

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 ریاضی دو هدفه‌ای به‌منظور مکانیابی پایگاه‌های امدادی و تخصیص نیروهای امدادی 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 مکانیابی پایگاه‌های بحرانی، ارائه شده است. حوادث یا بحران‌هایی که ممکن است همزمان در چند نقطه از کشور رخ داده و نیروهای امدادی را با مشکل 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 نرم‌افزار 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

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 سطح شهر پراکنده شده و باعث بروز بیماری‌ها و بروز مشکلات زیست‌محیطی می‌شود، از طرفی در شرایط جاری بودن سیل ندر 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 مسیرها به منظور جریان داشتن و خارج شدن آب از شهر به منظور در امان ماندن زیرساخت‌های شهری می‌باشد. هدف دوم مسئله هم کاهش هزینه‌های انتقال نیروها و تجهیزات برای امدادسانی است. در ادامه مقاله پیش‌رو به بخش‌های زیر تقسیم بندی می‌شود: بخش مرور ادبیات که به بیان پژوهش دانشمندان پیشین در زمینه امدادسانی 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 بخش نتیجه‌گیری و پیشنهاد برای بیان نتیجه کلی پژوهش و ارائه چند پیشنهاد برای تحقیقات آتی دانشمندان است.

۲-۱. مرور ادبیات موضوع

از گذشته تا به امروز مطالعات زیادی در زمینه لجستیک مسائل اورژانسی مطرح شده است. *اوزدامار^۵ در سال ۲۰۰۴* 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^۶ ۱۹۸۷ یک مدل جریان شبکه چندمنظوره روی شبکه‌ای با ظرفیت 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^۷ 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 [۳ و ۴].

در مفهوم عملیات نجات حقانی و آه^۸ در (۱۹۹۶) 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

^۵ Özdamar^۶ Ray^۷ Knott^۸ Haghani & Oh

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

فیدلیچ^۹ 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 زمین لرزه های سهمگین، جایی که تابع هدف مسئله کمینه کردن تسهیلات در طول عملیات جست و جو و نجات می باشد [۶].

اوزدامار و همکاران در سال ۲۰۰۴ به این نکته اشاره کرده اند که برنامه ریزی لجستیک برای مسائل اورژانس می تواند 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 برنامه ریزی است. برنامه ریزی لجستیک مسائل اورژانس در این پژوهش شامل زمانبندی بارگیری و تحویل وسائل نقلیه با در نظر گرفتن افق زمانی برنامه ریزی 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 تامین کننده های جدید و مدهای حمل و نقل جدید در طول افق برنامه ریزی، این فرآیند دوباره ایجاد شده و اجرا می شود [۱].

مقالات [۷ و ۸] به بررسی و مرور مقالاتی پرداخته اند که با توجه به گروه بندی ۴ گانه بر پایه تحقیق در عملیات و مدیریت بررسی شده اند. برای فاز کاهش شدت بحران روش هایی 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، مدل های ساخته شده بیشتر بر پایه زنجیره تامین طراحی و نوشته شده اند (مانند مکانیابی تسهیلات امداد رسانی) [۱۱ و ۱۲]. فاز واکنش که بیشترین ارتباط را با مسئله مورد مطالعه ما دارد و بین ۴ 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 مدل های متفاوت دیگر و روش های حل در لجستیک بشردوستانه داشته است [۱۴]. برای فاز بهبود و ترمیم اخیراً مطالعه ای تحت عنوان یک مسئله چند هدفه، ارائه شده که با روش برنامه ریزی آرمانی حل شده است، که توانایی حل مسائل توزیع نیروهای امدادی و ترمیم شبکه را دارد [۱۵ و ۱۶]. برای بررسی و مطالعه بیشتر به منظور دریافت جزئیات و دیدن مدل ها و روش های حل دیگر به مقالات زیر رجوع کنید مقالات [۷-۱۶]. تحقیقاتی که در زمینه واکنش های اورژانسی یا کمک رسانی برای بلایای طبیعی که با روش های تصمیم گیری مسائل چند هدفه در سال های اخیر ارائه شده را می توان از مجموعه مقالات [۱۷-۲۵] مطالعه کرد.

۲. یافته ها

۲-۱. بیان مسئله

مسئله مورد مطالعه در این پژوهش یک مسئله برنامه ریزی امداد رسانی مسائل اورژانس است که به طور خاص روی امداد رسانی و کمک رسانی 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 فرمول بندی می شود. شرایط بوجود آمده در مسئله مورد نظر برگرفته از تعاریف بحران و همچنین یکی از سناریوهای مشخص شده از مکعب بحران مقاله هرمن^{۱۰} می باشد [۲۶]. برا این اساس در فضیات مسئله، ۴ سطح در نظر گرفته شده است. سطح اول که نیروها و تجهیزات آماده ارسال در این سطح قرار دارند به عنوان پایگاه اولیه نام گذاری شده است. سطح دوم پایگاه بحرانی نام دارد که نزدیک محل وقوع سیل می باشد و نیروهای ارسالی قبل انجام عملیات کمک رسانی در آن نقاط مستقر می شوند. 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 پناهگاه ها هستند جان پناه ها یا محل مراقبت و نگهداری از افراد نجات یافته از سیل هستند. در هنگام وقوع

¹⁰ . Hermann

⁹ Fiedich

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

پارامترها:

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

حادثه با توجه به عمق فاجعه و نظر افراد خبره در این زمینه مقدار نیروهای مورد نیاز برای ارسال به مناطق مشخص می‌شوند 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 می‌باشد.

