ارائه یک مدل کمک‌رسانی چندعاملی برای کمک به حادثه دیدگان پس از رویداد زلزله

رسول محبی‌فرد[1]
۱- کارشناس ارشد مهندسی حمل و نقل، دانشگاه صنعتی شریف

چکیده

پیشینه وقوع حوادث و بلایای طبیعی در جهان به درازای تاریخ بشر است. این رخدادها اجتناب‌ناپذیر است اما می‌توان با برنامه‌ریزی مناسب شدت آسیب‌های وارده را کاهش داد. یکی از اصول اساسی و مهم در برنامه‌ریزی برای حوادث پس از زلزله، آگاهی از رفتار مردم در شرایط آشفته و اهداف وجود داشته برای سفر است. کمک‌رسانی به عنوان یکی از مهم‌ترین هدف‌های سفر پس از زلزله نقش بسیار مهمی در کاهش خسارت‌های ناشی از زلزله دارد. یکی از دشواری‌های پیش‌رو برای کمک به آسیب دیدگان، عدم هماهنگی بین ارگان‌های مختلف با وظایف متفاوت است. از این رو در این مقاله یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی کمک‌رسانی چند عاملی طراحی گردیده‌است که در آن سفرهای گروه‌های مختلف کمک‌رسانی (گروه‌های بازگشایی کمان‌های آسیب‌دیده، آواربرداری و نجات افراد از زیر آوار، تخصیص آمبولانس‌ها به محل‌های آسیب‌دیده و انتقال مجروحان به بیمارستان‌ها) به صورت هماهنگ با یکدیگر در جهت کاهش تعداد افراد فوت شده دیده شده است.

کلید واژه: زلزله، مدیریت بحران، مدل کمک‌رسانی، مدل چندعاملی

۱- مقدمه

پیشینه وقوع حوادث و بلایای طبیعی در جهان به درازای تاریخ بشر است. هیچ جایی از دنیا مصون از این حوادث نبوده و نیست. همه جوامع در برابر عوارض بلایای طبیعی، حوادث ناشی از استفاده از فناوری و خطرات ایجاد شده توسط انسان آسیب پذیر هستند. در این میان، بلایای طبیعی منحصر به زلزله نبوده و مواردی چون سیل، طوفان، آتش سوزی، خشکسالی و ... را نیز شامل می‌شود [۱]، اما زلزله به عنوان یکی از مخرب‌ترین حوادث طبیعی به شمار می‌رود که تأثیر عوارض آن نه تنها در زمان وقوع، بلکه تا مدت‌ها پس از رخداد نیز قابل توجه خواهد بود. عدم توانایی پیش‌بینی زلزله، از دیگر مواردی است که نیازمند آمادگی همیشگی برای رویارویی با آن است.

کشور ایران در کمربند جهانی زلزله قرار دارد و به همین سبب زلزله وجه غالب و اصلی بلایایی است که پیوسته نقطه‌ای از کشورمان را در معرض آسیب و آشفتگی قرار می‌دهد. وجود نقاط جمعیتی متراکم، به ویژه در پایتخت، ایران را به کشوری آسیب پذیر در برابر زلزله تبدیل کرده، و اهمیت مساله را دوچندان می‌کند.

وقوع زلزله باعث وارد شدن آسیب‌های جدی به زیرساخت‌ها می‌شود. خطر این آسیب‌ها در کشورهای در حال توسعه، به دلیل استفاده از مصالح و تکنولوژی‌های نامناسب برای ساخت و ساز خانه‌ها اهمیت بیشتری پیدا می‌کند.

شبکه‌های آب، برق، ارتباطات و به ویژه شبکه‌های حمل و نقل، در زمان زلزله آن اندازه مهم می‌شوند که شریان‌های زندگی[2] نام می‌گیرند. زیرا، آن‌ها شرایط لازم برای کمک‌رسانی و تعیین نیازهای افراد آسیب دیده را فراهم می‌آورند [۲]. این مهم در زلزله پنجم دی ماه سال ۱۳۸۲ شهر بم قابل مشاهده بوده است. در این زلزله به دلیل استفاده از مصالح بنایی نامناسب در ساخت خانه‌ها و عدم وجود راه‌های دسترسی سریع به شهر بم تلفات به طور قابل توجهی افزایش یافت.

انسان در بسیاری از موارد نمی‌تواند مانع رخ دادن بلایای طبیعی گردد اما این باور بنیادین وجود دارد که می‌تواند با برنامه‌ریزی و آمادگی، خطرات و خسارت‌های ناشی از حوادث را کاهش دهد [۱].

2-Lifelines

در این راستا، عملیات مربوط به مدیریت بحران[1] را می‌توان شامل مرحله‌های پیش‌گیری[2]، آمادگی[3]، پاسخ[4]، و بازسازی[5] دانست که در مرحله‌ی پاسخ، منابع و امکانات موجود.

