

## مدلسازی عناصر اثرگذار بر زمان انتظار کشتی‌های تجاری با استفاده از تئوری تصمیم‌گیری MADM و روش سلسله مراتبی (AHP)

### (مورد کاوی پایانه شهید کلانتری - چابهار)

<sup>۱</sup>دکتر منصور کیانی مقدم، <sup>۲</sup>حمیدرضا تهمک، <sup>۳</sup>آفشین مشایخی، <sup>۴</sup>سبحان ایرانشاهی

<sup>۱</sup>استادیار دانشگاه دریانوردی و علوم دریایی چابهار

<sup>۲</sup>دانشجوی کارشناسی ارشد بندر و کشتیرانی، دانشگاه دریانوردی و علوم دریایی چابهار

<sup>۳</sup>کارشناس مدیریت و بازرگانی دریایی، دانشگاه دریانوردی و علوم دریایی چابهار

<sup>۴</sup>دانشجوی کارشناسی ارشد بندر و کشتیرانی، دانشگاه دریانوردی و علوم دریایی چابهار

### چکیده

بهره‌گیری از فنون و فناوری‌های نوین در بنادر تجاری بزرگ دنیا در چند دهه اخیر ثمرات بسیاری را برای آنها به همراه آورده است. بنادر به لحاظ نقش خود در زنجیره تأمین، همواره مورد توجه بوده‌اند. افزایش سرعت و کاهش زمان عملیات تخلیه و بارگیری از مشخصه‌های مهم بنادر توسعه یافته و طراز اول جهان می‌باشد. تجهیزات بندری بایستی بگونه‌ای انتخاب و طراحی شوند که پاسخگوی نیازهای مشتریان حمل و نقل دریایی در تخلیه و بارگیری کالا باشد. رویه‌های گمرکی و مجوزهای صادره از طریق واحدهای ستادی ذیربط نیز تأثیر بسزایی در سرعت و میزان واردات و صادرات دارند. در این تحقیق با استفاده از مدل تصمیم‌گیری چند شاخصی (MADM) Multiple Attribute Decision Making و روش فرایند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) Analytical Hierarchy Process، عوامل مختلف مؤثر در انتظار کشتی‌های تجاری در پایانه شهید بهشتی بندر چابهار مورد ارزیابی قرار گرفته است.

**واژه‌های کلیدی:** مدت زمان انتظار کشتی، کشتی‌های تجاری، مدل و مدلسازی، AHP، MADM

### ۱- مقدمه

یکی از عوامل مهم توسعه و پیشرفت هر کشور صنعت حمل و نقل آن کشور می‌باشد که در این میان حمل و نقل دریایی بیشترین و موثرترین نقش را ایفاء می‌کند. کشور ایران با داشتن ۱۸۰۰ کیلومتر مرز آبی در جنوب و ۷۰۰ کیلومتر در شمال موقعیت استراتژیکی مناسبی برای توسعه اقتصادی و در پی آن توسعه و پیشرفت صنعتی، اجتماعی را دارد.

بندر چابهار در خارج از خلیج فارس و در قسمت شرقی تنگه هرمز واقع شده است و اولین بندر ایرانی از طرف دریای عمان و تنها بندر اقیانوسی ایران و امن‌ترین و نزدیک‌ترین مسیر به خطوط بین‌المللی کشتیرانی و بازارهای جهانی می‌باشد. این بندر موقعیت استراتژیکی و لجستیکی بسیار مطلوبی از لحاظ نزدیکی به مسیرهای عمده کشتیرانی (آسیا، اروپا، آفریقا) دارد. بندر چابهار در افزایش ترانزیت داخلی و خارجی در سطح بین‌المللی و تقویت اقتصاد کشور نقش مهمی را می‌تواند ایفاء کند و به عنوان یکی از مولفه‌های کلیدی توسعه‌ی مسیر ترانزیت کریدور شرقی محسوب می‌شود. یکی از عوامل ایجاد چنین شرایط مطلوبی تسریع در عملیات تخلیه و بارگیری و یا به عبارت دیگر کاهش مدت زمان انتظار کشتی هاست.

### ۱-۱ تعریف و بیان مسئله

با افزایش تجارت جهانی، چگونگی بهبود عملکرد پایانه‌ها یکی از مهم‌ترین چالش‌های پیش رو می‌باشد (زنگ و یانگ ۲۰۱۰). اکثر بنادر ایران که درگیر تخلیه و بارگیری کالاهای نفتی، فله و کانتینری می‌باشند، بنادری چند منظوره هستند. در پایانه‌های این بنادر عملیات تخلیه و بارگیری در سه مرحله صورت می‌گیرد که عبارتند از: تخلیه‌ی بار کشتی، حمل آن توسط تریلرها به انبار (کالاهای غیر نفتی) چینش آن در انبار و یا برعکس. گمرک نیز عامل مهمی در ترخیص کالا و در نتیجه تخلیه‌ی محوطه‌ی انبار محسوب می‌شود لذا می‌تواند در کاهش زمان توقف کشتی‌ها نقش بسزایی داشته باشد، پس می‌توان آن را مرحله‌ی چهارم عملیات تخلیه و بارگیری دانست. از طرف دیگر صاحبان کالا و کارکنان کشتی باید در تسریع روند تخلیه و بارگیری همکاری‌های لازم را انجام دهند، که این هم باعث کاهش هزینه‌های (جاری) کشتی و هم کاهش ترافیک در پایانه‌ها می‌شود (ریسی، ۱۳۸۸).

### ۲-۱ اهمیت و ضرورت تحقیق

استفاده موثر و بهینه از ظرفیت و استعداد های بنادر پلی به سوی پیشرفت های اقتصادی و توسعه یافتگی است. در کشورهای توسعه یافته مثل هلند، آلمان، انگلستان، سنگاپور و چین این امر یعنی بهره‌برداری بهینه از بنادر و پایانه‌ها، یکی از مهم ترین چالش‌های پیش روی آنان می‌باشد که با به کارگیری امکانات و فناوری‌های مدرن سعی در پیشی گرفتن از یکدیگر هستند. یک اصل کلی بیان می‌کند که انسان‌ها از دیرباز جهت هدفمند نمودن کارهای خود تلاش می‌کنند. بنابر این انتظار می‌رود که یک انسان جهت حفظ تعالی خود زندگی کند (مرشد، ۱۳۷۹). این تحقیق در همین راستا به بررسی عوامل موثر در افزایش سرعت خدمات‌رسانی در کارآئی بنادر و یا به عبارت دیگر کاهش زمان گردش کشتی‌ها می‌پردازد. برای رسیدن به این منظور عوامل انتظار کشتی‌های تجاری در بندر چابهار مورد بررسی قرار می‌دهد و با طرح سوالات و فرضیاتی یک سری اهداف مشخص را دنبال می‌کند.

