر ساری را به فریدون‌کنار و میزان ۳۹۰۹۸ باقی تقاضای ساری را به بابلسر اختصاص داد. تحت این شرایط تابع هدف بدون تغییر باقی می‌ماند اما جواب مسئله کاربردی‌تر خواهد بود.

۹. تحلیل حساسیت

تحلیل حساسیت به تصمیم‌گیرندگان کمک می‌کند تا با شناسایی پارامترهای حساس مدل، نهایتاً تصمیم صحیح‌تری درخصوص مسئله‌ی مورد بررسی اتخاذ کنند. در این

تحقیق تحلیل حساسیت روی دو پارامتر مهم انجام شده است: ۱. شعاع پوشش هر بندر؛ ۲. بودجه‌ی در اختیار.

۱.۹. مدل پوشش مجموعه

شعاع پوشش یک بندر مقدار از پیش تعیین‌شده‌یی نیست و دولت می‌تواند براساس امکاناتی که در اختیار دارد شعاع پوشش یک بندر را تغییر دهد. به‌طور مثال دولت می‌تواند با برقراری امکانات حمل و نقل خاص از شهرها و روستاها به بنادر، شعاع پوشش یک بندر را افزایش دهد تا بدین طریق با تعداد بنادر کم‌تری تقاضای موجود را پاسخ‌گو باشد.

در جدول ۷ جواب‌های مدل پوشش مجموعه به‌ازای مقادیر متفاوت شعاع پوشش نشان داده شده است. چنان که استنباط می‌شود، هرچه مقدار شعاع پوشش افزایش یابد نقاط تقاضای بیشتری در محدوده‌ی شعاع پوشش قرار می‌گیرد و لذا تعداد مکان‌های کم‌تری برای احداث بنادر مسافری انتخاب می‌شود و هزینه‌ی احداث بنادر جدید کاهش می‌یابد.

۲.۹. مدل پوشش مطلوبیت

مطابق داده‌های جدول ۴، هریک از نقاط کاندیدا از مطلوبیت مشخصی برخوردار است که این مطلوبیت براساس ۱۸ معیار درج شده در جدول ۱، و با استفاده از روش تاپسیس تعیین شده است. در صورتی که بودجه‌ی در اختیار برای احداث بنادر افزایش یابد می‌توان انتظار داشت که مدل پوشش مطلوبیت، نقاط مطلوب‌تری را برای احداث بنادر پیشنهاد دهد. حال دولت می‌تواند با تعیین بودجه‌ی مناسب، مطلوبیت بنادر را مجموعاً در مقدار مطلوبی قرار دهد و مکان‌های مناسب‌تری انتخاب شود. در جدول ۸ مقدار افزایش مطلوبیت با افزایش مقدار بودجه نشان داده شده است.

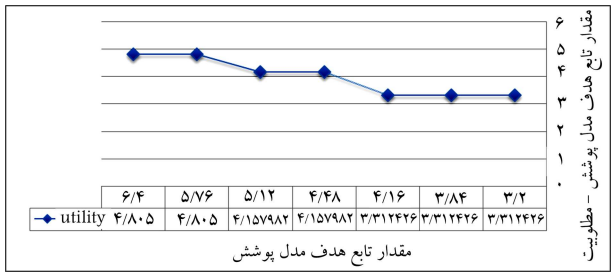
در نمودار ۱ نحوه‌ی تغییر مقدار تابع هدف مربوط به بیشینه‌کردن مطلوبیت نسبت به تغییر مقدار تابع هدف مدل پوشش نشان داده شده است. براین اساس با افزایش بودجه برای احداث بندر، مکان‌های با مطلوبیت بالا برای احداث بندر انتخاب شده است و لذا تابع هدف مطلوبیت افزایش می‌یابد. به‌تعبیر دیگر هرچه مکان‌های مطلوب‌تری برای احداث بندر انتخاب شود هزینه‌ی بیشتری مورد نیاز است. تصمیم‌گیران با توجه به نمودار مذکور و در نظرگرفتن شرایط و اقتضائات حاکم، می‌توانند نقطه‌ی برتر را برای احداث بنادر مسافری انتخاب کنند.

جدول ۷. خلاصه نتایج حاصل از نرم‌افزار.

X_i	هزینه (تابع هدف)	R (شعاع پوشش)
$X_{N۱}=۱$ $X_{I۵}=۱$ $X_{N۸}=۱$ $X_{I۱۴}=۱$	۳٫۲	۵۰
$X_{I۱}=۱$ $X_{I۹}=۱$	۳	۱۰۰
$X_{I۱}=۱$ $X_{I۹}=۱$	۳	۱۵۰

جدول ۸. نتایج مدل پوشش مطلوبیت با مقادیر مختلف بودجه.

