ماهنامه علمی تخصصی پایا شهر

ISSN ۲۹۸۰-۷۷۸۶

شماره مجوز مجله:۸۰۴۰۰ زمان چاپ:۱۴۰۱/۱۱/۲۰

مکان یابی پناهگاه های موقت پس از زلزله و تخصیص مراکز درمانی به آن ها نمونه موردی کلانشهر مشهد، ایران

حسین پورسلطانی[۱]، وحید هاشمی[۲]

۱- کارشناس ارشد مهندسی صنایع

۲- کارشناس ارشد مهندسی صنایع

(poores72@gmail.com)

چکیده

مکان یابی پناهگاه ها برای اسکان موقت پس از زلزله، یکی از مباحث مهمی است که امروزه در کانون توجه تعدادی از نویسندگان قرار گرفته است. در این مقاله، برای انتخاب مکان پناهگاه های موقت و سپس تخصیص بیمارستان به پناهگاه های باز شده، از دو مدل برنامه ریزی عدد صحیح مختلط خطی و غیرخطی استفاده گردید. پیش از حل این دو مدل، با استفاده از ترکیب روش تحلیل سلسله مراتبی و منطق فازی و بر مبنای ۱۰ معیار به صورت لایه های اطلاعاتی در محیط نرم افزار آرک جی آی اس[۱] ، ابتدا مکان های کاندید برای ایجاد پناهگاه مشخص شد. سپس با استفاده از مدل برنامه ریزی ریاضی در فاز اول، ضمن تصمیم گیری روی مکان یابی پناهگاه ها، جمعیت تخصیص یافته به هر پناهگاه و کنترل میزان بهره گیری از پناهگاه های باز شده، حداقل وزن آن ها حداکثر گردید. در فاز دوم، با بهره گیری از یک مدل ریاضی غیر خطی پیشنهادی، نزدیک ترین مراکز درمانی متناسب با ظرفیت مرکز و تقاضای پناهگاه های باز شده، به گونه ای تخصیص یافت که ظرفیت مراکز درمانی به طور کامل اشغال نشود. نهایتا مدل ها با استفاده از اطلاعات واقعی مناطق ۱۳گانه کلانشهر مشهد، اعتبارسنجی شده و نتایج مورد بررسی قرار گرفت که تعداد ۲۰ پناهگاه باز شده و ۱۰۹ مرکز درمانی مشخص گردید.

کلمات کلیدی: مکان یابی اسکان موقت ، مدل برنامه ریزی خطی و غیر خطی ، همپوشانی فازی ، تخصیص مراکز درمانی ، مدیریت بحران

۱- مقدمه

یکی از حوادث مرگ بار طبیعی که در اکثر نقاط جهان روی می دهد، زلزله است. در طی سال های ۱۹۰۰ تا ۱۹۹۰ میلادی ۱۱۰۰ زلزله ی مرگ بار در ۷۵ کشور جهان روی داده است و ۸۰ درصد تلفات این حوادث، تنها از شش کشور جهان گزارش گردیده است. کشور ایران نیز، با ۱۲۰۰۰۰ تلفات انسانی یکی از این کشورهاست که همواره در خطر زمین لرزه قرار دارد و مهم ترین عامل مرگ و میر بر اثر بلایای طبیعی می باشد (متکان[۲] و همکاران، ۲۰۱۳).

کلان شهر مشهد که دومین کلان شهر بزرگ ایران از نظر جمعیت می باشد، یکی از شهرهای منطقه ی خراسان است که در برابر خطر زلزله قرار دارد. آمار چهل سال گذشته نشان می دهد که بیش از نیمی از تلفات و قربانیان زمین لرزه در ایران مربوط به منطقه ی خراسان می باشد. زلزله های زیادی در شهر مشهد رخ داده است که ۱۴ مورد مربوط به سال های ۱۰۰۸

[1] ArcGIS
[2] Mottakan

ماهنامه علمی تخصصی پایا شهر

ISSN ۲۹۸۰-۷۷۸۶

الی ۱۲۷۴ در کتب تاریخ به ثبت رسیده است (نیکولاس امبراسیس[1]، ۱۹۸۷). بر اساس آخرین سرشماری نفوس و مسکن در سال ۱۳۹۵، جمعیت این شهر ۳٬۰۰۱٬۱۸۴ نفر گزارش گردیده است. علاوه بر این، کلان شهر مشهد دومین کلان شهر بزرگ مذهبی در جهان بوده و سالانه پذیرای تعداد بسیار زیادی گردشگران داخلی و خارجی می باشد و این مسئله اهمیت این شهر را دوچندان می کند (درگاه ملی آمار، ۱۳۹۵).

بنابراین با توجه به اهمیت مسئله و نظر به این که اقدام و عمل مناسب در شرایط بحرانی پس از وقوع حوادث طبیعی گسترده مانند زلزله تنها با برنامه ریزی و طراحی های قبلی میسر می باشد، پژوهش حاضر در این راستا صورت گرفته است. در پایان این گزارش، نمونه ای موردی بر اساس اطلاعات واقعی کلان شهر مشهد اجرا گردیده است تا در صورت وقوع شرایط بحرانی به سبب زلزله، برنامه ریزان و مسئولان حوزه ی بحران را در امر تصمیم گیری در رابطه با اسکان آسیب دیدگان و امداد رسانی به آنان یاری رساند.

در این بخش توضیح مختصری در رابطه با اهمیت موضوع مطالعاتی طرح گردید. در بخش ۲ پس از معرفی حوزه ی مورد مطالعه، روش اتخاذ شده برای مکان یابی توصیف می گردد. در بخش ۳ ادبیات مربوطه مختصرا آورده شده است. بخش ۴ تعریف مسئله و نمایش مدل های ریاضی مورد استفاده برای حل مسئله را نشان می دهد. در بخش ۵ تحلیل و بررسی محاسبات قرار داده شده و نهایتا در بخش ۶، پس از گزارش خلاصه ای از مقاله، نتیجه گیری و فرصت هایی برای مطالعات آتی آورده شده است.

۲- منطقه ی مورد مطالعه و روش مکان یابی

۲-۱- موقعیت کلانشهر مشهد

مشهد کلانشهری در شمال شرقی ایران و مرکز استان خراسان رضوی است. این شهر مذهبی که در زمان افشاریان پایتخت ایران بود، با ۳۲۸ کیلومتر مربع مساحت، دومین شهر پهناور ایران بعد از تهران است. براساس سرشماری عمومی نفوس و مسکن سال ۱۳۹۵ این شهر با ۳٬۰۰۱٬۱۸۴ تن جمعیت، دومین شهر پرجمعیت ایران پس از تهران است. مشهد دارای ۱۳ منطقه‌ی شهرداری است (درگاه ملی آمار، ۱۳۹۵).

شهر مشهد در حوزه‌ی رودخانه‌ی کشف‌رود و در دشت مشهد بین کوه‌های هزارمسجد و بینالود گسترده شده‌است. دشت مشهد به صورت دره‌ای وسیع دارای ابعادی به طول بیش از ۱۰۰ کیلومتر و عرض متوسط حدود ۲۵ کیلومتر و وسعت حدود ۲۵۰۰ کیلومتر مربع است. دشت مشهد با مختصات طول جغرافیایی ´۵۸°:۲۱ تا ´۶۰°:۰۸ درجه شرقی و عرض جغرافیایی ´۳۵°:۴۰ تا ´۳۶°:۰۳ درجه شمالی در حوضه‌ی آبریز رودخانه‌ی کشف‌رود در خراسان رضوی قرار دارد. بیشینه‌ی ارتفاع شهر مشهد ۱۱۵۰ متر و کمینه‌ی آن ۹۵۰ متر است. شهر مشهد دارای آب و هوای متغیر، اما معتدل و متمایل به سرد و خشک است و از تابستان‌های گرم و خشک و زمستان‌های سرد و مرطوب برخوردار است. بیشینه‌ی درجه حرارت در تابستان‌ها ۴۳ درجه بالای صفر و کمینه‌ی آن در زمستان‌ها ۲۳ درجه زیر صفر است (سالنامه آماری استان خراسان رضوی، ۱۳۹۷).

