

ارائه مدل تصمیم‌گیری چندمعیاره جهت مکان‌یابی

بندر هاب^۱

(مطالعه موردی: صنعت کشتیرانی ایران)

امیر ذبیحی

محسن قره‌خانی

چکیده

مسئله مکان‌یابی هاب در چند سال اخیر به یکی از مسائل محبوب و مهم در ارتباطات و حمل و نقل و سائل نقلیه زمینی، هوایی و به ویژه حمل و نقل دریایی تبدیل شده است. تمرکز اصلی این مقاله بر انتخاب بندر بعنوان هاب برای بنادر کانتینری است. شرکت‌های کشتیرانی در کنار محاسبه هزینه‌های مسافت و عملیاتی، شرایط کیفی را نیز برای مکان‌یابی هاب در نظر می‌گیرند. سپس مناسب‌ترین مکان را بعنوان بندر هاب کانتینری را انتخاب می‌کنند. معیارهای کمی و کیفی زیادی در انتخاب مناسب‌ترین بندر بعنوان هاب نقش دارند. در این مقاله، دو مدل تصمیم‌گیری چندمعیاره برای ارزیابی و انتخاب بندر هاب در صنعت کشتیرانی ارائه شده است. در نهایت، عملکرد هر یک از روش‌های ارائه شده با یک مطالعه موردی مکان‌یابی هاب در بندرهای ناحیه جنوب ایران شامل: بندر عباس، امام، بوشهر، خرمشهر، چابهار و عسلویه مورد ارزیابی قرار گرفته و نتایج حاصل از هر دو روش مقایسه می‌شود.

واژگان کلیدی: انتخاب مکان، بندر هاب، تصمیم‌گیری چندمعیاره، فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی

مقدمه

مسئله مکان‌یابی هاب یک حوزه تحقیقاتی جدید در تئوری مکان‌یابی است که اخیراً توسط تعداد زیادی از مقالات مورد توجه قرار گرفته است. مسئله مکان‌یابی هاب با در نظر گرفتن بعضی از گره‌ها بعنوان هاب، بصورت همزمان سعی در ارضای تقاضای گره‌ها و بهینه‌سازی تابع هدف دارد. تابع هدف می‌تواند هزینه، زمان، میزان جابجایی و غیره باشد (فراهانی، ۲۰۰۹).

انتخاب محل هاب یکی از مهمترین مسائل تصمیم‌گیری برای سازمان‌های دولتی و صنعتی است. تاکنون روش‌های بسیاری برای انتخاب مناسب‌ترین گره هاب توسعه یافته است. در گذشته، برخی از محققان با استفاده از روش تحلیل راهبردی^۱ یا روش‌های برنامه‌ریزی ریاضی به رتبه‌بندی و انتخاب یک بندر بعنوان هاب پرداخته‌اند. اما تعداد کمی از آن‌ها از روش تصمیم‌گیری چندمعیاره برای انتخاب بندر بعنوان هاب استفاده کرده‌اند. هدف از این مقاله ارائه یک روش تصمیم‌گیری چندمعیاره برای ارزیابی و انتخاب یک بندر بعنوان هاب است.

ساختار این مقاله بصورت زیر است: در قسمت بعدی به مرور ادبیات مقالات موجود در این حوزه می‌پردازیم. در قسمت روش‌شناسی پژوهش، مختصری در مورد تکنیک‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره مورد استفاده در این مقاله ارائه می‌شود و در آخر برای تأیید کاربرد مدل تصمیم‌گیری چندمعیاره ارائه شده، یک مطالعه موردی مکان‌یابی هاب در بنادر جنوب ایران، شامل: بندر عباس، امام، عسلویه، بوشهر و چابهار و خرمشهر ارائه شده است.

پیشینه پژوهش

شبکه هاب - اسپاک بطور گسترده در حمل و نقل بین‌المللی کسب و کار استفاده می‌شود. بطوری که افزایش در اندازه کشتی‌های کانتینری منجر به استفاده از ساختار هاب و اسپاک در شبکه کشتیرانی جهانی شده است. استفاده از این ساختار به این دلیل است که فقط چند خط تجاری بزرگ دارای تقاضای کافی برای استفاده از کشتی‌های بسیار بزرگ وجود دارند. از آنجا که کشتی‌های بسیار بزرگ به دلیل نیاز به عمق زیاد اسکله جهت پهلوگیری، فقط در اسکله‌های معدودی از بنادر می‌توانند پهلو بگیرند، برای حمل کانتینرها طبیعی است که از یک ساختار شبکه هاب - اسپاک بمنظور بهره‌گیری از اقتصاد مقیاس، با مترکم کردن تقاضاها از بنادر و خطوط کوچک، انتخاب شود. در نتیجه تقاضا برای عملیات انتقال^۳ افزایش می‌یابد (لی، ۲۰۱۱). در حال حاضر کشتی‌های پست - پاناما کس^۴ با ظرفیت 5000-12000 TEU و بالاتر، برای اغلب خطوط تجاری بکار گرفته می‌شوند (ماهونی، ۲۰۰۴).

در مورد کاربرد انواع روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره در مکان‌یابی هاب تحقیقات زیادی انجام شده است. فاکتورهای مؤثر زیادی برای انتخاب بندر بعنوان هاب در نظر گرفته می‌شود. هایووث (۱۹۹۴) معیارهایی چون (۱) مکان جغرافیایی بندر (۲) کیفیت عملیات تخلیه و بارگیری (۳) زیرساخت و تجهیزات و (۴) امکان تعامل اطلاعاتی^۵ را برای انتخاب مناسب‌ترین بندر بعنوان هاب بکار برده است. برین (۱۹۸۵) ۱۱ معیار (۱) ایمنی بندر (۲) مساحت بندر (۳) نرخ حمل و نقل چند وجهی^۶ (۴) هزینه‌های بندری (۵) تسهیلات گمرکی (۶) میزان معطلی جهت تخلیه و بارگیری (۷) میزان تردد کشتی^۷ (۸) تجهیزات تخلیه و بارگیری (۹) امکانات فیدری (۱۰) نزدیکی بندر مناطق آزاد (۱۱) امکانات حوزه فناوری اطلاعات (۱۲) امکان پهلوگیری انواع کشتی را برای انتخاب بندر در نظر گرفته است.