برای کمک‌رسانی در جهت نجات جان و دارایی‌های افراد و حفظ محیط زیست پس از وقوع زلزله به خدمت گرفته می‌شوند در این مرحله، عملیات کمک‌رسانی به آسیب دیدگان از یکسو شامل پیش‌بینی نیازهای احتمالی آینده، پس از رویداد زلزله، و انبار آن در مکان‌های مناسب است، و از سوی دیگر توزیع مناسب این کالاها و خدمات بین آسیب‌دیدگان پس از رویداد زلزله است [۳]. اما مساله مهم و تاثیر گذار در این فرایند، هماهنگ سازی گروه‌های مختلفی است که پس از زلزله وظیفه کمک‌رسانی و یا تسهیل این فرایند را برعهده دارند. به عبارت دیگر، هماهنگ سازی و تهیه یک برنامه هماهنگ برای این گروه‌ها در جهت رسیدن به یک هدف از اهمیت بسیار زیادی برخوردار است. در این مقاله با شناسایی گروه‌های کمک‌رسانی، یک برنامه هماهنگ برای عملیات کمک‌رسانی پس از زلزله طراحی شده‌است تا میزان تلفات پس از زلزله در اثر ناکارامدی تیم‌ها و عدم هماهنگی بین آن‌ها کاهش پیدا کند.

۲- تعریف مسأله و اهداف تحقیق

پژوهش‌های بسیار زیادی برای مدیریت بحران پس از وقوع زلزله انجام گرفته‌است که تعداد زیادی از این مطالعات به برنامه‌ریزی لوجستیک در زمان قبل یا پس از وقوع زلزله پرداخته‌اند. بسیاری از مدل‌های بهینه‌سازی برای مکانیابی تسهیلات برای لوجستیک اضطراری[6] فرایند مکانیابی، تخلیه یا توزیع را با یکدیگر به صورت همزمان در نظر گرفته‌اند. مدل‌هایی که تنها مساله مکانیابی را در نظر گرفته‌اند به وسیله‌ی جیا و همکاران [۴, ۵] و دسوکی و همکاران [۶] منتشر شده‌اند. در این پژوهش‌ها، مساله‌ی پوشش حداکثری در مدل‌های مکانیابی در نظر گرفته شده‌اند. علاوه بر مساله پوشش، دسوکی و همکاران [۶]، مسیریابی وسایل نقلیه را نیز به صورت تصادفی در نظر گرفته‌اند. اکثر مسائل مکانیابی، به صورت برنامه‌ریزی اعداد صحیح فرمول‌بندی شده‌اند. علاوه بر این مدل‌ها، بعضی دیگر از پژوهشگران مساله مکانیابی و تخلیه را با یکدیگر در نظر گرفته‌اند. مدل‌های ساخته شده برای شرایط اضطراری در مقیاس بزرگ، به دنبال یافتن بهترین سرپناه برای هدایت افراد از بین مکان‌های در دسترس بوده‌اند. در این مدل‌ها، انتخاب سرپناه بر اساس معیار زمان تخلیه و جریان ترافیک شبکه بوده‌اند. اما، عواملی از جمله میزان تقاضا، ترس افراد در زمان تخلیه، وسایل امدادی موجود به عنوان عوامل عدم قطعیت در این موارد شناسایی شده‌اند. شرالی و همکاران [۷] تغییرات جریان ترافیک، سونگ و همکاران [۸] تقاضای تصادفی و ترس مردم در هنگام تخلیه در پژوهش [۹] مد نظر قرار داده‌اند.

دسته‌ای دیگر از پژوهش‌های مربوط به برنامه‌ریزی در زمان آشفته به توزیع امکانات کمک‌رسانی و انتقال مجروحین اختصاص دارند. این پژوهش‌ها اغلب به توزیع وسایل و امکانات امدادی (دارو، چادر، نیروهای انسانی و ...) توجه کرده و مساله انتقال مجروحین را به عنوان یک مساله اضافه شده به آن در نظر می‌گیرند. اما در پژوهش‌های یی و همکاران [۱۰, ۱۱]، باربارسوگلو و همکاران [۲۱] و پژوهش فردریچ و همکاران [۳۱]، مساله حمل و نقل مجروحین به صورت مستقل مورد توجه قرار گرفته‌است.

با نگاهی کلی به پژوهش‌های صورت گرفته در زمینه مدیریت بحران پس از رویداد زلزله روشن می‌گردد که اکثر محقیقن نگاهی جزئی به مساله کمک‌رسانی داشته‌اند و تلاش خود را در جهت بهبود تنها یک نهاد معطوف داشته‌اند. اما، یک سیستم امداد و نجات موثر برای کاهش آسیب‌ها و تعداد افراد فوت شده، ضمن رساندن نیازهای اساسی به افراد آسیب دیده پس از رخ دادن زلزله، نیازمند وجود یک مرکز امداد و نجات است که بتواند در کوتاهترین زمان و به موثرترین شیوه موارد زیر را محقق کند:

- اطلاعات لازم را در مورد مناطق آسیب دیده جمع آوری کند.
- مکان‌های مناسبی را به عنوان سرپناه مشخص کند.
- بهترین مسیرهای تخلیه افراد و رساندن کمک‌ها برای نجات افراد را تعیین کند.

برای تحقق اهداف یاد شده، می‌توان عملیات امداد و نجات را به چند مرحله تقسیم بندی کرد. در اولین مرحله، تیم‌های شناسایی (از راه هوا و زمین) به شناسایی منطقه پرداخته و اطلاعات مربوط به نقاط حادثه دیده، آسیب‌های شبکه حمل و نقل و شدت خرابی آن‌ها را به مرکز مخابره می‌کند.