شهر مشهد در مجاورت دو گسل های زیادی قرار دارد. یکی از مهمترین آن ها، گسل شمال مشهد است. این گسل ادامه‌ی گسل توس است که در شمال شهر توس از گسل کشف رود منشعب شده و با امتداد شمال غرب-جنوب شرق از گوشه‌ی شمالی مشهد عبور می‌کند. در گزارش شماره ۷۲ سازمان زمین‌شناسی این گسل تحت عنوان گسل توس نامیده شده‌است. در گزارش مزبور ادامه‌ی گسل به سمت شمال شرق که توسط آبرفت پوشیده شده به صورت گسل احتمالی نشان داده شده‌است. هم‌چنین بربریان و همکاران، کانون سطحی زلزله‌ی تاریخی ۱۵۹۸ مورخ ۳ ژوئیه‌ی ۱۹۷۳ با بزرگی ۶/۶، ابتدای آوریل ۱۶۷۸ و

[1] Nicholas Ambraseys

ماهنامه علمی تخصصی پایا شهر

ISSN ۲۹۸۰-۷۷۸۶

۲۶ فوریه ۱۸۸۳ را در مجاورت گسل احتمالی توس مشخص نموده‌اند. شواهد زمین ریخت شناختی نشان می دهد کـه ادامـه این گسل از شمال غربی شهر مشهد در نزدیکی های توس وارد محدوده شهری می شود (آزادی[1] و همکاران، ۲۰۱۰).

۲-۲- روش مکان‌یابی

بعد از یک فاجعه در مقیاس بزرگ، خانه ها خسارت دیده یا تخریب می شوند و تعداد قابل تـوجهی از بازمانـدگان حادثـه بـی خانمان می شوند. از آن جایی که مردم نیاز به زندگی در شرایط نرمال قبلی را دارند، باید تا زمان تکمیل فرآیند جبران فاجعـه و بازسازی، در مکانی موقت مستقر شوند. از این رو برای رسیدگی به نیازهای جمعیت آسیب دیده، مکان های سرپناه ایجاد می شود. در حالت ایده آل، این مکان ها باید با در نظر داشتن اندازه های کیفـی طراحـی شـود. در سـال ۱۹۹۷، تعـداد زیـادی از سازمان های بشردوستانه به همراه هلال احمر بین المللی و جمعیت صلیب سـرخ پـروژه ای را بـرای بهبـود کیفیـت عملیـات بشردوستانه پس از حادثه، آغاز نمودند. این پروژه که اندازه های کیفی و استانداردها را تعریف نمـود « پـروژه ی اسـفیر[2]» نـام دارد (کتابچه اسفیر، ۲۰۱۸: ص ۴). این نشریه، یک منبع مهم اطلاعات برای بخش بشر دوستانه می باشد، چرا که جامع تـرین سندی است که استانداردهای عملیات امداد مردمی که توسط باتجربه ترین سازمان های این بخش گـردآوری شـده را تشـریح می کند.

به دلیل اهمیت مناطق پناهگاهی، باید به طور استراتژیک برای آن ها برنامه ریزی شود. تضمین مواد و مصـالح امـداد کـافی از قبیل چادر، کیت های امداد پناهگاه و کیت های ساخت و ساز، البته مورد نیاز است. علاوه بر این، سازمان مسئول باید مطمئن شود که مناطق سرپناه ایجاد شده در یک فاصله نزدیک به مناطق خطر مستقر شده باشـد و در حـین حـال ضـرورت مکـان و فاصله از راه های ایمن بین منطقه پناهگاهی تا خانه های مردم آسیب دیده و تسهیلات خدماتی ضروری را در نظر داشته باشد. همچنین، حق مالکیت و مصرف هر منطقه باید از پیش تعیین شده و هرگونه مجوز لازم بدست آمده باشد.

در ایران، غالبا سازمان امداد و نجات هلال احمر، به عنوان بدنه ی اصلی مسئول برای ایجاد پناهگاه های موقـت شـناخته مـی شود. طبق ماده ۳ وظایف این سازمان ، بعد از رخ دادن فاجعه، مناطق پناهگاهی را تعیین کرده و حجـم چـادر هـای موردنیـاز برای فراهم کردن اسکان موقت بی خانمان ها را تامین می نماید. علاوه براین مسئولیت رساندن دارو و کمک های اولیه کافی و تجهیزات دیگر برای کسانی که در مناطق پناهگاهی زندگی می کنند و همچنین امکانات درمانی در صورت نیاز پناهگاه ها، بـر عهده ی این سازمان است. خصوصا در نقاط حادثه خیز همچون تهران، جمعیت هلال احمر ایران بـه تـازگی و پـیش از اتفـاق افتادن فاجعه، عملیات شناسایی مناطق واجد شرایط پناهگاهی را آغاز نموده است.

در این پژوهش، بر مبنای مطالعه ادبیات گذشته و با در نظر گرفتن استاندارد های شناخته شده در دنیا، خصوصا استاندارد های آژانس پناهندگان سازمان ملل[3] از بین معیارهای مهم و تاثیرگـذار در انتخـاب مکـان پناهگـاه، تعـدادی در غالـب ۱۰ لایـه ی اطلاعاتی شناسایی گردید. این موارد به شرح زیر می باشد:

- دسترسی به آب ، برق و فاضلاب: آب و فاضلاب برای زندگی و بهداشت فردی مردم و برق برای رضایت و اسـتفاده ی روزمره ی بازماندگان ضروری است. با توجه به این که منطقه ی مورد بررسی یـک منطقـه ی شـهری اسـت. امکـان دسترسی به هر سه مورد به عنوان نیازهای اساسی منطقه پناهگاهی، تحـت یـک مـورد بررسـی گردیـد. لایـه هـای اطلاعاتی مربوط به این سه مورد تقریبا با یکدیگر هم پوشانی داشته و می توانستند به صورت یک لایـه ی اطلاعـاتی یکپارچه بررسی شوند (آشمور[4] و همکاران، ۲۰۰۸).
- پهنه بندی مخاطرات طبیعی: فاصله داشتن از مخاطرات طبیعی، از بروز فجایع بعدی جلوگیری می کند و از اهمیـت بالایی برخوردار است. بنابراین یکی از معیارها، در نظر گرفتن فاصله ی مناطق طبیعی از مخاطرات طبیعـی همچـون

[1] Asghar Azadi
[2] Sphere
[3] UNHCR
[4] Ashmore, J

ماهنامه علمی تخصصی پایا شهر

ISSN ۲۹۸۰-۷۷۸۶

زلزله، سیل، گسل ها، بستر رودخانه ها، مناطق مستعد زمین لغزش و ... می باشد (کتابچه مخاطرات آژانس پناهندگان، ۱۹۸۲).

