





دانشکده‌ی مهندسی صنایع و مدیریت
پایان نامه کارشناسی ارشد مدیریت کسب و کار

ارائه مدل ریاضی برنامه ریزی تخصیص و زمان بندی تیم‌های امدادی در شرایط بحران (نمونه
موردی: شرکت گاز استان سمنان)

نگارنده : مصطفی نجفی

استاد راهنما :

دکتر بزرگمهر اشرفی

استاد مشاور :

دکتر علی اکبر حسنی

بهمن ۹۵

تقدیم بہ:

ہمہ می آنہا کہ بہ من آموختند...

پاسکزاری...

خدایا به من زیتی عطا کن که در محط مرگ بر بی ثمری محط ای که برای زیستن گذشته است
حسرت نخورم و مردنی عطا کن که بر یهودگی اش سوگوار نباشم...

حمد و پاس بی قیاس خداوند سبحان را که به بندگان خود منت نهاد و او را به زیور عقل و خرد
آراست تا بوسیده آن عبودیت و ذات بی همتهای خداوند را پیشه کند تا تعالی یابد.

قدردانم زحمت ارزشمنند اساتید فریخته جناب آقای دکتر بزرگمهر اشرفی و جناب آقای دکتر
علی اکبر حسینی و سپاسدارم تعلیمات و ارشادات ایشان را که با عنایت و حسن توجه، صورانه
همپای جستجوهایم مراراً بنما بودند.

هر نفس ساکرم وجود پدر و مادری دانا و مهربان را که به فضل خدا زندگانیم را به نور وجودشان نورانی
نموده است و همسر همدلی که با واژه می نجیب و مغرور تلاش؛ آشنایی دارد و تلاش راستین را
می شناسد و عطر رویایی آن را استشمام می کند و مراد راه رسیدن به اهداف عالی یاری می رساند.

تعهد نامه

اینجانب **مصطفی نجفی** دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته مدیریت MBA دانشکده مهندسی صنایع و مدیریت دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه ارائه مدل ریاضی برنامه ریزی تخصیص و زمان بندی تیم های امدادی در شرایط بحران (نمونه موردی: شرکت گاز استان سمنان) تحت راهنمایی دکتر بزرگمهر اشرفی و مشاوره دکتر علی اکبر حسینی متعهد می شوم:

- تحقیقات در این پایان نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است.
- در استفاده از نتایج پژوهشهای محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است.
- مطالب مندرج در پایان نامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است.
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد و مقالات مستخرج با نام «دانشگاه صنعتی شاهرود» و یا «Shahrood University of Technology» به چاپ خواهد رسید.
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان نامه تأثیرگذار بوده اند در مقالات مستخرج از پایان نامه رعایت می گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که از موجود زنده (بافتهای آنها) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل رازداری، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است.

امضای دانشجو

تاریخ

مالکیت نتایج و حق نشر

- کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج، کتاب، برنامه های رایانه ای، نرم افزار ها و تجهیزات ساخته شده است) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد. این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود.
- استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی باشد.

چکیده

بلایای طبیعی مانند زلزله، سونامی و طوفان، هر ساله باعث آسیب های فوق العاده ای می شوند. به منظور کاهش تلفات و خسارات اقتصادی در مرحله پاسخ، واحد امداد و نجات باید به طور کارآمد برنامه ریزی شده و تخصیص داده شود. از آنجا که این مسئله یکی از موضوعات کلیدی در پاسخ اضطراری می باشد و به ندرت در ادبیات موضوع به آن پرداخته شده است، این تحقیق، یک مدل پشتیبانی تصمیم گیری مربوطه که مجموع زمان اتمام حوادث که توسط شدت آنها وزن دهی شده است را به حداقل می رساند، توسعه می دهد. این مسئله ارائه شده یک تعمیم از مسائل زمان بندی ماشین های موازی با ماشین های نامرتب است و از آنجا که با داده های غیر قطعی سرو کار داریم لذا مدل بهینه استوار نیز ارائه شده است. در ادامه روش محدودیت اپسیلون جهت حل مدل دو هدفه به کار رفته است و در نهایت بهینه ترین الگوی تخصیص تیم های امداد به حوادث (ایستگاههای تقلیل فشار مرزی) بازای هر هدف تعیین شده است.

کلمات کلیدی: زمان بندی، مدل استوار، بهینه سازی چند هدفه، پاسخ اضطراری، ایستگاه تقلیل فشار مرزی

۱	۱- فصل اول:
۲	۱-۱- مقدمه
۳	۲-۱- تعریف و بیان مسئله
۶	۳-۱- ضرورت تحقیق:
۱۶	۱-۳-۱- تعاریف پایه
۲۹	۴-۱- اهداف پژوهش
۳۰	۵-۱- سوالات پژوهش
۳۱	۶-۱- مدل تحقیق
۳۲	۱-۶-۱- مشخص کردن تکنیک حل و روش تحقیق
۴۰	۷-۱- ساختار پایان نامه
۴۳	۲- فصل دوم:
۴۴	۱-۲- مرور ادبیات در مدیریت بحران
۵۴	۲-۲- مرور ادبیات از منظر روش مدلسازی و حل
۶۳	۳- فصل سوم:
۶۴	۱-۳- مقدمه
۶۴	۲-۳- مفروضات مسئله
۶۵	۳-۳- مجموعه‌ها(علائم)، پارامترها و متغیرهای مسئله
۶۶	۴-۳- مدل ریاضی حداقل سازی زمان تکمیل کارها
۶۸	۵-۳- خطی سازی مدل
۶۸	۶-۳- ارائه مدل غیر قطعی
۶۹	۱-۶-۳- مجموعه‌ها(علائم)، پارامترها و متغیرهای مسئله
۷۰	۷-۳- مدل احتمالی کمینه کردن مجموع زمان تکمیل کارها
۷۱	۸-۳- مدل کمینه کردن میانگین تاخیرها
۷۱	۹-۳- مدل کمینه کردن زمان انجام آخرین کار(makespan)
۷۲	۱۰-۳- ارائه مدل استوار
۷۵	۱-۱۰-۳- تاریخچه بهینه سازی استوارو مقالات پایه ای مهم

۸۷	۳-۱۰-۲- مدل استوار کمینه کردن مجموع زمان تکمیل کارها.....
۸۸	۳-۱۱- روش محدودیت اپسیلون.....
۹۳	۴- فصل چهارم.....
۹۴	۴-۱- مقدمه.....
۹۴	۴-۲- شرح داده‌های مثال عددی.....
۹۵	۴-۳- نتایج محاسباتی.....
۱۰۹	۵- فصل ۵.....
۱۱۰	۵-۱- پیشنهادات اجرایی و توصیه‌های مدیریتی.....
۱۱۱	۵-۲- پیشنهادات برای تحقیقات آتی.....

فهرست جداول

- جدول ۱-۲ طبقه بندی مقالات برنامه ریزی ریاضی براساس تابع هدف ۴۸
- جدول ۲-۲ طبقه بندی مقالات برنامه ریزی ریاضی براساس روش های بهینه سازی ۴۸
- جدول ۳-۲ توضیح عبارات α | β | γ ۵۰
- جدول ۴-۲ طبقه بندی مسائل زمانبندی ماشین های موازی ۵۲
- جدول ۵-۲ تحقیقات انجام شده در مسائل توزیع در شرایط اضطراری ۵۶
- جدول ۶-۲ تحقیقات انجام شده در تخصیص منابع در شرایط اضطراری ۵۷
- جدول ۱-۳ پارامترهای مدل ۶۵
- جدول ۲-۳ طبقه بندی مقالات مدل استوار براساس ویژگی مدل ۷۶
- جدول ۳-۳ طبقه بندی مقالات مدل استوار براساس حساسیت کاربرد ۷۷
- جدول ۱-۴ سناریو های به رفته در مدل غیر قطعی ۹۵
- جدول ۲-۴ نتایج برای توابع هدف با ۴ تیم و ۱۱ حادثه ۹۶
- جدول ۳-۴ نتایج برای توابع هدف با ۲ تیم و ۵ حادثه ۹۷
- جدول ۴-۴ نتایج برای تابع هدف lateness با ۴ تیم و ۱۱ حادثه ۹۸
- جدول ۵-۴ نتایج برای تابع هدف lateness با ۲ تیم و ۵ حادثه ۹۸
- جدول ۶-۴ نتایج به دست آمده برای تخصیص بهینه با تابع هدف C_{max} با ۴ تیم و ۱۱ حادثه ۹۹
- جدول ۷-۴ نتایج به دست آمده برای تخصیص بهینه با تابع هدف C_{max} با ۲ تیم و ۵ حادثه ۱۰۱
- جدول ۸-۴ نتایج تخصیص بهینه با تابع هدف total completion با ۴ تیم و ۱۱ حادثه ۱۰۲
- جدول ۹-۴ نتایج تخصیص بهینه با تابع هدف total completion با ۲ تیم و ۵ حادثه ۱۰۴
- جدول ۱۰-۴ نتایج تخصیص بهینه با تابع هدف lateness با ۴ تیم و ۱۱ حادثه ۱۰۶
- جدول ۱۱-۴ نتایج تخصیص بهینه با تابع هدف lateness با ۲ تیم و ۵ حادثه ۱۰۷

جدول ۴-۱۲ مقادیر بهینه دوهدفه به روش محدودیت اِپسیلون..... ۱۰۸

فهرست اشکال

- شکل ۱-۱ آسیب به علمک گاز..... ۹
- شکل ۱-۲ آسیب به کنتور ورودی..... ۱۰
- شکل ۱-۳ آسیب به لوله مدفون..... ۱۲
- شکل ۱-۴ نمایی از ایستگاه CGS..... ۱۳
- شکل ۱-۵ نمایی از CGS..... ۱۳
- شکل ۱-۶ ایستگاه TBS..... ۱۴
- شکل ۱-۷ ایستگاه TBS به صورت شماتیک..... ۱۵
- شکل ۱-۸ سیستم توزیع گاز به صورت شماتیک..... ۱۵
- شکل ۱-۲ طبقه بندی مقالات براساس فازهای بحران..... ۴۷
- شکل ۲-۲ طبقه بندی مقالات براساس روش تحقیق..... ۴۷
- شکل ۱-۳ مدل توزیع فازی..... ۷۵

فصل اول:

کلیات پژوهش

زمانبندی تخصیص منابع در طول زمان برای اجرای مجموعه ای از وظایف است. نظریه زمانبندی اصولاً با مدل های ریاضی سروکار دارد و بین کار زمانبندی و توسعه مدل های زمانبندی رابطه برقرار می کند و به طور پیوسته آنها را با مسائل نظری و عملی زمانبندی محک می زند. دیدگاه نظری به طور غالب رویکردی کمی است و سعی آن دست یافتن به ساختار مسئله در قالب شکل فشرده ریاضی است. به ویژه، این رویکرد کمی با تفسیر اهداف تصمیم گیری در قالب یک تابع هدف صریح و بیان موانع تصمیم گیری به صورت محدودیتهای صریح شروع می شوند.

تابع هدف باید در برگیرنده تمام هزینه های سیستم برای اجرای تصمیمات مربوط به زمانبندی باشد. به هر حال به هنگام اجرای آن در عمل اندازه گیری یا حتی مشخص کردن کامل چنین هزینه هایی مشکل است. سه نوع اهداف تصمیم گیری در زمانبندی عمده تر به نظر می رسند: بهره برداری کارا از منابع، پاسخگویی سریع به تقاضا و انطباق دقیق زمان های تحویل با موعد های تحویل تعیین شده. غالباً می توان از یک ضابطه مهم هزینه ای مربوط به سنجش عملکرد سیستم (مانند زمان بیکاری ماشین، زمان انتظار برای انجام کار یا تاخیر کار) به عنوان جانشینی برای هزینه کل سیستم استفاده نمود و رویکرد های کمی به مسائل مربوط به این معیارها در همه نوشتارهای موجود در زمینه زمانبندی یافت می شوند.

دو نوع از محدودیت های مربوط به امکان پذیری معمولاً در مسائل زمانبندی ظاهر می شوند: اولاً محدودیتهای در دسترس پذیری منابع وجود دارد. ثانیاً محدودیت های تکنولوژیکی در ترتیب انجام کارها وجود دارد.

به طور کلی حل هر مسئله زمانبندی پاسخ به این دو سوال است:

۱- کدام منبع برای انجام هر وظیفه تخصیص داده خواهد شد؟

۲- هر وظیفه در چه وقت انجام خواهد شد؟

بدین طریق مسائل زمانبندی به تصمیم گیری در مورد تخصیص منابع و توالی عملیات منحصر می شود. تئوری زمانبندی همچنین شامل شیوه های متنوع و مختلفی است که در حل مسائل زمانبندی مفید واقع می شود. در واقع حوزه زمانبندی به صورت نقطه کانونی ایجاد، به کارگیری و ارزیابی روش های ترکیبی، شیوه های شبیه سازی، روش های شبکه ای و رویکرد های ابتکاری حل مسائل درآمده است. انتخاب شیوه مناسب به پیچیدگی مسئله، طبیعت مدل و انتخاب معیار کارایی و عوامل دیگر بستگی دارد. در خیلی از حالات بهتر است چند شیوه به عنوان گزینه های مختلف برخورد با مسئله در نظر گرفته شود.

برای رده بندی مدل های عمده زمانبندی لازم است ترکیب منابع و رفتار کارها مشخص شود. برای نمونه یک مدل ممکن است چندین نوع منبع داشته باشد. اگر یک نوع منبع داشته باشد کار مربوطه احتمالاً یک مرحله است، در حالیکه اگر چند منبع داشته باشد کارها معمولاً چند مرحله ای انجام می شود و در هر دو حالت منابع را می توان به صورت یک مجموعه واحد یا موازی در نظر گرفت. به علاوه اگر مجموعه کارهای در دسترس برای زمانبندی در طول زمان تغییر نکند سیستم ایستا نامیده می شود. در مقابل اگر یک کار جدید به مجموعه کارها در طول زمان افزوده شود سیستم پویا نامیده می شود.

۲-۱- تعریف و بیان مسئله:

در میان بحران های انسانی، زمین لرزه یکی از خطرناک ترین رخدادها هستند. زلزله کاتماندو در نپال در تاریخ ۲۶ آوریل سال ۲۰۱۵، تولید یک نیروی به ۲۰ برابر بمب هیدروژنی ایجاد کرده است. زلزله در الزمیت ترکیه در تاریخ ۱۷ اوت ۱۹۹۷ بیش از ۳۰۰۰۰۰ نفر آواره بر جای گذاشت. زلزله رودبار در ایران در ژوئن ۲۱، ۱۹۹۰، ۷۰۰ روستا از شهرستانهای رودبار، منجیل، لوشان را نابود کرد و هزینه خسارت \$ ۲۰۰۰۰۰۰۰۰ بر جای گذاشت (میثم فریدونی و همکاران، ۲۰۱۶). حدود ۳۰۰ میلیون

نفر تحت تاثیر زلزله در هر سال هستند. علاوه بر این، هزینه های سالانه این فاجعه طبیعی در حدود ۰.۱۷٪ از GDP در جهان است (گوها ساپیر، ۲۰۱۴). برای پاسخ موثر پس از بلایای طبیعی، یک شبکه لجستیک بهینه نیاز است تا کاملاً روابط بین همه مسئولین و امداد رسانی را هماهنگ کند (کوزولینو، ۲۰۱۲). و از آنجا که حدود ۶۰ درصد از خاک ایران در مناطق زلزله خیز واقع شده است لذا بیشترین تلفات و خسارتها در ایران مربوط به زلزله است. در برخی از منابع آمده است که در قرن گذشته ایران با وقوع ۸۹ زلزله و حدود ۱۳۰ هزار نفر تلفات رتبه چهارم جهانی را در این زمینه به خود اختصاص داده است (مهدی توکلی، ۱۳۹۱). از آنجا که تقریباً تمام شهرها و روستاهای کشور از شبکه گازرسانی برخوردارند و در این شبکه پس از زلزله احتمال اینکه آسیب دیدگی در خطوط لوله صورت گیرد و نشت گاز و آتش سوزی گسترده ایجاد شود وجود دارد، لذا باید در اسرع وقت پس از بحران (زلزله) تیمهای امدادی نسبت به تخلیه ایمن گاز درون شبکه اقدامات عاجل را لحاظ کنند. این در حالی است که منابع در اختیار شامل تیمهای امدادی جهت اعزام و انجام مأموریت همواره با محدودیت مواجه بوده است. از این رو در این پژوهش سعی خواهد شد تا با تخصیص و زمان بندی مناسب تیمهای امدادی به مراکز و ایستگاههای تخلیه فشار مرزی^۱ نسبت به قطع جریان گاز در تسهیلات مدنظر و تخلیه آن از شبکه شهری، پاسخ اضطراری مناسبی پس از بحران ارائه شود تا از فجایع گسترده تر به خوبی جلوگیری شود.

مسئله ای که در اینجا واقع شده است، از نوع مسائل زمان بندی و تخصیص عملیات (کارها) است. زمان بندی، تخصیص منابع کمیاب به فعالیتها در طول زمان است. اگرچه این حوزه به نسبت جدید است و سابقه عمده مطالعات آن به حدود پنجاه سال گذشته برمی گردد، حجم زیادی از ادبیات با مسائل باز که هنوز تحت بررسی توسط محققان است ایجاد شده است. به طور عمومی، در مدل های زمان بندی، n وظیفه به m ماشین با در نظر گرفتن معیارهای ارزیابی مدنظر و محدودیت های ساختاری، تخصیص می یابد (علی الله وردی و همکاران، ۲۰۰۸). همان طور که بیان گردید، مسئله

¹- Town border station

موردبررسی در این تحقیق قابل‌نمایش و معرفی مبتنی بر ادبیات موضوع مسئله برنامه‌ریزی و زمان‌بندی کارها است، بدین نحو که تیم‌های عملیاتی نماینده ماشین‌ها بوده و انجام عملیات بر روی ایستگاه‌های تقلیل فشار نماینده کارها هستند. هر تیم عملیاتی نمی‌تواند به بیش از یک ایستگاه در یک لحظه رسیدگی نماید. تابع هدف مسئله با توجه به ماهیت فضای برنامه‌ریزی می‌تواند حداکثر سود یا حداقل هزینه برنامه زمان‌بندی و تخصیص کارها و یا موارد مشابه دیگر باشد که در این تحقیق با توجه به الزامات حاکم بر فضای تصمیم‌گیری، به دنبال حداقل کردن زمان پاسخ هستیم. زمان پاسخ معادل خواهد بود با زمان تکمیل آخرین کار. زمان‌بندی می‌تواند با حق شفعه^۲ باشد که وظیفه می‌تواند متوقف شود در اواسط کار و در زمان دیگر از سرگیری شود و یا غیر حق شفعه^۳ باشد جایی که وظیفه زمان‌بندی شده باید تکمیل شود. در مسئله موردبررسی، با توجه به ماهیت کارها، امکان توقف در میانه انجام کار وجود ندارد. در مسئله زمان‌بندی کارها، ماشین‌ها ممکن است یکسان باشند یعنی با سرعت و کیفیت یکسان کارها را انجام دهند و یا متفاوت باشند. در این تحقیق، تیم‌های امداد با توجه به ماهیت انجام کارها، در زمان ثابت هر کار را انجام می‌دهند؛ اما زمان رسیدن هر تیم به یک ایستگاه می‌تواند متفاوت باشد به دلیل مکان‌های متفاوت تیم‌های امدادی و جایگاه ایستگاه‌های مختلف. محدودیت‌های اعمالی در این مسئله، تعداد کمتر تیم‌ها نسبت به ایستگاه‌های تقلیل فشار مرزی است (تعداد تیم‌ها از قبل مشخص و ثابت است) و اینکه این تیم‌ها در نقاط مختلف قرار گرفته‌اند و با توجه به مکان قرارگیری هر ایستگاه به آن ایستگاه اختصاص می‌یابند.

۱-۳- ضرورت تحقیق:

^۲ -preemptive

^۳ -non-preemptive

بر اساس آمارهای منتشره در هر سال به طور متوسط ۱۰۰۰۰۰۰ نفر جان خود را در جهان بر اثر بلایای طبیعی از دست داده‌اند و سالیانه ۵۰ تا ۱۰۰ میلیارد دلار خسارت اقتصادی در جهان به علت بلایای طبیعی وارد شده است. در این میان زلزله به عنوان یک بحران به لحاظ قدرت و حوزه تخریب وسیع و نیز غیرقابل پیش‌بینی بودن و زمان بسیار کوتاه وقوع آن از اهمیت ویژه‌ای برای جوامع بشری برخوردار است (مهدی توکلی، ۱۳۹۱).

بحران در یک تعریف ساده، به وقوع پیوستن هر پدیده طبیعی یا غیرطبیعی اطلاق می‌شود که امور جاری و روزمره یک سیستم را مختل می‌کند. به عبارت دیگر بحران حادثه‌ای است که به طور طبیعی و یا به وسیله بشر، به طور ناگهانی و یا به صورت فزاینده به وجود آید به طوری که برای برطرف کردن آن نیاز به اقدامات اضطراری اساسی و فوق‌العاده باشد. شرایط بحرانی می‌تواند در اثر وقوع یک حادثه طبیعی یا غیرطبیعی (انسان‌ساز) در یک روستا، شهر، استان و یا یک کشور به وجود آید. از این رو مقوله مدیریت بحران همواره مورد توجه محققان و برنامه‌ریزان بوده است. مدیریت بحران عبارت است از برنامه‌ریزی و ساماندهی نیروها و امکانات به منظور کاهش و یا به حداقل رساندن خسارات مادی و انسانی در قبل، هنگام و پس از وقوع بحران است. هدف از مدیریت بحران، کم کردن هزینه‌های مصرفی در اثر بحران ایجاد شده از یک سو و کم کردن تأثیرات سوء بحران در ابعاد اقتصادی، امنیتی، اجتماعی و فرهنگی از سوی دیگر است. مدیریت بحران علمی کاربردی است که بر اساس مشاهده بحران‌ها و تجزیه و تحلیل آن‌ها در جستجوی یافتن ابزار جدید است و بر اصول برنامه‌ریزی، سازمان‌دهی، رهبری و کنترل استوار است. به طور کلی مدیریت بحران دارای چهار رکن اصلی پیشگیری، آمادگی، مقابله (واکنش اضطراری) و بازسازی است که به شکل ذیل تعریف می‌شوند:

الف- پیشگیری^۴: مجموعه اقداماتی است که پیش، هنگام و پس از وقوع بحران باهدف جلوگیری از وقوع مخاطرات یا کاهش آثار زیان‌بار آن انجام می‌شود.

⁴ -prevention

ب - آمادگی^۵: مجموعه اقداماتی است که توانایی جامعه - دولت و مردم - شرکت را در انجام مراحل مختلف مدیریت بحران افزایش می‌دهد. آمادگی شامل جمع‌آوری اطلاعات، پژوهش، برنامه‌ریزی، ایجاد ساختارهای مدیریتی، آموزش، تأمین منابع، تمرین و مانور است.

ج - مقابله (واکنش اضطراری)^۶: ارائه خدمات اضطراری به دنبال وقوع بحران باهدف نجات جان و مال انسان‌ها، تأمین رفاه نسبی برای آن‌ها و جلوگیری از گسترش خسارات به تجهیزات و تأسیسات است.

د - بازسازی^۷: به مفهوم بازگرداندن شرایط یک منطقه آسیب‌دیده پس از بحران به شرایط عادی با در نظر گرفتن ویژگی‌های توسعه پایدار و کلیه ضوابط ایمنی است (مهدی توکلی، ۱۳۹۱).

مدیریت بحران روش‌های قدرتمند برای مقابله با بحران‌های انسانی را فراهم می‌کند. پس از سونامی اقیانوس هند در دسامبر ۲۶، ۲۰۰۴، لجستیک انسانی در مدیریت بحران توجه محققان را جلب کرده است و نقش حیاتی لجستیک در بحران‌های انسانی غیر قابل انکار شده است (جهری و همکاران، ۲۰۰۷).

به منظور در نظر گرفتن اهمیت تخصیص زمان در طول یک عملیات امداد و نجات والتون و همکاران (۲۰۱۱)، نشان دادند که سرعت در بالا بردن جریان عملیات توزیع و تخلیه اولویت بالایی دارد. یکی دیگر از عواملی که به همان اندازه مهم است، آسیب احتمالی میان پایگاه امداد و مسیر و راه‌های دسترسی است که ممکن است اثربخشی تلاش‌های رسیدگی به فاجعه را به چالش بکشد (تی زنگ و همکاران ۲۰۰۷). مدیریت عملیات بحران^۸ (DOM) روش‌هایی را برای آماده‌سازی یک جامعه و کاهش شدت آسیب ناشی از تمام انواع بلایا، با توسعه سیستم‌های ارتباطی، انباشت موجودی،

⁵-preparedness

⁶-response

⁷-recovery or reconstruction

⁸-Disaster operation management

ساختن ساختارهای مناسب و غیره فراهم می کند. هر کدام از این تصمیمات و اقدامات می تواند یک جامعه را نسبت به بلایای طبیعی، اگر به درستی انجام، بیشتر انعطاف پذیر سازد. (گوها ساپیر، ۲۰۱۴). با این وجود، فرایند تصمیم گیری برای پشتیبانی از واکنش های اضطراری، یک فرآیند ساده نیست و تفاوت بسیاری با لجستیک کسب و کار دارد، به دلیل اینکه شامل سطح بالایی از عدم اطمینان ها در تعداد افرادی که تحت تاثیر قرار گرفته و نیاز به مراقبت دارند می باشد (فان واسن هاو و پدرازا، ۲۰۱۲)؛ بنابراین، به کارگیری ابزارها و تکنیک هایی برای مدل سازی این حالت تصادفی در فرایند تصمیم گیری در آمادگی و پاسخ در برابر بلایای طبیعی ضروری است.

در این تحقیق با توجه به بررسی یک نمونه موردی واقعی، تنها فاز پاسخ مورد بررسی قرار گرفته است.

بررسی ضرورت و اهمیت برنامه ریزی و زمان بندی کارهای تیم های امدادی در شبکه گازرسانی شهری:

در این بخش اهمیت بررسی اثر حوادث غیرمترقبه بر شبکه ها و تأسیسات گازرسانی در پی وقوع زلزله مورد بررسی قرار خواهد گرفت. این مسئله از دو منظر ذیل قابل توجه است:

الف – آسیب به سیستم های گاز مشترکین به علت عملکرد بد تجهیزات، ساختمان ها و

دیگر سازه ها:

متداول ترین روش آسیب زلزله به سیستم های گاز که به طور غیرمستقیم اعمال می شود ناشی از آسیب وارده از زلزله به تجهیزات، ساختمان ها و سازه های دیگر است. در واقع حرکت کردن یا واژگون شدن وسایل گازی (آبگرم کن ها، دیگ های بخار، کوره ها، خشک کن ها و اجاق های خوراک پزی) عامل اصلی آتش سوزی های گسترده پس از زلزله است. برای مثال ۷۱٪ از آتش سوزی های رخ داده در زلزله نورث

ریج در کالیفرنمای آمریکا ناشی از این عامل بود. از طرفی در بیشتر ساختمان‌های مسکونی و تجاری از لوله‌های فولادی پیچی (رزوه دار) با قطر کوچک که مستقیماً به وسایل گازسوز متصل می‌شود یا از لوله‌های فولادی انعطاف‌پذیر کوتاه جهت اتصال به وسایل گازسوز استفاده می‌شود. در جریان زمین‌لرزه‌های بزرگ این لوله‌ها و اتصالات آنها آسیب‌پذیر می‌باشند. همچنین. ضعف در سازه منازل بخصوص برای علمک‌ها و کنتورها مخاطره آور هستند (شکل ۱).