### ۳-۱ پیشینه تحقیق

از آنجایی که بیشتر تحقیقاتی که در زمینه بهینه سازی عملیات بنادر، انجام شده است در خارج از کشور بوده‌اند، در ادامه بیشتر تحقیقاتی مورد بررسی قرار خواهند گرفت که در خارج از ایران صورت گرفته است.

نتایج حاصل از تحقیقات انجام شده در ایران:

سفارزاده و ابراهیم‌نژاد (۱۳۷۹) تخصیص بهینه‌ی تجهیزات و امکانات در بنادر را مورد بررسی قرار داده و یک روش بهینه جهت دستیابی به بیشترین میزان جریان کالا، تسریع عملیات تخلیه و بارگیری و بالا بردن بهره‌وری بنادر ارائه داده‌اند. در طراحی الگوریتم‌های آن پارامترهایی چون میزان تجهیزات، هزینه تجهیزات جدید، آنالیز اقتصادی، کالاهای استراتژیک، ظرفیت انبارها و اولویت دادن به کشتی‌های خارجی در نظر گرفته شده است. در طراحی مدل این پژوهش یک بندر فرضی در نظر گرفته شده که دارای ابعاد محدودی است و ممکن است بکارگیری آن در واقعیت با موانع زیادی رو به رو شود.

خوش نویس و وزیری (۱۳۸۰) در تحقیق خود با استفاده از روش‌های شبیه‌سازی، نقش استفاده از سیستم‌های ذخیره اتوماتیک ( $AS/RS^1$ ) را در افزایش کارآئی پایانه‌های کانتینری که با مشکلاتی نظیر کمبود فضا، هزینه‌های زیاد نیروی کار و نیاز به دقت بالا در عملیات روبرو هستند، مورد بررسی قرار می‌دهد.

محقق زاده و دیگران (۱۳۸۳) در تحقیق خود به بررسی و ارزیابی بنادر بهینه صرفاً با توجه به پارامترهای هزینه و زمان حمل کالا و همچنین شناسایی پسرکانه بنادر پرداخته‌اند. آنها در مدل نهایی شده‌ی تحقیق خود، نزدیک‌ترین و ارزان‌ترین بندر، نسبت به هر یک از مراکز استان‌های کشور به ازای هر گروه کالا بدست آورده‌اند. نتیجه تحقیق آنها نشان داد که بندر امام خمینی در جنوب و بندر انزلی در شمال بیشترین تعداد مراکز استان را تحت پوشش خود قرار می‌دهند. از نظر مساحت تحت پوشش بندر شهید رجایی در جنوب و بندر امیرآباد در شمال برتری دارند. از طرف دیگر از لحاظ هزینه و زمان حمل کالا بندر چابهار دارای مزیت نسبی است.

عربشاهی و کاوش (۱۳۸۷) تحقیقی در زمینه اتوماسیون در پایانه‌های کانتینری ایران انجام داد که در آن به کاهش زمان گردش کشتی‌ها با استفاده از سیستم‌های  $AGV^2$  و  $ALV^3$  پرداخته‌اند. در این تحقیق برای افزایش بهره‌وری، استفاده از تجهیزات مدرن و اتوماسیون عملیات توصیه شده است و علت آن نبود نیروی کار ماهر ذکر شده است. راهکاری که در این پژوهش ارائه شده است، بکارگیری سیستم‌های  $AGV$  و  $IMC$  است. هرچند  $AGV$  ها یا همان وسایل نقلیه هدایت شونده خودکار دارای کنترل‌پذیری بالا و عملکرد عملیاتی بسیار گسترده می‌باشند، اما استفاده از این وسایل در کشوری همچون ایران که دارای نیروی کار فراوان است مقرون به صرفه نمی‌باشد و موجب افزایش نرخ بیکاری می‌شود.

سبزواری و فاخر (۱۳۸۷) در پژوهش خود مبانی شبیه‌سازی رایانه‌ای در بهینه‌سازی فعالیت‌های تخلیه و بارگیری کشتی در پایانه‌های کانتینری ارائه داده‌اند. در این پژوهش عوامل مختلف درگیر در تخصیص منابع و تجهیزات لازم جهت انجام فرآیندهای موجود در یک پایانه مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفته است. مدل اصلی بر اساس پایانه‌ی کانتینری شهید رجایی بندر عباس می‌باشد و در آن مقدار بهینه تعداد جرثقیل‌ها و کشنده‌ها متناسب با تعداد گنتری‌کرین‌ها ارائه شده است.

علیزاده (۱۳۸۸) کارشناس شرکت مهندسی ایمن کیا صنعت مقاله‌ای تحت عنوان منطق فازی در سیستم‌های کنترل جرثقیل در جهت ارتقاء ایمنی پایانه‌های کانتینری نوشته‌اند. در این مقاله به نحوه‌ی کار جرثقیل‌ها در پایانه‌ها و کناره‌های اسکله‌های کانتینری پرداخته‌اند. در این تحقیق به صورت تخصصی و جامع به برخی وسیله‌های تخلیه و بارگیری در زمینه جنبه‌های فیزیکی و علمی پرداخته است.

<sup>1</sup> Automatic Storage/ Retrieval System

<sup>2</sup> Automated Guided Vehicles

<sup>3</sup> Automated Lifting Vehicles

نتایج حاصل از تحقیقات انجام شده در خارج از ایران:

دویل<sup>۴</sup> و راپ ری<sup>۵</sup> (۱۹۷۴) نیز پژوهش خود را بر افزایش اسکله‌های موجود در بنادر جهت کاهش زمان انتظار کشتی و ترافیک و همچنین کاهش چشم‌گیر هزینه‌ها معطوف ساختند. آنها تحقیقات خود را در نظر گرفتن یک فرض ساده شروع کردند: کشتی‌هایی که در یک دوره‌ی معین به بندر مراجعه می‌کنند مشخص و به علاوه مدت زمان سرویس‌دهی به هر کشتی معلوم باشد. آنها متوجه شدند که به علت الگوی نامنظمی که در رسیدن کشتی‌ها وجود دارد با اضافه کردن یک پست اسکله می‌توان این مدت‌زمان را به میزان قابل ملاحظه‌ای کاهش داد. البته این فرض یک دوره‌ی زمانی کوتاه‌مدت را پوشش می‌دهد و بر پایه‌ی تجزیه و تحلیل سود و هزینه استوار است. اما اصول ثابت و واضح هستند. اگر تعداد کشتی‌های مراجعه‌کننده به بندر و زمان خدمات‌رسانی به هر یک معلوم باشد می‌توان مدت‌زمان انتظار و هزینه را برای تعداد مختلف اسکله‌ها محاسبه کرد. برای یک دوره‌ی زمانی یکساله نرخ اشغال اسکله را می‌توان به صورت زیر محاسبه کرد:

نرخ اشغال اسکله

$$= \frac{\text{تعداد کشتی های مراجعه کننده در طول سال}}{\text{متوسط تعداد کشتی هایی که هر اسکله در روز می تواند خدمات رسانی کند}} \times 365 \times \text{تعداد اسکله ها}$$

افزایش تعداد اسکله‌ها به منظور کاهش زمان خدمت‌رسانی تنها در حالت تئوری سهل و ممکن به نظر می‌رسد، چرا که عوامل دیگری نیز در مدت زمان خدمت‌رسانی به کشتی‌ها تاثیر دارند، مانند زمان لازم برای پهلوگیری، تخلیه‌ی کشتی، پاکسازی اسکله، انبار کردن، عوامل جوی و مهارت نیروی کار.

تانگزون<sup>۶</sup> (۱۹۹۴) در پژوهش خود به ارزیابی عوامل تعیین‌کننده عملکرد و کارایی بنادر پرداخته است. وی در این تحقیق یکی از مهم‌ترین عوامل افزایش کارایی بنادر را افزایش بهره‌وری جرثقیل‌های پایانه معرفی می‌کند.

تحقیق دیگری توسط کیا<sup>۷</sup> و همکاران (۲۰۰۲) با عنوان سرمایه‌گذاری دربنادر با نگرش شبیه‌سازی رایانه‌ای صورت پذیرفت که در این تحقیق آنها به بررسی نقش شبیه‌سازی رایانه‌ای در توسعه‌ی عملکرد و کارایی بنادر کانتینری در رابطه با فناوری‌های پیشرفته و همچنین ظرفیت پایانه‌ها پرداخته‌اند.

کنت<sup>۸</sup> (۲۰۰۳) تحقیقی در زمینه‌ی ناکارآمدی بنادر مختلف در کشورهای مختلف قاره آمریکا انجام داد و علل انتخاب بنادر خاص توسط کشتی‌ها و شناورها برای دریافت خدمت از آنها را مورد بررسی قرار داد و نتایج پژوهش خود را اینگونه اعلام کرد که کشتی‌ها هزینه‌های خود را به نسبت کار انجام شده در بنادر می‌سنجند و در صورتی که هزینه‌ها یا ناکارآمدی‌ها غیر قابل قبول باشد بندر دیگری را برای دریافت خدمات مشابه انتخاب می‌کنند.

مورتی<sup>۹</sup> و همکاران (۲۰۰۵) تحقیقی در رابطه با استفاده از تصمیم‌گیری رایانه‌ای برای بهینه‌سازی عملیات پایانه‌ها در پایانه‌ی هنگ کنگ ارائه دادند و در آن به بررسی عوامل کاهش زمان انتظار کشتی‌ها، کامیون‌ها و کاهش ترافیک در پایانه پرداختند.

پلمن<sup>۱۰</sup> و همکاران پژوهشی (۲۰۰۷) در مورد عوامل موثر بر روند پهلوگیری کشتی‌ها و ظرفیت ذخیره‌سازی انجام دادند و در آن به اهمیت مدلسازی روند پهلوگیری کشتی‌ها (زمان گردش کشتی) اشاره کردند. آنها در مدل خود سعی کردند تا بین میزان تاخیر و انتظار کشتی‌ها با تجهیزات و ظرفیت اسکله تعادلی را برقرار کنند که از نظر اقتصادی مقرون به صرفه باشد.

اونو<sup>۱۱</sup> و اولچر<sup>۱۲</sup> (۲۰۰۷) در پژوهش خود تحت عنوان مدلسازی و بهینه‌سازی عملکرد بنادر چند منظوره به بررسی و جابجایی کالاهای عمومی در بنادر و تخلیه و بارگیری آن در کشتی پرداخته‌اند. هدف اصلی این تحقیق ارائه روشی برای افزایش نرخ تخلیه و بارگیری کشتی‌ها در بنادر است.

<sup>4</sup> Jan de Weille

<sup>5</sup> Anandarup Ray

<sup>6</sup> Jose L.Tongzon

<sup>7</sup> M.Kia

<sup>8</sup> Paul E. Kent

<sup>9</sup> Moureti

<sup>10</sup> Mark Polman

<sup>11</sup> Semih Onut

<sup>12</sup> Canan Ulcer

هیروشیما<sup>۱۳</sup> (۲۰۰۸) نیز تحقیق در مورد سیستم Q-Learning برای زمانبندی (جابجایی) کانتینرها براساس سفارشات کشتی‌ها در پایانه‌های کانتینری انجام داده است و در آن به بررسی مشکلات حمل و نقل و جابجایی کانتینرها در محوطه‌ی ذخیره‌سازی کانتینرها در بنادر جهت کاهش زمان زمان توقف کشتی‌ها پرداخته است.

هریس<sup>۱۴</sup> و همکاران (۲۰۰۸) دست به تحقیق در مورد شبیه‌سازی پایانه‌های کانتینری زدند و به این نکته اشاره کردند که شبیه‌سازی تسهیلات کانتینری می‌تواند شروعی برای پیشرفت و توسعه‌ی عملکرد بنادر در جابجایی و حمل و نقل کالا باشد.

در پژوهش دیگری که توسط چندی از محققان دانشگاه علوم دریایی ویسلاف گالر<sup>۱۵</sup> لهستان صورت گرفت، زمان انتظار کشتی در ورودی بنادر بر مبنای میزان آب‌خور مورد بررسی قرار گرفت. در این پژوهش یکی از معیارهای اساسی برای ایمنی ناوبری و تردد کشتی‌ها در بنادر میزان آب‌خور آنها معرفی شده است بطوری که چنانچه این میزان به حد کافی نباشد کشتی‌های مراجع‌کننده به این نوع بنادر با محدودیت مواجه می‌شوند و نمی‌توانند از حداکثر میزان ظرفیت خود استفاده کنند و باید قبل از رسیدن به بندر محموله‌ی خود را به منظور کاهش آب‌خور کشتی تخلیه کنند.

تحقیق دیگری در مورد بهبود کیفیت خدمات در پایانه‌های کانتینری توسط کای هسو<sup>۱۶</sup> و همکاران (۲۰۰۹) صورت گرفت و در آن عوامل بهبود کیفیت دریانه‌های کانتینری برای ارایی خدمت براساس نیاز مشتریان مورد بررسی قرار گرفت.