- مالکیت و کاربری اراضی: دریافت اجازه ی ساخت و ساز در شرایطی که منطقه پناهگاه مالکیت عمومی دارد، راحت تر از حالتی است که ملک شخصی باشد (کیلیسیا[1] و همکاران، ۲۰۱۵).
- دسترسی به راه: یکی از مهمترین نیازها که خصوصا در زمان امداد رسانی اهمیت پیدا می کند، دسترسی مناسب منطقه به شبکه ی راه ها و شریان های اصلی است. دسترسی به راه، حمل و نقل ابزار امداد را تسریع می کند و عملیات تامین نیازهای اولیه را سرعت می بخشد. علاوه بر این دسترسی به شبکه راه ها معادل است با دسترسی به بیمارستان ها و مراکز درمانی و همچنین فروشگاه ها و مکان های تامین مواد غذایی (نوجوان و همکاران، ۲۰۱۱).
- پوشش گیاهی زمین: درخت ها اکسیژن و سایه را فراهم می کنند که در دوران گرمای هوا مفید است. از این رو، پوشش گیاهی متراکم به همراه درختان برای مناطق پناهگاهی ترجیح داده می شود.
- تراکم جمعیتی: بالا بودن تراکم جمعیتی می تواند موجب نارضایتی بازماندگان بوده و از طرف دیگر مشکلات امنیتی ایجاد نماید. علاوه بر این ایجاد پناهگاه ها در این منطقه و انتقال جمعیتی زیاد به مناطق متراکم، ناهنجاری هایی را شکل می دهد که باید از آن فاصله گرفت (احدنژاد و همکاران، ۱۳۹۰).
- شیب زمین: بر اساس گزارش های استاندارد، شیب منطقه ی پناهگاهی نباید از ۲ درصد کمتر و از ۷ درصد تجاور نماید و در بهترین حالت بین ۲ الی ۴ درصد پیشنهاد می گردد (کتابچه پناهگاه در نقاط شهری آژانس پناهندگان).
- جنس خاک: این معیار سختی خاک را می سنجد. خاک سخت کمتر تحت تاثیر باران قرار می گیرد و زندگی و سازندگی روی آن راحت تر می باشد (کتابچه مخاطرات آژانس پناهندگان، ۱۹۸۲)..
- فاصله از ایستگاه سوخت: هر چقدر فاصله ی منطقه پناهگاهی از ایستگاه های سوختی و قابل اشتعال بیشتر باشد، امنیت بالاتر خواهد بود. بنابراین با در نظر گرفتن مکان پمپ های گاز و بنزین در سطح شهر، فاصله از آن ها به عنوان معیاری دیگر، افزوده شد.
- فاصله از آتش نشانی: هر چقدر فاصله ی پناهگاه به آتش نشانی ها نزدیک تر باشد، امکان دفع خطرات احتمالی ناشی از جمعیت و بروز فجایع دیگر تقلیل می یابد.

این ۱۰ معیار با استفاده از ادبیات موضوع و نظر کارشناسان انتخاب گردیده و سپس به روش تحلیل سلسله مراتبی در محیط جی آی اس وزن دهی گردیدند. وزن نهایی آن ها به صورت جدول۱ می باشد.

جدول شماره (1) وزن معیارهای مورد بررسی

ردیف	معیار	وزن
۱	فاصله از مخاطرات	۰,۲۵
۲	کاربری اراضی	۰,۲
۳	دسترسی به راه	۰,۱۹
۴	پوشش گیاهی	۰,۰۲
۵	تراکم جمعیت	۰,۰۵
۶	شیب زمین	۰,۰۶
۷	جنس خاک	۰,۰۳
۸	فاصله از ایستگاه سوخت	۰,۰۲
۹	شبکه آب، برق و فاضلاب	۰,۱۵

[1] Kılcıa, F

ماهنامه علمی تخصصی پایا شهر

ISSN ۲۹۸۰-۷۷۸۶

۱۰	فاصله از آتش نشانی	۰،۰۳

سپس هر یک از این ۱۰ معیار بر اساس منطق فازی امتیازبندی گردیده و میزان مطلوبیت مناطق مشخص می شود.
در قدم بعدی با استفاده از تحلیل هم پوشانی فازی و تاثیر دادن وزن بدست آمده از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی، یک لایه ی اطلاعاتی یکپارچه ی نهایی بدست آمده و وزن مکان های بالقوه ی کاندید شده به صورت فازی در بازه ی (۰،۱) مشخص می گردد.
در گام بعدی این نقاط با استفاده از ابزار تحلیلی یکپارچه سازی[1] در محیط این نرم افزار، در فواصل کمتر از یک متر یکپارچه گردیده و برای آن ها متوسط وزن فازی محاسبه می شود.
در گام بعدی با در نظر گرفتن استانداردهای پناهگاه و با توجه به حداقل و حداکثر جمعیتی که باید در پناهگاه اسکان یابند، از بین مکان های بالقوه، تعداد موارد به اندازه ی دلخواه تصمیم گیران محدود می شود. این تعداد باید بر مبنای عواملی همچون سرعت و توان حل مسئله مدل ریاضی، میزان دسترسی به اطلاعات، وسعت و جمعیت مورد بررسی در نظر گرفته شود. استاندارد لازم برای پناه گاه ها به شرح جدول ۲ می باشد.

جدول شماره (2) فضای مناسب برای اسکان هر نفر با توجه به شرایط محیطی (کتابچه مخاطرات آژانس پناهندگان، ۱۹۸۲)

نوع محیط	وضعیت آب و هوا	
	سرد	گرم
محیط ساختمانی محل اسکان	۵،۵ متر مربع	۳،۵ متر مربع
امکانات آموزشی، بهداشتی، تسهیلات رفاهی	به ازای هر ۲۰ نفر ۴۵ متر مربع	

پس از شناسایی مکان های بالقوه برای پناهگاه باید عملیات تخصیص صورت گرفته و مکان های نهایی انتخاب شوند. در این مقاله، در فاز اول، ابتدا بر مبنای مطالعه ی کیلیسیا و همکاران یک فرمول برنامه ریزی خطی عددصحیح مختلط معرفی می شود که؛ مکان نقاط پناهگاهی را انتخاب می نماید، میزان بهره برداری از آن ها را کنترل می کند و جمعیت را به مناطق تحت بررسی تخصیص می دهد (کیلیسا و همکاران، ۲۰۱۵). سپس در فاز دوم، با استفاده از یک مدل برنامه ریزی غیر خطی از بین بیمارستان های موجود در مناطق مورد مطالعه، آن ها را به گونه ای انتخاب می کند که امکان تعیین حدود بهره برداری از پناهگاه مشخص باشد، بیمارستان های نزدیک تر زودتر انتخاب شوند و مجموع فواصل حداقل گردد.

۳- مرور ادبیات

مطالعات بسیاری در ادبیات موضوعی به بحث مکان یابی تسهیلات در امدادرسانی می پردازد. طبق پژوهش های کلیسیا و همکاران در سال ۲۰۱۵، این ادبیات می تواند در سه حوزه ی مکان یابی مرکز درمان اورژانس، مکان یابی انبار مواد امداد و مسئله مکان یابی پناهگاه تقسیم بندی گردد (کیلیسا و همکاران، ۲۰۱۵). با توجه به این که مدل های مورد استفاده در این پژوهش جزء دسته ی اول و سوم می باشد، ادبیات در همین دو حوزه مورد بررسی قرار گرفته است.

۳-۱- مسئله مکان یابی مراکز درمانی در شرایط اضطراری

این مسئله، به مکان مراکز درمانی اورژانسی رسیدگی می کند که به منظور فراهم آوردن مراقبت های پزشکی بعد از شرایط اضطراری به دلیل یک فاجعه، ایجاد می شوند.

[1] Aggregate

ماهنامه علمی تخصصی پایا شهر

ISSN ۲۹۸۰-۷۷۸۶

جیا[1] و همکاران در سال ۲۰۰۷، به مسئله ی مکان یابی مرکز اورژانس پزشکی با استفاده از مدل های پوشش مجموعه اشاره نمودند (جیا و همکاران، ۲۰۰۷). روزاس[2] و همکاران در سال ۲۰۰۹ ، همین مسئله را در نظر گرفته و تحلیل سناریو تصادفی را معرفی کردند که البته با محدودیت های محاسباتی مواجه گردیدند (روزاس و همکاران، ۲۰۰۹). این محدودیت ها توسط روش هیروستیک لو[3] و همکاران در سال ۲۰۰۹ و بر مبنای الگوریتم کلونی مورچگان، حل گردید (لو و همکاران، ۲۰۰۹). در سال ۲۰۰۸، گول[4] ضمن انتخاب مکان های مراکز اورژانس درمانی، تسهیلات موجود را با موقت ترکیب نموده و یک مورد مطالعاتی در استانبول ترکیه اجرا نمود (گول، ۲۰۰۸). در سال ۲۰۱۰، هوانگ و همکاران یک متغیر از مدل پی- میانه[5] را با این فرض که ممکن است یک مرکز درمانی در یکی از گره ها، قادر به پاسخگویی نباشد، معرفی نمودند (هوانگ و همکاران، ۲۰۱۰). لو[6] در سال ۲۰۱۳، یک روش مبتنی بر مرکز[7] را برای مسئله ی مکان آمبولانس پیشنهاد نمود که حداکثر زمان پاسخگویی را مینیمم می کند و با استفاده از روش های بهینه سازی روباست، حالتی تصادفی را معرفی می نماید (لو و همکاران، ۲۰۱۳).

