مکانیابی و مدیریت موجودی مراکز مدیریت بحران

مهدی نجفی [†]، رضا زنجیرانی فراهانی[‡]، عباس افرازه [‡]

[†] دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی صنایع، دانشگاه صنعتی امیرکبیر

[‡] عضو هیئت علمی دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه صنعتی امیرکبیر

چکیده:

تحقیقات انجام شده نشان می‌دهد که با گذشت زمان تعداد حوادث غیرمترقبه زمینی، اقیانوسی و جوی در هر سال در حال افزایش است از اینرو موضوع "مدیریت بحران" به‌عنوان یکی از حایز اهمیت‌ترین مباحث علمی- کاربردی مطرح می‌شود که امروزه کشورهای مختلف، مخصوصاً کشورهای توسعه‌یافته و در حال توسعه، به آن متمایل شده‌اند . به‌طوریکه در بسیاری از کشورهای پیشرفته و در حال توسعه، مراکزی برای استقرار فعالیت‌های مدیریت بحران به نام "مرکز مدیریت بحران" وجود دارد که کلیه مراحل و فرایندهای مدیریت بحران در این مکان‌ها صورت می‌گیرد. با توجه به این مسائل تعیین نظامی کلی برای مدیریت لجستیک، به هنگام مقابله با بحران و به حداقل رساندن خسارات ناشی از آن امری مهم است. از اینرو در این مقاله به ارائه مدل چند هدفه‌ی یکپارچه برای مکانیابی مراکز بحران با در نظر گرفتن حمل‌ونقل و تعیین میزان موجودی کالاهای مورد نیاز پرداخته می‌شود. بطوریکه که این اهداف عبارتند از: الف) کمینه کردن هزینه‌های مربوطه و ب) کمینه کردن ریسک در پاسخگویی به بحران‌های بوجود آمده که به‌صورت حداقل کردن متوسط فاصله بین مراکز مستقر شده با افراد آسیب‌دیده بیان شده است. مدل مذکور در چهار حالت مختلف که ترکیب وجود یا عدم وجود محدودیت در تعداد مراکز جدید و وجود یا عدم وجود مراکز بحران مستقر شده قبلی می‌باشد بررسی شده است. سپس به تعیین موجودی مراکز مستقر شده پیش از وقوع بحران و تعیین سیاست سفارش‌دهی در زمان پاسخگویی پرداخته شده است. علاوه‌براین از انجاییکه وقوع بحران و میزان تقاضای کالاها بصورت غیر قطعی می‌باشد در این مقاله سعی شده است تا جنبه احتمالی مربوط به بحران و تقاضاهای ایجاد شده نیز لحاظ گردد.

کلمات کلیدی:

شبکه‌لجستیک، مکانیابی، مدیریت موجودی، بحران، لجستیک امداد

۱. مقدمه

تحقیقات و اطلاعات موجود نشان می‌دهد که با گذشت زمان تعداد حوادث غیرمترقبه زمینی، اقیانوسی و جوی در هر سال در حال افزایش است[۱] از اینرو موضوع "مدیریت بحران" به‌عنوان یکی از حایز اهمیت‌ترین مباحث علمی- کاربردی مطرح می‌شود. و تعیین نظامی کلی برای مدیریت لجستیک، به هنگام مقابله با بحران و به حداقل رساندن خسارات ناشی از آن امری مهم است. امروزه آمادگی و چگونگی مدیریت فعالیت‌های امداد در بحران‌هایی مانند انفجار آتشفشان، سیل و زلزله از دغدغه‌های اصلی سازمان‌های غیر دولتی (ان. جی. او.)[1] و دیگر موسسات پاسخگوی امداد می‌باشد. علی‌رغم پیشرفت‌های علمی و کاهش نگرانی در مورد بحران-های بزرگ، هنوز هم به‌هنگام وقوع بحران اغلب پاسخ‌های امدادی نیازمند استفاده از مهارت‌های ان. جی. او. می‌باشد. صرفنظر از عملیات تخصصی ان. جی. او. ها و اینکه در سطح ملی با بین‌المللی فعالیت می‌کنند همه آن‌ها در واقع یک هدف مهم و مشترک را دنبال می‌کنند که این هدف چیزی جز تحویل سریع مقدار درست کالا، نیرو و منابع مالی به مکان‌های مورد نیاز نمی‌باشد. از اینرو توانایی عملیات لجستیکی و زنجیره تامین ان. جی. او. ها به‌صورت مستقیم بر عملیات امداد تاثیرگذار می‌باشد.

1. NGO (Non Government Organizations)

مطالعات اخیر نظیر فنتون[1] [۴] و توماس[۵] به مقایسه وضعیت فعلی مدیریت زنجیره تامین در سازمان‌ها امدادی با بخش تجاری در دهه ۱۹۷۰ و ۱۹۸۰ پرداخته‌اند. در آن‌زمان، بخش‌های تجاری شروع به شناسایی مزایای استراتژیک و بهبودهای مهم در مدیریت زنجیره تامین کردند بطوریکه بتوانند کارایی و بازدهی در زنجیره را افزایش دهند که این امر منجر به توسعه تحقیقات در حوزه زنجیره تامین گردید.

بااین‌حال تاکنون، مفاهیم و مدل‌های کمی به‌ندرت در بخش عملیات امدادی بکار گرفته شده است [۲]. همچنین از آنجاییکه پاسخ‌های امدادی از دو بعد مقیاس و میزان در حال توسعه می‌باشند لذا مدیریت زنجیره امداد هم به‌سرعت در حال پیچیده‌تر شدن می‌باشد بطوریکه رشد و افزایش نیازهای لجستیکی از توانایی‌ها و قابلیت‌های فعلی رویکردهای مدیریتی در حال پیشی‌گرفتن می‌باشند. این امر تا حدی به دلیل توجه بخش‌های امدادی به لجستیک به‌عنوان هزینه‌های ضروری، فقدان دانش‌های عملیاتی عمیق و فقدان سرمایه‌گذاری‌های کلی در فناوری[2] و ارتباطات است [۲]. روند افزایشی وقوع بحران‌های طبیعی و ضرورت پاسخگویی به آن از عوامل مهم و محرک جهت فهم و بهبود هر چه بیشتر ظرفیت‌ها جهت امداد در بحران می‌باشد.

ابزارهای کمی که جهت امدادهای اضطراری ارائه می‌شوند اغلب به شکل مدل‌های ریاضی و شبکه‌ها مطرح می‌شوند. اوه و حقانی[3] [۳] به تجزیه و تحلیل حمل‌ونقلِ حجم زیادی از کالاهای متفاوت نظیر غذا، لباس، لوازم و تجهیزات پزشکی، داروها، ماشین‌آلات و منابع انسانی در یک رویکرد کارا جهت حداقل کردن مرگ[4] با چند نوع وسیله حمل‌ونقل برای عملیات امداد پرداخته شده است. بطوریکه که مدل ارائه شده دارای ۴ گره، ۵ یال و ۳ نوع وسیله حمل‌ونقل می‌باشد. علاوه‌براین محققان در این تحقیق به ارائه دو راه حل ابتکاری برای حل مدل ارائه شده پرداخته‌اند بطوریکه رویکرد اول بر اساس تخفیف لاگرانژ[5] و رویکرد دوم آن‌ها بر اساس یک الگوریتم تکرار شونده[6] می‌باشد. علاوه‌براین این محققان در سال ۱۹۹۷ نیز به توسعه کار خود پرداخته و تجزیه‌وتحلیل عمیق‌تر و جزئی‌تری را ارئه کرده‌اند.

بدیهی است که به‌هنگام وقوع بحران،زیرساخت‌های حمل‌ونقل برای تجهیزات امدادی اغلب غیرقابل اتکا و غیرقابل اعتماد می‌باشد. به‌همین‌خاطر باربارosوگلو و اُزدامار[7] در سال ۲۰۰۲ در مقاله‌ای با تمرکز بر استفاده از هلیکوپترها سعی در حذف این وابستگی داشته است. در این مقاله به توسعه مدل‌های ریاضی جهت حل مسائل تصمیم‌گیری در زمان‌بندی عملیاتی و تاکتیکی فعالیت‌های هلیکوپتر پرداخته شده است. در این مقاله نویسندگان از تحقیقات انجام شده در مسیریابی هلیکوپترها جهت تخصیص خدمه‌ها، مسیریابی و حمل و نقل در فاز اولیه پاسخگویی بحران استفاده کرده‌اند. عدم پایداری زیرساختارها به‌عنوان یک مانع جهت توسعه و نگهداری زنجیره‌تامین از مسائل مطرح شده در[۷] توسط توماس[8] در سال ۲۰۰۲ بوده است. در این تحقیق نویسنده به توسعه یک رویکرد جهت تعیین کمیِ پایداری زنجیره‌تامین برای سیستم‌های لجستیکی بر اساس تئوری تداخل پایداری پرداخته است.

