مکانیابی ایستگاههای کمک رسانی زلزله در ایران

دکتر محمد رضا امین ناصری
عضو هیات علمی دانشگاه تربیت مدرس
Amin_nas@modares.ac.ir
فواد مهدوی پژوه
دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی صنایع
دانشگاه تربیت مدرس
Foadmp2001@yahoo.com
ساعد علی ضمیر
دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی صنایع
دانشگاه صنعتی امیر کبیر
saedalizamir@yahoo.com

چکیده

یکی از مهمترین کاربردهای عملی تحقیق در عملیات مربوط به حل مسائل مکانیابی است. اهمیت این مسائل در عمل از یک سو و تنوع و پیچیدگی آنها از سوی دیگر باعث توسعه روشهای نظری متعددی در این زمینه شده است. در این میان مسایل مکانیابی اورژانسی به خصوص در ابعاد بزرگ اهمیت ویژه ای دارند. یکی از مهمترین زمینه های مکانیابی مراکز اورژانس، تعیین محل مناسب جهت احداث مراکز کمک رسانی زلزله می باشد. با قرار گرفتن ایران روی کمربند زلزله و وارد آمدن خسارات شدید ناشی از زلزله به کشورمان لزوم ایجاد مراکز کمک رسانی اورژانس در مواقع زلزله در ایران بیش از پیش مشهود می گردد و عدم وجود پژوهشی در زمینه مکانیابی این ایستگاهها در ایران، انگیزه مهمی جهت تعیین بهترین مکانهای ممکن برای تاسیس این مراکز در ایران ایجاد می کند. در این مقاله ابتدا یک مدل مکانیابی Location Allocation جهت استقرار بهینه ۱۲ مرکز کمک رسانی زلزله (این عدد با استفاده از اسناد موجود در مرکز زلزله شناسی دانشگاه شریف و با توجه به محدودیت بودجه دولت تعیین شده است) در ۱۲ منطقه از ۲۲۹ منطقه شهری کشور توسعه داده شده و از آنجا که فضای جواب مدل مورد نظر بصورت انفجار آمیزی بزرگ می باشد (مسئله مورد نظر NP Hard می باشد) ، از یک روش ابتکاری که بر مبنای روش Brute Force توسط Dileep R.Sule مطرح شده است، برای حل آن استفاده می شود. بدیهی است که نتایج حل این مدل، می تواند به عنوان ابزار مناسبی در اختیار مدیریت قرار گرفته و به تصمیم گیری در این زمینه کمک کند.

کلید واژه : emergency facility location , location allocation , P-Median models

۱- مقدمه

زمین لرزه که یکی الز بزرگترین بلایای طبیعی محسوب می شود ، همواره یک خطر جدی برای زندگی و اموال ساکنان این کره خاکی محسوب می شود. اگر چه نمی توان از زمین لرزه ها پیشگیری کرد، اما با انجام محاسبات کارا و دقیق و انجام کارهای پیش گیرانه ، می توان تلفات جانی ناشی از زلزله و خسارت وارده به اموال را تا حد زیادی کاهش داد.

اگر سرچشمه انرژی زمین لرزه از حرکت تدریجی صفحه ها در طول زمانهای زمین شناختی فراهم شده باشد، آنرا زمین لرزه زمینساختی می گویند که حاصل اعمال نیرو در سنگها و شکستن آنهامی باشد. اگر عبور مواد مذاب به هنگام آماده شدن یا فوران آتشفشان یا تغییر و تحول در مسیر به گونه ای سبب شکستن سنگ و یا رها شدن انرژی شود، زمین لرزه حاصل را زمین لرزه آتشفشانی گویند. در کشور ما کوههای آتشفشانی تفتان ، سهند ، سبلان و دماوند از جمله آتشفشانهای مرده و یا مربوط به زمانهای گذشته زمین شناسی محسوب می شوند. بنابراین زمین لرزه های آتشفشانی در ایران وجود ندارند. اگر ریزش سقف یک غار و یا جابجایی ناگهانی در پوسته زمین اتفاق بیافتد ، زمین لرزه حاصل را زمین لرزه محلی یا اتفاقی گویند.

از میان انواع یاد شده ، زمین لرزه های زمینساختی ، نود درصد و زمین لرزه های آتشفشانی ، هفت درصد کل زمین لرزه های جهان را تشکیل می دهند و زمین لرزه های اتفاقی ، تنها سه درصد کل زمین لرزه های جهان را تشکیل می دهند. زمین لرزه های عظیم، بیشتر زمین لرزه های زمینساختی هستند.

با مشخص کردن مرکز زمین لرزه های به وقوع پیوسته در جهان به روی نقشه می توان تصویری از الگوی لرزه خیزی جهان به دست آورد. بیش از هشتاد درصد زمین لرزه های جهان، در کمربند نسبتا باریکی به عنوان کمربند زلزله رخ داده اند. محل قرار گیری کشور ایران با توجه به خصوصیات جغرافیایی آن (واقع بر فلات ایران) ، نشان می دهد که این کشور بر روی کمربند زلزله قرار دارد و لذا احتمال وقوع زلزه در ایران در مقایسه با بسیاری از مناطق دیگر دنیا ، بسیار بیشتر است.

این موضوع، اهمیت صرف انرژی روی موضوع زلزله و مسائل مرتبط با ان را در ایران دو چندان می کند.