X_i	مطلوبیت	بودجه	درصد افزایش بودجه
$X_{N۱}=۱$ $X_{I۵}=۱$ $X_{N۸}=۱$ $X_{I۱۴}=۱$	۳٫۳۱۲۴۲۶	۳٫۲	۰
$X_{N۱}=۱$ $X_{I۵}=۱$ $X_{N۸}=۱$ $X_{I۱۴}=۱$	۳٫۳۱۲۴۲۶	۳٫۸۴	۲۰
$X_{N۱}=۱$ $X_{I۵}=۱$ $X_{N۸}=۱$ $X_{I۱۴}=۱$	۳٫۳۱۲۴۲۶	۴٫۱۶	۳۰
$X_{N۱}=۱$ $X_{I۵}=۱$ $X_{N۸}=۱$ $X_{N۹}=۱$ $X_{I۱۴}=۱$	۴٫۱۵۷۹۸۲	۴٫۴۸	۴۰
$X_{N۱}=۱$ $X_{I۵}=۱$ $X_{N۸}=۱$ $X_{N۹}=۱$ $X_{I۱۴}=۱$	۴٫۱۵۷۹۸۲	۵٫۱۲	۶۰
$X_{N۱}=۱$ $X_{I۵}=۱$ $X_{N۸}=۱$ $X_{N۹}=۱$ $X_{N۱۱}=۱$ $X_{I۱۴}=۱$	۴٫۸۰۵	۵٫۷۶	۸۰
$X_{N۱}=۱$ $X_{I۵}=۱$ $X_{N۸}=۱$ $X_{N۹}=۱$ $X_{N۱۱}=۱$ $X_{I۱۴}=۱$	۴٫۸۰۵	۶٫۴	۱۰۰



نمودار ۱. تعامل تابع هزینه و مطلوبیت.

۱۰. نتیجه‌گیری

در این تحقیق براساس یک روش ترکیبی متشکل از تاپسیس فازی، پوشش مجموعه و پوشش مطلوبیت، یکی از موضوعات بسیار کاربردی درخصوص انتخاب بنادر در استان مازندران بررسی شد. براساس نتایج حاصل از مدل فوق مکان‌های رامسر، فریدون‌کنار و بابلسر برای احداث بندر داخلی و مکان‌های نوشهر و بهشهر برای احداث بندر بین‌المللی انتخاب شد. با انتخاب این گزینه‌ها، ضمن رعایت محدودیت‌های پوشش کل تقاضا و بودجه، تابع مطلوبیت مناطق انتخابی متشکل از ۱۸ معیار بیشینه می‌شود. سپس با هدف کاهش هزینه‌ی حمل و نقل، نقاط تقاضای مسافرت‌های دریایی به بنادر جدید در مکان‌های منتخب تخصیص داده شد. نکته‌ی جالب توجه این است که نتیجه‌ی حاصل از این تحقیق مورد تأیید اکثر خبرگان قرار گرفت. با توجه به کاربردی بودن موضوع تحقیق، نتایج آن را می‌توان در بخش دولتی و غیر دولتی برای توسعه‌ی حمل و نقل دریایی مورد استفاده قرار داد. از همین الگو نیز می‌توان برای تعیین مکان‌های مناسب احداث بنادر در سایر استان‌های شمالی و استان‌های جنوبی کشور استفاده کرد.

پیشنهادات آتی

۱. در نظرگرفتن محدودیت بودجه و استفاده از مدل بیشینه پوشش به جای مدل پوشش مجموعه.

۲. در این تحقیق فقط یک دوره در نظرگرفته شده است می‌توان آن را چنددوره‌یی و برای برنامه‌های ۵ ساله‌ی توسعه‌ی کشور در نظر گرفت. در مدل چنددوره‌یی منافع حاصل از هر دوره را می‌توان در دوره‌ی آتی برای توسعه‌ی بنادر استفاده کرد.

۳. برای رسیدن به یک مقصد، شناورهای دریایی می‌توانند از مسیرهای مختلفی استفاده کنند. از این رو تصمیم توأمان درخصوص محل احداث بنادر و مسیر حرکت شناورها بین بنادر می‌تواند موضوع مهمی برای تحقیقات آتی باشد که در ادبیات این نوع مسائل تحت عنوان مسائل مکان‌یابی - مسیریابی [8] شناخته می‌شود.

