دوفصلنامهٔ هیدروفیزیک

دورهٔ نهم، شمارهٔ دوم (پاییز و زمستان ۱۴۰۲)؛ صفحات ۱۰۴-۸۹

مقالهٔ پژوهشی

DOR: 20.1001.1.24767131.1402.9.2.8.5

درصد همانندی: ٪۲۷

تعیین تعداد تردد یونیت شناور طرح کشتی‌رانی در ترابری رودخانه‌ای

محمدتقی منصوری کیا[۱*]، حمیدرضا شیبانی[۲]، Alan Hoback[۳]

[۱*] نویسنده مسئول، دانشجوی دکتری، گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه پیام نور واحد شمال، تهران، ایران.
mansourikia@kwpa.gov.ir

[۲] استادیار گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه پیام نور واحد شمال، تهران، ایران. sheibani@pnu.ac.ir

[۳] استاد دانشکده معماری و محیط زیست، دانشگاه مرسی، دیترویت، آمریکا. hobackas@udmercy.edu

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۴/۰۹ **تاریخ پذیرش:** ۱۴۰۳/۰۹/۱۸

چکیده

درگذشته نه‌چندان دور لنج‌ها به‌راحتی تا اهواز تردد داشته‌اند. با فرض لایروبی رودخانه کارون، لزوم سامان‌دهی حمل‌ونقل آبی در آن مبرهن است. در این تحقیق نوع و تعداد بهینه شناورها و تجهیزات ناوبری لازم برای حمل بار در رودخانه کارون بررسی شده است. برای ترابری اقتصادی در کارون مطالعات محدودی انجام شده است که در ابتدای تحقیق بررسی شده‌اند. سپس مقدار تناژ بار سالیانه قابل‌حمل در رودخانه برای سه مقدار کمترین (حالت بدبینانه)، محتمل و بیشترین (حالت خوش‌بینانه) در نظر گرفته شد. آنگاه شناورهای پیشنهادی مختلف برای ترابری از مسیرهای اروند و بهمن‌شیر و از مبادی مختلف (ماهشهر یا خرمشهر به اهواز و برعکس) و انواع تجهیزات ناوبری بررسی شده و تعداد و انواع شناورهای موردنیاز برای حمل تناژ مختلف بار سالیانه قابل‌حمل در رودخانه مورد تحلیل اقتصادی قرار گرفت. در بررسی‌ها به سرعت‌های محتمل ناوبری، به عوامل کاهنده سرعت ناوبری همچون بادهای موسومی، گردوخاک و خشک‌سالی، حجم رسوب بردای موردنیاز مرتبط با ابعاد کانال آبراهه و سایر متغیرها توجه شده است. درنهایت ضمن تعیین مشخصات تجهیزات موردنیاز ناوبری، تعداد شناور موردنیاز ناوگان برای تردد رودخانه‌ای از مسیر بندر امام، بهمن‌شیر و اهواز برای حمل سالیانه ۰/۵، ۱، ۲، ۴ و ۸ میلیون تن کالا (سنگ‌آهن) به ترتیب برابر ۵، ۱۰، ۲۰، ۳۴ و ۶۷ دستگاه برآورد شده است. نتیجه کاربردی و بهینه این تحقیق استفاده از ۷ دستگاه یونیت شناور با ابعاد پیشنهادی ارائه‌شده برای حمل ۰/۷ میلیون تن کالا در سال هدف ۲۰۴۶ میلادی می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: تعداد شناور، کشتی‌رانی رودخانه‌ای، رودخانه کارون.

۱. مقدمه

درگذشته نه‌چندان دور، انواع لنج‌ها تا سواحل بندر ناصری عهد ناصرالدین‌شاه (اهواز) تردد داشته‌اند. مسئله پیش رو بررسی امکان احیای ترابری آبی کارون با تعیین بهینه‌ترین شناور طرح و تعیین تعداد شناور موردنیاز و امکانات ناوبری آن‌ها می‌باشد. بدین ترتیب امکان لایروبی رودخانه برای ایجاد کانال آبراهه مناسب قابل‌حل خواهد بود. اهمیت موضوع در توسعه‌گردشگری، ایجاد اشتغال‌پایدار، کاهش‌بخشی از ترافیک ریلی و جاده‌ای، کاهش تنش‌های اجتماعی ناشی از توقع مردم خوزستان در لزوم توجه بیشتر مسئولان به کارون می‌باشد. رود کارون دارای پتانسیل ترابری آبی است و این پتانسیل با ترابری آبی سبک و یا نیم سنگین و افزودن مزایای حداکثری گردشگری، اقتصادی خواهد بود. هدف نهایی تحقیق تعیین تعداد شناور موردنیاز طرح و حداقل امکانات ناوبری آن‌ها می‌باشد.

منصوری کیا و انصاری چکیده‌ای از امکان‌سنجی ترابری آبی در آبراه کارون در تحقیقات متعدد را ارائه داده‌اند [۱] . منصوری کیا و شیبانی به ارائه جنبه‌های تخصصی قفل‌های کشتی‌رانی در تحقیقات مختلف اشاره نموده‌اند [۲]. منصوری کیا و رجبی ابعاد تقریبی کانال ترابری اقتصادی در کارون را پیشنهاد داده‌اند [۳]. موضوع قفل‌های کشتی‌رانی و ترابری آبی در مراجع متعددی بررسی شده است. از میان آن‌ها می‌توان به تحقیقات و نتایج گسترده اخذشده در مراجع لیو و یانگ در سال ۲۰۲۲ [۴] ، ماک و لورک در سال ۲۰۱۴ [۵] ، آبلز در سال ۱۹۸۷[۶] هو و لی در سال ۲۰۲۴ [۷] و لوری یو در سال ۲۰۲۴ اشاره نمود. منصوری کیا در سال ۱۳۹۷ دریک تحقیق مستقل مجموعه مطالعات پیشین را در این زمینه بررسی و به‌روز نموده و بر مبنای آن تناژ اقتصادی شناور پیشنهادی تخمین زده است [۹]. گیلاردی و پرسدو در سال ۲۰۱۷ تعریف جامع و کاملی از ترابری آبی ارائه داده اند [۱۰].

تومیسلاو در ۲۰۰۹ بیان نموده که در گذشته روش باستانی تعیین عرض جغرافیایی با مشاهده ارتفاع نقطه اوج پایین آخرین ستاره دور قطبی انجام می‌شده است [۱۱]. برخی از مسیرهای دریایی پیشنهادشده‌اند که می‌توان با استفاده از تکنیک قایقرانی در عرض جغرافیایی از آن‌ها عبور کرد و ستاره‌ها می‌توانستند به عنوان کمک ناوبری در چنین سفرهایی مورداستفاده قرار گیرند. در یک سایت تخصصی، تجهیزات امروزی ترابری آبی در مراجع مختلف به‌تفصیل شرح داده شده است [۱۲].

در حال حاضر با کمک خدمات دریافتی از ماهواره‌ها و نیز بهره جستن از امکانات دریافت زمینی (یا دریایی) دسترسی به مکان‌هایی که ایستگاه‌های ساحلی قادر به پوشش آن‌ها نیستند نیز فراهم شده است. آرگوئین در سال ۲۰۲۴ بیان نموده که سیستم جهانی ایمنی و اضطرار جهانی پردیش [۱] که به‌اختصار (GMDSS) نامیده می‌شود، در سال ۱۹۹۲ میلادی کلیه نقاط جهان را به چهار بخش (از A_1 تا A_4) تقسیم نموده است [۱۳]. در هر بخش از این چهار بخش، شناورها به تجهیزات خاص و سیستم‌های رادیویی مناسب آن بخش برای ترابری آبی نیاز داشته و مکلف به نصب حداقلی آن‌ها هستند. ضوابط سامانه ایمنی جهانی و اضطرار دریایی پردیش برای شناورهای بالای ۳۰۰ تن اعمال می‌شود. درهرحال ضوابط بسیار زیادی برای رعایت ایمنی در تردد و ترافیک آبی وجود دارد به‌عنوان‌مثال می‌توان به ضوابط مرجع [۱۳] اشاره نمود. در انجام این تحقیق جدای از منابع ذکرشده توان داخلی ناوگان حمل‌ونقل آبی از مراجعی همچون آمارنامه دریایی ایران [۱۴] نیز استخراج شده است. تحلیل‌های فنی و اقتصادی چهار مرجع اصلی شامل مطالعات سوئکو [۱۵] ۱۳۹۶، سازه پردازی ایران ۱۳۸۳[۱۶]، آداب دان فراز [۱۷] ۱۳۸۳ و اسکات ویلسون ۱۳۸۴ [۱۸] و به خصوص مرجع آخر مبنای مناسبی برای شروع این تحقیق بوده‌اند. البته هم‌زمان موضوعات متعدد فنی سایر مراجع معتبر همچون اسکات ویلسون که در سال ۲۰۰۵ [۱۹] در طراحی‌های فنی کانال آبراهه به کار رفته است نیز در تعیین ابعاد اولیه شناور و... در نظر گرفته شده است. آسیب‌های ناشی از میکروارگانیسم‌ها بر تأسیسات کشتی‌رانی ازجمله آب تعادلی[۲] می‌تواند پتانسیل آسیب‌های اقتصادی قابل‌توجه داشته باشد و لازم است بررسی‌ها آن‌ها و تأثیر گونه‌های آبزی

مهاجم بر سلامت انسان به‌عنوان یک واقعیت در نظر گرفته شود.

تحقیقات رایمیکرز و گریگوری در سال ۲۰۰۲ نشان داده است که به‌کارگیری کنترل‌ها و معیارهای محیط‌زیستی سبب شده است که با وجود افزایش ظرفیت بار قابل توجه در کره جنوبی افزایش آلودگی محسوسی در سواحل این کشور به وجود نیاید [۲۰].

در یک دورهٔ ۳۰ ساله سهم ترابری آبی رودخانه‌ای درون کشوری (IWT)[۳] نسبت به سایر ترابری‌ها موردمطالعه قرار گرفته است. ونگ و لی در سال ۲۰۱۲ اعلام نمودند که در اغلب کشورها این سهم کاهشی بوده است [۲۱]. بلژیک و فرانسه حدود ۱۰ درصد کاهش سهم IWT داشته‌اند اما لهستان و انگلستان تغییر محسوسی در این سهم نداشته و در عوض رومانی ۱۵ درصد افزایش در این نوع ترابری داشته است. تمام موارد مورداشاره در بازه‌های زمانی خاص رخ داده و آلمان تنها کشوری بود که سطح نسبتاً پایدار IWT آن بیش از ۱۰٪ از کل بازار باقی مانده است. پنج کشور چین، بلژیک، هلند، فرانسه و آلمان شاهد بازپس‌گیری سهم IWT در این کشور بوده است [۲۱].