شکل (۱-۱) آسیب به علمک گاز

مثلاً در زلزله ۶/۱ ریشتری که فروردین ماه ۱۳۸۵ در منطقه بین شهرهای خرم‌آباد و درود و بروجرد و روستاهای اطراف آن اتفاق افتاد (منطقه چالانچولان) به علت تخریب منازل با بافت قدیمی و ریزش دیوارهای حیاط از مجموع ۲۵۶ علمک نصب شده در روستای چالانچولان بیش از ۱۲۰ علمک و تعداد



قابل توجهی کنتور گاز تخریب گردید و خسارات عمده‌ای به شبکه گازرسانی وارد شد. در این زلزله تعدادی از شبکه‌های لوله‌کشی داخل ساختمان‌ها نیز به علت سقوط آوار تخریب گردید. در زلزله

اسفندماه ۱۳۸۳

شکل (۱-۲) آسیب به کنتور و لوله ورودی

شهرستان زرنند کرمان نیز که با بزرگی ۶/۴ ریشتر در عمق ۱۴ کیلومتری زمین رخ داد، سازه‌های خشتی و گلی و نامقاوم در این شهرستان و روستاهای اطراف آن تخریب و به علمک‌ها، رگولاتورها، سیستم لوله‌کشی گاز داخل منازل و کنتورهای گاز آسیب وارد شد (شکل ۲). زلزله منجیل رودبار در ۳۱ خرداد سال ۶۹ به بزرگی ۷/۶ ریشتر موجب شکستگی های لوله در کیلومتر ۸۸۶ خط لوله صادراتی، رانش خاک باعث صدمه به خط لوله ۴۰ اینچ سراسری شد. عملکرد شیر قطع جریان مانع وقوع حادثه ناگوار گردید. ۱۱۲۰ انشعاب در شهر منجیل از محل کنتور قطع شده بود. میزان خسارت

وارد: ۳۷۰۰۰ کشته، تخریب ۱۰۰ هزار واحد مسکونی و ۴۰۰۰۰۰ نفر بی خانمان بوده است. واکنش عملکردی سیستم گاز رسانی و شرکت گاز بدینگونه بود که نیروهای نوبتکار شرکت گاز لوشان بلافاصله اعزام و گاز را قطع کردند ولی در شهر منجیل تا حدود نیم ساعت پس از زلزله نیز گاز قطع نشده و بوی گاز در سطح شهر پیچیده بود و باد شدید و همیشگی منجیل و قطع برق باعث عدم آتش سوزی و انفجار گاز گردید. (سعید مومنی، ۱۳۸۹)

ب - آسیب به سیستم‌های جانبی گاز:

در اثر زلزله، زمین متحمل تغییر مکان‌های پایدار^۹ می‌شود. بنابراین برای آنکه این شبکه در برابر جابجا شدگی یا تغییر مکان زمین مقاومت کند باید خطوط لوله مدفون توانایی حرکت با زمین را داشته باشند یا در برابر نیروی زمین که به اطراف لوله وارد شده و آن را حرکت می‌دهد مقاومت کنند. خطوط لوله مدفون قدیمی به دلایل ذیل در اثر زلزله مستعد آسیب می‌باشند:

۱. ضعف ناشی از خوردگی دارند.
 ۲. روش‌های تولید و ساخت آن‌ها قدیمی و منسوخ است.
 ۳. مواد مورد استفاده در ساخت آن‌ها از استحکام کافی برخوردار نیست.
 ۴. معمولاً برخوردار از عیوب مکانیکی هستند.
 ۵. احتمال آسیب‌های قدیمی در آن‌ها وجود دارد.
- این آسیب‌ها می‌توانند با حریق‌هایی همراه باشند (شکل ۳).

^۹ - Permanent Ground Displacement



شکل (۱-۳) آسیب به لوله مدفون

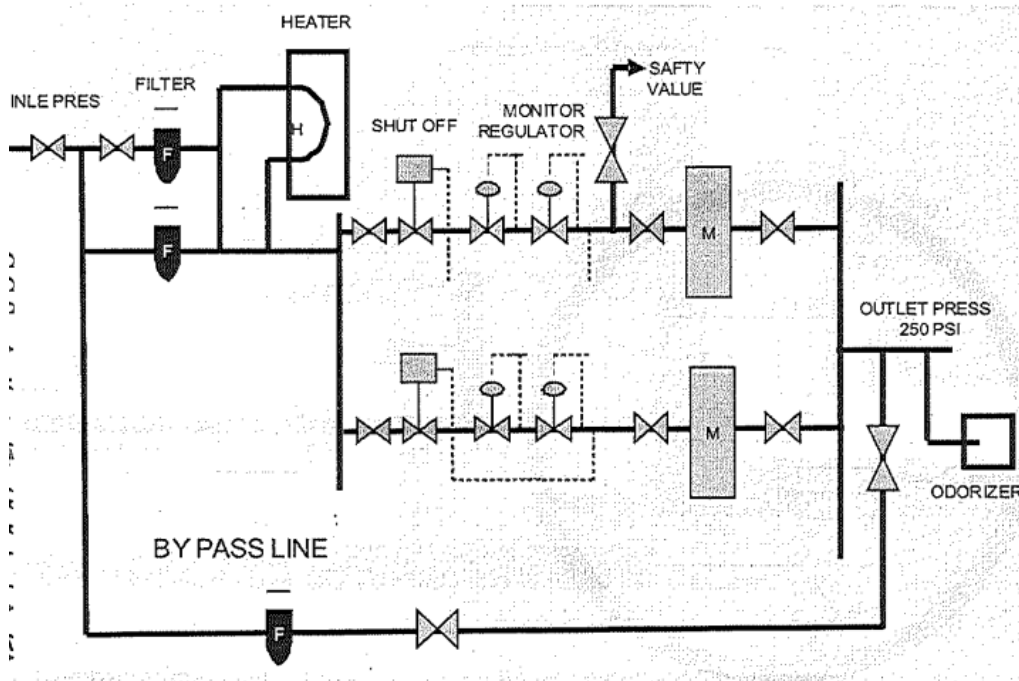
لذا ضروری است تا پس از ایجاد زلزله، نسبت به تخلیه گاز شبکه شهری، تیم‌های امدادی به‌سرعت اعزام‌شده و اقدامات مقتضی را انجام دهند. در ادامه توضیح مختصری درباره نحوه انتقال گاز از مناطق تولید به مناطق مصرف ارائه شده است.

با توجه به اینکه مبادی تولید از مراکز شهری و مصرف فاصله دارد لذا باید گاز توسط لوله‌کشی انتقال یابد و با توجه به فراز و نشیب‌هایی که در خط لوله به دلیل اختلاف ارتفاع و با توجه به اصطکاک گاز به هنگام جریان یافتن در لوله باعث افت فشار گاز می‌گردد و در نتیجه برای از بین بردن افت فشار گاز و سرعت بخشیدن به عبور گاز در امتداد خط لوله ایستگاه تقویت فشار نصب گردیده است که وظیفه آن بالا بردن فشار و عبور گاز با حجم معینی در ساعت است. پس‌از آن گاز توسط خط لوله انتقال با فشار حداکثر ۱۰۰۰ - ۷۰۰ PSIG و فشار حداقل ۳۵۰ - ۳۰۰ PSIG وارد ایستگاه اصلی گاز شهر

(C.G.S) می‌گردد (شکل ۵۴) و پس از تقلیل فشار به ۲۵۰ PSIG و تزریق ماده بودار کننده (مرکانپتان) گاز توسط خطوط اصلی شبکه تغذیه و یا حلقه کمربندی وارد ایستگاه‌های تقلیل فشار (T.B.S می‌گردد.



شکل (۴-۱) نمایی از ایستگاه C.G.S



شکل (۵-۱) نمایی از C.G.S

ایستگاه تقلیل فشار مرزی (T.B.S): Town Border Station:

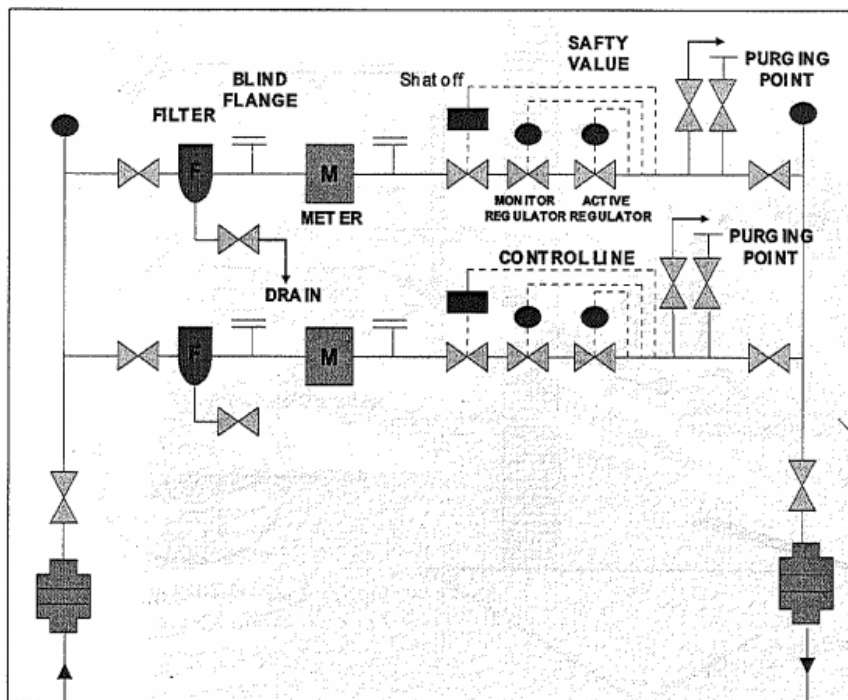
گاز توسط خطوط اصلی شبکه تغذیه و یا حلقه کمربندی با فشار ۲۵۰ PSIG وارد ایستگاه تقلیل فشار درون شهر (T.B.S) می‌گردد (شکل ۶) و پس از تقلیل فشار به ۶۰ PSIG وارد خطوط شبکه توزیع که به صورت حلقه‌ای و یا شاخه‌ای طراحی شده است می‌گردد.

گازی که وارد خطوط شبکه توزیع شده در حال حاضر دارای فشار ۶۰ PSIG است پس از آن توسط رگلاتور خانگی فشار آن به ۱/۴ PSIG کاهش یافته و سپس وارد منازل می‌گردد.



شکل (۶-۱) ایستگاه T.B.S.

شهر سمنان دارای ۱۰ ایستگاه T.B.S است که در هر ایستگاه جهت قطع جریان گاز دو شیر اصلی دستی و یک شیر جهت تخلیه گاز داخل لوله‌ها به نام شیر تخلیه سریع^{۱۰} قرار گرفته است و در لحظه بحران لازم است تا تیم امدادی به این ایستگاه اعزام شده و جهت بستن شیرها و تخلیه احتمالی گاز اقدامات لازم را انجام دهند.

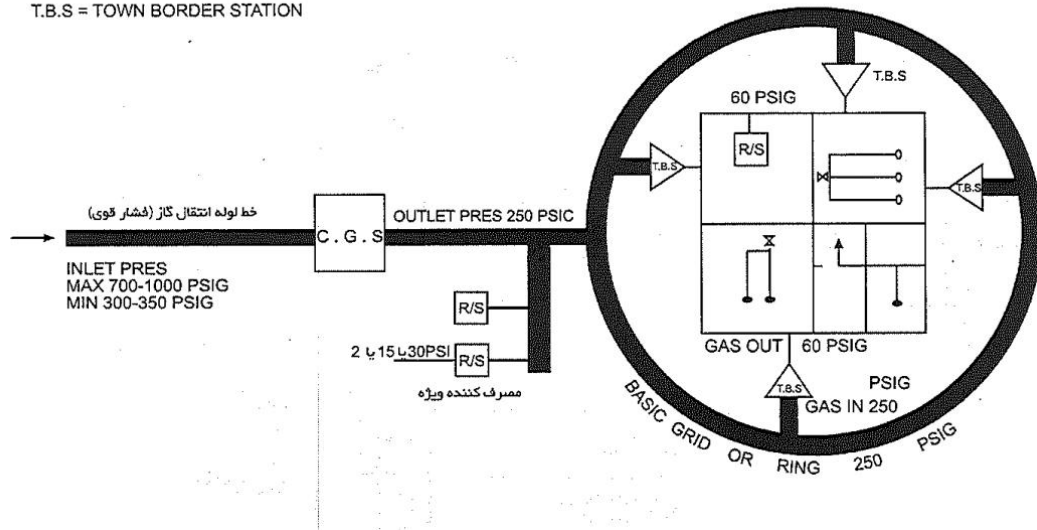


شکل (۷-۱) ایستگاه TBS به صورت شماتیک

در شکل ۸ سیستم توزیع گاز و ترتیب قرارگیری ایستگاه‌های مختلف به صورت شماتیک نشان داده شده است.

¹⁰ -Blowdown valve

C.G.S = CITY GATE STATION
T.B.S = TOWN BORDER STATION



شکل (۸-۱) سیستم توزیع گاز به صورت شماتیک

۱-۳-۱- تعاریف پایه

فرض کنید m ماشین $M_j (j = 1, \dots, n)$ باید n وظیفه $J_i (i = 1, \dots, n)$ را رسیدگی نمایند. فرض می شود که هر ماشین در یک زمان حداکثر یک وظیفه را می تواند رسیدگی نماید و هر وظیفه می تواند حداکثر توسط یک ماشین در یک زمان رسیدگی شود. گراهام و همکاران (۱۹۷۹) سه فیلد برای نشان گذاری $\alpha | \beta | \gamma$ جهت طبقه بندی مسائل معرفی کرده اند که معرف وظیفه، ماشین و مشخصات زمانبندی می باشد. فیلدی (α) برای مشخص کردن شرایط ماشین به کار می رود. مشخصات وظیفه (β) و ملاک بهینگی (γ)

زمان پردازش (P_j^k) : اگر کار J نیاز به پردازش بر روی دستگاه k داشته باشد، پس P_j^k نشان دهنده زمان پردازش کار J بر روی دستگاه k است.

زمان آماده به کار بودن (r_j) : مبدا زمانی است که کار J آماده پردازش است.

موعد تحویل کار (d_j) : مبدا زمانی که قرار است پردازش کار J تکمیل گردد.

ضرب العجل (\hat{d}_j) : ضرب العجل زمانی است که کار باید به اتمام برسد.

وزن (W_j): نشان دهنده اهمیت کار j است.

حالت های مختلف برای α :

▶ حالت تک ماشین (1):

◦ ساده ترین حالت ممکن است که معمولاً حالت خاص سایر مسایل در نظر گرفته می شود.

◦ این حالت Single Machine نام دارد (مثال فروشگاه با یک باجه فروش).

▶ ماشین های مشابه بصورت موازی (P_m):

◦ چندین ماشین یکسان بصورت موازی می توانند کار کنند.

◦ فرض می شود که کار j بایستی توسط یکی از این ماشین ها انجام شود.

◦ این حالت با عنوان Identical Machines in Parallel نامیده می شود. (مثال بانک های خصوصی مانند سامان و پارسیان).

◦ اگر یک کار تنها باید به روی یکی از ماشین ها پردازش شود، آنگاه نماد M_j در قسمت β نمایش داده می شود.

مثال هایی دیگر در این زمینه صفوف بازرسی بدنی و یا سیستم های بانک و یا سیستم کنترل گذرنامه در فرودگاه ها هستند.

▶ ماشین هایی بصورت موازی با سرعت متفاوت (Q_m):

◦ ماشین هایی بصورت موازی با سرعت پردازش متفاوت

◦ سرعت پردازش ماشین i ام بصورت v_i نمایش داده می شود.

◦ زمان پردازش کار j ام به روی ماشین i ام بصورت $P_{ij} = P_j/v_i$ محاسبه می شود.

- چنین مسائلی متعلق به ماشین های مشابه هستند.
- این مسایل با عنوان Machines in Parallel with different speeds تعریف می شوند.
- مثالی در این زمینه: تعمیرکاران مختلف ماشین که سرعت آنها بستگی به مهارت آنها دارد (مشتریان ثابت و منابع متحرک).
- در این حالت سرعت پردازش هر ماشین مستقل از نوع کار است.

► ماشین های متفاوت بصورت موازی (R_m):

- در این حالت ماشین هایی متفاوت بصورت موازی وجود دارند.
- ماشین i می تواند کار j را با سرعتی معادل v_{ij} پردازش نماید.
- زمان پردازش بصورت $P_{ij} = P_j / v_{ij}$ محاسبه می شود.
- اگر سرعت پردازش کارها مستقل از کارها باشد، مسئله به حالت قبلی تبدیل می شود.
- این حالت با نام Unrelated Machines in Parallel معروف هستند.
- در این حالت هر کار ممکن است توسط یکی از ماشین ها با سرعت بالاتری پردازش شود.

► حالت Flow shop (F_m):

- m ماشین بصورت سری وجود دارند.
- هر یک از کارها باید توسط تک تک این ماشین ها با ترتیب مشخص و یکسان برای تمام کارها پردازش شوند.

◦ پس از اینکه یک کار توسط یک ماشین پردازش شد وارد صف ماشین بعدی می شود.

◦ عموماً سیاست خدمت دهی در هر صف بصورت FIFO است.

◦ در حالتی که سیاست FIFO در پردازش کارها برقرار باشد مسئله با نام permutation flow shop نامیده می شود و در قسمت θ کلمه prmu اضافه می شود.

مثال هایی در این زمینه عبارتند از:

• صف غذا در رستوران (غذای اصلی، دسر و... به ترتیب ارائه می شود. سپس مشتریان برای پرداخت به قسمت آخر مراجعه می کند).

• صف ورود به استادیوم (خرید بلیت، بازرسی بدنی و ورود به استادیوم)

• بازکردن حساب بانکی (ارایه درخواست، بررسی فرم ها، استعلام های مورد نیاز، تایید، چاپ دسته چک و...)

▶ حالت (FF_c) Flexible Flow shop:

◦ وضعیت تعمیم یافته flow shop است که در هر مرحله (حداقل یکی از مراحل) حداقل دو ماشین بصورت موازی موجود باشد.

◦ مسایل فرض می شود که C مرحله سری برای انجام کارها موجود است.

◦ در هر مرحله تعدادی ماشین مشابه برای انجام هر مرحله بصورت موازی وجود دارد.

◦ هر یک از کارها بایستی به ترتیب در هر مرحله توسط یکی از ماشین های موجود پردازش شده و به مرحله بعدی برود.

◦ در هر مرحله سیاست خدمت دهی می تواند بصورت FIFS باشد یا نباشد.

▶ حالت Job shop (J_m):

◦ در یک مدل job shop با m ماشین هر یک از کارها دارای مسیر و فرایند پردازش خاص خود است.

◦ یک کار می تواند برای پردازش به یکی از ماشین ها یک و یا چند مرتبه مراجعه نماید.

◦ در حالتی که یک کار بایستی بیش از یک مرتبه به یک ماشین رجوع کند، در قسمت β کلمه recrc به معنی recirculation اضافه می شود.

◦ نحوه خدمت دهی یک شرکت بیمه به مشتریان متفاوت می تواند بصورت Job shop باشد.

▶ حالت Flexible Job shop (FJ_c):

◦ وضعیت تعمیم یافته job shop که در هر مرحله (حداقل یکی از مراحل) حداقل دو ماشین موجود باشد.

◦ فرض می شود که C مرکز کاری برای انجام کارها موجود است.

◦ در هر مرکز تعدادی ماشین مشابه برای انجام هر مرحله بصورت موازی وجود دارد.

◦ هر یک از کارها بایستی به ترتیب در هر مرحله توسط یکی از ماشین های موجود پردازش شده و به مرحله بعدی برود.

◦ در حالتی که یک ماشین بایستی بیش از یک مرتبه به مرحله رجوع کند، در قسمت β کلمه recrc به معنی recirculation اضافه می گردد.

▶ حالت (Om) Open shop:

- در این حالت فرض می شود که m ماشین موجود است.
- هر یک از کارها باید توسط تمامی ماشین ها پردازش شود.
- ممکن است زمان پردازش یک کار به روی تعدادی از ماشین ها صفر باشد.
- هیچ محدودیتی در زمینه توالی پردازش هر یک از کارها به روی ماشین ها وجود ندارد.
- مسؤل زمان بندی بنا به ماهیت تابع هدف می تواند در مورد توالی انجام هر کاری به روی ماشین ها و توالی انتخاب ماشین ها به روی هر کار تصمیم گیری کند.

حالت های مختلف برای β :

محدودیت های پردازش و محدودیت های تعیین شده برای β ممکن است شامل چندین نماد شود. حالت های ممکن برای این بخش عبارتند از:

▶ زمان دسترسی به کار (rj): Release date:

- اگر این سمبل در قسمت β نمایش داده شود به معنی این است که پردازش کار j ام نمی تواند قبل از زمان دسترسی آغاز شود.
- در واقع نمایش این نماد به معنی این است که تمامی کارها در ابتدای افق زمان بندی در دسترس نیستند.
- اگر چنین نمادی مشاهده نشد به معنی این است که پردازش کاری تواند در هر زمانی آغاز شود.

- برخلاف release date، در مورد due date سمبلی وجود ندارد و تنها وجود due date با مشاهده تابع هدف مربوطه در قسمت سوم قابل درک است.

► (sjk) Sequence dependent setup times:

- نماد S_{jk} بیانگر زمان مورد نیاز برای آماده سازی یک ماشین برای پردازش کار k است در حالی که کار قبلی به روی ماشین کار j باشد.
- S_{0k} زمان پردازش کار k است اگر به عنوان اولین کار پردازش شود.
- S_{j0} زمان تمیزکاری نهایی پس از کار k است اگر به عنوان آخرین کار پردازش شود.
- اگر زمان های آماده سازی به روی ماشین ها متفاوت باشد، آنگاه نیاز به استفاده از یک نماد سه بعدی بصورت S_{ijk} می باشد.
- اگر نماد S_{jk} در قسمت β مشاهده نشد، به مفهوم این است که زمان های آماده سازی برابر صفر است و یا اینکه زمان آماده سازی مستقل از توالی کارها می باشد. در این حالت ها زمان آماده سازی به زمان پردازش اضافه می شود (توصیه می شود که همواره زمان آماده سازی جدا منظور شود).

► (prmp) Preemptions:

- Preemption به این معنی است که لازم نیست کاری را که پردازش آن به روی یک ماشین آغاز شده تا پایان پردازش به روی ماشین نگهداری نمود.
- می تواند در سیستم های تک ماشینی و یا چند ماشینی روی دهد.
- در چنین سیستمی برنامه ریز می تواند پردازش یک کار را به روی یک ماشین قطع و پردازش کار دیگری را به روی آن آغاز نماید.

- در این حالت زمان پردازش شده یک کار تکمیل شده از بین نمی رود.
- هنگامی که یک کار ناتمام مجدداً به روی همان ماشین و یا ماشین دیگری بر می گردد، تنها نیاز به پردازش در طول زمان باقیمانده دارد.
- برای چنین مسایلی در قسمت β عبارت prmp ظاهر می شود.

► Precedence constraints (prec)

- این حالت برای مسایل تک ماشینی و یا با ماشین های موازی اتفاق می افتد.
- آغاز پردازش یک یا چند کار بسته به این است که کار دیگری انجام شده باشد.
- حالت های مختلف آن عبارتند از:
 - هر کار حداکثر دارای یک کار پیشنیاز و حداکثر یک کار بعدی باشد. چنین محدودیت هایی یک زنجیره (chain) نامیده می شوند.
 - اگر هر کاری دارای حداکثر یک کار بعدی باشد، intree نامیده می شود.
 - اگر هر کاری دارای حداکثر یک کار پیشنیاز باشد، outree نامیده می شود.
- اگر کلمه prec در این قسمت مشاهده نشد به معنی این است که هیچ گونه رابطه پیش نیازی میان کارها وجود ندارد.

► Breakdowns (brkdw)

- این حالت هنگامی اتفاق می افتد که ماشین ها بطور مستمر در دسترس نباشند.

◦ در مطالب این بخش زمان در دسترس بودن ماشین ها بصورت قطعی مشخص می باشد.

◦ در هر لحظه تعداد ماشین های در دسترس در هر مرحله برای مرحله های دارای چندین ماشین مشخص است.

► Machine eligibility restrictions (M_j):

◦ این حالت هنگامی اتفاق می افتد که m ماشین بطور موازی در دسترس بوده ولی تنها تعدادی از ماشین ها قادر به پردازش کار j ام باشند.

◦ مجموعه M_j شامل ماشین هایی است که قابلیت پردازش کار j ام را دارند.

◦ اگر این سمبل در قسمت β مشاهده نشد، به معنی این است که می توان کار j را به روی هر ماشینی در هر مرحله انجام داد.

► Permutation (prmu):

◦ حالتی که کارهای ورودی به هر ماشین مطابق سیاست FIFO صورت گیرد.

◦ در واقع حالتی است که ترتیب پردازش کارها در تمامی ماشین ها یکسان باشد.

◦ معمولا در حالت flow shop مهم است.

► Blocking (block):

◦ حالتی است که در سیستم های flow shop اتفاق می افتد.

◦ اگر محدودیتی در اندازه صف کارها میان دو ماشین متوالی در سیستم flow shop موجود باشد، این حالت اتفاق می افتد.

◦ اگر صف میانی تکمیل شود کار تکمیل شده در ماشین قبلی توانایی آزاد کردن ماشین را ندارد.

◦ در این حالت ماشین قبلی نمی تواند کار بعدی را پردازش کند.

◦ در اغلب اوقات این ظرفیت صف میان ماشین ها برابر صفر منظور می شود.

◦ در این حالت همواره فرض براین است که سیستم خدمت دهی FIFO است.

◦ سیستم کارواش اتومبیل مثالی مناسب برای این حالت است.

▶ No-wait (nwt):

◦ حالتی است که در آن یک کار نبایستی در حین پردازش میان دو ماشین متوقف شود.

◦ معمولا در سیستم flow shop مشاهده می شود.

◦ در این حالت زمان آغاز کار به روی ماشین اول بایستی تا جایی که کار بدون توقف از همه ماشین ها عبور کند به تاخیر انداخته شود.

◦ سیستم نورد مثال خوبی در این زمینه است.

◦ این سیستم نیز تحت سیاست FIFO کار می کند.

◦ مثالی دیگر کارخانه های لبنیاتی تولید بستنی، ماست و... است.

▶ Recirculation (recrc):

◦ حالتی است که در یک سیستم job shop و یا flexible job shop یکی از کارها از

یکی از ماشین ها یا یکی از مراکز کار بیش از یک مرتبه عبور کند.

Job families (fmls) ▶

- حالتی است که در آن n کار تخصیص یافته برای پردازش متعلق به F خانواده مختلف هستند.
- زمان پردازش کارهای متعلق به یک گروه (خانواده) می تواند مختلف باشد.
- این کارها می توانند به روی یک ماشین بصورت متوالی پردازش شوند بدون اینکه نیاز به آماده سازی ماشین برای پردازش آنها باشد.
- در حالتی که ماشین پس از پردازش کاری از یک گروه (گروه i) کاری را از گروه دیگر (گروه j) پردازش کند، لازم است عملیات آماده سازی به روی ماشین انجام شود.
- اگر زمان آماده سازی وابسته به هر دو گروه قبلی و بعدی باشد با نماد K_{ij} نمایش داده می شود.
- اگر زمان آماده سازی تنها وابسته به گروه بعدی باشد با نماد K_j نمایش داده می شود.
- اگر زمان آماده سازی وابسته به هیچ گروهی نباشد با نماد K نمایش داده می شود.
- اگر تمام کارهای متعلق به یک گروه بصورت متوالی پردازش شوند فرضیات تکنولوژی گروهی (Group Technology assumptions) در مسئله رعایت شده است.
- مشخص است که در صورت رعایت کردن این فرض فضای جواب های موجه مسئله بطور قابل ملاحظه ای کم می شود.

► Batch processing(batch(b))

- ماشین می تواند حداکثر b کار را بطور همزمان پردازش کند.
- زمان پردازش کارها برابر نیست و زمان پردازش کارهای یک دسته برابر حداکثر زمان مورد نیاز برای پردازش تمامی کارهای متعلق به batch است.
- در این حالت به دنبال این هستیم که چه کارهایی با هم پردازش شوند تا تابع هدف مسئله بهینه شود.
- اگر $b=1$ باشد مسئله به مسئله های متداول توالی عملیات تبدیل می شود.
- اگر $b=\infty$ باشد در واقع حدی برای پردازش تعداد کارها بصورت همزمان وجود ندارد.
- در این حالت کارهای یک دسته تا پایان زمان پردازش همگی آنها در اختیار نخواهند بود.

حالت های مختلف برای تابع هدف γ :

- در تمامی حالت های مختلف موجود برای تابع هدف تلاش بر این است که به نحوی زمان تکمیل کارها به حداقل برسد.
- زمان تکمیل کار J ام به روی ماشین i ام با C_{ij} نمایش داده می شود.
- زمان تکمیل نهایی کار J ام در سیستم (و خروج آن) با C_J نمایش داده می شود.
- همواره تابع هدف بصورت تابعی از زمان تکمیل کارها بیان می شود.

▶ در مواردی هدف حداقل سازی میزان دیرکرد از موعد تحویل کارهاست. میزان تاخیر هر کار بصورت زیر تعریف می شود:

L_j : تاخیر کار j

d_j : موعد تحویل کار j

T_j : دیرکرد کار j

$$L_j = C_j - d_j$$

$$T_j = \max(C_j - d_j, 0) = \max(L_j, 0)$$

▶ حالت (C_{max}): Makespan

○ این حالت بیانگر این است که هدف مسئله یافتن بهترین ترتیب انجام کارها به منظور انجام تمامی کارها در سریعترین زمان ممکن است (حداقل سازی زمان انجام آخرین کار).

○ این ضابطه بهره وری ماشین آلات را بطور قابل ملاحظه ای افزایش می دهد.

