فصلنامه علمی - پژوهشی فرماندهی و کنترل، سال دوم، شماره چهار، زمستان ۱۳۹۷

# مدلسازی یک مسئله دو هدفه مکانیابی و تخصیص نیروهای امدادی بعد از وقوع سیل

غلامحسین سلیمانی[۱]، سید محمدعلی خاتمی فیروزآبادی*[۲]، مقصود امیری[۳]، محسن مرادیان[۴]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۳/۱۱ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۱۱/۲۸

## چکیده

وقوع سیل در مناطق مختلف دنیا بخصوص در کشور ایران، یکی از بلایای طبیعی اجتناب ناپذیر است که همواره خسارات مالی و جانی گسترده ای با خود به همراه دارد. ازینرو پژوهش در زمینه بررسی خطرات احتمالی و تلاش برای کاهش پیامدهای نامطلوب این گونه از بلایای طبیعی همواره برای سازمان‌های دولتی و مردم‌نهاد از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است و در سالیان اخیر نیز این زمینه تحقیقاتی، مورد توجه دانشمندان و محققان زیادی قرار گرفته است. در این مقاله نیز در راستای تکمیل پژوهش‌های گذشته و به هدف کنترل عواقب جبران‌ناپذیر سیل، مدل ریاضیِ دو هدفه‌ای به‌منظور مکانیابی پایگاه-های امدادی و تخصیص نیروهای امدادیِ موجود در پایگاه‌ها به مناطق مختلف سیل زده، ارائه شده است. مدل ریاضی فرمول‌بندی شده، با هدف کاهش تأخیر در رسیدن و همچنین کاهش هزینه‌های ناشی از بروز سیل، به‌سبب تخصیص نیروهای امدادی از پایگاه‌های اولیه به مناطق سیل‌زده و مکانیابیِ پایگاه-های بحرانی، ارائه شده است. حوادث یا بحران‌هایی که ممکن است همزمان در چند نقطه از کشور رخ داده و نیروهای امدادی را با مشکلِ تخصیص نیروها و تجهیزات به مناطق سیل‌زده و یا سردرگمی در پیدا کردن نقاط برای احداث پایگاه در اطراف مناطق بحران‌زده، مواجه کند. در انتها مدل ارائه شده در نرم-افزار گمز (GAMS) کدنویسی و حل شده است و درستی عملکرد آن با استفاده از یک مثال عددی مورد تحلیل قرار گرفته و نتایج حاصله به نمایش در آمده است.

**واژگان کلیدی:** *مدیریت بحران، مدیریت سیل، واکنش اورژانسی، تخصیص نیروهای امدادی، مدلسازی ریاضی.*

[۱] دانشجوی دکترا، گروه مدیریت صنعتی، دانشکده مدیریت و حسابداری، دانشگاه علامه طباطبائی، gholamhossin.soleimani@yahoo.com

[۲] استاد، گروه مدیریت صنعتی، دانشکده مدیریت و حسابداری، دانشگاه علامه طباطبائی، نویسنده مسئول، khatamifirouzabadi@atu.ac.ir

[۳] استادیار، گروه مدیریت صنعتی، دانشکده مدیریت و حسابداری، دانشگاه علامه طباطبائی، amiri@atu.ac.ir

[۴] استادیار، دانشگاه عالی دفاع ملی، mohsenmoradian@hotmail.com

[ Downloaded from ic4i-journal.ir on 2025-10-18 ]

## ۱. کلیات

در میان تمامی بلایای طبیعی مانند زلزله، طوفان، خشکسالی و سیل، سیل آمار بیشترین تکرار را در جهان دارد. سیل‌ها معمولاً نسبت به زمین‌لرزه قابل پیش‌بینی‌تر هستند و جلوگیری از وقوع آن ممکن است یا حداقل جلوگیری از پیامدهای جانی و جبران‌ناپذیر آن قبل یا بعد از وقوع شدنی است. ازین‌رو توجه به پیشگیری از عواقب ناگوار وقوع سیل یک امر ضروری است. دولت‌ها نیز هر ساله منابع بسیار زیاد مالی و نیروهای انسانی را به منظور جلوگیری از پیامدهای ناخوشایند بعد از سیل و کمک رسانی برای نجات افراد درگیر سیل، تخصیص می‌دهند. سیل‌ها علاوه بر تخریب خانه‌ها، زیرساخت‌ها و گرفتار کردن مردم و در مواقعی گرفتن جان انسان‌ها از راه‌های دیگری به شهرها خسارت وارد می‌کند. برای مثال وقتی سیل وارد شهر شده و وارد فاضلاب شهری می‌شود تا جایی که فاضلاب سرریز کند و یا لوله‌های زیرزمینی مسدود خواهند شد و مواد موجود در فاضلاب به شطح شهر پراکنده شده و باعث بروز بیماری‌ها و بروز مشکلات زیست‌محیطی می‌شود، از طرفی در شرایط جاری بودن سیل ئدر منطقه، پیدا کردن این مشکل در لوله‌های زیرزمینی کار دشواری است.

### ۱-۱. مقدمه و هدف

در این پژوهش برای کاهش پیامدهای ناگوار بعد از وقوع سیل یک مدل ریاضی دو هدفه ارائه شده است. یکی از اهداف این مسئله کاهش زمان رسیدن یا به عبارت دیگر کاهش زمان تأخیر در رسیدن نیروها و تجهیزات امدادی به محل حادثه برای نجات جان مردم در معرض خطر سیل یا گرفتار در سیل و همچنین برای باز کردن مسیل‌ها به منظور جریان داشتن و خارج شدن آب از شهر به منظور در امان ماندن زیرساخت‌های شهری می‌باشد. هدف دوم مسئله هم کاهش هزینه‌های انقال نیروها و تجهیزات برای امدادرسانی است. در ادامه مقاله پیش-رو به بخش‌های زیر تقسیم بندی می‌شود: بخش مرور ادبیات که به بیان پژوهش دانشمندان پیشین در زمینه امدادرسانی برای سیل و دیگر بلایای طبیعی و بررسی مدل‌های ارائه شده توسط آنها برای افزایش سرعت در کمک‌رسانی و کاهش تلفات و خسارات این گونه حوادث خواهد بود. در ادامه بخش بیان مسئله است که به توضیح کلی مسئله مورد مطالعه، فرضیات، پارامترهای مدل و مدل ریاضی به همراه توضیحاتش پرداخته خواهد شد. بخش بعدی بخش حل مثال عددی به‌منظور نمایش درستی عملکرد مدل یک مثال حل شده و نتایج آن مورد بررسی قرار خواهد گرفت. بخش آخر نیز بخشِ نتیجه-گیری و پیشنهاد برای بیان نتیجه کلیِ پژوهش و ارائه چند پیشنهاد برای تحقیقات آتی دانشمندان است.