در جنوب چین چهار سیستم آبی یعنی رودخانه‌های ژی جینگ، بی جینگ، دونگ جیانگ و مجموعه رودخانه‌هایی در رودخانه مروارید دلتا موجب ایجاد ۱۴۰۰۰ کیلومتر کانال آبی شده‌اند که حدود ۲۲۱۴ کیلومتر از کل رودخانه‌ها قابلیت کشتی‌رانی دارند [۲۱].

هرچند حمل‌ونقل بزرگراهی در سراسر جهان برای چندین دهه غالب بوده است، مقایسه بین‌المللی نشان می‌دهد که حداقل برخی از کشورها مانند آلمان و بلژیک سهم IWT خود را نسبتاً خوب و مهم نگه داشته‌اند.

نکته بسیار جالب این است که محققان از طریق جستجو در متون موجود، چارچوب مناسبی برای ارزش‌گذاری IWT ترابری رودخانه‌ای درون سرزمینی پیدا ننموده‌اند و مقایسه این فرایند را با بزرگراه‌ها و سایر سیستم‌های حمل‌ونقل زمینی از طریق پایداری چشم‌انداز، کاری چالش‌برانگیز دانسته‌اند[۲۱]. فاتونی و پرادونو در سال ۲۰۱۶ اعلام نمودند که سهم حمل‌ونقل رودخانه‌ای در کشور اندونزی بسیار کم است. یافتن یک روش مناسب و باکفایت برای ارزیابی و مقایسه ترابری اقتصادی بالقوه بسیار نادر تشخیص داده شده است. در این کشور سعی شده که روشی جدید برای ارزیابی و مقایسه ترابری رودخانه‌ای پیشنهاد و شبیه‌سازی شود. بنابراین بخش‌هایی از رودخانه با استفاده از نرم‌افزار آرک جی‌آی‌اس[۴] تعیین و مناطق حائل رودخانه با فاصله ۵۰۰ متر تا ۵ کیلومتر از ساحل رودخانه ایجاد شده است. سپس با استفاده از نقشه کاربری اراضی و اسناد سیاست برنامه‌ریزی، امکان ناوبری هر بازه، مباحث اقتصادی، اجتماعی و شاخص‌های محیطی مانند محدودیت‌های ابعادی و ناوبری، تراکم و درآمد جمعیت، نرخ فقر، تعداد سایت‌های صنعتی و اکوسیستم‌های آبی در حال انقراض موجود بررسی شده‌اند. این شاخص‌ها با طول هر بخش متناظر رودخانه مقایسه شده‌اند[۲۲].

مجموعه‌ای از شاخص‌های مفید معرفی‌شده در آن تحقیق به عنوان یک ابزار تصمیم‌گیری حمایتی جدید پیشنهاد و توصیه‌شده که روند کاری‌شان به‌عنوان یک دیدگاه جدید در ارزیابی حمل‌ونقل رودخانه در سایر کشورهای رودخانه‌ای با ویژگی‌های مشابه با اندونزی، به‌ویژه در کشورهای جنوب شرق آسیا استفاده شود[۲۲]. ول آرینهو و همکاران در سال ۲۰۱۹ [۲۳] اعلام نمودند که تحقیقات در مطالعات لجستیک ترابری رودخانه‌ای را گسترده ندانسته و تعداد مقاله‌ها و تحقیقات در مقایسه با انتظارات محققان را کم دانسته‌اند. از منظر ایشان یعنی یکی از بزرگ‌ترین چالش‌ها برای توسعه لجستیک در رودخانه‌ها، کمبود دسترسی به تحقیقات یا کم بودن تحقیقات است. ایشان معتقد هستند که شکاف‌های زیادی وجود دارد که عمدتاً مربوط به چگونگی ادغام بین مدل‌های لجستیک: جاده، راه‌آهن، رودخانه و حمل‌ونقل هوایی، سرمایه‌گذاری و پشتیبانی دولت و همچنین نیروی کار ماهر هستند، با توجه به این واقعیت که هنوز در مورد مدل‌های اقدام اتفاق‌نظر هم وجود ندارد بیشتر تحقیقات مربوطه در قاره اروپا متمرکز است [۲۳]. دهه‌ها، عمدتاً به

دلیل مشکلات مربوط به حمل‌ونقل در کلان‌شهرها پایانه‌های بین وجهی (راه‌آهن، جاده و ترابری آبی) برای بهبود عملکرد، کاهش هزینه‌ها و سبزتر کردن لجستیک وجود داشته است. در چین نشان از بهبود زیرساخت‌های آبراه و بنادر وجود دارد ولی ایجاد پایانه‌های پیچیده بین وجهی هنوز دور به نظر می‌رسد.

مطالعات جدید در چین استدلال می‌کنند که سرمایه‌گذاری و حمایت دولت کافی است ولی مقاله‌های اروپایی بیانگر عدم تأیید این نظر است و حتی مشارکت عمومی خصوصی برای اهرم سرمایه‌گذاری را کافی نمی‌دانند [۲۳]. چینی‌ها در سال ۲۰۱۸ شروع به سرمایه‌گذاری قابل‌توجه در توسعه بنادر و آبراه‌ها نموده‌اند. درحالی‌که اروپایی‌ها از افزایش سرمایه‌گذاری برای توسعه زنجیره‌های لجستیک به روشی عمیق‌تر حمایت می‌کنند. همان‌طور که چین و اروپا شرایط توسعه متفاوتی دارند، مقایسه آن‌ها دشوار است؛ بنابراین آن تحقیق برای تحلیل بهتر این موضوع انجام شده بود. در مورد کمبود نیروی کار ماهر و نیاز به آموزش و کاهش هزینه‌ها در هر دو جغرافیا اتفاق‌نظر وجود دارد [۲۳]. اما ناوگان در بزرگراه در دهه‌های اخیر به‌قدری رشد کرده است که مشکلاتی مانند ازدحام، آلودگی، هزینه‌های بالا و غیره انگیزه جابه‌جایی از حمل‌ونقل جاده‌ای به سایرین، مانند راه‌آهن و عمدتاً آبی را مطرح نموده است. مسائل مربوط به قوانین زیست‌محیطی، استفاده از انرژی‌های تجدید پذیر و... سبب حرکت به سمت مدل‌های سبزتر حمل‌ونقل می‌گردد [۲۳].

کاکود در سال ۲۰۲۱ نشان داد که در حوزه رودخانه مکونگ که از کشورهای چین، لائوس، میانمار و تایلند عبور می‌کند فقط چین دارای طبقه‌بندی آبراه است که در تمام رودخانه‌های چین استفاده می‌شود. این طبقه‌بندی از کلاس VII شناورها به کلاس I می‌رسد و حداقل عمق موجود ۰/۷ تا ۴ متر است [۲۴].

در سال ۱۳۹۶ حدود ۲۳ میلیون تن کالا از طریق ترابری رودخانه‌ای در ویتنام، تایلند، لائوس و کامبوج جابه‌جا شده است. بسیاری از شناورهای در نظر گرفته شده شناورهای سبک تا ۱۵۰ تن می‌باشند. هر چند شناورهای با ظرفیت ۱۶۹۰ تن در کامبوج و شناورهای سنگین‌تر در چین نیز جزو برنامه‌ریزی هستند [۲۴].

مطالعه نشان داده که بخش ناوبری داخلی در سیستم رودخانه مکونگ تا آنجا که به مسائل کارگری مربوط می‌شود از کمبود مقررات رنج می‌برد. در سطح بین‌المللی نیز تقریباً هیچ حداقل استانداردهای کاری (به‌جز برای ماهیگیری) برای ترابری رودخانه‌ای درون کشوری وجود ندارد. در سطح منطقه آسیا نیز ضوابط موجود راهنمایی کمی برای افراد ارائه می‌دهند و عدم رسیدگی به مسائل کارگری که در قلمرو قرار دارند در آن‌ها مشهود است [۲۴]. با تحلیل عوامل جمعیت‌شناسی، اقتصاد، منابع و محیط‌زیست در بحث ترابری رودخانه‌ای در مدل‌های مختلف مشخص شده است که حمل‌ونقل در آینده بیشترین تأثیر را از اثرات اقتصادی خواهد پذیرفت[۲۴]

۲. مواد و روش‌ها

برای تعریف ابعاد شناور مناسب طرح جهت ترابری آبی در کارون توان داخلی برای ساخت شناور مدنظر قرار گرفته است. برای تعیین شناور اقتصادی لازم است نوع کالاهای اقتصادی قابل‌حمل، مسیر مناسب سفر، زمان سفر، ابعاد و احجام لایروبی، هزینه لایروبی، ابعاد قفل کشتی‌رانی، زمان پر و خالی شدن قفل‌ها، نیروهای وارد بر قفل‌ها و شناور و ... تجزیه‌وتحلیل شود.

با فرض صحت اطلاعات آخرین تحقیق تناژ اقتصادی طرح [۹] ابعاد شناور طرح تخمین زده شده و غربالگری لازم برای مشخصات فنی آن انجام شده است. به علت گسترده بودن مباحث فنی، در این تحقیق مباحث مکانیک، هیدرو مکانیک، هیدرولیک و هیدرودینامیکی شناور طرح تشریح نشده است. تمرکز انتخاب شناور طرح بر مبنای تغییرات تناژ و طول و عرض و عمق آبخور شناور آن (که سبب تغییر احجام لایروبی کانال آبراهه و هزینه‌های مترتب می‌گردد) صورت گرفته است. ابعاد و تناژ شناور بر مبنای امکان ساخت آن در داخل کشور در نظر گرفته شده است. تحقیقات نشان می‌دهد امکان ساخت ۹۵ درصدی کشتی طرح در داخل کشور

وجود دارد. در فرایند تحقیق ابتدا مطالعات قبلی بررسی شده و امکان ساخت شناورهای جایگزین مطالعات قبلی با شناورهای تولید داخل بررسی شده است. محتمل‌ترین گزینه‌های شناورهای عملیاتی ترابری رودخانه‌ای بررسی شده و سناریوهای مختلف ترافیک آبی بررسی شده است. بدین منظور ابعاد کانال کشتی‌رانی فرض و کلیه هزینه‌های محتمل تحلیل شده‌اند. همچنین تجهیزات موردنیاز برای ترابری آبی رودخانه‌ای معرفی شده‌اند.

