سیزدهمین کنفرانس بین المللی انجمن ایرانی تحقیق در عملیات
۳ و ۴ اردیبهشت ۱۳۹۹
13th International Conference of Iranian Operations Research Society
22-23 April 2020

برنامه ریزی در شرایط عدم قطعیت برای امداد رسانی در پاسخ به زلزله

مرضیه اتحادی[1]، حسین شمس‌شمیرانی[2]،

[1]کارشناسی مهندسی صنایع، دانشگاه فنی و مهندسی گلپایگان؛ mahnaz.ettehadi@gmail.com
[2]عضو هیئت علمی دانشگاه فنی و مهندسی گلپایگان، دانشکده مهندسی صنایع؛ hsshemirani@gmail.com

چکیده

این مطالعه یک مدل برنامه‌ریزی تصادفی دو مرحله‌ای را برای حمل و نقل کالاهای اولیه حیاتی برای نواحی تحت تأثیر زلزله در طی پاسخ اضطراری بیان می‌کند. فرمولاسیون جریان شبکه‌ی چندکالایی و چندحالته برای شرح جریان مواد در شبکه‌ی حمل و نقل ایجاد می شود. از آنجایی که پیش بینی زمان و شدت زلزله و تأثیر آن بر روی سیستم شهری دشوار است تدارک منابع و نیازمندی‌های منابع به صورت پارامترهای تصادفی ارائه می‌شوند. علاوه براین عدم قطعیت ناشی از آسیب‌پذیری سیستم‌های حمل و نقل باعث می‌شود که ظرفیت مسیرها و مقدار عرضه هم تصادفی باشند. تصادفی بودن با بررسی سناریوهای محتمل برای ظرفیت مسیرها، عرضه و تقاضای کالاها تحلیل می‌شود.

کلمات کلیدی: امداد رسانی، برنامه ریزی زلزله، برنامه‌ریزی تصادفی، مطالعات شهری، شبکه‌ی برگشتی