### ۱-۲. مرور ادبیات موضوع

از گذشته تا به امروز مطالعات زیادی در زمینه لجستیک مسائل اورژانسی مطرح شده است. *اوزداماز*[5] *درسال ۲۰۰٤* به این نکته اشاره کرده است که برنامه‌ریزی لجستیک اورژانسی شامل توزیع محصولاتی از قبیل: مواد دارویی تجهیزات تخصصی نجات، تیم‌های نجات و ... به مراکز پخش در نواحی مورد تأثیر حادثه، در اسرع وقت به‌منظور شتاب دادن به عملیات نجات می‌باشد [۱].

*ری*[6] *۱۹۸۷* یک مدل جریان شبکه چندمنظوره روی شبکه‌ای باظرفیت محدود ارائه با افق برنامه ریزی چند دوره‌ای ارائه کرده است. هدف آنها کمینه کردن مجموع هزینه‌های حمل و نقل و انبار مواد غذایی بود [۲].

*نات*[7] *۱۹۸۷* یک مدل برنامه‌ریزی خطی برای مسئله حمل و نقل وسیع و حجیم غذایی ارائه کرد که تأثیر استفاده موثر از ناوگان حمل و نقل باعث کاهش هزینه‌ها و افزایش میزان حمل و نقل مواد غذایی شد. در سال *۱۹۸۸ نات* در مقاله‌ای دیگر یک مدل برنامه‌ریزی خطی برای زمان‌بندی تردد وسائل نقلیه به‌منظور جابجایی مواد غذایی به سمت نقاط تحت تأثیر بلایای طبیعی، توسعه داد [۳و٤].

در مفهوم عملیات نجات *حقانی و اُه*[8] *در (۱۹۹٦)* یک مدل چندمحصولی برای مسئله شبکه جریان چندمنظوره با پنجره زمانی به عنوان یک مسئله برنامه ریزی خطی تک هدفه ارائه کرده است. مسیریابی و زمانبندی حرکت مدهای حمل و نقل

5 Özdamar
6 Ray
7 Knott
8 Haghani & Oh



فصلنامهٔ علمی – پژوهشی فرماندهی و کنترل، سال دوم، شمارهٔ چهار زمستان ۱۳۹۷

[ Downloaded from ic4i-journal.ir on 2025-10-18 ]

در دسترس، زمانبندی تحویل کالاهای مختلف و برنامه ریزی بارگیری برای هر یک از مدهای حمل و نقل مشخص شده است [۵].

*فیدیچ*[9] *و همکاران (۲۰۰۰)* یک مدل بهینه سازی ترکیبی پویا ارائه کرد و همچنین یک روش ابتکاری به سبب مشخص کردن زمانبندی بهینه منابع برای تخصیص به نقاط حادثه دیده پس از زمین‌لرزه‌های سهمگین، جایی که تابع هدف مسئله کمینه کردن تسهیلات در طول عملیات جست و جو و نجات می‌باشد [٦].

*اوزدامار و همکاران* در سال ۲۰۰٤ به این نکته اشاره کرده‌اند که برنامه‌ریزی لجستیک برای مسائل اورژانس می‌تواند از حل پشت سر هم و تکراری مسئله حمل و نقل پویا و وابسته به زمان استخراج شود. هدف در این مسئله کمینه کردن تقاضاهای ناراضی تمام محصولات در طول افق برنامه‌ریزی است. برنامه–ریزی لجستیک مسائل اورژانس در این پژوهش شامل زمانبندی بارگیری وتحویل وسائل نقلیه با در نظر گرفتن افق زمانی برنامه‌ریزی و باتوجه به مقدار بهینه و نوع محصول بارگیری و تحویل داده شده در این مسیرها می شود. با درخواست تقاضای جدید یا در مواقع در دسترس شدن تامین‌کننده‌های جدید و مدهای حمل و نقل جدید درطول افق برنامه‌ریزی، این فرآیند دوباره ایجاد شده و اجرا می‌شود [۱].

مقالات [۷ و ۸] به بررسی و مرور مقالاتی پرداخته‌اند که با توجه به گروه‌بندی ٤ گانه بر پایه تحقیق در عملیات و مدیریت بررسی شده‌اند. برای فاز کاهش شدت بحران روش‌هایی مثل مدل صف برای مطالعه روی تأثیرات بلایای طبیعی به کار رفته است [۹ و ۱۰]. برای فاز آمادگی که مقاله ما نیز تا حدودی با آن در ارتباط است، مدل‌های ساخته شده بیشتر بر پایه زنجیره تامین طراحی و نوشته شده‌اند (مانند مکانیابی تسهیلات امدادرسانی) [۱۱و۱۲]. فاز واکنش که بیشترین ارتباط را با مسئله مورد مطالعه ما دارد و بین ٤ فاز تحقیق در عملیات/ مدیریت دانش کنترل حوادث و بلایای طبیعی بیشترین توجهات را از طرف محققین به خصوص برای مسائل لجستیک و حمل و نقل که در بیشتر در عملیات واکنش به مسائل اورژانسی پدیدار شوند، به خود اختصاص داده است [۱۳]. *اوزدامار* ۲۰۱۵ نیز مروری بر مدل‌های متفاوت دیگر و روش‌های حل در لجستیک بشردوستانه داشته است [١٤]. برای فاز بهبود و ترمیم اخیراً مطالعه ای تحت عنوان یک مسئله چند هدفه ، ارائه شده که با روش برنامه‌ریزی آرمانی حل شده است ، که توانایی حل مسائل توزیع نیروهای امدادی و ترمیم شبکه را دارد[۱۵و١٦]. برای بررسی و مطالعه بیشتر به منظور دریافت جزئیات و دیدن مدل‌ها و روش‌های حل دیگر به مقالات زیر رجوع کنید مقالات [۷–١٦]. تحقیقاتی که در زمینه واکنش‌های اورژانسی یا کمک‌رسانی برای بلایای طبیعی که با روش‌های تصمیم‌گیری مسائل چند هدفه در سال‌های اخیر ارائه شده را می‌توان از مجموعه مقالات [۱۷–۲۵] مطالعه کرد.