در این تحقیق از نرم‌افزارهای اکسل[۵] (برای تحلیل داده‌ها، گوگل ارث[۶] (برای جانمایی محل پروژه) و پینت [۷] (برای تهیه شکل‌های کاربردی) استفاده شده است.

۳. تئوری و محاسبات

۳-۱. زیرساخت‌های موجود و فرضیه‌های مربوط به توسعه زیرساخت‌ها، شناورها و کانال آبراهه

امکان ساخت و تعمیر انواع مختلفی از شناورهای فلزی و یا فایبرگلاس برای ترابری رودخانه‌ای در ایران و نیز در استان خوزستان وجود دارد. لذا محاسبات بر مبنای تولید داخلی شناورها صورت گرفته است. در ترمینال بندری امام خمینی ماهشهر حمل مواد در کشتی‌های [۸] dwt ۴۰۰۰۰ و بزرگ‌تر انجام می‌شود. میزان تحویل بار تقریباً [۹] tph ۱۰۰۰ برای تخلیه از کشتی و بارگیری به راه‌آهن، و tph ۱۲۰۰ برای بارگیری غیرمستقیم به راه‌آهن است [۱۵]. کشتی‌های پیشنهادشده برای کشتیرانی در کارون در جدول ۱ ارائه شده است.

مبنای کار محاسبات جدول ۱ عبارت‌اند از: ظرفیت ترابری روزانه شناورها (کشتی یا بارج) ضرب در ۲۵۰ روز کاری در هرسال. با روشی مشابه و بر اساس برآورد حمل بار سالیانه ۷/۲ Mtpa مواد معدنی و ۸۰٪ حجم ترافیک و ۶ شناور رودخانه- دریارو و ۶ قطاربارج ظرفیت کل ۹ Mtpa ایجاد خواهد شد. با فرض ۱۹ قطار بارج و ۵ کشتی ظرفیت آبراه حتی به ۲۵ Mtpa خواهد رسید.

کشتی‌های موردمطالعه سازه پردازی ایران [۱۶] شامل کشتی دریارو dwt ۴۰۰۰ و dwt ۵۰۰۰، بارج‌های ۵۰۰ تن و قطار بارج ۵۰۰۰ تن می‌باشند. نتیجه سناریوهای مختلف آن مرجع نشان داده که کمینه هزینه برای هر تن بار با استفاده از کشتی ۵۰۰ تن بین چوئبده و خلیج‌فارس و قطار بارج ۵۰۰۰ تن برای استفاده در طول رودخانه حاصل خواهد شد.

جدول ۱. شناورهای پیشنهادی در کارون توسط مشاوران مختلف و مثال‌هایی از ظرفیت حمل سالیانه رودخانه

	پیشنهاد سازه پردازی ایران [۱۶]		پیشنهاد اسکات ویلسون [۱۸]	
شناور	رود- دریارو	قطار بارج	بارج خودکشش+ یدکی	بارج خودکشش+ خودکشش ۳ یدکی
ظرفیت حمل (dwt)	۱۰۰۰	۵۰۰۰	۱۲۵۰	۲۵۰۰
کل طول (m)	۷۵	۱۴۵	۹۳/۷	۱۷۰
کل عرض (m)	۱۲	۱۰	۱۲	۱۲
درفت حداکثر (m)	۲/۲	۲/۵	۲/۳۵	۲/۳۵
تعداد شناور در شبانه‌روز	۵ قایق رودخانه دریارود	۶ قطار بارج	۶۴	۱۹ قطار بارج
ظرفیت سالیانه رودخانه (Mtpa)[۱۰]	۱/۲	۷/۵	۸	۲۵

برای تعیین ابعاد کانال آبراهه متناسب با ابعاد شناورهای مختلف مطالعات و محاسبات گزینه‌های مختلف صورت گرفت. برای مثال در جدول ۲ افزایش عرض پیشنهادی کانال آبراهه جهت تأمین قابلیت مانور مناسب شناور در پیچ‌های آبراهه بر مبنای ابعاد شناور پیشنهادی این تحقیق، با یک تحقیق دیگر مقایسه شده است.

جدول ۲. شعاع پیچ‌های آبراهه در پیشنهادهای اسکات ویلسون [۱۸] و منصوری کیا [۳]

زاویه (درجه)	شعاع پیچ (متر)		
	۸۰ تا ۲۰۰	۲۰۰ تا ۳۷۵	بیش از ۳۷۵
بیش از ۳۰	۲۰ متر [۱۸] ۱۰ متر [۳]	۱۰	۰
بین ۲۰ تا ۳۰	۱۰	۱۰	۰
زیر ۲۰	۰	۰	۰

تذکر: تنها اختلاف اعداد پیشنهادی دو مرجع در یک حالت (مورداشاره در متن جدول) رخ داده است.

برآورد حجم لایروبی جهت ایجاد آبراه قابل کشتیرانی در دبی‌های گوناگون در جدول ۳ نشان داده شده است.

جدول ۳. حجم لایروبی سالیانه جهت ایجاد آبراه قابل کشتیرانی در دبی‌های گوناگون

حجم متوسط دبی رودخانه	حجم رسوب موردنیاز جهت لایروبی، میلیون مترمکعب	
مترمکعب بر ثانیه	سازه پردازی ایران [۱۶]	منصوری کیا [۳]
۱۲۰	۲۶/۴	۵/۵
۲۰۰	۱۷/۳	۵
۳۰۰	۱۳/۱	۴/۵
۴۰۰	۱۰/۰	۴
۵۰۰	۷/۷	۴

مسیرهای سفر بررسی‌شده عبارت‌اند از:

خلیج‌فارس–بهمن‌شیر–کارون–اهواز

خلیج‌فارس–اروندرود–حفار–کارون–اهواز

شروع از خرمشهر–حفار–کارون–اهواز

زمان تقریبی سفر از بند امام خمینی ماهشهر (خلیج‌فارس) تا پل فولاد اهواز با توجه به سرعت متوسط شناورها برای حمل سنگ‌آهن برای کارخانه فولاد خوزستان، سه روز خواهد بود. در این تحقیق برای مناسب‌ترین حالت‌ها ظرفیت بار سالیانه ترابری آبی بین ۰/۷ Mtpa تا ۲/۱۳ Mtpa در نظر گرفته شده است؛ بنابراین با توجه به اصلاح تناژ و ابعاد شناور طرح در این تحقیق، تعداد یونیت شناور طرح [۹] نیز بین ۷ تا ۲۲ فروند برای حداقل و حداکثر ظرفیت حمل بار در سال هدف به دست می‌آید. سه حالت بدبینانه، محتمل و خوش‌بینانه برای میزان تناژ سالیانه حمل بار در نظر گرفته شده است. حداکثر حمل بار سالیانه خوش‌بینانه در مطالعات پیشین بین ۸ تا ۹ میلیون تن در سال و در مطالعات حاضر ۲/۱۳ میلیون تن در سال می‌باشد.

شناورهای بررسی‌شده مطالعات پیش شامل موارد زیر است:

الف) بارج تک خود پیش‌ران قادر به حمل ۱۰۰٪ بار

ب) بارج خود پیش‌ران با بارج یدک که هرکدام ۵۰٪ حمل بار را به عهده دارند.

پ) یدک‌کش[11] با ۲ بارج ساکن

در مطالعات پیشین نهایتاً بارج ۵۰ متری خود پیشران به همراه بارج یدک آن که هرکدام ۵۰٪ حمل بار را به عهده دارند به عنوان گزینه برتر شناسایی شده است. به مجموعه این دو در مطالعات قبل «یونیت بارج» یا «یونیت شناور طرح» گفته شده است. در این متن نیز از همین اصطلاح یا یونیت شناور طرح برای اشاره به گزینه برتر مطالعات پیشین اسکات ویلسون[12] [۱۸] استفاده شده است. البته شناور انتخاب‌شده در مطالعات حاضر نیز نهایتاً مشابه شناور قبلی مرکب از دو بارج خود پیش‌ران و یدکی می‌باشد. تفاوت عمدهٔ یونیت شناور مطالعه حاضر (که یونیت شناور طرح جدید خوانده می‌شود) با یونیت شناور طرح (گزینه برتر مطالعه پیشین) در قابلیت حمل تناژ کمتر سالیانه هر شناور یعنی ۱۰۰ هزار تن (به جای ۱۳۴ هزار تن قبلی) و ابعاد کوچک‌تر و اقتصادی‌تر با هزینه اولیه و بهره‌برداری کمتر و انعطاف‌پذیری بیشتراست.

اسکات ویلسون[11] [۱۸] انواع کشتی برای حمل در ترافیک مدنظر را در نظر گرفته است. البته مطالعات شرکت سازه پردازی ایران کشتی رودخانه- دریارو ۱۰۰۰ ton و قطاربارج ۵۰۰۰ton را برای کشتیرانی در کارون پیشنهاد داده است. اسکات ویلسون کارایی کشتی با ابعاد کشتی طرح مذکور را برای حمل ۱۰۰۰ تن بار در دریا، زیر سؤال برده است. ازنظر آن مشاور، فرض ظرفیت محتمل‌تر محدودهٔ ۵۰۰ تا ۶۰۰ تن است. در پیچ‌های تند رودخانه نیز کشتی با پروانه معمولی مشکلاتی خواهد داشت. قطار بارج ۵۰۰۰ تن توصیه شده سازه پردازی با طول ۱۴۵ متر در عبور از پیچ‌های تند رودخانه مشکل خواهد داشت. مهم‌ترین فاکتور تعیین کشتی‌هایی است که بیشترین حد ممکن انعطاف‌پذیری را داشته باشند تا در افزایش ترافیک بار نسبت به ترافیک پایه امکان انجام جابه‌جایی به شکل مناسب و اقتصادی فراهم باشد.

در بین انواع گزینه‌ها گزینه‌های یونیت شناور طرح کارایی عملیاتی‌تری دارند.