۱-۲. 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 وکس^{۱۱} و همکاران، و با اعمال تغییراتی در آن مفهومی به نام شدت بحران (δ_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 (EN_r) نمایش داده می‌شود. از عوامل دیگر میزان جمعیت ساکن در محل منطقه بحرانی (pop_r) و زیرساخت‌های اساسی (fac_r) در این نقاط می‌تواند عوامل مهم موثر در میزان شدت بحران در نظر گرفته شود. جمع موزون نرمالسازی (بی‌مقیاس‌سازی) شده‌ی این پارامترها به عنوان شدت بحران در نظر گرفته شده است. β, α و γ نیز اوزان هر یک از عوامل موثر در شدت بحران هستند.

مجموعه‌ها:

$$\sum_{i=1}^{B \in W} Y_{ij}^{pt} = 1 \quad ; \quad \forall j \in r, p, t \quad (10)$$

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

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

M

$$g_j^{pt} = \sum_{i=1}^w Y_{ij}^{pt} \times d_i^{pt} \times a_j^{pt} \quad \forall j \in b, p, t \quad (11)$$

تعداد نیروی نوع p که از گره i به گره j در دوره t انتقال

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

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

$$IN_i^{pt} \quad \text{تعداد نیروی نوع } p \text{ که در دوره } t \text{ در گره } i \text{ باقی می‌ماند و نگهداری می‌شوند}$$

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

۲-۲. مدل ریاضی

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

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

S.t

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

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

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

در مدل ارائه شده برای سناریوی دوم، در رابطه شماره ۲ تابع هدف اول تأثیر تأخیر روی شدت بحران را کمینه می‌کند. تابع هدف دوم (۳) نیز هزینه کل جابجایی و استقرار و امداد رسانی نیروهای امدادی را کمینه می‌کند. در محدودیت‌ها نیز محدودیت شماره ۴ میزان نیروهای امدادی نگهداری شده در یک دوره در پایگاه بحرانی را نمایش می‌دهد. محدودیت شماره ۵ تضمین می‌کند که میزان نیروهای نگهداری شده در پایگاه‌های بحرانی نباید از مقدار ظرفیت آن پایگاه‌ها بیشتر باشد. محدودیت شماره ۶ 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 منطقه بحرانی تخصیص یافت، نیروها به تعداد cap_i^{pt} نیاز است که نقطه ارسال گردد. محدودیت ۹ بیانگر این نکته است که بهترین حالت برای بهینه شدن مدل این است که میزان $\sum_{j=1}^w X_{ij}^{pt} \leq cap_i^{pt}$ ؛ $\forall i \in s, p, t$ (6) رسیدن با میزان بیشترین زمان قبل از بروز تأخیر برابر باشد. در غیر این صورت تأخیر داشته باشیم (یعنی زودتر ترسیم، یا موقع ترسیم 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 ۱۳ و ۱۴ نیز محدودیت‌های علامت در مدل هستند.

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 مطالعه 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.

۴-۲. 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 می‌باشند. 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

- ۳-۲. 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 می‌تواند 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 سرعت‌های متفاوت در رسیدن به مقاصد متفاوت با توجه به ظرفیت موجودش، وجود دارد.
- امکان نگهداری نیرو و تجهیزات امدادی در پایگاه‌های 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

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

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	۶۵	۲۱۶	۵۳۶	۱۷۲	۱۰۸۰	۱۱۵۰	۵۹۱	۹۸۴	۴۱۱
N2	۷۱	۲۳۶	۵۴۳	۱۶۷	۱۰۲۰	۱۱۰۲	۵۸۲	۹۲۱	۴۵۲
N3	۹۶	۳۸۷	۵۸۹	۹۱	۹۴۵	۱۰۶۰	۶۱۹	۸۴۵	۴۸۱
N4	۲۸۶	۴۱۵	۶۱۳	۱۱۳	۷۴۹	۱۱۰۵	۶۵۷	۷۱۰	۵۸۴
N5	۳۱۶	۴۹۷	۶۵۲	۱۵۹	۶۸۶	۱۰۷۴	۷۴۰	۵۹۴	۵۶۱
N6	۳۷۵	۵۲۹	۷۱۱	۱۹۰	۴۶۲	۹۵۷	۸۰۵	۴۰۶	۵۱۰
N7	۴۶۲	۸۸۵	۸۲۱	۳۰۶	۱۶۰	۸۵۲	۹۱۵	۱۸۲	۹۱۴
N8	۸۱۲	۱۰۱۰	۹۶۷	۵۲۷	۱۲۰	۵۲۱	۱۰۲۶	۱۴۵	۱۱۲۰
N9	۸۶۱	۱۰۹۶	۹۹۴	۵۸۹	۹۶	۴۹۷	۱۰۷۰	۱۱۵	۱۱۶۳
N10	۱۱۰۶	۱۱۳۸	۱۰۲۳	۶۱۴	۱۱۷	۴۶۰	۱۱۰۹	۱۲۱	۱۲۴۹