لی<sup>۱۷</sup> و یدا<sup>۱۸</sup> (۲۰۱۰) پژوهشی در مورد توسعه و تکامل سیستم‌های دینامیکی در بنادر با نگرش اقتصادی انجام داده‌اند و در آن به بررسی و تحلیل ترافیک کانتینرها در بنادر سه کشور شرق آسیا ژاپن، چین و کره پرداختند. این دو نتایج حاصل از پروژه‌ی خود را این گونه ذکر کرده‌اند که، تکامل روند کانتینریزاسیون در کشورهای مختلف تابع یک الگوی مشابه نیست، یعنی کشورها با توجه به شرایط مختلف علمی، فرهنگی و اقتصادی خود سیاست‌های مختلفی را جهت توسعه‌ی بنادر خود انتخاب می‌کنند.

زنگ<sup>۱۹</sup> و یانگ<sup>۲۰</sup> (۲۰۱۰) پژوهشی تحت عنوان نگرشی بر یکپارچه‌سازی شبیه‌سازی‌ها و الگوریتمی برای زمان بندی عملکرد در پایانه‌های کانتینری انجام دادند و به این نتیجه رسیدند که روش یکپارچه‌سازی نه تنها می‌تواند باعث بهبود بهره‌وری محاسبات بلکه می‌تواند باعث بهبود خود سازگار با طراحی برنامه‌ریزی در پایانه‌های کانتینری شود.

## ۲- مدل تحقیق

امروزه روش‌های آنالیز در بسیاری از زمینه‌های تصمیم‌گیری به عنوان روش‌های برتر مورد استفاده قرار می‌گیرند. وقتی متغیرها کمی هستند و تعداد متغیرها زیاد نیستند، روش آنالیز متفاوتی را می‌توان استفاده نمود، اما در موارد زیادی علاوه بر متغیرهای قابل اندازه‌گیری متغیرهای کیفیتی نیز در تصمیم‌گیری‌ها دخیل هستند. در چنین مواردی نیاز به یک روش آنالیز دقیق برای یک تصمیم‌گیری موفق، ضروری به نظر می‌رسد. در مواقعی که با ساختار پیچیده‌ای از معیارها با سطوح مختلف مواجه می‌شویم، روش AHP یکی از بهترین روش‌های قابل استفاده است.

فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی یکی از جامع‌ترین سیستم‌های طراحی شده برای تصمیم‌گیری با معیارهای چندگانه است زیرا این تکنیک امکان فرموله کردن مسئله را بصورت سلسله‌مراتبی فراهم می‌کند و همچنین امکان در نظر گرفتن معیارهای مختلف کمی و کیفی را در مسأله دارد گزینه‌ای مختلف را در تصمیم‌گیری دخالت داده و امکان تحلیل حساسیت روی معیارها و زیرمعیارها را دارد، علاوه بر این بر مبنای مقایسه‌ی زوجی بنا شده، که قضاوت و محاسبات را تسهیل می‌نماید. همچنین میزان سازگاری و ناسازگاری سیستم را نشان می‌دهد که از مزایای ممتاز این تکنیک در تصمیم‌گیری چند معیاره می‌باشد.

## ۱-۲ الگوریتم تحلیل سلسله‌مراتبی

در این قسمت مفاهیم اولیه ریاضی مورد استفاده در حل مسئله به روش AHP به صورت خلاصه بیان می‌شود. اولین عمل اساسی در AHP تخمین وزن‌ها (W) است که از جدول مقایسه‌های زوجی بدست می‌آیند. این جدول به معیارها و گزینه‌های رقیب مربوط است.

<sup>13</sup> Yoichi Hirashima

<sup>14</sup> Gregory A. Harris

<sup>15</sup> Wieslaw GALOR

<sup>16</sup> Wen-Kai K. Hsu

<sup>17</sup> Yiping LE

<sup>18</sup> Hitoshi IEDA

<sup>19</sup> Qingcheng Zeng

<sup>20</sup> Zhongzhen Yang

اگر ماتریس قطری مقایسه زوجی را  $A$  بدانیم (رابطه ۱) پس  $A$  یک ماتریس مثبت و معکوس است. جائیکه:

$$A = (a_{ij}) = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nn} \end{bmatrix} \quad (1)$$

ما مایلیم که از وزن‌ها یا اولویت‌ها را همانند  $W=(w_1, w_2, \dots, w_n)$  محاسبه کنیم. به دلیل استفاده از مقیاس‌های نسبی، وزن‌هایی که تخمین زده می‌شوند به ضریبی از یک مقدار ثابت مثبت منحصر می‌شوند. بنابراین باید  $W$  را بگونه‌ای نرمال کنیم که مجموع آن برابر یک شود. در فرآند تحلیل سلسله‌مراتبی عناصر هر سطح نسبت به عنصر مربوطه خود در سطح بالاتر به صورت زوجی مقایسه شده و وزن آن‌ها محاسبه می‌گردد که این وزن‌ها را وزن نسبی می‌نامیم. سپس با تلفیق وزن‌های نسبی، وزن نهایی هر گزینه مشخص می‌گردد که آن را وزن مطلق می‌نامیم. اگر مقایسات زوجی کاملاً سازگار باشد، یعنی به ازای  $i, j, k=1, 2, \dots, n$  همواره رابطه  $a_{ij}=a_{ik}a_{kj}$  برقرار باشد مولفه‌های ماتریس  $A$  کاملاً سازگارند و می‌توان آن را با عبارت زیر (رابطه ۲) بیان کرد:

$$a_{ij} = \frac{w_i}{w_j} \quad (2)$$

در این حالت می‌توان هر ستون  $A$  را برای استخراج وزن‌های نهایی به صورت نرمال زیر عمل کرد:

$$w_i = \frac{a_{ij}}{\sum_{k=1}^n a_{ki}} \quad (3)$$

با این وجود خطای در قضاوت امری اجتناب ناپذیر است. سه روش عمده برای تخمین وزن‌ها وقتی قضاوت همراه با خطا است وجود دارد:

- روش حداقل مجذور لگاریتمی: در این روش وزن‌ها را به گونه‌ای تخمین می‌زنند که تابع هدف زیر حداقل گردد.

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n (Lna_{ij} - Lnw_i + Lnw_j)^2 \quad (4)$$

که در آن  $a$  درایه ماتریس تصمیم‌گیری و  $W$  بردار وزنی مربوط به عناصر درایه‌های ماتریس می‌باشد.