۳-۲- مسئله انتخاب پناهگاه های موقتی

مناطق پناهگاهی برای مردم آسیب دیده ای که پس از حادثه خانه های خود را از دست داده اند، ساخته می شود. مسئله مکان یابی مکان پناهگاه برای تعیین مکان چنین مناطقی استفاده می گردد.

در سال ۲۰۱۰، آنپینگ[8]، مسئله ی مکان یابی پناهگاه پس از یک حادثه را با فرمول بندی کردن دو مدل ریاضی قطعی که متغیرهای مسئله حداکثر مجموعه پوششی می باشند، در نظر گرفت (آنپینگ، ۲۰۱۰). لیو[9] و همکاران در سال ۲۰۱۱ معیاری برای مسئله مکان یابی پناهگاه تعریف نمودند که در زمان شناسایی مکان های بالقوه می تواند مورد استفاده قرار گیرد لیو و همکاران، ۲۰۱۱). لی[10] و همکاران در سال ۲۰۱۲، یک روش بهینه سازی دو سطحی برای انتخاب مکان پناهگاه ها پس از طوفان پیشنهاد کردند و مطالعه ای موردی با داده ها و اطلاعات کالیفرنیای شمالی ارائه نمودند (لی و همکاران، ۲۰۱۲). رودریگز و همکاران در سال ۲۰۱۲، روش حلی برای مسئله ی چندهدفه ی مسیریابی و انتخاب مکان پناهگاه فراهم آوردند (رودریگز[11] و همکاران، ۲۰۱۲).

مقاله سال ۲۰۱۰ آنپینگ مبتنی بر مدل های پوششی است (آنپینگ، ۲۰۱۰). در سال ۲۰۰۷، دالال و همکاران رویکرد مبتنی بر خوشه بندی ارائه نمودند که فرض می کند فضای کافی برای ساخت یک منطقه ی پناهگاهی در هر خوشه وجود خواهد داشت (دالال و همکاران، ۲۰۰۷). کلیسیا و همکاران، مدلی پیشنهاد نمودند که با استفاده از برنامه ریزی خطی عددصحیح مختلط، ضمن تصمیم گیری روی مکان پناهگاه ها، میزان بهره برداری از هرکدام و تفاوت بهره برداری در مقایسات زوجی پناهگاه ها را در نظر گرفته و سعی دارد نزدیک ترین پناهگاه را به جمعیت هر منطقه تخصیص دهد (کلیسیا و همکاران، ۲۰۱۵).

بر اساس مطالعات صورت گرفته در ادبیات موضوع، ضمن آن که اکثر کارهای پیشین انجام شده در سطح کلانشهر و در حجم خیلی وسیع اجرا نگردیده اند، هیچ کدام به طور همزمان به انتخاب مکان های پناهگاهی و تخصیص مراکز درمانی با مدل بهینه، نپرداخته است. علاوه بر این ویژگی ها، در پژوهش حاضر با استفاده از توابع و محدودیت های مختلف امکان کنترل روی

[1] Jia, H.
[2] Albanedo Rosas
[3] Lu, X. L.
[4] Gül
[5] P-median
[6] Lu, C. C.
[7] P-center
[8] Anping, P.
[9] Liu, Q
[10] Li, A. C.
[11] Coutinho-Rodrigues, J.

ماهنامه علمی تخصصی پایا شهر

ISSN ۲۹۸۰-۷۷۸۶

حدود بهره برداری از بیمارستان وجود داشته و همچنین امکان وزن دهی و ایجاد تغییرات در انتخاب بیمارستان های باز شده، فراهم آورده شده است.
بنابراین با ایجاد سناریوهای مختلف می توان حالت مختلف احتمالی را پیش از وقوع فاجعه تحلیل و بررسی نمود. بر همین اساس، پژوهش حاضر گام موثری در کمک به تصمیم گیری در مرحله ی برنامه ریزی قبل از بحران، برداشته است.

۴- تعریف مسئله و ارائه مدل

همان طور که پیش تر بیان گردید، پس از انتخاب معیارها، وزن دهی و تعیین مکان های بالقوه، این مکان ها بر مبنای مساحت و جمعیت تحت بررسی به تعداد محدودتری تقلیل می یابد. مرحله ی بعدی شامل مدل سازی مسئله در دو فاز است. در فاز اول مکان های نهایی پناهگاه ها تعیین شده و سپس در فاز دوم نزدیک ترین بیمارستان ها و مراکز درمانی به آن ها تخصیص می یابد.

۴-۱- فاز اول: تعیین مکان پناهگاه

در این مرحله با استفاده از مدلی مشابه مدل کلیسیا و همکاران، مکان های نهایی پناهگاه تعیین می گردد. در مدل پیشنهاد شده توسط آن ها، قبل از اجرای مدل با استفاده از ابزارهای نرم افزار جی آی اس، رتبه بندی فاصله پناهگاه تا هر منطقه جمعیتی بدست آمده است. سطح بررسی مدل مسئله می تواند به صورت منطقه ای، ناحیه ای و یا محلی باشد که هر یک بر پیچیدگی مسئله و تعداد نقاط و گره ها می افزاید و در نتیجه این روش رتبه بندی برای مسائلی با تعداد گره های زیاد و در ابعاد وسیع بسیار دشوار بوده و امکان تحلیل آن به روش های معمولی ممکن نیست. بنابراین ابتدا با استفاده از محیط برنامه نویسی نرم افزار متلب[1]، رتبه بندی فواصل با الگوریتمی بسیار ساده تر انجام گرفته است.
الگوریتم ارائه شده برای رتبه بندی پیش از اجرای فاز اول، به صورت زیر است:

۱. شروع الگوریتم (i = اندیس پناهگاه، j = اندیس مراکز نواحی):
۲. ماتریس اولیه فاصله مراکز تا پناهگاه ها (Dist(i,j)) را دریافت کن.
۳. ماتریس هم اندازه آن را در متغیر ranking(i,j) ایجاد کن.
۴. برای هر j=1 تا |j| (تعداد مراکز نواحی)، رتبه بندی فواصل از پناهگاه ها را انجام بده.
۵. پایان الگوریتم.

سپس با استفاده از مدل ریاضی زیر، مکان های نهایی تعیین می گردد.

۴-۱-۱- مجموعه ها:

I: مجموعه مکان های کاندید
J: مجموعه مراکز مناطق جمعیتی

۴-۱-۲- پارامترها:

w_i: وزن فازی مکان کاندید i (بین ۰ و ۱)
$Demand_j$: کل تقاضای منطقه j بر حسب متر مربع
Cap_i: ظرفیت مکان کاندیدای i بر حسب متر مربع
$dhealth_i$: فاصله ی مکان کاندید i از نزدیک ترین مرکز درمانی

[1] MATLAB

ماهنامه علمی تخصصی پایا شهر

ISSN ۲۹۸۰-۷۷۸۶

$droad_i$: فاصله مکان کاندید i از نزدیک ترین راه شریانی اصلی

$rank_{ij}$: اندیس مربوط به i امین مکان کاندید نزدیک به منطقه j

dh: حداکثر فاصله مکان کاندید تا مرکز درمانی

dr: حداکثر فاصله مکان کاندید تا شریان اصلی

α: حداکثر تفاوت در بهره برداری بین دو مکان کاندید

β: حداقل بهره برداری از مکان های باز شده

x_i: اگر مکان کاندید i باز شود ۱

در غیر این صورت ۰

y_{ij}: اگر مکان کاندید i به منطقه ی j تخصیص یابد ۱

در غیر این صورت ۰

۴-۱-۳- مدل خطی فاز اول:

در نهایت مدل خطی فاز اول به شرح زیر است.

$$Max\ w_m \quad (۱)$$

$$w_m \le x_i w_i + (1 - x_i) \qquad \forall i \in I \quad (۲)$$

$$\sum_{j \in J} y_{ij} \times Demand_j \le Cap_i \times x_i \quad (۳)$$

$$\sum_{i \in I} y_{ij} = 1 \qquad \forall j \in J \quad (۴)$$

$$droad_i \times x_i \le dr \qquad \forall i \in I \quad (۵)$$

$$dhealth_i \times x_i \le dh \qquad \forall i \in I \quad (۶)$$

$$\frac{\sum_{j \in J} y_{ij} \times Demand_j}{Cap_i} \ge \beta \times x_i \qquad \forall i \in I \quad (۷)$$

$$\frac{\sum_{j \in J} y_{ij} \times Demand_j}{Cap_i} - \frac{\sum_{j \in J} y_{kj} \times Demand_j}{Cap_k} \le \alpha + (1 - x_i) + (1 - x_k)$$
$$\forall i \in \mathrm{I}, \mathrm{k} \in \mathrm{K}, \mathrm{i} \ne k \quad (۸)$$

$$y_{rank(1,j),j} = x_{rank(1,j)} \qquad \forall j \in J \quad (۹)$$

$$y_{rank(i,j),j} \ge x_{rank(i,j)} - \sum_{k=1}^{i-1} x_{rank(k,j)} \qquad \forall j \in J,\ i=2\ldots|I| \quad (۱۰)$$

$$x_i \in \{0,1\} \qquad \forall i \in I \quad (۱۱)$$

$$y_{ij} \in \{0,1\} \qquad \forall i \in I, j \in J \quad (۱۲)$$

عبارت (۱) تابع هدف است که حداقل وزن پناهگاه های باز باید ماکسیمم شود. عبارت (۲) حد بالای w_m را تعیین می کند تا حداکثر مقداری که این متغیر می گیرد، در حقیقت حداقل وزن پناهگاه های باز باشد. محدودیت (۳) تضمین می کند که

ماهنامه علمی تخصصی پایا شهر

ISSN ۲۹۸۰-۷۷۸۶

تعداد کل مردم در هر منطقه پناهگاهی از ظرفیت آن تجاوز نکند و هیچ کسی به منطقه ای تخصیص نیابد مگر آن که باز باشد. در این محدودیت، مقدار تقاضای هر منطقه می تواند از طریق فرمول زیر محاسبه گردد:

$$Demand_j = \gamma \times pop_j \times \eta \quad \forall j \in J \qquad (۱)$$

که در آن pop_j: جمعیت منطقه ی j، γ: ضریب آسیب دیدگی (درصد جمعیت بی خانمان) و η: مقدار فضای مورد نیاز برای هر نفر بر حسب متر مربعمی باشد.

محدودیت (۴) بیان می کند که هر محله باید به یک منطقه پناهگاهی تخصیص یابد. محدودیت های (۵) و (۶) قانون حداکثر فاصله نسبت به جاده ها و مراکز درمانی را اعمال می کنند. چنانچه یک جاده اصلی و یک مرکز سلامتی در فاصله آستانه ای تعیین شده وجود نداشته باشد، منطقه پناهگاهی برای عملیات، واجد شرایط نیست. البته با توجه به امکان بررسی این دو مورد در زمان مکان یابی با آرک جی آی اس می توان آن ها را حذف نمود. محدودیت های (۷) و (۸) بهره برداری از مناطق پناهگاهی باز شده را کنترل می کند. محدودیت های (۹) و (۱۰) تضمین می کند که هر محله، مطابق با پیشنهاد چرچ[1] و رابرتس[2] در سال ۱۹۸۳، به نزدیکترین منطقه پناهگاهی باز تخصیص یابد [۲۸]. نهایتا محدودیت های (۱۱) و (۱۲) به ترتیب بیان کننده ی باز یا بسته بودن هر پناهگاه و تخصیص یا عدم تخصیص پناهگاه به منطقه ی جمعیتی بوده و از نوع باینری هستند.

این مدل ریاضیاتی برای اهداف برنامه ریزی قبل از فاجعه ایجاد گردیده است. همانطور که مشاهده می شود، فرمول شامل تعداد متنوعی پارامتر است. در وضعیت اضطراری ممکن است تصمیم گیرنده توانایی آن را نداشته باشد که بهترین مقادیر را برای هر پارامتر تعیین کند. اما قبل از وقوع حادثه، امکان ایجاد سناریوهای گوناگون با تغییر این پارامترها و بدست آوردن برنامه ای برای هر سناریو، وجود دارد. پس در این حالت تصمیم گیرنده می تواند مناسب ترین برنامه را در موقع حادثه و درصورت وقوع آن، اجرا نماید.

۴-۲- فاز دوم: تخصیص مراکز درمانی به پناهگاه

در مرحله دوم با استفاده از یک مدل برنامه ریزی غیرخطی و مقادیر خروجی فاز اول که می تواند مستقیما توسط نرم افزار گمز[3] تولید و مجددا فراخوانی گردد، مراکز درمانی به پناهگاه ها تخصیص می یابد. در این مرحله ابتدا لازم است مقادیر خروجی به عنوان ورودی های فاز جدید در نظر گرفته شود. مقادیر خروجی که باید مورد بررسی قرار گیرند، به صورت زیر می باشد:

- مکان های نهایی انتخاب شده کدامند؟
- کدام نواحی به کدام پناهگاه تخصیص یافته‌اند و در نتیجه چه مقدار از ظرفیت پناهگاه به بازماندگان تخصیص یافته است؟

مورد دوم به این دلیل حائز اهمیت است که باید مشخص شود مقدار تقاضا برای هر پناهگاه به چه میزان است.

بر همین اساس، ابتدا با استفاده از فرمول زیر مقادیر تقاضا مشخص می شود:

$$IDemand_j = \sum_{j \in J} y_{ij} \times Demand_j \quad \forall i \in I \qquad (۲)$$

سپس با حذف مقادیر صفر و مشخص شدن مقادیر نهایی مسئله را به شکل جدید و در حجم متغیر کمتری می توان تعریف کرد تا زمان حل برنامه نیز به سرعت کاهش یابد. مدل و تعریف مسئله ی مرحله ی دوم به صورت زیر خواهد بود:

۴-۲-۱- مجموعه ها:

[1] Church, R. L
[2] Roberts, K. L.
[3] GAMS

ماهنامه علمی تخصصی پایا شهر

ISSN ۲۹۸۰-۷۷۸۶

$i1$: مجموعه پناهگاه های نهایی

H: مجموعه مراکز درمانی

۴-۲-۲- پارامترها:

$hdist_{hi1}$: فاصله ی مرکز درمانی h تا پناهگاه i1

$i1Demand_{i1}$: تعداد نیازمندان به مراکز درمانی در پناهگاه i1 بر حسب نفر

$HCap_h$: ظرفیت مرکز درمان h بر حسب نفر

c_h: فاصله مکان کاندید i از نزدیک ترین راه شریانی اصلی

$hrank_{h,i1}$: اندیس مربوط به h امین مکان کاندید نزدیک به پناهگاه $i1$

ss_{i1}: خطای تخصیص اضافی

Γ: حداکثر مقدار مجاز برای خطای تخصیص اضافی

u_h: اگر مرکز درمان h باز شود ۱؛ در غیر این صورت ۰

z_{hi1}: اگر مرکز درمان h به منطقه ی $i1$ تخصیص یابد ۱؛ در غیر این صورت ۰

۴-۲-۳- مدل خطی فاز دوم

در نهایت مدل خطی فاز دوم به شرح زیر است.