باربارosوگلو و آردا[9] [۸] در سال ۲۰۰۴ به انجام تحقیق بیشتر جهت مدل‌سازی عدم اطمینان در پاسخگویی‌های امدادی پرداخته‌اند. آن‌ها به توسعه یک چهارچوب برنامه‌ای تصادفی دو مرحله‌ای جهت برنامه‌ریزی حمل‌ونقل در پاسخگویی‌ها به هنگام بحران پرداخته‌اند. در این تحقیق، محققان به توسعه مدل ارائه شده در [۳] که به‌صورت قطعی، چند کالایی و چند نوع ناوگان حمل‌ونقل بوده پرداخته‌اند. بطوریکه در این تحقیق عدم اطمینان موجود در تخمین منابع مورد نیاز جهت کالاهای اولیه امداد، آسیب‌پذیری منابع تهیه کننده تسهیلات و قابلیت مقاومت راه‌های ارتباطی در حوزه‌های بحران نیز مورد بررسی قرار گرفته است.

اُزدامار[10] و همکاران [۹] در سال ۲۰۰۴ به بررسی برنامه‌ریزی لجستیکی در مواقع اضطراری جهت ارسال کالا به مراکز توزیع در نواحی آسیب‌دیده پرداخته است. شبکه توسعه داده شده در این تحقیق به بررسی یک مساله حمل‌ونقل پویای وابسته به زمان

1. Fenton
2. Technology
3. Oh and Haghani
4 . Loss of Life
5. Lagrangian Relaxation
6. Iterative
7. Barbarosoglu & Ozdamar
8. Thomas
9. Barbarosoglu & Arda
10. Ozdamar et. al.

پرداخته شده است و بصورت تکرار شونده به ارائه جواب در بازه‌های زمانی داده شده برای تحویل کمک‌ها می‌پردازد. ساکاکیبارا[1] [۱۰] نیز در سال ۲۰۰۴ به بررسی جریان کالا در شبکه راه‌ها در زمان پاسخگویی در بحران پرداخته است که در آن راه‌های ارتباطی به اجزای جدا از هم تقسیم شده‌اند که در آن نویسنده با استفاده از شاخص‌های توپولوژیکی جهت کمی کردن قابلیت دسترسی به شبکه راه‌ها استفاده کرده است. سپس مناطق بحران‌زده را به ناحیه‌های مجزا تقسیم کرده و به ارائه یک متدولوژی جهت تعیین راه‌های ارتباطی موثر جهت عدم جدایی عملیاتی مناطق پرداخته است. علاوه‌براین آکیهال[2] [۱] در سال ۲۰۰۶ به ارائه یک مدل جهت مکانیابی مراکز مدیریت بحران جهت مدیریت کالاهای غیر مصرفی پرداخته است. در این تحقیق فرض شده است که مکان‌های کاندید برای استقرار فرودگاه‌ها می‌باشند و فاصله بین نقاط بر اساس اختلاف در طول و عرض جغرافیایی محاسبه می‌شود. همچنین فرض شده است که تنها یک نوع انبار وجود دارد و این انبارها محدودیت ظرفیت ندارند. در مدل ارائه شده در این تحقیق، هدف کمینه کردن متوسط زمان پاسخگویی برای هر فرد می‌باشد. در زمینه سفارش موجودی نیز می‌توان به تحقیق انجام شده توسط بیامون و کوتلبا[3][۲] می‌باشد. بطوریکه در آن به تعیین سیاست سفارش کالا در زمان پاسخگویی بحران پرداخته شده است، از جمله فرضیات این تحقیق عبارت است از اینکه دو نوع تامین کننده وجود دارد که یکی از انها دارای زمان تاخیر کمتر ولی هزینه سفارش‌دهی و هزینه خرید بیشتر نسبت به دیگری می‌باشد و سپس به تعیین مقادیر r_2، r_1، Q_2، Q_1 جهت استفاده از سیاست (r_2، r_1، Q_2، Q_1) با هدف حداقل کردن مجموع هزینه‌های سفارش‌دهی و نگهداری و کمبود پرداخته است. در این سیاست چنانچه سطح موجودی به r_1 برسد به میزان Q_1 سفارش داده می‌شود ولی اگر سطح موجودی به r_2 برسد میزان سفارش Q_2 می‌باشد.

همانطور که مشاهده می‌شود تحقیقات در زمینه بحران با هدف ارائه مدل‌های کمی مربوطه از مباحث جدید بوده و تحقیقات زیادی در این زمینه انجام نشده است. در بین تحقیقات انجام شده نیز بررسی‌های زیادی در زمینه مکان‌یابی مراکز مدیریت بحران جهت پاسخ‌گویی هر چه بهتر و سریع‌تر در هنگام وقوع بحران انجام نگرفته است، از اینرو در این مقاله سعی شده است که به این موضوع پرداخته شود. بطور کلی این مقاله دارای ۷ قسمت می‌باشد. در قسمت اول به کلیات و مرور ادبیات پرداخته شده است و سپس در قسمت دوم به معرفی تحقیق و هدف از مدل ارائه شده در آن پرداخته می‌شود. فرضیات، پارامترها و متغیرهای مدل در قسمت ۳ ارائه شده و در قسمت ۴ نیز به ارائه مدل در حالت‌های مختلف بیان شده در تحقیق پرداخته می‌شود. در قسمت ۵ به تعیین موجودی مراکز مستقر شده، قبل از وقوع بحران پرداخته می‌شود و سپس در قسمت ۶ به نحوه سفارش‌دهی کالاها پس از وقوع بحران یا به عبارتی در زمان پاسخگویی به بحران می‌پردازد و نهایتا در قسمت ۷ جمع‌بندی و زمینه تحقیقات آتی مطرح می‌شود.

۲. معرفی مدل

بطور کلی مدل‌های ارائه شده در این تحقیق را می‌توان به سه فاز تقسیم کرد. در فاز اول به مکانیابی مراکز مدیریت بحران در شبکه پرداخته شده که در قسمت ۴ ارائه می‌شود. پس از تعیین نقاط مربوط به مراکز مدیریت بحران در فاز بعد در قسمت ۵ تعیین می‌کنیم که هر یک مراکز مستقر شده در زمان قبل از وقوع بحران با توجه به نقاط تقاضای تحت پوشش از هر یک از کالاها به چه میزانی باید نگهداری کنند و در فاز نهایی نحوه سفارش‌دهی کالاها پس از وقوع بحران و مصرف کالاهای از پیش نگهداری شده به چه صورتی باشد که در قسمت ۶ ارائه شده است. در واقع فاز اول به دنبال پاسخگویی به این سوال می‌باشد که با توجه به اهداف و محدودیت‌های موجود نقاط موثر برای استقرار مراکز مدیریت بحران چه نقاطی هستند بطوریکه اهداف عبارتند از "حداقل کردن زمان پاسخگویی برای افراد بحران دیده" و همچنین "حداقل کردن هزینه‌ها تا حد ممکن". بدیهی است که این اهداف با یکدیگر در تناقض می‌باشند چراکه کمینه کردن زمان‌پاسخگویی مستلزم نزدیکی مراکز تعیین شده به نقاط تقاضا و استقرار تعداد زیادی از مراکز و در نتیجه مستلزم صرف هزینه‌های هنگفت می‌باشد و بالعکس چنانچه هدف تنها کمینه کردن هزینه‌ها باشد زمان‌پاسخگویی به بحران افزایش خواهد یافت. از اینرو به دنبال شرایطی متعادل در بین این دو حد فوقانی هستیم بطوریکه تا حد ممکن

1. Sakakibara
2. Akkihal
3. Beamon and Kotleba

دو هدف ارضا شود. چنانچه بخواهیم نکات مورد بررسی در این فاز را به‌صورت جزئی‌تر بیان کنیم عبارت است از:

الف. تعیین مکان "مراکز بحران" در شبکه

ب. تخصیص نقاط تقاضا به "مراکز بحران" مستقر شده

ج. تخصیص تامین‌کنندگان کالاهای متفاوت به مراکز بحران مستقر شده

د. تعیین مراکز بحران کمک دهنده به مرکز بحران خاص درصورتی که قادر به برآورده کردن نیازهای به‌وجود آمده نباشد.