- روش بردارهای نرمال: قدیمی‌ترین روش حل مسائل AHP است که بر اساس منطق نرمال سازی ماتریس تصمیم‌گیری تدوین شده است.
- روش بردار ویژه ساعتی: در این روش وزن‌ها بر اساس منطق بردار ویژه محاسبه می‌شود که در آن  $W$  به عنوان بردار وزنی مربوط به عناصر ماتریس  $A$  در نظر گرفته می‌شود، به گونه‌ای که:

$$AW = \lambda_{\max} W \quad (5)$$

که در این رابطه  $\lambda_{\max}$  حداکثر ارزش ویژه ماتریس است و یا

$$W_i = \frac{\sum_{j=1}^n a_{ij} w_j}{\lambda_{\max}} \quad (6)$$

همچنانکه ساعتی نشان داده است  $\lambda_{max}$  همیشه بزرگتر یا مساوی  $n$  برای ماتریس‌های مثبت و معکوس است و این مقدار مساوی است با  $n$  اگر و تنها اگر  $A$  ماتریس سازگاری باشد.

$\}_{max} - n$  مقیاس مناسبی برای سنجش ناسازگاری می‌باشد. با نرمال کردن این مقیاس، شاخص سازگاری به شرح زیر تعریف خواهد شد:

$$CI = \frac{\}_{max} - n}{n - 1} \quad (7)$$

برای مقادیر مختلف  $n$ ، ماتریس تصادفی تولید شده و سپس مقدار آن‌ها را شاخص تصادفی  $(R, I)$  می‌نامند. در نهایت برای اندازه‌گیری سازگاری ماتریس مقایسات زوجی، شاخص  $C, R$  به صورت زیر محاسبه می‌شود:

(8)

$$CR = \frac{CI}{RI}$$

مقدار شاخص تصادفی را می‌توان از جدول ۱ بدست آورد (ساعتی، ۱۹۹۰؛ کیانی، ۲۰۰۶):

جدول ۱. مقادیر شاخص‌های تصادفی

n	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰
RI	۰	۰	۰/۵۸	۰/۹۰	۱/۱۲	۱/۲۴	۱/۳۲	۱/۴۱	۱/۴۵	۱/۴۹

منبع: ساعتی (۱۹۹۰)

در صورتی که ارزش  $CR \leq 0.1$  باشد سازگاری مقایسات پذیرفته می‌شود. در غیر این صورت باید در جدول مقایسات برای رسیدن به سازگاری قابل قبول تجدید نظر صورت گیرد.

### محاسبه امتیازهای بهره‌وری

برای دست یافتن به امتیازهای نهایی یک گزینه، ابتدا باید مقدار امتیازهای بهره‌وری هر شاخص را محاسبه کرد. امتیازهای بهره‌وری را می‌توان از دو طریق محاسبه نمود:

✓ بهره‌گیری از نظرات متخصصین مربوطه

✓ تبدیل اعداد و ارقام به معیارهای تصمیم‌گیری از طریق استفاده از روابط ریاضی

مطابق رابطه پیشنهاد شده توسط اسپاسویک (۲۰۰۴) و کیانی (۲۰۰۶) ارزش پارامترها را می‌توان از طریق رابطه ۹ محاسبه نمود:

$$\frac{y_{max} - y_0}{y_i - y_0} = \frac{x_b - x_w}{x_i - x_w} \quad (9)$$

که در آن:

$x_w$  = حداکثر ارزش پارامتر

$x_b$  = کمترین ارزش پارامتر

$y_0$  = کمترین امتیاز یک شاخص

$y_{max}$  = بیشترین امتیاز یک شاخص

$x_i$  = ارزش بدست آمده برای پارامتر  $i$ ام

$y_i$  = مقدار بهره‌وری پارامتر  $i$ ام

بنابراین، ارزش عملکرد پارامتر  $i$ ام را می‌توان از طریق رابطه ۱۰ بدست آورد (کیانی، ۲۰۰۶):

$$y_i = y_0 + \frac{(y_{max} - y_0)(x_i - x_w)}{x_b - x_w} \quad (10)$$

بعد از محاسبه ارزش عملکرد، مقدار بدست آمده را به عدد صحیح بالا گرد نموده و برای اطمینان از صحت امتیازدهی، بر حداکثر امتیاز (در روش AHP حداکثر امتیاز ۹ است) تقسیم می‌کنیم (کیانی، ۲۰۰۶).

## ۲-۲ یافته‌های تحقیق

۱-۲-۲ انتخاب مهم‌ترین عامل در تأخیر و انتظار کشتی‌ها در بندر شهید کلانتری چابهار  
با توجه به مطالعات انجام گرفته بر ادبیات تحقیق و همچنین نظر کارشناسان عوامل تصمیم‌گیری به سه گروه و هر یک شامل پنج زیر گروه تقسیم بندی شده است که در جدول ۲ به تشریح بیان شده است.

جدول ۲. عوامل موثر در تأخیر کشتی‌ها

عوامل	زیر عامل
عملیات بندر (PD)	رسوب کالا در بنادر (OGP) عدم وجود نیروی کار ماهر (LSW) نقص فنی و یا کمبود تجهیزات تخلیه و بارگیری (LE) عدم استفاده از نیروی کار ماهر (NVSW) عدم وجود اسکله خالص (LED)
عملیات گمرک (CO)	بورو کراسی اداری (AB) کمبود فضل و انبار (LWS) افزایش درخواست‌های بارگیری (LDG) مشکلات مدیریتی (MP) عدم رعایت ساعت کاری (NCW)
عملیات کشتی (SO)	عدم آشنایی لازم با روند تخلیه و بارگیری (NPL) فروودگی کشتی و یا عدم تناسب با نوع کالا (ES) عدم کارایی جرثقیل‌های کشتی (ISG) عدم تفکیک و سایز بندی کشتی (NSS) مسائل سیاسی (PI)

محاسبه وزن در فرآیند سلسله‌مراتبی:

در فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی ابتدا عناصر به صورت زوجی مقایسه می‌شود، ماتریس مقایسه‌ی زوجی تشکیل می‌گردد و با استفاده از این ماتریس وزن محاسبه می‌شود.

با توجه به پرسشنامه‌های پخش شده، ماتریس مقایسه زوج عوامل و زیر مجموعه‌های آن مشخص شده است.

