

مقاله پژوهشی: ارائه یک مدل بهینه‌سازی ریاضی برای امداد رسانی سامانه‌های امدادی لجستیک در بحران‌های دریایی

علیرضا محمدی^۱، امیرمحمد مالمیر آورزمانی^۲، حسین رضایی^۳

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۶/۰۳

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۱/۲۵

چکیده

وقوع بحران‌ها در دریاها و تأخیر و ناهماهنگی در مدیریت امداد رسانی، باعث افزایش آسیب‌های اقتصادی و اجتماعی به کشورها می‌شود. با توجه به اهمیت و ضرورتی که برر سی بحران‌ها و چگونگی پاسخ‌گویی به آن‌ها در نیروی دریایی کشورها دارد، این پژوهش باهدف ارائه یک مدل مطلوب و بهینه جهت پاسخ‌گویی مؤثر و مطلوب مدیریت لجستیک نیروی دریایی راهبردی کشور در عملیات امداد و نجات بحران‌های دریایی انجام شد. در این تحقیق ابتدا یک مدل برنامه‌ریزی تصادفی با در نظرگیری سه بعد هزینه‌های اقتصادی، زمان عملیاتی و تلفات انسانی (سه تابع هدف) به روش ریاضی ایجاد شد، پس از آن، مدل تصادفی مذکور با روش برنامه‌ریزی ایده‌آل ترکیب شد. سپس بر اساس یافته‌های تحقیق و امکانات امدادی موجود، یک مدل مطلوب امداد رسانی سامانه‌ی لجستیک نیروی دریایی در بحران‌های دریایی پس از تأیید خبرگان ارائه گردید. در نهایت مدل پیشنهادی در محدوده تحت کنترل نیروی دریایی در دریای عمان تا شمال اقیانوس هند بر اساس یک نمونه سانحه دریایی واقعی مورد ارزیابی و اعتبارسنجی و تحلیل قرار گرفت. نتایج مدل حاصله از این تحقیق نشان می‌دهد که در فواصل کم، وسیله نقلیه امدادی با ظرفیت بالاتر و سرعت کم‌تر و در فواصل زیاد، وسیله اعزامی با سرعت بالاتر علی‌رغم ظرفیت کم‌تر بهینه است ولی زمانی که وخامت حال افراد بیشتر باشد، سرعت بالای وسیله نقلیه پر ظرفیت آن اهمیت بالاتری دارد.

کلیدواژه‌ها: سامانه امداد لجستیک، بحران‌های دریایی، نیروی دریایی راهبردی، امداد رسانی دریایی

^۱ عضو هیات علمی دانشگاه علوم دریایی امام خمینی، نوشهر، ایران (نویسنده مسئول) alireza1350mmm@gmail.com

^۲ دانشجوی دکتری تخصصی مهندسی صنایع گرایش بهینه‌سازی سیستم‌ها، دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، تهران، ایران

^۳ استادیار دانشکده علوم پایه دانشگاه علوم و فنون هوایی شهید ستاری

مقدمه

رشد روزافزون بحران‌های دریایی، باعث آسیب‌های اجتماعی و اقتصادی به کشورها شده است. بحران‌های دریایی عموماً به دودسته طبیعی و غیرطبیعی تقسیم می‌شوند؛ آتش‌سوزی‌ها، غرق و لکه نفتی طبیعی محسوب می‌شوند و جنگ، دزدان دریایی سومالی و حملات تروریستی غیرطبیعی محسوب می‌شوند. در رخداد بحران‌های دریایی تلفات انسانی، زمان امدادرسانی و هزینه‌های اقتصادی بسیار مهم است. مدیریت بحران‌های دریایی از بخش‌های اصلی و مهم در مدیریت استراتژیک نیروی دریایی است.

با توجه به این که بحران‌های دریایی در همه دریاها و اقیانوس‌های کره زمین وجود دارد؛ بالطبع در خلیج فارس و دریایی عمان نیز این بحران‌ها رخ می‌دهد. به‌عنوان مثال، سانحه غرق کشتی نفت‌کش سانچی که حاصل از تصادف دو کشتی بود، در سواحل کشور چین در روز یکشنبه ۱۴ ژانویه سال ۲۰۱۸ میلادی رخ داد؛ در این حادثه بر اثر انفجار اولیه، همه خدمه کشتی درگذشتند (سایت دوپچه وله). سانحه کشتی سانچی یکی از سوانح عمده دریایی بود که دارای ابعاد اجتماعی، اقتصادی و زیست‌محیطی است (محمدی و همکاران، ۱۳۹۷). همچنین پاسخگویی مناسب به بحران‌ها، باعث صرفه‌جویی در زمان (نجات جان انسان‌ها) و هزینه‌های اقتصادی می‌شود؛ از طرفی این موضوع، در نیروی دریایی راهبردی ارتش جمهوری اسلامی ایران از اهمیت بالایی برخوردار است. درنهایت داشتن برنامه زمان‌بندی و مسیریابی که در پاسخگویی مناسب به بحران‌های دریایی دخیل است، باعث ایجاد عملکرد مناسب در این نوع بحران‌ها می‌شود. برنامه مذکور به تدوین حرکت و سایل نقلیه امدادی هوایی و دریایی به صورت مؤثر (در زمان و مسیر حرکتی مناسب) می‌پردازد. باوجود مفروضات گفته‌شده، نیروی دریایی ارتش برای ایفای نقش امدادی و بشردوستانه، باید وظایف کمک به مردم در هنگام وقوع بلایای طبیعی، توانایی انجام عملیات تجسس و نجات، امکانات امدادی و پشتیبانی و غیره را به اجرا درآورد (سیاری و خانزادی، ۱۳۹۵). از سوی دیگر، وجود تهدیدات دریایی دیگری مانند دزدان دریایی سومالی، باعث وجود اسکورت‌های دریایی برای کشتی‌ها توسط نیروی دریایی است. از دهه ۱۹۹۰ میلادی تا اوایل دهه ۲۰۰۰ میلادی، کشتی‌ها تحت تأثیر دزدان دریایی سومالی قرار گرفتند. این دزدان دریایی هزینه‌های اقتصادی بالایی به دولت‌ها و افراد وارد می‌کنند (حمزه و پریوتی، ۲۰۲۰).

در این پژوهش سعی بر بهینه‌سازی عملیات امداد و نجات بوده است. باین بیان این که اهمیت نجات جان انسان‌ها در نیروی دریایی راهبردی بسیار بالاست، لذا بهینه‌سازی مذکور در این پژوهش، باعث کم‌تر شدن تلفات و صرفه‌جویی عملیاتی و اقتصادی در نیروی دریایی می‌شود. از طرفی بحران آتش‌سوزی کشتی‌ها

یکی از عمده‌ترین نوع بحران دریایی بوده است؛ بنابراین عملیات امداد و نجات دریایی در بحران آتش‌سوزی کشتی‌ها و شناورهای سبک را مورد بررسی قرار می‌دهیم. در نتیجه می‌بینیم که این پژوهش، می‌تواند باعث بهبود عملکرد امداد و نجات سامانه لجستیک نیروی دریایی در زمان اعزام و وسایل امدادی به بحران‌های دریایی به‌خصوص آتش‌سوزی کشتی‌ها و شناورهای سبک در منطقه تحت مأموریت شود. هدف اصلی در این مقاله ارائه یک برنامه بهینه برای امدادسانی می‌باشد؛ به طوری که همه اهداف به صورت بهینه برآورده شوند.

در پایان این پژوهش به سؤالات زیر پاسخ می‌دهیم:

- در هنگام وقوع بحران‌های دریایی (آتش‌سوزی کشتی و ...) باید به چه شکل حرکت وسایل لجستیکی امدادی، زمان‌بندی و مسیریابی شود؟
- در عملیات امداد و نجات دریایی میزان تلفات، زمان عملیاتی و هزینه‌های اقتصادی به چه صورتی بهینه‌سازی می‌شود؟
- سرعت و ظرفیت و وسایل نقلیه امدادی دارای چه تأثیری در عملیات امداد و نجات دریایی دارد؟
- تأثیر زمان امدادسانی (بر اساس وخامت حال افراد) بر روی انتخاب وسایل نقلیه امدادی به چه شکل است؟
- مدل مطلوب امدادسانی سامانه ی لجستیک نیروی دریایی در بحران‌های دریایی چگونه است؟

در این پژوهش سه بعد هزینه‌های اقتصادی، زمان عملیاتی و تلفات انسانی در بحران‌های دریایی مورد مطالعه قرار می‌گیرد. در کنار توجه به اثرات اقتصادی و عملیاتی بحران‌های دریایی، به حداقل رساندن تلفات انسانی که دارای اهمیت بالایی در نیروی دریایی است، در این پژوهش مدنظر قرار دارد. لذا برای این کار یک کشتی آسیب دیده مدنظر قرار گرفته و برای آن تصمیم‌گیری می‌شود. از این رو یک مدل برنامه‌ریزی تصادفی با در نظرگیری سه بعد (سه تابع هدف) ایجاد می‌کنیم. شایان ذکر است که مدل و روش حل، در دریای عمان تا شمال اقیانوس هند (تا مدار ۱۰ درجه شمالی) پیاده‌سازی شده است. لازم به ذکر است که از توابع هدف مبتنی بر هزینه (کمینه سازی هزینه های اقتصادی)، مبتنی بر زمان (کمینه سازی زمان عملیاتی) و مبتنی بر عملکرد (کمینه سازی حداکثر نرخ تلفات) برای مدل تصادفی خود استفاده کردیم.