○ کاربرد این تابع هدف در مواقعی است که سفارش ها بصورت گروهی تحویل مشتری می شوند. در چنین حالتی زمان تکمیل آخرین کار زمان قابل تحویل محموله سفارش است.

▶ حالت (L_{max}): Maximum Lateness

در این حالت سعی بر این است که حداکثر تاخیر (Lateness) کارها حداقل شود.

$$L_{max} = \min\{\max\{L_1, L_2, \dots, L_n\}\}$$

▶ حالت $(\sum W_j C_j)$ Total weighted completion time , Total completion time

$(\sum C_j)$:

- معمولاً هرچه مدت نگهداری محصولات افزایش یابد هزینه های نگهداری افزایش خواهد یافت. لذا حداقل سازی مجموع زمانهای تکمیل کارها به کاهش هزینه تولید منجر می شود.
- این ضابطه به حداقل سازی هزینه های تولید منجر می شود.
- حداقل سازی مجموع زمان های تکمیل کارها در ادبیات scheduling در صورتی که تمامی کارها از ابتدا در دسترس باشند با عنوان flow time شناخته می شود. لذا به این مسئله Total flow time گفته می شود.
- در مواردی که هر سفارش به محض تکمیل تحویل مشتری می شود این تابع هدف کاربرد دارد.

حالت $(\sum W_j T_j)$ Total weighted Tardiness

- مجموع وظایف همراه با دیرکرد. معمولاً یکی از هدف های واقعی در حل مسایل توالی عملیات است.

حالت $(\sum W_j U_j)$ Weighted number of tardy jobs

- این ضابطه نه تنها در فعالیت های آکادمیکی کاربرد دارد بلکه به عنوان یک معیار مناسب در دنیای واقعی نیز به کار می رود.

۴-۱- اهداف پژوهش

- هدف اصلی پژوهش:

ارائه مدل ریاضی بهینه جهت برنامه‌ریزی و تخصیص تیم‌های عملیاتی در شرایط بحرانی، به منظور حداقل نمودن زمان تکمیل وظایف.

- هدف‌های فرعی:

○ ارائه مدل استوار برنامه‌ریزی و تخصیص تیم‌های عملیاتی در شرایط بحرانی در

شرایط عدم قطعیت

○ ارائه مدل دو هدفه حداقل سازی زمان تکمیل آخرین کار و میانگین وظایف به تاخیر

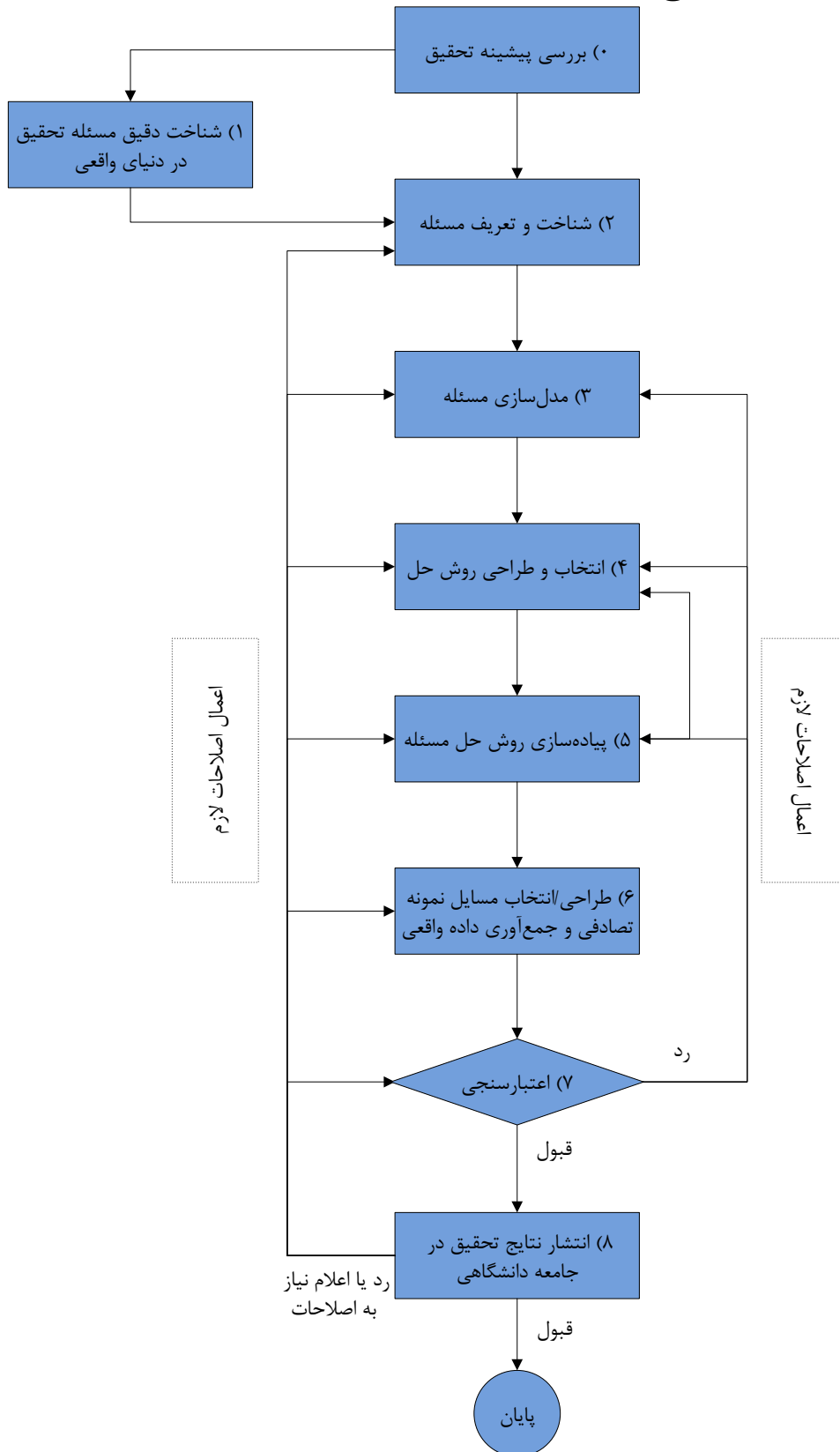
افتاده

۵-۱- سوالات پژوهش

- سوال اصلی:

با توجه به اینکه تحقیق حاضر از نوع کمی بوده و شامل مدل‌سازی و حل مسئله است لذا فرضیه‌ای جهت تست در آن مطرح نیست. همچنین سؤال اصلی تحقیق عبارت است از: «کدام برنامه‌ریزی و تخصیص تیم‌های عملیاتی می‌تواند در شرایط بحرانی، حداقل زمان تکمیل کارهای امدادی را به همراه داشته باشد؟»

۱-۶- مدل تحقیق



۱-۶- تکنیک حل و روش تحقیق:

از دیدگاه ماهیت تحقیق، این تحقیق را می‌توان در زمره پژوهش‌های کمی دانست. دلایل اصلی این مطلب را می‌توان در موارد زیر خلاصه نمود:

مفاهیم اصلی تحقیق را می‌توان به صورت مجموعه‌ای از متغیرها و پارامترهای مشخص نشان داد.

داده‌های موردنیاز برای محاسبه پارامترها به شکل عددی قابل جمع‌آوری هستند.

فرایندهای خروجی تحقیق به صورت استاندارد و تکرارپذیر قابل انجام هستند.

تحلیل‌ها و نتیجه‌گیری‌های تحقیق در قالب مفاهیم ریاضی قابل بیان هستند.

با توجه به کمی بودن ماهیت این تحقیق، استفاده از روش‌های تحقیق کمی برای انجام این تحقیق امری ضروری است. همچنین رویکرد اصلی این تحقیق رویکرد کاربردی است چراکه هدف اصلی تحقیق ایجاد ارتباط بین مفاهیم نظری تحقیق در عملیات با مسائل کاربردی در دنیای صنعت است.

روش تحقیقات انجام شده در زمینه مسائل زمان‌بندی و تخصیص کارها از دیدگاه روش‌شناختی را می‌توان به دودسته کلی روش‌های تحقیق غیرتجربی شامل فن‌های تحقیق مفهومی، اثبات قضایا و شبیه‌سازی و نیز روش‌های تحقیق در مرز روش‌های تحقیق علمی/تفسیرگرا شامل فن مطالعه موردی تقسیم نمود. با این حال مهم‌ترین روش تحقیق مورد استفاده برای حل مسائل زمان‌بندی و تخصیص کارها را می‌توان روش تحقیق مفهومی و یکی از ابزارهای مشهور آن یعنی تحقیق در عملیات دانست. دلیل این امر را می‌توان به رویکرد اصلی تحقیقات زمان‌بندی و تخصیص کارها یعنی مدل‌سازی مجرد در قابل مدل‌های ریاضی بهینه‌سازی دانست. این مدل‌ها علی‌رغم آن که بر پایه محیط، فرایندها و نیز شرایط واقعی بنانهاده شده‌اند، اما به محض ساخته شدن، کاملاً از داده‌های دنیای واقعی جدا می‌شوند و تنها بر داده‌های ترکیبی (ترکیب مجموعه‌ای از داده‌های واقعی و داده‌های شبیه‌سازی) و نیز تفکر مفهومی محقق در مورد نحوه مجرد سازی سیستم تکیه دارند (البدوی، ۱۳۸۹). با توجه به مطالب

طرح شده و ماهیت طرح تحقیق که نیازمند جداسازی مدل مورد مطالعه از دنیای واقعی است، فن تحقیق اصلی مدنظر برای این تحقیق فن تحقیق در عملیات است.

از دیدگاه روش شناختی، فن تحقیق در عملیات دارای دو هدف تشریح و تغییر است (البدوی، ۱۳۸۹). هدف تشریح را می توان با دو سؤال زیر بیان نمود:

وضعیت معماری کنونی سیستم چه هزینه ها و شرایطی را بر سیستم تحمیل می کند؟

با توجه به وضعیت معماری کنونی سیستم و اطلاعات در دست، چه راه کاری می تواند معیارهای عملکرد مدنظر مدیریت را بهینه نماید؟

همچنین هدف تغییر تحقیق در عملیات سعی دارد با کمک دیگر روش های تحقیق کاربردی در مهندسی صنایع، امکان ارائه راه کارهای بهبود سیستم را بر مبنای تغییر و تحول در سیستم، فراهم آورد. در این تحقیق با توجه به تمرکز بر توسعه مدل های کمی در تحقیق در عملیات، تمرکز بر هدف تشریح تحقیق در عملیات خواهد بود. با توجه به مطالب مطرح شده فوق، فرایند کلی پیشنهادی برای این حل هر یک از مسائل این تحقیق را می توان در گام های زیر خلاصه نمود:

شناخت دقیق مسئله تحقیق در دنیای واقعی:

اولین مرحله در فرایند مدل سازی، تعیین، درک و توضیح مسئله ای است که سازمان با آن مواجه می شود. با توجه به اینکه تعریف مسئله تحقیق این طرح تحقیق بر اساس پیشینه تحقیق انجام شده است، در گام اول تحقیق باید با مراجعه به دنیای صنعت به بررسی مشابهت بین مفروضات تحقیق و خصیصه های دنیای واقعی برقرار نمود. این امر موجب می شود مسئله تحقیق تا حد ممکن واقعی تر شده و در نتیجه مسئله تحقیق تا حد ممکن کاربردی تر گردد.

شناخت و تعریف مسئله:

شاید مهمترین مرحله در فرایند مدل سازی، تعریف مسئله باشد، زیرا کلیه فعالیت های بعدی به این مرحله بستگی دارد. چنانچه مدیران درک روشنی از مسئله نداشته باشند ممکن است وقت و منابع مالی زیادی را صرف شناسایی راه حل ها و گرد آوری اطلاعاتی کنند که کمک موثری به حل مسئله نمی کند.

در این مرحله هدف از حل مسئله یا ساخت مدل و بخش هایی از سازمان که باید بررسی شوند مشخص می شود. پاسخ به سوالاتی از قبیل: کانون مشکل کجاست؟ مقصود و هدف از حل مسئله چیست؟ دستاورد های حل مسئله کدامند؟ داده ها و منابع صحیح و واقعی کدامند؟

تعریف نادرست مسئله باعث اتلاف وقت و منابع می شود. بنابراین تصمیم گیرندگان نباید در انجام این مرحله شتاب کنند. تعریف مسئله پیچیده و مستلزم بررسی دقیق و صرف وقت کافی است.

در این گام بر اساس نتایج مرحله قبل و نیز نتایج بررسی پیشینه تحقیق، یک تعریف جامع و دقیق از محدوده سیستم مورد بررسی و اجزای آن ارائه می شود. بر اساس این تعریف، می توان مفروضات مسئله تحقیق را مشخص نمود.

جمع آوری داده ها:

برای تعیین و تخمین مقدار پارامترهایی که بر مسئله مورد بررسی تاثیر می گذارند داده های لازم را باید جمع آوری کرد. این مرحله در ساخت و بررسی مدل تاثیر بسزایی دارد.

به طور کلی مدل ساز از دونوع اطلاعات "اولیه" و "ثانویه" استفاده می کند. اطلاعات اولیه اطلاعاتی هستند که مدل ساز براساس شناخت و تعریف درست مسئله و از طریق مشاهده، مصاحبه، پرسشنامه، نمونه گیری و غیره آنها را بدست می آورد. ارقام و اطلاعات ثانویه آنهایی است که بوسیله اشخاصی غیر از مدل ساز تولید و جمع آوری می شوند. واضح است استفاده از اطلاعاتی که دیگران جمع آوری

نموده اند بمراتب سریعتر و ارزانتر در اختیار قرار می گیرد. در مقابل، مشکل استفاده از ارقام و اطلاعات ثانویه عدم اطمینان مدل ساز به دقت اطلاعات و میزان تطابق آن با نیازهای مدل است.

ارقام و اطلاعات ثانویه را براساس منبع آنها می توان به دو گروه عمده اطلاعات درونی و اطلاعات بیرونی طبقه بندی کرد. ارقام و اطلاعات درونی اطلاعاتی هستند که دسترسی به آنها در داخل سازمان میسر است مانند صورت حسابها، گزارشهای فروشندگان، برنامه ها شرح و تفصیل کار و اقدامات و گزارش های مالی یا تولیدی یا مدیریتی یا سایر اطلاعاتی که در گذشته تهیه و ارائه شده اند. اطلاعات بیرونی اطلاعاتی از قبیل آمار وزارتخانه های دولتی و سازمان های مختلف، دایره المعارف ها، کتاب ها و مجلات را شامل می شوند. در هر صورت، اطلاعات چه اولیه و چه ثانویه باید از سه ویژگی برخوردار باشند: دقت و بموقع بودن و ذی ربط بودن.

مدل سازی مسئله:

بر اساس مفروضات به دست آمده در گام قبلی، در این گام یک مدل ریاضی ارائه می گردد. ساختن مدل در عین نیاز به فنون مربوط به میزان زیادی به تخیل و هنر مدل ساز وابسته است. ایجاد یک مدل ریاضی مستلزم تعیین روابط متقابل بین متغیر ها، تعیین هدف یا اهداف و مشخص کردن محدودیتهای موجود در مسئله است. ورودی های مدل عواملی هستند که مدل روی آنها عمل می کند و خروجی ها یا ستاده های آن عوامل تولید شده توسط مدل هستند. ورودی های مدل که معمولاً به آن متغیر های برون زا می گویند به دونه متغیر های تصمیم و پارامتر ها تقسیم می شوند. پارامترها عوامل محیطی غیر قابل کنترل توسط سازمان هستند. عواملی از قبیل قیمت در بازار رقابت کامل برای یک محصول ظرفیت یک انبار در کوتاه مدت و میزان مواد اولیه برای ساخت یک واحد محصول نمونه هایی از پارامتر ها به شمار می روند حال آنکه مقدار تولید محصول و میزان پولی که بهتر است سرمایه گذاری شود متغیر های تصمیم به شمار می روند.

ستاده های مدل که متغیر های درون زا نامیده می شوند دو گونه اند: اندازه های عملکرد که میزان دستیابی به هدف را تعیین می کنند و متغیر های نتیجه که سایر نتایجی هستند که به درک و تفسیر مدل کمک می کنند. اندازه های عملکرد از آن نظر که میزان موفقیت و دستیابی به هدف را مشخص می کنند مهم اند و تابع هدف نامیده می شوند هزینه کل، سهم بازار، رضایت کارکنان و نرخ برگشت سرمایه نمونه هایی برای تابع هدف و مقدار تعیین شده برای حمل کالا و میزان تولید توسط مدل نمونه هایی از متغیر نتیجه هستند.

با توجه به ماهیت مسئله تحقیق، در راستای مدل سازی باید از مفاهیم فرایندهای تصادفی و فن های مدل سازی مربوط به برنامه ریزی عدد صحیح، بهینه سازی تصادفی، بهینه سازی استوار و بهینه سازی غیرخطی استفاده نمود.

انتخاب و طراحی روش حل:

در این گام، بر اساس خصوصیات مدل ریاضی ارائه شده، یک یا چندین روش حل کارا و قدرتمند جهت حل مسئله در ابعاد واقعی ارائه می گردد. با توجه به اینکه، مدل ریاضی توسعه داده شده بر اساس فرایندهای تصادفی، برنامه ریزی عدد صحیح، بهینه سازی تصادفی، بهینه سازی استوار و بهینه سازی غیرخطی بنا نهاده شده است، روش های حل مورد نیاز برای حل مسئله تحقیق نیز از روش های ابتکاری و فرا ابتکاری (به دلیل پیچیدگی های زیاد حل مسئله) استفاده شود.

حل مسئله:

در این گام بر مبنای روش حل طراحی شده در مرحله قبل، مسئله تحقیق حل شده و عیوب و اشکالات احتمالی روش حل طراحی شده رفع می گردد.

مرحله بهینه سازی از دیدگاه ریاضی مرحله ای سخت است. بسیاری از مدل های واقعی بزرگ و پیچیده اند، به طوریکه حل آنها مشکل است و لذا برای حل اینگونه مسائل از روش های ابتکاری استفاده می شود.

عموما بعد از حل مدل، تحلیل حساسیت برای مدل حل شده انجام گرفته، پارامترهای حساس مشخص و در صورت نیاز نسبت به اصلاح و تغییر مدل اقدام می شود.

طراحی/انتخاب مسائل نمونه تصادفی و جمع آوری داده واقعی:

در این گام، مسائل نمونه تصادفی (بر مبنای مسائل نمونه ارائه شده در ادبیات موضوع و طراحی تصادفی پارامترهای جدید مسئله تحقیق) و نیز در صورت امکان داده های واقعی برای اعتبارسنجی روش حل پیشنهادی انتخاب و جمع آوری می شوند.

اعتبارسنجی:

در این گام، با استفاده از داده های مرحله قبل، اعتبار عملکرد روش حل پیشنهادی با استفاده از مقایسه با دیگر روش های حل دیگر تحقیقات نزدیک به مسئله تحقیق سنجیده می شود و بر اساس نتایج آن تغییرات لازم در روش حل داده می شود.

این مرحله بویژه در به کارگیری مدل های جهان واقعی مهم است. در اینجا باید مطمئن شد که مدل ساخته شده می تواند به خوبی عمل کند. احتمال پذیرش مدل ساخته شده توسط مدل ساز از سوی شرکت طرف قرارداد آنگاه افزایش می یابد که مدل ساخته شده ممیزی شود و صحت عملکرد آن مورد تایید قرار گیرد. برای بررسی صحت مدل از این دیدگاه شیوه های مختلفی وجود دارد. یک شیوه استفاده از مقادیر و داده های موجود یا قبلی شرکت به عنوان پارامترهای مدل است. در صورتی که جواب به دست آمده از مدل در مقایسه با نتایج واقعی منطقی و مورد رضایت مدیران باشد، صحت عملکرد مدل را می توان پذیرفت ولی اگر جواب مدل با نتایج واقعی بسیار متفاوت باشد باید نسبت به

انجام اصلاحات لازم در مدل اقدام کرد. شیوه دیگر، وارد کردن یک عضو از مجموعه پارامترهای مدل به عنوان ورودی و بررسی نتیجه و خروجی مدل در پی این تغییر در مدل است.

از آنجا که این مرحله منجر به حل مدل خواهد شد، لازم است یک بررسی کامل و نهایی از مدل در خصوص خطاهای ممکن، از قلم افتادگی ها، پیچیدگی های غیر قابل پیش بینی و بویژه تخمین های ساده انگارانه به عمل آید تا به اصلاح، تجدیدنظر در هدف، محدودیت ها و روابط عملیاتی پیش بینی شده در مدل موجود کمک گردد. برای این منظور و اطمینان از صحت کار سه روش زیر پیشنهاد می شود.

الف) بازنگری مدل به منظور اطمینان از صحت و درستی آن.

صحت و درستی مدل به کیفیت داده ها و اطلاعات داده شده به آن بخصوص هنگام فرموله کردن ریاضی آن بستگی کامل دارد، بنابراین این از قلم افتادگی ها یا خطاها در فرموله کردن ریاضی، ممکن است یک مدل را به مدلی با منطقه موجود نامحدود یا بدون منطقه موجه تبدیل کند.

ب) بازنگری پیچیدگی های مدل

از نظر مدیریت، میزان پیچیدگی وابسته به درجه صراحت و روشنی مدل مورد نیاز مدیران و کاربرانی است که تصمیمات خود را براساس اطلاعات ستاده حاصل از حل مسئله اتخاذ و اجرا می کنند. مدل باید حتی الامکان ساده طراحی گردد، زیرا مدل های ساده به زمان کمتری برای فرموله کردن، جمع آوری داده ها رفع نقایص و حل نیاز دارند. ضمن اینکه مدل های ساده واقعیات (پیچیدگی های) سیستم را آشکار تر می کنند.

ج) بازنگری مدل برای کاهش زمان محاسبه

اصولا باید در ابتدا و قبل از هر اقدامی نگرانی ها مدیریت نسبت به جنبه های مختلف مدل مرتفع گردد و پیچیدگی مدل از نظر محاسبه بازنگری و امکان ساده سازی آن کشف شود تا موجب کاهش

زمان حل مسئله گردد. از آنجا که حجم عملیات و طبیعتاً زمان حل مسئله وابسته به تعداد محدودیت های مدل برنامه ریزی خطی است، با کاهش تعداد محدودیت ها می توان در زمان حل مسئله صرفه جویی کرد. استفاده از مسئله ثانویه (در صورتی که تعداد محدودیت های مسئله اولیه بیشتر از تعداد متغیر های تصمیم آن باشد) یا سایر فنون کارا در حل مسایل برنامه ریزی خطی موجب کاهش محدودیت های مدل می شود.

ارائه نتایج:

در این مرحله باید نتایج حاصل از مدل را در اختیار کاربر قرار گیرد. مسئله اصلی در اینجا، مشکل درک مفاهیم مدل های ریاضی توسط مدیران و افراد کلیدی شرکتی است که با اینگونه مفاهیم آشنایی ندارند. این عدم آشنایی احتمال استفاده و اطمینان به مدل را هرچند تمامی مراحل قبل به خوبی انجام شده باشد را کاهش می دهد. به منظور رفع این مشکل بهتر است از ابتدای کار، کاربر درگیر فرایند مدلسازی شود. این کار با مشارکت دادن افراد با صلاحیت شرکت در تیم مدل سازی و ارائه اطلاعات و گزارش پیشرفت کار به افراد و بخش های کلیدی شرکت و توجیه مراتب آنها امکان پذیر است. باید مدلی ساخته شود که به کار گیری آن راحت و درک آن تا حد امکان آسان باشد. این امر زمانی که مدل به صورت رایانه ای حل و تحلیل می شود ضرورت بیشتری می یابد.

انتشار نتایج تحقیق در جامعه دانشگاهی:

پس از مطمئن شدن از کارایی مدل و روش حل پیشنهادی تحت شرایط آزمایشگاهی، در این گام باید اقدام به انتشار نتایج تحقیق در جامعه دانشگاهی نمود تا بتوان با استفاده از نظرات، پیشنهادها و انتقادات دیگر محققان بتوان کیفیت تحقیق را افزایش داد.

به کار گیری مدل:

اجرای موفق مدل وقتی امکان پذیر است که شش مرحله قبل به خوبی صورت پذیرفته باشد. مدل ساز باید توضیحات لازم را در مورد مدل و آموزش های لازم را به کاربران بدهد. قانع شدن مدیران رده بالا و اطمینان از اینکه مدل ساخته شده کارایی کافی دارد و می تواند مسئله سازمان را حل نماید کافی نیست. اطمینان باید در کارکنان و مدیران رده های پایین تری که بعداً به طور مستقیم درگیر مدل خواهند شد نیز به وجود آید. ارتباط مدل ساز با کاربران بعد از تحویل مدل برای مدتی معقول به منظور رفع مشکلات احتمالی و انجام آموزش های لازمی که در حین استفاده از مدل در شرکت بوجود می آید بسیار موثر خواهد بود.

به طور خلاصه، در این تحقیق مسئله مورد نظر مدل سازی ریاضی می شود و سپس با توجه به ماهیت مدل که از نوع برنامه ریزی عدد صحیح مختلط است، از نرم افزار بهینه سازی GAMS استفاده شده است؛ بنابراین این تحقیق از نوع کمی بوده و به لحاظ مورد استفاده، کاربردی است.

با توجه به اینکه تحقیق حاضر از نوع کمی بوده و شامل مدل سازی و حل مسئله است لذا فرضیه ای جهت تست در آن مطرح نیست. همچنین سؤال اصلی تحقیق عبارت است از: «کدام برنامه ریزی و تخصیص تیم های عملیاتی می تواند در شرایط بحرانی، حداقل زمان تکمیل کارهای امدادی را به همراه داشته باشد؟»

۱-۷- ساختار پایان نامه

این پایان نامه در پنج فصل تهیه و تنظیم شده است. در فصل اول به بیان کلیات تحقیق؛ شرح مسئله مورد بررسی و ضرورت و همچنین روش تحقیق پرداخته شده است. در فصل دوم مرور ادبیات تحقیق شامل مبانی نظری و همچنین پیشینه تحقیقات انجام شده بصورت دسته بندی شده ارائه شده است. در فصل سوم پارامترها و متغیرهای تصمیم مسئله مورد بررسی تعریف شده و مدل پیشنهادی حل

مسئله توسعه داده می شود. فصل چهارم شامل تجزیه و تحلیل نتایج و خروجی حاصل از حل مسئله در محیط گمز می باشد. در نهایت در فصل پنجم، جمع بندی تحقیق پیشنهادات حاصل از آن همراه با توصیه‌هایی جهت انجام تحقیقات مشابه آتی ارائه شده است.