ماتریس مقایسه زوجی عوامل:

$$\begin{matrix}
 & PO & CO & SP \\
 PO & \begin{bmatrix} 1 & 5 & 3 \end{bmatrix} \\
 CO & \begin{bmatrix} 1/5 & 1 & 1 \end{bmatrix} \\
 SO & \begin{bmatrix} 1/3 & 1/2 & 1 \end{bmatrix}
 \end{matrix}$$

برای محاسبه وزن (wi) با توجه به اینکه ماتریس مقایسات زوجی بدست آمده تا سازگار است چهار روش عمده برای بدست آوردن آن مطرح شده است که عبارتند از:

- ۱) روش حداقل مربعات
- ۲) روش حداقل مربعات لگاریتمی
- ۳) روش بردارهای ویژه
- ۴) روش‌های تقریبی

در اینجا برای بدست آوردن وزن از دو روش بردارهای ویژه مساعتی و روش‌های تقریبی استفاده شده است. محاسبه اوزان عوامل با استفاده از روش بردارهای ویژه ساعتی:

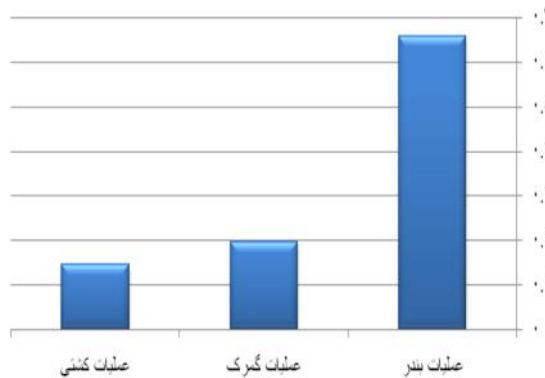
با توجه به این روش  $w_i$  ها به گونه‌ای تعیین می‌شود که رابطه زیر برقرار باشد.

چنانچه ماتریس دارای ابعاد بزرگی باشد برای بدست آوردن مقدار  $\lambda$  میتوان از قضایای جبر خطی استفاده نمود، یعنی دترمینان  $(A - \lambda I)$  را محاسبه نموده و آن را مساوی صفر قرارداده مقادیر ویژه محاسبه می‌شوند بزرگترین  $\lambda$  را در معادله قرارداده تا مقادیر  $w_i$  ها بدست آید.

$$AW = \lambda_{\max} W$$

جواب ماتریس مقایسه زوجی عوامل را در نمودار ۱ مشاهده میکنیم.

### میزان ارجحیت عوامل



نمودار ۱. مقایسه عوامل اصلی انتظار کشتی با استفاده از روش ساعتی

محاسبه اوزان با استفاده از روش‌های تقریبی (روش هندسی):

روش‌های تقریبی برای بدست آوردن وزن عوامل و زیر مجموعه‌های آن این روش‌ها عمدتاً تقریبی از روش بردار ویژه هستند که به دقت‌های مختلف محاسبات را تسهیل می‌نمایند. عمده این روش‌ها عبارتند از:

۱- مجموع سطری

۲- مجموع ستونی

۳- میانگین حسابی

۴- میانگین هندسی

محاسبه وزن هریک از عوامل و زیر مجموعه‌های آن با استفاده از روش تقریبی میانگین هندسی:

(۱) محاسبه وزن ماتریس عوامل:

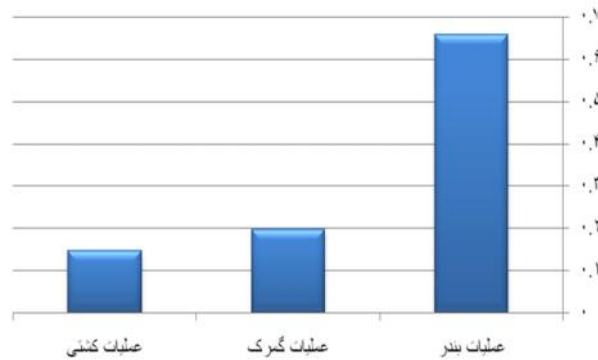
$$\begin{bmatrix} 1 & 5 & 3 \\ 1/5 & 1 & 2 \\ 1/3 & 1/2 & 1 \end{bmatrix} \Rightarrow \begin{bmatrix} \sqrt[3]{1 \times 5 \times 3} \\ \sqrt[3]{1/5 \times 1 \times 2} \\ \sqrt[3]{1/3 \times 1/2 \times 1} \end{bmatrix} \Rightarrow \begin{bmatrix} 2/466 \\ 0/736 \\ 0/549 \end{bmatrix}$$

بردار حاصل از نرمالیزه کردن ماتریس ستونی فوق عبارت است از:

$$\begin{bmatrix} 0/657 \\ 0/196 \\ 0/147 \end{bmatrix} \Rightarrow \begin{matrix} w_1 = 0/657 \\ w_2 = 0/196 \\ w_3 = 0/147 \end{matrix}$$



### میزان ارجحیت عوامل



نمودار ۲. مقایسه عوامل انتظار کشتی با استفاده از روش میانگین

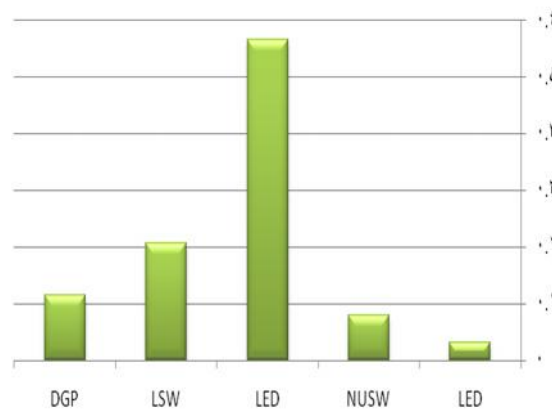
(۲) محاسبه وزن‌های ماتریس زیرمجموعه عملیات کشتی:

$$\begin{bmatrix} 1 & 1/4 & 1/8 & 1/6 & 1/5 \\ 4 & 1 & 1/7 & 1/3 & 1/2 \\ 8 & 7 & 1 & 5 & 6 \\ 6 & 3 & 1/5 & 1 & 3 \\ 5 & 2 & 1/6 & 1/3 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sqrt[3]{1 \times 1/4 \times 1/8 \times 1/6 \times 1/5} \\ \sqrt[3]{4 \times 1 \times 1/7 \times 1/3 \times 1/2} \\ \sqrt[3]{8 \times 7 \times 1 \times 5 \times 6} \\ \sqrt[3]{6 \times 3 \times 1/5 \times 1 \times 3} \\ \sqrt[3]{5 \times 2 \times 1/6 \times 1/3 \times 1} \end{bmatrix} \Rightarrow \begin{bmatrix} 0/253 \\ 0/623 \\ 4/41 \\ 1/61 \\ 0/888 \end{bmatrix}$$