۲- مرور ادبیات مدلهای مکانیابی برای کمک رسانی اضطراری

در این بخش به مرور ادبیات ادبیات مسائل مکانیابی برای احداث مراکز کمک رسانی در مواقع اضطراری می پردازیم .این مرور ادبیات بسته نوع تابع هدف مدلهای مکانیابی به سه بخش زیر تقسیم می گردد:

- **Covering Models**
- **P-median Models**
- **P-center Models**

۲-۱- بکارگیری Covering Models برای مکانیابی محلهای احداث مراکز کمک رسانی در مواقع اضطراری

Covering Models رایج ترین مدلهای مکانیابی برای فرمولبندی مسائل مکانیابی محلهای احداث مراکز کمک رسانی در مواقع اضطراری می باشند. هدف اصلی در **Covering Models**، پوشش دادن نقاط تقاضا می باشد. یک نقطه تقاضا هنگامی پوشش داده می شود که تجهیزی وجود داشته باشد که با توجه به حد فاصله ای که آن تجهیز پوشش می دهد، به تقاضای آن نقطه پاسخ دهد.ادبیات مسائل پوشش **(Covering Problems)** به دو بخش اصلی تقسیم می شود:

- **The location set covering problem (LSCP)**
- **The maximal covering location problem (MCLP)**

LSCP اولین بار بوسیله **Toregas et al** در سال ۱۹۷۱ برای مکانیابی محلهای احداث مراکز کمک رسانی در مواقع اضطراری بکار گرفته شد. هدف در این تحقیق، مکانیابی حداقل تعداد ممکن تجهیزات برای پوشش کلیه نقاط تقاضا بود. از آنجا که در **LSCP** باید نیاز کلیه نقاط تقاضا بدون در نظر گرفتن جمعیت، فواصل و مقدار تقاضای آنها برآورده شود، منابع تجهیزاتی بیش از اندازه ای لازم دارد. با در نظر گرفتن این مشکل **Church** و **Revelle** در سال ۱۹۷۴ و موازی با آنها **White** و **Case** در همان سال مدل **MCLP** را که در آن نیازی به پوشش کامل تقاضاهای تمام نقاط تقاضا نیست، گسترش دادند.در این مدل بجای پوشش کامل تقاضاهای تمام نقاط تقاضا، هدف حداکثر کردن پوشش با داشتن تعداد مشخصی از تجهیزات می باشد. **Schilling et al** در سال ۱۹۷۹ مدل **MCLP** را تعمیم داده و آن را برای مکانیابی محلهای احداث ایستگاههای آتش نشانی در شهر **Baltimore** به کار برد. یک مثال قابل توجه از کاربرد **MCLP** ،کار انجام شده بوسیله **Eaton et al** در سال ۱۹۸۵ میباشد که مدل مذکور را برای مکانیابی مراکز خدمات اورژانس پزشکی در **Texas (Austin)** بکار برد.[۴]

مدلهای اولیه ارائه شده، امکان شلوغی و تراکم سیستم و یا در دسترس نبودن تجهیزات را بدلیل بروز مشکلات غیر قابل پیش بینی در نظر نگرفته بودند.به همین دلیل تعداد زیادی از مدلهای پوشش برای پاسخگویی به تقاضاهای پوشش داده نشده در مواقع بروز تراکم تقاضا و یا مشکل در سیستم، ارائه شده اند که با در نظر گرفتن پوشش پشتیبان **(back up coverage)** یا اضافه در آنها به این نوع تقاضاها پاسخ داده می شود.**Benedict** در سال ۱۹۸۳ و **Eaton et al** موازی با **Hogan** و **Revelle** در سال ۱۹۸۶ مدلهای **MCLP** ای برای مکانیابی محلهای احداث مراکز کمک رسانی در مواقع اضطراری ارائه کردند که دارای یک تابع هدف ثانویه به منظور حداکثر کردن پوشش پشتیبان می باشند.در این مدلها فرض بر این است که در هر مکان تخصیص داده شده، تجهیز ثانویه ای می تواند وجود داشته باشد تا بخشی از تقاضای موجود را در مواقعی که تجهیز اولیه برای خدمت دهی در دسترس نیست، پاسخ دهد.این مدلهای پوشش دارای پشتیبان عموما **BACOP1(Back up Coverage Problem 1)** نامیده می شوند که در آنها لازم است تا کلیه نقاط تقاضا بوسیله تجهیز اولیه پوشش داده شوند. **Hogan** و **Revelle** در سال ۱۹۸۶ مدلهای **BACOP2** را فرموله کردند که این مدلها قادرند جمعیتی را که به ترتیب پوشش اولیه و ثانویه دریافت می کنند، حداکثر کنند . **Bianchi** و **Church** در سال ۱۹۸۸ مدلی برای مکانیابی ارائه کردند که در آن آنها تعداد تجهیزات

بکار رفته برای خدمت دهی را محدود کرده اما در عوض از بیش از یک خدمت دهنده در هر ایستگاه برای پوشش استفاده کرده اند.[۵]

تحقیقات در زمینه مدلهای پوشش دهنده خدمات اضطراری، با وارد کردن خصیصه های تصادفی و احتمالی موجود در موقعیتهای اضطراری در این مدلها، گسترش داده شدند. نمونه ای از این مدلهای تصادفی در مقالات نوشته شده بوسیله **Goldberg** و **Paz** در سال ۱۹۹۱ ،**Revelle et al.** در سال ۱۹۹۶ و **Beraldi** و **Ruszczynski** در سال ۲۰۰۲ موجود می باشد. برای مدلسازی احتمالی مسائل پوشش خدمات اضطراری، روشهای مختلفی وجود دارد که از جمله می توان مدلهای محدود شده با شانس **(chance constrained models)** که بوسیله **Chapman** و **White** در سال ۱۹۷۴ ارائه شدند را نام برد. همچنین **Daskin** در سال ۱۹۸۳ از یک پارامتر تخمین زده شده **(q)** برای بیان احتمال اینکه حداقل یک خدمت دهنده برای خدمت دهی به تقاضای هر نقطه تقاضا آماده باشد، استفاده کرد. او مسئله مکانیابی برای حداکثر کردن پوشش مورد انتظار **(Maximum Expected Covering Location Problem(MEXCLP))** را برای قرار دادن **P** تجهیز در یک شبکه با هدف حداکثر کردن جمعیت پوشش داده شده، فرموله کرد.**Revelle** و **Hogan** در سال ۱۹۸۶ **MEXCLP** را گسترش داده و مسئله مکانابی پوشش مجموعه ای احتمالی **(Probabilistic Location Set Covering Problem(PLSCP))** را پیشنهاد کردند.در **PLSCP** ،برای هر نقطه تقاضا، نسبت میانگین مشغول بودن یک خدمت دهنده (q_i) و ضریب اطمینان یک خدمت (α) در نظر گرفته شده است و مکان تجهیزات به گونه ای تعیین می گردد تا احتمال موجود بودن یک خدمت در یک فاصله خاص حداکثر شود.