## ۲. یافته‌ها

### ۲–۱. بیان مسئله

مسئله مورد مطالعه در این پژوهش یک مسئله برنامه‌ریزی امدادرسانی مسائل اورژانس است که به‌طور خاص روی امدادرسانی و کمک‌رسانی نیروهای امدادی بعد از وقوع سیل طراحی شده است. مسئله مورد مطالعه به دلیل اینکه شباهت بسیار زیاد به مسائل برنامه ریزی زنجیره تامین دارد، با روش مدلسازی ریاضی زنجیره تامین چند سطحی فرمول‌بندی می‌شود. شرایط بوجود آمده در مسئله مورد نظر برگرفته از تعاریف بحران و همچنین یکی از سناریوهای مشخص شده از مکعب بحرانِ مقاله *هرمن*[10] می‌باشد [٢٦]. برا این اساس در فضیات مسئله، ٤ سطح در نظر گرفته شده است. سطح اول که نیروها و تجهیزات آماده ارسال در این سطح قرار دارند به عنوان پایگاه اولیه نام‌گذاری شده است. سطح دوم پایگاه بحرانی نام دارد که نزدیک محل وقوع سیل می‌باشد و نیروهای ارسالی قبل انجام عملیات کمک رسانی در آن نقاط مستقر می‌شوند. خط مقدم بحران نام سطح سوم است که دقیقاً محل مقابله با سیل و نجات جان افراد درگیر در سیل است. سطح چهارم و پایانی که پناهگاه‌ها هستند جان‌پناه‌ها یا محل مراقبت و نگهداری از افراد نجات یافته از سیل هستند. در هنگام وقوع

9 Fiedich

10 . Hermann





[ Downloaded from ic4i-journal.ir on 2025-10-18 ]

حادثه با توجه به عمق فاجعه و نظر افراد خبره در این زمینه مقدار نیروهای مورد نیاز برای ارسال به مناطق مشخص می-شوند و عملیات امداد از پایگاه‌های بحرانی شروع می‌شود. نیروهای امدادی از پایگاه‌های مختلف با توجه به سرعت رسیدن و ظرفیت هر پایگاه حرکت کرده و در مناطقی کاندید اطراف خط مقدم بحران مستقر می‌شوند. سپس عملیات نجات را شروع کرده و سیل زدگان را به پناهگاه‌ها انتقال می‌دهند.

با توجه به تعاریف، مسئله با یک مدل برنامه ریزی خطی عدد صحیح فرموله خواهد شد. مدل ساخته شده دارای دو هدف اصلی به ترتیب اولویت، کمینه کردن تأثیر تأخیر در شدت بحران و کمینه کردن کل هزینه‌های امداد رسانی می باشد.

۲-۱. تعریف شدت بحران

در این مطالعه به دلیل اینکه از مرحله پیش بینی وقوع حادثه گذر کرده ایم و حادثه رخ داده است. بنابراین در این وضعیت که بحران رخ داده است و ما از میزان بزرگی حادثه روی داده و نقاطی که در آن بحران رخ داده است آگاه هستیم. برپایه تعاریف کلاسیک ریسک همچنین ایده پژوهش وِکس[11] و همکاران، و با اعمال تغییراتی در آن مفهومی به نام شدت بحران $(\boldsymbol{\delta_f})$ در مدل در یکی از توابع هدف عنوان شد که چند عامل وابسته هست [۲۷]. مهمترین عاملی که شدت بحران به آن بستگی دارد میزان بارندگی در منطقه است که با $(\boldsymbol{EN_r})$ نمایش داده می شود. از عوامل دیگر میزان جمعیت ساکن در محل منطقه بحرانی $(\boldsymbol{pop_r})$ و زیرساخت‌های اساسی $(\boldsymbol{fac_r})$ در این نقاط می‌تواند عوامل مهم موثر در میزان شدت بحران در نظر گرفته شود. جمع موزونِ نرمالسازی (بی‌مقیاس‌سازی) شده‌ی این پارامترها به عنوان شدت بحران در نظر گرفته شده است. $\boldsymbol{\alpha}$، $\boldsymbol{\beta}$ و $\boldsymbol{\gamma}$ نیز اوزان هر یک از عوامل موثر در شدت بحران هستند.

مجموعه‌ها:

| | |
|---|---|
| مجموعه گره‌های پایگاه‌های اولیه | $s \in \{1,\ldots,S\}$ |
| مجموعه پایگاه‌های بحرانی | $n \in \{1,\ldots,N\}$ |
| مجموعه نقاط خط مقدم بحران | $r \in \{1,\ldots,R\}$ |
| مجموعه پناهگاه‌ها | $b \in \{1,\ldots,B\}$ |
| مجموعه نیروهای امدادی | $p \in \{1,\ldots,P\}$ |
| مجموعه دوره‌های زمانی | $t \in \{1,\ldots,T\}$ |
| مجموعه تمامی گره‌ها | $s,n,r,i,j,k \in w$ |