پس از دریافت اطلاعات نقاط حادثه دیده، برای تسریع در انجام عملیات امداد و نجات و فراهم آوردن امکان دسترسی به نواحی مختلف، تیم‌های بازگشایی کمان‌ها، برای آوار برداری و باز کردن کمان‌های شبکه، به محل‌های مناسب فرستاده می‌شوند. با باز شدن کمان‌ها، دسترسی لازم برای سایر تیم‌ها فراهم خواهد آمد. در این مرحله، تیم‌های آواربرداری برای برداشتن آوار و نجات افراد از زیر آوار به ناحیه‌ها و نقاط مختلف اعزام می‌شوند. این تیم‌ها با نجات دادن افراد از زیر آوار، شرایط انتقال آن‌ها را به مراکز درمانی فراهم می‌آورند.

1-Disaster management
2-Mitigation
3-Preparedness
4-Response
5-Recovery
6-Emergency Logistics

با توجه به توضیحات داده شده، برنامه‌ریزی هر یک از تیم‌ها با در نظر گرفتن دقت و جزئیات مخصوص به عملیات هر تیم، نیازمند مطالعه و بررسی زیادی است. اما روشی که در این مطالعه به کار گرفته شده است، یک روش ساده و در عین حال در برگیرنده تمامی سفرهای کمک‌رسانی یاد شده است. بدین منظور، در این پژوهش یک مدل کمک‌رسانی چند سطحی طراحی گردیده است. در این مدل، سفرهای گروه‌های مختلف کمک‌رسانی در ارتباط با یکدیگر دیده شده‌است ' عبارتی، برنامه گروه‌های مختلف به گونه‌ای در نظر گرفته است تا در نهایت منجر به بهترین برنامه گردد. این برنامه ا بهترین برنامه‌ی هر گروه نیست و در واقع عملکرد کل سی امداد و نجات را در نظر می‌گیرد. این هماهنگی به صورت مساله چند سطحی مدل‌سازی شده است. در ادامه پارامترهای استفاده شده و مدل پیشنهاد شده مورد بررسی قرار می‌گی

۱-۲- متغیرها و پارامترهای استفاده شده در مدل

K مجموعه مراکز امداد $k \in K$

L مجموعه ناحیه‌ها $l \in L$

R مجموعه منطقه‌ها $r \in R$

H مجموعه بیمارستان‌ها $h \in H$

P^{rl} جمعیت ناحیه ۱ در منطق r (که به صورت یکنواخت در سطح ناحیه توزیع شده‌است)

q^{rl} نسبت افراد در معرض خطر ناحیه ۱ در منطقه r

AR^{rl} مساحت ناحیه ۱ در منطقه r

A_y مجموعه کمان‌های آسیب دیده شبکه $\bar{A}_y \subset A_y$

y_{ij} متغیر تصمیم برای بازگشایی کمان ij ، برابر با یک در صورت بازگشایی کمان ij ، و صفر در غیر این صورت

$\bar{A}_y$ مجموعه کمان‌های انتخاب شده برای بازگشایی،

$Z_\alpha^{k,ij}$ تعداد تیم‌های فرستاده شده برای بازگشایی کمان از ij مرکز امداد k

$Z_\beta^{k,rl}$ تعداد تیم‌های فرستاده شده برای آوار برداری ناحیه در منطقه ij از مرکز امداد k

$v^{h,rl}$ تعداد آمبولانس فرستاده شده از بیمارستان h به ناحیه ۱ در منطقه r

$x^{rl,h}$ تعداد مجروحان منتقل شده از ناحیه ۱ در منطقه r به بیمارستان h

$\tau_\alpha^{k,ij}$ زمان سفرکوتاه ترین مسیر از مرکز امداد k تا کمان ij

$\tau_\beta^{k,rl}$ زمان سفرکوتاهترین مسیر از مرکز امداد k تا ناحیه ۱ در منطقه r

$\tau_\gamma^{h,rl}$ زمان سفرکوتاهترین مسیر از بیمارستان h تا ناحیه ۱ در منطقه r

$\tau_\lambda^{rl,h}$ زمان سفرکوتاهترین مسیر از ناحیه ۱ در منطقه r تا بیمارستان h

Z_1^k تعداد تیم‌های آوار برداری در مرکز امداد k

Z_2^{ij} تعداد تیم‌های آوار برداری مورد نیاز برای بازگشایی کامل کمان ij

VH^h تعداد آمبولانس موجود در بیمارستان h

C^h ظرفیت پذیرش بیمار در بیمارستان h

w نرخ کاربرد تخت/ ظرفیت بیمارستان در دوره برنامه‌ریزی

$f(\tau)$ تابع زندگی بخش $(f(\tau)=۰/۸\times e^{-۰/۰۰۰۱\tau^۲})$ [۲]

a مقدار سطح قابل آواربرداری توسط یک گروه آوار برداری در دوره برنامه‌ریزی

u نرخ استفاده از یک آمبولانس در دوره برنامه‌ریزی

m ظرفیت هر آمبولانس برای حمل بیمار

۲-۲- فرمول‌بندی مدل برنامه‌ریزی ریاضی

$$\text{Min CTDL} = \sum_{rl}\left[P^{rl}q^{rl}f(\cdot) - \sum_{h} x^{rl,h^*} f\left(\tau_{\lambda}^{rl,h}\right)\right]$$