۲-۲- بکارگیری P-Median Models برای مکانیابی محلهای احداث مراکز کمک رسانی در مواقع اضطراری

یک روش مهم دیگر برای سنجش میزان کارایی مکانیابی تجهیزات، ارزیابی میانگین فاصله کل بین نقاط تقاضا و تجهیزات می باشد. هنگامی که متوسط فاصله کل کاهش می یابد، در دسترس بودن و اثر گذاری تجهیزات افزایش می یابد. مسئله **P-Median** اولین بار بوسیله **Hakimi** در سال۱۹۶۴ با در نظر گرفتن این فرض مطرح گردید و به صورت زیر تعریف می گردد:

تعیین مکان **p** تجهیز با هدف کمینه کردن میانگین فاصله کل بین نقاط تقاضا و تجهیزات.

بعدها **Revelle** و **Swain** در سال ۱۹۷۰ ، مسئله **P-Median** را در قالب یک مسئله برنامه ریزی خطی عدد صحیح فرموله کردند و از یک الگوریتم شاخه و کران برای حل آن استفاده کردند.

مدل **P-Median** بعد از فرموله شدن گسترش یافته و بطور وسیع برای حل مسائل متعددی در زمینه مکانیابی محلهای احداث مراکز کمک رسانی در مواقع اضطراری به کار گرفته شد. **Carbone** در سال ۱۹۷۴ یک مدل قطعی **P-Median** را با هدف کمینه کردن فاصله سفر انجام شده بوسیله تعدادی از متقاضیان برای رسیدن به تجهیزات خدماتی محل ثابت نظیر مراکز درمانی، فرموله کرد. تعداد متقاضیان موجود در هر گره تقاضا متغیر و نامشخص می باشد. مدلساز مدل قطعی **P-Median** را گسترش داده و آنرا به یک مدل محدود شده با شانس تبدیل کرد. در این مدل هدف حداکثر کردن یک آستانه است در حالیکه احتمال اینکه مسافت کل سفر زیر آن آستانه باشد، از سطح

مشخص α کوچکتر باشد.**Calvo** و **Marks** در سال ۱۹۷۳، یک مدل **P-Median** برای مکانیابی تجهیزات مراقبتهای پزشکی چند سطحه شامل بیمارستانهای مرکزی، بیمارستانهای عمومی و مراکز پذیرش محلی ایجاد کردند. هدف در مدل کمینه کردن فاصله و هزینه های متقاضیان و بیشینه کردن تقاضا و میزان بکارگیری منابع می باشد. بعدها مدل **P-Median** سلسله مراتبی بوسیله **Tien et al** در سال ۱۹۸۳ و **Mirchandani** در سال ۱۹۸۷ ارائه گردید که نوآوری های موجود در آن شامل ارائه خصوصیات جدید و بکارگیری طرحهای تخصیص متنوع برای غلبه بر مشکل کمبود سازماندهی با استفاده از سلسه مراتبها می باشد.**Paluzzi** در سال ۲۰۰۴ یک مدل مکانیابی **P-Median** ابتکاری **(heuristic)** را برای مکانیابی تجهیزات خدمات اضطراری در شهر **Carbondale,IL** ارائه و تست کرد. هدف در این مدل تعیین مکان بهینه برای ایجاد یک ایستگاه آتش نشانی جدید به منظور حداقل کردن مجموع کل فاصله بین سایتهای تقاضا و ایستگاه آتش نشانی مورد نظر می باشد. نتایج حاصل با نتایج بدست آمده از سایر روشها مقایسه شده و این مقایسه فایده و تاثیر مدل مکانیابی بر پایه **P-Median** را تایید نمود.[۶]

یکی از کاربردهای اصلی مدلهای **P-Median** ، روانه کردن واحدهای اورژانس نظیر آمبولانسها در مواقع اضطراری می باشد. **Carson** و **Batta** در سال ۱۹۹۰ یک مدل **P-Median** را برای تعیین استراتژی موقعیت یابی پویای آمبولانسها برای ارائه خدمات اورژانس در یک محوطه مشخص بکار بردند. در این مدل هر بار به منظور کمینه کردن میانگین زمان پاسخ دهی به درخواستهای رسیده، آمبولانسها به اشکال مختلفی مکانیابی مجدد می شوند. **Berlin et al** در سال ۱۹۷۶ دو مسئله **P-Median** را برای مکانیابی بیمارستانها و آمبولانسها بررسی کرد . مسئله اول تاکید شدیدی بر نیازهای بیماران داشت و هدف اصلی اش کمینه سازی میانگین فاصله بین بیمارستانها و نقاط تقاضا و میانگین زمان پاسخ دهی آمبولانسها در فاصله بین پایگاه آنها و نقاط تقاضا می باشد. در مسئله دوم، یک هدف جدید برای تقویت عملکرد سیستم با کمینه کردن میانگین فاصله بین پایگاه آمبولانسها و بیمارستانها اضافه می شود.