فصل دوم:

پیشینه تحقیق

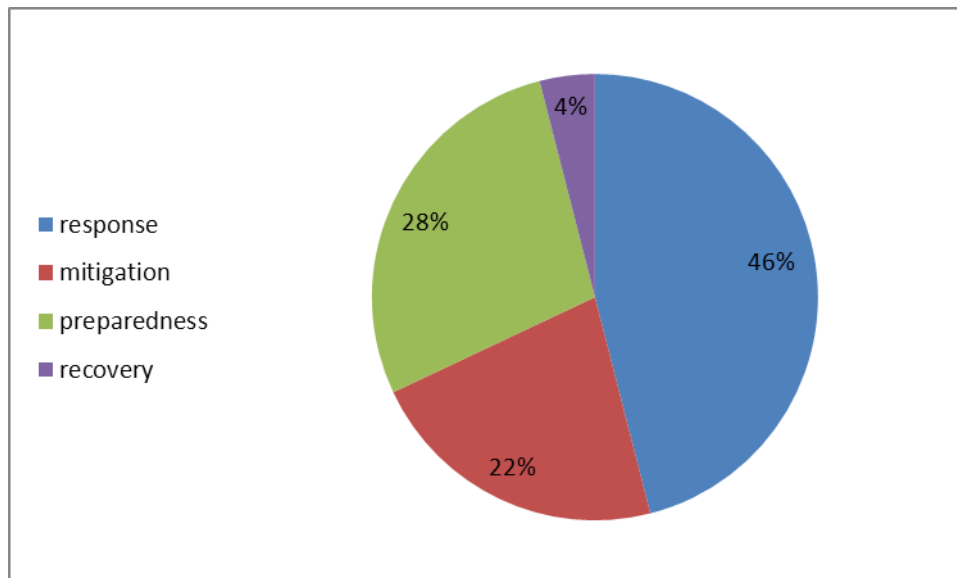
۲-۱- مرور ادبیات در مدیریت بحران:

در ادبیات مدیریت بحران، چالش‌ها و فعالیت‌ها به فاز آمادگی (زمان قبل از بحران)، فاز پاسخ (زمان هنگام بحران و اندکی پس‌از آن) و فاز بازیابی (مدت‌زمان طولانی پس از بحران) طبقه‌بندی شده‌اند (اعجمی و فتاحی، ۲۰۰۹؛ آلتای و گرین، ۲۰۰۶). هر یک از این فازها دارای فضای تصمیم‌گیری مربوط به خود با توجه به متغیرها و محدودیت‌های تصمیم‌گیری آن است. علی‌رغم اهمیت بررسی فازهای مذکور و یکپارچه نمودن تصمیم‌های مدیریت با الزامات فازهای یادشده، مطالعات اندکی در ادبیات موضوع در این حوزه انجام شده است. در این میان، فاز کلیدی پاسخ از اهمیت بسزایی برخوردار بوده و نیاز به توسعه مدل‌های تصمیم‌گیری مربوط به آن و یکپارچه کردن تصمیمات این فاز با دیگر تصمیم‌های مدیریتی احساس می‌شود. به پژوهش در مدیریت عملیات بحران در پاسخ به تاثیر فاجعه بار بلایا در طول این دوره و نیاز به ارائه شیوه‌های بهتر به منظور مقابله با این حوادث، توجه زیادی در دهه گذشته شده است، با این حال گستردگی مدیریت عملیات بحران توسط اکثر مردم شناخته شده نیست. راولز و تورن کوئیست (۲۰۱۲) مدیریت عملیات بحران را به عنوان ترتیب و توالی عملیات که به دنبال جلوگیری یا کاهش صدمات، مرگ و میر و خسارات ناشی از یک فاجعه می‌باشد، و تسهیل بازیابی از چنین حوادثی تعریف کردند؛ به طور مشابه، آلتای و گرین، (۲۰۰۶) آن را به عنوان مجموعه‌ای از فعالیت‌هایی که قبل، در طول و پس از یک فاجعه با هدف جلوگیری از دست رفتن جان انسان‌ها، کاهش تاثیر آن بر اقتصاد و بازگشت سریع‌تر به حالت عادی انجام می‌شود در نظر گرفتند. همانطور که مشاهده می‌شود، مدیریت عملیات بحران تمام اقدامات صورت گرفته برای کاهش تاثیر فاجعه، از به حداقل رساندن آسیب پذیری و کاهش ریسک تا روش‌های بازسازی و اجرای برنامه‌هایی برای بازگشت به حالت عادی را در بر می‌گیرد. مدیریت عملیات بحران توسط بسیاری از دولت‌ها در سراسر جهان به منظور کاهش تاثیر بلایای استفاده می‌شود. با این حال غیر قابل پیش بینی بودن (احتمال وقوع، محل، تاثیر)، بزرگی (ظرفیت پاسخ محدود)، عدم قطعیت (تعداد

قربانیان و یا افراد تحت تاثیر قرارگرفته، محل تقاضا، زیرساخت های آسیب دیده) و پیچیدگی (احتمال وقوع مجدد و یا بلایای ثانویه، ارتباطات و مشکل هماهنگی) وقایع از این دست می تواند توسعه برنامه های کارآمد را دشوار سازد این به خاطر این واقعیت است که بسیاری از متغیرها وجود دارد که باید در تجزیه و تحلیل های مختلف که تقریباً غیر ممکن برای پیش بینی می باشند لحاظ شوند. (ماریا کامیلا و همکاران، ۲۰۱۵). در سال های اخیر، در تحقیق در عملیات توجه زیادی به مدیریت عملیات بحران شده است و کاربرد مناسبش در این حوزه را نشان می دهد. یکی از اولین بررسی های کامل توسعه یافته در موضوع توسط (آلتای و گرین، ۲۰۰۶) انجام شد. در این پژوهش، ۱۰۹ مقاله از همه انواع بحران ها مورد کنکاش قرار گرفت. براساس ژورنال، فاز بحران، روش تحقیق، خروجی پژوهش، نوع فاجعه و سناریو طبقه بندی شدند. در کار آنها دیده می شود که بسیاری از ادبیات در تحقیق در عملیات در فاز کاهش و برنامه ریزی ریاضی می باشد، از جمله روش های اکتشافی به عنوان ابزار اصلی برای مواجهه با مسائل استفاده شده است، بر اساس این مطالعه، درک بهتری از ورودی و ویژگی های حوادث مختلف و همچنین توسعه روشهای جدید حل مورد نیاز است. آنها همچنین اشاره کردند که باید تحقیقات بیشتری بر روی ساختارهای چند سازمانی به منظور تسهیل هماهنگی و ارتباطات در حوادث، باید وجود داشته باشد. باید مدل های بیشتر با استفاده از تکنیک های نرم OR وجود داشته باشد و هنوز هم نیاز جهت توسعه روش های بیشتر برای فاز بهبود وجود دارد. در ادامه این پژوهش گالیندو و باتا (۲۰۱۳) از بررسی کتابشناختی در مدل OR در مدیریت عملیات بحران ۲۰۰۵-۲۰۱۲ انجام شده است، شامل ۱۵۵ مقاله. آنها، طرح طبقه بندی آلتای و گرین را دنبال و با روند تحقیقات مدیریت عملیات بحران خود مقایسه نمودند. آنها نتیجه گرفتند که یک تغییر مهم در درصد روش های به کار گرفته شده از سال ۲۰۰۶ وجود نداشته است و برنامه ریزی ریاضی هنوز هم روشی است به طور گسترده استفاده شده است، اما علاقه بیشتری در فاز آمادگی و پاسخ نسبت به کاهش در سال های اخیر وجود داشته است. یکی از کمک های با ارزش در این تحقیق، بخش فرض تحقیق است که در آن تناسب هر یک از مفروضات مورد استفاده در مدیریت

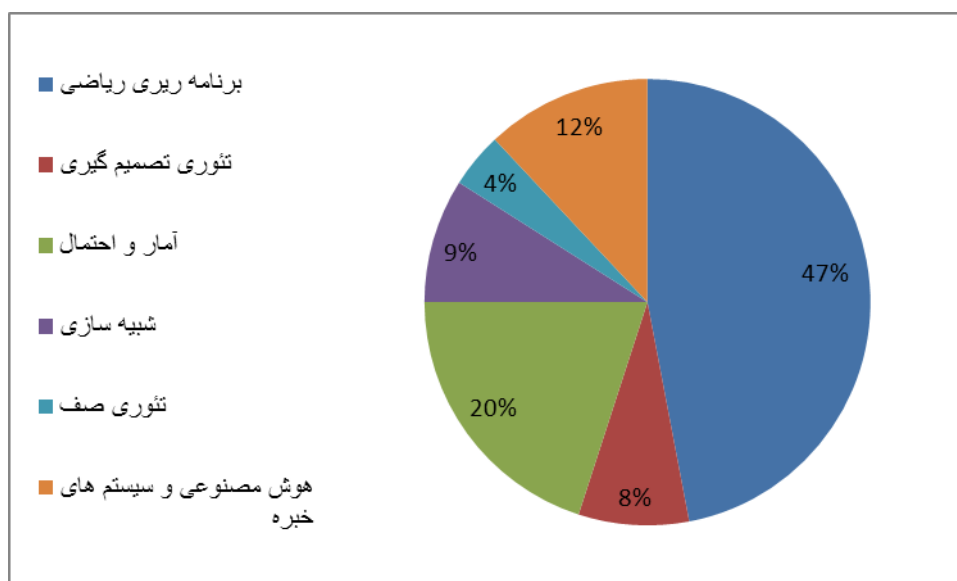
عملیات بحران توجه به کاربرد آن مورد بررسی قرار گرفته است. در نتیجه گیری اشان، آنها عدم توسعه تحقیق در رابطه با سازمان های بشردوستانه، فقدان مقالات برای فاز بهبود و نیاز به درک بهتر و تجزیه و تحلیل داده ها و مفروضات در مدل ها ذکر نموده اند. کواکز و اسپن (۲۰۰۷)، ۹۸ مقاله تا ۲۰۰۵ را مورد کنکاش قرار دادند با تمرکز بر لجستیک و مدیریت زنجیره تامین در بحران ها. در بررسی های خود از ادبیات آکادمیک و عملیاتی آنها اهمیت پژوهش در مراحل مختلف و نیاز به راه حل هایی برای مواجهه با چالش های بحران ها مانند زیرساخت بی ثبات، عدم قطعیت در تقاضا، عرضه و زمان پاسخ و نیاز مدل های پویا به مقابله با این چالش ها را متذکر شدند. اوراستریت و همکاران (۲۰۱۱) ۵۱ مقاله را بررسی کردند و مرجع خوبی برای لجستیک و تحقیقات آینده، از جمله زمینه هایی مانند سیاست های برنامه ریزی و روش ها، پرسنل سازمان، زیرساخت ها، حمل و نقل، فن آوری اطلاعات و ارتباطات و مدیریت موجودی فراهم شده است. لتیئری و همکاران (۲۰۰۹) یک مرور سیستماتیک از ادبیات مدیریت بحران در دوره ۱۹۸۰-۲۰۰۶، با هدف کمک به دانش موجود در مدیریت بحران را ارائه نمودند. آنها در روی یک نوع خاص از خطر تمرکز نکردند اما به جای آن تعریفی برای روش های مدرن ارائه نمودند. کانهی و همکاران (۲۰۱۲) یک مرور کلی بر روی مدل های بهینه سازی در تدارکات اضطراری، انجام دادند و یافته های خود را با توجه به عملیات انجام شده، طبقه بندی نمودند: محل تسهیلات، توزیع امداد و حمل و نقل تلفات و انواع مدل، تصمیم گیری، اهداف و محدودیت ها. آینده پژوهش در مدل چند هدفه و پویا، مدل هایی از جمله امکان انتقال امکانات و تلفات با ترکیب زمان حمل و نقل، شدت آسیب و در حوزه درمان برخی از دستورات عملیاتی های ارائه شده توسط نویسندگان هستند. در شکل (۲-۱) و (۲-۲) طبقه بندی انجام شده توسط ماریا کامیلا و همکاران، (۲۰۱۵) را بر حسب درصد پژوهش های انجام شده در فاز های مختلف مدیریت بحران و همچنین روشهای مورد استفاده در حل مسائل را پس از بررسی ۱۰۱ مقاله از ۲۰۰۶ تا ۲۰۱۲ نشان داده شده است. این توزیع از مقالات نشان می دهد که روند متداول در تحقیقات مدیریت

عملیات بحران تمرکز در درجه اول در مدل های برنامه ریزی ریاضی با ویژگی های تصادفی برای فازهای آمادگی و پاسخ، دارد و بسیاری از آنها دارای مولفه های شبیه سازی شده نیز هستند.



شکل (۱-۲) طبقه بندی مقالات بر اساس فازهای بحران

در همین حال از روش احتمالاتی و آماری بیشتر در شرایط ریسک و تجزیه و تحلیل پیش بینی در فاز کاهش استفاده شده است و تئوری تصمیم گیری تمام مراحل را پوشش می دهد. به کار بر روی مرحله بهبود و همچنین روش تئوری صف، توجه زیادی تا کنون داده نشده است.



شکل (۲-۲) طبقه بندی مقالات براساس روش تحقیق (۲۰۰۶-۲۰۱۲)

جدول (۱-۲) طبقه بندی مقالات برنامه ریزی ریاضی براساس تابع هدف

تعداد	تابع هدف
۱۵	به حداقل رساندن هزینه
۱۰	به حداقل رساندن تقاضای برآورده نشده
۹	به حداکثر رساندن پوشش
۲	به حداکثر رساندن تعداد مورد انتظار از زنده ماندگان
۳	به حداقل رساندن زمان سفر
۳	حداکثر رساندن سود به مشتریان
۱	به حداقل رساندن خطاها
۱	به حداکثر رساندن جریان سیستم
۴	به حداقل رساندن فاصله

در مدل‌های برنامه‌ریزی و تصمیم‌گیری ارائه‌شده برای مدیریت بحران در فاز پاسخ، از روش‌های متنوعی همچون آمار کاربردی و تئوری احتمالات مبتنی بر برنامه‌ریزی ریاضی استفاده شده است. هدف استفاده از این معیارها، نمایش الزامات و معیارهای تصمیم‌گیری در لحظات بحرانی و لحاظ نمودن آن‌ها در فرایند تصمیم‌گیری توسط مدیران بحران است (لامبرت و پترسون، ۲۰۰۲؛ ریجرز، جیسون والر و همکاران، ۲۰۰۷؛ ایری و همکاران، ۲۰۰۹).

جدول (۲-۲) طبقه بندی مقالات برنامه ریزی ریاضی با روش های بهینه سازی

تعداد	روش بهینه سازی
۹	مسئله عدد صحیح مختلط
۱۴	برنامه تصادفی دو مرحله ای
۲	الگوریتم ژنتیک
۵	بهینه سازی استوار
۱	خوشه بندی

۱	Entity search heuristic
۹	سایر روش های ابتکاری
۴	بهینه سازی شبکه ای
۳	برنامه ریزی دینامیک

فدریک و همکاران (۲۰۰۰)، یک مدل پویای تخصیص بهینه منابع جهت پاسخ اضطراری پس از زلزله را ارائه نموده‌اند. در این مدل، از توصیفات دقیق مناطق عملیاتی و از منابع در دسترس جهت محاسبه کارایی و عملکرد منابع در وظایف مختلف مربوط به پاسخ اضطراری استفاده شده است. همچنین برای حل مدل، از یک روش حل ابتکاری مبتنی بر الگوریتم کوتاه‌ترین مسیر استفاده شده است. دومین مسیر تحقیقات از روش‌های الگوریتم محاسباتی استفاده نمودند تا شکاف بین اصول طراحی سیستم‌های اطلاعاتی و فرایندهای پشتیبانی و تصمیم‌گیری را پر کنند، برای مثال لیفلر (۲۰۰۸) و ون دی وال و همکاران (۲۰۰۸). جریان سوم تحقیقات از تحقیقات تجربی و نتایج تصمیمات قبلی استفاده می‌کند تا راه‌کارهای نوآورانه را ایجاد کند (فرج و زیائو، ۲۰۰۶). چهارمین مسیر تحقیقات تمرکز روی فرایند تصمیم‌گیری بر اساس عوامل^{۱۱} غیرمتمرکز یا مرجع قدرت^{۱۲} متمرکز دارد (ایری و همکاران، ۲۰۰۹). رولند و همکاران (۲۰۱۰) استفاده از مدل زمانبندی پروژه با منابع محدود برای پاسخ به بحران و فاز بازیابی را پیشنهاد می‌کنند آنها مسئله زمانبندی پاسخ اضطراری مورد بحث قرار دادند و یک الگوریتم کارآمد برای حل مسائل زمانبندی پاسخ اضطراری در محدوده زمان معقول سازگار با الزامات مدیریت بحران پیشنهاد نمودند. نتایج ارائه شده حاکی از صرفه جویی قابل توجه در زمان و هزینه است و اثربخشی عملیاتی بین سازمان های مختلف مدیریت بحران های را بهبود می دهد و هماهنگی متمرکز را با به کارگیری یک مدل برنامه ریاضی برای برنامه ریزی توزیع واحدهای نجات و تخصیص آنها به سانه‌ها توسعه دادند ولی مدل پیشنهادی از مدت‌زمان ثابت استفاده می‌نمود و این

¹¹ - agent

¹² - authority

واقعیت که هر حادثه سطح شدت متفاوتی دارد را به حساب نمی‌آورد. وکس و همکاران (۲۰۱۱، ۲۰۱۲، ۲۰۱۳) فرمول ریاضی و یک روش ابتکاری مونت کارلو برای اختصاص و برنامه‌ریزی تیم‌های نجات در قطعیت و عدم قطعیت را پیشنهاد نمودند.

جدول (۲-۳) سه فیلد $\alpha|\beta|\gamma$ را با جزئیات توصیف می‌کند.

جدول (۲-۳) توضیح عبارات $\alpha|\beta|\gamma$

α		β		γ	
نماد	توصیف	نماد	توصیف	نماد	توصیف
۱	ماشین تک	ST(si)	زمان تنظیم مستقل از توالی	Cmax	Makespan
P	ماشین موازی (یکسان)	SC(sd)	هزینه تنظیم وابسته به توالی	E _{max}	حداکثر تعجیل
Q	ماشین موازی (یکنواخت)	ST(sd)	زمان تنظیم وابسته به توالی	L _{max}	حداکثر دیرکرد
R	ماشین موازی (نامرتب)	ST(si,f)	Sequence-independent family setup time	T _{max}	حداکثر تاخیر
F _m	m-stage flowshop	ST(sd,f)	Sequence-dependent family setup time	D _{max}	حداکثر زمان تحویل
FF _m	m-stage flexible(hybrid)flowshop	SC(sd,f)	Sequence-dependent family setup cost	TSC	مجموع هزینه تنظیم
AF _m	m-stage assembly flowshop	ST(psd)	Past-sequence-dependent setup time	TST	مجموع زمان تنظیم
J	job shop	prec	Precedence constraints	TNS	مجموع تعداد تنظیم‌ها
FJ	flexible job shop	r _j	Non-zero release date	$\sum F_i$	Total flowtime

O	open shop			ΣC_j	کل زمان تکمیل
				ΣE_j	مجموع تعجیل ها
				ΣT_j	مجموع تاخیرها
				ΣW_j	مجموع زمان انتظار
				ΣU_j	تعداد وظایف تاخیر افتاده
				$\Sigma W_j C_j$	کل زمان تکمیل وزنی
				$\Sigma W_j F_j$	Total weighted flowtime
				$\Sigma W_j U_j$	تعداد وظایف تاخیری وزنی
				$\Sigma W_j E_j$	مجموع تعجیل وزنی
				$\Sigma W_j T_j$	مجموع تاخیر وزنی
				$\Sigma w_j W_j$	مجموع زمان انتظار وزنی
				$\Sigma h(E_j)$	مجموع جریمه تعجیل
				$\Sigma h(T_j)$	مجموع جریمه تاخیر
				TADC	مجموع تفاوت ها در زمان های تکمیل

در جدول (۲-۴) مقالات و تحقیقات مرتبط با زمانبندی ماشین های موازی بر حسب تابع هدف مسئله و روش حل طبقه بندی شده است.

جدول (۲-۴) طبقه بندی مسائل زمانبندی ماشین های موازی با زمان راه اندازی

نوع تنظیم	مرجع	ضابطه (نوع ماشین { P,Q,R})	روش حل
STsd	Akyol and Bayhan (2008)	$\sum (w_{j1}E_j + w_{j2}T_j)$ (R)	مدل MIP شبکه عصبی مصنوعی
	Anderson et al. (2013)	$\sum (E_j + T_j)$ (P)	مدل MIP براساس شبکه
	Andrés and Ruiz (2007)	FI ($\sum C_j$, total # of assigned resources) (R, resource)	مدل MIP و روش ابتکاری
	Aramon Bajestani and Tavakkoli-M. (2009)	$\sum w_j T_j$ (R)	الگوریتم B&B
	Arengo et al. (2013)	$\sum T_j$ (R, prec, dynamic job arrivals)	GA
	Armentano and de Franca Filho (2007)	$\sum T_j$ (Q)	GRASP
	Arnaout et al. (2010, 2014)	C_{max} (R)	ACO
	Avalos-Rosales et al. (2015)	C_{max} (R setup times machine dependent)	MIP
	Behnamian et al. (2009a)	C_{max} (P)	ACO, AS, VNS
	Behnamian et al. (2009c)	$\sum (E_j + T_j)$ (P)	ACO, AS, VNS
	Behnamian et al. (2010a)	$\#(C_{max}, \sum (E_j + T_j))$ (P)	چند فازه براساس روش پارتو
	Behnamian et al. (2011a)	$\#(C_{max}, \sum (E_j + T_j))$ (P)	ACO, AS, VNS
	Caniyilmaz et al. (2015)	FI ($C_{max}, \sum T_j$) (R)	GA
	Cevikcan et al. (2011)	TST	سیستم خبره
	Chang and Chen (2011)	C_{max} (R)	SA, GA

	Chen (2009a)	ΣT_j (R, setup times machine dependent)	SA
	Chen and Chen (2009)	$\Sigma w_j U_j$ (R)	TS
	Chyu and Chang (2010)	$\#(\Sigma w_j F, \Sigma w_j T_j)$ (R, setup times machine dependent)	رویکرد تکاملی پارتو
	Cota et al. (2014)	C_{max} (R)	روش ابتکاری براساس ILS
	de Paula et al. (2010)	$\Sigma w_j T_j$ (R)	روش ابتکاری لاگرانژ
	Dinh and Bae (2012)	FI ($\Sigma T_j, TST$) (P, dynamic sequence-dependent setup times)	MIP
	Driessel and Mönch (2009)	$\Sigma w_j T_j$ (P, rj, prec)	VNS
	Driessel and Mönch (2011)	$\Sigma w_j T_j$ (P, rj, prec)	چندین واریانت VNS
	Fan and Tang (2006)	$\Sigma w_j C_j$ (P)	integer programming
	Gacias et al. (2010)	ΣC_j (P, rj, prec)	الگوریتم B&B
	Gacias et al. (2010)	L_{max} (P, rj, prec)	الگوریتم B&B
	Gharehgozli et al. (2009)	GP($\Sigma w_j T_j$ and $\Sigma w_j F_j$) (P, rj, fuzzy processing times)	Mixed integer goal programming model
	Gokhale and Mathirajan (2012)	$\Sigma w_j F_j$ (P, rj, machine eligibility)	Mathematical model, heuristic algorithms
	Helal et al. (2006)	C_{max} (R)	TS
	Hou and Guo (2013)	C_{max} (P, multiple resource constraints)	MIP, GA
	Hu and Yao (2010)	C_{max} (P)	GA
	Hu and Yao (2011a)	C_{max} (P)	MIP, GA
	Hu and Yao (2011b)	C_{max} (P)	MIP, GA
	Jairo et al. (2009)	C_{max} (P, rj)	روش ابتکاری

	Joo and Kim (2012)	Weighted sum of setup times, delay times, tardy times (rj)	MIP, GA و الگوریتم تکاملی
	Kampke et al. (2009)	FI ($\sum C_j$, total # of assigned resources)(R, setup times	GRASP
	Kang et al. (2007)	$\sum w_j T_j$ (P, rj, rework flows)	TS
	Kang and Shin (2010)	$\sum T_j$, $\sum F_j$, $\sum L_j$, $\sum U_j$, number of reworks (P, rework	Heuristics based on dispatching rules
	kim et al (2006)	$\sum T_j$ (P, rj)	TS
	koh and mahardini (2014)	Cmax (R setup times machine dependent)	GA
	lee et al (2010)	Lmax (P, rj)	Lower bound, a restricted SA
	Zhang et al. (2007)	$\sum w_j T_j$ (R, rj)	Q-learning الگوریتم
SCsd	Li and Milde (2015)	TSC (R)	یک الگوریتم سه مرحله ای ابتکاری

۲-۲- مرور ادبیات از منظر روش مدلسازی و حل

در ادامه سعی شده است تا مطالعات مشابه و مرتبط انجام شده در راستای مسئله تحقیق، از جنبه‌های مختلف نظیر روش‌های مدل‌سازی و حل را مورد بررسی قرار گیرد. نتایج این بررسی در جداول شماره ۵ و ۶ به‌طور خلاصه ارائه شده است. در زمینه مربوط به ارسال کالا و خدمات به مراکز آسیب دیده پیشرفت تحقیقات را به‌صورت زیر شاهد هستیم و در جدول شماره ۵ به‌صورت خلاصه ارائه شده است. از جمله ابتدایی‌ترین مطالعات انجام شده در زمینه توزیع خدمات در شرایط بحران در فاز پاسخ، تحقیق چاندرا (۱۹۹۳) است که یک مدل توزیع پویا که مقادیر جایگزینی انبار و مقداری که باید به هر مشتری فرستاده شود را تعیین نموده است. چاندرا مجموعه مفروضات تقاضای قطعی، ماشین‌های یکسان و مدت‌زمان گسسته را در مدل خود لحاظ نموده است. به‌طور مشابه ای کی یو و همکاران (۱۹۹۶) یک مدل برنامه‌ریزی و زمان‌بندی کارها برای مدیریت جریان محصولات و تعداد سفرهای موردنیاز برای تحویل محصول از یک گره منبع تا گره مقصد با هدف حداقل نمودن کل هزینه‌های

کالاهای حمل شده را ارائه نموده است. مدل تنها یک نوع محصول را شامل می‌شد و فرض می‌کرد که تمام کامیون‌ها ظرفیت برابر دارند و هزینه ذخیره‌سازی، بارگیری و تخلیه بار خطی فرض شده است. پس‌از آن ما شاهد تحقیقاتی که مناسب برای پاسخ اضطراری می‌باشند هستیم، چون با چندین کالا انجام می‌شود (ازمار و همکاران (۲۰۰۴)، یی و ازمار (۲۰۰۵))؛ ولی بیشتر پارامترهای مدل قطعی‌اند. مثلاً در کارهای انجام‌شده توسط حقانی و همکاران (۱۹۹۷) مدل توزیع با چند وسیله^{۱۳} برای چندین کالا توسعه داده شد که تقاضا مشخص فرض شده بود. ازمار و همکاران (۲۰۰۴) یک مدل ریاضی که مسئله شبکه‌ای با چند کالا و چند زمانه با مسئله مسیریابی وسیله نقلیه چند نوبته را برای تعیین مقدار کالای موردنیاز برای ارسال به گره‌های تقاضا را ترکیب می‌کرد، توسعه داده‌اند. تقاضای کالا در اولین نوبت مشخص فرض شده و پس‌از آن تقاضا پیش‌بینی می‌شود. ظرفیت انبار گره‌ها در مدل لحاظ نشده بود.

یی و ازمار (۲۰۰۵) مدل (۲۰۰۴) را با در نظر گرفتن تعداد افراد مجروح به‌عنوان بخشی از متغیر تصمیم اصلاح نموده‌اند. مدل مقدار تقاضاهای رسیدگی نشده (به شکل افرادی که کالا دریافت نکرده‌اند) و تعداد افراد مجروحی که در یک گره در زمان مشخص خدمت‌رسانی نشده‌اند را حداقل نموده است. تعداد کمی از مقالات مسائل توزیع نیروهای امداد را به‌صورت یک مسئله احتمالی در نظر گرفته‌اند. بارباراسوقلو و آردا (۲۰۰۴) یک مدل دومرحله‌ای احتمالی برای انتقال کمک‌های امدادی به ناحیه متأثر از زلزله ارائه نموده است. بالسیک و همکاران (۲۰۰۸) یک مدل توزیع عدد صحیح آمیخته برای نیروهای امداد ارائه نموده‌اند. مدل تعداد نیروهای امداد ارسالی از مرکز توزیع به مکان تقاضا و برنامه‌ریزی تحویل برای هر وسیله را تعیین نموده است.

جدول (۵-۲) تحقیقات انجام شده در مسائل توزیع کالا و خدمات در شرایط اضطراری

مشخصات	مدل ارائه شده	نویسنده
هزینه‌های جایگزینی را حداقل می‌کند. انبار واحد و محصولات چندگانه، نوبت‌های مجزای چندگانه، تقاضای قطعی، تعیین مقادیر جایگزینی، تعیین برنامه تحویل	مدل جایگزینی پویا (مدل برنامه‌ریزی خطی)	چاندر (۱۹۹۳)
هزینه‌های حمل‌ونقل را حداقل می‌کند. تک‌محصولی است. تعیین مقادیر محصولات تا به هر گره مقصد فرستاده شود. تعیین برنامه‌ریزی کامیون‌ها.	حمل‌ونقل خطی و مدل برنامه‌ریزی خطی	ای کی یو (۱۹۹۶)
حداقل کردن هزینه حمل‌ونقل. چند نوبته و چند محصوله. تعیین تعداد افراد مجروح و کالاها جهت حمل به هر گره	مدل توزیع	حقانی (۱۹۹۷)
تقاضای رسیدگی نشده را حداقل می‌کند. چند نوبته و چند محصوله است. تعیین نوبت اعزام وسیله نقلیه را می‌نماید.	مدل توزیع	ازمار (۲۰۰۴)
تقاضای رسیدگی نشده را حداقل می‌کند. چند نوبته و چند محصوله است. مسیریابی وسیله نقلیه را انجام می‌دهد.	مدل توزیع	ازمار (۲۰۰۵)
هزینه حمل‌ونقل را حداقل می‌کند. چند نوبته و چند محصوله است. عدم قطعیت تقاضا و تأمین دارد. تعیین مقدار کالا فرستاده شده به	مدل احتمالی توزیع	بارباراسوفلو و اردا (۲۰۰۴)

هر گره تقاضا می نماید.		
هزینه های مسیریابی و جریمه را حداقل می کند.	مدل توزیع عدد صحیح مختلط	بالسیک (۲۰۰۸)

جدول شماره ۶ کارهای انجام شده قبلی را در زمینه اختصاص منابع نشان می دهد. بیشتر تلاش های تحقیقاتی با یک منبع سروکار دارد. سورکیس (۱۹۶۸) یک مدل شبیه سازی سیستم پاسخ اداره پلیس شهر نیویورک را توسعه داده است. هدف از سیستم تحلیل زمان پاسخ اداره پلیس نیویورک است. وقتی از پلیس کمک خواسته می شود، در مورد اینکه کدام واحد گشت باید فرستاده شود تصمیم گیری می شود. انتخاب واحد ارسالی بستگی به وجود منابع در آن حوزه دارد. نات (۱۹۸۷) یک مدل خطی برنامه ریزی برای تحویل آذوقه به پناهندگان را توسعه داده است. سپس نات (۱۹۸۸) یک پشتیبانی تصمیم گیری که روش های ابتکاری را با تکنیک های هوش مصنوعی ترکیب می کرد را توسعه داده است.