در مدل سازی هدفی در نظر می‌گیریم به صورتی که کشتی در یک نقطه دچار حادثه شود. از طرف دیگر برای دقیق و واقعی بودن نمونه‌ها، از یک مورد واقعی (کشتی ایتالیایی) در سال ۲۰۲۲ میلادی در شمال غربی یونان استفاده کردیم. در این سانحه دریایی ۲۹۰ نفر در کشتی بودند که ۱۱ نفر مفقود شدند. ما این کشتی آسیب دیده را در دریای عمان شبیه سازی کردیم.

مبانی نظری و پیشینه شناسی تحقیق

پیشینه شناسی تحقیق

براون و کلین (۲۰۲۱) برنامه‌ریزی عملیات لجستیکی کشتی‌ها را برای پشتیبانی از مأموریت‌های جنگی را بررسی کردند؛ آن‌ها از کشتی‌های غیرنظامی و دیگر کشتی‌ها که به همپایی رزمی (حرکت رزمی هم‌زمان) نیاز داشته باشند، باید در سراسر منطقه اشتراک‌گذاری یا در نزدیکی آن‌ها باشند. آن‌ها برای این کار مدل برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح با تابع هدف حداکثر کردن ارزش پیش‌بینی شده مأموریت‌های تکمیل شده را در نظر گرفتند. در ادامه با استفاده از داده‌های کاروان تدارکاتی از گوام^۲ به داوائو^۳ در فیلیپین (در اقیانوس آرام) و حل‌کننده سیپلکس^۴ (سیمپلکس) در نرم‌افزار گمز^۵ به حل مدل پرداختند.

کاراتاس^۶ (۲۰۲۰) برای بهینه‌سازی مکان و تخصیص قایق‌ها (شناورها) و بالگردهای جستجو و نجات، مدل چندهدفه پویا ارائه داد. او مدل برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح مختلط با سه تابع هدف حداقل کردن زمان پاسخگویی بحرانی به حوادث توسط شناورها و بالگردها، حداقل کردن ظرفیت عملیات فصلی همه کشتی‌ها و حداکثر کردن بودجه سالانه موردنیاز برای عملیات امداد و نجات را پیشنهاد داد. در ادامه با استفاده از روش برنامه‌ریزی آرمانی و روش چند شاخصه فرایند تحلیل سلسله مراتبی برای وزن دهی اهداف اقدام به حل مدل کرد. هم‌چنین از داده‌های حوادث گذشته در دریای اژه^۷، پیاده‌سازی در حل‌کننده سیپلکس در نرم‌افزار گمز و نرم‌افزار متلب^۸ برای حل و شبیه‌سازی مسئله استفاده کرد.

^۱Brown and Kline

^۲Guam

^۳Davao

^۴CPLEX

^۵GAMS

^۶Karatas

^۷Aegean

^۸MATLAB

پنگ^۱ و همکاران (۲۰۲۲) با فرض در نظرگیری پنجره زمانی نجات و توزیع مواد اضطراری باهدف ویژگی‌های منطقه‌ای سوانح دریایی، امدادرسانی دریایی به‌موقع، دشواری نجات و هزینه نجات، مدل ریاضی پیشنهاد دادند. آن‌ها مدل چندمرحله‌ای برای آن ارائه دادند که مدل برنامه‌ریزی غیرخطی است. در ادامه در مرحله بالایی، تابع هدف حداقل کردن هزینه ساخت ذخایر مواد اضطراری و هزینه از دست دادن زمان رضایت در نقاط تصادف است و در مرحله پایینی، تابع هدف حداقل کردن مجموع هزینه‌های توزیع سطوح مختلف مواد اضطراری، حمل و نقل کشتی، اعزام کشتی و جریمه زمانی است. هم‌چنین از یک الگوریتم ترکیبی از بهینه‌سازی کلونی مورچه (ACO) و جستجو ممنوع (TS) با داده‌های مثال در دریای بوه‌ای در چین برای حل مدل استفاده کردند. شایان‌ذکر است که آن‌ها از نرم‌افزار متلب بهره بردند.

باتوجه به عدم وجود مدل بهینه سازی ریاضی، در این پژوهش، ایجاد یک مدل ریاضی برنامه ریزی تصادفی را ایجاب می‌کند. درنهایت بااستفاده از مدل برنامه ریزی تصادفی چند هدفه و برنامه ریزی ایده آل به تحلیل و بررسی نتایج می‌پردازیم.

مبانی نظری

تجسس و نجات دریایی

پیدا کردن و امدادرسانی به افرادی که در معرض خطر افتاده‌اند و تسکین رنج‌ها و جراحات وارده را تجسس و نجات می‌گویند (کوپر^۲، ۲۰۰۵). تجسس و نجات همه اقداماتی که برای امدادرسانی و نجات شناورهای آسیب‌دیده و کارکنانی که در معرض خطر به کار گرفته می‌شود، را شامل می‌شود. عوامل بسیاری در این عملیات تجسس و نجات تأثیر می‌گذارد که عبارت‌اند از عمق آب، شرایط فیزیکی، نوع سانحه و میزان خسارت. از آنجاکه شناورهای دریایی در معرض بروز سوانح و بحران‌های دریایی قرار دارند، به دنبال برنامه‌ریزی برای کاهش خطرات جانی، مالی و زیست‌محیطی هستیم (بینقی و همکاران، ۱۳۹۶). مراحمی که در تجسس و نجات دنبال می‌شود به ترتیب، تعیین موقعیت، دسترسی به شناور آسیب‌دیده (سوژه)، تثبیت و حمل و نقل است (کوپر، ۲۰۰۵).

مدیریت بحران

واژه‌ی بحران از پزشکی وارد علوم اجتماعی و اقتصادی شده است. در زبان فارسی، بحران به معنای آشفتگی و تغییر حالت است. (عمید ۱۳۶۷).

به بیان مک کارتی هدف اصلی مدیریت بحران، دست‌یابی به راه‌حلی معقول برای برطرف کردن شرایط غیرعادی به‌گونه‌ای که منافع و ارزش‌های اساسی حفظ و تأمین گردد.

مجموعه فعالیت‌های اجرایی و تصمیم‌گیری مراحل و سطوح بحران، کاهش خسارات، جلوگیری از توقف زندگی، نجات، حفظ محیط‌زیست و غیره را مدیریت بحران گویند (کوهستانی دماوند و رجبی، ۱۳۹۵).

بحران‌های مالی، سیاسی و غیره که به‌آرامی به وقوع می‌پیوندند، دلایل انسانی دارند و آن دسته از بحران‌ها که به‌صورت ناگهانی اتفاق می‌افتد به تلاش‌های لجستیکی بیشتر نیاز دارند؛ به دلیل این‌که به پاسخگویی سریع نیازمندند (عابداف، ۱۳۹۵).

برنامه‌ریزی مدیریت بحران

یکی از مهم‌ترین بخش‌های وظایف مدیریت، برنامه‌ریزی است که به سازمان‌دهی، استخدام، هدایت و کنترل می‌پردازد؛ برنامه‌ریزی تعیین هدف و خط‌مشی، تبدیل هدف به‌صورت برنامه عملیات و چگونگی اجرای آن‌ها را شامل می‌شود (جاسبی، ۱۳۸۹).

در مرحله آغاز بحران‌ها، عملیات مقابله با سانحه، نجات و کمک به مصدومان و انجام عملیات درمانی در مرحله اول قرار می‌گیرد. در ادامه برای مقابله با سانحه، ستاد حوادث غیرمترقبه و انجام عملیات امداد و نجات سازمان‌دهی می‌شوند. اقداماتی که برای برنامه‌ریزی در مرحله بحران انجام داد، عبارت‌اند از: کنترل سانحه، انتقال بازماندگان به اردوگاه‌های نزدیک به آن، ایجاد نظم و ترتیب در محل حادثه، ارزیابی و تجدید آن. سپس برنامه‌ریزی در مرحله بعد از بحران، به دنبال جلوگیری از مرگ مصدومان، چگونگی انتقال بازماندگان به محل اسکان و تعیین وضعیت اجساد است (حسین پور، ۱۳۸۶).

لجستیک امداد بلایا/بحران

یکی از فعالیت‌های اصلی در مدیریت بلایا، لجستیک امداد بلایا است. در لجستیک امداد بلایا دو فاز در نظر گرفته می‌شود که فاز اول، آمادگی و فاز دوم، پاسخ است. در فاز آمادگی به تصمیم‌گیری مکان مراکز توزیع امدادی، میزان موجودی کالای امدادی و تأمین‌کنندگان مناسب و در فاز پاسخ، تأمین مناسب در زمان بحران و میزان حمل کالاهای امدادی به نقاط تقاضا پرداخته می‌شود (تبرائی، ۱۳۹۵). در چهار

حوزه خاص مدیریت موجودی‌ها، تقاضا و برنامه‌ریزی ظرفیت، حمل‌ونقل و عملکرد سیستم توزیع، مکان‌یابی تسهیلات در لجستیک بحران بیشتر متمرکز است (فالاسکا و زوبل، ۲۰۱۲). بعد از وقوع چندین حادثه دریایی اولین مدل‌های بهینه‌سازی در زمینه لجستیک امدادی در اواخر دهه ۱۹۶۰ میلادی ایجاد گردید؛ به‌عنوان مثال از غرق شدن کشتی توری کویین در انگلستان در ۱۸ مارس ۱۹۶۷ میلادی می‌توان یادکرد (بلاردو و همکاران، ۱۹۸۴).