عدم قطعیت هم در بسیاری از مدلهای **P-Median** در نظر گرفته شده است. **Mirchandani** در سال ۱۹۸۰، یک مسئله **P-Median** را برای مکانیابی واحدهای اورژانس آتش نشانی با در نظر گرفتن خصوصیات تصادفی سفر و الگوهای تقاضا تست کرد. نویسنده موقعیتهایی را در نظر گرفت که در آن موقعیتها ممکن است هیچ تجهیزی برای خدمت دهی به یک تقاضا موجود نباشد و از یک پروسه مارکوف برای ایجاد سیستمی که در آن موقعیتها مطابق با توزیع تقاضا، زمان سفر و خدمت دهی و در دسترس بودن خدمت دهنده تعیین می شوند، استفاده کرد. **Serra** و **Marianov** در سال ۱۹۹۹ از یک مدل **P-Median** استفاده کرده و مفهوم تاسف **(regret)** و اهداف کمینه کردن بیشینه ها **(Min Max Objectives)** را در هنگام مکانیابی ایستگاههای آتش نشانی برای خدمات اورژانس در شهر **Barcelona** بیان نمودند. نویسندگان به طور واضح در مدلشان موضوع مکانیابی تجهیزات را در مواقعی که در تقاضا، فاصله و زمان سفر عدم قطعیت وجود دارد مشخص کردند. به علاوه مدل از چیدمانهای مختلف برای در نظر گرفتن تغییرات عدم اطمینان ها استفاده کرده و سعی در ارائه یک راه حل مناسب از طریق حداقل کردن حداکثر تاسف برای این چیدمانهای مختلف دارد.[۷]

مدلهای **P-Median** همچنین برای حل مسائل مکانیابی خدمات اورژانس با مفهوم تئوری صف گسترش داده شده اند. یک نمونه مدل میانه صف تصادفی **(Stochastic Queue Median(SQM))** ارائه شده بوسیله **Berman et al** در سال ۱۹۸۵ می باشد.هدف مدلهای **SQM**، ارسال بهینه خدمت دهنده های متحرک نظیر واحدهای پاسخ

دهنده در مواقع اورژانس به نقاط تقاضا و مکانیابی تجهیزات به منظور کمینه کردن متوسط هزینه پاسخگویی می باشد.

۲-۳- بکارگیری P-Center Models برای مکانیابی محلهای احداث مراکز کمک رسانی در مواقع اضطراری

در مقابل مدلهای **P-Median** که بروی بهینه سازی میانگین عملکرد سیستم تمرکز می کند، مدلهای **P-Center** سعی در کمینه کردن بدترین عملکرد سیستم دارند و بنابراین مکانهایی را مشخص می کنند که در آنها کمبود و نقصان خدمت دهی مهمتر از میانگین عملکرد سیستم می باشد. در ادبیات مکانیابی، به مدلهای **P-Center** ، مدلهای کمینه کننده بیشینه **(Min Max Models)** هم گفته می شود، چون این مدلها سعی در کمینه کردن بیشترین فاصله موجود بین هر نقطه تقاضا و نزدیکترین تجهیز خدمت دهنده به آن دارند. در مدلهای **P-Center** فرض بر این است که نیاز هر نقطه تقاضا بوسیله نزدیکترین تجهیز خدمت دهنده به آن پاسخ داده می شود و بنابراین همیشه به پوشش کامل تمام نقاط تقاضا دست می یابد. اما به هر حال بر خلاف پوشش کامل حاصل از مدلهای پوشش مجموعه ای **(set covering models)** که ممکن است منجر به استفاده از تعداد زیاد و بیش از اندازه از تجهیزات شود، پوشش کامل حاصل از مدلهای **P-Center** تنها به تعداد محدودی (**p** عدد) از تجهیزات نیازمند است.

ایده اصلی این مدلها اولین بار بوسیله **Sylvester** در سال ۱۸۵۷ مطرح شد. مدل در جستجوی مرکز دایره ای بود که دارای کوتاهترین شعاع به منظور پوشش کلیه نقاط تقاضای مطلوب باشد.در چند دهه اخیر، مدلهای **P-Center** و نمونه های گسترش داده شده آن مورد بررسی قرار گرفته و از آنها برای مکانیابی تجهیزاتی نظیر مراکز کمک رسانی اورژانس، بیمارستانها، ایستگاههای آتش نشانی و سایر تجهیزات عمومی استفاده شده است.[۹]

به منظور مکانیابی تعداد مشخصی از تجهیزات اورژانسی، **Garfinkel et al** در سال ۱۹۷۷ خصوصیات پایه ای مسائل **P-Center** را مورد آزمایش قرار داد. او این مسئله **P-Center** را با استفاده از برنامه ریزی عدد صحیح مدلسازی کرده و با موفقیت آنرا با استفاده از یک تکنیک جستجوی دوتایی **(binary search technique)** و ترکیبی از تستهای واقعی و ابتکاری حل کرد. **Revelle** و **Hogan** در سال ۱۹۸۹ یک مسئله **P-Center** را برای مکانیابی تجهیزات به منظور کمینه کردن بیشترین فاصله ای که در آن خدمات اورژانس با ضریب اطمینان α موجود باشد، فرمولبندی کردند. در مدل مورد نظر، امکان وجود تراکم (شلوغی) در سیستم و احتمال مشغول بودن یک خدمت دهنده ناشی از آن، برای تحمیل یک سطح اطمینان از خدمت گیری به مدل که باید در تمام نقاط تقاضا برآورده شود، در نظر گرفته شده بود. مدلهای **P-Center** تصادفی هم برای مکانیابی کمکهای اضطراری فرمولبندی شده اند. برای نمونه **Hochbaum** و **Pathria** در سال ۱۹۹۸ مسئله مکانیابی مراکز کمک رسانی اورژانس را در نظر گرفتند که در آن باید بیشترین فاصله روی شبکه در تمام دوره های زمانی را کمینه کرد. هزینه و فاصله بین موقعیتها در هر پریود زمانی گسسته متغیر است و نویسندگان از **k** شبکه اصلی برای نمایش پریودهای مختلف استفاده کرده اند. **Talwar** در سال ۲۰۰۲ از یک مدل **P-Center** برای مکانیابی و ارسال سه هلیکوپتر نجات برای خدمت دهی به تقاضاهای رو به رشد اورژانسی ناشی از فعالیتهایی توریستی نظیر اسکی ،پیاده روی و کوه نوردی در شمال و جنوب