جدول (۲-۶) تحقیقات انجام شده در تخصیص منابع در شرایط اضطراری

نویسنده	تابع هدف	نوع مدل	منبع تخصیص یافته	کاربرد
سورکیس (۱۹۶۸)	حداقل پاسخ زمانی	شبیه سازی	ماشین گشت	اداره پلیس نیویورک
نات (۱۹۸۷)	حداقل هزینه حمل و نقل	برنامه ریزی خطی	وسایط نقلیه	توزیع آذوقه به اردوگاه پناهندگان
نات (۱۹۸۸)	حداقل کردن سوخت مصرفی	DSS بر پایه دانش	وسیله نقلیه	یک مرکز توزیع چندین اردوگاه را تأمین می کند.
بران و واسیلیو (۱۹۹۳)	حداقل کردن زمان برای تعمیر کامل	شبیه سازی	نیروهای ارتش	زلزله
سارکر (۱۹۹۶)	حداقل کردن هزینه حمل و نقل	مدل برنامه ریزی درجه دو	نیروهای تعمیرات برق	

شرکت خدمات الکتریکی	تعمیر اضطراری کامیون	چارچوب یکپارچه	حداقل کردن عدم دسترسی به خدمات	زوگرافوس (۱۹۹۸)
زلزله	ماشین‌ها و تجهیزات	مدل بهینه‌سازی پویا	حداقل کردن تعداد امکانات	فردریک (۲۰۰۰)
موجود نیست	موجود نیست	مدل تصمیم‌گیری مرکزی	حداقل کردن تأثیر یک بحران طبیعی	بالیس (۲۰۰۰)
آتش‌نشانی	وسایل نقلیه، تجهیزات و نیروی انسانی	شبیه‌سازی رویدادهای گسسته	حداقل کردن پاسخ زمانی	البورس و شاو (۲۰۰۵)

چالش دیگر برای مدیران اورژانس این است که چگونه منابع در دسترس را قبل و بعد از رویداد اختصاص دهند. نمونه‌هایی از منابع شامل وسایل نقلیه تخلیه، تیم‌های نجات، کامیون‌های آتش‌نشانی، گشت‌های پلیس، نیروهای خدماتی است. طی فاز برنامه‌ریزی مدیران نیاز به مدل‌هایی دارند تا حد ممکن متغیرهای مربوط را در نظر بگیرد. جدول شماره ۶ کارهای انجام‌شده قبلی را درزمینه اختصاص منابع نشان می‌دهد. بیشتر تلاش‌های تحقیقاتی با یک منبع سروکار دارد. سورکیس (۱۹۶۸) یک مدل شبیه‌سازی سیستم پاسخ اداره پلیس شهر نیویورک را توسعه داده است. هدف از سیستم تحلیل زمان پاسخ اداره پلیس نیویورک است. وقتی از پلیس کمک خواسته می‌شود، در مورد اینکه کدام واحد گشت باید فرستاده شود تصمیم‌گیری می‌شود. انتخاب واحد ارسالی بستگی به وجود منابع در آن حوزه دارد. نات (۱۹۸۷) یک مدل خطی برنامه‌ریزی برای تحویل آذوقه به پناهندگان را توسعه داده است. سپس نات (۱۹۸۸) یک پشتیبانی تصمیم‌گیری که روش‌های ابتکاری را با تکنیک‌های هوش مصنوعی ترکیب می‌کرد را توسعه داده است. بران و واسیلیو (۱۹۹۳) یک سیستم پشتیبانی تصمیم‌گیری^{۱۴} را که یک مدل بهینه را که زمان کامل تعمیر خرابی‌ها را پس از وقوع بحران

^{۱۴} decision support system

حداقل می‌کرد را معرفی نموده اند. از یک شبیه‌ساز پشتیبانی تصمیم استفاده می‌شد که برای کاربر امکان تولید سناریوهای مختلف از اینکه چه اتفاقی رخ خواهد داد اگر فعالیت‌های مختلف انجام شود را فراهم می‌کرده است. سیستم یک برنامه برای اختصاص نیروهای نظامی (واحدها) به خسارات (وظایف) تولید نموده است. در این حالت این سیستم یک مدل تخصیص که با یک منبع کار می‌کند، می‌باشد. سارکر و همکاران (۱۹۹۶) مسئله تخصیص منابع با مدل برنامه‌ریزی درجه‌دو آمیخته را ارائه کرده اند: یکی برای منبع منفرد و دیگری برای حالت چند منبعه. زاگرافس و همکاران (۱۹۹۸) یک چارچوبی که شامل مدل داده‌های مدیریتی، مدل ارتباطات و پایش وسیله نقلیه است را پیشنهاد نموده اند. آن‌ها چارچوب را با عملیات تعمیر اضطراری در یک شرکت خدمات الکتریکی مورد آزمون قراردادند. هدف چارچوب، حداقل کردن زمان قطع برق از طریق به‌کارگیری کامیون‌های تعمیر اضطراری و به‌کارگیری اطلاعات با یک روش مناسب بوده است. فدریک و همکاران (۲۰۰۰) یک مدل بهینه‌سازی را که به دنبال حداقل کردن تعداد مرگ‌ومیر در عملیات جستجو و نجات پس از یک زلزله است را پیشنهاد نموده اند که بهترین برنامه ممکن منابع برای عملیات جستجو و نجات را فراهم می‌نمود. آن‌ها مدل را با داده‌های ساختگی با به‌کارگیری جستجوی ممنوعه و برنامه شبیه‌سازی تبرید در ++C حل نمودند. چون یک شبکه با اندازه متوسط نمی‌تواند با تکنیک‌های متداول تحقیق در عملیات تحلیل شود. اگرچه نویسنده بیان نموده است که مدل نتایج مناسبی را نشان داده و می‌تواند در یک پاسخ واقعی به بحران بکار رود ولی آن‌ها الگوریتم بکار رفته را و زمانی که برای حل مسئله لازم است را ارائه ننموده اند. آلبورث و شاو (۲۰۰۵) شبیه‌سازی برای مدل کردن روشی که منابع باید از پیش آماده شوند قبل از اینکه حمله رخ دهد را بکار برده اند. دو مدل برای وضعیت‌های متفاوت ساخته شده است. مدل اول به رفع آلودگی از جمعیت پس از یک حمله بیولوژیک و دیگری اختصاص منبع به ناحیه مربوط پرداخته است. آن‌ها یک مطالعه موردی برای تخصیص تیم‌های امداد و نجات پس از سه رویداد همزمان را ارائه نمودند.

در مسائل مسیریابی وسیله نقلیه مشتری‌ها توسط یک ایستگاه منفرد سرویس‌دهی می‌شوند. از ادبیات موجود، تعداد مقالات زیادی فقط به مسیر یابی اشاره می‌کنند اما تعداد اندکی مسیریابی وسیله نقلیه را پس از اختصاص منابع انجام داده‌اند. برای مثال چاندر (۱۹۹۳) یک مدل خطی که برنامه توزیع وسیله نقلیه را با فرض اینکه تمام وسایل نقلیه یکسان هستند توسعه داده است.

بی و ازمار (۲۰۰۵) یک الگوریتم برای مسیریابی وسیله نقلیه هنگامی که مقداری کالا باید از گره‌های تأمین تا گره‌های تقاضای مشخص را توسعه دادند. الگوریتم با یک سناریوی زلزله با فرض احتمال وقوع ۶۵ درصد در سی سال آینده در استانبول، مورد آزمون قرار گرفته است.

در مقاله ای با عنوان "طراحی یک الگوریتم ژنتیک برای یک مسئله دو هدفه زمانبندی ماشین‌های موازی غیر مرتبط با راه اندازی وابسته به توالی و محدودیت اولویت" توکلی مقدم و همکاران (۲۰۰۹) یک مدل، دو سطحی برنامه عدد صحیح آمیخته زمانبندی N وظیفه در M ماشین موازی که دو هدف، تعداد وظایف دارای تاخیر و کل زمان اتمام وظایف را به حداقل می‌نمورد را توسعه دادند. وظایف به دلیل تاریخ تحویل و زمان آماده به کار متفاوت، غیر یکسان هستند و برخی از روابط تقدمی بین آنها وجود دارد. علاوه بر این، زمان راه اندازی وابسته به توالی که در مدل ارائه شده وجود دارد، ممکن است برای هر ماشین بسته به ویژگی‌های خود آن ماشین متفاوت باشد. به دست آوردن یک راه حل بهینه برای این نوع از مسائل پیچیده در اندازه بزرگ در زمان محاسباتی منطقی با استفاده از روش‌های سنتی و یا ابزارهای بهینه‌سازی بسیار دشوار است. این مقاله یک الگوریتم ژنتیک کارآمد (GA) برای حل مسئله دو هدفه زمانبندی ماشین موازی ارائه کرده است. عملکرد مدل ارائه شده و GA پیشنهاد شده توسط تعدادی از آزمایش‌های عددی تأیید شده است. نتایج مربوط اثر بخشی مدل پیشنهادی و GA را برای مسائل کوچک و بزرگ در اندازه رانشان می‌دهد.

نولز و همکاران (۲۰۱۱) یک مدل چند هدفه برای فاز پاسخ ایجاد کردند تا ریسک را به حداقل برسانند و مجموع مدت زمان سفر و پوشش را به حداکثر کنند. آنها مقیاس های همبسته و ناهمبسته ریسک و برای مقابله با زلزله و خطرات سیل در نظر گرفتند.

یکی دیگر از مدل های چند هدفه که مجموع تقاضای رسیدگی نشده و کل زمان سفر را به حداقل می رساند توسط لین و همکاران (۲۰۱۱) توسعه داده شد. که انواع مختلف از وسایل نقلیه و کالاهای امدادی در نظر می گرفت. افشار و حقانی (۲۰۱۲) مدل تک هدف ای ارائه کردند که به زمان بندی جریان امداد و موقعیت مواضع امکانات، می پرداخت. در تحقیقات خود همچنین مسائل مسیریابی برای افزایش پاسخ موثر را در نظر گرفتند. در نهایت، برزین پور و اسماعیلی (۲۰۱۴) مدل توزیع مکانی زنجیره امداد چند هدفه برای مرحله آمادگی مدیریت بحران را توسعه دادند. مدل آنها حداکثر پوشش و حداقل هزینه های کل را در بر می گرفتند.

برای به حداقل رساندن حداکثر زمان نجات بر اساس تمام سناریو ها، یک مدل قوی برای یک شبکه فاجعه با عدم قطعیت در فاصله بین گره ها توسط ما و همکاران ارائه شده است (۲۰۱۰). بهینه سازی تصادفی در مرحله آمادگی مدیریت بحران برای تعیین مکان ذخیره سازی دارو و مقدار موجودی برای هر نوع تجهیزات پزشکی ارائه شده است.

مطالعه دیگری که توسط راولز و تورن کوئیست (۲۰۱۰) انجام شد. آنها یک برنامه ریزی تصادفی دو مرحله ای برای مکان و توزیع کالاهای اضطراری تحت تقاضا نامشخص را ارائه نمودند. نجفی و همکاران (۲۰۱۳) یک مدل چند هدفه، چند حالتی، چند کالا و چند دوره تصادفی برای مدیریت تدارکات از کالاها و افراد مجروح در فاز پاسخ لرزه ارائه نمودند. یکی دیگر از مدل های شبکه ای لجستیک امداد رسانی قوی با کالاهای فاسد شدنی توسط رضایی ملک و همکاران، (۲۰۱۶) ارائه شده است. که یک رویکرد تصادفی قوی مبتنی بر سناریو به کار می برد. این پژوهش با هدف تعیین تخصیص بهینه محل قرارگیری و برنامه توزیع، همراه با بهترین سیاست سفارش برای تهیه کالاهای

فاسد شدنی در مرحله قبل از فاجعه است. احمدی و همکاران (۲۰۱۵) برنامه تصادفی دو مرحله ای که مسائل مکانی- مسیریابی عملیاتی (LRP^{۱۵}) را ارائه نمودند و می تواند پس از وقوع زلزله در فاز پاسخ استفاده شود. آنها سعی کردند تا مسیریابی خودرو و تصمیم گیری توزیع در مورد یک وضعیت واقعی را به کار گیرند. در نهایت، توفیقی و همکاران (۲۰۱۶) یک مدل دو مرحله ای- بر اساس سناریو را برای تعیین محل انبار مرکزی و مراکز توزیع محلی توسعه دادند. علاوه بر این، این تحقیق برنامه توزیع و سطح در دسترس بودن مسیرهای شبکه حمل و نقل را بررسی می نماید.

گرچه مطالعات گسترده ای در ادبیات موضوع پیرامون مسئله زمان بندی انجام کارها در شرایط بحرانی برای تیم های امدادی انجام شده است، اما همچنان با توجه به اهمیت این مسئله نیاز به توسعه بیشتر این مدل ها با توجه به دامنه گسترده کاربرد آنها و شرایط خاص برنامه ریزی احساس می شود. از این رو در این تحقیق سعی شده است تا مسئله برنامه ریزی و زمان بندی تیم های امدادی مدیریت گاز شهری برای اولین بار در کشور ایران بررسی شود. تمامی الزامات و مفروضات در نظر گرفته شده در این مسئله، منطبق با شرایط واقعی نمونه مورد انتخاب شده است.

فصل سوم:

ارائه مدل

تحقیق

۳-۱ مقدمه

در این فصل به معرفی مدل مورد نظر در تحقیق پرداخته شده است. ابتدا مدل و فرضیات مورد نظر در مدل بیان شده و همچنین پیرامون متغیرهای تصمیم و پارامترهای مورد استفاده در مدل توضیحاتی ارائه شده است، سپس توابع هدف و محدودیت‌های مدل ارائه شده است. با توجه به کمی بودن ماهیت این تحقیق، استفاده از روش‌های تحقیق کمی برای انجام این تحقیق امری ضروری است. همچنین رویکرد اصلی این تحقیق رویکرد کاربردی است چراکه هدف اصلی تحقیق ایجاد ارتباط بین مفاهیم نظری تحقیق در عملیات با مسائل کاربردی در دنیای صنعت است.

در این بخش، یک مدل بهینه سازی برای پیدا کردن زمانبندی بهینه و تخصیص واحدهای امداد و نجات به حوادث را ارائه شده است.

۳-۲ مفروضات مسئله

در ادامه به فرضیاتی که در این تحقیق صورت گرفته است اشاره می‌شود.

- اندازه مسئله با تعداد تیم‌های امداد m و تعداد حوادث n که باید رسیدگی شوند مشخص می‌شود.
- در این مسئله تعداد تیم‌ها از حوادث کمتر است.
- همه تیم‌ها قادر به رسیدگی به همه حوادث نمی‌باشند لذا پارامتری باینری به نام cap ارائه شده است که اگر تیم قادر به رسیدگی به حادثه باشد مقدار یک در غیر اینصورت مقدار صفر می‌گیرد.
- زمان فرایند (انجام وظیفه بر روی حادثه) با توجه به مشخصات تیم و شدت حادثه تعیین می‌شود.

- هر واحد امداد زمان سفر متفاوتی به هر حادثه دارد. انجام وظیفه بر روی حادثه غیر قابل قطع فرض می شود.

مدل به شکل یک فرمول باینری درجه دو ارائه شده است.

۳-۳ مجموعه‌ها(علائم)، پارامترها و متغیرهای مسئله

پارامترها و متغیرهای مسئله در جدول زیر ارائه شده است .

جدول (۱-۳) پارامترهای مدل

پارامترهای ورودی	توضیح
N	تعداد کل حوادث، با مجموعه $I=\{1,2,\dots,n\}$
M	تعداد واحدهای امداد و نجات، با مجموعه $k=\{1,2,\dots,m\}$
W_j	ضریب تخریب (سطح شدت) حادثه J
P_j^k	زمان مورد نیاز واحد امداد و نجات K برای رسیدگی به حادثه J؛ ∞ است اگر واحد نجات K ناتوان از رسیدگی به حادثه J باشد
S_{ij}^k	زمان سفر مورد نیاز توسط واحد امداد و نجات برای انتقال از حادثه A به حادثه J؛ اگر $i = 0$ آنگاه واحد امداد K مستقر در آمادگاه خود است قبل از سفر به حادثه J
cap_{ki}	۱ است اگر واحد نجات K قادر به رسیدگی حادثه A باشد؛ در غیر این صورت ۰ است
متغیرهای تصمیم گیری	
X_{ij}^k	۱ است اگر حادثه A توسط واحد امداد و نجات K بلافاصله قبل از رسیدگی به حادثه J رسیدگی شود؛ در غیر این صورت ۰ است
Y_{ij}^k	۱ است اگر حادثه A توسط واحد امداد و نجات K (در هر زمان) قبل از رسیدگی به حادثه J رسیدگی شود؛ در غیر این صورت ۰ است

۴-۳ مدل ریاضی کمینه کردن مجموع زمان تکمیل کارها

مدل ریاضی حداقل سازی زمان تکمیل کارها به صورت زیر نوشته می شود

$$\min_{X^k, Y_{ij}^k} \sum_{j=1}^n \left(W_j \sum_{i=0}^n \sum_{k=1}^m \left[P_i^k Y_{ij}^k + (P_j^k + S_{ij}^k) X_{ij}^k + Y_{ij}^k \left(\sum_{l=0}^n X_{li}^k S_{li}^k \right) \right] \right) \quad (1)$$

$$\sum_{i=0}^n \sum_{k=1}^m X_{ij}^k = 1, \quad j = 1, \dots, n, \quad (2)$$

$$\sum_{j=1}^{n+1} \sum_{k=1}^m X_{ij}^k = 1, \quad i = 1, \dots, n, \quad (3)$$

$$\sum_{j=1}^{n+1} X_{0j}^k = 1, \quad k = 1, \dots, m, \quad (4)$$

$$\sum_{i=0}^n X_{i,n+1}^k = 1, \quad k = 1, \dots, m, \quad (5)$$

$$Y_{il}^k + Y_{lj}^k - 1 \leq Y_{ij}^k, \quad i = 0, \dots, n; \quad j = 1, \dots, n+1; \quad k = 1, \dots, m; \quad l = 1, \dots, n, \quad (6)$$

$$\sum_{i=0}^n X_{il}^k = \sum_{j=1}^{n+1} X_{lj}^k, \quad k = 1, \dots, m; \quad l = 1, \dots, n, \quad (7)$$

$$X_{ij}^k \leq Y_{ij}^k, \quad i = 0, \dots, n; \quad j = 1, \dots, n+1; \quad k = 1, \dots, m, \quad (8)$$

$$Y_{ii}^k = 0, \quad i = 0, \dots, n+1; \quad j = 1, \dots, n+1; \quad k = 1, \dots, m, \quad (9)$$

$$Y_{ij}^k \leq cap_{ki}, \quad i = 1, \dots, n; \quad j = 1, \dots, n+1; \quad k = 1, \dots, m, \quad (10)$$

$$\sum_{l=1}^{n+1} X_{il}^k \geq Y_{ij}^k, \quad i = 0, \dots, n; \quad j = 1, \dots, n+1; \quad k = 1, \dots, m, \quad (11)$$

$$\sum_{l=0}^n X_{ij}^k \geq Y_{ij}^k, \quad i = 0, \dots, n; \quad j = 1, \dots, n+1; \quad k = 1, \dots, m, \quad (12)$$

$$X_{ij}^k, Y_{ij}^k \in \{0,1\}, \quad i = 0, \dots, n; \quad j = 1, \dots, n+1; \quad k = 1, \dots, m, \quad (13)$$

تابع هدف (۱) از مدل، مجموع وزنی زمان تکمیل همه حوادث را به حداقل می‌رساند. علاوه بر وجود N حادثه، ما دو حادثه ساختگی را توسط ۰ به عنوان داده نقطه شروع (به نام دپو) و $n+1$ به عنوان نقطه پایان اضافه می‌کنیم این حوادث زمان رسیدگی ندارند یعنی: $P_0^k = P_{n+1}^k = 0$ اما واحد k نیاز به زمان سفر $S_{0j}^k \geq 0$ دارد تا از نقطه شروع به حادثه j حرکت کند. بعلاوه ما $S_{j(n+1)}^k = 0$ را برای تمام حوادث در نظر می‌گیریم. W_j را ضریب تخریب (سطح شدت) حادثه j در نظر می‌گیریم. در نتیجه، ضریب تخریب پایین‌تر، شدت کمتر حادثه را نشان می‌دهد.

محدودیت (۲) تضمین می‌کند که دقیقاً یک حادثه وجود دارد که بلافاصله قبل از هر یک از حوادث غیر ساختگی n رسیدگی می‌شود.

به طور مشابه، محدودیت (۳) تضمین می‌کند دقیقاً یک حادثه وجود دارد که بلافاصله پس از هر از حادثه غیر ساختگی n رسیدگی می‌شود. محدودیت‌های (۴) و (۵) تضمین می‌کنند که هر واحد امداد و نجات شروع به رسیدگی به حادثه ساختگی ۰ (دپو) می‌کند و وظیفه اش با رسیدگی به حادثه ساختگی $n+1$ به پایان می‌رسد. محدودیت (۶) برای احتساب انتقال پذیری در روابط پیش‌نیازی است. اگر یک پیش‌نیازی برای یک حادثه خاص j وجود داشته باشد، باید یک جانشین که توسط محدودیت (۷) داده شده نیز وجود داشته باشد. محدودیت (۸) نشان می‌دهد که پیش‌نیاز آنی نیز یک پیش‌نیاز عمومی در نظر گرفته می‌شود. محدودیت (۹) روابط بازتابی، مستقیم یا غیر مستقیم پیش‌نیازی را ممنوع می‌کند. محدودیت (۱۰) تضمین می‌کند که واحداً امداد و نجات K به حادثه i اختصاص داده نمی‌شود اگر k دارای قابلیت برای رسیدگی به i نباشد. محدودیت‌ها (۱۱) و

(۱۲) تضمین می کند که Y_{ij}^k ، صفر می شود اگر واحد امداد و نجات K حادثه i را قبل از حادثه l رسیدگی نکند. محدودیت (۱۳) باعث می شود که مدل یک برنامه باینری شود.

۳-۵ خطی سازی مدل

با توجه به اینکه مدل غیر خطی (باینری درجه دو) می باشد. از روش خطی سازی استاندارد ارائه شده توسط گلور و ولسی (۱۹۷۴) استفاده شده است.

بدین منظور سه محدودیت جدید به مدل به شکل زیر اضافه می شود.

$$U_{ij}^k = Y_{ij}^k * X_{li}^k \quad \begin{matrix} i=0, \dots, n & j=1, \dots, n & k=1, \dots, m \\ l=0, \dots, n \end{matrix}$$

عبارت غیر خطی

$$U_{ij}^k \leq Y_{ij}^k$$

$$U_{ij}^k \leq X_{li}^k$$

$$U_{ij}^k \geq X_{li}^k + Y_{ij}^k - 1$$

۳-۶ ارائه مدل غیر قطعی

عدم قطعیت:

می توان مفهوم عدم قطعیت را شرایطی تعریف کرد که داده ها و اطلاعات به طور ناقص وجود دارد؛

مثلا تفاوت و فاصله بین مقدار اطلاعات لازم برای انجام کاری و مقدار اطلاعات موجود.

دانشمندان مختلف عدم قطعیت را از دیدگاه های متفاوتی تقسیم بندی کرده اند:

عدم قطعیت محیط (Environment uncertainty): ناشی از محیط است. مثل تقاضای مشتری

در یک سیستم تولیدی.

عدم قطعیت سیستم (System uncertainty): مربوط به داخل سیستم است. مثل خرابی ماشین آلات تولیدی در یک سیستم تولیدی.

در برنامه‌ریزی ریاضی معمولاً مسائل با پیش فرض قطعی بودن داده‌ها حل می‌شوند حال آنکه در دنیای واقعی اکثر داده‌ها دچار عدم قطعیت‌اند. عدم قطعیت می‌تواند بر روی بهینگی و موجه بودن مسائل تأثیر بگذارد معمولاً از بهترین برآورد داده‌ها جهت به کارگیری در مدل‌های ریاضی استفاده می‌شود. این داده‌ها را داده‌های اسمی می‌نامند. در مسائل دنیای واقعی ممکن است با تغییر یکی از داده‌ها تعداد زیادی از محدودیت‌ها نقض شده و جواب بدست آمده غیربهینه یا حتی غیرممکن باشد.

در این مدل از یک روش مبتنی بر سناریو برای مدل کردن عدم قطعیت در مورد قابلیت یا توان اجرای وظایف توسط تیم‌های امدادی و همچنین زمان رسیدن هر تیم به هر حادثه، استفاده می‌کنیم.