3 Transshipment

4 Post-Panamax

5 Electronic Data Interchange (EDI)

6 Multi-modal carriage

7 Ship Call

جیمز و گیل (۱۹۹۸) بیان می کنند که فراوانی و تنوع خدمات کشتیرانی دلیل اصلی برای انتخاب یک بندر در جابجایی کالا است. مسائلی چون مدت زمان سفر و نیروی کار در بنادر، نگرانی عمده ارسال کالاها است. تامسون (۱۹۹۸) دریافت که فاکتورهای کلیدی موفقیت بندر شامل (۱) مدت زمان پهلوگیری کشتی در بندر (۲) نرخ بارگیری/تخلیه (۳) تعداد اسکله‌های دارای آب‌خور بالای در دسترس (۴) حجم تخلیه و بارگیری کانتینری (۵) تجهیزات بندری (۶) اتصال بندر به بازار مشتریان و (۷) میزان ساعت کاری بندر هستند.

استرنبرگ (۲۰۰۰) فاکتورهای کلیدی موفقیت بندرهای گیو تارو^۸ در انتخاب شدن بعنوان بندر هاب در مدیترانه را (۱) مکان جغرافیایی عالی (۲) دارا بودن اپراتورهای متنوع کشتیرانی (۳) سهولت فرآیندهای عملیاتی (۴) میزان سرمایه‌گذاری بخش‌های خصوصی و دولتی در زیرساخت‌ها و تجهیزات (۵) کسب و کارهای مربوط به عملیات بر می‌شمارد.

ارنست (۲۰۰۱) بیان می کند که برای دستیابی به حمل و نقل دریایی در مقیاس بزرگ‌تر نیاز به (۱) افزایش تنوع خدمات (۲) تقویت اتصال بین کشتیرانی و خطوط حمل داخلی (۳) مدیریت بهینه فضای کشتی‌ها (۴) بهره‌گیری مؤثر از کشتی‌های فیدری، (۵) افزایش حجم ترمینال‌های کانتینری می‌باشد.

چو (۲۰۰۷) پنج بعد مهم دیگر را برای ارزیابی و انتخاب مناسب‌ترین بندر بعنوان هاب ارائه می‌دهد. معیارهای در نظر گرفته شده عبارتند از: (۱) مکان بندر (۲) اقتصاد منطقه (۳) تجهیزات بندری (۴) میزان بازدهی (۵) هزینه‌های بندری.

کائو و چو (۲۰۰۰) یک مدل تصمیم‌گیری برای انتخاب بنادر کانتینری ارائه می‌دهد و با استفاده از روش برنامه‌ریزی ریاضی به حل آن می‌پردازد. چو و همکاران (۲۰۰۳) در مورد برخی از فاکتورهای مؤثر در انتخاب بندر بعنوان هاب بحث می‌کند و با استفاده از برنامه‌ریزی ریاضی یک مدل توسعه یافته حمل و نقل با تقاضای چند بخشی^۹ را برای بنادر بین‌المللی حل می‌کند. چو و همکاران (۲۰۰۳) برخی از فاکتورهای مؤثر در انتخاب بندر بعنوان هاب را ارائه می‌دهند. سپس نتایج بدست آمده را با نتایج مدل انتخاب بندر

استکلبرگ^{۱۰} و مدل انتخاب بندر تعادل^{۱۱} مقایسه می‌کند. آن‌ها دریافته‌اند که فاکتورهای مؤثر در انتخاب بنادر کانتینری شناورهای اقیانوس‌پیمای آسیایی-آمریکایی با فاکتورهای مؤثر در انتخاب بنادر کانتینری برای بخش درون آسیا متفاوت هستند.

مالکو و کانافانی (۲۰۰۴) از یک گزینه از مدل انتخاب گسسته^{۱۲} برای تحلیل توزیع محموله‌های دریایی در بین بنادر آمریکا استفاده کرده‌اند. مدل توزیع بصورت تابعی است از ویژگی‌هایی که هر محموله و بندر را شرح می‌دهد. در آخر نیز به این نتیجه رسیدند که مکان بندر مهمترین ویژگی مؤثر در انتخاب بندر بعنوان هاب است.

بیرد (۲۰۰۶) یک متدولوژی تحقیق ویژه را برای ارزیابی و مقایسه مکان بندر در یک ناحیه مشخص بعنوان محل بهینه برای فعالیت‌های انتقال کانتینرهای بین‌المللی ارائه می‌دهد. تمرکز اصلی او روی مکان‌یابی هاب برای انتقال کانتینرها در شمال اروپا است. فاصله حمل و نقل و هزینه تخلیه و بارگیری تخصیص یافته برای مکان‌های هاب موجود محاسبه می‌شود و با یک مکان جدید در ناحیه مقایسه می‌شود.

دهلبرگ و می (۱۹۸۰) با استفاده از روش سیمپلکس، مکان بهینه تجهیزات انرژی را شناسایی کردند. تامکین و وایت (۱۹۸۴) با استفاده از تئوری ارجحیت، روشی برای تخصیص وزن به فاکتورهای درونی با ساختن همه مقایسات زوجی ممکن بین فاکتورها معرفی کرده‌اند. اسپوهرر و کماک (۱۹۸۴) یک روش تحلیل وزن فاکتور را برای یکپارچه‌سازی اطلاعات کمی و رتبه‌بندی کیفی برای انتخاب محل واحدهای صنعتی از میان تعداد زیادی از گزینه‌ها ارائه می‌دهد.

استیونسون (۱۹۹۳) یک روش هزینه - حجم را برای انتخاب بهترین مکان برای واحدهای صنعتی ارائه می‌دهد. همه روش‌های فوق بر اساس مفهوم اندازه‌گیری دقیق و ارزیابی قطعی است. روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره (MCDM) برای یک مسئله رتبه‌بندی و انتخاب مکان با چندین معیار بکار می‌روند (ریتولد، ۱۹۹۲؛ هوانگ، ۱۹۸۱). در

10 Stackelberg

11 Equilibrium

12 Discrete choice model

این بین روش تحلیل سلسله‌مراتبی با بهره‌گیری از مقایسات زوجی و نظرات خبرگان به وزن‌دهی معیارها و رتبه‌بندی گزینه‌ها می‌پردازد. جدول ۱ خلاصه‌ای از مطالعات صورت گرفته در این حوزه را نشان می‌دهد.

در این مقاله با فرض استقلال معیارها و نبود اثر متقابل بین آن‌ها، معیارهای موجود در مرور ادبیات را خلاصه کرده و سپس با ایجاد ساختار سلسله‌مراتبی و بهره‌گیری از فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی به ارزیابی و رتبه‌بندی مناسب‌ترین بندر بعنوان هاب از بین بنادر جنوب ایران می‌پردازیم.