بردار حاصل از نرمالیزه کردن بردار ستونی فوق عبارت است:

$$\begin{bmatrix} 0/032 \\ 0/08 \\ 0/566 \\ 0/206 \\ 0/116 \end{bmatrix} \Rightarrow \begin{matrix} w_1 = 0/032 \\ w_2 = 0/08 \\ w_3 = 0/566 \\ w_4 = 0/206 \\ w_5 = 0/116 \end{matrix}$$

### میزان ارجحیت زیر عوامل عملیات بندر



نمودار ۳. مقایسه زیرعوامل عملیات بندر با استفاده از روش میانگین هندسی

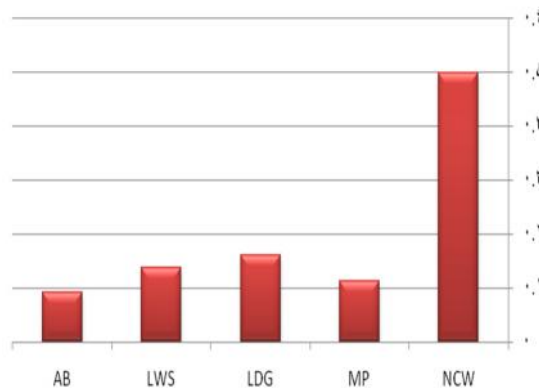
(۳) محاسبه وزن‌های ماتریس زیرمجموعه عملیات گمرک:

$$\begin{bmatrix} 1 & 5 & 9 & 2 & 3 \\ 1/5 & 1 & 5 & 1/3 & 1/2 \\ 1/9 & 1/5 & 1 & 7 & 6 \\ 1/2 & 3 & 1/7 & 1 & 2 \\ 1/3 & 2 & 1/6 & 1/2 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sqrt[3]{1 \times 5 \times 9 \times 2 \times 3} \\ \sqrt[3]{1/5 \times 1 \times 5 \times 1/3 \times 1/2} \\ \sqrt[3]{1/9 \times 1/5 \times 1 \times 7 \times 6} \\ \sqrt[3]{1/2 \times 3 \times 1/7 \times 1 \times 2} \\ \sqrt[3]{1/3 \times 2 \times 1/6 \times 1/2 \times 1} \end{bmatrix} \Rightarrow \begin{bmatrix} 3/063 \\ 0/698 \\ 0/986 \\ 0/843 \\ 0/56 \end{bmatrix}$$

بردار حاصل از نرمالیزه کردن بردار ستونی فوق عبارت است:

$$\begin{bmatrix} 0/498 \\ 0/113 \\ 0/160 \\ 0/137 \\ 0/092 \end{bmatrix} \Rightarrow \begin{matrix} w_1 = 0/498 \\ w_2 = 0/113 \\ w_3 = 0/160 \\ w_4 = 0/137 \\ w_5 = 0/092 \end{matrix}$$

میزان ارجحیت زیر عوامل عملیات گمرک



نمودار ۴. مقایسه زیرعوامل عملیات گمرک با استفاده از روش میانگین هندسی

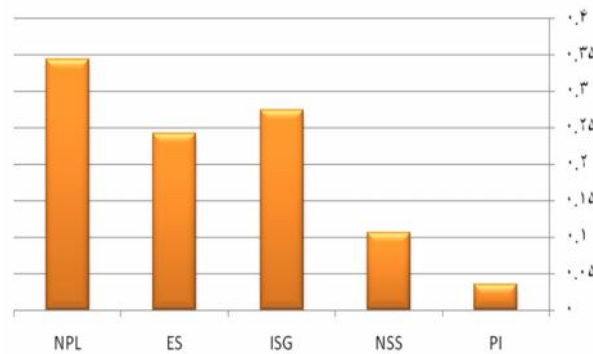
(۴) محاسبه وزن‌های ماتریس زیرمجموعه عملیات کشتی:

$$\begin{bmatrix} 1 & 1/5 & 1/7 & 1/5 & 1/9 \\ 5 & 1 & 1/4 & 1 & 1/8 \\ 7 & 4 & 1 & 4 & 1/6 \\ 5 & 1 & 1/4 & 1 & 8 \\ 9 & 8 & 6 & 1/8 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sqrt[3]{1 \times 1/5 \times 1/7 \times 1/5 \times 1/9} \\ \sqrt[3]{5 \times 1 \times 1/4 \times 1 \times 1/8} \\ \sqrt[3]{7 \times 4 \times 1 \times 4 \times 1/6} \\ \sqrt[3]{5 \times 1 \times 1/4 \times 1 \times 8} \\ \sqrt[3]{9 \times 8 \times 6 \times 1/8 \times 1} \end{bmatrix} \Rightarrow \begin{bmatrix} 0/229 \\ 0/698 \\ 1/794 \\ 1/584 \\ 2/22 \end{bmatrix}$$

بردار حاصل از نرمالیزه کردن بردار ستونی فوق عبارت است:

$$\begin{bmatrix} 0/035 \\ 0/106 \\ 0/274 \\ 0/242 \\ 0/343 \end{bmatrix} \Rightarrow \begin{matrix} w_1 = 0/035 \\ w_2 = 0/106 \\ w_3 = 0/274 \\ w_4 = 0/242 \\ w_5 = 0/343 \end{matrix}$$

میزان ارجحیت زیر عوامل عملیات کشتی



نمودار ۵. مقایسه زیرعوامل عملیات کشتی با استفاده از روش میانگین هندسی

همان‌گونه که از قبل انتظار می‌رفت و نیز وزن‌های بدست آمده با استفاده از دو روش بردارهای ویژه و تقریبی نشان می‌دهد عملیات بندار به عنوان اولین و عمده‌ترین نهادی که رابطه مستقیم با تخلیه و بارگیری کشتی‌های تجاری را داراست، مهم‌ترین و بیشترین نقش را در میزان تأخیر و انتظار کشتی‌های تجاری در بندر شهید کلانتر چابهار را دارد.

پس از آن عملیات گمرک و کشتی در رده‌های بعدی قرار می‌گیرند. در زیر مجموعه بندر، نقص فنی یا کمبود تجهیزات تخلیه و بارگیری بیشترین نحوه را به خود اختصاص داده، عدم استفاده از نیروی کار موجود نیز در این گروه نیمه قابل توجه را کسب کرده است.

در زیر مجموعه عملیات گمرک بوروکراسی اداری بیشترین امتیاز را در میان سایر زیر عوامل به خود اختصاص داده است. هر زیر مجموعه عملیات کشتی، عدم تفکیک و ساینز بندی کشتی و نیز مسائل سیاسی به ترتیب رتبه اول و دوم را در این زیر مجموعه خود اختصاص داده‌اند.