۳-۶-۱- مجموعه‌ها(علائم)، پارامترها و متغیرهای مسئله

مجموعه‌ها: علاوه بر مجموعه‌های تعریف شده در بخش قبل، مجموعه زیر به مدل اضافه می‌شود:

$$S = \{1, \dots, n_s\} \quad \text{مجموعه سناریوهای ممکن}$$

پارامترها: برخی پارامترهای تعریف شده در بخش قبل به صورت زیر تغییر و سایر پارامترها همانند قبل تعریف می‌شوند:

S_{ijs} : زمان سفر مورد نیاز توسط واحد امداد و نجات برای انتقال از حادثه i به حادثه j تحت سناریوی s

ρ_s : احتمال سناریوی s

cap_{kis} : قابلیت تیم امداد و نجات k برای رسیدگی به حادثه i تحت سناریوی s

۷-۳ مدل احتمالی کمینه کردن مجموع زمان تکمیل کارها

$$\min_{X^k, Y^k} \sum_{j=1}^n \sum_{s=1}^S \left(W_j \rho_s \sum_{i=0}^n \sum_{k=1}^m \left[P_i^k Y_{ij}^k + (P_j^k + S_{ijs}^k) X_{ij}^k + Y_{ij}^k \left(\sum_{l=0}^n X_{li}^k S_{lis}^k \right) \right] \right) \quad (1)$$

$$\sum_{i=0}^n \sum_{k=1}^m X_{ij}^k = 1, \quad j = 1, \dots, n, \quad (2)$$

$$\sum_{j=1}^{n+1} \sum_{k=1}^m X_{ij}^k = 1, \quad i = 1, \dots, n, \quad (3)$$

$$\sum_{j=1}^{n+1} X_{0j}^k = 1, \quad k = 1, \dots, m, \quad (4)$$

$$\sum_{i=0}^n X_{i,n+1}^k = 1, \quad k = 1, \dots, m, \quad (5)$$

$$Y_{il}^k + Y_{lj}^k - 1 \leq Y_{ij}^k, \quad i = 0, \dots, n; \quad j = 1, \dots, n+1; \quad k = 1, \dots, m; \quad l = 1, \dots, n, \quad (6)$$

$$\sum_{i=0}^n X_{il}^k = \sum_{j=1}^{n+1} X_{lj}^k, \quad k = 1, \dots, m; \quad l = 1, \dots, n, \quad (7)$$

$$X_{ij}^k \leq Y_{ij}^k, \quad i = 0, \dots, n; \quad j = 1, \dots, n+1; \quad k = 1, \dots, m, \quad (8)$$

$$Y_{ii}^k = 0, \quad i = 0, \dots, n+1; \quad j = 1, \dots, n+1; \quad k = 1, \dots, m, \quad (9)$$

$$Y_{ij}^k \leq cap_{kis}, \quad i = 1, \dots, n; \quad j = 1, \dots, n+1; \quad k = 1, \dots, m, \quad (10)$$

$$\sum_{l=1}^{n+1} X_{il}^k \geq Y_{ij}^k, \quad i = 0, \dots, n; \quad j = 1, \dots, n+1; \quad k = 1, \dots, m, \quad (11)$$

$$\sum_{l=0}^n X_{lj}^k \geq Y_{ij}^k, \quad i = 0, \dots, n; \quad j = 1, \dots, n+1; \quad k = 1, \dots, m, \quad (12)$$

$$X_{ij}^k, Y_{ij}^k \in \{0,1\}, \quad i = 0, \dots, n; \quad j = 1, \dots, n+1; \quad k = 1, \dots, m, \quad (13)$$

۸-۳ مدل کمینه کردن میانگین تاخیرها

تابع هدف میانگین تاخیرها به شکل زیر می باشد. محدودیت های مدل قبل بدون تغییر به این مدل قابل اعمال می باشد.

$$\min_{X_{ij}^k, Y_{ij}^k} \sum_{j=1}^n \left(\sum_{s=1}^S \left(\rho_s \sum_{i=0}^n \sum_{k=1}^m \left[P_i^k Y_{ij}^k + (P_j^k + s_{ijs}^k) X_{ij}^k + Y_{ij}^k \left(\sum_{l=0}^n X_{li}^k s_{lis}^k \right) \right] \right) - D_j \right) / n$$

۹-۳ مدل کمینه کردن زمان انجام آخرین کار (makespan)

هدف مسئله یافتن بهترین ترتیب انجام کارها به منظور انجام تمامی کارها در سریعترین زمان ممکن است.

$$\min z = u \quad (1)$$

$$u \geq \sum_{i=0}^n \sum_{k=1}^m \left[P_i^k Y_{ij}^k + (P_j^k + s_{ij}^k) X_{ij}^k + Y_{ij}^k \left(\sum_{l=0}^n X_{li}^k s_{li}^k \right) \right] \quad \forall s = 1, \dots, S \quad (2)$$

$$\forall j = 1, \dots, n$$

$$\sum_{i=0}^n \sum_{k=1}^m X_{ij}^k = 1, \quad j = 1, \dots, n,$$

$$\sum_{j=1}^{n+1} \sum_{k=1}^m X_{ij}^k = 1, \quad i = 1, \dots, n,$$

$$\sum_{j=1}^{n+1} X_{0j}^k = 1, \quad k = 1, \dots, m,$$

$$\sum_{i=0}^n X_{i,n+1}^k = 1, \quad k = 1, \dots, m,$$

$$Y_{il}^k + Y_{lj}^k - 1 \leq Y_{ij}^k, \quad i = 0, \dots, n; \quad j = 1, \dots, n+1; \quad k = 1, \dots, m; \quad l = 1, \dots, n,$$

$$\sum_{i=0}^n X_{il}^k = \sum_{j=1}^{n+1} X_{lj}^k, \quad k = 1, \dots, m; \quad l = 1, \dots, n,$$

$$X_{ij}^k \leq Y_{ij}^k, \quad i = 0, \dots, n; \quad j = 1, \dots, n+1; \quad k = 1, \dots, m,$$

$$Y_{ii}^k = 0, \quad i = 0, \dots, n+1; \quad j = 1, \dots, n+1; \quad k = 1, \dots, m,$$

$$Y_{ij}^k \leq cap_{ki}, \quad i = 1, \dots, n; \quad j = 1, \dots, n+1; \quad k = 1, \dots, m,$$

$$\sum_{l=1}^{n+1} X_{il}^k \geq Y_{ij}^k, \quad i = 0, \dots, n; \quad j = 1, \dots, n+1; \quad k = 1, \dots, m,$$

$$\sum_{l=0}^n X_{lj}^k \geq Y_{ij}^k, \quad i = 0, \dots, n; \quad j = 1, \dots, n+1; \quad k = 1, \dots, m,$$

(۱۲)

$$X_{ij}^k \cdot Y_{ij}^k \in \{0,1\}, \quad i = 0, \dots, n; \quad j = 1, \dots, n+1; \quad k = 1, \dots, m,$$

(۱۳)

۳-۱۰ ارائه مدل استوار

مدل ارائه شده در بخش قبل، زمان تکمیل کارها را حداقل می نمود لکن پس از وقوع بحران و تحقق پارامترهای غیرقطعی مسئله، مقادیر توابع هدف و متغیرهای بهینه مسئله می تواند بسیار متفاوت از توابع هدف و متغیرهای به دست آمده از این مدل باشد. لذا برای کاهش مقدار این تفاوت به

ازای همه سناریوهای موجود، در این بخش سعی می‌شود که مدل در برابر پارامترهای غیرقطعی استوار شود. در مدل بهینه‌سازی استوار، دو نوع متغیر وجود دارد: متغیرهای طراحی و متغیرهای کنترل. در مورد متغیرهای طراحی قبل از تحقق پارامترهای احتمالی تصمیم گرفته‌شده‌اند و نمی‌توانند پس از تحقق تنظیم شوند. متغیرهای کنترل زمانی در معرض تنظیم قرار می‌گیرند که یک رخداد خاصی از پارامترهای احتمالی تحقق یابد (پن و نگی، ۲۰۱۰).

سه رویکرد اصلی که تا به حال برای مقابله با عدم قطعیت در مسائل بهینه‌سازی توسعه داده‌شده‌اند عبارت‌اند از:

- بهینه‌سازی تصادفی Stochastic optimization
- بهینه‌سازی فازی Fuzzy optimization
- بهینه‌سازی استوار Robust optimization

مدل‌های بهینه‌سازی تصادفی اولین بار توسط دنزیک و بیل در سال ۱۹۹۵ ابداع شد. این مدل‌ها یک دید احتمالی برای جانشینی قطعیت در زمانی که ضرایب و پارامترهای ناشناخته، احتمالی هستند ارائه می‌دهند. تعداد زیادی از مدل‌های دارای عدم قطعیت از توزیع‌های آماری برای عدم قطعیت داده‌ها استناد می‌کنند. پس این مدل‌ها زمانی قابل‌استفاده هستند که یا توزیع عدم قطعیت پارامترها مشخص و معلوم باشد، یا بتوان توزیع مشخصی به پارامترها برآزش داد.

منطق فازی یا Fuzzy Logic برای اولین بار در سال ۱۹۶۰ توسط دکتر لطفی زاده، استاد علوم کامپیوتری دانشگاه برکلی کالیفرنیا (Berkeley)، ابداع شد. منطق فازی معتقد است که ابهام در ماهیت علم است. برخلاف دیگران که معتقدند که باید تقریب‌ها را دقیق‌تر کرد تا بهره‌وری افزایش

یابد، لطفی زاده معتقد است که باید به دنبال ساختن مدل‌هایی بود که ابهام را به‌عنوان بخشی از سیستم مدل کند. در منطق ارسطویی، یک دسته‌بندی درست و نادرست وجود دارد. تمام گزاره‌ها درست یا نادرست هستند؛ بنابراین جمله «هوا سرد است»، در مدل ارسطویی اساساً یک گزاره نیست، چراکه مقدار سرد بودن برای افراد مختلف متفاوت است و این جمله اساساً همیشه درست یا همیشه نادرست نیست. در منطق فازی، جملاتی هستند که مقداری درست و مقداری نادرست هستند. برای مثال، جمله "هوا سرد است" یک گزاره منطقی فازی می‌باشد که درستی آن گاهی کم و گاهی زیاد است. گاهی همیشه درست و گاهی همیشه نادرست و گاهی تا حدودی درست است. ساده‌ترین تلقی برای تعریف منطق فازی این است که "منطق فازی جواب یک سؤال را به‌جای تقسیم به دو بخش درست یا نادرست، در اصل به یک محدوده جواب در این‌بین توسعه داده است". نمونه معمول آن، وجود رنگ خاکستری در طیف رنگی بین سیاه و سفید است.

اما دایره عمل منطق فازی، از این هم گسترده‌تر است و می‌توان با استفاده از قواعد منطق فازی، جواب‌های فازی متناسب با پرسش را ارائه نمود. برای مثال، جمله "زمانی که باران می‌بارد، شما خیس می‌شوید" جمله نامفهومی نیست، اما جمله "زمانی که مقداری باران می‌بارد، شما مقداری خیس می‌شوید" می‌تواند از نظر مقدار بارش باران یا مقدار خیس شدن، واژه‌های مختلفی را به‌جای واژه "مقداری" بپذیرد. واژگانی از قبیل { کم، زیاد، خیلی کم، خیلی زیاد، قدری و ... }

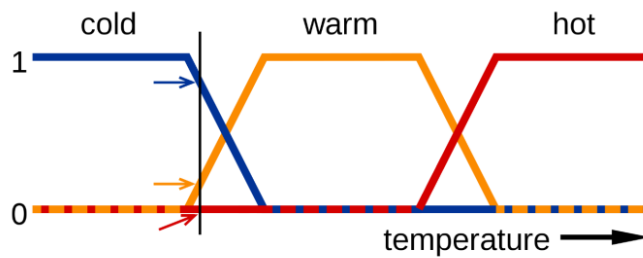
واژه‌های زبان‌شناختی نام دارند، یعنی با مقادیر ریاضی نمی‌توان مقدار مشخصی را به آنها ربط داد.

اینجاست که منطق فازی وارد عمل می‌شود و با استفاده از مجموعه‌های فازی، برای متغیر میزان

بارش باران، مجموعه‌ای را به شکل زیر صورت می‌دهد:

میزان بارش باران = { کم، زیاد، خیلی کم، خیلی زیاد، قدری و ... }

منطق فازی و استفاده از آن برای مدل‌سازی عدم قطعیت تا حد زیادی به در دسترس بودن خبره و ماهیت پارامتر عدم قطعیت بستگی دارد.



شکل (۳-۱)

به‌عنوان پیش‌تاز در عرصه بهینه‌سازی استوار، سویستر (۱۹۷۳) یک روش برنامه‌ریزی استوار بدبینانه برای برخورد با مسائل برنامه‌ریزی خطی غیردقیق توسعه داد. تصمیم استوار تصمیمی است که نسبت به عدم قطعیت محیط تاب آورده و عملکرد ناشی از آن حداقل نوسان را داشته باشد. یک جواب برای یک مسئله بهینه‌سازی، یک جواب استوار است اگر دارای استواری شدنی بودن (Feasibility Robustness) و استواری بهینگی (Optimality Robustness) باشد. استواری شدنی بودن به این معناست که جواب باید برای تمامی (بیشتر) حالات ممکن پارامترهای دارای عدم قطعیت شدنی باقی بماند. استواری بهینگی نیز بدین معناست که مقدار تابع هدف به ازای جواب استوار باید برای تمامی (بیشتر) حالات ممکن پارامترهای دارای عدم قطعیت، نزدیک به مقدار بهینه خود بوده و یا به‌عبارت‌دیگر حداقل انحراف را از مقدار بهینه خود داشته باشد.

از این منظر که برای مدل‌سازی عدم قطعیت در مدل‌های استوار به دانستن توزیع عدم قطعیت و یا وجود خبره نیازی نیست و تنها کافی است حدود پارامتر غیرقطعی را بدانیم، به کار بردن این مدل‌ها برای مدل‌سازی عدم قطعیت نسبت به مدل‌های احتمالی و فازی، ساده‌تر است.

۳-۱۰-۱ تاریخچه بهینه‌سازی استوار و مقالات پایه‌ای مهم:

به‌عنوان پیش‌تاز در این عرصه، سویستر یک روش برنامه‌ریزی استوار بدبینانه برای برخورد با مسائل برنامه‌ریزی خطی غیردقیق توسعه داد. در حوزه ادبیات برنامه‌ریزی ریاضی فازی، اولین تلاش‌ها توسط اینگوئیچی و ساکاو با به‌کارگیری رویکردهای حداقل کردن حداکثر تأسّف به انجام رسید. در سال

۱۹۹۵، مولوی و همکاران یک روش برنامه‌ریزی استوار منعطف‌تر (نسبت به حالاتی که پیش‌تر بیان شد) مبتنی بر مدل برنامه‌ریزی تصادفی سناریو محور توسعه داد. این مقاله نقطه عطفی در ادبیات برنامه‌ریزی استوار ایجاد کرد و بر مبنای آن در سال‌های بعد روش‌های دیگری ارائه شد. چند سال بعد بنتال و نمروفسکی و القوئی و همکاران با توسعه روش سویستر برای مسائل برنامه‌ریزی خطی غیرقطعی با مجموعه‌های عدم قطعیت محدب گوناگون یک گام روبه‌جلوی قابل توجه در توسعه تئوری برنامه‌ریزی استوار برداشتند.

مدل‌های استوار را می‌توان به دو شیوه دسته‌بندی نمود:

تقسیم‌بر اساس شرایط و ویژگی‌های مدل

جدول (۲-۳) طبقه‌بندی مقالات مدل‌سازی استوار بر اساس ویژگی مدل

رویکردها	توضیح	تحقیقات مرتبط
scenario-based stochastic robust programming	در برنامه‌ریزی تصادفی مبتنی بر سناریو به کار می‌رود	Mulvey et al(1995) pan & Nagi(2010)
robust programming based on closed convex uncertainty sets	از مجموعه‌های بسته محدب برای مدل کردن پارامترهای غیردقیق استفاده می‌شود.	Ben-Tal&Nemirovski(1998) Ben-Tal et al(2009) Bertsimas&sim(2004)
fuzzy robust programming	در برنامه‌ریزی فازی به کار می‌رود	Inuiguchi&sakawa(1998) pishvae et al(2012)

مدل‌های استوار محدب از میان مدل‌های استوار مشهورترین به حساب می‌آیند. شهرت این مدل‌ها به دلیل سادگی اثبات (بر اساس قضایای دوگان و مجموعه‌های محدب)، سادگی مدل و امکان تطبیق با سایر مسائل بهینه‌سازی است. مدل‌های سناریو محور زمانی مناسب‌اند که عدم قطعیت به صورت گسسته یا سناریویی رخ می‌دهد. امکان ترکیب مدل‌های بهینه‌سازی استوار با سایر رویکردهای مقابله با عدم قطعیت مانند رویکرد فازی نیز وجود دارد.

تقسیم بر اساس حساسیت کاربرد و ترجیحات گیرنده تصمیم:

جدول (۳-۳) طبقه‌بندی مقالات مدل‌سازی استوار بر اساس حساسیت کاربرد

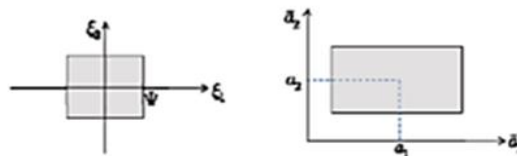
تحقیقات مرتبط	تعریف	رویکرد
soyster(1973) Ben-Tal&Nemirovski(1998) Ben-Tal et al(2009)	با چشم‌پوشی از شانس یا امکان نشدنی بودن جواب. این رویکرد تضمین می‌کند که جواب به ازای تمامی مقادیر ممکن برای پارامترهای دارای عدم قطعیت شدنی باقی بماند (حداکثر ایمنی در برابر عدم قطعیت). از بعد استوار بهینگی هم این رویکرد درصد حداقل کردن بدترین مقدار تابع هدف می‌باشد (منطق حداقل کردن حداکثر تأسف)	رویکرد بدبینانه سخت hard worse case approach
Bertsimas&Sim(2004) Inuiguchi&sakawa(1998)	نسخه منعطف‌تر رویکرد برنامه‌ریزی استوار بدبینانه سخت است که تلاش می‌کند بدترین مقدار تابع هدف را کمینه کند. اما درصد ارضاء (تمامی) محدودیت‌ها در بدترین حالت ممکن هم نیست	رویکرد بدبینانه نرم soft worse case approach
Mulvey et al(1995) Pan&Nagi(2010)	این رویکرد سعی در آن دارد که تعادلی منطقی (به‌طور صریح یا ضمنی) بین استواری، هزینه استواری و سایر اهداف مانند بهبود عملکرد متوسط سیستم ایجاد کند (منطق هزینه-منفعت). برخلاف رویکردهای بدبینانه، در این رویکرد نقض جزئی و یا نقض برخی از محدودیت‌ها مجاز بوده و مدل به دنبال یک جواب استوار نسبی بر اساس ترجیحات تصمیم‌گیرنده می‌باشد. جواب حاصل از این روش موجه و نزدیک بهینه برای اکثر حالات ممکن پارامترهای دارای عدم قطعیت خواهد بود.	رویکرد واقع‌گرایانه realistic approach

انتخاب از میان رویکردهای بالا بر اساس حساسیت مبحث موردنظر و/یا ترجیحات گیرنده تصمیم صورت می‌گیرد. به‌عنوان مثال در حوزه بهداشت و سلامت انتخاب مدلی با رویکرد بدبینانه سخت برای برخورد با عدم قطعیت مناسب‌تر است، چراکه هرگونه خطا و اشتباه در این حوزه غیرقابل جبران نیست و به‌منظور حفاظت از جان و سلامت انسان‌ها حاضر به پرداخت هر هزینه‌ای هستیم. دو

رویکرد دیگر دارای محافظه کاری کمتر و در نتیجه هزینه کمتری می باشند و بر اساس توازنات هزینه ای-محافظه کاری از آنها استفاده می شود.

در بهینه سازی استوار مبتنی بر مجموعه های محدب فرض می شود که داده های غیرقطعی در یک مجموعه عدم قطعیت مشخص تغییر می کند و هدف انتخاب بهترین جواب است که باید از تغییرات و غیرقطعی بودن داده ها در امان باشد. این بدان معناست که جواب های به دست آمده به ازای تمامی مقادیر داده ها در بازه یا مجموعه تعیین شده شدنی باشد. اساس مدل های استوار مبتنی بر مجموعه های محدب بر برنامه ریزی مخروطی و قضایای دوگان استوار است. این مجموعه های محدب بر اساس نرم های فاصله ای مختلف (از یک تا بینهایت) ساخته می شوند.

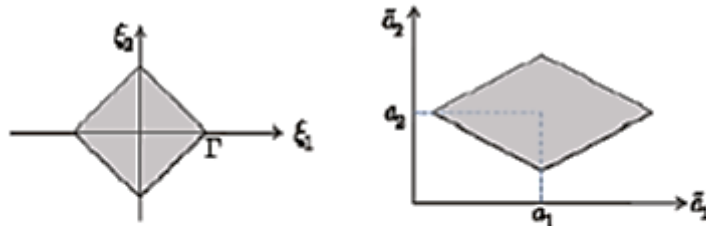
مجموعه عدم قطعیت جعبه: (نرم بی نهایت یا ماکزیمم)



$$U_{\infty} = \{\xi \mid \|\xi\|_{\infty} \leq \Psi\} = \{\xi \mid |\xi_j| \leq \Psi, \forall j \in J\}$$

همان طور که در شکل بالا می بینید فضای عدم قطعیت بین دو پارامتر (دوبعدی) در سمت راست، به شکل متقارن سمت چپ تصویر شده است. همان طور که دیده می شود برای تشکیل این فضای عدم قطعیت متقارن از تعریف نرم بی نهایت استفاده شده است. خطوط کناری این فضا با توجه به علامت متغیر حالت، نشان دهنده بدترین مقدار پارامتر یا (worst case) هستند.

مجموعه عدم قطعیت چندوجهی: (نرم ۱ یا قدر مطلق)



$$U_1 = \{\xi \mid \|\xi\|_1 \leq \Gamma\} = \left\{ \xi \mid \sum_{j \in J_i} |\xi_j| \leq \Gamma \right\}$$

در اینجا نیز فضای عدم قطعیت دوبعدی در راست، به شکل متقارن سمت چپ تصویر شده است. برای تشکیل این فضای عدم قطعیت متقارن از تعریف نرم درجه اول استفاده شده است. این فضا همان دوران یافته حالت جعبه می باشد که با این دوران از worst case بودن فضا کاسته شده است.

چگونگی تشکیل همزاد استوار در فضای عدم قطعیت جعبه:

مدل بهینه سازی خطی زیر را در نظر بگیرید:

$$\begin{aligned} & \min \sum_j \hat{c}_j x_j \\ & s.t \\ & \sum_i \hat{a}_{ij} x_j \leq \hat{b}_i, \forall i \end{aligned}$$

در مدل بالا پارامترهای دارای عدم قطعیت به صورت زیر تعریف می شوند:

$$\hat{a}_{ij} = a_{ij} + \rho_{ij} \bar{a}_{ij}, \forall i, j \in J_i$$

$$\hat{b}_i = b_i + \rho_i \bar{b}_i, \forall i$$

$$\hat{c}_j = c_j + \rho_j \bar{c}_j, \forall j$$

بر طبق گفته بنتال و نمیروسکی با تعریف مجموعه عدم قطعیت جعبه، هدف یافتن جوابی است که به ازای تمامی مقادیر p در مجموعه عدم قطعیت شدنی باشد. در نتیجه مدل به صورت زیر تبدیل خواهد شد:

Min W

$$s.t. \sum_j c_j x_j + \left[\max \left\{ \sum_j \rho_j \bar{c}_j x_j \right\} \right] \leq W$$

$$-b_i + \sum_j a_{ij} x_j + \left[\max \left\{ -\rho_i \bar{b}_i + \sum_{j_i} \rho_{ij} \bar{a}_{ij} x_j \right\} \right] \leq 0, \forall i$$

همزاد استوار مسئله مورد بحث را به صورت ذیل می توان تعریف کرد:

$$Min \left\{ \begin{array}{l} Sup \sum_j c_j x_j : \sum_j a_{ij} x_j \leq b_i, \forall i \\ (a, b, c \in U_{Box}) \end{array} \right\}$$

هنگامی که مجموعه عدم قطعیت جعبه باشد مدل همزاد استوار به صورت مدل خطی زیر تبدیل خواهد شد:

MinW

$$s.t. : \sum_j c_j x_j + \varphi \left[\sum_{j_i} (\bar{c}_j |x_{j_i}|) \right] \leq W$$

$$\sum_j a_{ij} x_j + \varphi \left[\sum_{j \in J_i} (\bar{a}_{ij} |x_j|) + \bar{b}_i \right] \leq b_i, \forall i$$

فرض کنید در یک مسئله بهینه‌سازی، A را مجموعه پارامترهایی از ماتریس تکنولوژیک A تعریف کنیم که در سطر i ام دارای عدم قطعیت‌اند. هر داده دارای عدم قطعیت، $j \in J_i$ ، به صورت متغیر تصادفی مستقل و متقارن \hat{a}_{ij} تعریف می‌شود که به بازه $[a_{ij} - \hat{a}_{ij}, a_{ij} + \hat{a}_{ij}]$ با مرکزیت مقدار اسمی a_{ij} متعلق است. برای مدل‌سازی هر متغیر دارای عدم قطعیت، انحراف از مقدار اسمی را به صورت $z_{ij} = \tilde{a}_{ij} - a_{ij} / \hat{a}_{ij}$ تعریف می‌کنیم که در بازه $[-1, 1]$ تغییر می‌کند.

مدل استوار ارائه شده توسط سویستر که جزو اولین مدل‌های استوار می‌باشد، مدلی خطی است که در آن تمامی پارامترهای دارای عدم قطعیت در بدترین مقدار ممکن ثابت شده‌اند.

$$\text{Min} \sum_j c_j x_j$$

$$\sum_j a_{ij} x_j + \sum_{j \in J_i} \hat{a}_{ij} x_j \leq b_i, \forall i$$

$$x_j \geq 0, \forall j$$

این مدل بسیار محافظه‌کارانه و بدبینانه است. مقدار تابع هدف حاصل از این مدل از میزان تابع هدف اسمی فاصله بسیار زیادی دارد. در ادامه بنتال و نمروفسکی با ایجاد تعادل بین استواری و عملکرد مدل، رویکرد استوار زیر را ارائه دادند.

$$\text{Min} \sum_j c_j x_j$$

$$\sum_j a_{ij} x_j + \gamma \left(\sum_{j \in J_i} \hat{a}_{ij} x_j + \pi_i \sqrt{\sum_{j \in J_i} \hat{a}_{ij} x_j^2} \right) \leq b_i, \forall i$$

$$x_j \geq 0, \forall j$$

در این مسئله بهینه‌سازی γ پارامتری است که درصد تغییرپذیری مدل را کنترل می‌نماید. نویسندگان مقاله نشان دادند که با در نظر گرفتن فضای عدم قطعیت U احتمال اینکه محدودیت i ام نقض شود حداکثر برابر است با $\exp\left(-\frac{\pi_i^2}{2}\right)$. میزان محافظه‌کاری این مدل از مدل ارائه‌شده توسط سویستر کمتر است و همچنین مقدار تابع هدف بهینه مدل استوار از مقدار تابع هدف بهینه مدل قطعی نیز فاصله کمتری دارد. اما این مدل نیز به دلیل غیرخطی بودن دارای پیچیدگی‌های محاسباتی می‌باشد. به‌منظور مقابله با محافظه‌کاری بیش از مدل اول و پیچیدگی مدل غیرخطی دوم، برتیماس و سیم مدلی خطی با پارامتری برای کنترل سطح حفاظت ارائه دادند.

نویسندگان این مقاله ادعا می‌کنند که امکان اینکه تمامی پارامترهای دارای عدم قطعیت به‌طور همزمان در بدترین مقدار خود قرار بگیرند بسیار کم است. حداکثر تعداد پارامترهایی که در هر سطر ممکن است از مقدار اسمی خود انحراف داشته باشند در این مدل برابر با Γ_i می‌باشد. با در نظر گرفتن Γ_i یا "بودجه عدم قطعیت" در مدل به‌صورت $\sum_{j \in J_i} |z_{ij}| \leq \Gamma_i$ "سطح حفاظت" هر محدودیت تعیین می‌شود. پارامتر Γ_i به بازه $[0, |J_i|]$ تعلق دارد. در صورتی که $\Gamma_i = 0$ باشد مدل استوار به مدل قطعی تبدیل می‌شود و همچنین در صورتی که $\Gamma_i = |J_i|$ باشد، این مدل به مدل بدبینانه‌تر سویستر تبدیل می‌شود. لزومی ندارد Γ_i صحیح باشد، بدین ترتیب تعداد $\lfloor \Gamma_i \rfloor$ پارامتر عدم قطعیت در بدترین حالت خود قرار می‌گیرند و یک پارامتر (a_{it}) به‌اندازه $(\Gamma_i - \lfloor \Gamma_i \rfloor) \hat{a}_{it}$ تغییر می‌کند. بر این اساس می‌توان گفت که Γ_i پارامتری است که بین استواری و سطح

محافظه‌کاری مدل، طبق نظر گیرنده تصمیم و الزامات کاربردی تعادل ایجاد کرده و باعث می‌شود مدل استوار واقع‌بینانه باشد.

مدل استوارشده توسط برتسیماس و سیم به صورت زیر است:

$$\text{Min} \sum_j c_j x_j$$

$$\sum_j a_{ij} x_j + \lambda_i \Gamma_i + \sum_{j \in J_i} \mu_{ij} \leq b_i, \forall i$$

$$\lambda_i + \mu_{ij} \geq \hat{a}_{ij} x_j, \forall i, j \in J_i$$

$$\mu_{ij} \geq 0, \forall i, j \in J_i$$

$$x_j \geq 0, \forall j$$

$$\lambda_i \geq 0, \forall i$$

در مسئله بهینه‌سازی بالا متغیرهای λ_i و μ_{ij} متغیرهای کمکی دوگان هستند.

با فرض مسئله تخصیصی به شکل زیر:

$$\min z = fy + \tilde{c}x$$

$$Ty + Ax \geq \tilde{b}$$

$$x \geq 0$$

$$y \in [0,1]$$

عبارت اول در تابع هدف مربوط به هزینه ثابت تخصیص و عبارت دوم نیز هزینه تولید می‌باشد. فرض می‌کنیم که مقدار سمت راست (b) و هزینه تولید (c) دارای عدم قطعیت‌اند. توزیع عدم قطعیت این پارامترها مشخص نیست و تنها بتوانیم بر اساس مقادیر پارامترهای دارای عدم قطعیت برای مسئله بالا سناریوهای مختلف تعریف کنیم. در این صورت اگر π مجموعه سناریوهای موجود باشد $\theta \in \pi$ در صورت دانستن احتمال وقوع هر سناریو می‌توان مقدار تابع هدف در سناریوی موردنظر را به صورت زیر محاسبه کرد:

$$z_{\theta} = fy + c_{\theta}x_{\theta}$$

برای مواجهه با عدم قطعیت تلاش می‌کنیم تا با کمک مسئله بهینه‌سازی زیر امید ریاضی تابع هدف را مینیمم کنیم:

$$\min E(z_{\theta}) = fy + \sum_{\theta} \pi_{\theta} c_{\theta} x_{\theta}$$

$$Ty + Ax_{\theta} \geq b_{\theta}, \forall \theta$$

$$x \geq 0$$

$$y \in [0,1]$$

از آنجایی که رویکرد بالا به ازای هر θ برقرار است. مسئله تحت هیچ شرایطی با نقض مواجه نمی‌شود. این یعنی این مدل از منظر استواری موجه بودن بسیار خوب عمل می‌کند، اما از منظر استواری

بهیئگی تنها به کمینه‌سازی مقدار متوسط سناریوها پرداخته‌ایم. مولوی با ایجاد تغییراتی در مدل بالا آن را به رویکرد چندهدفه تبدیل کرد که علاوه بر کمینه‌سازی متوسط عملکرد مدل، مقدار واریانس و یا پراکندگی را نیز کنترل می‌نماید:

$$\min \lambda E(z_\theta) + (1-\lambda) \sum_{\theta} \pi_{\theta} \left(z_{\theta} - \sum_{\theta' \neq \theta} \pi_{\theta'} z_{\theta'} \right)^2$$

$$Ty + Ax_{\theta} \geq b_{\theta}, \forall \theta$$

$$x \geq 0$$

$$y \in [0,1]$$

در این مدل دو هدفه تصمیم‌گیرنده می‌تواند با تعیین λ نظر خور را اعمال کند. مشکل مدل بالا غیرخطی بودن آن است.