جدول ۱: خلاصه‌ای از مرور ادبیات

نویسنده	شرح
هایوث (۱۹۹۴)	معیارهای زیر را برای انتخاب بندر بعنوان هاب در نظر گرفته است: (۱) مکان جغرافیایی بندر (۲) کیفیت عملیات تخلیه و بارگیری (۳) زیرساخت و تجهیزات (۴) امکان تعامل اطلاعاتی را برای انتخاب مناسب‌ترین بندر بعنوان هاب بکار برده است. برین (۱۹۸۵) ۱۱ معیار زیر را برای انتخاب بندر در نظر گرفته است: (۱) ایمنی بندر (۲) مساحت بندر (۳) نرخ حمل و نقل چندوجهی (۴) هزینه‌های بندری (۵) تسهیلات گمرکی (۶) میزان معطلی جهت تخلیه و بارگیری (۷) میزان تردد کشتی (۸) تجهیزات تخلیه و بارگیری (۹) امکانات بندری (۱۰) نزدیکی بندر مناطق آزاد (۱۱) امکانات حوزه فناوری اطلاعات (۱۲) امکان پهلوگیری انواع کشتی
تامسون (۱۹۹۸)	فاکتورهای کلیدی موفقیت بندر شامل: (۱) مدت زمان پهلوگیری کشتی در بندر (۲) نرخ بارگیری/تخلیه (۳) تعداد اسکله‌های دارای آب‌خور بالای در دسترس (۴) حجم تخلیه و بارگیری کانتینری (۵) تجهیزات بندری (۶) اتصال بندر به بازار مشتریان و (۷) میزان ساعت کاری بندر
چو (۲۰۰۷)	معیارهای در نظر گرفته شده عبارتند از: (۱) مکان بندر (۲) اقتصاد منطقه (۳) تجهیزات بندری (۴) میزان بازدهی (۵) هزینه‌های بندری
بیرد (۲۰۰۶)	محاسبه فاصله حمل و نقل و هزینه تخلیه و بارگیری تخصیص یافته برای مکان‌های هاب موجود و مقایسه آن‌ها با یک مکان جدید در ناحیه
مالکو و کانافانی (۲۰۰۴)	استفاده از مدل انتخاب گسسته برای تحلیل کردن توزیع محموله‌های دریایی در بین بنادر آمریکا
کانو و چو (۲۰۰۰)	ارائه یک مدل تصمیم‌گیری برای انتخاب بنادر کانتینری با استفاده از روش برنامه‌ریزی ریاضی

نویسنده	شرح
چو (۲۰۰۹)	ارائه یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی برای انتخاب بندر با در نظر گرفتن هزینه اجاره و فراوانی تعداد تقاضا برای کشتی
استرنبرگ (۲۰۰۰)	فاکتورهای کلیدی موفقیت در انتخاب شدن بعنوان بندر هاب عبارتند از: (۱) مکان جغرافیایی عالی (۲) دارا بودن اپراتورهای متنوع کشتیرانی (۳) سهولت فرآیندهای عملیاتی (۴) میزان سرمایه‌گذاری بخش‌های خصوصی و دولتی در زیرساخت‌ها و تجهیزات (۵) کسب و کارهای مربوط به عملیات

روش‌شناسی پژوهش

فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی

فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی یکی از معروف‌ترین فنون تصمیم‌گیری چندمنظوره است که اولین بار توسط توماس. ال. ساعتی در دهه ۱۶۷۰ ابداع شد. این روش هنگامی که عمل تصمیم‌گیری با چند گزینه رقیب و معیار تصمیم‌گیری روبرو است مورد استفاده قرار می‌گیرد. معیارهای مطرح شده می‌توانند کمی و کیفی باشند. اساس این روش تصمیم‌گیری براساس مقایسات زوجی نهفته است. تصمیم‌گیرنده با فراهم آوردن درخت سلسله‌مراتب تصمیم، کار را آغاز می‌کند. درخت سلسله‌مراتب تصمیم، عوامل مورد مقایسه و گزینه‌های رقیب مورد ارزیابی در تصمیم را نشان می‌دهد. سپس مجموعه‌ای از مقایسات زوجی انجام می‌گیرد. این مقایسات وزن هر یک از فاکتورها را در راستای گزینه‌های رقیب مشخص می‌سازد. در نهایت منطق روش به گونه‌ای ماتریس‌های حاصل از مقایسات زوجی را با همدیگر تلفیق می‌سازد که تصمیم‌بینه حاصل آید. در ادامه خلاصه‌ای از گام‌های فرآیند سلسله‌مراتبی ارائه شده است. برای مطالعه بیشتر و دقیق مراحل روش سلسله‌مراتبی می‌توانید به ساعتی (۱۹۸۰) مراجعه کنید.

گام اول: رسم درخت سلسله‌مراتبی: درک یک مسئله در حالت کلی برای انسان دشوار است و ممکن است ابعاد مختلف و مهم مسئله مورد توجه قرار نگیرد. از این رو، تجزیه یک مسئله کلی به چندین مسئله جزئی‌تر، در درک مسئله بسیار کارساز است.

گام دوم: مقایسات زوجی سنگ بنای فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی است. برای این کار باید از خط‌کشی برای اندازه‌گیری و تبدیل داده‌های کیفی به کمی استفاده کرد.

جدول ۲ مقیاس‌های کاربردی در مقایسات زوجی را نشان می‌دهد.

جدول ۲: مقیاس‌های بکار رفته در مقایسات زوجی

مقدار عددی	درجه اهمیت در مقایسه دو به دو
۱	یکسان
۲	یکسان تا نسبتاً بیشتر
۳	نسبتاً بیشتر یا ضعیف
۴	نسبتاً بیشتر تا بیشتر
۵	بیشتر یا قوی
۶	بیشتر تا خیلی بیشتر
۷	خیلی بیشتر یا خیلی قوی
۸	خیلی بیشتر تا خیلی، خیلی بیشتر
۹	خیلی، خیلی بیشتر یا کاملاً مرجح

گام سوم: نرخ سازگاری مکانیزی است که سازگاری مقایسات را مشخص می‌کند. این مکانیزم نشان می‌دهد که تا چه اندازه می‌توان به اولویت‌های حاصل از اعضای گروه یا جدول‌های ترکیبی اعتماد کرد. تجربه نشان داده است که اگر نرخ سازگاری، کمتر از ۰/۱ باشد، می‌توان سازگاری مقایسات را پذیرفت. در غیر این صورت، مقایسات باید مجدداً انجام گیرد. محاسبه نرخ سازگاری ماتریس‌های مقایسه‌ای در صورتی که تعداد پرسش‌شوندگان بیش از یک نفر باشد براساس میانگین هندسی پاسخ پرسش‌شوندگان صورت خواهد گرفت. برای محاسبه نرخ سازگاری باید بردار مجموعه وزنی، بردار سازگاری، میانگین بردار سازگاری (λ_{max})، شاخص سازگاری (CT)، شاخص تصادفی (RI) و نرخ ناسازگاری (CR) به ترتیب محاسبه شوند. جدول ۳ مقادیر شاخص تصادفی را به ازای تعدادهای مختلف گزینه‌های مورد مقایسه نشان می‌دهد.