همانطور که بیان شد هدف از این فاز نه تنها مکان‌یابی مراکز بحران بلکه تخصیص مراکز تقاضا به مراکز مستقر شده و همچنین تخصیص تامین‌کنندگان کالاها به مراکز مستقر شده و در نهایت تخصیص مراکز بحران کمک‌دهنده به مرکز بحران خاص می‌باشد. بطوریکه چنانچه تقاضا در یک مرکز بیش از حد پیش‌بینی باشد و مرکز تخصیص داده شده به آن نقطه یا نقاط تقاضا قادر به برآورده کردن نیازهای به‌وجود آمده نباشد از یک مرکز بحران حمایت کننده که از پیش تعیین شده است کمک می‌گیرد. در واقع هدف از تعیین مرکز حمایت‌کننده برای یک مرکز خاص پاسخگویی بهتر و سریعتر به نیازهای احتمالی می‌باشد چراکه سفارش به تامین‌کننده اصلی نیاز به زمان تاخیر[1] بیشتری می‌باشد. از اینرو به جهت بررسی موارد فوق به ارائه مدل در چهار حالت زیر پرداخته می‌شود.

الف. حالت آزاد صفر: در این حالت محدودیتی در تعداد مراکز وجود ندارد و هیچ مرکز بحرانی نیز از پیش در شبکه وجود ندارد.

ب. حالت آزاد توسعه‌ای: در این حالت محدودیتی در تعداد مراکز وجود ندارد و ولی تعدادی مراکز بحران از پیش در شبکه مستقر شده اند و می‌خواهیم از آنها نیز استفاده شود.

ج. حالت محدود صفر: در این حالت در تعداد مراکز بحران جدید محدودیت وجود دارد و هیچ مرکز بحرانی نیز از پیش در شبکه وجود ندارد.

د. حالت محدود توسعه‌ای: در این حالت هم در تعداد مراکز بحران جدید محدودیت وجود دارد و هم تعدادی مراکز بحران از پیش در شبکه مستقر شده اند و می‌خواهیم از آنها نیز استفاده شود.

۳. فرضیات، پارامترها و متغیرهای مدل

در این قسمت به بیان فرضیات تحقیق و پارامترها و تعریف متغیرهای اصلی مدل پرداخته می‌شود.

۳-۱. فرضیات تحقیق

بطورکلی برخی از فرضیات انجام شده در این تحقیق، فرضیات موجود در ادبیات بوده (موارد **الف** تا **ر**) و برخی دیگر نیز مختص این تحقیق می‌باشد (موارد **ز** تا **ض**) که به‌دلیل نزدیک‌تر شدن به واقعیت و یا جامع‌تر بودن مدل انجام شده است. که این فرضیات عبارتند از:

الف. موارد بررسی در این تحقیق، در واقع بحران‌هایی می‌باشند که نیازمند توجه و برنامه‌ریزی بیشتری هستند از قبیل زلزله، سیل و غیره.

ب. نقاط تقاضا در شبکه مورد بررسی مشخص می‌باشند.

ج. میزان تقاضا در هر یک از نقاط تقاضا تابعی از احتمال وقوع بحران در آن نقطه و جمعیت آن می‌باشد که این اطلاعات نیز با استفاده از آمارهای موجود قابل استخراج می‌باشد.

د. مکان تامین‌کنندگان کالاهای مختلف مشخص می‌باشد. از اینرو در مکان‌یابی مراکز مکان تامین‌کنندگان مشخص و ثابت می‌باشد.

ذ. وقوع بحران در هر یک از نقاط مستقل از سایر نقاط می‌باشد.

1. Lead Time

ر. هر یک از مراکز بحران مستقر شده می‌تواند به‌هنگام نیاز می‌تواند به تامین‌کنندگان یا به مرکز بحران حمایت کننده خود سفارش دهد.

ز. چند نوع مرکز بحران وجود دارد بطوریکه تفاوت آن‌ها در ظرفیت و هزینه استقرار می‌باشد.

س. ظرفیت مراکز مدیریت بحران بر اساس تعداد اشخاصی که قادر به سرویس‌دهی آن‌ها می‌باشد در نظر گرفته شده است.

ش. درهر یک از مراکز چند نوع کالا وجود دارد بطوریکه تعداد هر یک از آن‌ها متناسب با هم و افراد تحت پوشش آن مرکز می-باشد (البته تنوع کالاها در تمام مراکز یکسان است).

ص. هر یک از مراکز بحران باید یک مرکز بحران حمایت‌کننده داشته باشد تا بتواند در مواقع ضروری از آن کالای مورد نیاز را دریافت کند.

ض. سفارش‌دهی به مراکز بحران حمایت‌کننده دارای زمان تاخیر کمتر ولی هزینه‌های سفارش‌دهی و خرید بیشتری می‌باشد. زیرا چنانچه یک مرکز کالاهای خود را برای مرکز دیگری ارسال کند خودش نیز باید برای پرسازی کالاهای ارسال شده سفارش دهد بنابراین این نوع سفارش‌دهی (سفارش‌دهی به مرکز بحران حمایت‌کننده) دو هزینه سفارش‌دهی و دو هزینه حمل‌ونقل را به سیستم تحمیل می‌کند.

۳-۲. پارامترهای مدل

با توجه به فرضیات انجام شده، پارامترهای مدل عبارتند از:

J, L : شناساگر مربوط به مراکز بحران.

I : شناساگر مربوط به تامین‌کنندگان.

M : شناساگر مربوط به نوع کالا.

N : شناساگر مربوط به نوع انبار (مرکز بحران).

d_{jk}: فاصله بین مرکز بحران مستقر شده در نقطه j و نقطه تقاضای k ام.

π_k: احتمال وقع بحران یا درجه آسیب‌پذیری در نقطه تقاضای k ام.

N_k : متوسط جمعین بحران‌زده و نیازمند کمک در نقطه تقاضای k ام.

W: ضریب اهمیت کلی نزدیکی مراکز بحران به یکدیگر نسبت به نزدیکی مراکز بحران به نقاط تقاضا (ضریب اهمیت کلی نوع II).

Cap_n: ظرفیت انبار نوع n بر اساس تعداد افراد.

w_j: ضریب اهمیت جزئی نوع II بین مراکز بحران مستقر شده در نقطه j ام و مرکز بحران حامی.

F_{nj}: هزینه استقرار انبار نوع n در نقطه کاندید j ام.

c_{ijm}: هزینه انتقال یک واحد کالای m از تامین‌کننده i ام به مرکز بحران مستقر شده در مکان j ام.

c'_{jlm}: هزینه انتقال یک واحد کالای m از مرکز بحران مستقر شده در مکان l ام (به عنوان مرکز بحران حمایت کننده) به مرکز بحران مستقر شده در مکان j ام (به‌عنوان مرکز بحران حمایت شونده).

S_{im}: ظرفیت کالای m برای تامین‌کننده i ام.

$$P_{im} = \begin{cases} 1 & \text{اگر تامین‌کننده } i \text{ ام کالای } m \text{ را تولید کند به‌عبارتی اگر } S_{im} > 0. \\ 0 & \text{در غیر اینصورت.} \end{cases}$$

γ_j: ضریبی برای تعیین حد مجاز تقاضاهای تحت پوشش مرکز j .

α: ضریب اطمینان برای نگهداری موجودی‌ها جهت پاسخگویی به بحران.

β_m: ضریب مصرف مربوط به کالای m برای هر نفر.

۳-۳. متغیرهای مدل

بطورکلی متغیرهای مدل ارائه شده از نوع عدد صحیح و اکثرا از نوع صفر و یک (جهت تخصیص‌ها) می‌باشند که عبارتند از:

X_{jk} = 1 اگر مرکز مستقر شده در نقطه j به نقطه تقاضای k سرویس دهد.
0 در غیر اینصورت.

Y_{jl} = 1 اگر مرکز بحران مستقر شده در مکان l حمایت‌کننده مرکز بحران مستقر شده در j باشد.
0 در غیر اینصورت.

Z_{ijm} = 1 اگر تامین‌کننده i ام کالای m را برای مرکز مستقر شده در j تامین کند.
0 در غیر اینصورت.