پارامترها:

| | |
|---|---|
| تعداد نیروهای امدادی نوع p موجود در پایگاه اولیه s در دوره t | $\boldsymbol{cap_s^{pt}}$ |
| ظرفیت نگهداری نیروی امدادی نوع **p** در پایگاه بحرانی **n** در دوره **t** | $\boldsymbol{cam_n^{pt}}$ |
| میزان تقاضای خط مقدم بحران **r** از نیروی امدادی نوع **p** در دوره **t** | $\boldsymbol{d_r^{pt}}$ |
| زمان بارگیری نیروی امدادی نوع **p** در گره **i** در دوره **t** | $\boldsymbol{TU_i^{pt}}$ |
| زمان سفر نیروی امدادی نوع **p** از گره **i** به گره **j** در دوره **t** | $\boldsymbol{TR_{ij}^{pt}}$ |
| زمان تخلیه و استقرار نیروی امدادی نوع **p** در گره **j** در دوره **t** | $\boldsymbol{TD_j^{pt}}$ |
| بیشترین زمان رسیدن نیروی امدادی نوع **p** به گره **j** در دوره **t** که بعد از آن تأخیر رخ می‌دهد | $\boldsymbol{UT_j^{pt}}$ |
| هزینه نگهداری نیروی امدادی نوع **p** در گره **j** و در دوره **t** | $\boldsymbol{CM_j^{pt}}$ |
| هزینه استقرار نیروی امدادی نوع **p** در گره **j** در دوره **t** | $\boldsymbol{CR_j^{pt}}$ |
| هزینه جابجایی تجهیزات و سفرِ نیروی امدادی نوع **p** بین گره‌های **i** و **j** در دوره **t** | $\boldsymbol{CT_{ij}^{pt}}$ |
| میزان جمعیت در معرض خطر بلایای طبیعی در نقطه **j** | $\boldsymbol{pop_j}$ |
| میزان تسهیلات و زیرساخت‌های اساسی در معرض خطر بلایای طبیعی در نقطه **j** | $\boldsymbol{fac_j}$ |
| میزان براندگی در نقطه **j** | $\boldsymbol{\delta_f^{EN_j} = (\alpha pop_r + \beta fac_r + \gamma EN_r)}$ **1** |
| اوزان جمعیت موجود در منطقه بحرانی، زیرساخت‌های اساسی محل بحرانی ومیزان خسارت وارد شده | $\boldsymbol{\alpha,\beta,\gamma}$ |
| درصد نیروها و تجهیزات امدادی نوع **p** که بعد از رفع بحران و نجات مردم در نقطه **j** و دوره زمانی **t** باقی می‌ماند | $\boldsymbol{a_j^{pt}}$ |

[11] . wex





[ Downloaded from ic4i-journal.ir on 2025-10-18 ]

یک عدد بزرگ $\boldsymbol{M}$

**متغیرهای تصمیم**

تعداد نیروی نوع **p** که از گره **i** به گره**j** در دوره **t** انتقال می‌یابد $\boldsymbol{X_{ij}^{pt}}$

نیروی نوع **p** که از گره **i** به گره **j** در دوره **t** تخصیص می‌یابد $\boldsymbol{Y_{ij}^{pt}}$

تعداد نیروی نوع **p** که در دوره **t** در گره گره **i** باقی می‌مانند و نگهداری می‌شوند $\boldsymbol{IN_i^{pt}}$

میزان نیروی **p** باقی مانده پس از رفع بحران در گره **j** و در دوره **t** $\boldsymbol{g_j^{pt}}$

## ۲-۲. مدل ریاضی

$$Z_1 = Min \sum_{i=1|i\neq j}^{w} \sum_{j=1|i\neq j}^{w} \sum_{p=1}^{P} \sum_{t=1}^{T} Y_{ij}^{pt}\big[\big(\gamma EN_j + \alpha pop_j + \beta fac_j\big) \times \big(TU_i^{pt} + TR_{ij}^{pt} + TD_j^{pt} - UT_j^{pt}\big)\big] \quad (2$$

$$Z_2 = Min \sum_{i=1}^{w} \sum_{p=1}^{P} \sum_{t=1}^{T} \big(IN_i^{pt} \times CM_i^{pt}\big) + \sum_{i=1|i\neq j}^{w} \sum_{j=1|i\neq j}^{w} \sum_{p=1}^{P} \sum_{t=1}^{T} \big(X_{ij}^{pt} \times CT_{ij}^{pt}\big) + \sum_{i=1|i\neq j}^{w} \sum_{j=1|i\neq j}^{w} \sum_{p=1}^{P} \sum_{t=1}^{T} \big(Y_{ij}^{pt} \times CR_j^{pt}\big) \quad (3$$

**S.t**

$$IN_j^{pt} = IN_j^{p(t-1)} + \sum_{i=1}^{w} X_{ij}^{pt} - \sum_{k=1}^{F} X_{jk}^{pt} \; ; \qquad \forall\, j\epsilon n, p, t \quad (4$$

$$IN_j^{pt} \leq cam_j^{pt} \; ; \qquad \forall\, j\epsilon n, p, t \quad (5$$

$$\sum_{j=1}^{w} X_{ij}^{pt} \leq cap_i^{pt} \; ; \qquad \forall\, i\epsilon s, p, t \quad (6$$

$$\sum_{i=1}^{w} X_{ij}^{pt} = d_j^{pt} \qquad \forall\, j\epsilon r, p, t \quad (7$$

$$X_{ij}^{pt} \leq M \times Y_{ij}^{pt} \; ; \forall \; i\epsilon w, j\epsilon w, p, t \quad (8$$

$$\sum_{i=1|i\neq j}^{w} \sum_{i=1|i\neq j}^{w} Y_{ij}^{pt}\big(TU_i^{pt} + TR_{ij}^{pt} + TD_j^{pt}\big) \geq \sum_{j=1}^{w} UT_j^{pt} \; ; \forall\, i\epsilon w, j\epsilon w, p, t \quad (9$$

$$\sum_{i=1}^{B\epsilon w} Y_{ij}^{pt} = 1 \quad ; \qquad \forall\, j\epsilon r, p, t \quad (10$$

$$\sum_{i=1}^{w} X_{ij}^{pt} = g_j^{pt} \qquad \forall\, j\epsilon b, p, t \quad (12$$

$$X_{ij}^{pt} \geq 0 \qquad \forall\, i\epsilon w, j\epsilon w, p, t \quad (13$$

$$Y_{ij}^{pt}, IN_j^{pt} \in \{0,1\} \qquad \forall\, i\epsilon w, j\epsilon w, p, t \quad (14$$