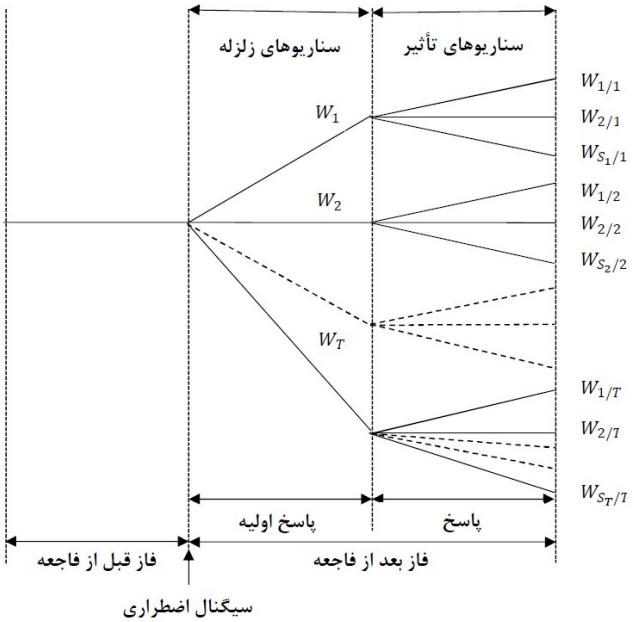
1- مقدمه

سازمان بهداشت جهانی، فاجعه را به عنوان هر واقعه‌ای که موجب ویرانی، تخریب، اختلالات اکولوژیکی، از دست رفتن زندگی انسان‌ها، رنجش موجودات زنده، کاهش سلامت و خدمات بهداشتی در یک مقیاس قابل توجه شود که نیازمند پاسخ فوق‌العاده از خارج به نواحی تحت تأثیر باشد تعریف کرده است. زمین لرزه‌ها، طوفان‌ها، گردبادها، فوران‌های آتش‌فشان، آتش سوزی، سیل، کولاک، و خشکسالی، مثالهائی از فاجعه هستند و تأثیر بسیار گسترده‌ای از نظر صدمات جانی و خسارات مالی دارند[1]. پاسخ به مجموعه‌ای از فعالیت‌های انجام شده در طی تأثیر اولیه از این شرایط اضطراری گفته می‌شود که شامل نجات زندگی‌ها، اجتناب از خسارات مالی بیشتر و امداد اضطراری برای آسیب دیدگان می‌شود. برنامه‌ریزان باید ابزارهای تصمیم‌گیری استوار و مدل‌هایی برای ارتقا پاسخ‌دهی و امدادرسانی در بحران را داشته باشند و فعالانه برای پاسخهای مؤثر آماده باشند. در این شرایط تصمیم‌گیرندگان عموماً اطلاعات مبهم و تصادفی درباره‌ی محدوده، زمان و نیازمندی‌ها قبل از وقوع فاجعه دارند. بنابراین پاسخ سریع و طرح‌های مؤثر امداد بحران، مسأله‌ی تصمیم‌گیری تصادفی پیچیده‌ای است. شبکه‌ی حمل و نقل در یک ناحیه شهری با جمعیت متراکم به صورت یک شبکه‌ی بزرگ با تعداد زیادی کمان و گره، نمایش داده می‌شود. این موضوع به صورت یک مسأله‌ی جریان شبکه‌ی چند حالته و چند کالایی تصادفی مدلسازی می‌شود[2]. به دلیل این‌که دانستن زمان و شدت هر زلزله در حال حاضر میسر نیست، تخمین دقیق خرابیها و منابع مورد نیاز از قبل بسیار دشوار است. بنابراین با مسأله‌ی برنامه ریزی باید به عنوان یک مسأله‌ی تصادفی برخورد شود که تصادفی بودن ناشی از تقاضا، عرضه و ظرفیت راه است. احتمال فروپاشی راههای معین در شبکه‌ی حمل و نقل که ممکن است از جریان کالاها برای نواحی بحرانی جلوگیری کند، منجر به تصادفی بودن ظرفیت کمان می‌شود. علاوه بر این، خسارت تأمین کنندگان که مستقیماً در معرض تأثیرات زلزله هستند، طبیعتاً قابلیت دسترسی و استفاده از کالاها را تصادفی می‌کند و در نتیجه باید در نظر داشت که کل سیستم حمل و نقل آسیب‌پذیر بوده و ممکن است غیر عملیاتی شود. بسیاری از تکنیک‌ها برای کار با عدم قطعیت در مدل‌های برنامه‌ریزی ریاضی توسعه داده شده اند

که از بین آن‌ها برنامه‌ریزی تصادفی برگشتی، به عنوان یک تکنیک عمومی مورد استفاده قرار می‌گیرد که می‌تواند با عدم قطعیت هر یک از پارامترهای مدل مقابله کند[3]. مسأله‌ی حمل و نقل امدادرسانی به عنوان یک مدل برنامه ریزی خطی دو مرحله‌ای مبتنی بر سناریو برای تحلیل تصادفی بودن ناشی از شدت و تأثیر زلزله فرمولبندی می شود. دلیل اصلی انتخاب این رویکرد، انعطاف پذیری پیشنهادات آن برای مدل‌سازی فرآیند تصمیم‌گیری لجستیک و تعریف تعداد زیادی از سناریوها می باشد.

2- شرح مساله

در مراکز شهری، تاثیر زلزله‌های فاجعه بار از طریق آمادگی برای سناریوهای خرابی زلزله به تصویر کشیده می شود. در حقیقت سناریوهای واقع‌بینانه، مؤلفه‌های لازم را برای برنامه‌ریزی بوجود می آورند. اولین جزء از چنین سناریوهایی ارزیابی خطرات زلزله است که نیاز به ارزیابی همه‌ی داده‌های حرکتی زمین، ژئوفیزیک، لرزه نگاری، زمین شناسی و توپولوژی دارد. سناریوها به دو مؤلفه تقسیم می‌شوند: اولین مؤلفه راجع به تعیین مرکز و شدت زلزله است. دومین مؤلفه تصادفی مربوط به برآورد سناریوهای تأثیراست. در دوره‌ی کوتاهی پس از دریافت سیگنال زلزله، اطلاعات صحیح درباره‌ی مکان و شدت زلزله به سهولت از طریق کانال‌های ارتباطی در دسترس است. این موضوع، باعث کاهش عدم قطعیت می شود. اطلاعات دقیق درباره‌ی تأثیر زلزله و نیازهای امدادی طی زمان، کسب می‌شود و فعالیت‌های در دست اقدام باید برای تأمین نیازهای واقعی بهنگام شود. در فاز قبل از اضطرار، پاسخ به دو مرحله تقسیم و سناریوهای محتمل منظور می شوند. ساختار برنامه ریزی تصادفی مسأله در شکل 1 ارائه شده است.