U_{nj} = 1 اگر انبار نوع n در مکان j اسقرار یابد.
0 در غیر اینصورت.

V_{ijm}: میزان کالای نوع m ارسال شده از تامین‌کننده i به مرکز مستقر شده در j .

V'_{jlm}: میزان کالای نوع m ارسال شده از مرکز مستقر شده در l به مرکز مستقر شده در j .

۴. مدل‌سازی

همانطور که در قسمت ۲ نیز بیان شد در این قسمت به ارائه مدل در چهار حالت مختلف که از ترکیب وجود یا عدم وجود در تعداد مراکز بحران جدید و وجود یا عدم وجود مراکز بحران مستقر شده قبلی پرداخته می‌شود. مدل‌های ارائه شده در چهار حالت مختلف تنها در برخی از محدودیت‌ها یا تابع هدف با یکدیگر متفاوت می‌باشند، از اینرو تنها برای حالت اول یعنی حالت آزاد صفر توضیحات مدل بصورت جزئی بیان شده و در حالت‌های بعدی پس از ارائه مدل، تنها به توضیحات اضافی اکتفا می‌شود.

۴-۱. حالت آزاد صفر

همانطور که گفته شد در این حالت محدودیتی در تعداد مراکز وجود ندارد و هیچ مرکز بحرانی نیز از پیش در شبکه وجود ندارد از اینرو مدل ارائه شده بصورت ذیل می‌باشد.

$$Min \quad \sum_j \sum_k d_{jk}.\pi_k.N_k.X_{jk} + \sum_j \sum_{l \neq j} w_j.Y_{jl}.d_{jl}.\left(\sum_k \pi_k.N_k.X_{jk}\right) \qquad (۱)$$

$$Min \quad \sum_j \sum_n F_{nj}.U_{nj} + \sum_i \sum_j \sum_m c_{ijm}.V_{ijm} + \sum_l \sum_j \sum_m c'_{ijm}.V'_{jlm}.w_j \qquad (۲)$$

$$\sum_j X_{jk} = 1 \qquad \forall \quad k \qquad (۳)$$

$$\sum_{l \neq j} Y_{jl} = 1 \qquad \forall \quad j \qquad (۴)$$

$$\sum_i Z_{ijm} = 1 \qquad \forall \quad j,m \qquad (۵)$$

$$\sum_i V_{ijm} \leq \sum_n U_{nj}.Cap_n \qquad \forall \quad j,m \qquad (۶)$$

$$\sum_i V_{ijm} \leq S_{im} \qquad \forall \quad i,m \qquad (۷)$$

(۸)

(۹)

$$\sum_{n} U_{nj} \le 1 \qquad \forall \ \ j \tag{۱۰}$$

$$X_{jk} \le \sum_{n} U_{nj} \qquad \forall \ \ j,k \tag{۱۱}$$

$$2Y_{jl} \le \sum_{n} \left(U_{nj} + U_{nl}\right) \qquad \forall \ \ j,l \tag{۱۲}$$

$$2Z_{ijm} \le \sum_{n} U_{nj} + P_{im} \qquad \forall \ \ i,j,m \tag{۱۳}$$

$$V_{ijm} \le S_{im}.Z_{ijm} \qquad \forall \ \ i,j,m \tag{۱۴}$$

$$V'_{ijm} \le Y_{jl}.\sum_{i} V_{ilm} \qquad \forall \ \ l,j,m \ \& \ j \ne l \tag{۱۵}$$

$$\sum_{k} \pi_k.N_k.X_{jk} \le \gamma_j.\sum_{n} U_{nj}.Cap_n \qquad \forall \ \ j \tag{۱۶}$$

$$\sum_{i} V_{ijm} + \sum_{l} V'_{jlm} \ge \alpha \sum_{k} \beta_m \pi_k.N_k.X_{jk} \qquad \forall \ \ j,m \tag{۱۷}$$

$$X_{jk}, Y_{jl}, Z_{ijm}, U_{nj} \in \{0,1\} \qquad V_{ijm}, V'_{ljm} \in Z(Integer) \tag{۱۸}$$

بطوریکه تابع هدف اول (۱) بیانگر حداقل کردن متوسط فاصله مرکز مستقر شده با افراد آسیب‌دیده می‌باشد که در واقع همان کمینه کردن متوسط زمان پاسخگویی به افراد آسیب‌دیده می‌باشد و از دو قسمت تشکیل شده است. قسمت اول برای انتقال کالاها از مراکز بحران به مراکز تقاضا می‌باشد و قسمت دوم این تابع هدف بیانگر انتقال کالا از مراکز بحران حمایت‌کننده به مرکز بحران حمایت‌شونده می‌باشدکه دارای وزن کلی W می‌باشد. البته از آنجاییکه این نوع انتقال در صورت درخواست مرکز بحران حمایت-شونده معنی دار خواهد شد و این نوع درخواست در صورت اتمام موجودی در مرکز بحران مورد نظر امکان رخ دادن خواهد یافت از اینرو ضریب اصلی بین مراکز بحران j و l نسبتی از W می‌باشد که این نسبت برابر ظرفیت مرکز بحران j و میزان تقاضاهایی که توسط این مرکز پوشش داده می‌شود بستگی دارد. به‌عبارتی ضریب بین مراکز j و l تنها مشخصات مرکز بحران j بستگی دارد که با w_l نشان داده شده است، بطوریکه این ضرایب در محدودیت (۹) محاسبه می‌شوند. تابع هدف شماره (۲) در واقع بیانگر کمینه کردن هزینه‌های مربوط به استقرار و حمل‌ونقل کالاها بین تامین‌کنندگان و مراکز بحران و همچنین بین مراکز بحران حمایت‌کننده و حمایت‌شونده می‌باشد. در این تابع هدف نیز به علت اینکه انتقال بین مرکز بحران حمایت‌کننده l ام و مرکز بحران حمایت‌شونده j تنها در صورت اتمام موجودی در مرکز بحران j امکان رخ دادن خواهد یافت از اینرو در ضریب w_l ضرب می‌شوند. محدودیت (۳) تضمین می‌کند که هر یک از نقاط تقاضا توسط یک مرکز بحران پوشش داده شود. همچنین محدودیت (۴) تضمین کننده وجود یک مرکز بحران حمایت‌کننده برای هر یک از مراکز بحران مستقر شده می‌باشد. محدودیت (۵) تضمین می‌کند که مراکز بحران برای هر یک از کالاهای خود حداقل یک تامین‌کننده داشته باشد. محدودیت (۵) سبب می‌شود که ارسال کالای نوع m از تامین-کننده i به نقطه j ام درصورت وجود مرکز بحران در آن نقطه رخ دهد محدودیت (۶) سبب می‌شود که ارسال کالای نوع m از تامین‌کننده i به نقطه j ام درصورت وجود مرکز بحران در آن نقطه رخ دهد و محدودیت (۷) تضمین کننده عدم ارسال کالای نوع m به‌اندازه بیش از ظرفیت تامین‌کننده مربوطه است. محدودیت (۱۰) مانع استقرار بیش از یک نوع انبار (مرکز بحران) در هر نقطه می‌شود. همچنین محدودیت (۱۱) تضمین می‌کند که تحت‌پوشش قرار گرفتن نقطه k توسط نقطه j درصورتی رخ دهد که در نقطه j مرکز بحرانی مستقر شده باشد. محدودیت (۱۲) بیانگر این حقیقت است که نقطه l ام درصورتی می‌تواند مرکز حمایت‌کننده برای مرکز بحران در نقطه j باشد که در هر دو نقطه l و j مرکز بحران مستقر شده باشد. محدودیت (۱۳) تضمین کننده این مطلب است که ارسال کالای m از تامین کننده i ام به نقطه j تنها درصورت تولید توسط تامین‌کننده و استقرار مرکز در نقطه j امکانپذیر باشد. محدودیت (۱۴) تضمی‌ن می‌کند که کالا در صورت تخصی‌ص ی‌ک تامی‌ن کننده خاص می‌تواند به آن مرکز فرستاده شود.