$$Min\ Z_m \qquad (۱۵)$$

$$Z_m \geq (\sum_{h\in H} hdist_{hi1} \times Z_{hi1}) + (\sum_{h\in H} C_h \times u_h) \qquad \forall h \in H, i1 \qquad (۱۶)$$

$$\sum_{h\in H} Z_{hi1} \geq 1 \qquad \forall il \qquad (۱۷)$$

$$u_h \geq z_{hi1} \qquad \forall h \in H, il \qquad (۱۸)$$

$$\sum_{i1}\sum_{k1} Z_{hi1} \times Z_{hk1} \qquad \forall h \in H,\ i1 \neq k1 \qquad (۱۹)$$

$$\lambda \times (\sum_{h\in H} HCap_h \times Z_{hi1}) = i1demand_{i1} + SS_{i1} \qquad \forall il \qquad (۲۰)$$

$$SS_{i1} \leq \Gamma \qquad \forall il \qquad (۲۱)$$

$$Z_{hrank(1,i1),i1} = u_{hrank(1,i1)} \qquad \forall i1 \qquad (۲۲)$$

$$Z_{hrank(h,i1),i1} \geq u_{hrank(h,i1)} - \sum_{t=h}^{h-1} hrank(t,i1) \qquad \forall i1,\ h=2\ldots|H| \qquad (۲۳)$$

$$u_h \in \{0,1\} \qquad \forall h \in H \qquad (۲۴)$$

$$Z_{hi1} \in \{0,1\} \qquad \forall h \in H, i1 \qquad (۲۵)$$

عبارت (۱۵) تابع هدف است که مقدار هزینه کل را مینیمم می کند. عبارت (۱۶) حد بالای Z_m را تعیین می کند تا حداقل مقداری که این متغیر می گیرد، در حقیقت هزینه ی فاصله و باز شدن مراکز درمانی باشد. لازم به ذکر است مقدار هزینه ی

ماهنامه علمی تخصصی پایا شهر

ISSN ۲۹۸۰-۷۷۸۶

اختصاص یافته برای مراکز درمانی مقدار ثابت بسیار جزئی بوده و برای جلوگیری از باز شدن مراکز اضافی در محدودیت (۱۸) می باشد. حذف این هزینه تاثیری در مسئله ندارد اما چنانچه مسئله به مسئله ی احداث مراکز درمانی جدید توسعه یابد، قابل استفاده خواهد بود. محدودیت (۱۷) اجازه می دهد هر پناهگاه در صورت عدم ارضای تقاضاء به تعداد بیشتری مرکز درمانی دسترسی داشته باشد. عبارت (۱۸) بیان می کند، چنانچه مرکز درمانی به پناهگاهی تخصیص یافت، مرکز درمانی مربوط به آن باز شود و در غیر این صورت این مرکز درمانی ممکن است به پناهگاه دیگری تخصیص یافته باشد یا به طور کلی بسته بماند. محدودیت (۱۹) برای آن است که هیچ مرکز درمانی به بیش از یک پناهگاه تخصیص پیدا نکند. محدودیت (۲۰) مجموع کل تقاضای پناهگاه $i1$ را با تعدادی مرکز درمانی ارضاء می کند. ضریب λ برای کنترل میزان بهره برداری از مراکز درمانی استفاده می گردد که می تواند عددی ثابت و یا مقداری تصادفی باشد و SS_{i1} مقدار خطای تخصیص است. در معادله (۲۱) مقدار این خطا توسط پارامتر Γ کنترل می شود. واضح است هرچه مقدار λ افزایش یافته و مقدار Γ کاهش یابد، مسئله به سمت فضای نشدنی حرکت خواهد کرد. در این بخش باید به پارامتر تقاضا توجه نمود:

$$i1demand_{i1} = l \times IDemand_j/\eta \qquad \forall i1 \qquad (۲۶)$$

که در آن پارامتر l معادل درصدی از بازماندگان است که نیازمند مراکز درمانی می باشند. این پارامتر می تواند مقداری ثابت یا تصادفی داشته باشد. همچنین در مطالعات آتی می توان آن را بر اساس نوع نیاز بازماندگان و تقسیم بندی به حالت های فوری و سطحی و ... بیشتر مورد بررسی قرار داد. معادلات (۲۲) و (۲۳) مشابه با مدل کلیسیا (۲۰۱۵) در فاز اول، نزدیک ترین مراکز درمانی را به پناهگاه تخصیص می دهد. البته با توجه به تابع هدف مسئله و بسته به نظر تصمیم گیرنده می توان این دو معادله را حذف نمود. نهایتا عبارات (۲۴) و (۲۵) به ترتیب بیان کننده ی باز یا بسته بودن هر مرکز درمانی و تخصیص یا عدم تخصیص پناهگاه به مرکز درمانی بوده و از نوع باینری هستند.

۵- اعتبارسنجی و محاسبات

برای انجام مطالعات محاسباتی از اطلاعات و داده های مربوط به مناطق ۱۳ گانه شهرداری مشهد در سال های ۱۳۸۵ الی ۱۳۹۴ استفاده شد. تعداد نواحی هر منطقه و جمعیت مربوط به آن ها در جدول ۳ آورده شده است.

جدول شماره(۳) جمعیت کلان شهر مشهد به تفکیک مناطق شهرداری
(سالنامه آماری استان خراسان رضوی، ۱۳۹۷)

منطقه	جمعیت	نسبت از کل
۱	۱۸۷۲۰۱	۰,۰۶۷۸
۲	۴۹۵۹۴۰	۰,۱۷۹۷
۳	۳۲۹۷۲۵	۰,۱۱۶۵
۴	۲۶۳۹۹۷	۰,۰۹۵۶
۵	۱۶۲۲۹۵	۰,۰۵۸۸
۶	۲۲۰۵۶۳	۰,۰۷۹۹
۷	۲۳۴۹۷۵	۰,۰۸۵۱
۸	۱۱۲۲۴۵	۰,۰۴۰۶
۹	۲۷۵۰۴۳	۰,۰۹۹۶
۱۰	۲۳۴۰۰۴	۰,۰۸۴۸
۱۱	۱۸۵۴۶۰	۰,۰۶۷۲