جدول ۳: مقادیر شاخص تصادفی

N	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰
RI	۰	۰	۰/۵۸	۰/۹	۱/۱۲	۱/۲۴	۱/۳۲	۱/۴۱	۱/۴۵	۱/۴۹

گام چهارم: در این مرحله، امتیاز نهایی هر یک از گزینه‌ها تعیین می‌شود. هر چند که روش‌های گوناگونی برای محاسبه وزن معیارها وجود دارند، اما از مهمترین آن‌ها می‌توان به ۱- روش حداقل مربعات ۲- روش حداقل مربعات لگاریتمی ۳- روش بردار ویژه ۴-

روش‌های تقریبی اشاره کرد رابطه ۱ با در نظر گرفتن وزن‌ها در تمام سطوح درخت تصمیم، اولویت را مشخص می‌کند.

$$V_H = \sum_{k=1}^n W_k (g_{ij}) \quad (\text{رابطه ۱})$$

که در آن V_H وزن نهایی گزینه H ، W_k وزن معیار و g_{ij} امتیاز گزینه i از منظر معیار z_j را نشان می‌دهند. در آخر بر اساس وزن نهایی بدست آمده از رابطه ۳ گزینه‌ها رتبه‌بندی می‌شوند.

روش تاپسیس

تکنیک تاپسیس از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره است که می‌توان از آن برای رتبه‌بندی و مقایسه گزینه‌های مختلف و انتخاب بهترین گزینه و تعیین عوامل بین گزینه‌ها و گروه‌بندی آن‌ها استفاده کرد. از مزیت‌های شاخص این روش آن است که معیارها یا شاخص‌های بکار رفته برای مقایسه می‌توانند واحدهای سنجش متفاوت و طبیعت مثبت و منفی داشته باشند. بعبارت دیگر، می‌توان از شاخص‌های منفی و مثبت به شکل ترکیبی در این تکنیک استفاده کرد. فرایند تاپسیس شامل شش مرحله کلی به شرح زیر است:

۱. کمی و بی‌مقیاس‌سازی ماتریس تصمیم (N) که بر اساس معیارها و گزینه‌های موجود تشکیل می‌شود و درایه‌های آن نشان‌دهنده اولویت‌های گزینه‌ها بر اساس معیارهای موجودند؛

۲. بدست آوردن ماتریس بی‌مقیاس موزون (V) با ضرب ماتریس بی‌مقیاس شده (N) در مقیاس قطری وزن‌ها؛

۳. تعیین راه‌حل ایده‌آل منفی و مثبت که بصورت رابطه (۲) تعریف می‌شوند:

$$\begin{aligned} & \text{برای معیارهایی که بار مثبت دارند ایده‌آل مثبت بزرگ‌ترین مقدار آن معیار است. } (V_j^+) \\ & \text{برای معیارهایی که بار مثبت دارند ایده‌آل منفی کوچک‌ترین مقدار آن معیار است. } (V_j^-) \\ & \text{برای معیارهایی که بار منفی دارند ایده‌آل مثبت کوچک‌ترین مقدار آن معیار است. } (V_j^+) \\ & \text{برای معیارهایی که بار منفی دارند ایده‌آل منفی بزرگ‌ترین مقدار آن معیار است. } (V_j^-) \end{aligned} \quad (\text{رابطه ۲})$$

۴. بدست آوردن میزان فاصله از ایده‌آل‌های مثبت و منفی، که برای این منظور می‌توان از فاصله اقلیدسی یا متعامد استفاده کرد. در این میان، فاصله اقلیدسی عمومیت بالاتری دارد و در رابطه ۳ نمایش داده می‌شود.

$$d_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^+)^2}$$

رابطه (۳)

$$d_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^-)^2}$$

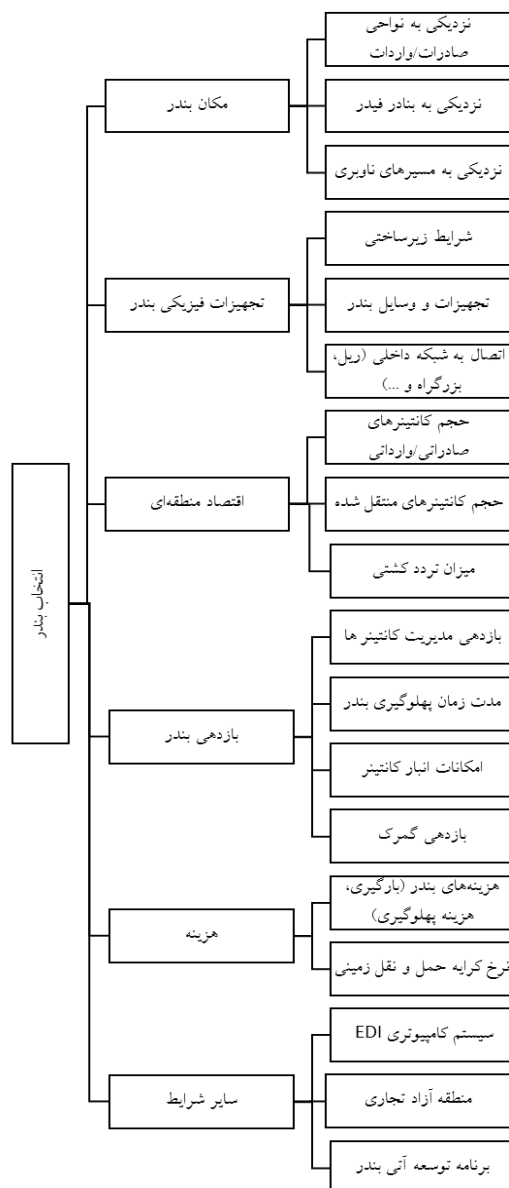
۵. تعیین ضرایب نزدیکی (C_i^*) گزینه به راه حل ایده آل؛

$$C_i^* = \frac{d_i^-}{d_i^- + d_i^+}$$

رابطه (۴)