در مدل ارائه شده برای سناریوی دوم، در رابطه شماره ۲ تابع هدف اول تأثیرِ تأخیر روی شدت بحران را کمینه می‌کند. تابع هدف دوم (۳) نیز هزینه کل جابجایی و استقرار و امدادرسانی نیروهای امدادی را کمینه می‌کند. در محدودیت‌ها نیز محدودیت شماره ٤ میزان نیروهای امدادی نگهداری شده در یک دوره در پایگاه بحرانی را نمایش می دهد. محدودیت شماره ۵ تضمین می‌کند که میزان نیروهای نگهداری شده در پایگاه‌های بحرانی نباید از مقدار ظرفیت آن پایگاه‌ها بیشتر باشد. محدودیت شماره ٦ خاطرنشان می‌کند میزان ظرفیت ارسال نیرو از طرف پایگاه اولیه به سمت نقاط بحرانی نباید بیشتر از ظرفیت آن پایگاه باشد. در محدودیت شماره ۷ میزان تقاضای نیرو توسط پایگاه بحرانی از پایگاه اولیه مشخص شده است. محدودیت شماره ۸ نیز محدودیت تخصیص نیروهای امدادی به پایگاه‌ها می‌باشد و بیان می‌کند زمانی که نیرو به مناطق بحرانی تخصیص یافت نیروها به تعداد مشخص زمانی به آن نقطه ارسال گردد. محدودیت ۹ بیانگر این نکته است که بهترین حالت برای بهینه شدن مدل این است که میزان زمان رسیدن با میزان بیشترین زمان قبل از بروز تأخیر برابر باشد در غیر اینصورت تأخیر داشته باشیم (یعنی زودتر نرسیم، یا موقع برسیم یا تأخیر داشته باشیم). محدودیت ۱۰ رسیدن نیروها به گره‌های پایانی یعنی پناهگاه‌ها را تضمین می‌کند(یا به عبارت دیگر تخصیص پناهگاه‌ها به تمامی نیروهای امدادی را موجب می‌شود). محدودیت ۱۱ و ۱۲ نشانگر میزان نیروی باقی مانده پس از مقابله با بحران در گره پناهگاه‌ها است. محدودیت ۱۳و ١٤ نیز محدودیت‌های علامت در مدل هستند.





[ Downloaded from ic4i-journal.ir on 2025-10-18 ]

۲-۳. ویژگی‌ها و فرضیات مدل

- مدل پیشنهادی یک مدل عدد صحیح خطی (MILP) می‌باشد
- پایگاه‌های اولیه محل استقرار اولیه نیروهای امدادی در نقاط غیر بحرانی می‌باشد.
- پایگاه‌های بحرانی، پایگاه‌ها یا نقاط نزدیک به خط مقدم و نزدیک به سیل می‌باشد و محل حضور و استقرار نیروها قبل از انجام عملیات نجات در خط مقدم هستند.
- خط مقدم بحران نقطه اصلی وقوع سیل است.
- محل شروع سفر در این سناریو پایگاه‌های اولیه و محل پایان یافتن سفرها پناهگاه‌ها هستند.
- هر پایگاه اولیه با توجه به ظرفیت خود می تواند به چندین پایگاه بحرانی و خط مقدم بحران نیرو ارسال کند.
- در مسئله مورد مطالعه امکان ارسال چند نوع نیروی امدادی از یک پایگاه با اندازه‌های مختلف و سرعت-های متفاوت در رسیدن به مقاصد متفاوت با توجه به ظرفیت موجودش، وجود دارد.
- امکان نگهداری نیرو و تجهیزات امدادی در پایگاه-های به منظور پشتیبانی و آمادگی بهتر برای دوره بعد وجود دارد.
- در دوره زمانی صفر در پایگاه‌های بحرانی نیرویی وجود ندارد.
- حرکت نیروها همواره به ترتیب از پایگاه اولیه به پایگاه بحرانی به خط مقدم و در نهایت پناهگاه است و حرکت مستقیم از پایگاه اولیه به خط مقدم یا بازگشت نیرو و بطور کلی تحرک غیر از سیستم ارائه شده در مدل مجاز نیست.
- در این سناریو نیروهای امدادی اگر بعد از زمان مشخصی به محل بحرانی برسند، تأخیر در رسیدن صورت گرفته است.
- در این مطلاعه با افزایش تأخیر در رسیدن به خط مقدم بحران شدت بحران نیز افزایش پیدا می‌کند که به آن تأثیر تأخیر در شدت بحران می‌گوییم و به عنوان یک هدف در مسئله به کار رفته است.
- هنگام رسیدن نیروهای امدادی به خط مقدم بحران، نیروها به مقابله با بحران می‌پردازند و مردم را به پناهگاه‌ها می‌رسانند.
- در حین مقابله با بحران مقداری از نیروها و تجهیزات و کمک‌های امدادی با نرخ مشخصی در حال کم شدن هستند.
- حرکت همه گروه‌ها و تجهیزات امدادی از یک پایگاه اولیه یا پایگاه بحرانی شروع شده و به یک پناهگاه ختم می‌شود.

۲-٤. مثال عددی

در این قسمت برای ارزیابی درستی عملکرد مدل ریاضی ارائه شده، یک مثال با اعداد تصادفی و نزدیک به واقعیت، مطرح می‌کنیم. طبق فرضیات مدل مثال نیز از چهار سطح پایگاه اولیه، پایگاه بحرانی، خط مقدم بحران و پناهگاه تشکیل شده است. S1 تا S9 تعداد پایگاه‌های اولیه در نقاط مختلف یک منطقه می باشند.تعداد ۱۰ نقطه (N1-N10) به عنوان نقاط کاندید برای مکانیابی نقاط پایگاه‌های بحرانی نزدیک به منطقه بحران در نظر گرفته شده است. سیل در نقاط R1، R2 و R3 رخ داده است که به عنوان نقاط بحرانی در انتظار کمک رسانی هستند. B1 تا B6 نیز پناهگاه برای اسکان دادن به سیل زدگان





[ Downloaded from ic4i-journal.ir on 2025-10-18 ]

می‌باشد. نیروهای آماده ارسال به دو نیروی P1 و P2 تقسیم شده‌اند که بسته به نیاز بایستی به سمت نقاط بحرانی به‌منظور کمک‌رسانی حرکت کنند. در جدول ۱ تا ۷ پارامترهای ورودی مسئله به نمایش در آمده است و نتایج آن پس از حل در ادامه بررسی خواهد شد.