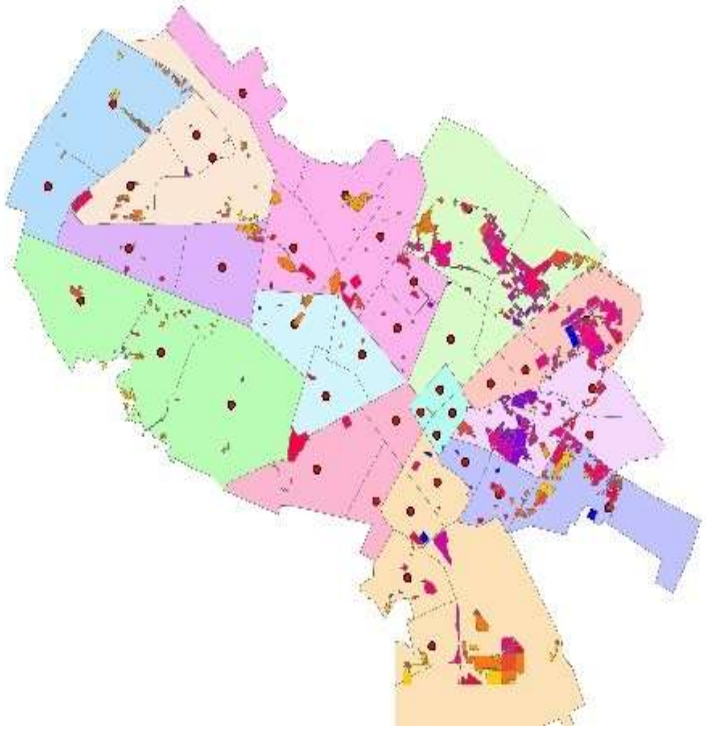
ماهنامه علمی تخصصی پایا شهر

ISSN ۲۹۸۰-۷۷۸۶

۱۲	۲۲۲۷۵	۰,۰۰۸۱
۱۳	۳۵۰۷۶	۰,۰۱۲۷

پس از وزن دهی معیارها و تلفیق نقشه های مربوط به آن ها در محیط نرم افزار آرک جی آی اس، توسط ابزارهای عضویت فازی[1] و مجموع وزنی[2]، نقاط اولیه بدست آمد. تعداد نقاط بدست آمده در این مرحله نزدیک به ۳۴۰۰۰۰ نقطه بود که با استفاده از ابزار تحلیلی یکپارچه سازی در محیط نرم افزار، این نقاط در فواصل کمتر از یک متر یکپارچه گردیده و برای آن ها متوسط وزن فازی محاسبه گردید. بنابراین تعداد مکان های بالقوه ی حاصل از این نقاط، به تعداد ۳۸۰۰ مکان، مشخص شد. سپس با توجه به این که این تعداد مکان توسط سیستم غیر قابل بررسی بوده و به ظرفیت حافظه ی قابل توجهی نیاز داشت، با دقت در حداقل و حداکثر جمعیت مورد بررسی در ۴۳ ناحیه شهر مشهد، حدود مکان های بالقوه پناهگاهی محدود گردید. بر این اساس، ابتدا مکان های مناسب با مساحت ۵۰۰۰ الی ۵۰۰۰۰۰ متر مربع از سایر نقاط تفکیک شد (کتابچه مخاطرات آژانس پناهندگان، ۱۹۸۲).

با اعمال این فیلتر نهایتا ۵۷۵ مکان کاندید شناسایی گردید. این موارد در شکل ۱ آورده شده است.



شکل شماره (۱): مکان های بالقوه ی شناسایی شده در نواحی ۴۳ گانه از مناطق ۱۳گانه مشهد (در محیط GIS)

حداقل وزن این مکان ها ۰,۱۱ و حداکثر آن ها ۱ می باشد. با استفاده از ابزار نزدیکی فاصله[3] در نرم افزار جی آی اس، فاصله ی بین مراکز نواحی، مکان های کاندید پناهگاه و مراکز درمانی محاسبه گردید. سپس این داده ها توسط مدل نوشته شده در نرم افزار تحقیق در عملیات گمز مورد آزمون قرار گرفت. فاز اول این مدل که پیش تر توسط کلیسیا و همکاران (۲۰۱۵) برای مدل های کوچک تر در زمان کمتر از چند ثانیه به جواب بهینه رسیده بود، مجددا مورد آزمایش قرار گرفت، و در زمان کوتاهی به جواب رسید. اما این بار به دلیل بالا رفتن ابعاد مسئله، در سیستمی با پردازنده ی نسل هفت[4]، با ظرفیت ۲ گیگاهرتز و

[1] Fuzzy Membership
[2] Weighted Sum
[3] Near
[4] Intel® Core™ I7 2630QM

ماهنامه علمی تخصصی پایا شهر

ISSN ۲۹۸۰-۷۷۸۶

حافظه رم[1] ۶ گیگابایتی، در مدت زمان نزدیک به ۷۶ دقیقه به جواب بهینه رسید. همچنین مقدار تابع هدف مسئله که حداقل وزن پناهگاه ها بود، ۰,۷۸۲۳۲۴ تعیین شد. میانگین وزن ۲۰ مکان بدست آمده برابر با ۰,۸۶۲۳۹ با انحراف معیار ۰,۰۶۹۲ محاسبه شد. میانگین مساحت این مکان ها که معادل ظرفیت آن هاست برابر با ۱۱۴۷۳۴,۱ مترمربع محاسبه گردید. برای حل مدل این مرحله، حل کننده ی سیپلکس[2] در محیط نرم افزار گمز مورد استفاده قرار گرفت.

خروجی این مدل در فایل متنی جداگانه ای ذخیره شده و پس از حذف متغیرهای صفر، با استفاده از الگوریتم های ساده، برای فاز دوم فراخوانی گردید.

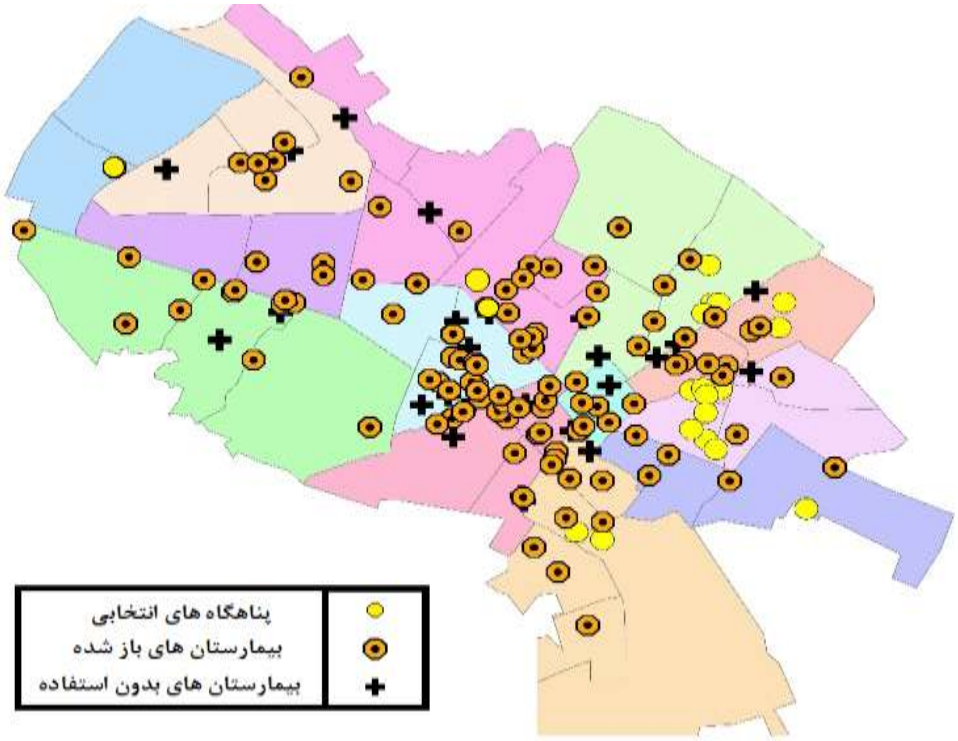
در فاز دوم، با توجه به این که دسترسی کافی به اطلاعات مربوط به مراکز درمانی موجود نبود، ظرفیت بیمارستان های شهر مشهد بر مبنای اطلاعات سایت بیمارستان ها مد نظر قرار گرفته و در بازه ی تصادفی [۸۰۰,۱۲۰۰] با توزیع یکنواخت تولید گردید. بنابراین در هر بار اجرای برنامه مسئله ای جدید ایجاد شده و امکان تحلیل سناریوهای گوناگون میسر بود. همچنین ضریب l مربوط به درصد افراد نیازمند درمان، ۰,۳۵ فرض شده و ضریب کنترل λ برابر با ۰,۸ در نظر گرفته شد تا در حالت بهینه، حداکثر ۸۰ درصد از ظرفیت مراکز درمانی اشغال شود. نهایتا مدل برنامه ریزی غیر خطی این مرحله، با استفاده از حل کننده ی اس سی آی پی[3] نسخه ی ۳، اجرا گردید که پس ۸۳۸ ثانیه به فاصله نسبی ۳,۷٪ از جواب نسبی و در زمان ۱۰۰۵ ثانیه به فاصله نسبی ۰,۷٪ رسید که مقدار آن برابر ۶۳،۳۹۹,۹۴ می باشد. با توجه به تصادفی بودن اعداد و ابعاد بزرگ مسئله کاملا مناسب به نظر می رسد. البته استفاده از روش های ابتکاری و فراابتکاری برای بهبود زمان حل این دو مدل بسیار مفید خواهد بود و می تواند جزئی از تحقیقات آتی باشد.

شکل ۲ نقاط نهایی انتخاب شده را با رنگ زرد، بیمارستان های باز شده با دایره های نارنجی و بیمارستان هایی که مورد استفاده قرار نگرفته اند به صورت علامت مثبت مشکی نشان می دهد.