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	۳۱	۲۵	۱۹	۲۵۲	۲۷۱	۳۲۶	۴۱۹	۶۲۴	۷۶۲	۸۱۰
R2	۲۶۰	۲۱۵	۱۸۹	۱۶	۲۱	۳۰	۱۸۵	۴۵۹	۴۸۲	۵۱۴
R3	۸۰۲	۷۶۵	۶۱۷	۵۳۹	۲۷۰	۲۳۲	۱۱۶	۴۰	۲۹	۲۳

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	۴۵۹	۶۱۸
B2	۱۵	۲۷۰	۵۹۱
B3	۲۸۶	۱۷	۴۰۹
B4	۴۱۶	۲۴	۳۶۵
B5	۵۶۲	۳۲۵	۴۰
B6	۷۳۲	۳۸۲	۳۴

جدول ۴. مقدار نیروی مورد نیاز برای برطرف کردن بحران‌ها

مقدار نیروهای مورد نیاز برای برطرف کردن بحران سیل	R1	R2	R3
P1	۳۰۰۰۰	۴۵۰۰۰	۷۰۰۰۰
P2	۷۰	۹۵	۱۳۰

جدول ۵. 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	۱۴۰۰۰	۱۹۰۰۰	۱۵۰۰۰	۱۱۰۰۰	۱۰۰۰۰	۲۹۰۰۰	۲۶۰۰۰	۱۵۰۰۰
P2	۳۷	۲۳	۴۲	۴۹	۳۵	۳۷	۳۱	۳۰	۳۶

جدول ۶. پارامترهای میزان بارش، جمعیت در معرض خطر و ارزش زیرساخت‌های منطقه برای مدل ارائه شده.

پارامترهای ورودی شدت بحران	R1	R2	R3
En	۱۰۰۰۰	۱۵۰۰۰	۳۰۰۰۰
pop	۳۰۰۰۰	۱۰۰۰۰۰	۴۰۰۰۰۰
fac	۷۰۰۰۰۰	۲۰۰۰۰۰	۱۰۰۰۰۰۰

جدول ۷. بیشترین زمان رسیدن نیروها به مناطق بحرانی قبل از اینکه تأخیر رخ دهد.

زمان رسیدن به بحران قبل از بروز تأخیر (ساعت)	R1	R2	R3
P1	۵	۵	۳
P2	۲	۳	۳

۲-۴-۱. نتایج بدست آمده بعد از حل مثال
با حل مثال در نظر 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 ۷۳۷۷۸۲۰۰۰۰۰۰ 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		
$S2 \rightarrow N1$	۱۴۰۰۰			
$S3 \rightarrow N2$		۴۲		
$S3 \rightarrow N7$	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		
$S8 \rightarrow N7$	۲۶۰۰۰			
$S8 \rightarrow N9$		۳۰		
$S9 \rightarrow N1$	۱۵۰۰۰			
$S9 \rightarrow N2$		۳۶		
$N1 \rightarrow R1$	۳۰۰۰۰			

$N1 \rightarrow R2$	۴۵۰۰۰			
$N2 \rightarrow R1$		۷۰		
$N2 \rightarrow R2$		۹۵		
$N7 \rightarrow R3$	۷۰۰۰			
$N9 \rightarrow R3$		۱۳۰		
$R1 \rightarrow B1$			۲۴۰۰۰	۵۹
$R2 \rightarrow B3$			۸۶۲۵۰	۱۳۵

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.

۲-۵. نتیجه‌گیری

همانگونه که از عنوان پژوهش انجام گرفته بر می‌آید، قصد ارائه الگویی برای امداد رسانی 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 هر یک 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^{۱۲} با سه هدف برپایه زنجیره تأمین برای مسئله ساخته شد. مدل ارائه شده در نرم افزار گمز^{۱۳} 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^{۱۴} 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 مشاهده نتایج به دست 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

¹² MILP

¹³ GAMS

¹⁴ CPLEX

- [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 & Jiu-Bing 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
- [1] Özdamar, L., Ekinçi, E., Küçükyaşar, 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 Correlated Arrivals 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-scale Emergencies." *Computers & Industrial Engineering* 52 (2): 257–276.

- [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.
- 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.