۶. رتبه بندی گزینه ها بر اساس مقادیر C_i^*

یافته‌های پژوهش



معیارهای بکار رفته برای انتخاب مناسب‌ترین بندر بعنوان هاب و ساختار



شکل ۱ ارائه شده است. برای بدست آوردن مقایسات زوجی بین معیارها و گزینه‌ها و ماتریس تصمیم نیز پرسشنامه‌ای طراحی و برای ۵ نفر از مدیران داخلی شرکت حمل و

نقل دریایی ایران ارسال شد. جدول ۴ و جدول ۵ به ترتیب مقایسات زوجی خبره ۱ را برای مقایسات زوجی بین معیارهای اصلی و بازدهی بندر را نشان می‌دهد. به دلیل دقت در محاسبات ما از نرم‌افزار تخصصی روش تحلیل سلسله‌مراتبی با نام Expert Choice استفاده کرده‌ایم. پس از محاسبه وزن معیارها، کلیه محاسبات روش تاپسیس از نرم‌افزار Excel استفاده شده است.

جدول ۴: جدول مقایسات زوجی معیارها با توجه به انتخاب بندر (خبره ۱)

سایر شرایط	هزینه	بازدهی بندر	تجهیزات بندر	اقتصاد منطقه ای	مکان بندر
۱	۰/۵	۴	۴	۳	۱
۰/۵	۱	۳	۳	۰/۳۳	اقتصاد منطقه ای
۰/۵	۲	۱	۱	۰/۲۵	تجهیزات بندر
۰/۵	۱	۱	۱	۰/۲۵	بازدهی بندر
۰/۵	۱	۱	۰/۶۶	۲	هزینه
۱	۲	۲	۲	۱	سایر شرایط

نرخ ناسازگاری: ۰/۱

با توجه به موقعیت جغرافیایی ایران و ارتباط این کشور با آب‌های آزاد از طریق بنادر جنوب کشور، اکثر حمل و نقل‌های تجاری دریایی ایران از بنادر جنوب کشور صورت می‌گیرد. لذا گزینه‌های مطرح شده در این پژوهش شامل ۶ بندر، از جمله بندر عباس، بندر امام، بندر عسلویه، بندر بوشهر، بندر خرمشهر و بندر چابهار است. هدف ما از این پژوهش تعیین یکی از بنادر فوق بعنوان بندر هاب است. به گونه‌ای که تمامی حمل و نقل‌های تجاری بین‌المللی ایران از طریق بندر هاب صورت گیرد و سایر بنادر با بهره‌گیری از کشتی‌هایی با ظرفیت کوچک‌تر با این بندر در ارتباط باشند. جدول ۶ مقایسه زوجی خبره ۱ برای بنادر با توجه به معیار حجم کانتینرهای صادراتی / وارداتی را نشان می‌دهد.

جدول ۵: مقایسات زوجی معیارها با توجه به بازدهی بندر (خبره ۱)

بازدهی گمرک	امکانات انبار کانتینر	بازدهی مدیریت کانتینرها	مدت زمان پهلوگیری بندر
۰/۲۵	۰/۲۵	۰/۲۵	۱
۰/۵	۰/۵	۱	۴

بازدهی گمرک	امکانات انبار کانتینر	بازدهی مدیریت کانتینرها	مدت زمان پهلوگیری بندر
۰/۵	۱	۲	۴
۱	۲	۳	۴

نرخ ناسازگاری: ۰/۰۳

جدول ۶: مقایسه زوجی گزینه‌ها با توجه به معیار حجم کانتینرهای صادرات/ واردات (خبره ۱)

بندر خرمشهر	بندر عسلویه	بندر چابهار	بندر بوشهر	بندر عباس	بندر امام
۲	۲	۳	۳	۰/۲۵	۱
۵	۴	۵	۵	۱	۴
۱	۰/۵	۲	۱	۰/۲	۰/۳۳
۱	۱	۱	۰/۵	۰/۲	۰/۳۳
۱	۱	۱	۲	۰/۲۵	۰/۵
۱	۱	۱	۱	۰/۲	۰/۵

نرخ ناسازگاری: ۰/۰۲



شکل ۱: ساختار سلسله‌مراتبی انتخاب مناسب‌ترین بندر بعنوان هاب

با استفاده از رابطه (۵) از مقایسات زوجی ۵ خبره، میانگین هندسی می‌گیریم. ماتریس مقایسات حاصل بعنوان ماتریس مقایسات زوجی روش تحلیل سلسله‌مراتبی در نظر گرفته می‌شود.

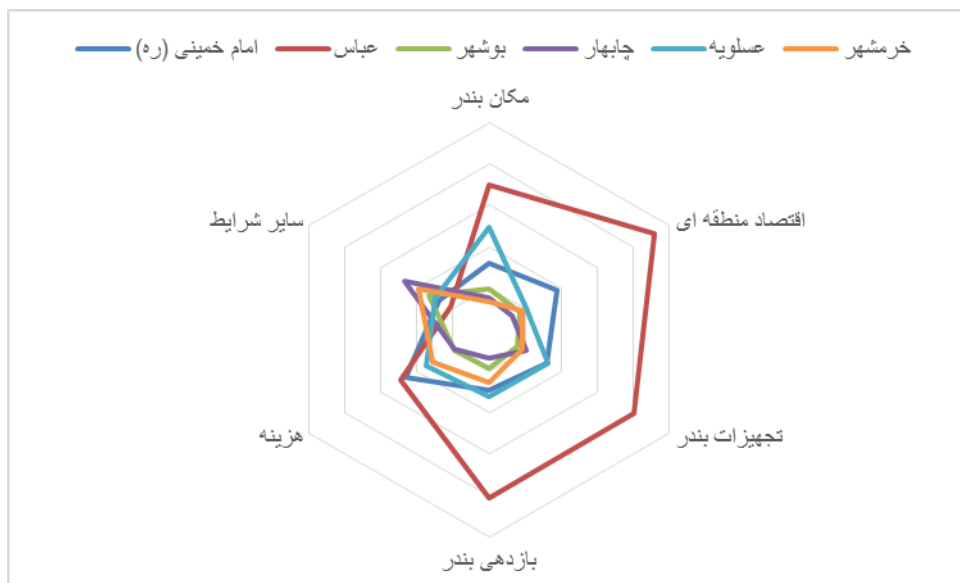
$$a_{ij} = \left(\prod_k (a_{ij}^k)^{w_k} \right)^{\frac{1}{\sum_k w_k}} \quad \text{رابطه (۵)}$$

وزن هر یک از معیارها با بکارگیری روش تحلیل سلسله‌مراتبی در جدول ۸ آمده است. همانطور که ملاحظه می‌شود، معیار مکان بندر مهم‌ترین معیار برای انتخاب بندر هاب است. همچنین در این جدول رتبه‌بندی نهایی بنادر نیز ارائه می‌شود. همانطور که ملاحظه می‌شود در اکثر معیارها بندر عباس بیشترین امتیاز را کسب کرده است. شکل ۲ میزان امتیاز هر بندر با توجه به معیارهای اصلی را نشان می‌دهند.