**جدول ۱. مسافت قابل پیمایش از گره‌های پایگاه اولیه تا گره‌های پایگاه بحرانی.**

| مسافت بین پایگاه اولیه و پایگاه بحرانی | S1 | S2 | S3 | S4 | S5 | S6 | S7 | S8 | S9 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| N1 | ٦٥ | ٢١٦ | ٥٣٦ | ١٧٢ | ١٠٨٠ | ١١٥٠ | ٥٩١ | ٩٨٤ | ٤١١ |
| N2 | ٧١ | ٢٣٦ | ٥٤٣ | ١٦٧ | ١٠٢٠ | ١١٠٢ | ٥٨٢ | ٩٢١ | ٤٥٢ |
| N3 | ٩٦ | ٣٨٧ | ٥٨٩ | ٩١ | ٩٤٥ | ١٠٦٠ | ٦١٩ | ٨٤٥ | ٤٨١ |
| N4 | ٢٨٦ | ٤١٥ | ٦١٣ | ١١٣ | ٧٤٩ | ١١٠٥ | ٦٥٧ | ٧١٠ | ٥٨٤ |
| N5 | ٣١٦ | ٤٩٧ | ٦٥٢ | ١٥٩ | ٦٨٦ | ١٠٧٤ | ٧٤٠ | ٥٩٤ | ٥٦١ |
| N6 | ٣٧٥ | ٥٢٩ | ٧١١ | ١٩٠ | ٤٦٢ | ٩٥٧ | ٨٠٥ | ٤٠٦ | ٥١٠ |
| N7 | ٤٦٢ | ٨٨٥ | ٨٢١ | ٣٠٦ | ١٦٠ | ٨٥٢ | ٩١٥ | ١٨٢ | ٩١٤ |
| N8 | ٨١٢ | ١٠١٠ | ٩٦٧ | ٥٢٧ | ١٢٠ | ٥٢١ | ١٠٢٦ | ١٤٥ | ١١٢٠ |
| N9 | ٨٦١ | ١٠٩٦ | ٩٩٤ | ٥٨٩ | ٩٦ | ٤٩٧ | ١٠٧٠ | ١١٥ | ١١٦٣ |
| N10 | ١١٠٦ | ١١٣٨ | ١٠٢٣ | ٦١٤ | ١١٧ | ٤٦٠ | ١١٠٩ | ١٢١ | ١٢٤٩ |

**جدول ۲. مسافت قابل پیمایش از گره‌های پایگاه بحرانی تا گره‌های خط مقدم بحران.**

| مسافت بین پایگاه بحرانی و خط مقدم بحران | N1 | N2 | N3 | N4 | N5 | N6 | N7 | N8 | N9 | N10 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| R1 | ٣١ | ٢٥ | ١٩ | ٢٥٢ | ٢٧١ | ٣٢٦ | ٤١٩ | ٦٢٤ | ٧٦٢ | ٨١٠ |
| R2 | ٢٦٠ | ٢١٥ | ١٨٩ | ١٦ | ٢١ | ٣٠ | ١٨٥ | ٤٥٩ | ٤٨٢ | ٥١٤ |
| R3 | ٨٠٢ | ٧٦٥ | ٦١٧ | ٥٣٩ | ٢٧٠ | ٢٣٢ | ١١٦ | ٤٠ | ٢٩ | ٢٣ |



[ Downloaded from ic4i-journal.ir on 2025-10-18 ]

**جدول ۳. مسافت قابل پیمایش از گره‌های خط مقدم بحران تا گره‌های پناهگاه.**

| مسافت بین خط مقدم بحران و خط پناهگاه‌ها | R1 | R2 | R3 |
|---|---|---|---|
| B1 | ۱۰ | ٤٥٩ | ٦١٨ |
| B2 | ۱٥ | ۲۷۰ | ٥۹۱ |
| B3 | ۲۸٦ | ۱۷ | ٤۰۹ |
| B4 | ٤۱٦ | ۲٤ | ۳٦٥ |
| B5 | ٥٦۲ | ۳۲٥ | ٤۰ |
| B6 | ۷۳۲ | ۳۸۲ | ۳٤ |

**جدول ٤. مقدار نیروی مورد نیاز برای برطرف کردن بحران‌ها**

| مقدار نیروهای مورد نیاز برای برطرف کردن بحران سیل | R1 | R2 | R3 |
|---|---|---|---|
| P1 | ۳۰۰۰۰ | ٤٥۰۰۰ | ۷۰۰۰۰ |
| P2 | ۷۰ | ۹٥ | ۱۳۰ |

**جدول ٥. مقدار نیروی آماده به اعزام برای برطرف کردن بحران‌ها**

| مقدار نیروهای آماده به اعزام در هر پایگاه اولیه | S1 | S2 | S3 | S4 | S5 | S6 | S7 | S8 | S9 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| P1 | ۲۱۰۰۰ | ۱٤۰۰۰ | ۱۹۰۰۰ | ۱٥۰۰۰ | ۱۱۰۰۰ | ۱۰۰۰۰ | ۲۹۰۰۰ | ۲٦۰۰۰ | ۱٥۰۰۰ |
| P2 | ۳۷ | ۲۳ | ٤۲ | ٤۹ | ۳٥ | ۳۷ | ۳۱ | ۳۰ | ۳٦ |

**جدول ٦. پارامترهای میزان بارش، جمعیت در معرض خطر و ارزش زیرساخت‌های منطقه برای مدل ارائه شده.**

| پارامترهای ورودی شدت بحران | R1 | R2 | R3 |
|---|---|---|---|
| *En* | ۱۰۰۰۰ | ۱٥۰۰۰ | ۳۰۰۰۰ |
| *pop* | ۳۰۰۰۰ | ۱۰۰۰۰۰ | ٤۰۰۰۰۰ |
| *fac* | ۷۰۰۰۰۰ | ۲۰۰۰۰۰ | ۱۰۰۰۰۰۰ |