لجستیک بحران کلیه فرآیندهای تأمین، حمل‌ونقل، برآورد، نگهداری و توزیع کالاها، خدمات، تجهیزات و غیره برای آسیب دیدگان را شامل می‌شود که در زمان و مکان مناسب به مقدار مناسب به افراد مشخص شده (توسط روش‌های علمی و دقیق) رسانده شود (حسین پور، ۱۳۸۶).

مدل‌های تصمیم‌گیری

مدل‌های موجود در تصمیم‌گیری می‌تواند به‌صورت زیر باشد:

مدل برنامه‌ریزی خطی

مدل برنامه‌ریزی خطی به‌عنوان یک مدل ریاضی در زمان جنگ جهانی دوم برای کاهش هزینه‌های ارتش و افزایش خسارات دشمن به‌کاررفته است. این نوع مدل تا سال ۱۹۴۷ میلادی مخفی مانده بود؛ در ادامه در همان سال ۱۹۴۷ میلادی جورج دانتزیگ روش سیمپلکس و جان فون نیومن نظریه دوگانگی را ارائه نمودند (مدرس و آصف وزیری، ۱۳۸۲).

مدل برنامه‌ریزی غیرخطی

توابع هدف fz و gi در برنامه‌ریزی غیرخطی به‌صورت هر یک از موارد جبری، لگاریتمی، مثلثاتی، نمایی و از هر درجه‌ای باشد. در صورتی‌که فرض تناسب و یا جمع‌پذیری که جزء فرضیات برنامه‌ریزی خطی است، نقض شود آنگاه مسئله به‌صورت غیرخطی می‌شود (ایمن پور، ۱۳۹۷، ۲۲۹). این قسمت شامل برنامه‌ریزی غیرخطی مختلط عدد صحیح (MINLP) و انواع دیگر برنامه‌ریزی غیرخطی می‌شود.

مدل برنامه‌ریزی تصادفی

بهینه‌سازی در شرایط عدم قطعیت اواخر دهه ۱۹۵۰ میلادی شروع شد. در اواسط دهه ۱۹۵۰ میلادی دانتزیگ برنامه‌ریزی تصادفی را به‌عنوان یک رویکرد برای مدل کردن عدم قطعیت داده‌ها معرفی کرد. برنامه‌ریزی تصادفی به این صورت است که اگر پارامترهای مسئله همگی قطعی نباشد و تصادفی باشند به

این نوع مدل، مدل برنامه‌ریزی تصادفی می‌گویند. لازم به ذکر است پارامترها و متغیرهای تصادفی می‌توانند هم در تابع هدف و هم در محدودیت‌ها ظاهر شوند (ایمن پور، ۱۳۹۷، ۲۸۶).

مدل نظریه بازی

اولین بار نظریه بازی‌ها توسط امیل بور ریاضیدان فرانسوی در سال ۱۹۲۱ میلادی ارائه شده است. در ادامه در سال ۱۹۴۴ میلادی جان فون نیومن و اسکار مورگسترن برای نظریه بازی‌ها، کتاب نظریه بازی‌ها و رفتار اقتصادی را نوشتند.

در حالت کلی نظریه بازی‌ها علمی است که تصمیم‌گیری افراد در شرایط تعامل با دیگران را مطالعه می‌کند؛ به عبارت دیگر نظریه بازی‌ها علم مطالعه تعارض‌ها بین بازیکنان عاقل است. مهم‌ترین تفاوت نظریه بازی‌ها و تصمیم‌گیری، آگاهی دوطرفه (طرفین بازی) است (ایمن پور و حاجی ابولی، ۱۳۹۷، ۲۱۹).

مدل بهینه‌سازی استوار

برای اولین بار در این عرصه، سوئیستر در سال ۱۹۷۳ میلادی یک روش برنامه‌ریزی استوار بدینانه برای مسائل برنامه‌ریزی خطی و غیردقیق توسعه داده است. مالوی و همکاران در سال ۱۹۹۵ میلادی یک روش برنامه‌ریزی استوار مبتنی بر مدل برنامه‌ریزی تصادفی بر اساس سناریو توسعه داد. در ادامه القائو و همکاران ۱۹۹۸ میلادی و بن تال و نمیروسکی در همان سال روش‌های بالا را برای مسائل برنامه‌ریزی خطی غیرقطعی ایجاد نمودند.

بهینه‌سازی استوار روشی است که در بهینه‌کردن مسائل برای بدترین حالت بهینه استفاده می‌شود و همچنین برای تمامی سناریوها که جواب به دست می‌آید، موجه یا Feasible است (پیشوایی، ۱۳۹۲).

مدل برنامه‌ریزی آرمانی

چارنس و کوپر برای اولین بار در سال ۱۹۵۵ میلادی درباره برنامه‌ریزی آرمانی منتشر کردند، در حالتی که به بررسی حداقل کردن مجموع قدر مطلق انحرافات از مقاصد شخصی پرداختند. هدف در مدل برنامه‌ریزی آرمانی بر آن است که منطق مدل‌های ریاضی به صورت کامل با تمایلات تصمیم‌گیرنده در تأمین اهداف مختلف مورد توجه قرار بگیرد. به عبارت دیگر مقصد و هدف آن این است که مجموع وزن انحرافات نامطلوب در هر یک از آرمان‌ها حداقل شود (اصغر پور، ۱۳۹۷، ۳۵).

مدل فازی

در مدل‌سازی فازی ابهام و عدم دقت ناشی از کمبود اطلاعات در مورد سیستم وجود دارد و معمولاً داده‌هایی از گذشته برای این که تابع احتمال در نظر بگیریم، وجود ندارد (جعفری، ۱۳۹۴، ۳).

مدل برنامه‌ریزی پویا

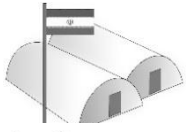


مدل برنامه‌ریزی پویا یکی از روش‌های بهینه‌سازی کلاسیک است که در فضای گسسته و با استفاده از رابطه‌های قطعی به حل مسئله می‌پردازد؛ در روش برنامه‌ریزی پویا، مسئله بهینه‌سازی و متغیرهای آن به چند مسئله بهینه‌سازی کوچک‌تر تبدیل می‌شود (بزرگ حداد، ۱۳۹۹، ۲۲۱).

روش‌شناسی تحقیق

الف- نمادهای شبکه‌های لجستیکی

مطابق با نمادهای زیر به بیان مسئله می‌پردازیم (جدول ۱):

جدول ۱. نمادهای موجود در شبکه لجستیک اضطراری

توضیح	نماد
پایگاه امدادی	
پایگاه امدادی موقت شناور (کشتی امدادی)	
شناور آسیب‌دیده سنگین	
مسیرهای امدادرسانی وسایل نقلیه امدادی (رفت و برگشت)	

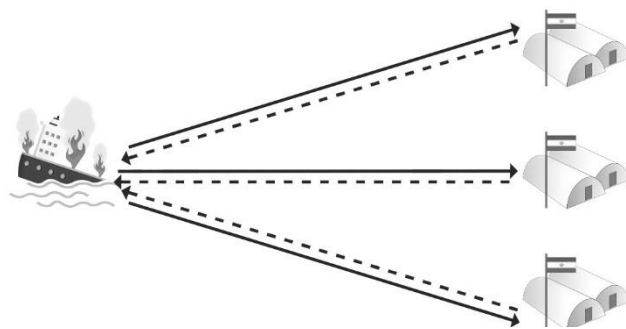
ب- کشتی آسیب‌دیده و پایگاه‌های امدادی

یک کشتی دارای مسافر، آسیب‌دیده و سه پایگاه امدادی برای امدادرسانی به مسافران آن وجود

دارد:

ب-۱- بیان مسئله

با توجه به شکل زیر داریم:



شکل ۱. یک کشتی آسیب‌دیده و پایگاه‌های امدادی

در ابتدا بندرها را به‌عنوان پایگاه‌های امدادی در نظر می‌گیریم. اگر به کشتی مسافربری به‌عنوان مثال حاوی ۲۰۰ نفر مسافر آسیبی برسد، کشتی دچار آسیب و آتش‌سوزی می‌شود؛ با این حال باید وسایل نقلیه امدادی (نظیر آمبولانس دریایی، بالگرد و شناورهای امداد) طوری زمان‌بندی گردند تا افراد آسیب‌دیده‌ای که در کشتی هستند نجات پیدا کنند. اگر این عملیات از زمان مشخصی تجاوز کند، افراد آسیب‌دیده از دست خواهند رفت. با این وجود افراد آسیب‌دیده را در چندین سطوح دسته‌بندی می‌کنیم که هر کدام دارای یک اولویت مشخص می‌باشند. بنابراین برای عدم در حالات مختلف، سناریوهایی را در نظر می‌گیریم تا این‌که بتوانیم مدل‌سازی تصادفی را برای مسئله خود پیاده‌سازی کنیم. با در نظرگیری شرایط مذکور، سه بعد کمینه‌سازی کسر افرادی که نجات پیدا نکرده‌اند، کمینه‌سازی زمان عملیات و هزینه‌های اقتصادی را برای مدل مدنظر قرار می‌دهیم (شکل ۱).