### ۳- نتیجه‌گیری

از مهم‌ترین حوزه‌های مورد اولویت توسعه اقتصادی ملی متناسب با مزیت‌های نسبی و رقابتی ملی کشور، توسعه زیرساخت‌های اقتصادی و حقوقی، ارتقای کارایی بنگاه‌های اقتصادی و آماده‌سازی آنها جهت مواجهه هوشمندانه با قواعد تجارت جهانی در یک فرآیند تدریجی هدفمند و توسعه‌ی بازار سرمایه است. دریای خزر در شمال از نقطه نظر اقتصادی جایگاه مهم و حساس خاورمیانه به شمار می‌رود که وجود جریان‌های سیاسی و جنگ‌های متعدد گواهِ بر این سخن است. شاهراه خلیج فارس و دریای عمان با سابقه طولانی در امر مبادلات جهانی همیشه یک امتیاز مثبت برای کشور ایران بوده ولی آیا از این موقعیت به نحو احسن استفاده شده است؟

حرکت‌های جدی که در زمینه توسعه و تجهیز ناوگان دریایی شده است امیدواری در این حوزه را افزایش می‌دهد و آوردن سرمایه خصوصی به این بخش با بالابردن ضریب اعتماد و کم کردن ریسک و داشتن قوانین اصولی بیمه و گمرک، بسیار مفید بوده و موجب باروری اصل ۴۴ می‌گردد. بر اساس ارزیابی مدل ساخته‌شده پیشنهادها و راهکارهایی برای افزایش کارایی بندار و بویژه پایانه‌ی شهید کلانتری بندر چابهار در زیر ارائه داده شده است:

- افزایش تجهیزات تخلیه و بارگیری کارآمد.
- تسهیل روند اداری ترخیص کالا در گمرکات بندری.
- احداث زیر ساخت‌های ریلی در بندر چابهار و راه‌اندازی سیستمی مطمئن برای ردیابی واگن جهت ارائه‌ی اطلاعات لحظه به لحظه به مشتری.
- تسهیل در شرایط و مدت کار و بهبود در طراحی محیط و وظایف کاری تا حد ممکن.
- حذف عواملی چون روزمرگی و تنش در محیط کار.
- بکارگیری هر چه بیشتر بخش خصوصی در امور مربوط به تخلیه و بارگیری.
- بالا بردن بهره‌وری بندر از طریق انتخاب بهترین و انجام عملیات بهینه در هر لحظه و امکان اجرای روزانه‌ی مدل بدون انجام فعالیت خاص و تنها با استفاده از اطلاعات روزمره‌ی موجود در بندر.

- تجزیه و تحلیل و ارزیابی اقتصادی استفاده از اماکن و تجهیزات استیجاری و برآورد و تأثیر آنها در بالا بردن عملکرد بندر.
- تعیین گزینه‌های مختلف منابع سرمایه‌گذاری، با هدف بررسی نیاز و یا میزان مطلوبیت سرمایه‌گذاری خارجی در بندر.
- تدویم راهبردهای اصولی در زمینه ساختار و عملکرد نیروی کار.
- هماهنگ سازی سیاست‌گذاری در امور بندری با مقامات محلی و دولتی.
- نظارت بر مسیرها و طرق مختلف دسترسی به محدوده بندر.
- ایجاد بستر مناسب جهت بکارگیری تجربه‌های فنی از یک طرف و تجربه‌های تجاری در طرف دیگر قرارداد.
- تسهیم ریسک پروژه‌ها از طریق مشارکت خصوصی با دولت.
- مدیریت و تملک اموال بماندر حتی الامکان در اختیار متولیان امور بندری باشد.

#### ۴- مراجع

- [۱] رئیسی همایون، ایمنی نگهداری و حمل و نقل کالاهای خطرناک، پایان نامه، دانشگاه دریانوردی و علوم دریایی چابهار، ۱۳۸۸.
- [۲] صفار زاده، محمود، ابراهیم نژاد، امیر، مدل بهینه تخصیص تجهیزات و امکانات در بندر، آبان ماه ۱۳۷۹.
- [۳] عبدالله زاده، وحید، کریمی، الناز، ارزیابی و انتخاب تجهیزات گنتری کرین با استفاده از روش AHP گروهی، ۱۳۸۵.
- [۴] عربشاهی، نادر، کاوش‌گر، نرگس، اتوماسیون در پایانه‌های کانتینری، بندر و دریا، شماره ۱۳، فروردین ۱۳۸۷.
- [۵] مرشد، مصطفی، برنامه ریزی ترمینال کانتینری، سازمان بندر و دریانوردی، ۱۳۷۹.
- [۶] نور امین، امیر سعید، کاهش زمان توقف کامیون‌ها در ترمینال کانتینری بندر شهید رجایی با استفاده از تئوری تصمیم‌گیری سلسله مراتبی، پایان نامه، دانشگاه دریانوردی و علوم دریایی چابهار، ۱۳۸۹.

- [7] A.Harris, Gregory, (2009), **Container Terminal Simulation**.
- [8] De Wiele, Jan, Ray, Anandarup, **The Optimum Port Capacity**.
- [9] E.Kent, Paul, **a Tale of Two Ports**, December 2003.
- [10] El-Naggar, M.E, (2010), **Application of Queuing Theory to the Container Terminal**, Journal of Soil Science and Environmental Management, Vol.1.
- [11] HIRASHIMA, Yoichi, (2008), **A Q-Learning System for Container Transfer Scheduling Based on Shipping Order at Container Terminals** , Internal Journal of Innovative Computing ,vol.4.
- [12] K-Hsu, Wen-Kai, S.Huany, Show- Hui, (2009) **Improvement of Service Quality for Container Terminals**.
- [13] Kiani, Mansoor, Nooramini, Saeid, (2008), **Formulating a Break-Even Model of Evaluating the Cost of Container Vessels Waiting Time and Berth Idle Times in Automated Quayside Operations**.
- [14] LE, Yiping, IEDA, Hitoshi, (2010), **Evolution Dynamics of Container Port's**, Systems with a Geo-Economic, Concentration, Asian Transport Studies, Vol.1.
- [15] Onut, Semih, Olcer, Canan, (2008), **Modeling and Optimization of General Cargo Port Operations through Fuzzy Minimal Spanning Tree and Fuzzy Dynamic Programming Approaches** , International Journal of Innovative Computing, Vol.4.
- [16] Van Asperen, Eelco, Dekker, Rommert, (2008), **On the Effect of Ship Arrival Processes on Jetty and Storage Capacity**.
- [17] YANG, Zhongzhen, ZENG, Qingcheng,(2002), **An Approach Integrating Simulation and Q-learning Algorithm for Operation Scheduling in Container Terminals**, Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies Vol.8.