محدودی‌ت (۱۵) نیز تضمین می‌کند که ارسال کالای m از مرکز بحران l به مرکز بحران j تنها درصورتی امکانپذیر باشد که مرکز l ام حمایت‌کننده مرکز مستقر شده در j باشد و این مقدار حداکثر برابر با کالاهای ارسال شده به مرکز مستقر شده در l می‌باشد. محدودی‌ت (۱۶) تصمی‌ن می‌کند که مجموع کالاهای ارسالی به مرکز مستقر شده در مکان j و مجموع کالاهای حمای‌تی حداقل α درصد کل تقاضای احتمالی را پوشش دهد و در نهایت محدودیت (۱۷) تضمین می‌کند که متوسط افراد تحت پوشش در مستقر شده در j از حد مجاز تعیین شده بیشتر نباشد. و محدودیت (۱۸) نیز بیانگر متغیرهای تعریف شده در مساله می‌باشد.

۴-۲. حالت آزاد توسعه‌ای

در این حالت از ابتدا تعدادی مرکز مستقر شده در شبکه وجود دارد از اینرو منطقی است که مکانیابی جهت استقرار مراکز بحران جدید به‌گونه‌ای انجام گیرد که از مراکز مستقر شده قبلی بهتری استفاده شود. به‌همین منظور در این حالت یک پارامتر صفر و یک جدید را بصورت ذیل تعریف می‌کنیم.

$$Pc_{nj} = \begin{cases} 1 & \text{اگر در نقطه j مرکز بحران نوع n مستقر شده باشد.} \\ 0 & \text{در غیر اینصورت.} \end{cases}$$

بنابراین در این حالت محدودیت $U_{nj} \geq Pc_{nj}$ را به مدل قبلی اضافه می‌کنیم. در این واقع این محدودیت تضمین می‌کند که مراکز مستقر شده قبلی در مکان خود باقی‌بمانند. البته باید توجه داشت که در این حالت محاسبه هزینه استقرار نسبت به مدل قبلی کمی متفاوت خواهد شد و هزینه استقرار تنها برای مراکز مستقر شده جدید محاسبه می‌شود. از اینرو مدل ارائه شده قبلی بصورت زیر تغییر می‌یابد.

$$Min \quad \sum_j \sum_k d_{jk}.\pi_k.N_k.X_{jk} + \sum_j \sum_{l \neq j} w_j.Y_{jl}.d_{jl}.\left(\sum_k \pi_k.N_k.X_{jk}\right) \tag{۱۹}$$

$$Min \quad \sum_j \sum_n F_{nj}.\left(U_{nj} - Pc_{nj}\right) + \sum_i \sum_j \sum_m c_{ijm}.V_{ijm} + \sum_l \sum_j \sum_m c'_{ijm}.V'_{jlm}.w_j \tag{۲۰}$$

$$\sum_j X_{jk} = 1 \qquad \forall \quad k \tag{۲۱}$$

$$\sum_{l \neq j} Y_{jl} = 1 \qquad \forall \quad j \tag{۲۲}$$

$$\sum_i Z_{ijm} = 1 \qquad \forall \quad j,m \tag{۲۳}$$

$$\sum_i V_{ijm} \leq \sum_n U_{nj}.Cap_n \qquad \forall \quad j,m \tag{۲۴}$$

$$\sum_j V_{ijm} \leq S_{im} \qquad \forall \quad i,m \tag{۲۵}$$

$$\sum_{j \neq l} V'_{jlm} \quad \leq \quad \sum_i V_{ilm} \qquad \forall \quad l,m \tag{۲۶}$$

$$w_j.\sum_n U_{nj}.Cap_n = W.\sum_k \pi_k.N_k.X_{jk} \qquad \forall \quad j,l \;\&\; j \neq l \tag{۲۷}$$

$$\sum_n U_{nj} \leq 1 \qquad \forall \quad j \tag{۲۸}$$

$$X_{jk} \leq \sum_n U_{nj} \qquad \forall \quad j,k \tag{۲۹}$$

$$2Y_{jl} \leq \sum_n \left(U_{nj} + U_{nl}\right) \qquad \forall \quad j,l \tag{۳۰}$$

$$2Z_{ijm} \leq \sum_n U_{nj} + P_{im} \qquad \forall \quad i,j,m \tag{۳۱}$$

$$V_{ijm} \leq S_{im}.Z_{ijm} \qquad \forall \quad i,j,m \tag{۳۲}$$

$$V'_{ijm} \le Y_{jl}.\sum_i V_{ilm} \qquad \forall \ \ l, j, m \ \& \ j \ne l \qquad (۳۳)$$

$$\sum_k \pi_k.N_k.X_{jk} \le \gamma_j.\sum_n U_{nj}.Cap_n \qquad \forall \qquad j \qquad (۳۴)$$

$$\sum_i V_{ijm} + \sum_l V'_{jlm} \ge \alpha \sum_k \beta_m \pi_k.N_k.X_{jk} \qquad \forall \quad j, m \qquad (۳۵)$$

$$U_{nj} \ge Pc_{nj} \qquad \forall\ n, j \qquad (۳۶)$$

$$X_{jk}, Y_{jl}, Z_{ijm}, U_{nj} \in \{0,1\} \qquad V_{ijm}, V'_{ijm} \in Z(Integer) \qquad (۳۷)$$

۴-۳. حالت محدود صفر

همانطور که گفته شد در این حالت در تعداد مراکز بحران جدید محدودیت وجود دارد و هیچ مرکز بحرانی نیز از پیش در شبکه وجود ندارد. بطور کلی این محدودیت می‌تواند به دو صورت بیان شود. حالت اول بصورت محدودیت بودجه در استقرار مراکز بحران و حالت دوم بصورت حداکثر تعداد مراکز استقرار یافته از هر نوع. از اینرو بسته به نوع بیان این محدودیت یکی از محدودیت‌های (۳۸) یا (۳۹) را به مدل اولیه (حالت آزاد صفر) اضافه می‌کنیم.

$$\sum_j \sum_n F_{nj}.U_{nj} \le Bud \qquad (۳۸)$$

$$\sum_j U_{nj} \le M_n \qquad (۳۹)$$

بطوریکه Bud و M_n به‌ترتیب بیانگر حداکثر بودجه در دست جهت استقرار مراکز و حداکثر تعداد مراکز جدید از هر نوع می‌باشد. مدل مربوط به این حالت با فرض بیان محدودیت در بودجه بصورت ذیل می‌باشد.

$$Min \quad \sum_j \sum_k d_{jk}.\pi_k.N_k.X_{jk} + \sum_j \sum_{l \ne j} w_j.Y_{jl}.d_{jl}.\left(\sum_k \pi_k.N_k.X_{jk}\right) \qquad (۴۰)$$

$$Min \quad \sum_j \sum_n F_{nj}.U_{nj} + \sum_i \sum_j \sum_m c_{ijm}.V_{ijm} + \sum_l \sum_j \sum_m c'_{ijm}.V'_{jlm}.w_j \qquad (۴۱)$$

$$\sum_j X_{jk} = 1 \qquad \forall \quad k \qquad (۴۲)$$

$$\sum_{l \ne j} Y_{jl} = 1 \qquad \forall \quad j \qquad (۴۳)$$

$$\sum_i Z_{ijm} = 1 \qquad \forall \quad j, m \qquad (۴۴)$$

$$\sum_i V_{ijm} \le \sum_n U_{nj}.Cap_n \qquad \forall \quad j, m \qquad (۴۵)$$

$$\sum_j V_{ijm} \le S_{im} \qquad \forall \quad i, m \qquad (۴۶)$$

$$\sum_{j \ne l} V'_{jlm} \quad \le \quad \sum_i V_{ilm} \qquad \forall \quad l, m \qquad (۴۷)$$

$$w_j.\sum_n U_{nj}.Cap_n = W.\sum_k \pi_k.N_k.X_{jk} \qquad \forall \quad j, l \ \& \ j \ne l \qquad (۴۸)$$

$$\sum_n U_{nj} \le 1 \qquad \forall \quad j \qquad (۴۹)$$

$$X_{jk} \le \sum_n U_{nj} \qquad \forall \ j, k \qquad (۵۰)$$

$$2Y_{jl} \le \sum_n \left(U_{nj} + U_{nl}\right) \qquad \forall \ j, l \qquad (۵۱)$$

$$2Z_{ijm} \le \sum_n U_{nj} + P_{im} \qquad \forall \ i, j, m \qquad (۵۲)$$

$$V_{ijm} \le S_{im}.Z_{ijm} \qquad \forall \quad i, j, m \qquad (۵۳)$$

(۵۴)

(۵۵)

(۵۶)

(۵۷)

(۵۸)

همانطور که گفته شد محدودیت (۵۷) تضمین می‌کند که میزان هزینه استقرار از بودجه در دست بیشتر نباشد.