ب-۲- مفروضات مدل

مفروضات مدل ریاضی که ایجاد خواهد شد، به‌صورت ذیل است:

- مدل ذیل چند دوره‌ای است.
- یک نقطه آسیب‌دیده است که تعداد افراد زیادی در آن آسیب‌دیده‌اند.
- در نقطه‌ای که یک وسیله نقلیه آسیب‌دیده است، حرکتی بر طبق حرکت دریا وجود ندارد و ثابت است.
- از هر پایگاه امدادی در هر دوره فقط یک وسیله نقلیه امدادی می‌تواند اعزام شود.
- هر کدام از آسیب‌دیدگان در نقطه آسیب‌دیده دارای سطح اضطراری بوده است که برای درمان هر کدام زمان متفاوتی وجود دارد.

- اولویت در درمان و انتقال افراد آسیب دیده در هر دوره متفاوت است.
- اولویت در درمان و انتقال افراد آسیب دیده به پایگاه امدادی با سطح اضطراری بیشتر است.

ب-۳- نمادهای مدل

نمادهای مدل به صورت ذیل است:

مجموعه	توضیح	شاخص
$p \in P, p = 1, \dots, P$	مجموعه پایگاه های امدادی	p
$s \in S, s = 1, \dots, S$	مجموعه سطح اضطرار در آسیب	s
$k \in K, k = 1, \dots, K$	مجموعه وسیله نقلیه امدادی	k
$t \in T, t = 1, \dots, T$	مجموعه دوره زمانی	t
$\omega \in \Omega, \omega = 1, \dots, \Omega$	مجموعه سناریو	ω

ب-۴- پارامترهای مدل

پارامترهای مدل به صورت ذیل است:

نماد	توضیح
ζ_{pkt}^{ω}	هزینه انتقال افراد آسیب دیده از نقطه حادثه به پایگاه امدادی p توسط وسیله نقلیه امدادی k در دوره t تحت سناریو ω
v_{st}^{ω}	هزینه جریمه افراد منتقل نشده سطح اضطرار در آسیب s در دوره t تحت سناریو ω
∇_{st}^{ω}	هزینه جریمه تأخیر در درمان افراد آسیب دیده دارای سطح اضطرار s در دوره t تحت سناریو ω

$\emptyset_{pkst}^{\omega}$	هزینه به ازای هر نفر که در نقطه حادثه دچار آسیب‌دیدگی سطح اضطراری S شده‌اند، توسط وسیله نقلیه k به پایگاه امدادی p در دوره t تحت سناریو ω منتقل می‌شوند.
θ_p	ظرفیت افراد در پایگاه امدادی p
γ_{pk}	ظرفیت وسیله نقلیه k برای انتقال افراد آسیب‌دیده از نقطه حادثه به پایگاه امدادی p
μ_{pk}	تعداد وسیله نقلیه k در دسترس برای انتقال افراد آسیب‌دیده از نقطه حادثه به پایگاه امدادی p
ϑ_{kst}^{ω}	زمان خدمت‌رسانی به افراد آسیب‌دیده دارای سطح اضطرار در آسیب S در نقطه حادثه توسط افراد امدادی واقع در وسیله نقلیه k در دوره t تحت سناریو ω
σ_t^{ω}	پایان پنجره زمانی امداد رسانی به افراد آسیب‌دیده در نقطه حادثه در دوره t تحت سناریو ω
δ_{st}^{ω}	تعداد افراد آسیب‌دیده با سطح اضطرار در آسیب S در نقطه حادثه در دوره t تحت سناریو ω
α_t^{ω}	شروع پنجره زمانی امداد رسانی به افراد آسیب‌دیده در نقطه حادثه در دوره t تحت سناریو ω
l_{pkt}^{ω}	زمان سفر بین پایگاه امدادی p و نقطه حادثه توسط وسیله نقلیه امدادی k در دوره t تحت سناریو ω
ω_s	تعداد افراد آسیب‌دیده با سطح اضطرار در آسیب S که در طول (ساعت/دقیقه) می‌توانند درمان شوند.
ρ_s	حداکثر زمان امداد رسانی به افراد آسیب‌دیده با سطح اضطرار در آسیب S
∂_{st}	اولویت‌بندی سطح اضطرار در آسیب S در دوره t

τ_{pt}	زمان تخلیه مجروحان به پایگاه امدادی p در دوره t
π_{ω}	احتمال اتفاق سناریو ω

ب-5- متغیرهای تصمیم گیری مدل

متغیرهای تصمیم گیری مدل به صورت ذیل است:

نماد	توضیح
γ_{pkst}^{ω}	تعداد افرادی که در نقطه حادثه دچار آسیب دیدگی سطح اضطراری S شده اند، توسط وسیله نقلیه k به پایگاه امدادی p در دوره t تحت سناریو ω منتقل می شوند.
ϵ_{pkt}^{ω}	زمان حرکت وسیله نقلیه امدادی k از پایگاه امدادی p به نقطه حادثه در دوره t تحت سناریو ω
σ_{pkt}^{ω}	زمان برگشت وسیله نقلیه امدادی k به پایگاه امدادی p در دوره t تحت سناریو ω
φ_{st}^{ω}	تعداد افراد آسیب دیده با سطح اضطراری S که در نقطه حادثه در دوره t تحت سناریو ω منتقل نشده اند.
ξ_{st}^{ω}	حداکثر زمانی که به افراد آسیب دیده با سطح اضطرار در آسیب S در نقطه حادثه به پایگاه امدادی p توسط وسیله نقلیه امدادی k در دوره t تحت سناریو ω تحت درمان قرار گرفته و منتقل شوند.
β_{st}^{ω}	حداکثر نمودن عدم انتقال افراد آسیب دیده دارای سطح اضطرار در آسیب S در دوره t تحت سناریو ω
χ_{pkt}^{ω}	اگر از پایگاه امدادی p به نقطه حادثه، وسیله نقلیه امدادی k در دوره t تحت سناریو ω اعزام گردد، ۱ و در غیر این صورت ۰ است.

ب-۶- مدل‌سازی تصادفی

به صورت زیر، مدل‌سازی چند هدف ریاضی را دنبال می‌کنیم:
 تابع هدف اول، کمینه‌سازی هزینه‌های اقتصادی شبکه لجستیکی است.

$$\min Z_1 = \sum_{\omega \in \Omega} \pi_{\omega} \left(\sum_{s \in S} \sum_{t \in T} \varphi_{st}^{\omega} v_{st}^{\omega} + \gamma \sum_{k \in K} \sum_{p \in P} \sum_{t \in T} t_{pkt}^{\omega} \chi_{pkt}^{\omega} \varsigma_{pkt}^{\omega} + \sum_{k \in K} \sum_{s \in S} \sum_{p \in P} \sum_{t \in T} \gamma_{pkst}^{\omega} \phi_{pkst}^{\omega} + \sum_{s \in S} \sum_{t \in T} \xi_{st}^{\omega} \theta_{st} \nabla_{st}^{\omega} \right) \quad (1)$$

تابع هدف دوم، کمینه‌سازی زمان برگشت وسایل نقلیه امدادی به پایگاه‌های امدادی است.

$$\min Z_2 = \sum_{\omega \in \Omega} \pi_{\omega} \left(\sum_{k \in K} \sum_{p \in P} \sum_{t \in T} \sigma_{pkt}^{\omega} \right) \quad (2)$$

تابع هدف سوم کمینه‌سازی حداکثر عدم انتقال افراد به پایگاه امدادی است.

$$\min Z_3 = \sum_{\omega \in \Omega} \pi_{\omega} \left(\sum_{s \in S} \sum_{t \in T} \beta_{st}^{\omega} \right) \quad (3)$$

محدودیت اول نشان می‌دهد که تعداد مجموع افراد منتقل شده دارای سطوح اضطراب کم‌تر از ظرفیت وسیله نقلیه امدادی در هر دوره است.

$$\sum_{s \in S} \gamma_{pkst}^{\omega} \leq \gamma_{pk} \mu_{pk} \chi_{pkt}^{\omega} \quad \forall p \in P, k \in K, t \in T, \omega \in \Omega \quad (4)$$

محدودیت دوم نشان می‌دهد که تعداد کل افراد منتقل شده در هر دوره توسط کل وسایل نقلیه امدادی و کل سطوح اضطراب از ظرفیت پایگاه‌های امدادی کم‌تر باشد.

$$\sum_{k \in K} \sum_{s \in S} \gamma_{pkst}^{\omega} \leq \theta_p \quad \forall p \in P, t \in T, \omega \in \Omega \quad (5)$$

محدودیت سوم به دنبال این است که تعداد افراد منتقل شده و نشده در منطقه حادثه‌دیده در دوره اول برابر با تعداد کل افراد آسیب‌دیده است.

$$\sum_{p \in P} \sum_{k \in K} \gamma_{pkst}^{\omega} + \varphi_{st}^{\omega} = \delta_{st}^{\omega} \quad \forall s \in S, t = 1, \omega \in \Omega \quad (6)$$