[ Downloaded from ic4i-journal.ir on 2025-10-18 ]

**جدول ۷. بیشترین زمان رسیدن نیروها به مناطق بحرانی قبل ازینکه تأخیر رخ دهد.**

| زمان رسیدن به بحران قبل ازبروز تأخیر (ساعت) | R1 | R2 | R3 |
|---|---|---|---|
| P1 | ۵ | ۵ | ۳ |
| P2 | ۲ | ۳ | ۳ |

۲-٤-۱. نتایج بدست آمده بعد از حل مثال

با حل مثال درنظر گرفته شده برای مسئله، میزان نیروهای ارسالی از هر پایگاه اولیه به هر پایگاه بحرانی مشخص شده است که نتایج حاصل شده را در جدول زیر می‌توان مشاهده کرد. توابع هدف مسئله نیز با حل مسئله بدست آمده است که میزان تأثیر تأخیر در شدت بحران، هزینه کل به ترتیب برابر ۸۸۰۵۱۰۱۰۰۰ واحد و ۷۳۷۷۸۲۰۰۰۰۰۰۰ واحد پولی محاسبه شده است. در جدول ۸ مقدار نیروی ارسالی از پایگاه اولیه به پایگاه بحرانی و سپس خط مقدم بحران و در نهایت ارسال آنها به پناهگاه به نمایش در آمده است.

**جدول ۸. تخصیص پایگاه‌ها و مقدار نیروی ارسالی آنها به نقاط بحرانی بر اساس نتایج بدست آمده از حل مثال.**

| مقدار نیروی ارسالی از پایگاه اولیه به پایگاه بحرانی و سپس خط مقدم بحران و در نهایت ارسال آنها به پناهگاه | مقدار نیروی ارسالی | | مقدار نیروی باقی مانده | |
|---|---|---|---|---|
| | P1 | P2 | P1 | P2 |
| $S1 \rightarrow N1$ | ۲۱۰۰۰ | | | |
| $S1 \rightarrow N2$ | | ۳۷ | | |
| $S2 \rightarrow N1$ | ۱٤۰۰۰ | | | |
| $S3 \rightarrow N2$ | | ٤۲ | | |
| $S3 \rightarrow N7$ | ۱۸۰۰۰ | | | |
| $S4 \rightarrow N2$ | | ۲۱ | | |
| $S4 \rightarrow N7$ | ۱۵۰۰۰ | | | |
| $S4 \rightarrow N9$ | | ۲۸ | | |
| $S5 \rightarrow N7$ | ۱۱۰۰۰ | | | |
| $S5 \rightarrow N9$ | | ۳۵ | | |
| $S6 \rightarrow N9$ | | ۳۷ | | |
| $S7 \rightarrow N1$ | ۲۵۰۰۰ | | | |
| $S7 \rightarrow N2$ | | ۲۹ | | |
| $S8 \rightarrow N7$ | ۲٦۰۰۰ | | | |
| $S8 \rightarrow N9$ | | ۳۰ | | |
| $S9 \rightarrow N1$ | ۱۵۰۰۰ | | | |
| $S9 \rightarrow N2$ | | ۳٦ | | |
| $N1 \rightarrow R1$ | ۳۰۰۰۰ | | | |





[ Downloaded from ic4i-journal.ir on 2025-10-18 ]

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| $N1 \rightarrow R2$ | ٤٥٠٠٠ | | | |
| $N2 \rightarrow R1$ | | ٧٠ | | |
| $N2 \rightarrow R2$ | | ٩٥ | | |
| $N7 \rightarrow R3$ | ٧٠٠٠ | | | |
| $N9 \rightarrow R3$ | | ١٣٠ | | |
| $R1 \rightarrow B1$ | | | ٢٤٠٠٠ | ٥٩ |
| $R2 \rightarrow B3$ | | | ٨٦٢٥٠ | ١٣٥ |

## ۲-۵. نتیجه گیری

همانگونه که از عنوان پژوهش انجام گرفته بر می‌آید، قصد ارائه الگویی برای امدادرسانی و کمک رسانی نیروهای امدادی در هنگام وقوع بلایای طبیعی بخصوص سیل را دارد. در مسیر انجام این پژوهش مقالات متعددی مورد بررسی قرار گرفت و نقاط مثبت و منفی آنها مشاهده و سوالاتی در رابطه با آنها شکل گرفت. در بخش اول مقدمه‌ای بر موضوع برای آشنایی خوانندگان این مقاله عنوان شد. در بخش بعدی پژوهش به مرور ادبیات دانشمندان پیشین پرداخته و تعدادی از مقالات که نزدیک به پژوهش پیش رو هستند مطرح شده و دست‌آوردهای هریک از مقالات نیز بیان شده است. پس از پیدا شدن شکاف تحقیقاتی و مشخص شدن عنوان اصلی تحقیق، در قسمت یافته‌ها مسئله مورد نظر بصورت مبسوط شرح داده شد و فرضیات مشخص شدند. سپس یک مدل ریاضی خطی عدد صحیح[12] با سه هدف برپایه زنجیره تأمین برای مسئله ساخته شد. مدل ارائه شده در نرم افزار گمز[13] کدنویسی شد و تست شد. در ادامه یک مثال عددی برای مسئله مطرح شد که با حل این مثال در نرم افزار گمز با الگوریتم سیپلکس[14] جواب‌هایی بدست آمد. با بررسی جوابهای بدست آمده از حل مدل در گمز، کارایی مدل ریاضی در مثال مطرح شده مورد ارزیابی قرار گرفت. با مشاهده‌ی نتایج به‌دست آمده از حل این مثال، چگونگی کارکرد آن به نمایش درآمده است و آماده برای تست آزمایشی برای یک مثال با اعداد واقعی است. مدیران و تصمیم‌گیران نیز با توجه به اهدافی که در تصمیم خود برای مقابله با سیل در مواقع بحرانی را دارند می‌توانند از روش پیش رو نیز در کنار روش‌های دیگر برای تصمیم‌سازی استفاده کرده و باعث کاهش تلفات جانی و مالی ناشی از این بلای طبیعی غیرمترقبه شوند.