کوهستان آلپ استفاده نمود. یکی از اهداف این مدل کمینه کردن بیشترین مدت زمان لازم برای پاسخگویی به یک تقاضا است و نویسنده برای حل مسئله از روشهای ابتکاری موثری استفاده کرده است.[۸]

در این پژوهش، هدف آن است که از یکی از روشهای حل مدلهای Location Allocation در فضای گسسته که زیر مجموعه ای از مدلهای مکانیابی P-Median می باشند، برای مکانیابی مراکز کمک رسانی زلزله در ایران استفاده شود.

۳- بیان مساله

در این مقاله ، هدف اصلی تعیین محل و مکانیابی ایستگاهها و مراکز کمک رسانی اورژانسی در زمان وقوع زلزله در ایران است. این مراکز در کلیه شهرهای ایران، شامل شهرهای بزرگ و متوسط می توانند دایر شوند. اما در شهرهای بسیار کوچک، با توجه به محدودیت تجهیزات و امکانات لازم، ساخت این مراکز غیر عملی است. (البته با توجه به ابعاد مسئله از نظر مسافتها ، این شهرها را می توان با دقت خوبی جزئی از شهرهای همسایه بزرگتر فرض کرد.) لذا کلیه مناطق جمعیتی ایران باید مد نظر قرار گیرند.

در این مقاله، با در نظر گرفتن یک نقشه جامع ایران، کلیه مناطق جمعیتی آن، طبقه بندی شده و سپس کلیه پارامترهای لازم برای هر یک جمع آوری شده است. هر یک از این مناطق می توانند کاندیدی برای احداث ایستگاههای کمک رسانی باشند.

با استناد به پروژه موجود در مرکز زلزله شناسی دانشگاه شریف با عنوان امکان سنجی احداث مراکز کمک رسانی زلزله با توجه به محدودیت بودجه دولت، با در نظر گرفتن امکانات و تجهیزات فنی و امدادی لازم برای هر مرکز، تعداد این ایستگاهها نباید از ۱۲ ایستگاه تجاوز کند.

نکاتی که در این مکانیابی باید مد نظر قرار گیرند، بسیار متنوع اند. از جمله اینکه احداث ایستگاههای کمک رسانی در مناطق زلزله خیز، منطقی به نظر نمی رسد. از طرفی مراکز باید در محلهایی احداث شوند که در صورت وقوع حادثه، تیم نجات بتواند در اسرع وقت و در حداقل زمان ممکن، خود را به محلهای آسیب دیده برساند. از طرفی با توجه به جمعیت بالای برخی شهرهای ایران در مقایسه با سایر مناطق، مطلوب است که در نزدیکی شهرهای بزرگ، ایستگاهی موجود باشد و همچنین در فاصله معقولی از شهرهای با شانس بالای وقوع زلزله هم، وجود یک ایستگاه لازم به نظر می رسد.

در این مقاله سعی شده است تا آنجا که ممکن است، فاکتورهای موثر شناسایی و داده های مربوطه به آنها جمع آوری شود. سپس این مساله با یکی از مدلهای شناخته شده مکانیابی بررسی و حل شده و محل ایستگاهها شناسایی می شود.

در نهایت ، حل این مسأله ، هم محل های تأسیس ایستگاههای کمک رسانی زلزله در ایران با توجه به تعداد ایستگاهی که می توانیم تأسیس کنیم را مشخص می کند و هم نحوه تخصیص مناطق مختلف ایران به این ایستگاهها را نشان می دهد.

۴- انتخاب مدل

با توجه به مطالب ذکر شده در قسمتهای قبل ، مناسب ترین مدلی که می تواند در اینجا به کار گرفته شود ، مدل *Location Allocation* در شبکه است . بررسی مقالات مرتبط با مکانیابی نشان می دهد که مدل *Location Allocation* ، هم برای مدلهای اورژانسی نظیر ایستگاههای آتشنشانی، بیمارستانها و مراکز بهداشتی و ... و هم برای مکانیابی مراکز عمومی نظیر مراکز پستی و مراکز شبکه تلفن، هم برای مسائل سطح و هم برای مسائل شبکه و همچنین برای مسائلی که تعداد مراکز مورد نظر نامشخص است، کاربرد دارد.

مطلب بسیار مهمتر این است که تابع هدف در مدلهای *Location Allocation* ، از انعطاف بسیار زیادی برخوردار است و می توان وزن مناطق، تقاضاها، هزینه تاسیس و یا هر فاکتور دیگری را در مدل وارد کرد و با توجه به عاملی که در مدل برای ما حیاتی است، تابع هدفی مشابه تابع هدف مدل *Location Allocation* برای آن تعریف کرد. تنوع این توابع هدف ، در مثالهایی از مدلهای *Location Allocation* که در مقالات موجود می توان دید، قابل بررسی است.