در ادامه هیونگ و همکاران به شیوه‌ای ابتکاری به خطی‌سازی مدل مولوی پرداختند:

$$\min \lambda E(z_\theta) + (1-\lambda) \sum_{\theta} \pi_{\theta} \left(z_{\theta} - \sum_{\theta' \neq \theta} \pi_{\theta'} z_{\theta'} + 2u_{\theta} \right)$$

$$Ty + Ax_{\theta} \geq b_{\theta}, \forall \theta$$

$$z_{\theta} - \sum_{\theta' \neq \theta} \pi_{\theta'} z_{\theta'} + u_{\theta} \geq 0, \forall \theta$$

$$x \geq 0$$

$$u_{\theta} \geq 0, \forall \theta$$

$$y \in [0,1]$$

در صورتی که $z_{\theta} - \sum_{\theta' \neq \theta} \pi_{\theta'} z_{\theta'} \geq 0$ باشد، $u_{\theta} = 0$ حال با توجه به اینکه u_{θ} متغیری مثبت و

تابع هدف مینیمم سازی است در صورت منفی شدن $z_{\theta} - \sum_{\theta' \neq \theta} \pi_{\theta'} z_{\theta'}$ به اندازه

$\sum_{\theta' \neq \theta} \pi_{\theta'} z_{\theta'} - z_{\theta}$ مقدار گرفته و مقدار واریانس به صورتی صحیح در تابع هدف محاسبه

می شود.

محدودیت های مدل استوار شامل محدودیت های ساختاری و محدودیت های کنترل هستند.

محدودیت های ساختاری فاقد پارامترها و متغیرهای غیرقطعی و محدودیت های کنترل دارای پارامترها

و یا متغیرهای غیرقطعی هستند. برای استوار سازی مدل از روش مولوی و همکاران [۲۵] استفاده شده

است. ابتدا مدل بهینه سازی خطی زیر را در نظر بگیرید:

$$\min \zeta = c^T X + d^T Y_s \quad (1)$$

$$AX = b \quad (2)$$

$$B_s X + C_s Y_s = e_s \quad \forall s \quad (3)$$

$$X, Y_s \geq 0$$

در مدل فوق X بردار متغیرهای طراحی و Y شامل متغیرهای کنترل است و S نشان دهنده مجموعه

سناریوهای موجود است و P_s احتمال وقوع هر سناریو برابر با در نظر گرفته می شود، به طوری که

$$\sum_{s=1}^s P_s = 1 \quad \text{و محدودیت ۲ و ۳ به ترتیب نشان دهنده محدودیت های ساختاری و کنترل مسئله هستند.}$$

δ_s بردار متغیرهای انحراف تعریف می شود و میزان نشدنی بودن محدودیت های کنترل تحت

سناریوی S را اندازه می گیرد. مدل ریاضی استوار برای مدل ریاضی بالا به صورت زیر بیان می شود:

$$\min \sigma(x, y_1, y_2, \dots, y_s) + \omega \rho(\delta_1, \delta_2, \dots, \delta_s)$$

Subject to

$$AX = b$$

$$B_s X + C_s Y_s + \delta_s = e_s \quad \forall s$$

$$X, Y_s \geq 0$$

در مدل فوق عبارت $\sigma(x, y_1, y_2, \dots, y_s)$ میزان استواری جواب و عبارت $\rho(\delta_1, \delta_2, \dots, \delta_s)$ میزان

استواری مدل را اندازه گیری می کند که برای این عبارات می توان توابع مختلفی تعریف نمود.

برای مثال $\rho(\delta_1, \delta_2, \dots, \delta_s)$ معمولاً برابر با $\sum_{s \in S} P_s \delta_s$ در نظر گرفته می شود. مولوی و همکاران

عبارت $\sigma(x, y_1, y_2, \dots, y_s)$ را طبق رابطه زیر برابر با مجموع ارزش انتظاری و λ برابر واریانس تابع

هدف، در نظر گرفتند.

$$\sigma(x, y_1, y_2, \dots, y_s) = \sum_{s \in S} P_s \zeta_s + \lambda \sum_{s \in S} P_s (\zeta_s - \sum_{s \in S} P_s \zeta_s)^2$$

۲-۱۰-۳ مدل استوار کمینه کردن مجموع زمان تکمیل کارها

مدل ارائه شده در بخش قبل، به مدل استوار به شکل زیر تبدیل می شود.

$$\begin{aligned} \min_{X, Y} \sum_{j=1}^n \sum_{s=1}^S & \left(W_j \rho_s \sum_{i=0}^n \sum_{k=1}^m \left[P_i^k Y_{ij}^k + (P_j^k + s_{ijs}^k) X_{ij}^k + Y_{ij}^k \left(\sum_{l=0}^n X_{li}^k s_{lis}^k \right) \right] \right) \\ & + \lambda \sum_{s \in S} \rho_s \left(\sum_{j=1}^n \left(W_j \sum_{i=0}^n \sum_{k=1}^m \left[P_i^k Y_{ij}^k + (P_j^k + s_{ijs}^k) X_{ij}^k + Y_{ij}^k \left(\sum_{l=0}^n X_{li}^k s_{lis}^k \right) \right] \right) \right) \\ & - \sum_{j=1}^n \sum_{s=1}^S \left(W_j \rho_s \sum_{i=0}^n \sum_{k=1}^m \left[P_i^k Y_{ij}^k + (P_j^k + s_{ijs}^k) X_{ij}^k + Y_{ij}^k \left(\sum_{l=0}^n X_{li}^k s_{lis}^k \right) \right] \right)^2 \end{aligned}$$

۱۱-۳ روش محدودیت اپسیلون

به‌طور کلی، مسئله بهینه‌سازی دوهدفه در حالت کمینه‌سازی را می‌توان به‌صورت زیر نشان داد:

$$\min f(x) = (f_1(x), f_2(x))$$

s.t

$$x \in D$$

که در آن $X = x_1, x_2, \dots, x_n$ برداری از متغیرهای تصمیم و D فضای شدنی مسئله است. مقایسه دو راه‌حل مختلف در یک مسئله دو یا چندهدفه به‌مراتب پیچیده‌تر از مسائل یک هدف است. مسائل دو یا چندهدفه اغلب فاقد یک جواب بهینه واحدند و بنابراین مجموعه‌ای از راه‌حل‌های بهینه‌ی پار تویی به‌عنوان مجموعه‌ی راه‌حل مؤثر^{۱۶} مسئله ارائه می‌گردد. در یک مسئله‌ی کمینه‌سازی با m تابع هدف، راه‌حل $u \in D$ را بر راه‌حل $v \in D$ غالب پارتویی^{۱۷} می‌گویند. اگر و فقط اگر راه‌حل u در تمامی توابع هدف معادل یا بهتر از راه‌حل v باشد و حداقل به ازای یکی از توابع هدف، اکیداً بهتر از آن باشد. روابط زیر این شرایط را نشان می‌دهند:

$$u \begin{cases} f_i(u) \leq f_i(v) \forall i \in \{1, \dots, m\} \\ f_j(u) < f_j(v) \forall j \in \{1, \dots, m\} \end{cases}$$

همچنین، راه‌حل u را راه‌حل بهینه پارتویی^{۱۸} می‌نامند اگر و فقط اگر هیچ راه‌حلی همچون v بر آن غالب نباشد؛ به‌عبارت‌دیگر، راه‌حل بهینه پارتویی راه‌حلی است که در آن، با بهتر شدن مقدار یکی از توابع هدف، برای حداقل یکی دیگر از توابع هدف، مقداری بدتر به دست می‌آید. راه‌حل بهینه پارتویی را راه‌حل مؤثر یا راه‌حل نامغلوب^{۱۹} نیز می‌نامند. مجموعه مؤثر به مجموعه تمامی راه‌حل‌های مؤثر مسئله گفته می‌شود. در ادامه، ساختار روش محدودیت اپسیلون برای حل مدل ریاضی ارائه‌شده

¹⁶ -efficient solution

¹⁷ -pareto dominance

¹⁸ -pareto optimal solution

¹⁹ -non-dominated solution

تشریح می‌گردد. روش محدودیت اپسیلون یکی از معروف‌ترین روش‌های حل مسائل بهینه‌سازی چندهدفه است. در این روش، به جای ترکیب کردن توابع هدف در قالب یک تابع، بهینه‌سازی، یک هدف مدنظر قرار می‌گیرد و دیگر توابع هدف به محدودیت‌هایی که اپسیلون نامیده می‌شوند، تبدیل می‌گردند (ارگوت، ۲۰۰۵). این روش نخستین بار به کوشش همیز و همکاران (۱۹۷۱) توسعه داده شد و جزئیات آن در تحقیق چانکونگ و همیز (۱۹۸۳) تشریح شده است. در حالتی که مدل ریاضی دارای دو تابع هدف باشد، روش کار الگوریتم ساده و سراسر است و در این حالت، مجموعه دقیق و کامل نقاط مؤثر به دست می‌آیند (بروب و همکاران، ۲۰۰۹).

با فرض آنکه مدل ریاضی دارای شکل کلی زیر باشد، مراحل الگوریتم با انتخاب یکی از توابع هدف به عنوان تابع اصلی شروع می‌شود. فرض کنید که تابع هدف $f_1(x)$ به عنوان تابع هدف اصلی انتخاب شده باشد؛ در این صورت، برنامه‌ریزی ریاضی یک هدفه ی زیر به منزله اولین مدل ریاضی حل می‌گردد:

$$\min f_1(x)$$

$$s.t$$

$$x \in D$$

با فرض آنکه x_1 راه حل بهینه برنامه فوق باشد، مقادیر عددی $f_1(x_1)$ و $f_2(x_1)$ محاسبه می‌گردند. در صورتی که راه حل x_1 یکتا باشد و برنامه فاقد راه حل‌های بهینه چندگانه باشد مقادیر $f_1(x_1)$ و $f_2(x_1)$ به ترتیب مقدار ایده آل تابع اول و بدترین مقدار تابع هدف دوم اند و راه حل x_1 اولین راه حل مؤثر خواهد بود. در صورتی که مدل را ه حل بهینه چندگانه داشته باشد، ممکن است راه حل x_1 راه حل مؤثر نباشد، زیرا این امکان وجود دارد که راه حل بهینه دیگری مانند x_2 برای برنامه به گونه‌ای باشد که مقدار تابع هدف دوم به ازای آن از $f_2(x_1)$ کمتر باشد و بنابراین x_1 به واسطه x_2 مغلوب خواهد بود. به منظور حصول اطمینان از به دست آوردن اولین نقطه مؤثر و رفع مشکل بهینه‌های چندگانه برای تابع اول، مدل ریاضی زیر به عنوان مدل دوم حل می‌گردد:

$$\min f_2(x)$$

s.t.

$$x \in D$$

$$f_1(x) \leq f_1(x_1)$$

از آنجا که مقدار بهینه تابع هدف $f_1(x)$ برابر $f_1(x_1)$ است، مدل ریاضی فوق بهترین مقدار تابع هدف دوم را، به شرط آنکه مقدار تابع هدف اول از مقدار ایدئال خود بدتر نشود، به دست می‌آورد. x_2 به عنوان راه حل بهینه برنامه فوق بهترین راه حل بهینه چندگانه مدل، از منظر تابع هدف دوم، و بنابراین اولین راه حل مؤثر مسئله است. مدل زیر سومین مدل ریاضی است که باید حل شود:

$$\min f_1(x)$$

s.t.

$$x \in D$$

$$f_2(x) \leq \varepsilon$$

که در آن ε برابر با مقدار $f_2(x_2) - \Delta$ در نظر گرفته می‌شود و Δ یک عدد مثبت کوچک است. در مدل فوق، سعی شده است مقدار تابع هدف دوم بهبود یابد که به علت وجود تعارض بین توابع هدف، چنین بهبودی باعث بدتر شدن تابع هدف اول خواهد شد. فرض کنید x_3 راه حل بهینه برنامه فوق باشد؛ در این صورت، همانند استدلالی که در مورد x_1 مطرح شد، لازم است بهترین راه حل بهینه چندگانه‌ی برنامه فوق (اگر راه حل‌های بهینه چندگانه وجود داشته باشند) از منظر تابع هدف دوم به دست آید؛ بنابراین، مدل ریاضی زیر به عنوان چهارمین مدل حل می‌گردد:

$$\min f_2(x)$$

s.t.

$$x \in D$$

$$f_1(x) \leq f_1(x_3)$$

از حل مدل فوق، x_4 به دست می‌آید که بر اساس استدلال مطرح شده در مورد x_2 ، دومین راه حل مؤثر مسئله است. مراحل فوق (حل کردن مدل‌های ریاضی یک هدفه به ترتیب با توابع هدف اول و دوم) تا جایی ادامه می‌یابد که یکی از مدل‌های ریاضی فاقد راه حل شدنی باشد. کلیه راه‌حل‌هایی که در مراحل زوج این رویه به دست می‌آیند، راه‌حل‌های مؤثر مسئله‌اند انتخاب مقدار عددی Δ در انجام مراحل فوق اهمیت بسیاری دارد. هراندازه این مقدار کوچک‌تر انتخاب شود، احتمال آنکه یکی از راه‌حل‌های مؤثر در روند اجرای الگوریتم به دست نیاید، کمتر خواهد بود. در صورتی که مقدار عددی تابع هدف دوم به ازای هر راه حل شدنی، عدد صحیح باشد، آنگاه می‌توان مقدار Δ را برابر با عدد ۱ در نظر گرفت (بروب و همکاران، ۲۰۰۹). در این حالت، روش محدودیت افسیلون به دست آوردن کلیه راه‌حل‌های مؤثر مسئله را تضمین می‌کند. در مدل ریاضی ارائه شده، مقادیر عددی تابع هدف اول، به سبب وجود عبارت‌های احتمالی، ممکن است عدد صحیح نباشد. در مقابل، تابع هدف دوم از مجموع حاصل ضرب طول کمان‌ها در متغیرهای دودویی به دست می‌آید. واضح است که اگر مقادیر طول کمان‌ها به صورت عدد صحیح در نظر گرفته شوند، مقدار تابع هدف دوم همواره عدد صحیح مثبت خواهد بود. در صورتی که در داده‌های مسئله طول برخی از کمان‌ها دارای ارقام اعشاری باشند، می‌توان با ضرب کردن طول تمامی کمان‌ها در توان‌های متوالی، توان مناسبی از عدد ۱۰، بدون آنکه راه‌حل‌های مؤثر مسئله تغییر کنند، طول کلیه کمان‌ها را به عدد صحیح تبدیل کرد. با این اوصاف، برای استفاده از روش محدودیت افسیلون، تابع هدف اول زمان تکمیل کارها به عنوان تابع اصلی و تابع هدف دوم میانگین تأخیرها تابع فرعی در نظر گرفته می‌شوند.

فصل چہارم:

نتایج پژوهش

۱-۴ مقدمه

در این فصل نتایج به دست آمده از مدل پیشنهادی در غالب نمودارها و جداول نشان داده می شود.

جهت حل مدل از نرم افزار *GAMZ 24.1* و یک رایانه شخصی با مشخصات

Intel Core i3, (4GB RAM) استفاده شده است. در قسمت بعدی نتایج مربوط به تجزیه و تحلیل داده-

ها ارائه شده است.

۲-۴ شرح داده های مثال عددی

داده های مسئله از شرکت گاز استان سمنان، بخش ایمنی و بهداشت، واحد پدافند غیرعامل با

توجه به برنامه ریزی موجود و توانمندی و ظرفیت گروه های امدادی اخذ شد. لذا پارامترهای ورودی

مدل کاملاً مبتنی بر داده های دنیای واقعی هستند.

واحد ایمنی شرکت دارای ۴ تیم امدادی در چهار شهر سرخه، مهدیشهر، آرادان و دامغان می باشد. با

توجه به پهنه بندی زلزله نقشه استان و همین طور وضعیت راهها و جاده ها و فاصله هر شهر از گسل و

احتمال وقوع سیل و زلزله با توجه به مکان قرارگیری تیم های امدادی سه سناریو به شرح زیر در نظر

گرفته شده است.

جدول (۴-۱) سناریوهای به کاررفته در مدل غیرقطعی

سناریو شماره ۱	حالت عادی یعنی وضعیتی که تمام تیم‌ها قادر به ارائه خدمت هستند
سناریو شماره ۲	وضعیتی که تیم‌های دامغان و مهدیشهر به دلیل وضعیت جاده‌ها و وجود گردنه در مسیر و برف خیز بودن با زمانی معادل دو برابر معمول قادر به دسترسی هستند. و بقیه تیم‌ها در وضعیتی مشابه سناریو یک قرار دارند.
سناریو شماره ۳	وضعیتی که تیم‌های دامغان و مهدیشهر به دلیل اینکه در منطقه زلزله‌خیز با احتمال وقوع بالا قرار دارند و با فرض وقوع زلزله، قادر به پاسخگویی نمی‌باشند. در این حالت پارامتر cap مقدار صفر می‌گیرد.

۳-۴ نتایج محاسباتی

در ادامه نتایج حاصل از مدل‌سازی در نرم‌افزار GAMS به صورت جدول با مقادیر تابع هدف و زمان حل و تخصیص‌های بهینه ارائه شده است.

جدول (۲-۴) نتایج به دست آمده برای توابع هدف با ۴ تیم و ۱۱ حادثه

تابع هدف	نوع تابع هدف	زمان حل (ثانیه)	مقدار تابع هدف (دقیقه)
C_{max}	قطعی	۱۰۰۰	۱۱۵
<u>Total completion time</u>	قطعی	۵۰۰	۳۹۶
C_{max}	احتمالی	سناریو ۱	۱۱۵
		سناریو ۲	۱۳۸
		سناریو ۳	۱۷۰
		ترکیب سناریوها	۱۷۱
<u>Total completion time</u>	احتمالی	سناریو ۱	۳۹۶
		سناریو ۲	۳۳۳
		سناریو ۳	۳۲۱
		ترکیب سناریوها	۳۴۱
C_{max}	استوار	۱۰۰۰	۱۹۵
<u>Total completion time</u>	استوار	۱۰۰۰	۱۱۰۰

جدول (۳-۴) نتایج به دست آمده برای توابع هدف با ۲ تیم و ۵ حادثه

تابع هدف	نوع تابع هدف	زمان حل (ثانیه)	مقدار تابع هدف (دقیقه)
C_{\max}	قطعی	1.7	101
<u>Total completion time</u>	قطعی	1.28	200
C_{\max}	احتمالی	سناریو ۱	101
		سناریو ۲	138
		سناریو ۳	155
		ترکیب سناریوها	150
<u>Total completion time</u>	احتمالی	سناریو ۱	200
		سناریو ۲	260
		سناریو ۳	155
		ترکیب سناریوها	150
C_{\max}	استوار	3.7	150
<u>Total completion time</u>	استوار	1.4	555

جدول (۴-۴) نتایج به دست آمده برای تابع هدف (lateness) با ۴ تیم و ۱۱ حادثه

تابع هدف	نوع تابع هدف	زمان حل (ثانیه)	مقدار تابع هدف
lateness	قطعی	۱۰۰۰	۵۷.۳۶
lateness	احتمالی	سناریو ۱	۵۷.۳۶
		سناریو ۲	۶۲.۵
		سناریو ۳	۸۹.۸
		ترکیب سناریوها	۹۲.۴

جدول (۵-۴) نتایج به دست آمده برای تابع هدف (lateness) با ۲ تیم و ۵ حادثه

تابع هدف	نوع تابع هدف	زمان حل (ثانیه)	مقدار تابع هدف
lateness	قطعی	۱.۳۳	۶۷.۸
lateness	احتمالی	سناریو ۱	۶۷.۸
		سناریو ۲	۸۶.۶
		سناریو ۳	۵۱.۵
		ترکیب سناریوها	۸۹.۲

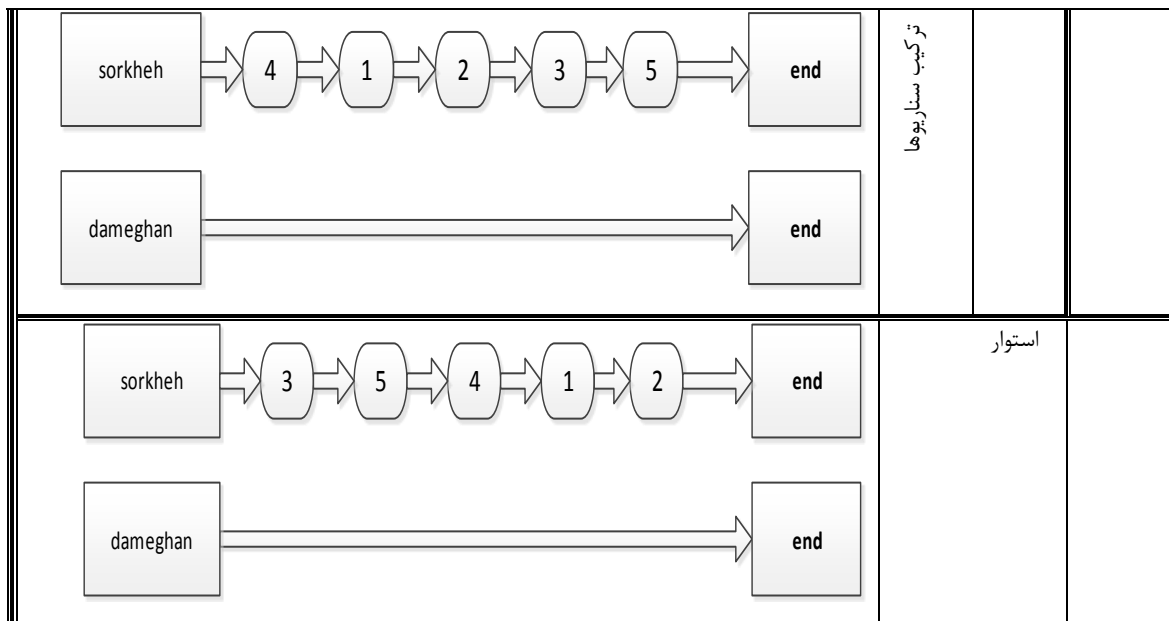
جدول (۴-۶) نتایج به دست آمده برای تخصیص بهینه با تابع هدف C_{max} با ۴ تیم و ۱۱ حادثه

تابع هدف	نوع تابع هدف	نحوه تخصیص بهینه
C_{max}	قطعی	
C_{max}	احتمالی	<p>سناریو ۱</p> <p>سناریو ۲</p>

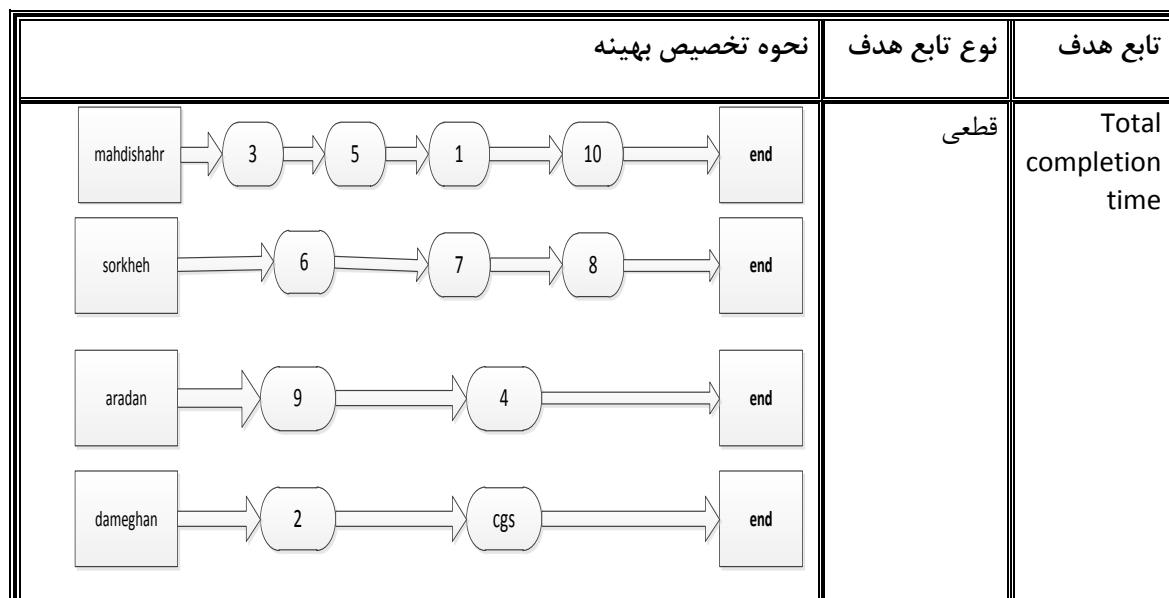
<p>mahdishahr → end</p> <p>sorkheh → 9 → 4 → 3 → cgs → 2 → 10 → end</p> <p>aradan → 7 → 6 → 8 → 5 → 1 → end</p> <p>dameghan → end</p>	سناریو ۳		
<p>mahdishahr → end</p> <p>sorkheh → 6 → 10 → 5 → 2 → cgs → 1 → end</p> <p>aradan → 7 → 8 → 9 → 4 → 3 → end</p> <p>dameghan → end</p>	ترکیب سناریوها		
<p>mahdishahr → end</p> <p>sorkheh → 6 → 5 → 4 → 9 → 3 → 7 → end</p> <p>aradan → 8 → 1 → 10 → 2 → cgs → end</p> <p>dameghan → end</p>	استوار		

جدول (۴-۷) نتایج به دست آمده برای تخصیص بهینه با تابع هدف C_{max} با ۲ تیم و ۵ حادثه

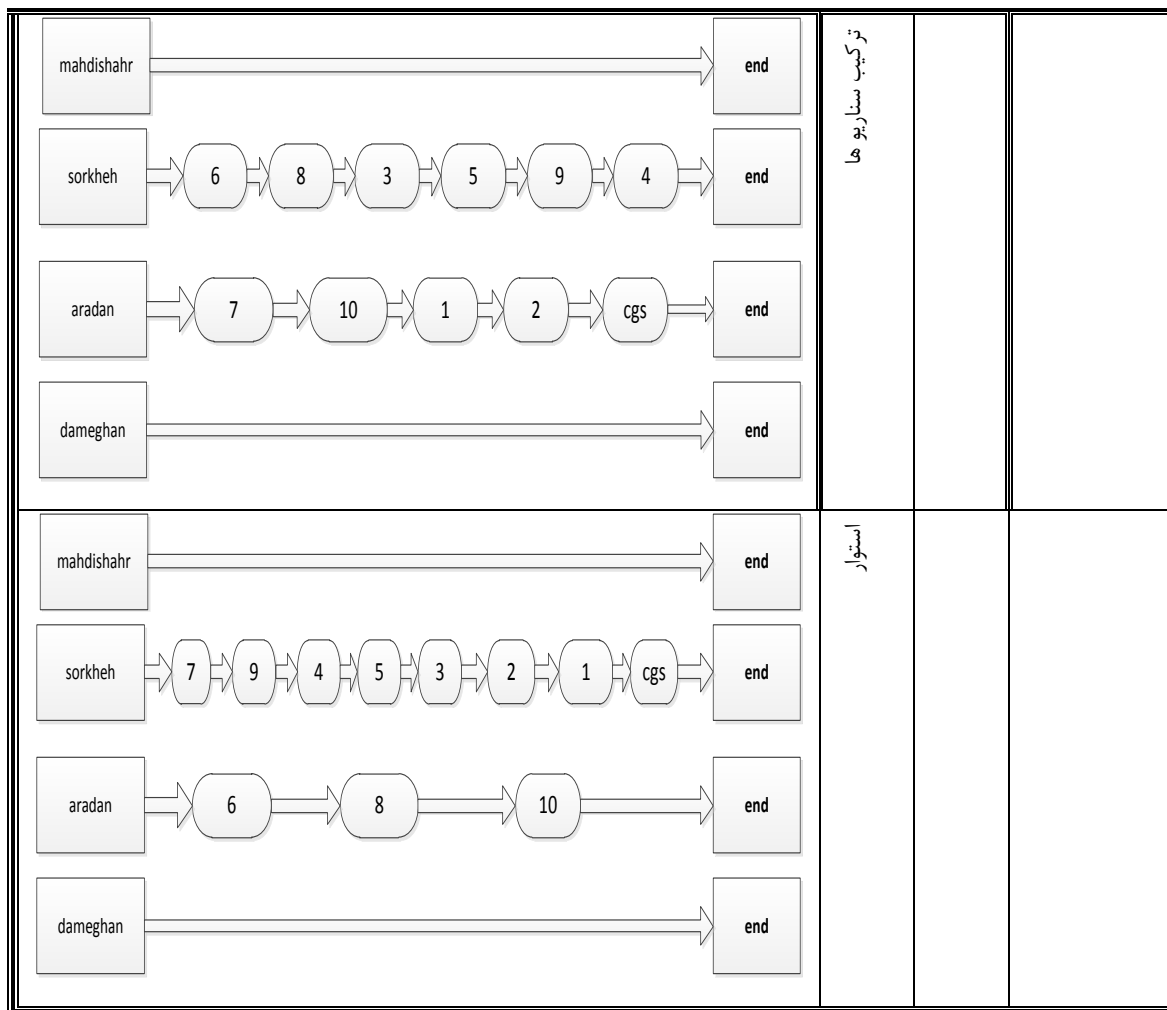
تابع هدف	نوع تابع هدف	نحوه تخصیص بهینه
C_{max}	قطعی	
C_{max}	احتمالی	
		سناریو ۱
	سناریو ۲	
	سناریو ۳	