محدودیت چهارم به دنبال این است که تعداد افراد منتقل شده و نشده در منطقه حادثه‌دیده در دوره‌های بعد از دوره اول برابر با تعداد کل افراد آسیب‌دیده منتقل نشده در دوره‌های قبل است.

$$\sum_{p \in P} \sum_{k \in K} \gamma_{pkst}^{\omega} + \varphi_{st}^{\omega} = \varphi_{s,t-1}^{\omega} \quad \forall s \in S, t > 1, \omega \in \Omega \quad (7)$$

محدودیت‌های زیر، محدودیت‌های زمان‌بندی برای حرکت وسایل نقلیه امدادی است. با این حال، ابتدا در دوره اول، وسیله نقلیه امدادی حرکت کرده، در ادامه بین پایگاه امدادی و نقطه حادثه‌دیده سفر کرده و کل افراد آسیب‌دیده دارای سطوح اضطراب را درمان کرده و به وسیله نقلیه امدادی منتقل می‌کند؛ در نهایت مجدداً بین نقطه حادثه و پایگاه امدادی حرکت می‌کند و در زمان مشخصی به پایگاه امدادی می‌رسد. در دوره‌های بعد از دوره اول، زمان حرکت وسیله نقلیه امدادی باید از مجموع زمان برگشت وسایل نقلیه امدادی در دوره‌های قبلی و زمان تخلیه مجروحان به پایگاه‌های امدادی بیشتر باشد.

$$\epsilon_{pkt}^{\omega} + \sum_{s \in S} \vartheta_{kst}^{\omega} + \tau_{pkt}^{\omega} \chi_{pkt}^{\omega} - \tau_{pk} (1 - \chi_{pkt}^{\omega}) \leq \sigma_{pkt}^{\omega} \quad \forall p \in P, k \in K, t \in T, \omega \in \Omega \quad (8)$$

$$\epsilon_{pkt}^{\omega} + \sum_{s \in S} \vartheta_{kst}^{\omega} + \tau_{pkt}^{\omega} \chi_{pkt}^{\omega} + \tau_{pk} (1 - \chi_{pkt}^{\omega}) \geq \sigma_{pkt}^{\omega} \quad \forall p \in P, k \in K, t \in T, \omega \in \Omega \quad (9)$$

$$\epsilon_{pkt}^{\omega} \geq \sigma_{pk,t-1}^{\omega} + \tau_{pt-1} \quad \forall p \in P, k \in K, t > 1, \omega \in \Omega \quad (10)$$

محدودیت زیر، محدودیت پنجره زمانی در هر دوره است.

$$\alpha_t^{\omega} \leq \sigma_{pkt}^{\omega} \leq o_t^{\omega} \quad \forall p \in P, k \in K, t \in T, \omega \in \Omega \quad (11)$$

محدودیت هفتم بیان‌کننده این است که از هر پایگاه امدادی در کل، یک وسیله نقلیه امدادی برای امدادسانی اعزام گردد.

$$\sum_{k \in K} \chi_{pkt}^{\omega} = 1 \quad \forall p \in P, \omega \in \Omega \quad (12)$$

محدودیت زیر به دنبال حداکثر نمودن نرخ تعداد افراد آسیب‌دیده منتقل نشده در کل افراد آسیب‌دیده در اولویت آن‌ها در هر دوره است.

$$\partial_{st} \times \frac{\varphi_{st}^{\omega}}{\delta_{st}^{\omega}} \leq \beta_{st}^{\omega} \quad \forall s \in S, t \in T, \omega \in \Omega \quad (13)$$

محدودیت نهم، زمان درمان به ازای هر یک از بیماران، یک پزشک به صورت متوسط اندازه‌گیری شده و بازمان حمل و نقل بین نقطه آسیب‌دیده و پایگاه‌های امدادی، باید از یک زمان امداد مشخص کمتر باشد تا افراد در هر دوره در زمان مناسب نجات پیدا کنند در غیر این صورت باید میزان صفر به خود گیرد.

$$\left(\frac{\delta_{st}^{\omega}}{\omega_s} + l_{pkt}^{\omega} \chi_{pkt}^{\omega} - \varrho_s \right) \leq \xi_{st}^{\omega} \quad \forall p \in P, k \in K, s \in S, t \in T, \omega \in \Omega \quad (14)$$

در نهایت محدودیت‌های آخر، نوع متغیرهای تصمیم‌گیری مدل را یادآوری می‌کند.

$$\gamma_{pkst}^{\omega}, \varphi_{kst}^{\omega} \geq 0 \text{ and Integer} \quad \forall p \in P, k \in K, s \in S, t \in T, \omega \in \Omega \quad (15)$$

$$\epsilon_{pkt}^{\omega}, \sigma_{pkt}^{\omega}, \beta_{st}^{\omega}, \xi_{st}^{\omega} \geq 0 \quad \forall p \in P, k \in K, s \in S, t \in T, \omega \in \Omega \quad (16)$$

$$\chi_{pkt}^{\omega} \in \{0, 1\} \quad \forall p \in P, k \in K, s \in S, t \in T, \omega \in \Omega \quad (17)$$

ب-۷- روش حل

مدل سه هدف بالا را توسط روش برنامه‌ریزی ایده‌آل حل می‌کنیم:



کانالس^۱ و همکاران (۲۰۱۹) انرژی مکمل انرژی های تجدید پذیر را با استفاده از کمیت ها بررسی کردند؛ در نهایت با استفاده از ضریب همبستگی و برنامه ریزی ایده آل به حل مدل پرداختند. مناو و همکاران (۲۰۲۳) برای رسیدن به زمان بندی کارآمد، محاسبه باد و برق، مدل برنامه ریزی تصادفی دو سطحی ایجاد کردند. آن ها برای حل مدل دو هدف خود از برنامه ریزی ایده آل بهره بردند.

مدل برنامه ریزی ایده آل را برای مدل تصادفی به صورت ذیل استفاده می کنیم:

$$\min Z_{CP} = \left[\left(W_1 \times \frac{Z_1^{RF} - Z_1^{RF*}}{Z_1^{RF*}} \right) + \left(W_2 \times \frac{Z_2^{RF} - Z_2^{RF*}}{Z_2^{RF*}} \right) + \left(W_3 \times \frac{Z_3^{RF} - Z_3^{RF*}}{Z_3^{RF*}} \right) \right] \quad (18)$$

یافته ها و تجزیه و تحلیل داده ها

الف: یافته های تحقیق

در سال ۲۰۲۲ میلادی، یک کشتی ایتالیایی به نام یوروفری المپیا از شرکت ایتالیایی گرمالدی از بندر ایگومنیسا واقع در شمال غربی یونان حرکت کرده و عازم بریندیزی در جنوب ایتالیا بود؛ سپس دو ساعت بعد از اعزام، دچار سانحه آتش سوزی شده است. تعداد سرنشینان این کشتی مسافری، ۲۹۰ نفر بوده که شامل ۲۳۹ نفر مسافر و ۵۱ نفر خدمه است. در نهایت پس از سانحه آتش سوزی ۱۱ نفر مفقود شدند (سایت یورونیوز).

بنابراین این سانحه آتش سوزی کشتی مسافری را در دریای عمان شبیه سازی می کنیم که جدول مختصات جغرافیایی آن (در دورترین و نزدیک ترین حالت) و پایگاه های امدادی (بندرعباس، بندر جاسک و بندر چابهار) به صورت زیر در نظر می گیریم:

جدول ۲. موقعیت های جغرافیایی پایگاه های امدادی

نام نقطه جغرافیایی	طول جغرافیایی (درجه)	عرض جغرافیایی (درجه)
بندرعباس	۵۶/۲۷۶۶	۲۷/۱۸۸۳
بندر جاسک	۵۷/۷۷۴۴۴۴	۲۵/۶۴۳۸۸۹

نام نقطه جغرافیایی	طول جغرافیایی (درجه)	عرض جغرافیایی (درجه)
بندر چابهار	۶۰/۶۴۳۰	۲۵/۲۹۱۹

طبق جدول مختصات جغرافیایی بالا، جدول مختصات *UTM* (سیستم مختصات مرکاتور معکوس جهانی) آن‌ها را به صورت ذیل بازنویسی می‌کنیم:

جدول ۳. مختصات *UTM* پایگاه‌های امدادی

نام نقطه جغرافیایی	X	Y	ناحیه
بندرعباس	۴۲۸۳۴۶/۵۴۸	۳۰۰۷۴۹۸/۱۵۹	۴۰
بندر جاسک	۵۷۷۷۳۸/۲۲	۲۸۳۶۴۷۵/۱۴۴	۴۰
بندر چابهار	۲۶۲۶۷۸/۰۱۸	۲۷۹۹۳۵۶/۳۱۳	۴۱

بر اساس جدول مختصات *UTM* فاصله بین نقاط را به صورت زیر به دست می‌آوریم که فاصله اقلیدسی است:

$$d_{A-B} = \sqrt{(X_A - X_B)^2 + (Y_A - Y_B)^2} \quad (19)$$

اگر کشتی م‌سافربری در طول جغرافیایی ۵۸/۱۵۵۵۹۱ درجه و عرض جغرافیایی ۲۴/۹۳۸۶۰۱ درجه واقع شده باشد، مختصات *UTM* و فواصل به صورت زیر است:

جدول ۴. مختصات *UTM* کشتی آسیب‌دیده^۲

نام نقطه جغرافیایی	X	Y	ناحیه
کشتی آسیب‌دیده	۶۱۶۶۷۳/۳۶۹	۲۷۵۸۶۴۵/۲۹۹	۴۰

جدول ۵. فاصله کشتی آسیب‌دیده از هر یک از پایگاه‌های امدادی

کشتی آسیب‌دیده	به
----------------	----

^۱The Universal Transverse Mercator

^۲(مختصات به صورت فرضی است)

از	
نقطه کمکی اول → بندرعباس	۳۸۶
بندر جاسک	۱۴۰
بندر چابهار	۲۰۳



شکل ۲. کشتی آسیب دیده روی نقشه

تعداد وسیله نقلیه امدادی در هر پایگاه امدادی به صورت زیر است:

جدول ۶. تعداد وسیله نقلیه امدادی در هر پایگاه امدادی^۱

وسيله نقلیه پایگاه	بالگرد <i>SH-3D</i>	بالگرد <i>BELL212</i>	هاورکرافت <i>BH-7</i>	هاورکرافت <i>SRN-6</i>	شناور نجات	آمبولانس دریایی
بندرعباس	۱	۰	۱	۱	۱	۱
بندر جاسک	۰	۱	۰	۰	۱	۱
بندر چابهار	۱	۰	۰	۰	۱	۱

^۱ (تعداد به صورت فرضی است)

زمان سفر از هر پایگاه امدادی به کشتی آسیب‌دیده برای هر وسیله نقلیه امدادی به صورت زیر است:

نکته مهم: این‌که در یک نقطه آسیب‌دیده که برد و سیله نقلیه رعایت شده است و در بیشتر حالات، مثلاً دورترین برد وسایل نقلیه مدنظر قرار نگرفته است.
زمان سفر برای نقطه حادثه به صورت ذیل است:

جدول ۷. زمان سفر برای نقطه حادثه^۱

به از	بالگرد <i>SH-3D</i>	بالگرد <i>BELL212</i>	هاورکرافت <i>BH-7</i>	هاورکرافت <i>SRN-6</i>	شناور ناجی	آمبولانس دریایی
بندرعباس	۸۶	۱۰۳/۸۶	۲۱۶/۴۵	۲۴۹/۰۳	۲۹۳/۱۶	۳۵۶/۳۱
بندر جاسک	۳۱/۴۶۱	۳۷/۶۷	۷۸/۵۰۵	۹۰/۳۲	۱۰۶/۳۳	۱۲۹/۲۳
بندر چابهار	۴۵/۶۱۸	۵۴/۶۲	۱۱۳/۸۳	۱۳۰/۹۷	۱۵۴/۱۸	۱۸۷/۳۸۵

ظرفیت (نفر) هر وسیله نقلیه امدادی در هر پایگاه امدادی به صورت زیر است:

جدول ۸ ظرفیت (نفر) هر وسیله نقلیه امدادی در هر پایگاه امدادی^۲

وسيله نقلیه پایگاه	بالگرد <i>SH-3D</i>	بالگرد <i>BELL212</i>	هاورکرافت <i>BH-7</i>	هاورکرافت <i>SRN-6</i>	شناور ناجی	آمبولانس دریایی
بندرعباس	۲۰	۱۳	۵۰	۵۰	۲۲	۱۲
بندر جاسک	۱۸	۱۲	۶۰	۵۶	۲۲	۱۳
بندر چابهار	۲۰	۱۳	۶۰	۵۰	۳۰	۱۰

^۱ (زمان به صورت فرضی است)
^۲ (تعداد به صورت فرضی است)

تعداد افراد آسیب‌دیده با سطوح اضطراب مختلف در کشتی آسیب‌دیده به صورت ذیل است:

جدول ۹. تعداد افراد آسیب‌دیده با سطوح اضطراب مختلف در کشتی آسیب‌دیده

سناریو سطوح اضطراب	سناریو اول	سناریو دوم	سناریو سوم
بالا	۹۰	۶۰	۱۰۰
متوسط	۱۰۰	۱۲۰	۶۵
پایین	۱۰۰	۱۱۰	۱۲۵

اولویت‌های سطوح اضطراب در افراد آسیب‌دیده به صورت زیر است:

جدول ۱۰. اولویت‌های سطوح اضطراب در افراد آسیب‌دیده

اولویت سطوح اضطراب	وزن
بالا	۰/۵
متوسط	۰/۳
پایین	۰/۲

مدت‌زمان خدمت و امداد رسانی وسایل نقلیه امدادی به افراد آسیب‌دیده برای هر سناریو

به صورت زیر است:

جدول ۱۱. مدت زمان خدمت و امداد رسانی و وسایل نقلیه امدادی به افراد آسیب‌دیده برای هر سناریو

وسایل نقلیه	سطوح اضطرار		
	بالا	متوسط	پایین
بالگرد <i>SH-3D</i>	۱۰۰	۹۰	۷۰
بالگرد <i>BELL212</i>	۹۵	۹۲	۹۰
هاورکرافت <i>BH-7</i>	۱۲۰	۱۱۰	۷۰
هاورکرافت <i>SRN-6</i>	۱۴۰	۱۱۰	۷۵
شناور ناجی	۹۰	۸۵	۷۵
آمبولانس دریایی	۸۸	۸۰	۷۲

پارامترهای مدنظر برای مدل‌های تصادفی مذکور به صورت ذیل است:

جدول ۱۲. پارامترهای مدل‌های تصادفی

پارامتر	تابع یکنواخت	یکا	پارامتر	تابع یکنواخت	یکا
ν_s^ω	U(1000,2000)	واحد پولی	ζ_{pk}^ω	U(2000,3000)	واحد پولی
ϕ_{pks}^ω	U(200,300)	واحد پولی	∇_s^ω	U(7000,8000)	واحد پولی
θ_p	U(100,200)	نفر	ρ_s	U(240,360)	زمان
ω_s	U(30,40)	نفر	η_p	U(1×10^7 , 2×10^7)	واحد پولی

بر اساس مسئله تعریف شده و با توجه به پارامترهای داده شده برای مسئله که در قسمت‌های قبلی بودند؛ ما به حل مدل برنامه‌ریزی تصادفی با استفاده از روش برنامه‌ریزی ایده آل نام‌برده، اقدام می‌کنیم. به همین منظور، هر سه مدل مذکور در نرم‌افزار گمز (۲۴،۸،۲) کدگذاری شده است؛ در ادامه هر نمونه تعریف شده برای مدل بر روی رایانه شخصی با پردازنده *Core i7* و *Ram* گیگابایت انجام شده است.

ب: تجزیه و تحلیل یافته ها

در مسئله دوم در ابتدا به صورت جداگانه، توابع هدف اول تا سوم، به ترتیب، $3/245528 \times 10^7$ واحد پولی، $7385/456$ دقیقه و نرخ حداکثر $0/636$ را به دست می آورد. سپس بعد از به کارگیری روش برنامه ریزی ایده آل، تابع هدف اول (کمینه سازی هزینه های اقتصادی) در مدل برنامه ریزی تصادفی، $10^7 \times 6/704372$ واحد پولی است؛ تابع هدف دوم در مدل، $10^7 \times 10748/740$ دقیقه و تابع هدف سوم در مدل، $0/643$ است. در رابطه با تعداد افراد آسیب دیده در دوره اول ۱۸۸ نفر بوده که نجات پیدا نکردند؛ هم چنین در دوره دوم ۸۶ نفر و در دوره سوم ۴ نفر نجات نیافتند. و سایل نقلیه انتخابی برای پایگاه های امدادی چابهار در دوره اول، دوم و سوم، به ترتیب، شناور ناجی، شناور ناجی و بالگرد *SH-3D* است؛ در صورتی که برای پایگاه امدادی جاسک در دوره اول، دوم و سوم، به ترتیب، شناور ناجی و بالگرد *BELL212* است و برای پایگاه امدادی بندرعباس در همه دوره ها، هاورکرافت *BH-7* است. در همه سناریوها، تعداد افرادی که در هر یک از پایگاه های امدادی چابهار، جاسک و بندرعباس، به ترتیب، ۸۰ نفر، ۵۶ نفر و ۱۵۰ نفر است. هزینه های اقتصادی هر یک از پایگاه های امدادی چابهار، جاسک و بندرعباس، به ترتیب، $10^7 \times 1/680901$ واحد پولی، $10^7 \times 1/263411$ واحد پولی و $10^7 \times 3/371349$ واحد پولی است و زمان عملیاتی هر یک از پایگاه های امدادی چابهار، جاسک و بندرعباس، به ترتیب، $3325/703$ دقیقه، $2845/640$ دقیقه و $4577/40$ دقیقه است.