شکل1: ساختار برنامه ریزی تصادفی در پاسخ به زلزله

پارامترهای تصادفی مسأله اولین مرحله در فضای احتمالی (Ω_1, P_1) تعریف می شوند که $\Omega_1=\{w_1, w_2, \ldots, w_T\}$ فضای نمونه مقادیر تصادفی با $T=¿\Omega_1\vee¿$ و w_t یک ES در Ω_1 برای همه ی $t=1,2,\ldots,T$ است. احتمال مربوط به هر ES به عنوان $p(w_t)$ تعریف می شود که $\sum_{t=1}^{T} p(w_t)=1$ است. پارامترهای تصادفی مسأله مرحله دوم برای فضای شرطی

$(\Omega_{2/t}, P_{2/t})$ برای هر ES_{w_t} تعریف می شود که $\Omega_{2/t}=\{w_{1/t}, w_{2/t}, \ldots, w_{S_t/t}\}$ فضای نمونه مقادیر تصادفی با $S_t=¿\Omega_{2/t}\vee¿$ و $w_{S/t}$ یک IS در $\Omega_{2/t}$ برای همه ی $s=1,2,\ldots,S_t$ است. احتمال شرطی هر IS به صورت $p(w_s/w_t)$ تعریف می شود که $\sum_{s=1}^{S_t} p(w_s/w_t)=1$ است. علاوه بر این، بردارهای تصادفی مانند $\varepsilon_1(w_t)=\left\{K_{ij}^v(1,w_t), U_i^k(1,w_t)\right\}$ و $\varepsilon_2(w_{s/t})=\{K_{ij}^v(2,w_{s/t}), D_i^k(2,w_{s/t})\}$ به عنوان تحقق مشترک پارامترهای تصادفی تعریف می شوند. برنامه‌ریزی‌های تصادفی دو مرحله‌ای برگشتی شامل دو مؤلفه‌ی مشخص است: یک مؤلفه‌ی ساختاری (مرحله اول) که تثبیت می‌شود و از هر عدم قطعیتی آزاد است و مؤلفه‌ی کنترلی (مرحله دوم) که تحت تأثیر عدم قطعیت داده‌های ورودی است. متغییرهای مرحله‌ی اول ثابت هستند نشان دهنده‌ی تصمیماتی است که باید قبل از این‌که مقادیر پارامترهای عدم قطعی مشاهده شوند ایجاد شوند و بر اساس این تصمیمات متغییرهای کنترل مرحله‌ی دوم، نشان دهنده‌ی فعالیت‌های برگشتی است که می‌تواند بعد از شناخت پارامترهای غیر قطعی مشاهده شود.