S.t.: $(I)\ y_{ij} = ۰/۱$	$\forall (i,j) \in A_y$	(۱)
$(II)\ z_{\alpha}^{k,ij^*}$ is the solution of Road Reopening Problem		
$\text{Min RRP} = \sum_{ij\in\bar{A}_y}\sum_{k} z_{\alpha}^{k,ij}\,\tau_{\alpha}^{k,ij}$		
$\sum_{ij\in\bar{A}_y} z_{\alpha}^{k,ij} \le Z_{۱}^{k}$	$\forall k$	(۱)
$\sum_{k} z_{\alpha}^{k,ij} = Z_{۲}^{ij}$	$\forall (i,j) \in \bar{A}_y$	(۲)
$z_{\alpha}^{k,ij} \ge ۰$	$\forall k,(i,j) \in \bar{A}_y$	(۳)
$(III)\ z_{\beta}^{k,rl^*}$ is the solution of Search and Rescue Problem		
$\text{Max SRP} = \sum_{rl}\sum_{k}\left[\frac{P^{rl}q^{rl}f(\tau_{\beta}^{k,rl})}{q^{rl}AR^{rl}}\right] z_{\beta}^{k,rl}$		
$\sum_{rl} z_{\beta}^{k,rl} \le Z_{۱}^{k} - \sum_{ij\in\bar{A}_y} z_{\alpha}^{k,ij}$	$\forall k$	(۱)
$\sum_{k} z_{\beta}^{k,rl} \le q^{rl}\frac{AR^{rl}}{a}$	$\forall rl$	(۲)
$z_{\beta}^{k,rl} \ge ۰$	$\forall k,rl$	(۳)
$(IV)\ v^{*}$ is the solution of Vehicle Allocation Problem		
$\text{Max VAP} = \sum_{h}\sum_{rl}\left[\frac{P^{rl}q^{rl}f(\tau_{\gamma}^{h,rl})}{q^{rl}AR^{rl}} \times a\sum_{k} z_{\beta}^{k,rl}\right] v^{h,rl}$		
$\sum_{rl} v^{h,rl} \le VH^{h} \times u$	$\forall h$	(۱)
$m\sum_{h} v^{h,rl} \le \frac{P^{rl}q^{rl}f(\cdot)}{q^{rl}AR^{rl}} \times a\sum_{k} z_{\beta}^{k,rl}$	$\forall rl$	(۲)
$v^{h,rl} \ge ۰$	$\forall h,rl$	(۳)
$(V)\ x^{*}$ is the solution of Ambulance Return Problem		
$\text{Max ARP} = \sum_{rl}\sum_{h} x^{rl,h} f(\tau_{\lambda}^{rl,h})$		
$\sum_{h} x^{rl,h} \le m\sum_{h} v^{h,rl}$	$\forall rl$	(۱)
$\sum_{rl} x^{rl,h} \le C^{h} \times w$	$\forall h$	(۲)
$x^{rl,h} \ge ۰$	$\forall rl,h$	(۳)

این مدل که صورت یک مدل چند سطحی پیشنهاد شده‌است، از یک تابع هدف و پنج محدودیت تشکیل شده‌است که در واقع هر محدودیت یک مساله جداگانه برای یک تیم است. برای محاسبه تابع هدف هریک از زیر مساله‌ها (محدودیت‌ها) باید به ترتیب حل شوند. شایان یاد است که جواب هر زیر مساله به عنوان ورودی به زیر مساله بعد می‌باشد.

تابع هدف کلی این مساله کمینه‌سازی میزان تلفات جانی[1] در شهر است. این تابع هدف به نوعی تعداد افراد آسیب دیده که توسط سیستم کمک‌رسانی به محل‌های مناسب برای مداوا رسانده شده‌اند را نشان می‌دهد.

تابع هدف این سطح از دو بخش تشکیل شده‌است. بخش اول از چپ، تعداد افرادی که به محض رخ دادن زلزله در هر ناحیه دچار آسیب می‌شوند را نشان می‌دهد. بخش دوم تعداد افرادی را که به صورت موثر به بیمارستان‌ها منتقل شده‌اند را از کل افراد آسیب دیده کم می‌کند. موثر بودن انتقال افراد به بیمارستان‌ها با ضرب افراد منتقل شده در تابع زندگی بخش در نظر گرفته شده‌است [۲]. محدودیت‌های مساله شامل موارد زیر است.

- محدودیت (I): انتخاب مجموعه کمان برای بازگشایی

محدودیت (I) مجموعه تصمیم برای بازگشایی کمان‌های آسیب دیده است. به عبارت دیگر در این سطح با اتخاذ تصمیم در خصوص این‌که چه کمان‌هایی بازگشایی شوند، روی تعداد افراد منتقل شده به بیمارستان‌ها و در نهایت تابع هدف مساله تاثیرگذار خواهد بود. در این سطح با انتخاب یک مجموعه کمان (امکان‌پذیر) برای بازگشایی، نسبت به حل سایر زیرمساله‌ها برای محاسبه تابع هدف اقدام می‌شود.

شایان یاد است که تعداد افراد منتقل شده به بیمارستان‌ها از حل زیرمساله شماره ۵ بدست می‌آید. برای رسیدن به جواب زیر مساله ۵ باید ابتدا زیرمساله‌های ۲ تا ۵ به ترتیب حل شوند تا در نهایت بتوان میزان تلفات در منطقه را محاسبه نمود. بدین ترتیب، یافتن تابع هدف مساله نیازمند یافتن مقدارهای بهینه متغیرهایی است که هریک متعلق به یک بدنه تصمیم‌گیری است، و حاصل بهینه‌سازی در مساله ویژه‌ی آن است.