تعداد افرادی که تحت درمان قرار نگرفتند، به صورت ذیل است:

جدول ۱۳. تعداد افرادی که در هر سناریو و دوره نجات پیدا نکردند

دوره	سطح اضطرار	سناریو اول	سناریو دوم	سناریو سوم
اول	بالا	۱۸	۱۸	۵۳
	معمولی	۱۰۰	۱۰۰	۶۵
	پایین	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰
دوم	بالا			۴۶
	معمولی	۴۶	۴۶	
	پایین	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰
سوم	بالا			
	معمولی			

سناریو سوم	سناریو دوم	سناریو اول	سطح اضطراب	دوره
۵۴	۵۴	۶۴	پایین	

همان‌طور که قابل‌مشاهده است در سناریوی اول، ۶۴ نفر، سناریوی دوم و سوم، ۵۴ نفر است. تعداد افرادی که در هر سناریو، به پایگاه امدادی بندرعباس، جاسک و چابهار، اعزام می‌شوند، به ترتیب، ۹۰ نفر، ۵۶ نفر (سناریوی اول) - ۶۶ نفر (سناریوی دوم و سوم) و ۸۰ نفر است. زمان عملیاتی و هزینه‌های اقتصادی پایگاه امدادی بندرعباس، $3086/233$ دقیقه و $1/911438X 10^7$ واحد پولی، زمان عملیاتی و هزینه‌های اقتصادی پایگاه امدادی جاسک، $2919/187$ دقیقه و $3325/703$ واحد پولی و $1/41824610^7$ واحد پولی و هزینه‌های اقتصادی پایگاه امدادی چابهار، $3325/703$ دقیقه و $1/680437X 10^7$ واحد پولی است.

متغیرهای تصمیم‌گیری مقادیر زیر را به خود تخصیص دادند، که به‌صورت زیر است:
وسيله نقلیه امدادی اعزامی از هر پایگاه امدادی به‌صورت ذیل است:

جدول ۱۴. وسیله نقلیه امدادی اعزامی از هر پایگاه امدادی

پایگاه امدادی	دوره	سناریو اول	سناریو دوم	سناریو سوم
بندرعباس	اول	بالگرد <i>SH-3D</i>	بالگرد <i>SH-3D</i>	بالگرد <i>SH-3D</i>
	دوم	بالگرد <i>SH-3D</i>	بالگرد <i>SH-3D</i>	بالگرد <i>SH-3D</i>
	سوم	هاورکرافت <i>BH-7</i>	هاورکرافت <i>BH-7</i>	هاورکرافت <i>BH-7</i>
جاسک	اول	شناور ناجی	شناور ناجی	شناور ناجی
	دوم	شناور ناجی	شناور ناجی	شناور ناجی
	سوم	بالگرد <i>BELL212</i>	شناور ناجی	شناور ناجی
چابهار	اول	شناور ناجی	شناور ناجی	شناور ناجی
	دوم	شناور ناجی	شناور ناجی	شناور ناجی
	سوم	بالگرد <i>SH-3D</i>	بالگرد <i>SH-3D</i>	بالگرد <i>SH-3D</i>

تعداد افراد نجات‌یافته در هر دوره و سناریو، که به پایگاه‌های امدادی منتقل شدند به‌صورت ذیل

جدول ۱۵. تعداد افراد نجات یافته در هر دوره و سناریو، که به پایگاه‌های امدادی منتقل شدند

پایگاه امدادی	دوره	وسیله نقلیه امدادی	سطح اضطرار	سناریو اول	سناریو دوم	سناریو سوم
	اول	بالگرد <i>SH-3D</i>	بالا	۲۰	۱۰	۲۰
		بالگرد <i>SH-3D</i>	معمولی			
		بالگرد <i>SH-3D</i>	پایین		۱۰	
بندرعباس	دوم	بالگرد <i>SH-3D</i>	بالا			۷
		بالگرد <i>SH-3D</i>	معمولی	۲۰	۲۰	۱۳
		بالگرد <i>SH-3D</i>	پایین			
	سوم	هاورکرافت <i>BH-7</i>	بالا			۲۴
		هاورکرافت <i>BH-7</i>	معمولی	۳۴	۲۶	
		هاورکرافت <i>BH-7</i>	پایین	۱۶	۲۴	۲۶
	اول	شناور ناجی	بالا	۲۲	۲۲	
		شناور ناجی	معمولی			
		شناور ناجی	پایین			۲۲
جاسک	دوم	شناور ناجی	بالا			
		شناور ناجی	معمولی	۲۲	۲۲	۲۲
		شناور ناجی	پایین			
	سوم	شناور ناجی	بالا			۲۲
		بالگرد <i>BELL212</i>	معمولی	۱۲		
		شناور ناجی	پایین		۲۲	
چابهار	اول	شناور ناجی	بالا	۳۰	۱۰	۲۷

پایگاه امدادی	دوره	وسیله نقلیه امدادی	سطح اضطرار	سناریو اول	سناریو دوم	سناریو سوم
		شناور ناجی	معمولی		۲۰	
		شناور ناجی	پایین			۳
		شناور ناجی	بالا	۱۸	۱۸	
	دوم	شناور ناجی	معمولی	۱۲	۱۲	۳۰
		شناور ناجی	پایین			
	سوم	بالگرد SH-3D	معمولی		۲۰	
		بالگرد SH-3D	پایین	۲۰		۲۰

زمان اعزام وسایل نقلیه امدادی به صورت ذیل است:

جدول ۱۶. زمان اعزام وسایل نقلیه امدادی

پایگاه امدادی	دوره	وسیله نقلیه امدادی	سناریو اول	سناریو دوم	سناریو سوم
بندرعباس	اول	بالگرد SH-3D	۰	۰	۰
	دوم	بالگرد SH-3D	۴۹۲	۴۹۸	۴۹۴
	سوم	هاورکرافت BH-7	۹۸۴	۹۹۶	۹۸۸
جاسک	اول	شناور ناجی	۰	۰	۰
	دوم	شناور ناجی	۵۲۲/۶۶	۵۲۲/۶۶	۵۲۲/۶۶

سناریو سوم	سناریو دوم	سناریو اول	وسیله نقلیه امدادی	دوره	پایگاه امدادی
۱۰۴۵/۳۲	۱۰۴۵/۳۲	۱۰۴۵/۳۲	بالگرد <i>BELL212</i>	سوم	
			شناور ناجی	اول	
۶۱۸/۳۶	۶۱۸/۳۶	۶۱۸/۳۶	شناور ناجی	دوم	چابهار
۱۲۳۶/۷۲	۱۲۳۶/۷۲	۱۲۳۶/۷۲	بالگرد <i>SH-3D</i>	سوم	

زمان بازگشت وسیله نقلیه امدادی به پایگاه‌های امدادی به صورت ذیل است:

جدول ۱۷. زمان بازگشت وسیله نقلیه امدادی به پایگاه‌های امدادی

سناریو سوم	سناریو دوم	سناریو اول	وسیله نقلیه امدادی	دوره	پایگاه امدادی
۴۳۴	۴۳۸	۴۳۲	بالگرد <i>SH-3D</i>	اول	
۹۲۸	۹۳۶	۹۲۴	بالگرد <i>SH-3D</i>	دوم	بندرعباس
۱۷۲۰/۹	۱۷۲۸/۹	۱۷۱۶/۹	هاورکرافت <i>BH-7</i>	سوم	

سناریو سوم	سناریو دوم	سناریو اول	وسیله نقلیه امدادی	دوره	پایگاه امدادی
۴۶۲/۶۶	۴۶۲/۶۶	۴۶۲/۶۶	شناور ناجی	اول	جاسک
۹۸۵/۳۲	۹۸۵/۳۲	۹۸۵/۳۲	شناور ناجی	دوم	
۱۳۹۷/۶۶			بالگرد <i>BELL212</i>	سوم	
۱۵۰۷/۹۸	۱۵۰۷/۹۸		شناور ناجی		
۵۵۸/۳۶	۵۵۸/۳۶	۵۵۸/۳۶	شناور ناجی	اول	چابهار
۱۱۷۶/۷۲	۱۱۷۶/۷۲	۱۱۷۶/۷۲	شناور ناجی	دوم	
۱۵۸۷/۹۵۶	۱۵۸۷/۹۵۶	۱۵۸۷/۹۵۶	بالگرد <i>SH-3D</i>	سوم	

نتیجه‌گیری و پیشنهاد

الف- نتیجه‌گیری

در ابتدا فراوانی هر یک از بحران‌ها در منابع گوناگون را بررسی کردیم؛ به این نتیجه رسیدیم که بحران‌های دریایی همانند جنگ دریایی و آتش‌سوزی کشتی‌ها از تعداد کم‌تری نسبت به بقیه بحران‌ها را دارا است. از همین رو برای آتش‌سوزی کشتی به مدل‌سازی ریاضی پرداختیم. لازم به ذکر است که از توابع هدف مبتنی بر هزینه (کمینه‌سازی هزینه‌های اقتصادی)، مبتنی بر زمان (کمینه‌سازی زمان عملیاتی) و مبتنی بر عملکرد (کمینه‌سازی حداکثر نرخ تلفات) برای مدل تصادفی خود استفاده کردیم.

در مدل‌سازی اهدافی را در نظر گرفتیم که به شکل ذیل است:

اگر کشتی در یک نقطه دچار حادثه شود و یا این‌که هم‌زمان دو کشتی در دو نقطه دچار حادثه شود؛ در ادامه برای ایجاد یک پایگاه امدادی موقت برای کمک به عملیات امدادرسانی به یک یا دو کشتی آسیب‌دیده تصمیم‌گیری شد.