۴-۴. حالت محدود توسعه‌ای

این حالت تلفیقی از دو حالت محدود صفر و آزاد توسعه‌ای می‌باشد. با این تفاوت که در این حالت برای نوشتن محدودیت‌های بودجه یا تعداد مراکز بحران جدید، مراکز مستقر شده را به‌حساب نمی‌آوریم. از اینرو روابط (۳۸) و (۳۹) به‌صورت زیر تغییر می‌یابد.

$$\sum_j \sum_n F_{nj}.\left(U_{nj} - Pc_{nj}\right) \le Bud \quad (۵۹)$$

$$\sum_j \left(U_{nj} - Pc_{nj}\right) \le M_n \quad (۶۰)$$

از اینرو با در نظر گرفتن مدودیت بودجه مدل اصلی (حالت آزاد صفر) بصورت زیر تغییر می‌یابد.

$$Min \quad \sum_j \sum_k d_{jk}.\pi_k.N_k.X_{jk} + \sum_j \sum_{l \ne j} w_j.Y_{jl}.d_{jl}.\left(\sum_k \pi_k.N_k.X_{jk}\right) \quad (۶۱)$$

$$Min \quad \sum_j \sum_n F_{nj}.\left(U_{nj} - Pc_{nj}\right) + \sum_i \sum_j \sum_m c_{ijm}.V_{ijm} + \sum_l \sum_j \sum_m c'_{ijm}.V'_{jlm}.w_j \quad (۶۲)$$

$$\sum_j X_{jk} = 1 \qquad \forall \quad k \quad (۶۳)$$

$$\sum_{l \ne j} Y_{jl} = 1 \qquad \forall \quad j \quad (۶۴)$$

$$\sum_i Z_{ijm} = 1 \qquad \forall \quad j,m \quad (۶۵)$$

$$\sum_i V_{ijm} \le \sum_n U_{nj}.Cap_n \qquad \forall \quad j,m \quad (۶۶)$$

$$\sum_j V_{ijm} \le S_{im} \qquad \forall \quad i,m \quad (۶۷)$$

$$\sum_{j \ne l} V'_{jlm} \le \sum_i V_{ilm} \qquad \forall \quad l,m \quad (۶۸)$$

$$w_j.\sum_n U_{nj}.Cap_n = W.\sum_k \pi_k.N_k.X_{jk} \qquad \forall \quad j,l \;\&\; j \ne l \quad (۶۹)$$

$$\sum_n U_{nj} \le 1 \qquad \forall \quad j \quad (۷۰)$$

$$X_{jk} \le \sum_n U_{nj} \qquad \forall \quad j,k \quad (۷۱)$$

$$2Y_{jl} \le \sum_n \left(U_{nj} + U_{nl}\right) \qquad \forall \quad j,l \quad (۷۲)$$

$$2Z_{ijm} \le \sum_n U_{nj} + P_{im} \qquad \forall \quad i,j,m \quad (۷۳)$$

(۷۴)

(۷۵)

(۷۶)

(۷۷)

(۷۸)

(۷۹)

(۸۰)

۵. تعیین موجودی قبل از وقوع بحران

پس از تعیین نقاط استقرار و تخصیص نقاط تقاضا به مراکز استقرار، تعین موجودی هر یک از مراکز مستقر شده دارای اهمیت بسیار می‌باشد. زیرا نگهداری بیش از اندازه موجودی موجب زیاد شدن هزینه‌نگهداری و عدم نگهداری موجودی به‌اندازه مناسب و کافی موجب بروز کمبود به‌هنگام وقوع بحران خواهد شد. از اینرو برنامه‌ریزی در مورد این مهم ضرورت می‌یابد. حال با این فرض که کالا قابلیت جایگزین شدن توسط یکدیگر را ندارند برای تعیین سطح موجودی اقلام بطوریکه احتمال کمبود در دوره مشخص برابر α باشد پارامترهای زیر را علاوه‌بر پارامترهای تعریف شده در قسمت ۳ تعریف می‌کنم.

Inv_{jm}: میزان موجودی برای کالای m در مرکز مستقر شده j.

α: احتمال عدم رخ دادن کمبود.

d_{km}: تقاضای کالای m در نقطه تقاضای k ام به‌هنگام وقوع بحران.

D_{jm}: مقدار کالای m در مرکز j.

Cap_j: ظرفیت انبار مستقر شده در نقطه j.

بنابرای با وقوع بحران، نیاز هر فرد برای کالای m در دوره مشخص برابر با β_m می‌باشد. لذا مجموعه تقاضای کالای m در نقطه تقاضای k ام برابر است با

$$d_{km} = \beta_m.N_k \qquad (۸۱)$$

از طرفی وقوع بحران در نقطه تقاضای k ام دارای احتمال π_k می‌باشد به‌عبارتی دارای یک توزیع برنولی با $p = \pi_k$ می‌باشد از اینرو با توجه به قوانین آماری میانگین و واریانس وقوع بحران در نقطه k ام برابر است با

$$\mathrm{E}(\text{وقوع بحران}) = \pi_k$$

$$Var(\text{وقوع بحران}) = \pi_k(1-\pi_k)$$

حال با توجه به فرض استقلال وقوع بحران در نقاط مختلف و با توجه به اینکه $E(aX) = a.E(X)$ و $Var(aX) = a^2.Var(X)$ روابط زیر حاکم است.

$$\overline{d}_{km} = E(d_{km}) = \beta_m.N_k.\pi_k \qquad (۸۲)$$

$$Var(d_{km}) = (\beta_m.N_k)^2.\pi_k(1-\pi_k) \qquad (۸۳)$$

بنابرای میانگین و واریانس مقدار کالایی که باید در مرکز مستقر شده در نقطه j نگهداری شود بصورت زیر بدست می‌آید.

$D_{jm} = \sum_k$ (تقاضای کالای نوع m در نقاط تحت پوشش مرکز مستقر شده j)

$$\overline{D}_{jm} = E(D_{jm}) = \sum_k (\beta_m.N_k.\pi_k)X_{jk} \qquad (۸۴)$$

$$\sigma^2_{D_{jm}} = Var(D_{jm}) = \sum_k (\beta_m.N_k.X_{jk})^2.\pi_k.(1-\pi_k) \qquad (۸۵)$$

حال چنانچه بخواهیم در α٪ دچار کمبود نشویم میزان موجودی کالای m در انبار مستقر شده j ام برابر است با

$$P(D_{jm} \le Inv_{jm}) = \alpha \quad \Rightarrow \quad P\left(Z \le \frac{Inv_{jm} - \overline{D}_{jm}}{\sigma_{D_{jm}}}\right) = \alpha$$
$$\frac{Inv_{jm} - \overline{D}_{jm}}{\sigma_{D_{jm}}} = Z_{1-\alpha} \quad \Rightarrow \quad Inv_{jm} = \overline{D}_{jm} + Z_{1-\alpha}.\sigma_{D_{jm}} \qquad (۸۶)$$

$$Inv_{jm} = \sum_k \beta_m.N_k.\pi_k.X_{jk} + Z_{1-\alpha}\sqrt{\sum_k (\beta_m.N_k.X_{jk})^2.\pi_k.(1-\pi_k)} \qquad (۸۷)$$

البته پس از استقرار مراکز و تخصیص نقاط تقاضا به مراکز X_{jk} مشخص می‌شوند لذا می‌توان رابطه (۸۷) را بصورت رابطه (۸۸) تغییر داد.

$$Inv_{jm} = \sum_{k|X_{jk}=1} \beta_m.N_k.\pi_k + Z_{1-\alpha}\sqrt{\sum_{k|X_{jk}=1} (\beta_m.N_k)^2.\pi_k.(1-\pi_k)} \qquad (۸۸)$$

البته باید توجه داشت ممکن است مقدار بدست آمده توسط رابطه (۷۹) یا (۸۰) از ظرفیت مرکز بحران مستقر شده بیشتر باشد لذا در اینصورت حداکثر می‌توان به‌اندازه ظرفیت آن در مرکز بحران موجودی نگهداری کرد.

$$Inv_{jm} = Min(Inv_{jm}, Cap_j) \qquad (۸۹)$$

۶. نحوه سفارش‌دهی پس از وقوع بحران

پس از تعیین موجودی اولیه در هر یک از مراکز بحران در این قسمت می‌خواهیم تعیین کنیم پس از وقوع بحران و مصرف موجودی اولیه، سفارش‌دهی در چه زمانی و از چه تامین‌کننده‌ای (تامین‌کننده اصلی اختصاص یافته به مرکز مورد نظر و یا مرکز بحران حمایت‌کننده) صورت پذیرد. اگرچه مدل‌سازی موجودی در زنجیره‌های تامین با چند تامین‌کننده از حوزه‌های بسیار فعال تحقیقاتی می‌باشد و تحقیقات زیادی در ین زمینه انجام گرفته است ولی در این مقاله سعی می‌شود از یک رویکرد ساده و کارا جهت سفارش-دهی کالاها استفاده شود.