- محدودیت (II): بازگشایی کمان‌ها

بدنه تصمیم گیرنده در خصوص مسایل مهندسی مساله از مجموعه ابزارها و نیروهای انسانی فنی برخوردار است که دو وظیفه عمده را بر عهده دارند. نخست بازگشایی راه‌های مهم کمک‌رسانی به آسیب‌دیدگان، و دوم آواربرداری و نجات کسانی که زیر آوارها گیر افتاده‌اند. بدیهی است که کل این امکانات فنیِ در اختیار این نهاد، منابع مشترکی است که باید به گونه‌ای مناسب، یا بهینه، بین این دو وظیفه تقسیم شوند. در محدودیت (II) هدف تخصیص بخشی از این امکانات (Z_1^k) است که باید به بازگشایی کمان‌ها (راه‌ها) تخصیص یابد.

تابع هدف این زیر مساله کمینه‌سازی کل زمان رسیدن تیم‌ها برای بازگشایی کمان‌های انتخاب شده در محدودیت (I) است. محدودیت (۱) این زیر مساله، محدودیت تعداد تیم‌های موجود در هر مرکز k برای بازگشایی کمان‌ها است. محدودیت (۲) این زیر مساله تضمین می‌کند که اگر تعدادی تیم برای بازگشایی یک کمان فرستاده شدند، آن کمان حتما بازگشایی شود. به عبارت دیگر، تعداد تیم‌های گسیل شده درست برابر است با تعداد تیم‌های مورد نیاز آن کمان برای بازگشایی. و البته، تعداد تیم‌ها عددی صحیح و نامنفی است، که در اینجا برای سادگی فرض بر پیوسته بودن آن است. این نکته در محدودیت (۳) این زیرمساله جای گرفته‌است.

- محدودیت (III): جستجو و نجات

این مساله نیز یک مساله بهینه‌سازی است که مانده‌ی تیم‌های فنی- مهندسی از زیر مساله (II) را برای آواربرداری بین ناحیه‌های نیازمند کمک تقسیم می‌کند. تعداد تیم‌های ارسالی به هر ناحیه متناسب با اهمیتی است که آن ناحیه از نظر کارایی آوار برداری دارد: این که با هر واحد تلاش چند نفر از زیر آوار نجات داده می‌شوند. از این رو، ضریب‌های متغیرها در تابع هدف این سطح براساس تعداد افراد آسیب دیده در واحد سطح (چگالی میزان آسیب) و در نظر گرفتن زمان رسیدن تیم‌ها به هر ناحیه تعیین می‌شود. اثر این زمان در تابع زندگی‌بخش (f) دیده می‌شود که هرچه زودتر به محل آوار برسیم به تعداد بیش‌تری از افراد زیر آوار زندگی می‌بخشیم. به عبارت دیگر، این تابع هدف تلاش دارد که تعداد بیشتری از تیم‌ها را به ناحیه‌های با تراکم افراد آسیب دیده بیشتر، و همچنین به نواحی نزدیک‌تر (که شانس نجات افراد بیشتری در اثر انتقال سریع‌تر به بیمارستان را دارند) بفرستد.

محدودیت (۱) این زیر مساله بیانگر تعداد تیم‌های موجود پس از کسر تیم‌های فرستاده شده برای بازگشایی کمان‌ها است. محدودیت (۲) این زیر مساله تضمین می‌کند که تعداد تیم‌های فرستاده شده به هر ناحیه از تعداد تیم‌های مورد نیاز آن ناحیه بیشتر نگردد. در این محدودیت، $q^{rl}AR^{rl}$، سطح تخریب شده در هر

1-City Disaster Level = CTDL

ناحیه و $a\times\sum_{k} z_{\beta}^{k,rl}$، سطح قابل آوار برداری توسط تمام گروه‌های موجود در ناحیه را نشان می‌دهد. و البته، میزان تیم‌های ارسالی عددی صحیح و نامنفی است، که در اینجا با یک فرض ساده کننده و خوب متغیری پیوسته فرض شده‌است.

- محدودیت (VI): تخصیص آمبولانس‌ها

بدنه دیگر تصمیم گیرنده نهاد پزشکی است، که دو وظیفه مهم در یک مساله توامان دارد: گسیل آمبولانس‌ها به محل‌های آسیب دیده، و انتقال آسیب دیدگان به محل‌های رسیدگی و درمان. وظیفه نخست در محدودیت (VI) رسیدگی می‌شود. این زیر مساله آمبولانس‌های موجود را از محل‌های مختلف چنان به محل‌های آسیب دیده منتقل می‌کند که بیش‌ترین کارایی (فرصت نجات آسیب‌دیدگان) را داشته باشد: هم چگالی آسیب‌دیدگان در محل بالا باشد، و هم تیم‌های فنی کافی به آن‌جا فرستاده شده باشند که این آسیب‌دیدگان نجات یافته باشند (ضریب متغیرها در تابع هدف زیر مساله).

ضریب $\frac{P^{rl}q^{rl}}{q^{rl}AR^{rl}}\times a\sum_{k} z_{\beta}^{k,rl}$، در تابع هدف نشان دهنده تعداد افرادی است که توسط تیم‌های آواربرداری موجود در ناحیه lr از زیر آوار نجات پیدا کرده‌اند. با ضرب این ضریب در $f(\tau_{\gamma}^{h,rl})$، تمایل به فرستادن تیم‌ها به نواحی نزدیک‌تر بیشتر می‌شود (زیرا تابع $f(\tau)$ کاهنده است).