۴. در این نوشتار مسئله‌ی مکان‌یابی و تخصیص به‌صورت دومرحله‌یی مورد بررسی قرار گرفت. مدل‌سازی یک‌پارچه‌ی این دو مسئله توصیه می‌شود.

۵. در این نوشتار به‌علت دسترسی محدود به اطلاعات، شهرستان‌های دارای نوار ساحلی به‌عنوان گره‌های کاندیدا برای احداث بنادر مسافری در نظر گرفته شد. انجام مطالعات مکان‌یابی جزئی در هریک از شهرستان‌های انتخاب شده مفید خواهد بود.

پانوشت‌ها

1. technique for order preference by similarity to ideal solution (TOPSIS)
2. concordance analysis
3. constructing the normalized fuzzy decision matrix (NFDM)
4. constructing the weighted normalized fuzzy decision matrix (WNFDM)
5. coefficient of closeness (CC)

۶. بندر داخلی بندری است که صرفاً برای سفرهای دریایی بین سواحل کشور مورد استفاده قرار می‌گیرد.

۷. بندر بین‌المللی بندری است که علاوه بر سفرهای دریایی داخلی برای سفرهای بین‌المللی مورد استفاده قرار می‌گیرد.

8. location routing problem (LRP)

منابع (References)

1. Akbari Jokar, M.R. "Roadmap maritime passenger transportation in 1404 Hijri Shamsi", Report, Sharif University of Technology, Tehran, Submitted to Port and Maritime Organization (2012).
2. Gharib, F. "Sustainability criteria for coastal areas of the Caspian Sea", *Journal of Fine Art Magazine,* **13**, pp. 40-51 (2003).
3. Ferguson, K.I. and Bashman, P.E. "Unified facilities criteria (ufc) design: piers and wharves", Report, U.S. Army Corps of Engineering., Naval Facilities Engineering Command and Air Force Civil Engineering Support Agency, USA, Department of Defense (2005).
4. Malchow, M.B. and Kanafani, A. "A disaggregate analysis of port selection", *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, **40**, pp. 317-337 (2004).
5. Alfred, C., *Bell Bay Pulp Mill Wharf Facility Conceptual Design Study*, Sydney: Maunsell Australia (2005).
6. Hasanzadeh, M., Danehkar, A. and Azizi, M. "The application of analytical network process to environmental prioritizing criteria for coastal oil jetties site selection in Persian Gulf coasts (Iran)", *Ocean & Coastal Management*, **73**, pp. 136-144 (2013).
7. Shahbazi, M.J. and Fatahi Ardekani, M. "Location of the new port in the south coast", *6th International Con-*

ference on Coasts- Ports and Marine Structures, Tehran, Iran (29 November-2 December 2004).

8. Dubis, D. and Prade, H. "Operations on fuzzy numbers", *International Journal of Systems Science*, **9**, pp. 613-626 (1978).
9. Kaufmann, A. and Gupta, M.M., *Introduction to Fuzzy Arithmetic: Theory and Applications*, New York: Van Nostrand Reinhold Company (1985).
10. Lee, E.S. and Li, R.J. "Comparison of fuzzy numbers based on the probability measure of fuzzy events", *Computer Mathematics Application,* **15**, pp. 887-896 (1988).
11. Chu, T.C. "Facility location selection using fuzzy TOPSIS under group decisions", *International Journal of Uncertainty*, **10**, pp. 687-701 (2002).
12. Cho, C.J. "An equity efficiency trade-of model for the optimum location of medical care facilities Pergamon", *Socio-Economic Planning Sciences*, **32**, pp. 99-112 (1998).
13. Van Laarhoven, P.J.M. and Pedrycz, W. "A fuzzy extension of Satty'spriority theory", *Fuzzy Sets and Systems,* **11**, pp. 229-241 (1983).
14. Wang, Y.M. and Elhag, T. "Fuzzy TOPSIS method based on alpha level sets with an application to bridge risk assessment", *Expert Systems with Applications,* **31**, pp. 309-319 (2006).
15. Bashiri, M. and Hoseinijo, S.A., *Facility Planning*, Publishing Center Research Deputy Shahed University, Tehran: Shahed University (2008).
16. Bashiri, M., Hejazi, T.H. and Mohtajeb, H., *A New Approach to Multi-Criteria Decision Making*, Tehran: Shahed University (2011).
17. Chen, C.T. "Extensions of the TOPSIS for group decision-making under fuzzy environment", *Fuzzy Sets and Systems*, **114**, pp. 1-9 (2000).