در هر نوع کشتی دریچه‌ها [۱۳] به گونه‌ای طرح می‌شوند که عبور کانتینرهای بار امکان‌پذیر باشد. در مطالعات پیشین در شناورهای کوچک (شناور خود پیشران و شناورهای یدکی پیوسته به آن) شش کانتینر «استقرار یافته» [۱۴] (۸ واحد در شناور تکی خود پیشران) و تا هشت کانتینر در حالت «هاشور» [۱۵] روی عرشه (۱۰ واحد در شناور تکی خود پیشران) قابل‌استقرار است. کل ظرفیت کانتینرها ۵۶ برای قطار بارج که تا ۷۲ کانتینر معادل بیست فوت teu[۱۶] در حالت تک بارجی قابل افزایش است. بررسی کامل کانتینرها نیاز به مطالعه بیشتر دارد. برای درفت هوای ۵/۲۵ متر تنها کانتینرهای با ارتفاع نصف کانتینرهای رایج [۱۷] روی عرشه قابل حمل‌اند. در مطالعه حاضر تعداد کانتینرها به نحو محسوسی کاهش یافته است.

۳-۲. مشخصات شناورها و زمان طی سفر

۳-۲-۱. بارج تک با توانایی خود پیش‌ران

تک بارج پیشنهادی اولیه با توانایی خود پیش‌رانی، به سرعت ۱۰ گره دریایی، با طول کلی ۸۹/۵، طول PB برابر ۸۵، طول بیم ۱۴/۵، با عمق ۵/۵ و درفت ۲/۵ متر، وزن شناور [۱۸] برابر ۱۲۵۰ تن، با قدرت جابه‌جایی ۲۵۰۰ تن با توان حرکت در آب‌های آزاد (غیرمواج) در نظر گرفته شده بود.

۳-۲-۲. بارج خود پیشران همراه با یک بارج ساکن

برای بارج خود پیشران با بارج ساکن، هر بارج پیشران دارای ابعاد زیر است.

طول کل ۵۲/۷، طول[۱۹] PB ۵۰، طول تیر ۱۲، عمق ۳/۵ و درفت ۲/۳۵ متر، وزن شناور ۴۵۰ تن، جابه‌جایی ۱۲۵۰ تن، سرعت ۱۰ گره. بارج ساکن وزن مرده و ابعاد برابر (در همه یونیت‌ها) داشته و دارای مشخصات تقریبی زیراست:

طول کل ۴۱، طول PB ۴۰، تیر ۱۲ متر، عمق ۳/۵ و درفت ۲/۳۵ متر، وزن مرده ۶۵۰ تن، جابه‌جایی ۱۰۰۰ تن.

کل طول یونیت بارج‌های پیوسته ۹۳/۷ متر است.

۳-۲-۳. یدک‌کش با دو بارج ساکن

یک یدک‌کش با دو بارج ساکن شامل ابعاد زیراست:

طول کل ۳۲، طول BP ۳۰، تیر ۱۲، درفت ۲/۳۵ و عمق ۳/۵ متر، جابه‌جایی ۶۰۰ تن، طول کل سه شناور ترکیب شده ۱۱۴ متر است. طول این قطار بارج‌ها برای عبور از پیچ‌های تند رودخانه بیشتر بوده و تأخیر زمانی زیاد می‌شود. در پیچ‌ها، می‌بایست یدک‌کش تک‌تک بارج‌ها را جداگانه از پیچ عبور دهد. یعنی یدک‌کش پیچ‌های رودخانه را ۳ بار (به‌جای یک‌بار) طی نماید. مسلماً این فرایند منطقی نبوده و رد می‌گردد.

بارج خودکشش یا یدکش لازم دارای تجهیزات کشتیرانی متعارف همچون رادار، تولیدکننده و گیرنده صدای اکو، رادیو و GPS [۲۰] داشته باشد.

۳-۲-۴. صرف زمان بارگیری و باربرداری در بندر

تجربه جهانی مبین سرعت متوسط کشتی‌ها در حد فرض‌های زیر است که ملاک عمل این تحقیق بوده است:

در خلاف جریان رودخانه ۶ گره دریایی، در جهت جریان رودخانه ۸ گره دریایی و در دریای نسبتاً آرام ۶ گره دریایی. (هر گره دریایی ۱۸۵۲ متر بر ساعت)

کاهش سرعت در پیچ‌های رودخانه‌ای و تلاطم دریا و البته کاهش سرعت ناشی از باد شدید مخالف در این برآوردها منظور نشده است. سنگ‌آهن در دو حالت فله‌ای و کانتینرهای نیم ارتفاع[۱۷] قابل‌حمل است.

کشتی فله‌بر مدنظر اسکات ویلسون [۱۸] با ظرفیت ۱۲۵۰ تن (با فرض کالای اصلی سنگ‌آهن) در هر کشتی است. برای چنگک جرثقیل ۱۰ تنی زمان میانگین بلند نمودن مصالح ۲/۵ دقیقه وتوان عملیاتی ۲۴۰ تن در ساعت خواهد بود. با شبیه‌سازی، زمان لازم برای تخلیه بارکشتی ۵/۲ ساعت با یک جرثقیل و برای دو جرثقیل هم‌زمان ۲/۶ ساعت است. اگر ۳۰ دقیقه برای پهلوگیری و ۳۰ دقیقه برای جدا شدن در نظر

گرفته شود یا استفاده هم‌زمان دو جرثقیل کل زمان بارگیری یا تخلیه از ۶/۲ ساعت (فعالیت با یک جرثقیل) به ۳/۶ کاهش می‌یابد. جابه‌جایی سنگ‌آهن در کانتینرها سبب حمل بار کمتر خواهد شد زیرا کشتی لاجرم وزن کانتینرها را نیز حمل خواهد نمود. هر کانتینر در حدود ۲ تن داشته و می‌تواند شامل ۲۳ تن سنگ‌آهن و با وزن نهایی ۲۵ تن باشد. در کشتی طرح اسکاد ویلسون امکان قراردهی ۵۰ کانتینر معادل ۱۱۵۰ تن سنگ‌آهن وجود دارد. میزان جابه‌جایی کانتینرها در هر اسکله تقریباً ۲۰ عدد در هر ساعت است. پس زمان تخلیه تقریباً ۲/۵ ساعت خواهد بود و ۲/۵ ساعت دیگر نیز برای بارگیری مجدد آن‌ها در سفر برگشت نیاز خواهد بود. فرض ۳۰ دقیقه زمان پهلوگیری و ۳۰ دقیقه برای جداشدن شناور از بندر برای حرکت مجدد، جمعاً ۶ ساعت در بندرگاه برای هر سفر زمان صرف خواهد شد بنابراین معادل این زمان هم برای کار یک جرثقیل در اسکله فرض می‌گردد. اگر دو جرثقیل با نرخ کارکرد مشابه و در یک زمان فعالیت نمایند زمان مذکور به ۳/۵ ساعت کاهش خواهد یافت. برای هردو حالت، کمینه ۳/۵ ساعت زمان کاری در بندر به ازای هر سفر یک‌طرفه برای هر کشتی باربر لازم است.

اما در مورد کشتی فله‌بر ارائه شده در این تحقیق (منصوری کیا) با ظرفیت ۹۵۰ تن سنگ‌آهن در هر کشتی، زمان تخلیه بارکشتی از ۵/۲ به ۴ ساعت برای کار با یک جرثقیل و از ۲/۶ به ۲ ساعت برای دو جرثقیل کاهش خواهد یافت. در مورد حمل کانتینری زمان تخلیه حدود ۲/۲۵ (به‌جای ۲/۵) ساعت خواهد شد و ۲/۲۵ ساعت دیگر برای بارگیری مجدد آن‌ها در برای سفر برگشت لازم است. با احتساب همان ۳۰ دقیقه زمان پهلوگیری و ۳۰ دقیقه زمان جدا شدن از بندر درکل ۵/۵ ساعت در بندرگاه برای هرسفر زمان صرف خواهد شد. عدد اخیر ۳۰ دقیقه کاهش نسبت به شناور اسکات ویلسون را نشان می‌دهد. در این حالت برای استفاده هم‌زمان دو جرثقیل زمان به ۳/۲۵ ساعت کاهش خواهد یافت. برای دو حالت یک و یا دو جرثقیلی، در مورد شناور پیشنهادی این تحقیق، حداقل ۳/۲۵ ساعت زمان کاری در بندرگاه برای هر سفر یک‌طرفه یک کشتی لازم است.

جدول ۴. مقایسه زمان بارگیری یا تخلیه بار با چنگک در بنادر و در گزینه‌های مختلف ترابری

شناور پیشنهادی	نوع شناور	تناژ (تن)	تعداد کانتینر	وزن خالص کالا (تن)		جابه‌جایی با یک جرثقیل (ساعت)		جابه‌جایی با دو جرثقیل (ساعت)	
				بار فله	بارکانتینر	بار فله	بارکانتینر	بار فله	بارکانتینر
اسکات ویلسون[۱۱] [۱۸]	یونیت بارج	۱۲۵۰	۵۰	۱۲۵۰	۱۱۵۰	۵/۲	۶	۲/۶	۳/۵
منصوری کیا	یونیت بارج	۹۵۰	۴۵	۹۵۰	۸۶۰	۴	۵/۵	۲	۳/۲۵

تذکر ۱: یونیت بارج شامل: بارج خودکشش + یک بارج یدکی است.

تذکر ۲: زمان شامل مجموع زمان بارگیری یا تخلیه بار با چنگک و جرثقیل (بار فله) یا جرثقیل (بار کانتینر) است

تذکر ۳: هرکانتینر ۲ تن وزن داشته و قادر به حمل ۲۳ تن سنگ‌آهن است.

سفرهای رفت‌وبرگشت ۶۹ ساعت و ۴۵ دقیقه (از طریق اروندرود) یا ۶۵ ساعت و ۳۰ دقیقه (از طریق بهمن‌شیر) وقت خواهند گرفت. زمان متوسط پهلوگیری ۳۰ دقیقه‌ای برای هر کشتی تک، خیلی محافظه‌کارانه است. می‌بایست اثر بهره‌برداری ۳ قفل کشتی‌رانی پیشنهاد شده، ۲ قفل در بهمن‌شیر و یکی در کارون را لحاظ کرد. یعنی ۱ ساعت به زمان مسیر اروند و ۳ ساعت به زمان مسیر بهمن‌شیر اضافه شده و این کل زمان طی مسیر را به ۷۰ ساعت و ۴۵ دقیقه در مسیر اروند و ۶۸ ساعت و ۳۰ دقیقه در مسیر بهمن‌شیر خواهد رساند [۱۸].