در محدودیت (۱) این زیر مساله، کل تعداد آمبولانس‌هایی را که از هر بیمارستان به نواحی مختلف فرستاده می‌شوند را کوچکتر از تعداد کل آمبولانس‌های موجود در هر بیمارستان ضرب در نرخ استفاده از آن‌ها قرار می‌دهد. در این محدودیت با برآورد تعداد دفعاتی که می‌توان از یک آمبولانس در دوره برنامه‌ریزی استفاده نمود، می‌توان تعداد آمبولانس‌هایی که از بیمارستان‌ها به نواحی مختلف فرستاده خواهند شد را تعیین کرد. سمت راست این محدودیت در واقع نشان دهنده تعداد کل آمبولانس‌های موجود در هر بیمارستان در تمام دوره برنامه‌ریزی است. محدودیت (۲) این زیرمساله تضمین می‌کند که تعداد آمبولانس‌های فرستاده شده به هر ناحیه کمتر از تعداد مورد نیاز آن ناحیه باشد. البته، تعداد آمبولانس‌های ارسالی از هر مرکز h به هر ناحیه l در منطقه r عددی نامنفی است، که در اینجا با یک ساده‌سازی قابل قبول متغیری پیوسته (و نه صحیح که در واقع چنین است) گرفته شده‌است.

- محدودیت (V): بازگشت آمبولانس‌ها به محل‌های درمانی

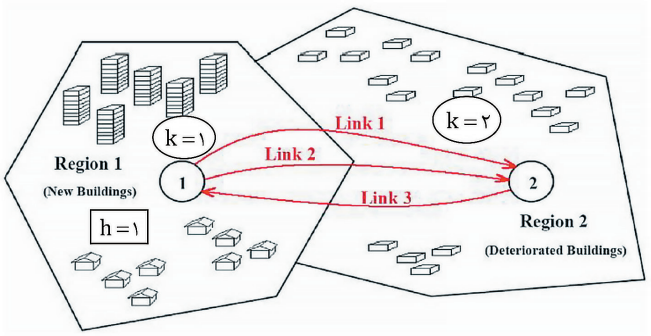
آمبولانس‌های پر، از هر محل آسیب‌دیده مجروحان را به نزدیک‌ترین محل‌های درمانی می‌رسانند. در این سطح، افراد آسیب دیده از کوتاه ترین مسیرها توسط آمبولانس‌ها به بیمارستان‌ها منتقل می‌شوند با توجه به تابع هدف که به شکل بیشینه مطرح شده است، از $f(\tau)$ به جای τ در تابع هدف استفاده شده است. البته از آنجا که اکنون آسیب‌دیدگان در دستان حرفه‌ای‌های پزشکی (و نه زیر آوار) هستند این تابع زندگی‌بخش می‌تواند با تابع زندگی‌بخش در محدودیت‌های پیشین تفاوت داشته باشد، ولی برای سادگی در نشان دادن مساله یکسان در نظر گرفته شده است.

محدودیت (۱) این زیر مساله تضمین می‌کند که تعداد افراد آسیب دیده که از هر ناحیه به بیمارستان‌ها منتقل می‌شوند از ظرفیت حمل مجروح توسط آمبولانس‌های موجود در آن ناحیه بیشتر نباشند. محدودیت (۲) این زیرمساله ظرفیت پذیرش بیمار توسط بیمارستان‌ها را بیان می‌کند. البته در این مدل فرض بر این است که ظرفیت بیمارستان‌ها برای پذیرش بیماران به اندازه کافی زیاد است و می‌توانند در کل همه آسیب‌دیدگان را بپذیرند. البته، تعداد آمبولانس‌ها عددی صحیح و نامنفی است، که دراین‌جا با یک فرض ساده‌کننده مساله به صورت متغیری پیوسته و نامنفی گرفته شده‌است. این امر در محدودیت (۳) این زیرمساله پیداست.

لازم به ذکر است که مدل مطرح شده در این مقاله شیوه‌ای جدید در زمینه برنامه ریزی ریاضی برای مدیریت بحران است و استفاده از این نوع مدل‌ها در مسائل برنامه‌ریزی ریاضی یا وجود نداشته یا به وسیله‌ی محقق مشاهده نشده است که از این منظر این پژوهش یک روش جدید در برنامه‌ریزی برای مدیریت بحران محسوب می شود.

۲-۳- یک مثال از مدل کمک‌رسانی چند سطحی

در شکل (۱)، شهر مورد نظر به همراه شبکه کمان‌های آن نشان داده شده‌است. در این مثال، شهر به دو منطقه تقسیم شده که هر منطقه دارای یک ناحیه است $(rl=1,2)$. دو مرکز کمک‌رسانی در هر ناحیه $(k=1,2)$ و یک بیمارستان در ناحیه ۱ قرار دارد $(h=1)$ [۲].



شکل (۱) شبکه مثال و محل‌های قرارگیری تیم‌های کمک‌رسانی و بیمارستان

سایر اطلاعات مورد نیاز برای حل مساله در جدول‌های (۱) و (۲) آورده شده‌است. جدول (۱) تابع‌های زمان سفر- حجم کمان‌های شبکه، و جدول (۲) جمعیت ناحیه‌های محدوده‌ی مطالعه و احتمال تخریب آن‌ها در صورت وقوع یک زلزله (معیار، برای نمونه با شدت ۶ ریشتر) را بدست می‌دهد.