جدول ۸: وزن معیارها و زیر معیارها

معیارهای اصلی	وزن معیار	زیر معیار	CR	وزن نهایی	رتبه
مکان بندر	۰/۶۲	نزدیکی به نواحی صادرات/ واردات	۰/۰۲	۰/۶۸۳	۲
		نزدیکی به بنادر فیدر		۰/۱۱۷	۱۶
		نزدیکی به مسیرهای ناوبری		۰/۲	۱۲
تجهیزات فیزیکی بندر	۰/۰۸۸	شرایط زیرساختی	۰/۰۵	۰/۲۳۲	۱۰
		تجهیزات و وسایل بندر		۰/۵۸۴	۳
		اتصال به شبکه‌های داخلی		۰/۱۸۴	۱۳
اقتصاد منطقه‌ای	۰/۱۶	حجم کانتینرهای صادراتی/وارداتی	۰/۰۱	۰/۴۱۶	۸
		حجم کانتینرهای منتقل شده		۰/۱۲۶	۱۵
		میزان تردد کشتی		۰/۴۵۸	۶
بازدهی بندر	۰/۰۸۸	بازدهی مدیریت کانتینرها	۰/۰۵	۰/۲۱	۱۱
		مدت زمان پهلوگیری بندر		۰/۰۷۴	۱۸
		امکانات انبار کانتینر		۰/۲۹۷	۹
		بازدهی گمرک		۰/۴۱۹	۷

رتبه	وزن نهایی	CR	زیر معیار	وزن معیار	معیارهای اصلی
۴	۰/۵	۰	هزینه بندر	۰/۱۷۳	هزینه
۵	۰/۵		نرخ کرایه حمل و نقل زمینی		
۱۷	۰/۱۰۹	۰/۰۷	سیستم کامپیوتری EDI	۰/۲۷۲	سایر شرایط
۱	۰/۷۴۸		منطقه آزاد تجاری		
۱۴	۰/۱۴۳		برنامه توسعه آبی بندر		



شکل ۲: وزن هر بندر از منظر معیارها

وزن‌های بدست آمده از تکنیک سلسله‌مراتبی بعنوان ورودی روش تاپسیس هستند. جدول ۹ ماتریس تصمیم تکمیل شده توسط خبره ۱ را نشان می‌دهد که به دلیل عدم فضای کافی ماتریس تصمیم بصورت ترانواده آورده شده است. پس از تکمیل پرسشنامه توسط خبره‌ها از نظرات آن‌ها میانگین حسابی گرفته می‌شود. سپس ماتریس تصمیم با استفاده از رابطه (۶) بی‌مقیاس سازی می‌شود. با ضرب این ماتریس در بردار وزن معیارها ماتریس موزون محاسبه می‌شود جدول ۸ نشان دهنده ماتریس موزون است.

$$\eta_{ij} = \frac{X_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m X_{ij}^2}} \quad (\text{رابطه ۶})$$

با توجه به تعریف نقاط ایده آل مثبت و منفی این نقاط بصورت جدول ۱۰ محاسبه شده اند. با استفاده از رابطه (۳) ابتدا فاصله معیارها از نقاط ایده آل مثبت و منفی محاسبه شده و سپس مقدار C_i^* برای هر یک از بنادر محاسبه می شود. در جدول ۱۱ به ترتیب ستون های اول و دوم نشان دهنده فاصله از نقاط ایده آل مثبت و منفی و ستون چهارم نشان دهنده مقدار C_i^* و ستون پنجم رتبه بندی نهایی را نشان می دهد.

جدول ۹: ماتریس تصمیم (خبره ۱)

گزینه ها معیارها	امام	بندر عباس	بوشهر	چابهار	عسلویه	خرمشهر
نزدیکی به نواحی صادرات/ واردات	۶	۵	۵	۴	۹	۶
نزدیکی به بنادر فیدر	۵	۵	۶	۵	۹	۵
نزدیکی به مسیرهای ناوبری	۳	۵	۵	۴	۸	۶
شرایط زیرساختی	۵	۶	۵	۵	۸	۵
تجهیزات و وسایل بندر	۲	۳	۲	۲	۹	۴
اتصال به شبکه های داخلی	۴	۵	۴	۵	۸	۶
حجم کانتینرهای صادراتی/وارداتی	۳	۳	۲	۳	۷	۴
حجم کانتینرهای منتقل شده	۳	۳	۲	۳	۷	۴
میزان تردد کشتی	۵	۵	۳	۳	۷	۵
بازدهی مدیریت کانتینرها	۵	۷	۵	۶	۷	۶
مدت زمان پهلوگیری بندر	۳	۴	۲	۳	۸	۵
امکانات انبار کانتینر	۵	۵	۴	۵	۸	۶
بازدهی گمرک	۸	۵	۶	۶	۷	۷
هزینه بندر	۹	۷	۸	۷	۶	۸
نرخ کرایه حمل و نقل زمینی	۸	۶	۶	۶	۸	۸
سیستم کامپیوتری EDI	۸	۷	۴	۶	۸	۸
منطقه آزاد تجاری	۹	۵	۸	۷	۷	۷
برنامه توسعه آتی بندر	۸	۸	۹	۶	۷	۷