گزینه دیگر مسیراهواز–خرمشهر می‌باشد که یک سفر رفت‌وبرگشت آن از خرمشهر به اهواز حدود ۳۵ ساعت و ۳۰ دقیقه زمان خالص و ۱ ساعت افزایش به خاطر قفل کشتی‌رانی سد مارد، خواهد داشت [۱۸].

زمان‌های بالا تجربی/ تئوری بوده و زمانی برای تأخیرهای بیشتر در بندرگاه و یا حوادث دیگر پیش‌بینی شده در سفر، منظور نشده است. بهتر است برای تحلیل‌ها یک افزایش ۱۰

درصدی در زمان سفر برای اعمال اثر حوادث منظور گردد. خلاصه نتایج زمان سفر در جدول ۵ نشان داده شده است.

جدول ۵. مقایسه زمان سفر در گزینه‌های مختلف ترابری آبی اسکات ویلسون [۱۸] و این تحقیق

نام گزینه و نوع حرکت	زمان طی سفررفت‌وبرگشتی (شبانه‌روز)		
	تئوری	واقع‌گرایانه	واقع‌گرایانه این تحقیق
1A بندر امام – بهمن‌شیر – اهواز (بدون ساخت سد)	۲/۸	۳	-----
1B بندر امام – بهمن‌شیر– اهواز (با سه قفل کشتی‌رانی)	۲/۹	۳/۲	۳
2A بندر امام – اروند – اهواز (بدون ساخت سد)	۲/۹	۳/۲	-------
2A بندر امام – اروند– اهواز (با یک قفل کشتی‌رانی)	۳	۳/۳	۳/۱
3A خرمشهر–اهواز (بدون قفل مارد)	۱/۵	۱/۷	-------
3B خرمشهر–اهواز (با قفل مارد)	۱/۶	۱/۷	۱/۷

در این تحقیق به علت در حال ساخت بودن سه قفل کشتی‌رانی، محاسبات با فرض عدم وجود آن‌ها (برخلاف اسکات ویلسون که این فرض را منطقی دانسته) لحاظ نشده است. ازنظر این تحقیق و با توجه به تجارب موجود در نظر گرفتن زمان اضافه ۱ ساعت در مسیر اروند و ۳ ساعت در مسیر بهمن‌شیر به علت وجود قفل‌ها منطقی نیست و این اضافه زمان‌ها به ترتیب ۰/۵ ساعت در مسیر اروند و ۱ ساعت در مسیر بهمن‌شیر منظور شده است. در ضمن زمان ۰/۵ ساعت برای پهلوگیری و ۰/۵ ساعت برای جدا شدن از اسکله نیز زیاد است ولی برای جبران زمان هدررفته در حوادث و تأخیرهای غیرمترقبه به همین اعداد اکتفا شده است.

۳-۳. تعداد موردنیاز شناورها برای حمل بار

تعداد موردنیاز کشتی‌ها به توان عملیات بندری، زمان سفر، ظرفیت بارج یا کشتی و برآوردهای اقتصادی بستگی دارد.

محاسبه تعداد کل شناورها بر اساس زمان‌های واقع‌گرایانه و با یک افزایش ۲۰ درصدی برای شناورهای تحت مرمت و تعمیر صورت گرفته و در جدول ۶ نشان داده شده‌اند.

جدول ۶. تعداد کل شناورهای موردنیاز ناوگان [۱۸] ، اعداد داخل مستطیل دوخطی بیانگر نتایج تحقیق حاضر است.

میلیون تن در سال (سنگ‌آهن) ====>>>	۰/۵		۱		۲		۴		۸	
گزینه‌های مسیر حرکت شناورها	تعداد موردنیاز شناورها در سال									
1A بندر امام– اهواز– بهمن‌شیر، بدون وجود سد	۴	–	۸	–	۴۶	–	۳۲	–	۶۴	–
1B بندر امام– اهواز– بهمن‌شیر، با وجود ۳ سد	۴	۵	۸	۱۰	۱۷	۲۰	۳۴		۶۷	
2A بندر امام– اهواز– اروندکنار، بدون وجود سد	۴	–	۹	–	۱۷	–	۳۴	–	۶۸	–
2A بندر امام– اهواز– اروندکنار، با وجود ۱ سد	۴	۵	۹	۱۲	۱۷	۲۰	۳۵		۶۹	
3A خرمشهر– اهواز، بدون وجود سد	۲	–	۴	–	۹	–	۱۸	–	–	–
3B خرمشهر–اهواز، با وجود ۱ سد	۲	۳	۵	۶	۹	۱۲	۱۸	–	–	–

اعداد مندرج در جدول که دارای محیط دوخطی می‌باشند نشانگر تعداد شناورهای پیشنهادی این تحقیق برای حمل بار هستند. سایر اعداد بیانگر تعداد شناورهای پیشنهادی اسکات ویلسون هستند. در محاسبات جدول فوق ظرفیت سیستم ترابری متأثر از میزان و جنس کالا، ظرفیت حمل کشتی، هزینه‌های بارگیری و باربرداری، فاصلهٔ زمانی حرکت بین شناورها، محدودیت‌های آب و هوایی و فیزیکی می‌باشد. فرض بر این است که کانال کشتی‌رانی در طول سال با لایروبی سالیانه باز می‌ماند و کشتی‌ها و دیگر زیرساخت‌ها نیز مدام نگهداری و مرمت می‌شود. از دیگر مفروضات تأمین کمینه دبی موردنیاز سالیانه برای ترابری آبی در کارون و وجود و توزیع یکنواخت بار و کالاها در طول سال است. با منظور نمودن این فرضیات، عامل اصلی تعیین ظرفیت سیستم، ظرفیت کشتی[۲۱] و مشکلات کاری خواهند بود. شناور طرح

مطالعات پیشین (دو بارج) ظرفیت حمل بار ۱۲۵۰ تن را دارد. با اضافه نمودن یک بارج یدکی دیگر می‌توان ظرفیت آن را دو برابر نموده و به ۲۵۰۰ تن رسانید. اغلب ترافیک پیش‌بینی‌شده سالیانه یک‌طرفه است. برای سادگی محاسبات ظرفیت متوسط بار کلی بین ۱۲۵۰ تن (برای یک کشتی استاندارد حامل محمولهٔ یک‌طرفه) تا ۵۰۰۰ تن (برای بارج‌های دوبل شده با ظرفیت بار دو برابر و حرکت دوطرفه) می‌باشد. اگر کل کشتی‌ها عبوری به بالادست رودخانه دارای ۲۰ درصد بار برگشتی برای ۵۰ درصد ظرفیتشان باشند، متوسط ظرفیت بار «یونیت بارج» برابر با

تن ۱۳۷۵ = (۰/۵ × ۰/۲ + ۱) × ۱۲۵۰ و برای دو سری یونیت بارج (معروف به بارج‌های دوبل) برابر ۲۷۵۰ تن خواهد بود.

مشکل فیزیکی اصلی، محدودیت در تعداد اسکله‌های بنادر و وجود قفل‌هاست. از منظر نظری، بدون سرمایه‌گذاری می‌توان تعداد اسکله‌ها را بیشتر نمود تا نیازها را تأمین کرد. اما افزایش ظرفیت قفل‌ها مشکل است مگر اینکه ابعاد آن‌ها را بزرگ‌تر (نسبت به پیشنهاد اسکات ویلسون) نموده و یا تعداد قفل در هر سد را افزایش دهیم.

تفاوت تراز آب در دو سوی قفل‌ها و شرایط رد شدن یک واحد کشتی یا دو واحد کشتی از قفل (در مورد اخیر نیز دوحالت متوالی بودن واحدهای کشتی در حال حرکت در مسیر یکسان یا رودررو بودن آن‌ها) باعث می‌شود که زمان عبور شناورها از قفل یکسان نباشد. برای قفل با اندازه‌های پیشنهادشده، می‌توان زمان هر سفر ۳۰ دقیقه‌ای پیش فرض را به ۲۰ دقیقه کاهش داد. هر کشتی به‌اجبار به مبدأ برمی‌گردد بنابراین هر سفر رفت و برگشتی با ۴۰ دقیقه زمان باز و بسته شدن قفل‌ها مواجه است؛ بنابراین در فعالیت شبانه‌روزی (۲۴ ساعته) هر قفل ۳۶ کشتی را عبور خواهد داد. برای ۳۶۵ روز سال هر قفل دارای ظرفیت اسمی عبور ۱۳۱۴۰ کشتی می‌باشد. در عمل قفل‌ها در ظرفیت و کارایی متوسط کار می‌کنند و آن ظرفیت اسمی رخ نمی‌دهد، بلکه تا حداکثر ۵۰٪ آن تحقق خواهد یافت. علت این امر ورود نامنظم کشتی‌ها به قفل، اشغال بودن قفل توسط کشتی‌های دیگر، کاهش فعالیت در تعطیلات و هوای بد، تعمیرات ناشی از بهره‌برداری قفل و ... می‌باشد. لذا ظرفیت عبوری به ۶۵۷۰ کشتی در سال کاهش خواهد یافت. با در نظر گرفتن ظرفیت متوسط بار هر «یونیت بارج»، ظرفیت سالیانه حمل (میلیون تن) به ۹/۰۴ = $۱۰^{-۶}$ * ۶۵۷۰ * ۱۳۷۵ می‌رسد. البته ظرفیت حمل بار سالیانه در تحلیل اخیر اسکات ویلسون[۱۱] غلط است. عدد متوسط ۱۳۷۵ تن در هر سفر رفت‌وبرگشتی (با بخشی از ظرفیت بار برگشتی ونه کل آن) نیاز به اصلاح دارد.

زیرا لازم است وزن کانتینرها از ظرفیت حمل بار خالص کم شود؛ بنابراین برای حدود ۵۰ کانتینر و وزن هر کانتینر برابر ۲ تن میزان بار خالص قابل حمل

۱۲۵۰ – (۲ × ۵۰) = ۱۱۵۰

۱۱۵۰ تن به ازای هر سفر رفت خواهد بود. در صورتی که ۲۰٪ ظرفیت حمل در برگشت از اهواز به مقصد پر شود و تنها ۵۰٪ احتمال وقوع این حالت در سال وجود داشته باشد، میزان تناژ بارخالص در هر سفر رفت‌وبرگشت برابر

۱۱۵۰ × (۱ + ۰/۲ × ۰/۵) = ۱۲۶۵

۱۲۶۵ تن به ازای هر سفر رفت‌وبرگشت خواهد بود.