بطور کلی در مدلسازی موجودی با چند تامین‌کننده نظیر [۱۱] و [۲] فرض شده سیستم بازرسی موجودی بصورت پیوسته انجام گرفته و دو سطح برای انجام سفارش مجدد تعیین شده است. به‌عبارتی این مدل‌ها حالت تعمیم‌یافته مدل استاندارد (r ، Q) می-باشند بطوریکه به جای تعیین مقادیر r و Q مقادیر Q_1، Q_2، r_1، r_2 تعیین می‌گردند. در این سیاست سفارش‌دهی چنانچه سطح موجودی به r_1 رسید به میزان Q_1 سفارش داده می‌شود (که در واقع همان سفارش عادی می‌باشد) و چنانچه سطح موجودی به r_2 رسید به میزان Q_2 سفارش داده می‌شود که در واقع همان سفارش اضطراری می‌باشد. علاوه‌براین زمان تاخیر مربوط به هر دو نوع سفارش‌دهی عادی و اضطراری مشخص و ثابت است و به ترتیب برابر LT_O و LT_E می‌باشد (بطوریکه $LT_E < LT_o$). همچنین سفارش‌دهی اضطراری دارای هزینه سفارش‌دهی و هزینه خرید بیشتری نسبت به سفارش‌دهی عادی می‌باشد.

در مدل ارائه شده در این تحقیق نیز این فرضیات حاکم می‌باشد زیرا اولا سفارش‌دهی اضطراری یعنی سفارش به مرکز بحران حمایت‌کننده به دلیل موجود بودن کالاها دارای زمان تاخیر کمتر می‌باشد. ثانیا مرکز حمایت‌کننده پس از ارسال کالاهای درخواست شده، خود نیز برای جایگزین کردن کالاهای ارسالی نیازمند سفارش‌دهی به تامین‌کننده اصلی می‌باشد. ازاینرو فرض بیشتر بودن هزینه سفارش‌دهی و خرید (به‌دلیل حمل و نقل اضافی) در مواقع اضطراری فرض منطقی می‌باشد. بنابراین بدیهی است که تا حد امکان بهتر است سفارش‌های انجام شده از نوع عادی باشد زیرا علاوه‌بر کاهش هزینه‌ها ریسک کمبود درصورت وقوع بحران در مرکز حمایت‌کننده را نیز کاهش می‌دهد. علاوه‌براین فرض کنید به‌هنگام وقوع بحران تقاضاها در دوره‌های معین T بصورت تصادفی بین ۱ تا K عدد باشد. حال با توجه به فرضیات مطرح شده پارامترهای زیر را تعریف می‌کنیم.

r_1 : سطح موجودی برای انجام سفارش عادی.

r_2 : سطح موجودی برای انجام سفارش اضطراری.

Q_1 : میزان سفارش در مواقع عادی.

Q_2 : میزان سفارش در مواقع اضطراری.

Re : سطح واقعی موجودی در دست به هنگام انجام سفارش.

I : سطح موجودی در دست قبل از انجام سفارش (قبل از دریافت آخرین تقاضا که منجر به سفارش مجدد شود).

I': موجودی در دست پس از ارسال تقاضای رسیده شده.

$$I' = I - D$$

D : تقاضا که دارای توزیع یکنواخت بین ۱ تا k می‌باشد. $D \sim Unif[1 \underset{k>1}{,} k]$

α: احتمال عدم مواجه با کمبود در صورت رخ دادن بحران در تمام نقاط تحت پوشش

همانطورکه گفته شد چنانچه $I' \le r_1$، سفارش عادی و چنانچه $I' \le r_2$ باشد سفارش اضطراری انجام می‌گیرد. با توجه به پارامترهای تعریف شده

$$\mathrm{Re} = I'$$

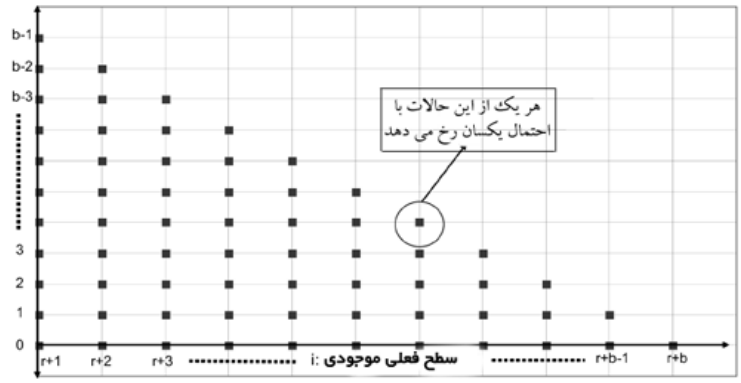
حال متغیر Y را بصورت زیر تعریف می‌کنیم.

$$Y = \begin{cases} r_1 - I' & I' < r_1 \\ \\ 0 & Otherwise \end{cases} \qquad (۹۰)$$

بدیهی است که متغیر Y در واقع بیانگر میزان اختلاف موجودی با سطح r_1 می‌باشد بنابراین

$$\mathrm{Re} = r_1 - Y \quad \Rightarrow \quad E(\mathrm{Re}) = r_1 - E(Y) \qquad (۹۱)$$

ازاینرو برای تعیین متوسط موجودی به‌هنگام سفارش‌دهی کافی است متوسط اختلاف سطح بین r_1 و Re را تعیین کنیم. حال فرض کنید موجودی‌دردست قبل از انجام سفارش‌دهی برابر با I باشد بنابراین اگر $I > r_1 + K$ باشد تقاضای رسیده شده منجر به مثبت شدن Y یا سفارش مجدد نخواهد شد (چون $D \le K$) ولی چنانچه این مقدار بین $[r_1+1 \ ، \ r_1+K]$ باشد ممکن است برآورده‌سازی تقاضای جدید موجب مثبت شدن Y یا سفارش مجدد گردد. شکل-۱ مجموعه حالت‌های I که منجر به سفارش مجدد می‌گرددرا به همراه Y مربوطه نشان می‌دهد بطوریکه در محور X حالت‌های ممکن I و در محور Y میزان اختلاف از سطح r_1 (یعنی همان Y) نشان داده شده است. حال اگر تابع چگالی Y را با g(y) نشان دهیم، داریم



شکل-۱ حالات مختلف برای توزیع Y

$$g(y) = \frac{K - y}{\sum_{n=1}^{K} n} \qquad 0 \le y \le K-1 \qquad (۹۲)$$

از آنجاییکه می‌دانیم $\sum_{n=1}^{K} n = \frac{K(K+1)}{2}$، بنابراین (۸۴) بصورت زیر تغییر می‌یابد.

$$g(y) = \frac{2(K - y)}{K(K+1)} \qquad 0 \le y \le K-1 \qquad (۹۳)$$

$$E(Y)=\sum_{y=0}^{K-1} y.g(y)=\sum_{y=0}^{K-1} y.\frac{2(K-y)}{K(K+1)}=\frac{2}{K(K+1)}\left[\sum_{y=0}^{K-1} y.K-\sum_{y=0}^{K-1} y^2\right]=\frac{K-1}{3}$$

بنابراین با توجه به (۹۱) و (۹۳) متوسط سطح موجودی به‌صورت زیر محاسبه می‌شود.

$$E(\mathrm{Re})=r_1-\left(\frac{K-1}{3}\right) \qquad (۹۴)$$

از طرفی می‌دانیم چنانچه تقاضا در زمان تاخیر دارای توزیع یکنواخت [a , b] باشد نقطه سفارش مجدد بصورت زیر بدست می‌آید.