جدول ۱۰: نقاط ایده‌آل مثبت و منفی

نوع معیار	معیار	وزن نهایی	V_j^-	V_j^+
سود	نزدیکی به نواحی صادرات / واردات	۰/۶۸۳	۰/۰۴۷۲۶۱	۰/۰۶۳۳۶
سود	نزدیکی به بنادر فیدر	۰/۱۱۷	۰/۰۱۰۱۶۶	۰/۰۱۸۲۹۹
سود	نزدیکی به مسیرهای ناوبری	۰/۲	۰/۰۱۱۶۱۱	۰/۰۳۰۹۶۳
سود	شرایط زیرساختی	۰/۲۳۲	۰/۰۰۷۲۱۸	۰/۰۱۱۵۴۹
سود	تجهیزات و وسایل بندر	۰/۵۸۴	۰/۰۰۹۴۶۲	۰/۰۴۲۵۷۹
سود	اتصال به شبکه‌های داخلی	۰/۱۸۴	۰/۰۰۴۸۰۱	۰/۰۰۹۶۰۲
سود	حجم کانتینرهای صادراتی / وارداتی	۰/۴۱۶	۰/۰۱۳۵۸۷	۰/۰۴۷۵۵۳
سود	حجم کانتینرهای منتقل شده	۰/۱۲۶	۰/۰۰۴۱۱۵	۰/۰۱۴۴۰۳
سود	میزان تردد کشتی	۰/۴۵۸	۰/۰۱۸۴۴۹	۰/۰۴۳۰۴۷
زیان	بازدهی مدیریت کانتینرها	۰/۲۱	۰/۰۰۸۷۲۱	۰/۰۰۶۲۳
سود	مدت زمان پهلوگیری بندر	۰/۰۷۴	۰/۰۰۱۱۵۶	۰/۰۰۴۶۲۳
سود	امکانات انبار کانتینر	۰/۲۹۷	۰/۰۰۷۵۶۵	۰/۰۱۵۱۲۹
سود	بازدهی گمرک	۰/۴۱۹	۰/۰۱۱۴۵۶	۰/۰۱۸۳۲۹
زیان	هزینه بندر	۰/۵	۰/۰۴۲۰۳۵	۰/۰۲۸۰۲۳
زیان	نرخ کرایه حمل و نقل زمینی	۰/۵	۰/۰۳۹۹۵۳	۰/۰۲۹۹۶۴
سود	سیستم کامپیوتری EDI	۰/۱۰۹	۰/۰۰۵۷۸۲	۰/۰۱۱۵۶۴
سود	منطقه آزاد تجاری	۰/۷۴۸	۰/۰۴۷۶۸۳	۰/۰۸۵۸۳
سود	برنامه توسعه آبی بندر	۰/۱۴۳	۰/۰۱۰۵۱۶	۰/۰۱۵۷۷۵

جدول ۱۱: فاصله از نقاط ایده‌آل مثبت و منفی و رتبه‌بندی نهایی

بندر	d_i^+	d_i^-	$d_i^+ + d_i^-$	C_i	رتبه
بندر امام	۰/۰۵۶	۰/۰۴	۰/۰۹۶	۰/۴۱۶	۳
بندر عباس	۰/۰۲۲	۰/۰۸۷	۰/۱۰۹	۰/۷۹۸	۱
بندر بوشهر	۰/۰۸۲	۰/۰۲۵	۰/۱۰۷	۰/۲۳۴	۶
بندر چابهار	۰/۰۷۵	۰/۰۳۴	۰/۱۰۹	۰/۳۱۲	۴
بندر عسلویه	۰/۰۷۶	۰/۰۲۵	۰/۱۰۱	۰/۲۵	۵
بندر خرمشهر	۰/۰۶۴	۰/۰۴۸	۰/۱۱۲	۰/۴۲۸	۲

مقایسه بین دو روش AHP و TOPSIS

بر اساس نتایج هر دو روش، بندر عباس رتبه اول را به خود اختصاص داده است. این در حالی است که در روش AHP به ترتیب بنادر عسلویه، امام، خرمشهر، چابهار و بوشهر رتبه‌های دوم تا ششم را کسب کرده‌اند. در روش TOPSIS نیز ترتیب رتبه بنادر از بالا به پایین بصورت بندر عباس، خرمشهر، امام، چابهار، عسلویه و بوشهر است. در این میان بندر بوشهر در هر دو روش در رتبه آخر قرار دارد که این نشان می‌دهد که مدیران می‌توانند این بندر را از لیست بنادر مناسب برای انتخاب بعنوان بندر هاب حذف کنند.

در بررسی نتایج این دو روش باید اذعان شود روش AHP بر مبنای سه اصل تجزیه، مقایسه زوجی، جمع‌بندی و اولویت‌بندی گزینه‌ها استوار است. در این روش معیارهایی که دارای اهمیت بیشتری هستند، در ردیف‌های بالاتر این ساختار شاخه‌ای قرار می‌گیرند.

از آنجا که مبنای تمامی محاسبات در فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی، نظر کارشناسی است، برخلاف روش تاپسیس که بیشتر بر مبنای محاسبات ریاضی بنا نهاده شده، نتایج دارای انعطاف‌پذیری است و این ویژگی از نقاط قوت این روش محسوب می‌شود. همچنین، استفاده از روش تحلیل سلسله‌مراتبی این قدرت را به تصمیم‌گیری می‌دهد که عوامل مهم‌تری که از نظر کارشناسی، مسئله را بیشتر تحت تأثیر قرار می‌دهند، با همان اهمیت در مسئله، مورد بررسی قرار دهد. در ادامه این نکته را باید متذکر شد که هر دو روش مورد بررسی، از روش‌های کاربردی در فرآیند تصمیم‌گیری چندمعیاره هستند و در هر دو روش، معیارهای کمی و کیفی در ارزیابی بصورت همزمان دخالت دارند.

در روش تاپسیس نیز عملکرد سیستم بصورت مطلوب و قابل قبول است. در این روش اطلاعات ورودی را می‌توان تغییر داد و نحوه پاسخگویی سیستم را بر اساس این تغییرات بررسی کرد. روابط مورد استفاده برای نرمال‌سازی اطلاعات و محاسبه فواصل بصورت اختیاری بوده و قابل تطبیق با نوع اطلاعات موجود در مسئله است. خروجی می‌تواند اولویت‌ها را بصورت کمی بیان کند که در واقع این کمیات، وزن نهایی گزینه‌ها در اولویت‌بندی هستند و از این اوزان می‌توان در حل مسائل برنامه‌ریزی خطی یا عدد صحیح بعنوان ضرایب تابع هدف استفاده کرد. اگر محدودیت‌هایی نیز برای مسئله وجود

داشته باشند، با حل مسئله برنامه‌ریزی خطی به این نحو می‌توان انتخاب را بین گزینه‌ها انجام داد (اصغرپور، ۲۰۰۴).

با این وجود پیشنهاد می‌شود که روش تاپسیس هنگامی که تعداد شاخص‌ها و اطلاعات در دسترس محدود است، مورد استفاده قرار گیرد و این روش زمانی که تعداد پارامترهای مورد بررسی زیاد باشد پیشنهاد نمی‌شود (اونت و سونر، ۲۰۰۸).