بنابراین عدد ۹/۰۴ در ضریب ۳/۳۱۷= ۹/۰۴ * ۰/۹۲ ضرب شده و ۸/۳۱۷ میلیون تن در سال خواهد شد. تکرار محاسبات برای شناور پیشنهادی این تحقیق بیانگر متوسط ظرفیت بار «یونیت بارج‌ها» برابر با تن ۱۰۴۵ = (۰/۵ × ۰/۲ + ۱) × ۹۵۰ خواهد بود. از نگاه این تحقیق حداکثر ظرفیت سالیانه حمل (میلیون تن) ۷/۳ = $۱۰^{-۶}$ * ۷۰۰۰ * ۱۰۴۵ برای سفرهای رفت‌وبرگشتی می‌باشد.

۴. یافته‌ها

۴-۱. یافته‌ها در موضوع ناوبری

آخرین بررسی‌های این تحقیق نشان می‌دهد که برای ناوبری مؤثر و ایمن لازم است شناورها گذشته از تجهیزات قانونی موردنیاز، به تجهیزات زیر نیز مجهز باشند.

سیستم موقعیت‌یابی جغرافیایی GPS[۲۰]؛

نورافکن قدرتمند در جلو و عقب شناور؛

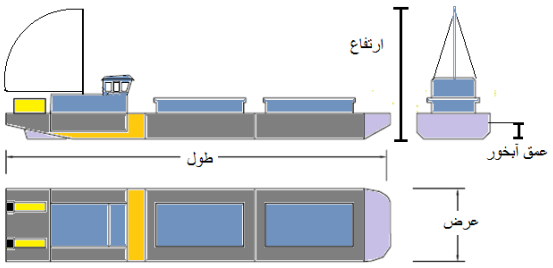
دستگاه‌های تولید صدای اکو عمودی و روبه‌جلو؛

تجهیزات رادیویی کشتی به کشتی و کشتی به ساحل.

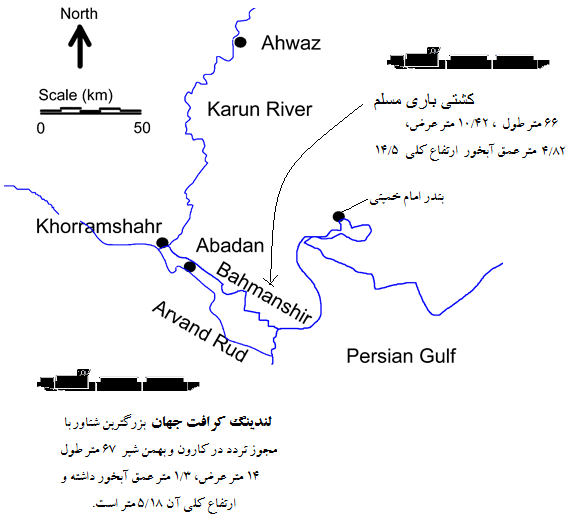
دو فروند قایق بادی مناسب هرکدام با گنجایش حداقل ۵ نفر با ۳۰ اسب بخار توان و یکی از آن‌ها داری تیرک عمودی و بازوی افقی و وینچ و گیربکس برای جابه‌جایی بار باشد.

۴-۲. یافته‌ها در اقتصاد مهندسی

برای درک بهتر یافته‌های پژوهش ابتدا در شکل ۱ تعریف ابعاد یک شناور به شکل شمانیک ارائه شده است. سپس در شکل ۲ مسیرهای آبی رودخانه‌ای و بزرگ‌ترین شناور عبوری از رودخانه بهمن‌شیر و نیز بزرگ‌ترین شناور عبوری از کارون نشان داده شده‌اند.



شکل ۱. تعریف ابعاد شماتیک یک شناور متعارف

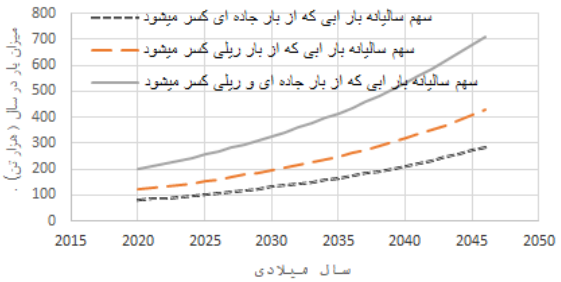


شکل ۲. مسیر آبی رودخانه‌های قابل کشتی‌رانی در جنوب غرب کشور و ابعاد دو شناور بزرگی که در جنوب بهمن‌شیر و یا کارون تردد نموده‌اند.

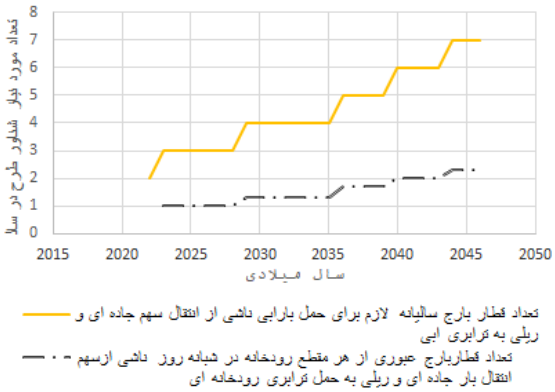
در تحقیق حاضر شناورهایی که قبلاً برای ترابری رودخانه‌ای پیشنهاد شده بودند (ازجمله شناورهای شکل ۱ و یا شناورهای پیشنهادشده در مراجع [۱۸-۱۶]) برای ترابری رودخانه از خلیج‌فارس تا اهواز مناسب تشخیص داده نشده‌اند. علت اصلی اقتصادی نبودن ترابری رودخانه‌ای به نسبت ترابری ریلی است. شناورهای کوچک‌تر و چابک‌تر کارآمدی بیشتری در سیستم ناوبری داشته و اقتصادی‌تر تشخیص داده شده‌اند. گزینه پیشنهادی این تحقیق، استفاده از یک فروند بارج خود پیشران با ظرفیت حمل بار ۴۷۵ تن است که وظیفه حمل یک بارج ساکن با ظرفیت مشابهی را دارد. یک شناور تک با ظرفیت ۹۵۰ تن نیز همین کارآمدی را خواهد داشت. تنها گزینه از مطالعات قبلی که تا حدودی قابل رقابت با گزینه مورداشاره این تحقیق بوده، گزینه شناور تک ۱۲۵۰ تنی (یا دو شناور خودپیشران و یدکی هرکدام به ظرفیت ۶۵۰ تن) بوده است [۱۸]. در تحقیق حاضر گزینه بارج خود پیشران با یک بارج یدک‌کش گزینه برتر شده است. اما اصلاحاتی ازجمله اصلاح ظرفیت از ۶۵۰ تن بارج یا یدک آن به ۴۷۵ تن و تغییر عرض شناورها از ۱۲ متر به ۱۰ متر رخ داده است. با توجه به سرعت‌های محتمل ناوبری، تحلیل سه حالت بدبینانه، محتمل و خوش‌بینانه حمل بار بررسی شده است.

شکل‌های ۳ تا ۱۱ مبین تغییرات سود و هزینه‌های سالیانه سناریوهای مختلف تحلیل‌های اقتصادی برای گزینه‌های رقیب ترابری‌های مختلف از بندر امام خمینی تا اهواز می‌باشند. در شکل ۴ تغییرات مقدار بار سالیانه که از سهم ترابری ریلی یا جاده‌ای کاسته شده و به ترابری آبی کارون اضافه می‌شود ارائه شده است. سهم اولیه بار ریلی که به سهم بار ترابری آبی اضافه می‌شود بیشتر از سهم بار جاده‌ای است. اما نرخ رشد سالانه هر دو نوع بار ۵٪ فرض شده است. بنابراین نسبت به بار جاده‌ای همواره سهم بار ریلی بیشتری توسط ترابری رودخانه‌ای جابه‌جا خواهد شد. در شکل ۴ تعداد شناور طرح موردنیاز (کشتی‌های طرح ترابری کارون با ظرفیت محاسبه‌شده) در سال‌های مختلف برای حمل بار نهایی تا ۷۰۰۰۰۰ تن در سال (منظور در سال هدف ۲۰۴۶) و نیز تعداد شناورهای عبوری از هر مقطع رودخانه در شبانه‌روز مشخص شده‌اند. در شکل ۵ سهم هزینه‌های زیرساختی

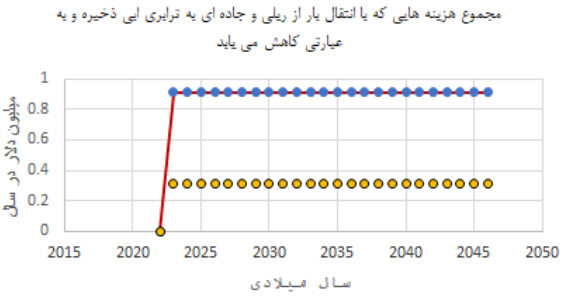
(شامل هزینه‌های زیرساخت‌های پایه و هزینه‌های بهره‌برداری) برای حمل بار نهایی تا ۷۰۰۰۰۰ تن در سال هدف ارائه شده است. توجه شود که زیرساخت‌های جاده‌ای و ریلی در این سناریو موجود فرض شده و تأمین اعتباری برای آن‌ها صورت نمی‌گیرد. اما در همین سناریو هزینه‌های بهره‌برداری از جاده و راه‌آهن هرساله مقدار مشخصی دارد که تغییرات برآورد آن‌ها در شکل دیده می‌شود.