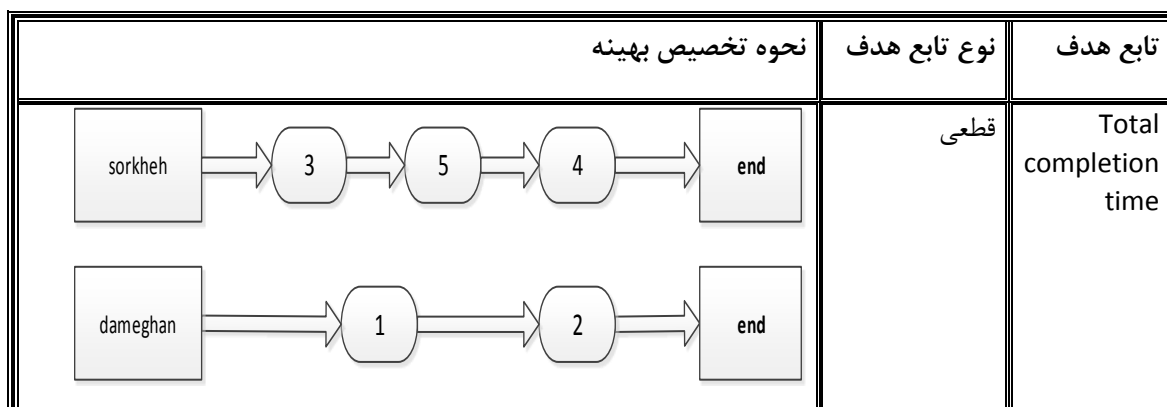
جدول (۴-۸) نتایج به دست آمده برای تخصیص بهینه با تابع هدف total completion با ۴ تیم و ۱۱ حادثه



	سناریو ۱	احتمالی	Total completion time
	سناریو ۲		
	سناریو ۳		



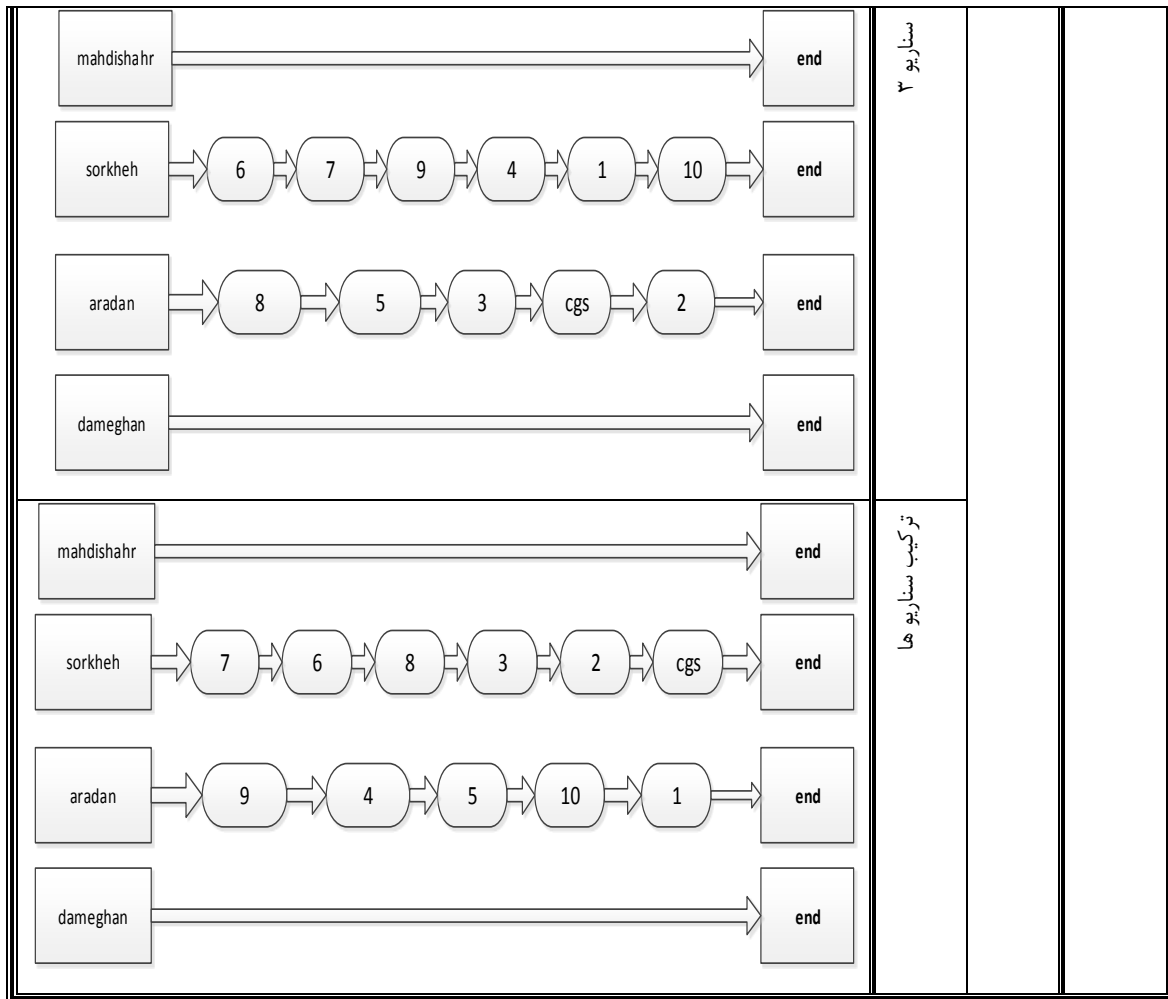
جدول (۴-۹) نتایج به دست آمده برای تخصیص بهینه با تابع هدف total completion با ۲ تیم و ۵ حادثه



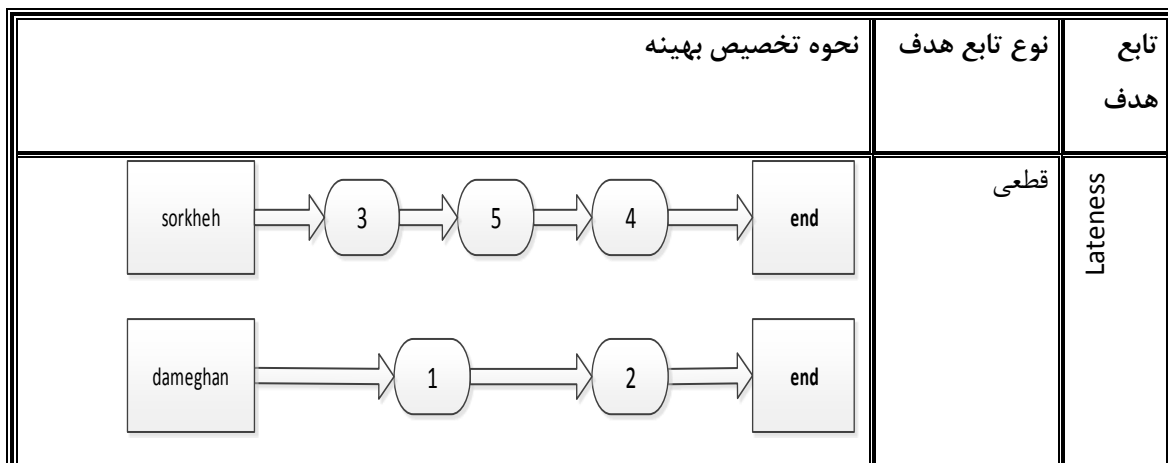
سناريو ۱	احتمالی	Total completion time
<pre> graph LR sorkkeh --> 3 --> 5 --> 4 --> end dameghan --> 1 --> 2 --> end </pre>		
<pre> graph LR sorkkeh --> 4 --> 5 --> 3 --> 2 --> end dameghan --> 1 --> end </pre>	سناريو ۲	
<pre> graph LR sorkkeh --> 5 --> 3 --> 2 --> 1 --> 4 --> end dameghan --> end </pre>	سناريو ۳	
<pre> graph LR sorkkeh --> 3 --> 5 --> 4 --> 1 --> 2 --> end dameghan --> end </pre>	ترکیب سناریو ها	
<pre> graph LR sorkkeh --> 3 --> 4 --> 1 --> 2 --> 5 --> end dameghan --> end </pre>	استوار	

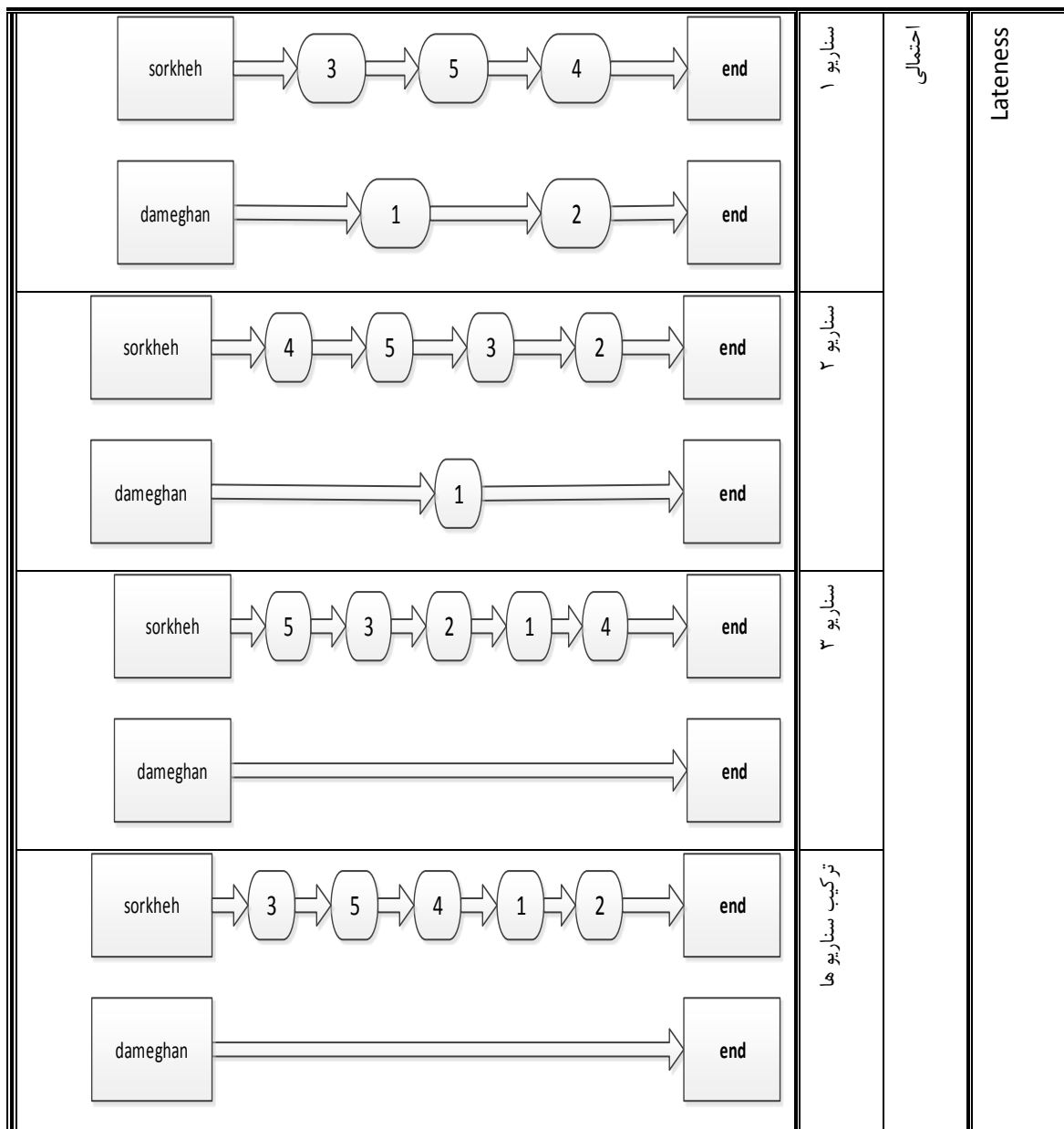
جدول (۴-۱۰) نتایج به دست آمده برای تخصیص بهینه با تابع هدف lateness با ۴ تیم و ۱۱ حادثه

نحوه تخصیص بهینه	نوع تابع هدف	تابع هدف
	قطعی	Lateness
	سناریو ۱ احتمالی	Lateness
	سناریو ۲	Lateness



جدول (۴-۱۱) نتایج به دست آمده برای تخصیص بهینه با تابع هدف lateness با ۲ تیم و ۵ حادثه





جدول (۴-۱۲) مقادیر بهینه دوهدفه به روش محدودیت اِپسیلون

زمان حل	lateness	Cmax	روش محدودیت اِپسیلون
۳۸	۶۷۳	۲۷۷	مقدار تابع تحت سناریو ۱
۳۸	۶۸۹	۲۸۸	مقدار تابع تحت سناریو ۲
۳۰	۶۹۰	۲۸۱	مقدار تابع تحت سناریو ۳
۵۸	۶۹۰	۲۸۱	مقدار تابع هدف با ترکیب سناریو ها

فصل ۵

نتیجه‌گیری و پیشنهاد برای مطالعات آتی

در این تحقیق مسئله تخصیص و زمان بندی واحد امدادونجات (RUASDP)^{۲۰} که یک موضوع کلیدی در مدیریت بحران در فاز پاسخ می‌باشد، ارائه شده است. در ابتدا مدل بهینه باینری درجه دو توسعه داده شد و پس از خطی سازی مدل در دو حالت، با چهار تیم و یازده TBS و دو تیم با پنج TBS حل شده است. در ادامه مدل در شرایط عدم قطعیت تحت سه سناریوی مختلف مورد بررسی قرار گرفت.

مدل ارائه شده، زمان تکمیل کارها را حداقل می‌نمود؛ لکن پس از وقوع بحران و تحقق پارامترهای غیرقطعی مسئله، مقادیر توابع هدف و متغیرهای بهینه مسئله می‌تواند بسیار متفاوت از توابع هدف و متغیرهای به دست آمده از این مدل باشد. لذا برای کاهش مقدار این تفاوت به ازای همه سناریوهای موجود، مدل در برابر پارامترهای غیرقطعی با به کارگیری مدل استوار، بهینه استوار شده است. استواری به این معنی است که خروجی مدل نباید حساسیت بالا به مقادیر دقیق پارامترها و ورودی‌های مدل داشته باشد.

۱-۵ پیشنهادهای اجرایی و توصیه‌های مدیریتی

- با توجه به اهمیت مقوله مدیریت بحران در شرکت گاز، نیاز به توسعه یک سیستم کمک به تصمیم‌سازی قابل‌دسترس برای خبرگان در راستای ارتقای اثربخشی تصمیمات احساس می‌شود. این سیستم با بهره‌مندی از یک واسط کاربری به‌خوبی می‌تواند کیفیت تصمیمات خبرگان را بهبود بخشد.
- رویکرد برنامه‌ریزی سناریو محور به‌خوبی می‌تواند عدم قطعیت حاضر در شرایط برنامه‌ریزی برای مدیریت بحران در شرکت گاز را به نمایش گذارد. با افزایش تعداد سناریوها مبتنی بر نظرات خبرگان، می‌تواند کیفیت و اثربخشی تصمیمات را به نحو چشمگیری افزایش داد.

²⁰ - Rescue Unit Scheduling and Assignment Problem

- در نظر گرفتن چندین معیار ارزیابی نظیر متوسط دیرکردها، زمان تکمیل آخرین کار و مجموع زمان انجام کارها تأثیر معناداری برافزایش کارایی تصمیم‌ها در شرایط مدیریت بحران خواهد داشت.

۲-۵ پیشنهادهایی برای تحقیقات آتی

- با توجه به زمان بالای حل مسئله با تعداد وظایف و تیمهای امداد بیشتر استفاده از الگوریتم‌های ابتکاری و فرا ابتکاری جهت تسریع در پاسخ مدل پیشنهاد می‌شود.
- می‌توان پارامترهای غیرقطعی دیگری از قبیل زمان انجام فرایند متفاوت تحت سناریوهای مختلف را به مدل اضافه نمود و همین‌طور سناریوهای مختلف دیگری با توجه به شرایط کاری تیمها می‌تواند به مدل اضافه شود و نحوه تخصیص تیمها به وظایف موردبررسی دقیق‌تر قرار گیرد.
- در نظر گرفتن حق شفعه^{۲۱} یعنی توقف در پردازش یک وظیفه و پرداختن به وظیفه‌ای دیگر، در مدل نیز مفید به نظر می‌رسد. در ادامه می‌توان در مدل‌سازی عدم قطعیت، از تئوری مجموعه فازی استفاده نمود و پاسخ را با مدل استوار مقایسه نمود.

²¹- preemption

- منابع:

سعید مومنی، "مدیریت شریان های حیاتی گاز"، دوره تخصصی تربیت مدرس مدیریت بحران،

۱۳۸۹

توکلی، مهدی، "اصول و مبانی مدیریت بحران در صنایع"، چاپ اول، سروش دانش، ۱۳۹۱

Afshar A, Haghani A (2012) Modeling integrated supply chain logistics in real-time large-scale disaster relief operations. *Soc Econ Plan Sci* 46(4):327–338

Airy, G. Mullen, T. & Yen, J. (2009). Market based adaptive resource allocation for distributed rescue teams. In J. Landgren & S. Jul (Eds.), *Proceedings of the 6th conference on information systems for crisis response and management (ISCRAM 2009)*. Gothenburg, Sweden.

Ajami, S. & Fattahi, M. (2009). The role of earthquake information management systems (EIMSS) in reducing destruction: A comparative study of Japan, Turkey and Iran. *Disaster Prevention and Management*, 18, 150–161.

Albores, P. and D. Shaw (2005). Responding to Terrorist Attacks and Natural Disasters: A Case Study using Simulation *Proceedings of the 2005 Winter Simulation Conference*

Ali Allahverdi, C.T. Ng, T.C.E. Cheng, and Mikhail Y. Kovalyov, A survey of scheduling problems with setup times or costs, *European Journal of Operational Research* 187 (2008), no. 3, 985–1032.

Altay N, Green III WG. OR/MS research in disaster operations management. *European Journal of Operational Research* 2006; 175:475 – 93.

Balcik B, Beamon BM. Facility location in humanitarian relief. *International Journal of Logistics: Research and Applications* 2008;11(2):101 – 21

Balcik, B. B. M. Beamon and K. Smilowitz (2008). "Last Mile Distribution in Humanitarian Relief." *Journal of Intelligent Transportation Systems* 12(2): pp. 51-63.

Barbarosoglu, G. and Y. Arda (2004). "A Two-Stage Stochastic Programming Framework for Transportation Planning in Disaster Response " *Journal of Operations Research Society* 55: pp. 43-53.

Barzinpour F, Esmaeili V (2014a) A multi-objective relief chain location distribution model for urban disaster management. *Int J Adv Manuf Technol* 70(5–8):1291–1302.

Bérubé, J. F. Gendreau, M. Potvin, J. Y. (2009). An ϵ -Constraint Method for Bi-Objective Combinatorial Optimization Problems: Application to the Traveling Salesman Problem with Profits. *European Journal of Operational Research*, 194 (1), 39-50.

Brown, G. G. and A. L. Vassiliou (1993). "Optimizing Disaster Relief: Real -Time Operational and Tactical Decision Support." *Naval Research Logistics* 40: pp. 1-23.

Caunhye AM, Nie X, Pokharel S. Optimization models in emergency logistics: a literature review. *Socio-Economic Planning Sciences* 2012; 46(1):4 – 13.

Chandra, P. (1993). "A Dynamic Distribution Model with Warehouse and Customer Replenishment Requirements " *The Journal of Operational Research Society* 44(7): pp. 681-692.

Chankong, V. Haimes, Y. Y. (1983). *Multiobjective Decision Making: Theory and Methodology*. New York: Elsevier Science Publishing Co. Inc.

Claire Hanen and Alix Munier, Cyclic scheduling on parallel processors: an overview, *Scheduling Theory and its Applications* (1994), 193–226

Cozzolino A (2012) *Humanitarian logistics and supply chain management*. Humanitarian logistics. Springer, New York, pp 5–16

Equi, L. G. Gallo, S. Marziale and A. Weintraub (1996). "A Combined Transportation and Scheduling Problem" *European Journal of Operational Research*: pp. 94-104.

19. Ehrgott, M. (2005). *Multicriteria Optimization*. Berlin: Springer, vol. 2.

F. Fiedrich, F. Gehbauer, U. Rickers. Optimized resource allocation for emergency response after earthquake disasters. *Safety Science* 35 (2000) 41-57.

F. Glover and E. Woolsey. Converting the 0-1 polynomial programming problem to a 0-1 linear program. *Oper. Res.* 22(1):180–182, Feb. 1974.

Faraj, S. & Xiao, Y. (2006). Coordination in fast-response organizations. *Management Science*, 52, 1155–1169.

Galindo, G. & Batta, R. (2013). Review of recent developments in OR/MS research in disaster operations management. *European Journal of Operational Research*, 230 (2), 201–211.

R. L. Graham, E. L. Lawler, J. K. Lenstra, and A. H. G. Rinnooy Kan, Optimization and approximation in deterministic sequencing and scheduling: A survey, *Annals of Discrete Mathematics* 5(1979), 287–326.

Guha-Sapir D, Hoyois Ph, Below R (2014) Annual disaster statistical review 2013: the numbers and trends. CRED, Brussels

Haghani, A. and S.C. Oh (1996). "Formulation and Solution of a Multi-Commodity, Multi-Modal Network Flow Model for Disaster Relief Operations." *Elsevier Science Ltd.* 30(3): 231-250.

Haimes, Y. Y. Ladson, L. S. Wismer, D. A. (1971). Bicriterion Formulation of Problems of Integrated System Identification and System Optimization. *IEEE Transactions on Systems Man and Cybernetics*, (3), 296-297.

Kovács, G. & Spens, K. M. (2007). Humanitarian logistics in disaster relief operations. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 37(2), 99–114.

Knott, R. P. (1988). "Vehicle Scheduling for Emergency Relief Management: A Knowledge-Based Approach." *Disasters* 12: pp. 285-293.

Jahre M, Persson G, Kova' cs G, Spens KM (2007) Humanitarian logistics in disaster relief operations. *Int J Phys Distrib Logist Manag* 37(2):99–114

Lambert, J. H. & Patterson, C. E. (2002). Prioritization of schedule dependencies in hurricane recovery of transportation agency. *Journal of Infrastructure Systems*, 8,103–111.

Leifler, O. (2008). Combining technical and human-centered strategies for decision support in command and control: The ComPlan approach. In F. Fiedrich & B. van de Walle (Eds.), *Proceedings of the 5th conference on information systems for crisis response and management (ISCRAM 2008)*. Washington, DC.

Lettieri, E. Masella, C. & Radaelli, G. (2009). Disaster management: Findings from a systematic review. *Disaster Prevention and Management*, 18(2), 117–136.

Lin Y-H, Batta R, Rogerson PA, Blatt A, Flanigan M (2011) A logistics model for emergency supply of critical items in the aftermath of a disaster. *Soc Econ Plan Sci* 45(4):132–145

Ma X, Song Y, Huang J (2010) Min–max robust optimization for the wounded transfer problem in large-scale emergencies. In: *Control and Decision Conference (CCDC)*, Chinese. IEEE, pp 901–904

Maria Camila Hoyos, Ridley S. Morales, Raha Akhavan-Tabatabaei "OR models with stochastic components in disaster operations management: A literature survey" *Computers & Industrial Engineering* 82 (2015) 183–197

Meysam Fereiduni, Kamran Shahanaghi (2016). "A robust optimization model for distribution and evacuation in the disaster response phase." *Springer J Ind Eng Int.*

Mulvey, J. M. Vanderbei, R. J. & Zenios, S. A. (1995). Robust optimization of large-scale systems. *Operations research*, 43(2), 264-281.

Najafi M, Eshghi K, Dullaert W (2013) A multi-objective robust optimization model for logistics planning in the earthquake response phase. *Transp Res Part E* 49(1):217–249

Nolz PC, Semet F, Doerner KF (2011) Risk approaches for delivering disaster relief supplies. *OR Spectr* 33(3):543–569

Ozdamar, L. E. Ekinici and B. Kuyukyazici (2004). "Emergency Logistics Planning in Natural Disasters." *Annals of Operations Research* 129: pp.217-245.

Pan, F. Nagi, R. 2010. Robust supply chain design under uncertain demand in agile manufacturing. *Computers & Operations Research* 37(4), 668–683.

Rawls CG, Turnquist MA (2010) Pre-positioning of emergency supplies for disaster response. *Transp Res Part B* 44(4):521–534

Reijers, H. A. Jansen-Vullers, M. H. Zur Muehlen, M. & Appl, W. (2007). Work flow management systems + swarm intelligence = dynamic task assignment for emergency management applications. In G. Alonso, P. Dadam & M. Rosemann (Eds.), *Proceedings of the 5th international conference on business process management (BPM 2007)*. Berlin, New York: Springer volume 4714 of *Lecture Notes in Computer Science*.

Rolland, E. Patterson, R. Ward, K. & Dodin, B. (2010). Decision support for disaster management. *Operations Management Research*, 3, 68–79.

Sarker, B. R. L. Mann, E. Triantaphyllou and S. Mahankali (1996). "Power Restoration in Emergency Situations " *Computers and Industrial Engineering* 31(1/2): pp. 367-379.

Surkis, J. G. Gordon and N. Hauser (1968). A Simulation Model of New York City Police Department's Response System. Winter Simulation Conference New York, New York, United States.

R. Tavakkoli-Moghaddam, F.Taheri, M. Bazzazi, M. Izadi, F. Sassani (2009). "Design of a genetic algorithm for bi-objective unrelated parallel machines scheduling with sequence-dependent setup times and precedence constraints" *Computers & Operations Research* 36 3224-3230

Tzeng G-H, Cheng H-J, Huang TD (2007) Multi-objective optimal planning for designing relief delivery systems. *Transp Res Part E* 43(6):673–686

van de Walle, B. & Turoff, M. (2008). Decision support for emergency situations. In F. Burstein & C. Holsapple (Eds.), *Handbook on decision support systems 2 international handbooks on information systems* (pp. 39–63). Berlin, Heidelberg: Springer.

Van Wassenhove, L. N. & Pedraza Martinez, A. J. (2012). Using or to adapt supply chain management best practices to humanitarian logistics. *International Transactions in Operational Research*, 19(1-2), 307–322.

Walton R, Mays R, Haselkorn M (2011) Defining 'fast': factors affecting the experience of speed in humanitarian logistics

Yi, W. and L. Ozdamar (2005). "A Dynamic Logistics Coordination Model for Evacuation and Support in Disaster Response Activities " *European Journal of*

Operational Research 179: pp. 1177-1193.

Zofragos, K. G. C. Douligeris and P. Tsoumpas (1998). "An Integrated Framework for Managing Emergency-Response Logistics: The Case of the Electric Utility Companies " IEEE Transactions of Engineering Management 45(2): pp. 115-125.

Abstract

Natural disasters, such as earthquakes, tsunamis and hurricanes, cause tremendous harm each year. In order to reduce casualties and economic losses during the response phase, rescue units must be allocated and scheduled efficiently. As this problem is one of the key issues in emergency response and has been addressed only rarely in literature, this paper develops a corresponding decision support model that minimizes the sum of completion times of incidents weighted by their severity. The presented problem is a generalization of the parallel-machine scheduling problem with unrelated machines, Since we deal with uncertain data based, robust optimization model is also provided. Then Epsilon constraint method is used to solve the bi objective model and finally the most optimal allocation pattern of rescue teams to the incidents (TBS) by any objective function is identified.

Key words: Scheduling, Robust model, Multiobjective optimization, Emergency response, Town border station



Faculty of Industrial Engineering and Management
M.Sc. Thesis in Master of Business Administration

Mathematical Modeling of Allocation and Scheduling of Relief Units
Under Natural Disaster (Case study: Semnan Gas Company)

By: Mostafa Najafi

Supervisors

Dr. Bozorgmehr Ashrafi

Advisor

Dr. Ali Akbar Hasani

February 2017