پهلوانی در سال ۲۰۰۹ در پژوهش خود برای اولویت‌بندی سرمایه‌گذاری از روش تصمیم‌گیری گروهی TOPSIS سلسله‌مراتبی در محیط فازی بهره برده است. در این مدل پیشنهادی فازی تاپسیس، اوزان یا ماتریس تصمیم بصورت اعداد فازی تعریف می‌شود. روش استفاده شده در اولویت‌بندی سرمایه‌گذاری، قابلیت حل مسئله با ساختار سلسله‌مراتبی (مزیت اصلی روش AHP) را داراست. در مورد مسائلی که از ساختار سلسله‌مراتبی برخوردارند نسبت به مدل تاپسیس کلاسیک از کارایی بهتری برخوردار است.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش دو روش تصمیم‌گیری چندمعیاره را برای انتخاب یک بندر بعنوان هاب ارائه دادیم. صحت این روش توسط یک مطالعه موردی بین بندر بندر عباس، امام، بوشهر، چابهار، عسلویه و خرمشهر در جنوب کشور بررسی شد. نتایج نشان می‌دهد که این روش می‌تواند برای تصمیم‌گیری در مورد انتخاب بندر هاب برای شرکت‌های کشتیرانی بخوبی مورد استفاده قرار گیرد. با استفاده از این روش مدیران بندر می‌توانند دریابند که شرکت‌های کشتیرانی برای انتخاب بندر چه ملاک‌هایی در نظر دارند.

ارزیابی عملکرد بندر و بر اساس وزن نهایی گزینه‌ها، رتبه‌بندی بصورت بندر عباس - بندر عسلویه - بندر امام خمینی (ره) - بندر خرمشهر - بندر چابهار - بندر بوشهر به ترتیب از اهمیت بیشتر به اهمیت کمتر است. در بین معیارها نیز معیار مکان بندر بالاترین رتبه را در بین معیارهای اصلی داراست و معیارهای سایر شرایط و هزینه به ترتیب در رتبه دوم و سوم قرار دارند.

با توجه به عدم تغییرپذیری مکان بندر و اختلاف کم بین معیارهای مکان بندر، سایر شرایط و هزینه، مدیران ارشد بنادر می‌توانند با سیاست‌هایی نظیر پایین آوردن هزینه بندر، افزایش سیستم‌های کامپیوتری EDI، توسعه آتی بندر و ... نظر شرکت‌های کشتیرانی را برای انتخاب آن بندر بعنوان هاب جلب کنند.

در این مقاله ما با فرض مستقل بودن معیارها محاسبات مربوط به روش تحلیل سلسله‌مراتبی و تاپسیس را انجام داده‌ایم. برای کارهای آتی می‌توان وابستگی و اثر متقابل بین معیارها و زیرمعیارها را در نظر گرفت. همچنین می‌توان در کارهای آتی روش تصمیم‌گیری چندمعیاره حاضر را بهبود بخشید و با استفاده از روش‌های جدیدتر به رتبه‌بندی و انتخاب گره هاب پرداخت و نتایج حاصل از روش جدید را با نتایج تحقیق حاضر مقایسه کرد.

منابع

- Asgharpour, M. (2004). Multi-Criteria Decision Making. Tehran: Tehran University Press (in Persian).
- Baird, A. (2006). Optimising the container transshipment hub location in northern Europe. *Journal of Transport Geography*, 195-214.
- Brian, S. (1985). Containerization: Inter-port competition and port selection. *Maritime Policy and Management*, 293-303.
- Chou, C. (2007). A fuzzy MCDM method for solving marine transshipment container port selection problems. *Applied Mathematics and Computation*, 435-444.
- Chou, C. C. (2003). A transportation demand split model for international ports. *International Journal of the Eastern Asia Society for the Transportation Studies*, 625-637.
- Chou, C. G. (2003). Comparison of two models for port choice. *Maritime Quarterly*, 45-62.
- Chou, C. G. (2003). Competitiveness analysis of major container ports in eastern Asia. *International Journal of Eastern Asia Society for Transportation Studies*, 682-697.
- Chou, C.-C. (2009). An empirical study on port choice behaviors of shippers in a multiple-port region. *Marine Technology Society Journal*, 43(3), 71-77.
- Dahlberg, M. M. (1980). Linear programming for siting of energy facilities. *Journal of Energy Engineering*, 5-14.
- Ernst, G. (2001). Economics of transportation in container shipping logistics. *International Conference on Port and Maritime R&D and Technology*. Singapore.
- Farahani, R. M. (2009). *Facility Location, Concepts, Models, Algorithms, and Case Studies*. New York: Springer.
- Hayuth, Y. F. (1994). Concepts of strategic commercial location: The case of container ports. *Maritime Policy and Management*, 187-193.
- Hwang, C. K. (1981). *Multiple Attributes Decision Making Methods and Applications*. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag.
- James, B. G. (1988). The perception of route competition via seaports in the European communities. *Maritime Policy and Management*, 35-55.
- Kuo, T. (2000). A decision-making model for the selection of calling container port. *The 5th Symposium on Transportation Network*. Taiwan.
- Lee, E. T. (2011). *Advances in Maritime Logistics and Supply Chain Systems*. Singapore: World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd.
- Malchow, M. (2004). A disaggregate analysis of port selection. *Transportation Research Part E-Logistics and Transportation Review*, 317-337.
- O'Mahony, H. J. (2004). Masker Sealand boxships to be the world's biggest. *Lloyds List*, 1-2.
- Ount, S., & Soner, S. (2008). Transshipment site selection using the AHP and TOPSIS approaches under fuzzy environment. *Waste Management*, 1552-1559.
- Pahlevani, A. (2009). Investment prioritization through group decision making method of hierarchical TOPSIS in fuzzy environment. *Journal of Industrial Management*, 35-54.
- Rietveld, P. H. (1992). Ordinal data in multi-criteria decision making, a stochastic dominance approach to siting nuclear power plants. *European Journal of Operation Research*, 249-262.
- Saaty, T. L. (1980). *The analytic hierarchy process: planning, priority setting, resources allocation*. New York: McGraw
- Spohrer, G. K. (1984). Qualitative analysis used in evaluating alternative plant location scenarios. *Industrial Engineering*, 52-56.
- Sternberg, R. (2000). The successful factors of one ocean transshipment center, the case study of one Italian port. *The Journal of Chinese Ports*, 13-18.
- Stevenson, W. (1993). *Production/Operation Management*. Richard D. Irwin Inc., Illinois.
- Thomson, B. (1998). Structure changes in the maritime industry's impact on the inter-port competition in container trade. *International Conference on Shipping Development and Port Management*.
- Tompkins, J. W. (1984). *Facilities Planning*. New York.