سپس مدل تصادفی خود را در دریای عمان تا شمال اقیانوس هند (مدار ۱۰ درجه شمالی) پیاده کردیم؛ برای این کار از یک نمونه در فواصل مختلف از هر یک از پایگاه‌های امدادی بهره بردیم. از طرف دیگر برای دقیق و واقعی بودن نمونه‌ها، از یک مورد واقعی (کشتی ایتالیایی) در

سال ۲۰۲۲ میلادی در شمال غربی یونان استفاده کردیم. در این سانحه دریایی ۲۹۰ نفر در کشتی بودند که ۱۱ نفر مفقود شدند. ما این کشتی آسیب‌دیده را در دریای عمان شبیه سازی کردیم. در این حالت، پایگاه‌های امدادی که حتی در فاصله دورتر بوده ولی وسایل نقلیه امدادی با سرعت بالاتر ولی ظرفیت کم‌تر بهتر عمل کرده است. از طرفی هر چه فاصله نقطه حادثه از پایگاه امدادی کم‌تر بوده، استفاده از وسیله نقلیه امدادی با سرعت کم‌تر ولی ظرفیت بالاتر بهینه بوده و به سیستم لجستیکی کمک کرده است.

بنابراین می‌توان گفت که سرعت و وسایل نقلیه امدادی از فواصل تا نقطه آسیب‌دیده، از تأثیر بالاتری برخوردار است. لازم به ذکر است که تمامی دیدگاه‌های به‌دست‌آمده از نتایج بدون در نظرگیری برد و وسایل نقلیه امدادی است. هم‌چنین در حالت یکسانی وخامت افراد آسیب‌دیده این نتایج به دست می‌آید، زمانی که وخامت حال افراد بیش‌تر باشد، سرعت بالای وسیله نقلیه به ظرفیت آن اهمیت بالاتری دارد.

در تحقیقات گذشته اقدامات متقابل و پاسخ مناسب به آتش سوزی کشتی‌ها مدنظر قرار نگرفته است. در این تحقیق برای پاسخ در حین آتش سوزی کشتی‌ها مدل ریاضی ارائه شد؛ در نهایت برای این پاسخ متقابل این که چه نوع و وسیله نقلیه امدادی اعزام گردد، تصمیم‌گیری شده است. در تحقیقاتی که در این حوزه قبلاً به انجام رسیده است، نوع وسیله نقلیه و تقابل بین سرعت و ظرفیت برای عملیات امدادسانی موردتوجه قرار نگرفته است که این خلأ در این تحقیق از بین رفته است. به دلیل عدم وجود مدل ریاضی برای امدادسانی دریایی در تحقیقات گذشته، در این تحقیق به بررسی کاربردهای مدل ریاضی و تحلیل حساسیت آن پرداخته شد.

ب- پیشنهاد

در آینده می‌توان مکان کشتی‌ها را متحرک در نظر گرفت؛ به‌نوعی از روابط مثلثاتی برای کشتی‌های آسیب‌دیده متحرک استفاده کرد. از طرفی شناورهای آسیب‌دیده متحرک را می‌توان مدنظر قرارداد. هم‌چنین می‌توان آسیب‌دیدگی‌ها و اتفاقات ثانویه پس از آسیب‌دیدگی کشتی، را به مسئله افزود؛ به شکلی که بعد از امدادسانی به کشتی‌های آسیب‌دیده، دو امکان وجود دارد که کشتی به‌طور کامل از بین می‌رود و یا این‌که چگونه بقایای کشتی آسیب‌دیده نجات یابد. در ادامه اگر کشتی کاملاً از بین رفت، لکه‌های نفتی و آلودگی‌های شیمیایی پس از آتش سوزی آن، به‌طور

بهینه چگونه برنامه‌ریزی و پاک‌سازی شود. لازم به ذکر است که شرایط آب و هوایی را به آن می‌توان افزود. در این پژوهش، از مدل برنامه‌ریزی تصادفی دو سطحی استفاده شده است که در آینده می‌توان برای آسیب دیدگی ثانویه از مدل برنامه‌ریزی تصادفی سه سطحی با احتمال بیزی بهره برد. از طرف دیگر در پژوهش‌های آینده برای مقابله با عدم قطعیت، می‌توان از سیستم خاکستری استفاده نمود.

منابع

الف- فارسی

- اصغرپور، محمدجواد. (۱۳۹۷)، «*تدوین گیری های چندمعیاره*». انتشارات دانشگاه تهران، تهران.
- ایمن پور، امیر و حاجی ابولی، سروش. (۱۳۹۷)، «*تحقیق در عملیات (۲)*». انتشارات کتابخانه فرهنگ، تهران
- ایمن پور، امیر. (۱۳۹۷)، «*تحقیق در عملیات (۲)*». انتشارات کتابخانه فرهنگ، تهران.
- بزرگ حداد، امید. (۱۳۹۹)، «*بهینه سازی سامانه های منابع آب*». انتشارات دانشگاه تهران، تهران.
- بینقی، محمد و حیدری، سید عباس و زارع، حسین، (۱۳۹۶)، «بررسی تجهیزات مورد نیاز در عملیات جستجو و نجات شناور آسیب دیده»، *نوزدهمین همایش صنایع دریایی*.
- پیشوایی، میرسامان. (۱۳۹۲)، «*جزوه بهینه سازی استوار*». دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران.
- تیرائی، محمود، (۱۳۹۵)، «*یک مدل ریاضی برای بهینه سازی عملیات لجستیک امداد تحت عدم قطعیت*»، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه علم و فناوری مازندران، دانشکده مهندسی صنایع، رشته مهندسی صنایع-سیستم های اقتصادی و اجتماعی.
- جاسبی، عبد... (۱۳۸۹)، «*اصول و مبانی مدیریت*»، تهران: انتشارات حکیم باشی.
- جعفری. (۱۳۹۴)، «*جزوه سیستم های فازی*»، دانشگاه آزاد اسلامی، پاییز.
- حسین پور، رضا، (۱۳۸۶)، «*نقش و جایگاه لجستیک در مدیریت بحران*»، سومین کنفرانس بین المللی مدیریت جامع بحران در حوادث غیرمترقبه طبیعی، تهران.
- سیاری، حبیب الله و خانزادی، حسین، (۱۳۹۶)، «الگوی توسعه نقش های نیروی دریایی ارتش جمهوری اسلامی ایران». *مطالعات دفاعی استراتژیک*، (۶۹)، ۱۵-۳۰۶-۲۷۵.
- عابداف، سجاد، ۱۳۹۵، «*مدل برنامه ریزی لجستیک چندهدفه برای شرایط بحرانی با تقاضا و*

لید تایم احتمالی»، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، دانشکده مهندسی صنایع، رشته مهندسی صنایع-صنایع.

- کوهستانی دماوند، مهرشاد، و رجیبی، حمیدرضا، (۱۳۹۵)، «مدیریت بحران و ایمنی در بنادر»، بابل: انتشارات مؤلفان تهران.
- محمدی، علیرضا و دانایی، ابوالفضل و رشیدی، احتشام، (۱۳۹۷)، «تحلیل سانحه دریایی نفت‌کش سانچی در خبرگزاری‌های دویچه وله، بی‌بی‌سی و ایرنا»، فصلنامه علوم و فناوری دریا، (۸)، ۲۲.
- هیلیر، فردریک س و لیبرمن، جرالذ ج. (۱۳۸۲)، «تحقیق در عملیات». ترجمه محمد مدرس و اردوان آصف وزیری. نشر جوان. چاپ دهم. تهران.

ب- انگلیسی

- Belardo, S., Harrald, J., Wallace, W. A., and Ward, J. 1984. A partial covering approach to siting response resources for major maritime oil spills. *Management Science*, 30(10), Pp. 1184-1196.
- Brown, G. G., and Kline, J. E., (۲۰۲۱). Optimizing Navy Mission Planning. *Military Operations Research*. 26(2), Pp. 39-58.
- Canales, F. A., Jurasz, J., Beluco, A., and Kies, A., (۲۰۲۰). Assessing temporal complementarity between three variable energy sources through correlation and compromise programming. *Energy*, 192, ۱۱۶۶۳۷.
- Cooper, D. C. (2005). *Fundamentals of Search and Rescue*. Jones & Bartlett Learning. Burlington, Massachusetts.
- Falasca, M., and Zobel, C. 2012. An optimization model for volunteer assignments in humanitarian organizations. *Socio-Economic Planning Sciences*, 46(4), Pp. 250-260.
- Hamza, F. R. and Priotti, J., (2020). Maritime trade and piracy in the Gulf of Aden and the Indian Ocean (1994-2017). *Journal of Transportation Security*. 13, Pp. 141-158.

- Karatas, M., (۲۰۲۱). A dynamic multi-objective location-allocation model for search and rescue assets. *European Journal of Operational Research*. 288(2), Pp. 620-633.
- Li, S., Grifoll, M., Estrada, M., Zheng, P., and Feng, H., (۲۰۱۹). Optimization on emergency materials dispatching considering the characteristics of integrated emergency response for large-scale marine oil spills. *Journal of Marine Science and Engineering*. 7(7), 214.
- Mena, R., Godoy, M., Catalán, C., Viveros, P., and Zio, E., (۲۰۲۳). Multi-objective two-stage stochastic unit commitment model for wind-integrated power systems: A compromise programming approach. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 152, ۱۰۹۲۱۴.
- Peng, Z., Wang, C., Xu, W., and Zhang, J., (۲۰۲۲). Research on Location-Routing Problem of Maritime Emergency Materials Distribution Based on Bi-Level Programming. *Mathematics*. 10(8), ۱۲۴۳.

COPYRIGHTS

2025 by the authors. Published by The National Defense University. This article is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0) <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0>