۴-۱- مدل ریاضی

مدل به کار گرفته شده به این شرح است :

$$\min Z = \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n} c_{ij} d_i X_{ij}$$

$$\sum_{j=1}^{n} X_{ij} \geq 1$$

$$\sum_{i=1}^{n} X_{ij} \leq n I_j$$

$$\sum_{j=1}^{n} I_j = k$$

$$I_j , X_{ij} = 0,1$$

X_{ij} :
- ۱ اگر منطقه i ام توسط منطقه j ام سرویس داده شود.
- ۰ در غیر اینصورت

I_j :
- ۱ اگر در منطقه i مرکز کمک رسانی تاسیس شود.
- ۰ در غیر اینصورت

c_{ij} : هزینه تامین واحد تقاضای منطقه i ام از منطقه j ام (با در نظر گرفتن فاصله)

Z : کل هزینه (یا هر فاکتور دیگر) که ما هدف حداقل کردن آن را داریم
d_i : مقدار تقاضای منطقه i ام
n : تعداد مناطق موجود
k : تعداد مراکزی که قرار است تاسیس شود

در این مرحله باید مدل در دست بررسی را با مدل Location Allocation تطبیق دهیم.

۴-۲- تطبیق مناطق جمعیتی

با توجه به اینکه ما مدل را به عنوان یک مدل شبکه در نظر گرفتیم، قبل از هر چیز باید مناطق جمعیتی طبق معیار رسمی و مشخصی تعیین شوند. این مناطق در واقع همان مناطق شهری ایران خواهند بود که گره های شبکه را تشکیل خواهند داد و هر یک (غیر از شهرهای خیلی کوچک) می توانند به عنوان کاندیدی برای تاسیس مراکز مورد بحث، مورد استفاده قرار گیرند. مرزبندی این مناطق و اطلاعات مربوط به آنها باید طبق آمار رسمی و مطابق با استانداردهای مشخصی تعیین شوند.

۴-۳- بررسی تابع هدف

سپس باید تابع هدف را بررسی کنیم. فاکتوری که ما به دنبال حداقل کردن آن هستیم، بدون شک هزینه نیست، بلکه حداقل کردن میزان خسارت وارده پس از وقوع احتمالی حادثه است. این میزان خسارت (تلفات مالی و جانی) با دو عامل نسبت مستقیم دارد :

۱) شدت زلزله به وقوع پیوسته
۲) فاصله مرکز کمک رسانی تا محل حادثه

(البته توجه به این نکته ضروری است که با توجه به احتمالی بودن شدت زلزله در هر منطقه، هدف ما در واقع، حداقل کردن امید ریاضی خسارت یا تلفات تاشی از زلزله است.)

۴-۴- داده های مورد نیاز برای هر منطقه در تشکیل تابع هدف

پس از تشکیل تابع هدف و با هدف کمینه کردن مقدار مورد انتظار خسارت، احتیاج به تعیین مقدار شدت مورد انتظار زلزله برای هر منطقه (مناطقی که در گام قبلی تعیین شد) و همچنین فواصل مناطق مختلف با هم داریم.

۴-۵- تقاضای هر منطقه

اما در مورد تقاضای هر منطقه می توان گفت که با هدف برقراری عدالت و تخصیص بهینه مراکز به مناطق مختلف جمعیتی، تقاضای هر منطقه را می توان در واقع با جمعیت آن منطقه معادل دانست. پس جمعیت هر منطقه، فاکتور دیگری است که به آن نیاز داریم. در بسیاری از مدلهای مکانیابی عام المنفعه، جمعیت هر منطقه، به عنوان تقاضا یا وزن آن منطقه به کار می رود.

۴-۶- تطبیق داده های مورد نیاز با پارامترهای مدل

با توجه به مدل ریاضی در دست، در واقع پارامتر d_i را می توان همان جمعیت منطقه i هم در نظر گرفت. پارامتر Z هم در واقع عواقب منفی زلزله اعم از خسارتهای جانی و مالی و روانی است که به کشور تحمیل می شود. متغیرهای X_{ij} و I_j ، با همان تعریفی که در مدل به کار رفته اند، در اینجا هم استفاده خواهند شد. اما پارامتر c_{ij} ، در واقع مهمترین و تاثیر گذارترین پارامتر مدل است که باید تعیین شود. همانطور که مطرح شد، این فاکتور را می توان از ترکیب احتمال زلزله خیزی هر منطقه (که رابطه مستقیم با شدت زلزله در آن منطقه دارد.) و فاصله آن منطقه تا نزدیکترین مرکز کمک رسانی ، به دست آورد. پس فرض می شود که این فاکتور برای هر دو مرکز i و j ، از حاصلضرب ضریبی که به عنوان ضریب خطر (ریسک) برای هر منطقه i ، در بخشهای بعد تعریف خواهد شد و فاصله مناطق i و j ، به دست می آید.

پس در مرحله بعد باید به دنبال تعریف مناسب شاخصهای مورد نیاز و جمع آوری داده های مورد نیاز برای آنها باشیم.

نکته دیگری که قابل تامل است، این است که با توجه به اهمیت موضوع و حیاتی بودن آن ، اگرچه عامل هزینه ، سقف حداکثر ۱۲ ایستگاه را بر ما تحمیل کرده است ، اما دیگر منطقی نیست که به خاطر این عامل ، از کلیه ظرفیتهای موجود استفاده نکنیم. مسلما اضافه شدن هر ایستگاه به نفع ما خواهد بود (با توجه به تابع هدف بحث شده) لذا دلیلی برای عدم استفاده از ۱۲ ایستگاه بحث شده وجود ندارد و هزینه تاسیس آنها با توجه به اهمیت موضوع، ارزش قابل توجهی ندارد. پس هدف ما مکانیابی ۱۲ ایستگاه خواهد بود.

برای این منظور ، کلیه نقاط شهری حتی شهرهای بسیار کم جمعیت هم به عنوان کاندید برای تأسیس مناطق کمک رسانی در نظر گرفته شده و ممکن است انتخاب شوند.