شکل ۳. مقدار بار سالیانه که از سهم ترابری ریلی یا جاده‌ای کاسته شده و به سهم ترابری آبی کارون اضافه می‌شود



شکل ۴. تعداد سالیانه کشتی‌های طرح موردنیاز ترابری کارون برای حمل بار نهایی تا ۷۰۰۰۰۰ تن در سال هدف ۲۰۴۶ میلادی

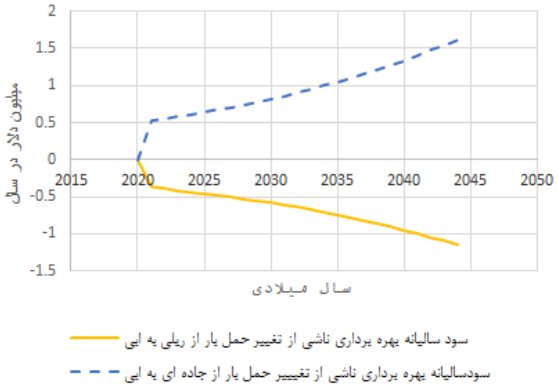


شکل ۵. سهم هزینه‌های زیرساختی (شامل هزینه‌های زیرساخت‌های پایه و نیز بهره‌برداری) برای حمل بار نهایی تا ۷۰۰۰۰۰ تن در سال هدف

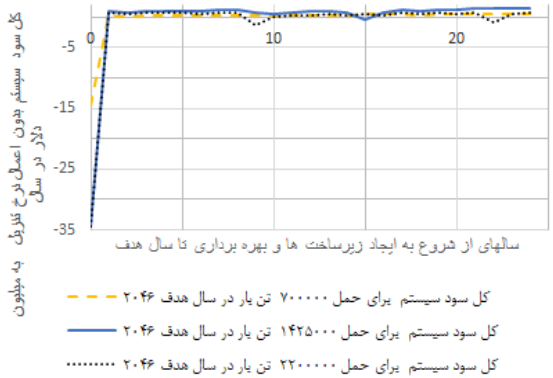
برای ترابری آبی در شکل ۶ هزینه‌های زیرساخت‌های پایه‌ای شامل ساخت اسکله و لایروبی اولیه و هزینه‌های بهره‌برداری (شامل لایروبی در سال‌های بهره‌برداری و...) ارائه شده‌اند. شکل مبین این واقعیت است که به ازای حمل بار آبی (رودخانه‌ای) که معادل هم‌وزن بار جاده‌ای یا ریلی باشد، چه هزینه‌هایی می‌بایست انجام شود. شکل نیز بیانگر سود کل سیستم ناشی از مابه‌التفاوت هزینه‌های زیرساختی ارائه شده است. به‌عبارت‌دیگر پس از محاسبه هزینه‌های احداث زیرساخت‌های بهره‌برداری هر سه نوع سیستم ترابری آبی، جاده‌ای و ریلی، هزینه‌های بخش ترابری آبی از جاده‌ای و ریلی کسر شده است. به عبارت بهتر سهم خالص هزینه‌های سالیانه زیرساخت‌های حمل بار آبی با کسر هزینه‌های زیرساخت‌های حمل بار ریلی و جاده‌ای به دست آمده است. مابه‌التفاوت دو نوع هزینه به‌عنوان سود (اولیه) سیستم و با اعداد منفی نشان داده شده‌اند.

شکل ۶. هزینه‌های سالیانه احداث زیرساخت‌های لازم برای حمل‌ونقل سهمی از کالاها که از ترابری ریلی یا جاده‌ای کسر شده و در ترابری رودخانه‌ای جابه‌جا خواهند شد. هزینه‌های معادل بهره‌برداری برای این موضوع ارائه شده و هر دو نوع هزینه مثبت فرض شده‌اند. مابه‌التفاوت دو نوع هزینه به‌عنوان سود (اولیه) سیستم و با اعداد منفی نشان داده شده‌اند.

شکل ۷ سود بهره‌برداری سالیانه ناشی از تغییر شیوه حمل بار از ریلی یا جاده‌ای به رودخانه‌ای از سال مبنا تا سال هدف ۲۰۴۶ میلادی را نشان می‌دهد. در شکل ۸ سود خالص سالیانه و به‌عبارت‌دیگر، کاهش هزینه‌های سالیانه سیستم بدون اعمال نرخ تنزیل ارائه شده است. هر دو نوع سود سالیانه غیر تجمعی بوده و صرفاً محاسبات هرسال مالی را نشان می‌دهند.

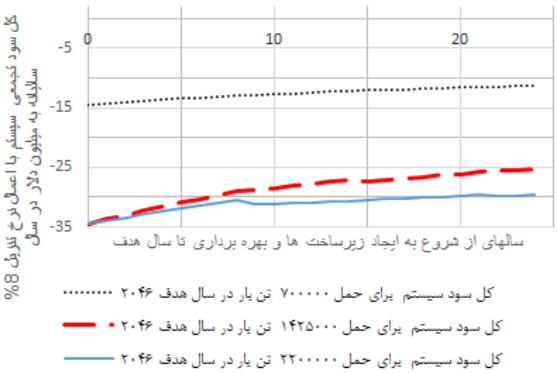


شکل ۷. سود بهره‌برداری ناشی از تغییر شیوه حمل بار از ریلی یا جاده‌ای به رودخانه‌ای از سال مبنا تا سال هدف پیشنهادی (۲۰۴۶ میلادی)



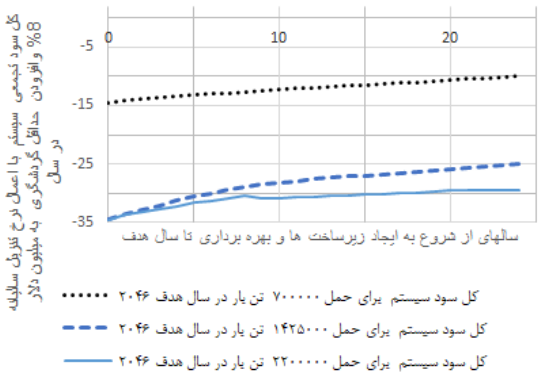
شکل ۸. سود خالص سالیانه کل سیستم (غیرتجمعی) و به‌عبارت‌دیگر، کاهش هزینه‌های سالیانه سیستم (غیرتجمعی) بدون اعمال نرخ تنزیل

برای درک بهتر فرایندهای اقتصاد مهندسی در شکل ۹ کاهش هزینه‌های سالیانه هم به‌صورت تجمعی برای کل سیستم و هم با اعمال نرخ تنزیل سالیانه ۸٪ ارائه شده‌اند. تغییرات هزینه‌ها از سال مبنا تا رسیدن به سال هدف ۲۰۴۶ میلادی ارائه شده است.

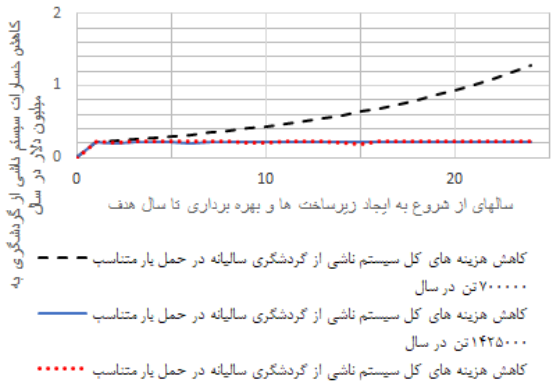


شکل ۹. کاهش هزینه‌های تجمعی سالیانه با اعمال نرخ تنزیل سالیانه ۸٪ و بدون اعمال اثر گردشگری تا سال هدف ۲۰۴۶ میلادی

شکل ۱۰ مکمل شکل قبل با اعمال اثر گردشگری (در راستای افزایش منافع طرح) می‌باشد. در این شکل کاهش هزینه‌های تجمعی سالیانه با اعمال حداقل گردشگری ۲۰۰۰۰۰ هزار دلار در سال تا رسیدن به سال هدف ۲۰۴۶ میلادی منظور شده است. اثر خالص گردشگری در کاهش هزینه‌های سال‌های مختلف بهره‌برداری در شکل ۱۱ ارائه شده است.



شکل ۱۰. کاهش هزینه‌های تجمعی سالیانه در اثر اعمال گردشگری ۲۰۰۰۰۰ هزار دلار در سال تا رسیدن به سال هدف ۲۰۴۶ میلادی



شکل ۱۱. اثر مثبت گردشگری در کاهش هزینه‌های کل سیستم در سال‌های مختلف بهره‌برداری

۵. بحث

۵-۱. نتیجه مطالعات پیشین اسکات ویلسون

در مطالعات اسکات ویلسون (دقیق‌ترین مطالعه از میان مطالعات قبلی) بارج ۵۰۰ تنی و قطاربارج[۲۲] ۵۰۰۰ تنی در ۳۳۴ روز سال ۹۱/۵٪ امکان ترابری دارند (صفحه ۳۵۰ مرجع اسکات ویلسون[۱۱]). سرعت عبور شناورها با فرض دبی حداقل ۲۵۰m3/s و حداکثر ۲۰۰۰ m3/s و با تأمین عمق ۵ متر برابر حداکثر ۰/۸ m/s تا ۱/۶ و حداکثر ۰/۶ m/s تا ۰/۲۲

فرض شده است. میزان جابه‌جایی بار در طول ۲۰۰ روز کاری در سال برای ۵ شناور دریایی-رودخانه‌ای[۲۳] برابر ۱/۲ میلیون تن و برای ۶ شناور قطار بارجی[۲۴] برابر ۷/۵ میلیون تن محاسبه شده است. ظرفیت حمل کشتی دریایی-رودخانه‌ای ۱۰۰۰ تن فرض شده است اما پیش‌بینی شده که در عمل کاهش این تناژ به کشتی‌های ۵۰۰ تا ۶۰۰ تن محدود شود. حداکثر شناور طراحی اسکات ویلسون دارای ابعاد ۹۳/۷*۷*۲/۳۵ متر از کلاس ۳ و ۴ واترگ (آنلاین آمریکایی است) می‌باشد. در ضمن در معیارهای طراحی به موارد زیر توجه شده است:

حداکثر کل بار قابل‌حمل در سال برابر ۸/۷ میلیون تن محاسبه شده است. درنهایت شناور طرح دو بارج هرکدام ۶۵۰ تنی (یکی خودکشش و دیگری یدکی) پیشنهاد شده است.

در طرح ساماندهی آبراه کارون مشاوران پیشنهادهای مختلف برای ابعاد و تناژ شناور طرح ارائه داده‌اند. این شناورها شامل قطار بارج ۵۰۰۰ تنی، شناور کشتی ۱۰۰۰ تنی، قطار بارج ۱۶۰۰ تنی و بارج خود کشی ۱۲۵۰ تنی بوده‌اند. عمق آبخور شناورها از ۲/۲ تا ۳/۶ متر متفاوت بوده است.