[1] RAM
[2] CPLEX
[3] SCIP

ماهنامه علمی تخصصی پایا شهر

ISSN ۲۹۸۰-۷۷۸۶



شکل شماره (2) پناهگاه های انتخابی و بیمارستان های باز شده در نواحی ۴۳ گانه از مناطق ۱۳گانه مشهد (در محیط GIS)

۶- نتیجه گیری

در این مقاله مکان یابی پناهگاه های موقت پس از زلزله و تخصیص مراکز درمانی مورد بررسی قرار گرفت و در نواحی ۴۳گانه کلانشهر مشهد به عنوان نمونه ی موردی مورد آزمون قرار گرفت. ابتدا معیارهای لازم برای تعیین مکان پناهگاه ها با در نظر گرفتن ادبیات موجود بررسی گردیده و توسط فرآیند تحلیل سلسله مراتبی وزن دهی شد. با تلفیق معیارها به روش فازی، مکان های بالقوه تعیین گردید. بیشترین اولویت وزنی به ترتیب برای مخاطرات طبیعی با ۰,۲۵، کاربری زمین ۰,۲، دسترسی راه ۰,۱۹ و شبکه ی آب، برق و فاضلاب ۰,۱۵ بدست آمد. سایر معیارها اوزانی کمتر از ۰,۶ داشتند. سپس با در نظر گرفتن استانداردهای لازم، تعداد ۵۷۵ مکان کاندیدا برای پناهگاه در کلانشهر مشهد مشخص گردید. در قدم بعدی با استفاده از مدل ریاضی برنامه ریزی خطی عددصحیح مختلط ۱۷ مکان مناسب برای اسکان بازماندگان انتخاب شدند. در مرحله ی دوم از حل مدل، مدل برنامه ریزی غیرخطی پیشنهاد گردید که مراکز درمانی را به پناهگاه های باز شده تخصیص داده و ظرفیت پناهگاه ها را کنترل می کند. در نتیجه از بین ۱۳۵ مرکز درمانی، تعداد ۱۰۹ واحد با بهره گیری حداکثر ۸۰ درصد، به پناهگاه ها تخصیص داده شده و مقدار تابع هدف با فاصله نسبی ۰,۰۷٪ در مدت زمان ۱۰۰۵ ثانیه به عدد ۶۳,۳۹۹,۹۴ رسید که مجموع فواصل مراکز درمانی تا پناهگاه ها می باشد. این مراکز به همراه مکان های تخصیص یافته بر روی نقشه مشخص گردید.

پیش تر اشاره شد که هدف این مدل ریاضی کمک به سطح برنامه ریزی از فرآیند بازسازی برای یک فاجعه ی احتمالی است. بر همین اساس، چون جواب مسئله خصوصا در فاز اول در مدت زمان قابل قبول اما نه چندان سریع داده می شود، ممکن است تصمیم گیرنده زمان کافی برای اجرای مدل برای سناریوهای نسبتا زیاد را نداشته باشد. بنابراین توسعه و ایجاد الگوریتم های هیروستیک برای این مسئله ممکن است مفید باشد. علاوه بر این، با مطالعه محدودیت های مدل و به خصوص دقت در پارامترهای آن، امکان پژوهش و توسعه بیشتر وجود دارد.

ماهنامه علمی تخصصی پایا شهر

ISSN ۲۹۸۰-۷۷۸۶

مراجع

۱. متکان، علی اکبر و همکاران، ارزیابی تناسب مکانی پناهگاههای اسکان موقت بعد از زلزله با استفاده از روش WLC در ترکیب با سیستم های اطلاعات جغرافیایی، همایش ملی معماری پایدار و توسعه شهری، بوکان، ۱۳۹۲

۲. درگاه ملی آمار: نتایج تفصیلی سرشماری ۱۳۹۵، شهرستان مشهد

۳. سالنامه آماری استان خراسان رضوی، ۱۳۹۷ : سرفصل مرکز استان

۴. احدنژاد روشتی، محسن و همکاران، مکان یابی بهینه محل های اسکان موقت آسیب دیدگان ناشی از زلزله در مناطق شهری با استفاده از روش های چندمعیاری و GIS (مطالعه موردی شهر زنجان)، ۱۳۹۰، تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، دوره ۲۰، شماره ۲۳، صفحات ۴۵-۶۱

5. Ambrasey, Nicholas. (1987). "*A history of Persian earthquakes*". Cambridge University Press. ISBN: 9780521021876
6. Azadi, A., Javan, D.Gh., Hafezi, M. N., Hesami, A. Kh. (2010). "Geological, Geotechnical & Geophysical Aspects of Toos Fault in the Northern City of Mashhad", Journal of Earth & Space Physics.
7. Sphere Project Handbook (2018), Sphere Project Humanitarian Charterand Minimum Standards in Disaster Response: p 4.
8. Ashmore, J., Fowler, J., Kennedy, J. (2008). "Shelter Projects 2008", UN-HABITAT.
9. UNHCR, (1982), "Handbook for Emergencies". 2nd Edition, Ch 12, P148-160.
10. Kılcıa, F., Yeti¸s, B., Karaa. Bozkayab, B., (2015)., "Locating temporary shelter areas after an earthquake: A case for Turkey", European J of OR.
11. Nojavan, M., Omidvar, B., Salehi, E., (2011), "The Selection of Site for Temporary Sheltering using Fuzzy Algorithms; Case study: Tehran Metropolitan after earthquake, Municipal districts No 1." J of URBAN MANAGEMENT
12. Dalal, J., Mohapatra, P. K., & Mitra, G. C. (2007). Locating cyclone shelters: A case Disaster Prevention and Management, 16(2), 235–244.
13. Ablanedo-Rosas, J. H., Gao, H., Ali daee, B., & Teng, W. (2009). Allocation of emergency and recovery centres in Hidalgo, Mexico. International Journal of Services Sciences, 2(2), 206–218.
14. Jia, H., Ordóñez, F., & Dessouky, M. M. (2007a). A modeling framework for facility location of medical services for large-scale emergencies. IIE Transactions, 39(1), 41–55.
15. Lu, X. L., & Yun-xian, H. (2009). Ant colony optimization for facility location for large-scale emergencies. In Management and Service Science, 2009. MASS' 09. International Conferenceon (pp.1–4) IEEE.
16. Gül, S. (2008). Post-disaster casualty logistics planning for Istanbul (Master Thesis). Koç University.
17. Huang, R., Kim, S., & Menezes, M. B. (2010). Facility location for large-scale emergencies. Annals of Operations Research, 181(1), 271–286.
18. Lu, C. C. (2013). Robust weighted vertex p-center model considering uncertain data: An application to emergency management. European Journal of Operational Research, 230(1), 113–121.
19. Anping, P. (2010). The applications of maximal covering model in typhoon emergency shelter location problem. In Industrial engineering and engineering management (IEEM), 2010 IEEE international conference on (pp.1727–1731) IEEE.
20. Liu, Q., Ruan, X., & Shi, P. (2011). Selection of emergency shelter sites for seismic disas-ters in mountain ousregions: Lessons from the 2008 Wenchuan Ms 8.0 Earthquake, China. Journal of Asian Earth Sciences, 40(4), 926–934.
21. Li, A. C., Nozick, L., Xu, N., & Davidson, R. (2012). Shelter location and transportation planning under hurricane conditions. Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, 48(4), 715–729.
22. Coutinho-Rodrigues, J., Tralhão, L., & Alçada-Almeida, L. (2012). Solving a location-routing problem with a multi objective approach: The design of urban evacuation plans. Journal of Transport Geography, 22, 206–218.
23. Church, R. L., & Roberts, K. L. (1983). Generalized coverage models and public facility location. In Papers of the regional science association: vo.53, No.1 (pp.117–135) Springer-Verlag.

ماهنامه علمی تخصصی پایا شهر

ISSN ۲۹۸۰-۷۷۸۶