۵- جمع آوری اطلاعات

داده های مورد نیاز برای حل مدل، در بخش قبل تعیین شدند. ابتدا باید تقسیم بندی مناطق جمعیتی و شهرهای ایران به دقت تعیین شوند. پس از جستجوی اینترنتی و مشاوره با اساتید مرکز زلزله دانشگاه شریف، مشاهده شد که سایت رسمی پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی که آدرس آن در بخش منابع در انتهای مقاله آمده است، این طبقه بندی را در اختیار ما قرار خواهد داد.

با توجه به مطالب ذکر شده در نهایت بطور کلی ۲۲۹ منطقه شهری برای حل این مدل در نظر گرفته شد و برای راحتی کار به هر یک از آنها کدی تخصیص داده شد.

اما طبق تعریف پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و با ارجاع به مقاله ای داخلی که آدرس و عنوان آن در بخش منابع آورده شده است ، برای هر یک از ۲۲۹ منطقه کد گذاری شده در قسمت قبل یک ضریب بنام ضریب ریسک یا ضریب خطر می توان تعریف کرد. مقدار این ضریب، از بررسی رلرله های به وقوع پیوسته از سالهای بسیار دور تا کنون و با در نظر گرفتن حتی کوچکترین زلزله ها و همچنین بررسی گسلهای ایران و کمربند زلزله که دور تا دور کره زمین را فرا گرفته است، محاسبه می شود. روش این محاسبه، بسیار پیچیده و تخصصی است و پارامترهای بسیاری در آن دخالت داده می شوند.

آمار زلزله های بوقوع پیوسته در ایران با توجه به زمان و تاریخ و طول و عرض جغرافیایی محل وقوع زلزله و سایر پارامترهای تخصصی که در تعیین ضریب ریسک برای هر محل موثرند، در سایت معروف NEIC آورده شده است. آدرس این سایت در بخش مراجع در پایان آورده شده است. [۳]

در نهایت و با بررسی داده ها و پارامترهای پیچیده گفته شده، ضریب ریسک برای مناطق مختلف محاسبه می شود. این ضرایب عددی بین ۱ تا ۵ هستند که حداکثر ۵ و حداقل ۱ می باشد. این ضرایب نهایی در سایت پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی آورده شده است. برای نمونه در اینجا شهرهای استان تهران، کدهای آنها و ضرایب ریسک آنها را می آوریم و بقیه مناطق به همین ترتیب در مدل وارد شده اند :

شهرستان	شماره کد شهرستان	میزان خطر نسبی
تهران	J2	۵
دماوند	J10	۵
ری	J5	۵
ساوجبلاغ	J8	۵
شمیرانات	J3	۵
شهریار	J9	۵
کرج	J1	۵
ورامین	J6	۵
کهریزک	J4	۵

پس از محاسبه ضریب ریسک برای مناطق مختلف، نیاز به فاصله بین این مناطق داریم. فاصله بین شهرها با هم از یکی از سایتهای گردشگری استخراج شده که عنوان آن در بخش مراجع آورده شده است.[۱۲]

اما مورد دیگری که در مدل در نظر گرفته شده و به داده های آن نیازمندیم جمعیت هر شهر به عنوان تقاضای آن شهر است که از سایتهای بین المللی توریستی که در بخش مراجع آمده است، به دست آمده است.[۱۴]

۶- حل مدل

در این بخش می خواهیم مدل را به که صورت *Location Allocation* در حالت شبکه مطرح شد ، به وسیله روش ابتکاری که بر مبنای روش *Brute Force* توسط *Dileep R. Sule* مطرح شده است ، حل کنیم.

طبق این روش ابتدا باید ماتریس هزینه را بسازیم که هر درایه آن، هزینه ناشی از اختصاص منطقه i به منطقه j است. این ماتریس، از حاصلضرب مسافت دو منطقه در ضریب ریسک برای منطقه i در جمعیت منطقه i ، حاصل می شود.

۶-۱- مراحل روش حل Location Allocation شبکه

مراحل روش به شرح زیر است :

۱) ساخت ماتریس هزینه
۲) محاسبه مجموع عناصر هر ستون
۳) اختصاص ایستگاه اول به منطقه ای که ستون آن دارای حداقل مقدار بین این مجموع ها است
۴) اگر تسهیلات تمام شد، ادامه نده وگرنه به گام ۵ برو
۵) ساخت ماتریس saving : هر عضو این ماتریس نشان می دهد که اگر منطقه i ، از محلی که در حال حاضر به آن متعلق است، به منطقه j تعلق یابد، چه میزان صرفه جویی حاصل می شود.(اگر این مقدار منفی شد، با صفر جایگزین می شود.)
۶) محاسبه مجموع عناصر هر ستون ماتریس saving
۷) اختصاص ایستگاه بعدی به منطقه ای که ستون آن دارای حداکثر مقدار بین این مجموع ها است.(این منطقه را A می نامیم.)
۸) اختصاص مناطق سهیم در تشکیل ستون منطقه A به منطقه A
۹) به گام ۴ برگرد

اگر در حین انجام کار، به مرحله ای رسیدیم که دیگر در ماتریس saving ، هیچ عضو مثبتی موجود نبود، الگوریتم در همانجا متوقف می شود.

۶-۲- نتایج نهایی :

پس از جمع آوری داده های مورد نیاز و تشکیل ماتریس هزینه، نتایج نهایی حاصل از بکارگیری روش تشریح شده در بخش قبل در جدول زیر خلاصه شده است.

این جدول در واقع نشان می دهد که در هر مرحله از اجرای الگوریتم، کدام شهر به عنوان کاندیدای بعدی تشکیل مرکز کمک رسانی، بهترین گزینه خواهد بود.