3- برنامه ریزی تصادفی دو مرحله ای برای مسأله جریان شبکه چند حالته و چند کالایی

این برنامه ریزی باید به مسأله‌ی پاسخگویی در شرایط اضطراری به روشی موثر جهت حداقل نمودن از دست رفتن زندگی‌ها و حداکثر نمودن کارایی عملیات جست‌وجو و نجات، توجه داشته باشد و مسأله‌ی لجستیکی، جابجایی تعدادی از کالاها با استفاده از حالت‌های مختلف حمل و نقل در اسرع زمان برای نواحی بحرانی است. هدف، حمل کالا از یک مکان به دیگری در شبکه G(N,A) است که N مجموعه ای از گره ها و A مجموعه ای از کمان‌ها با ظرفیت تصادفی و محدود برای تأمین نیازمندی‌ها با حداقل هزینه است. در خصوص مسأله‌ی مطرح شده، ممکن است گره ها در شبکه نشان دهنده‌ی مراکز تأمین کننده‌ی منابع در یک ناحیه یا یک گره فاجعه با تقاضای خدمت تصادفی باشند. هر گره ممکن است یک نقطه‌ی عرضه یا تقاضا برای یک یا کالاهای بیشتر یا هر دو برای کالاهای مختلف باشد. علاوه بر وجود برخی گره های حمل و نقل خالص، یک گره عرضه یا تقاضای یک کالا همچنین به عنوان یک گره حمل و نقل برای دیگر کالاها عمل می‌کند. کمان‌های شبکه اصلی نشان دهنده‌ی مسیرهای اتصال بین مراکز فیزیکی است. مدل شامل K کالایی است که باید در طول شبکه ای با چندین گره منبع و مقصد حمل شوند. ظرفیت‌های تصادفی برای هر حالت روی هر کمان تعریف می‌شود و یک هزینه‌ی متغییر حمل و نقل به عنوان یک تابع خطی از مقادیر حمل شده توسط هر حالت در طی هر کمان، تعریف می شود. انتقال حالت‌های داخلی در گره ها برای ارتقای قابلیت دسترسی گره، مجاز است، اما با یک هزینه اضافی که ثابت فرض می شود. کالاهای مشخص با یک حالت یا مجموعه‌ی مشخصی از حالت‌ها می‌توانند حمل شوند. یک مسیر (l,m) به عنوان مجموعه‌ای از کمان‌های شامل مسیر از گره عرضه lبه گره تقاضای m تعریف می شود و متغیرهای تصمیم جریان هم برای هر کمان (i,j) در هر مسیر (l,m) برای هر کالای k با استفاده از حالت v تعریف شده‌اند. مدل شرایطی را ارائه می‌کند که مسائل مرحله‌ی اول و دوم، مدلهای حمل و نقلی هستند که در فازهای زمانی مختلف روی شبکه پایه روی می دهند. هرچند که تدارکات مرحله‌ی اول و ظرفیت کمانها تنها احتمالات شناخته شده در فاز پیش اضطرار هستند به محض دریافت سیگنال زلزله با شدت و مکان زلزله، اطلاعات مرحله‌ی اول درباره‌ی تدارکات قابل استفاده و ظرفیت‌های کمان عملیاتی از سناریوی زلزله استخراج و برای مرحله اول مشخص می شود، در حالیکه ظرفیت‌های کمان مرحله دوم و تقاضا، هنوز به صورت احتمالی شناخته شده اند. در مرحله اول، مقادیر عرضه اولیه باید از گره های تأمین به دیگر گره‌های دارای اولویت برای درک تقاضا در مرحله دوم، تخصیص یابد. در این‌جا، جریان‌های مرحله اول، تدارکات شروع مرحله دوم را فراهم می کنند که عرضه های خارجی اضافی مجاز نیست. در مرحله دوم یک مسأله حمل و نقل دوم باید برای درک مشخص از تقاضاها و ظرفیتهای کمان، حل

شود. بنابراین، یک متغیر حالت که حالت سیستم را بعد از مرحله اول خلاصه می کند، برای برقراری ارتباط تصمیمات در مرحله اول به تصمیمات مرحله دوم، تعریف می شود. مشکلی که وجود دارد این است که تصمیمات مرحله اول ممکن است برای یک تحقق مفروض، موجه نباشند. این وضعیت با اجازه به مقادیر مازاد و کمبود در مسأله‌ی مرحله‌ی دوم درون چارچوب برنامه ریزی آرمانی اجرا می شود. تابع هدف شامل هزینه های تصمیم مرحله اول و امید ریاضی هزینه های مرحله دوم است که شامل هزینه جریمه تقاضای تامین نشده نیز می باشد.