[12] MILP
[13] GAMS
[14] CPLEX





[ Downloaded from ic4i-journal.ir on 2025-10-18 ]

## ۳. مراجع


[1] Özdamar, L., Ekinci, E., Ku¨c¸u¨kyazaci, B., 2004. Emergency logistics planning in natural disasters. Annals of Operations Research 129, 217–245.

[2] Ray, J., 1987. A multi-period linear programming model for optimally scheduling the distribution of food-aid in West Africa. M.S. Thesis, University of Tennessee, Knoxville, TN.

[3] Knott, R., 1988. Vehicle routing for emergency relief management: a knowledge-based approach. Disaster 12, 285–293.

[4] Knott, R., 1987. The logistics of bulk relief suppliers. Disaster 11, 113–115.

[5] Haghani, A., Oh, S., 1996. Formulation and solution of a multi-commodity, multi-modal network flow model for disaster relief operations. Transportation Research A 30, 231–250.

[6] Fiedich, F., Gehbauer, F., Rickers, U., 2000. Optimized resource allocation for emergency response after earthquake disasters. Safety Science 35, 41–57.

[7] Altay, N., and W. G. Green. 2006. “OR/MS Research in Disaster Operations Management.” European Journal of Operational Research 175 (1): 475–493.

[8] Galindo, G., and R. Batta. 2013. “Review of Recent Developments in OR/MS Research in Disaster Operations Management.” European Journal of Operational Research 230 (2): 201–211.

[9] Atencia, I., and P. Moreno. 2004. “The Discrete-time Geo/Geo/1 Queue with Negative Customers and Disasters.” Computers & Operations Research 31 (9): 1537–1548.

[10] Shin,Y.W. 2004. “BMAP/G/1 Queue with CorrelatedArrivals of Customers and Disasters.” Operations Research Letters 32 (4): 364–373.

[11] Rawls, C. G., and M. A. Turnquist. 2010. “Pre-positioning of Emergency Supplies for Disaster Response.” Transportation Research Part B: Methodological 44 (4): 521–534.

[12] Jia, H., F. Ordóñez, and M. M. Dessouky. 2007. “Solution Approaches for Facility Location of Medical Supplies for Large-scaleEmergencies.” Computers & Industrial Engineering 52 (2): 257–276.

[13] Song, J., M., W. Chen., and L. Lei., 2018 "Supply chain flexibility and operations optimisation under demand uncertainty: a case in disaster relief." International Journal of Production Research. 56:10, 3699-3713.

[14] Özdamar, L., and M. A. Ertem. 2015. “Models, Solutions and Enabling Technologies in Humanitarian Logistics.” European Journal of Operational Research 244 (1): 55–65.

[15] Ransikarbum, K., and S. J. Mason. 2016a. “Goal Programming-based Post-disaster Decision Making for Integrated Relief Distribution and Early-stage Network Restoration.” International Journal of Production Economics 182: 324–341.

[16] Ransikarbum, K., and S. J. Mason. 2016b. “Multiple-objective Analysis of Integrated Relief Supply and Network Restoration in Humanitarian Logistics Operations.” International Journal of Production Research 54 (1): 49–68.

[17] Sabouhi F., Zeinab Sadat Tavakoli, Ali Bozorgi-Amiri & Jiuh-Biing Sheu (2018): A Robust Possibilistic Programming Multi-Objective Model for Locating Transfer Points and Shelters in Disaster Relief, Transport metrica A: Transport Science., pp1-33.

[18] Cao C-j, Li C-d, Yang Q, Liu Y, Qu T, (2017)., A novel multi-objective programming model of relief distribution for sustainable disaster supply chain in large-scale natural disasters, Journal of Cleaner Production (2017).

[19] Maharjan, R., Shinya Hanaoka, (2018) "A multi-actor multi-objective optimization approach for locating temporary logistics hubs during disaster response", Journal of Humanitarian Logistics and Supply Chain Management, Vol. 8 Issue: 1, pp.2-21.

[20] Vahdani, B., D. Veysmoradi., N. Shekari., S. Meysam Mousavi., (2016), Multi-objective, multi-period location-routing model to distribute relief after earthquake by considering emergency roadway repair"., The Natural Computing Applications.

[21] F. Barzinpour & V. Esmaeili., (2013)., A multi-objective relief chain location distribution model for urban disaster management., International Journal of Advanced Manufacturing Technology., 70:1291–1302.

[22] Ali Bozorgi-Amiri., M. S. Jabalameli., S. M. J. Mirzapour Al-e-Hashem., (2013), A multi-objective robust stochastic programming model for






[ Downloaded from ic4i-journal.ir on 2025-10-18 ]

disaster relief logistics under uncertainty., *Operation research spectrum*., 35:905–933.

[23] Vahdani, B., D. Veysmoradi, F. Noori and F. Mansour, (2017), Two-Stage Multi-Objective Location-Routing-Inventory Model for Humanitarian Logistics Network Design under Uncertainty, International Journal of Disaster Risk Reduction.

[24] Bodaghi, B., Ekambaram Palaneeswaran & Babak Abbasi (2018) Biobjective multi-resource scheduling problem for emergency relief operations, Production Planning & Control, 29:14, 1191-1206.

[25] Rodríguez-Espíndola, O., et al., (2017), Disaster preparedness in humanitarian logistics: A collaborative approach for resource management in floods, European Journal of Operational Research.

[26] Hermann, CH., F., (1972). Indicators of international political crises: Some initial steps toward prediction. The political System in Crisis. pp:233-243.

[27] Wex. F., Schryen. G., Feuerriegel. S., Neumann. D., (2013). Emergency response in natural disaster management: Allocation and scheduling of rescue units, European Journal of Operational Research, pp: 1-12.



[ Downloaded from ic4i-journal.ir on 2025-10-18 ]