همانطور که ملاحظه می شود، با توجه به همه فاکتورهای گفته شده، مدل در نهایت، اکثر شهرهای بزرگ را برای تاسیس ایستگاهها به عنوان جواب به ما معرفی می کند. البته در جواب نهایی، شهرهای کم جمعیت هم مانند زاهدان وجود دارند، در حالی که شهری بزرگ مانند تبریز در جواب نهایی حضور ندارد که این مطلب، تاثیر عواملی غیر از جمعیت خود شهر مانند تراکم جمعیتی شهرهای اطراف، زلزله خیزی، زلزله خیزی شهرهای اطراف، فاصله تا نزدیکترین ایستگاه موجود و ... را نشان می دهد.

شماره تکرار الگوریتم	شهر انتخابی در این تکرار	کد شهر انتخابی در این تکرار	میزان مطلوبیت (با توجه به ماتریس های هزینه و saving)
۱	تهران	**J2**	*53.3727*
۲	اصفهان	**Q13**	*15.0402*
۳	مشهد	**H7**	*9.5341*
۴	کرمانشاه	**K6**	*5.4812*
۵	شیراز	**T7**	*4.3505*
۶	کرمان	**X7**	*3.1448*
۷	اهواز	**P5**	*2.6545*
۸	ارومیه	**A4**	*2.5683*
۹	زاهدان	**Y2**	*1.8249*
۱۰	ساری	**G9**	*1.0946*
۱۱	رشت	**F7**	*0.9312*
۱۲	بندر عباس	**V2**	*0.9114*

جدول زیر، نحوه تخصیص کلیه مناطق شهری کشور به ۱۲ مرکز منتخب در بخش قبل را نشان می دهد:

کد شهر	کد ایستگاه اختصاص یافته	کد شهر	کد ایستگاه اختصاص یافته	کد شهر	کد ایستگاه اختصاص یافته	کد شهر	کد ایستگاه اختصاص یافته	کد شهر	کد ایستگاه اختصاص یافته	کد شهر	کد ایستگاه اختصاص یافته	کد شهر	کد ایستگاه اختصاص یافته	کد شهر	کد ایستگاه اختصاص یافته
A2	A4	C5	A4	F11	A4	G17	A4	H1	F7	H10	G9	L3	K6	P4	P5	Q17	Q13	V2	V2
A3	A4	D1	K6	G5	G9	H1	F7	H11	G9	L4	K6	P5	P5	R2	Q13	V3	V2
A4	A4	D2	K6	G6	G9	H2	G9	H12	G9	L5	K6	P6	P5	S1	T7	W1	Q13
A5	A4	D3	K6	G7	G9	H3	F7	H18	G9	M1	J2	P7	P5	T1	T7	W2	Q13
A8	A4	D4	K6	G9	G9	I1	G9	I2	G9	M4	J2	P9	P5	T3	T7	X2	X7
A11	A4	D5	K6	G10	G9	I2	G9	I3	G9	M6	J2	P10	P5	T6	T7	X4	X7
A12	A4	D6	K6	G13	G9	I3	G9	J1	G9	N1	K6	P11	P5	T7	T7	X7	X7
B1	Q13	E1	A4	G17	G9	J1	G9	J2	H7	N2	K6	P12	P5	T8	T7	X8	X7
B2	Q13	E3	A4	H1	H7	J2	G9	J3	H7	N3	K6	P13	P5	T9	T7	X9	X7
B3	Q13	E4	A4	H3	H7	J6	H7	J4	H7	N4	K6	P15	P5	T10	T7	Y1	Y2
B4	Q13	E5	A4	H4	H7	J7	H7	J5	H7	O1	K6	Q1	Q13	T13	T7	Y2	Y2
B6	Q13	F3	F7	H5	H7	K2	K6	P1	P5	Q12	Q13	T14	T7	Y3	Y2
C1	A4	F7	F7	H7	H7	K6	K6	P2	P5	Q13	Q13	U1	T7	Y4	Y2
C4	A4	F10	F7	H8	H7	K8	K6	P3	P5	Q16	Q13	U3	T7	Y5	Y2

۷- منابع و مراجع

[1] Richard L.Francis and John A.White , Facility Layout & Location , Second Edition
[2] Dileep R.Sule , Logistics of Facility Location and Allocation
[3] B.Tavakoli and M.Ghafory-Ashtiany , Seismic Hazard Assessment of Iran
[4] Shams-ur Rahman and David K.Smith , Use of Location-Allocation in health service development planning in developing nations
[5] Berlin, G., ReVelle, C. and Elzinga, J. (1976). Determining ambulance-hospital locations for on-scene and hospital services. *Environment and Planning A*, 8, pp. 553-561.
[6] Brandeau, M.L., Chiu, S.S., Kumar, S. and Grossman, T.A. (1995). Objective in location problems. In: Drezer, Z. (ed.), *Facility Location: A Survey of Applications and Methods*, Springer-Verlag, New York.
[7] Calvo, A. and Marks, H. (1973). Location of health care facilities: An analytical approach. *Socio-Economic Planning Sciences*, 7, pp. 407-422.
[8] Current, J., Daskin, M. and Schilling, D. (1995). Discrete network location models.In: Drezner, Z. and Hamacher, H.W. (ed.), *Facility Location: Applications and Theory*, Springer-Verlag, New York.
[9] Daskin, M. (1983). The maximal expected covering location model: Formulation, properties and heuristic solution. *Transportation Science*, 17(1), pp. 48-70.
[10] http :// www.iiees.ac.ir
[11] http :// neic . usgs . gov / neis / epic / epic rect . html
[12] http :// www . mongabay . com / iga po / Iran . html
[13] http :// www . world – gazetteer . com / c / c ir . html
[14] http :// www . citypopulation . de / Iran . html
[15] http :// www . sogol . com / WEB%20HO%20ENG / IRINFO / Ready%20%20INT / Distance . html