۲-۵. جمع‌بندی مطالعات این تحقیق

تعیین مناسب‌ترین شناور برای ترابری آبی (رودخانه‌ای) در کارون تابع عوامل متعدد مختلفی است. هرچه ابعاد شناور بزرگ‌تر باشد میزان حمل بار بیشتر ولی هزینه‌های لایروبی اولیه و لایروبی سالیانه بهره‌برداری و ... بیشتر می‌شود. یعنی از بعضی جنبه‌ها (مثل هزینه سوخت شناور و ...) افزایش تناژ شناور طرح سبب کاهش هزینه‌های واحد حمل بار و در موارد دیگر (مثل هزینه‌های لایروبی) سبب افزایش آن می‌شود. نوع و جنس بار نیز تأثیرگذار است. همچنین امکان تردد ایمن و بدون تداخل و ترافیک غیرقابل‌قبول هم مهم است. بنابراین میزان حمل بار پس از تعیین شناورهای با ابعاد و تناژ مختلف تحلیل شده است. همچنین در حالت رقابتی حمل بار در سه نوع ترابری جاده‌ای، ریلی و آبی (رودخانه‌ای) تحلیل شده‌اند. شکل‌های به دست آمده بیانگر غیراقتصادی بودن ترابری آبی در سناریوهای مختلف است. هرچقدر میزان تناژ بار سالیانه کمتر شود زیان‌دهی کل سیستم کمتر خواهد بود. اما منافع حداقلی گردشگری سالیانه در ترابری آبی اثر مثبت معقولی دارد. حداقل تناژ سالیانه حمل بارآبی ۷۰۰۰۰۰ تن در سال هدف ۲۰۴۶ میلادی دیده شده است. جنبه‌های حداکثری گردشگری آبی و منافع نظامی و امنیتی ترابری آبی لحاظ نشده و نیاز به مطالعات مستقل دارد. با رعایت تمامی اسلوب فنی مطالعات پیشین و تلاش برای به روز نمودن و اقتصادی‌تر نمودن شناور طرح با توجه به مطالعات میدانی و حقایق موجود در منطقه، شناور جدیدی پیشنهاد شده است. با اصلاح و به‌روز نمودن کلیه مطالعات قبلی در این تحقیق لزوم ساخت یک یونیت شناور بومی به‌صورت دو بارج (یکی خودکشش و دیگری یدکی) با تناژ ۹۵۰ تن معرفی شد. شناور پیشنهادی این تحقیق نسبت به مطالعات پیشین ۲۰/۴٪ تناژ بار کمتر و در عوض عملکرد و کارایی بهتر و اقتصادی‌تر خواهد داشت.

۶. نتیجه‌گیری

بررسی این تحقیق بیانگر عدم مناسب بودن ابعاد و تناژ شناورهایی است که در مطالعات پیشین برای ترابری رودخانه‌ای در کارون پیشنهاد شده بودند. در این تحقیق همزمان چندین پارامتر مختلف بررسی شده است از جمله حجم موردنیاز برای رسوب‌برداری زیرساختی و لایروبی سالیانه متناسب با ابعاد شناورهای پیشنهادی، سرعت‌های محتمل ناوبری، کاهش روزهای واقعی ناوبری براثر بادهای موسومی یا گردوغبار، ابعاد و تناژ شناورهای مختلف حمل کالا در کارون و چندین پارامتر دیگر. با بررسی همزمان همه این متغیرها در سناریوهای مختلف، میزان تناژ سالیانه قابل‌حمل در کارون مشخص شده است. دامنه میزان بار سالیانه به سه حالت بدبینانه، محتمل و خوش‌بینانه خلاصه شده است. شرایط هندسی، ژئومورفولوژی، هیدرولیکی و... رودخانه کارون، ترابری رودخانه‌ای را به زیر ۳/۲ میلیون تن در سال محدود می‌کند. تعداد شناور موردنیاز ناوگان برای ترابری رودخانه‌ای از مسیر بندر امام، بهمن‌شیر و اهواز برای حمل سالیانه ۰/۵، ۱، ۲، ۴ و ۸ میلیون تن کالا به ترتیب برابر ۵، ۱۰، ۲۰، ۳۴ و ۶۷ دستگاه برآورد می‌شود. برای رعایت

اختصار تنها منحنی‌های مرتبط با حالت بدبینانه (یعنی حمل بار ۷۰۰۰۰۰ تن در سال هدف ۲۰۴۶ میلادی) ارائه شده‌اند. در کل منطقی‌ترین عدد ۷ دستگاه یونیت شناور ۹۵۰ تنی برای حمل ۰/۷ میلیون تن کالا در سال می‌باشد. سایر موارد (که احتمال کمتری برای وقوع دارند) در متن مقاله ارائه نشده است. همچنین ادوات مهم و لازم برای ناوبری (شامل نورافکن، جی پی اس، رادار و...) معرفی شده‌اند. این مقاله منطقی بودن ترابری رودخانه‌ای در کارون برای تناژهای سالیانه بیش از ۷۰۰۰۰۰ تن را منتفی می‌داند.

سپاسگزاری

از دفتر تحقیقات سازمان آب و برق خوزستان برای حمایت مالی این مقاله سپاسگزاری می‌شود.

مراجع

[۱] منصوری کیا محمدتقی، انصاری زهرا. امکان‌سنجی ترابری آبی در آبراه کارون. مجموعه مقالات چهارمین کنگره ملی مهندسی عمران، ایران. ۱۳۸۷؛۱۹(۱):۷-۱.

[2] Mansouri Kia M, Sheibani H, Hoback A. Initial Maintenance Notes about the First River Ship Lock in Iran. Journal of Hydraulic and Water Engineering. 2024;5(1):143-162.

[۳] منصوری کیا محمدتقی، رجبی الهام، شیبانی حمیدرضا. تعیین ابعاد بهینه کانال ترابری رودخانه‌ای در ایران. مجموعه مقالات چهارمین همایش بین‌المللی عمران، معماری و شهر سبز پایدار، همدان، ایران. ۱۳۹۸؛۷(۱):۲۷-۲۰.

[4] Liu B, Yang J, Huang Y, Wang L. Hydraulic Research on Filling and Emptying System of Water-Saving Ship Lock for Navigation-Power Junction in Mountainous River & Smart Rivers. Journal of Hydraulic and Water Engineering. 2022;3(2):1492-1501.

[5] Mäck A, Lorke A. Ship-lock induced surges in an impounded river and their impact on subdaily flow velocity variation. Journal of River research and applications. 2014;30(4):494-507.

[6] Ables J. Filling and Emptying System, New Ship Lock, Mississippi River-Gulf Outlet, Louisiana Hydraulic Model Investigation. Journal of US Army Engineer Waterways Experiment Station. 1978;14(1):20-26.

[7] Hu Q, Li Y, Zhu L. Effect of Parameters of Ditch Geometry on the Uniformity of Water Filling in Ship Lock Chambers. Journal of Marine Science and Engineering. 2024;12(1):86.

[8] Iuorio L. The frenzy and legacy of modern infrastructures along the Klamath and Allegheny Rivers. Journal of Hydraulic and Water Engineering. 2024;2(2):1-26.

[۹] منصوری کیا محمدتقی. مطالعه مقایسه‌ای و به‌روز شده ترابری آبی رودخانه‌ای در ایران. سازمان آب و برق خوزستان، گزارش فنی وزارت نیرو. ۱۳۹۷؛۵(۲):۱۵-۱.

[10] Gilardoni O, Presedo P. Navigation in Shallow Waters Livingston. Journal of Witherby Publishing Group. 2017;3(1):8-12.

[11] Tomislav Bilić. The Myth of Alpheus and Arethusa and Open Sea Voyages on the Mediterranean. International Journal of Nautical Archaeology. 2009; 4(2):116-132.

[12] https://kashtidaran.com/

[13] Arguin W. Cg Navcen Work Instruction. Journal of Techniques and Procedures united states coast guard Waterway Analysis Tactics. 2022;5(1):1-6.

[۱۴] صفر قلی امیرحسین، محمدی اکبر. آمارنامه دریایی ایران. تهران: مرکز نشر ستاد توسعه فناوری و صنایع دانش بنیان دریایی؛ ۱۳۹۶. ص. ۵۰، ۵۷، ۶۳، ۷۲، ۱۰۵-۱۰۲.

[15] Sweco Mahab Company limited. Final technical Report of Feasibility study. 1976;3(1)25-96.

[۱۶] مهندسین مشاور سازه پردازی ایران. مطالعات ترابری رودخانه‌ای، طراحی هندسی و لایروبی آبراه. گزارش تخصصی. ۱۳۸۳؛۱(۱): ص. ۸۵-۱۰.

[17] Adab Danan. Consulting company. Study Economic Data Request for KWPA. 2004; 29-93.

[18] Scott wilson Piesold. Consulting company. karun river, Interim Report No 6. Transportation component. 2005;21(4):50-63.

[19] International Navigation Association (PIANC). Factors Involved in Standardizing the Dimensions of Class Vb Inland Waterways (Canals). Report of Working Group No 20. 1999; 5(8):28-32.

[20] Raaymakers ES, Gregory C. 1st East Asia Regional Workshop on Ballast Water Control and Management, Beijing, China, 31 Oct-2 Nov. 2002: Workshop Report. Globallast Monograph Series 6. London: International Maritime Organization; 2002:6.

[21] Wang J, Li JY. Inland waterway transport in the pearl river basin, China. Espace géographique. 2012 Oct;41(3):196-209.

[22] Fathoni M, Pradono P, Syabri I, Shanty Y.R. Analysis to assess potential rivers for cargo transport in Indonesia. World Conference on Transport Research – WCTR. 2016 July 10;4544-58.

[23] Vilarinho A, Liboni LB, Siegler J. Challenges and opportunities for the development of river logistics as a sustainable alternative: a systematic review. Transportation Research Procedia. 2019 Jan 1;39:584.

[24] Cacaud P. Conditions of work in inland navigation in Southeast Asia (the case of the Mekong River system). The International Labour Organization (ILO); 2021 Dec 7:10-17-20-54-55

[25] Brown N. Remarkable facts and figures about the world today and in 20 years time. Journal News and information for the marine industry a Lloyd's register Qinetiq and strathclyde Glasco university Global Marine Trends. 2013; 2(4):20.

پی‌نوشت‌ها

1. GMDSS (Global Maritime Distress and Safety System)
2. Ballast Water
3. IWT (Inland waterway transport)
4. Arc GIS
5. Excell
6. Google earth
7. Paint
8. Dwt (Dead weight tonnage)
9. Tph (ton per year)
10. Mtpa (Million ton per year)
11. Tug
12. Scoot Wilson
13. Hatche
14. teu/hold
15. teu/ hatch
16. teu (twenty foot equivalent unit)
17. half height containers
18. weight of tonnage
19. PB (breath of barge)
20. GPS (global positioning system)
21. vessel payload
22. train
23. river-sea vessels
24. barge trains vessels