$$ROP=a+(b-a)(1-\alpha) \qquad (۹۵)$$

می‌دانیم که میزان تقاضای رسیده در هر بازه زمانی T دارای توزیع یکنواخت [K ، ۱] می‌باشد از طرفی تعداد دفعات تقاضا برابر $\left[\frac{LT_o}{T}\right]$ می‌باشد از اینرو کل تقاضا در این زمان دارای توزیع یکنواخت $\left[1\times\left[\frac{LT_o}{T}\right], K\times\left[\frac{LT_o}{T}\right]\right]$ می‌باشد بنابراین

$$\mathrm{Re}=1\times\left[\frac{LT_o}{T}\right]+\left(K\times\left[\frac{LT_o}{T}\right]-1\times\left[\frac{LT_o}{T}\right]\right)(\alpha)=\left[\frac{LT_o}{T}\right](1+(K-1)(\alpha)) \qquad (۹۶)$$

از اینرو داریم

$$E(\mathrm{Re})=r_1-\left(\frac{K-1}{3}\right)=\left[\frac{LT_o}{T}\right](1+(K-1)(\alpha)) \Rightarrow$$

$$r_1=\left[\frac{LT_o}{T}\right](1+(K-1)(\alpha))+\left(\frac{K-1}{3}\right) \Rightarrow \qquad (۹۷)$$

$$r_1=\left[\frac{LT_o}{T}\right]+\frac{(K-1)}{3}\left(\left[\frac{LT_o}{T}\right](3\alpha)+1\right)$$

از طرفی می‌توان نشان داد [۲] در چنین سیستم‌هایی سفارش اضطراری در حالتی انجام می‌شود که سطح موجوی به صفر برسد یعنی $r_2=0$.

از آنجاییکه زمان تاخیر برای سفارش‌دهی عادی، LTO، بیشتر از زمان تاخیر سفارش‌دهی اضطراری، LTE، می‌باشد و از طرفی چون هزینه‌های سفارش و خرید در حالت اضطراری بیشتر است از این سفارش‌دهی تنها برای برآورده‌سازی نیازها در زمان تاخیر LTO استفاده می‌کنیم. اما از آنجاییکه سفارش اضطراری خود نیز دارای زمان تاخیر LTE می‌باشد لذا سفارش اضطراری نیز تنها پاسخگوی تقاضاها در بازه زمانی [LTO،LTE] می‌باشد و تقاضاهای رسیده در بازه $[0, LT_E]$ با کمبود مواجه خواهند شد. حال چنانچه فرض شود تقاضاها از نوع جبرانی باشد و بخواهیم هر چه سریعتر به آن‌ها پاسخ گوییم میزان سفارش برابر با $Q_2=\overline{D}.\frac{LT_O}{T}=\frac{K+1}{2}.\frac{LT_O}{T}$. در غیر ایصورت یعنی با فرض از دست رفتن تقاضاها میزان سفارش اضطراری برابر است با

$$Q_2=\overline{D}.(LT_O-LT_E)=\frac{K+1}{2}.\frac{(LT_O-LT_E)}{T} \qquad (۹۸)$$

و میزان سفارش عادی نیز برابر با حالت عادی مثلا همان Q ویلسون می‌باشد. بنابراین می‌توان گفت:

- چنانچه موجودی از سطح r_1 کمتر باشد سفارش عادی به میزان Q_1 انجام می‌گیرد بطوریکه

$$Q_1=\sqrt{\frac{2(OrderCost)(Demand)}{HoldingCost}} \qquad (۹۹)$$

- چنانچه موجودی به سطح صفر رسید دو نوع سفارش عادی و اضطراری را با هم انجام می‌دهیم بطوریکه

$$Q_1 = \sqrt{\frac{2(OrderCost)(Demand)}{HoldingCost}}$$

(۱۰۰)

$$Q_2 = \begin{cases} \frac{K+1}{2}.\frac{LT_O}{T} & \text{اگر کمبود قابل جبران باشد} \\ \frac{K+1}{2}.\frac{(LT_O - LT_E)}{T} & \text{اگر کمبود قابل جبران نباشد} \end{cases}$$

۷. جمع‌بندی

همانطور که گفته شد علیرغم پیشرفت‌های علمی، نگرانی در مورد بروز بحران‌های طبیعی چندان کاهش نیافته است. از اینرو برنامه‌ریزی و آمادگی جهت رویارویی و پاسخگویی هرچه بهتر و سریعتر به بحران امری ضروری و مهم می‌باشد. بر این اساس در این تحقیق به ارائه مدل‌هایی جهت مکان‌یابی مراکز بحران در شبکه با هدف کمینه‌کردن متوسط فاصله مراکز مستقر شده برای افراد آسیب‌دیده و هزینه‌های استقرار و حمل‌ونقل در حالت‌های مختلف وجود یا عدم وجود محدودیت در تعداد مراکز مستقر شده جدید و وجود یا عدم وجود مراکز مستقر شده قبلی پرداخته شده است. پس از مکان‌یابی مراکز بحران به تعیین موجودی در دست اقلام پیش از وقوع بحران پرداخته شده است در نهایت نیز روشی برای نحوه سفارش‌دهی کالاها در زمان پاسخگویی بحران ارائه شده است. جهت توسعه مدل و تحقیقات آتی می‌توان به موارد زیر اشاره کرد: **الف**. در این تحقیق وقوع بحران در نقاط تقاضا مستقل از یکدیگر فرض شده است در صورتیکه این فرض چندان واقعی نمی‌باشد. زیرا چنانچه در یکی از نقاط بحران رخ دهد احتمالا بحران رخداده شده در نقاط اطراف نیز تاثیرگذار می‌باشد لذا در نظر گرفتن این وابستگی بین نقاط می‌تواند یکی از زمینه‌ها برای تحقیقات آتی باشد. **ب**. پس از وقوع بحران ممکن است راه‌های ارتباطی اصلی بین مراکز و نقاط بحران‌دیده دچار آسیب شده و استفاده از آنها امکان‌پذیر نباشد لذا در نظر گرفتن مسیرهای ثانویه و لحاظ کردن آن در مدل‌های مکان‌یابی مراکز بحران (به‌عبارتی مکان‌یابی و مسیر یابی) نیز می‌تواند از دیگر زمینه‌ها جهت تحقیقات آتی مطرح گردد. **ج**. در مورد تعیین و سفارش موجودی‌هانیز فرض شده است که کالاها امکان جایگزین شدن توسط یکدیگر را ندارند. از اینرو در نظر گرفتن این امکان برای کالاها و استفاده از آن در تعیین سطح موجودی‌ها قبل از وقوع بحران و نحوه سفارش‌دهی کالا در زمان پاسخ موجب واقعی‌تر شدن شرایط و فرضیات شده و می‌تواند به‌عنوان زمینه آتی جهت تحقیقات ارائه شود.

۸. منابع

[1]. A. Akkihal, “Inventory Pre-positioning for Humanitarian Operations”, Thesis for Degree of Master of Engineering in Logistics, MIT CTL, June 2006.
[2]. B. Beamon, S. Kotleba, “Inventory Modeling for Complex Emergencies in Humanitarian Relief Operations”, International Journal of Logistics: Research and Applications, Vol. 9, No. 1, pp. 1-18, March 2006.
[3]. Oh, S. and Haghani, A., Formulation and solution of a multi-commodity, multi-modal network flow model for disaster relief operations. *Transport. Res.*, 1996, 30, 231–250.
[4]. Fenton, G., Coordination in the great lakes. *Forced Migr. Rev.*, 2003, 18, 23–24.
[5]. Thomas, A., Humanitarian logistics: enabling disaster response, Fritz Institute, 2003.
[6]. Barbarosoglu, G., Ozdamar, L. and Cevik, A., An interactive approach for hierarchical analysis of helicopter logistics in disaster relief operations. *Eur. J. Operation Res.*, 2002, 140, 118–133.
[7]. Thomas, M.U., Supply reliability for contingency operations, in *Proceedings of the Annual Reliability andMaintainability Symposium*, 2002.
[8]. Barbarosoglu, G. and Arda,Y.,A two-stage stochastic programming framework for transportation planning in disaster response. *J. Operational Res. Soc.*, 2004, 55, 43–53.

[9]. Ozdamar, L., Ekinci, E. and Kucukyazici, B., Emergency logistics planning in natural disasters. *Ann. Operations Res.*, 2004, 129, 217–245.
[10]. Sakakibara, H., Kajitani, Y. and Okada, N., Road network robustness for avoiding functional isolation in disasters. *J. Transport. Engng –ASCE*, 2004, 130, 560–567.
[11]. Moinzadeh, K. and Nahmias, S.,A continuous review model for an inventory system with two supply modes. *Mgmnt Sci.*, 1988, 34, 761–773.