داده‌های قطعی به شرح زیرهستند:

G	(N,A)
N	مجموعه گره ها
A	مجموعه کمان ها
K	مجموعه کالاها
V	مجموعه حالت ها
M_{ij}^k	مجموعه حالت های در دسترس برای کالای k روی کمان (i,j)
O^k	مجموعه گره های مبدا برای کالای k
D^k	مجموعه گره های مقصد برای کالای k
S^k	$SO^k \cup SD^k$
C_v	هزینه نگهداری موجودی
C_w	هزینه کمبود
f_{ms}	هزینه ثابت انتقال حالت یک واحد از هر کالا
f_{ij}^{kv}	هزینه حمل یک واحد از کالای k از گره i به گره j توسط حالت v

داده‌های تصادفی مورد استفاده در مدل‌ها به شرح زیر است:

$\widetilde{U}_i^k(1)$	مقدار عرضه تصادفی کالای kدر گره i در مرحله اول
$U_i^k(1,w_t)$	یک تحقق از $\widetilde{U}_i^k(1)$
$\widetilde{K}_{ij}^v(1)$	ظرفیت تصادفی از حالت v روی کمان (i,j) در مرحله اول
$K_{ij}^v(1,w_t)$	یک تحقق از $\widetilde{K}_{ij}^v(1)$
$\widetilde{K}_{ij}^v(2)$	ظرفیت تصادفی حالت v از کمان (i,j) در مرحله دوم
$K_{ij}^v(2,w_{s/t})$	یک تحقق از $\widetilde{K}_{ij}^v(2)$
$\widetilde{D}_i^k(2)$	تقاضای تصادفی کالای k در گره i در مرحله دوم
$D_i^k(2,w_{s/t})$	یک تحقق از $\widetilde{D}_i^k(2)$

متغییرهای تصمیم به صورت زیر تعریف می‌شوند:

$R_i^k(1,w_t)$	مقدار عرضه داخلی از کالای k در گره i در مرحله دوم، منتج از تصمیمات گرفته شده در مرحله اول با توجه به ES_{w_t} (متغیر حالت)
$X_{lmij}^{kv}(1,w_t)$	مقدار کالای k ارسال شده روی کمان (i,j) توسط حالت v از گره منبع l به گره مقصد m در مرحله اول در ES_{w_t}
$Y_{lmij}^{kv}(1,w_{s/t})$	مقدار کالای k ارسال شده روی کمان (i,j) توسط حالت v از گره منبع l به گره مقصد m در مرحله دوم در سناریوی حرکت زمینی $w_{s/t}$
$P_{lmi}^{kv}(1,w_t)$	مقدار کالای k در مسیر (l,m) انتقال یافته از هرحالت دیگر به حالت v در گره i در مرحله اول در ES_{w_t}
$Q_{lmi}^{kv}(2,w_{s/t})$	مقدار کالای k ارسال شده در مسیر (l,m) انتقال یافته از دیگر حالتها به حالت v در گره i در مرحله دوم در مرحله دوم در سناریوی حرکت زمینی $w_{s/t}$
$Q_{lmi}^{kv}(1,w_t)$	مقدار کالای k در مسیر (l,m) انتقال یافته از حالت v به حالتهای دیگر در گره i در مرحله اول در ES_{w_t}

مقدار کالای k در مسیر (l,m) انتقال یافته از حالت v به حالت دیگر در گره i در مرحله دوم در سناریوی حرکتی $w_{s/t}$	$Y_{lmi}^{kv}(2,w_{s/t})$
مقدار مازاد کالای k در گره تقاضای i در سناریوی حرکت زمینی $w_{s/t}$	$V_i^k(2,w_{s/t})$
مقدار کمبود از کالای k در گره تقاضای i در سناریوی حرکت زمینی $w_{s/t}$	$V_i^k(2,w_{s/t})$

مدل ریاضی به صورت زیر است:

$min\, E_{\varepsilon_1}\left[Q_1(\varepsilon_1(W_t))\right]=min\sum_{t=1}^{T}P(W_t)Q_1(\varepsilon_1(W_t))$		(1)
$X_{lmij}^{kv}(1,W_t)+C_{ms}(P_{lmi}^{kv}(1,W_t)+Q_{lmi}^{kv}(1,W_t))/2\Big]+\overline{Q}_2(R(1,W_t))$		(2)
$\sum_{k\in K}\sum_{l\in SO^k}\sum_{m\in S^k}X_{lmij}^{kv}(1,W_t\le K_{ij}^{v}(1,W_t))$	$\forall v\in SM_{ij}^k(i,j)\in A$	(3)
$\sum_{v\in SM_{ij}^k}\sum_{\substack{j\in N\\ i\neq j}}X_{lmij}^{kv}(1,W_t)-\sum_{v\in SM_{ij}^k}\sum_{\substack{j\in N\\ j\neq i}}X_{lmij}^{kv}(1,W_t)=0$	$^k,i\in N,\wedge l\neq i,m\neq i$	(4)
$\sum_{\substack{j\in N\\ j\neq i}}X_{lmij}^{kv}(1,W_t)$ $-\sum_{\substack{j\in N\\ j\neq i}}X_{lmij}^{kv}(1,W_t)=P_{lmi}^{kv}(1,W_t)-Q_{lmi}^{kv}(1,W_t)$	$^k,i\in N,\wedge l\neq i,m\neq i$	(5)
$\sum_{v\in SM_{ij}^k}\sum_{m\in S^k}\sum_{j\in N}X_{lmij}^{k}(1,W_t)=U_i^k(1,W_t)$	$\in K,i\in SO^k,\wedge i=l$	(6)
$\sum_{v\in SM_{ij}^k}\sum_{m\in SO^k}\sum_{j\in N}X_{lmij}^{kv}(1,W_t)=R_i^k(1,W_t)$	$\in K,i\in S^k,\wedge i=m$	(7)
$X_{lmij}^{kv}(1,W_t)\ge 0$	$^k,m\in S^k,(i,j)\in A$	(8)
$P_{lmi}^{kv}(1,W_t)\ge 0,Q_{lmi}^{kv}(1,W_t)\ge 0$	$SO^k,m\in S^k,i\in N$	(9)
$(R(1,W_t),\varepsilon_2(W_{s/t}))\Big]=\sum_{s=1}^{S_t}P(W_s/W_t)Q_2(R(1,W_t),\varepsilon_2(W_{s/t}))$		(10)

تابع هدف (2)، هزینه کل حمل و نقل مرحله اول و هزینه مورد انتظار برگشتی برای ES_{w_t} را حداقل می کند. محدودیت‌های (3)ـ (4) و (5) محدودیت‌های ظرفیت، حفظ جریان و کنترل انتقال حالت هستند. محدودیت های (6) و (7) با همدیگر منابع موجود در هر گره عرضه برای هر محصول را مجبور می‌کند که به یک گره‌ی عرضه یا تقاضای دیگر برای آن کالا حمل شوند یا اجازه می‌دهد که در گره منبع ذخیره شوند که متغیر حالت $R_i^k(1,w_t)$، اطلاعات حمل و نقل جریان را برای مرحله دوم انبار می کند. چون، این تنها متغیری است که اطلاعات ارتباطاتی به مرحله دوم دارد، آن همچنین باید مقادیری که در گره‌های منبع ذخیره شده اند را انبار کند. در این‌جا ذخیره‌ی کالا در گره‌های خالص آن. محدودیت های (8) و (9) محدودیت های غیر منفی هستند. تابع برگشتی مورد انتظار (10)، انتظار هزینه های برگشتی شخصی $Q_2(R(1,w_t),\varepsilon_2(w_{s/t}))$ نامیده می شوند که با حل مسأله مرحله دوم برای هر سناریوی $w_{s/t}$ مطابق با عرضه مرحله دوم $R_i^k(1,w_t)$ بدست می آید که در مرحله اول تعیین می شود و تحقق مشترک پارامترهای تصادفی $\varepsilon_2(w_{s/t})=\{K_{ij}^v(2,w_{s/t}),D_i^k(2,w_{s/t})\}$ است. مسأله مرحله دوم برای یک سناریوی مشخص $w_{s/t}$ به صورت زیر است:

Q_2¿		(11)
$\sum_{k\in K}\sum_{l\in S^k}\sum_{m\in S^k}X_{lmij}^{kv}(2,W_{s/t})\le K_{ij}^{v}(2,W_{s/t})$	$SM_{ij}^k,(i,j)\in A$	(12)

$\sum_{v \in SM_{ij}^k} \sum_{\substack{j \in N \\ j \neq i}} X_{lmij}^{kv}(2, W_{s/t}) - \sum_{v \in SM_{ij}^k} \sum_{\substack{j \in N \\ j \neq i}} X_{lmij}^{kv}(2, W_{s/t}) = 0$	$N, \wedge l \neq i, m \neq i$	(13)
$\sum_{\substack{j \in N \\ j \neq i}} X_{lmij}^{kv}\left(2, W_{\frac{s}{t}}\right) - \sum_{\substack{j \in N \\ j \neq i}} X_{lmji}^{kv}\left(2, W_{\frac{s}{t}}\right) = P_{lmi}^{kv}(2, W_{s/t}) - Q_{lmi}^{kv}(2, W_{s/t})$	$\in N \wedge l \neq i, m \neq i$	(14)
$\sum_{v \in SM_{ij}^k} \sum_{m \in S^k} \sum_{j \in N} X_{lmij}^{kv}(2, W_{s/t}) \leq R_i^k(1, W_t)$	$K, i \in S^k, \wedge i = l$	(15)
$\sum_{\in S^k} \sum_{j \in N} X_{lmij}^{kv}(2, W_{s/t}) - D_i^k(2, W_{s/t}) = V_i^k(2, W_{s/t}) - W_i^k(2, W_{s/t})$	$, i \in S^k, \wedge i = m$	(16)
$X_{lmij}^{kv}(2, W_{s/t}) \geq 0$	$\in S^k, (i, j) \in A$	(17)
$P_{lmi}^{kv}(2, W_{s/t}) \geq 0, Q_{lmi}^{kv}(2, W_{s/t}) \geq 0$	$, m \in S^k, i \in N$	(18)
$V_i^k(2, W_{s/t}) \geq 0, W_i^k(2, W_{s/t}) \geq 0$	$\forall k \in K, i \in N$	(19)

تابع برگشتی (11)، حداقل سازی هزینه های کل جریان، هزینه های انتقال حالت و هزینه های جریمه نگهداری موجودی و کمبود در مرحله دوم است. محدودیت های (12) و (13) و (14) ظرفیت، نگهداری جریان و محدودیت‌های کنترل انتقال حالت هستند. محدودیت های (15) و (16) به تأمین کنندگان عرضه اجازه می‌دهند که جهت تأمین نیاز یا نگهداری در گره منبع به عنوان موجودی، انتقال داده شوند. محدودیت (16) مقادیر مازاد و کمبود تقاضا را تعیین می‌کند و محدودیت های (19)- (17) غیر منفی بودن متغیرها را بیان می کند. این مدل با استفاده از زبان مدلسازی GAMS کد نویسی و با استفاده از نرم افزار حل کننده OSL حل قابل حل می باشد.

3- نتیجه گیری

در این مطالعه یک مدل برنامه ریزی تصادفی مبتنی بر سناریو برای امداد رسانی پس از وقوع زلزله ارائه شد. مساله به شکل یه یک مساله جریان در شبکه‌ی چند کالایی و چند حالته برای در نظر گرفته شد. این مدل، واکنش و آگاهی مسئولان مدیریت بحران را ارتقا می دهد.

4- مراجع

[1] Cantillo, Victor, Luis F. Macea, and Miguel Jaller. "Assessing vulnerability of transportation networks for disaster response operations." *Networks and Spatial Economics* 19.1 (2019): 243-273.
[2] Gao, Xuehong, Moddassir Khan Nayeem, and Ibrahim M. Hezam. "A robust two-stage transit-based evacuation model for large-scale disaster response." *Measurement* 145 (2019): 713-723.
[3] Kirac, Emre, and Ashlea Bennett Milburn. "A general framework for assessing the value of social data for disaster response logistics planning." *European Journal of Operational Research* 269.2 (2018): 486-500.