کمان	تابع زمان سفر-حجم هر کمان
۱	$t_1 = ۴۰ + ۰/۰۰۲x_1$
۲	$t_2 = ۳۰ + ۰/۰۱۰x_2$
۳	$t_3 = ۳۰ + ۰/۰۰۵x_3$

جدول (۱) توابع زمان سفر- حجم کمان‌های شبکه مثال

منطقه ($r \in R$)	ناحیه ($l \in S_r$)	q^{rl}	P^{rl}
۱	۱	۰/۱	۱۵۰۰۰
۲	۱	۰/۳	۱۰۰۰۰

جدول (۱) توابع زمان سفر- حجم کمان‌های شبکه مثال

سایر پارامترهای مثال به صورت زیر هستند:

- مساحت ناحیه‌ها: $AR^1 = ۵۰,\ AR^2 = ۱۵۰$

- تعداد تیم‌های موجود در هر مرکز امداد: $Z_1^1 = ۲,\ Z_1^2 = ۵$

- تعداد تیم‌های مورد نیاز برای بازگشایی هر کمان: $Z_2^{ij} = ۳$

- مقدار سطح قابل آوار برداری توسط یک گروه آوار برداری در دوره برنامه‌ریزی: $a = ۵$

- تعداد آمبولانس‌های موجود در بیمارستان: $VH = ۴۰$

- نرخ استفاده از یک آمبولانس در دوره برنامه‌ریزی: $u = ۱۰۰$

- ظرفیت هر آمبولانس: $m = ۳$

- ظرفیت بیمارستان: $wC^1 = ۴۵۰۰$

برای تعریف مساله، باید نتیجه رویداد زلزله (کمان‌های خراب شده پس از وقوع زلزله) را مشخص کرد. بدین منظور، تعدادی از حالت‌های مختلف خرابی کمان‌ها را برای ارزیابی مدل مورد بررسی قرار می‌دهیم.

- حالت ۱، کمان ۱ تخریب شود

فرض کنید که پس از رویداد زلزله کمان ۱ تخریب شده‌است و برآوردهای زمان سفر پس از زلزله به شرح جدول (۳) بوده‌باشد. در این مثال، زمان سفر تیم‌ها تا هریک از کمان‌ها، زمان رسیدن تیم مورد نظر به ابتدای کمان در نظر گرفته شده‌است. به عبارتی فرض بر این است که تیم‌ها نمی‌توانند بر خلاف جهت کمان‌ها حرکت کنند.

برای محاسبه نتایج مدل، ابتدا باید یک مجموعه کمان امکان‌پذیر در سطح (I) مدل انتخاب گردد. بسته به مجموعه کمان‌های انتخاب شده (تصمیم‌های مختلف برای بازگشایی کمان‌ها)، نتایج متفاوتی از حل مدل بدست خواهد آمد. در اینجا، می‌توان دو تصمیم گرفت: هیچ کمانی بازگشایی نشود، یا کمان ۱ بازگشایی شود، که در ادامه نتایج بدست آمده از گرفتن هریک از این تصمیم‌ها آورده شده است.

$\tau^{k,ij}$	ij = ۱	ij = ۲	ij = ۳
k = ۱	۰	۰	**۹۰**
k = ۲	**۴۵**	**۴۵**	۰

جدول (۳) زمان‌های سفر از محل قرار گیری تیم‌ها تا هریک از کمان‌های شبکه

- تصمیم هیچ‌کمانی بازگشایی نشود

فرض کنید با توجه به شرایط موجود شبکه، زمان‌های سفر به صورت شکل (۲) باشد.

زمان سفر از مراکز امداد به ناحیه‌ها

$\tau_{\beta}^{k,rl}$	rl = ۱	rl = ۲
k = ۱	۰	۹۰
k = ۲	۴۵	۰

زمان سفر از بیمارستان به ناحیه‌ها

$\tau_{\gamma}^{h,rl}$	rl = ۱	rl = ۲
h = ۱	۰	۹۰

زمان سفر از ناحیه‌ها به بیمارستان

$\tau_{\lambda}^{rl,h}$	h = ۱
rl = ۱	۰
rl = ۲	۴۵

شکل (۲) زمان‌های سفر برای حالتی که کمان ۱ تخریب شده باشد و تصمیم عدم بازگشایی کمان

پس از قراردادن مقدارهای مشخص شده در مدل و حل هریک از زیر مساله‌ها، نتایج زیر حاصل می‌گردد. شایان یاد است که زیر مدل‌های این مثال در نرم‌افزار GAMS win۶۴ مدل‌سازی و حل شده‌اند.

- تعداد تیم‌های فرستاده شده از مراکز امداد برای بازگشایی کمان ۱:

$z_{\alpha} = ۰$

- تعداد تیم‌های فرستاده شده از مراکز امداد برای آوار برداری نواحی:

$z_{\beta}^{۱,۱} = ۱,\ z_{\beta}^{۱,۲} = ۱\ ,\ z_{\beta}^{۲,۱} = ۰,\ z_{\beta}^{۲,۲} = ۵$

- تعداد آمبولانس‌های فرستاده شده به مراکز آسیب دیده:

$v^{۱,۱} = ۴۰۰,\ v^{۱,۲} = ۵۳۳$

- تعداد مجروحان منتقل شده به بیمارستان:

$x^{۱,۱} = ۱۲۰۰,\ x^{۲,۱} = ۱۶۰۰$

- مقدار تابع هدف اصلی (CTDL):

$CTDL = ۱۵۹۵$

۳- نتیجه گیری

ایران در کمربند لرزه‌ای آلپ- هیمالیا، به عنوان یکی از فعال‌ترین مناطق تکتونیک دنیا قرار گرفته است. در چند دهه اخیر، کشور ما زلزله‌های بزرگ و ویرانگری را به طور پیوسته تجربه کرده است. بیش از ۷۰ درصد از شهرهای بزرگ ایران در مجاورت گسل‌های لرزه‌ای قرار دارند و در برخی موارد حتی این گسل‌ها از درون شهرها عبور می‌کنند [۱۵]. اگرچه روی دادن زلزله اجتناب‌ناپذیر است، اما می‌توان با برنامه‌ریزی مناسب شدت این آسیب‌ها را کاهش داد.

در این مقاله، از سفرهای کمک‌رسانی به عنوان یکی از مهم‌ترین اهداف سفر پس از زلزله یاد شده‌است. این سفرها وابسته به نوع سیستم کمک‌رسانی تعریف شده هستند و بدون برنامه‌ریزی برای کمک‌رسانی، شناسایی این سفرها امکان‌پذیر نخواهد بود. از این رو برای دستیابی به یک سیستم کارآمد یک مدل کمک‌رسانی چند سطحی طراحی گردیده‌است. در این مدل، سفرهای گروه‌های مختلف کمک‌رسانی (گروه‌های بازگشایی کمان‌های آسیب‌دیده، آواربرداری و نجات افراد از زیر آوار، تخصیص آمبولانس‌ها به محل‌های آسیب‌دیده و انتقال مجروحان به بیمارستان‌ها) به صورت هماهنگ با یکدیگر دیده شده‌است. به عبارتی، برنامه گروه‌های مختلف به گونه‌ای در نظر گرفته شده‌است تا در نهایت منجر به یک هدف و آن کاهش تعداد افراد فوت شده شود. بنابراین دستاوردهای این پژوهش شامل موارد زیر است:

۱- طراحی یک مدل کمک‌رسانی چند سطحی با هدف دستیابی به کم‌ترین میزان تلفات پس از زلزله

۲- ایجاد یک برنامه هماهنگ و همراستا بین گروه‌های مختلف که پس از زلزله وظیفه کمک‌رسانی به مجروحان را بر عهده دارند.

۴-- مراجع

1-J. Pinowski, Disaster management handbook: CRC Press, 2008.

2- A. Edrissi, H. Poorzahedy, H. Nassiri, and M. Nourinejad, "A multi-agent optimization formulation of earthquake disaster prevention and management," European Journal of Operational Research, vol. 229, pp. 261-275, 2013.

3- W. L. Waugh and R. J. Hy, Handbook of emergency management: programs and policies dealing with major hazards and disasters: Greenwood Publishing Group, 1990.

4- H. Jia, F. Ordóñez, and M. M. Dessouky, "Solution approaches for facility location of medical supplies for large-scale emergencies," Computers & Industrial Engineering, vol. 52, pp. 257-276, 2007.

5- H. Jia, F. Ordóñez, and M. Dessouky, "A modeling framework for facility location of medical services for large-scale emergencies," IIE transactions, vol. 39, pp. 41-55, 2007.

6- M. Dessouky, F. Ordóñez, H. Jia, and Z. Shen, "Rapid distribution of medical supplies," in Patient Flow: Reducing Delay in Healthcare Delivery, ed: Springer, 2006, pp. 309-338.

7- H. D. Sherali, T. B. Carter, and A. G. Hobeika, "A location-allocation model and algorithm for evacuation planning under hurricane/flood conditions," Transportation Research Part B: Methodological, vol. 25, pp. 439-452, 1991.

8- R. Song, S. He, and L. Zhang, "Optimum transit operations during the emergency evacuations," Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology, vol. 9, pp. 154-160, 2009.

9- S. Kongsomsaksakul, C. Yang, and A. Chen, "Shelter location-allocation model for flood evacuation planning," Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies, vol. 6, pp. 4237-4252, 2005.

10- W. Yi and L. Özdamar, "A dynamic logistics coordination model for evacuation and support in disaster response activities," European Journal of Operational Research, vol. 179, pp. 1177-1193, 2007.

11- W. Yi and A. Kumar, "Ant colony optimization for disaster relief operations," Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, vol. 43, pp. 660-672, 2007.

12- G. Barbarosoğlu, L. Özdamar, and A. Cevik, "An interactive approach for hierarchical analysis of helicopter logistics in disaster relief operations," European Journal of Operational Research, vol. 140, pp. 118-133, 2002.

13- F. Fiedrich, F. Gehbauer, and U. Rickers, "Optimized resource allocation for emergency response after earthquake disasters," Safety Science, vol. 35, pp. 41-57, 2000.

14- G.-H. Tzeng, H.-J. Cheng, and T. D. Huang, "Multi-objective optimal planning for designing relief delivery systems," Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, vol. 43, pp. 673-686, 11// 2007.

۱۵- استوار ایزد خواه، ی. حسینی امینی، ک.، ارزیابی آمادگی در برابر سوانح در چهار زلزله بزرگ ایران، ۱۳۸۹، زلزله شناسی و مهندسی زلزله.