جغرافیـــا و برنامـــه‌ریـــزی محیطـــی
سـال ۲۶، پیـاپی ۵۷، شـماره ۱، بهـار ۱۳۹٤

مسیریابی بهینه امدادرسانی به مصدومان زلزله با استفاده از سیستم اطلاعات مکانی و مدل سه بعدی منطقه حادثه‌دیده مبتنی بر الگوریتم میانگین وزن‌دار مرتب

حامـــد حســـابی: کارشناســـی ارشـــد **GIS**، دانشـــگاه تهـــران، تهـــران، ایـــران*
عبـــاس ذوقیـــان: کارشناســـی نقشـــه‌بـــرداری، دانشـــگاه تهـــران، تهـــران، ایـــران

وصـول: ۱۳۹۱/۱۱/۲٦ پـذیرش: ۱۳۹۲/۷/۱۷، صص ۱۹۰-۱۸۱

چکیده

امدادرسانی سریع و به‌موقع به هنگام وقوع زلزله نقش مهمی در کاهش میزان تلفات جانی دارد. یکی از مهم‌ترین عوامل موثر در صرفه‌جویی زمان، انتخاب یک مسیر بهینه به جهت دسترسی به منطقه حادثه‌دیده است. در این مقاله سعی بر آن‌ست تا با در نظر گرفتن عوامل موثر در اتلاف وقت وسیله‌نقلیه امدادرسان، بهترین مسیر ممکن به جهت امدادرسانی تعیین گردد. به‌منظور انجام این مورد، ابتدا کارشناس امدادرسان پیش از حضور در منطقه حادثه‌دیده با استفاده از مدل سه‌بعدی طراحی شده از آن منطقه و شناخت کلی از آن، چند مسیر پیشنهادی را برای امدادرسانی انتخاب می‌نماید. استفاده از مدل سه‌بعدی این امکان را به کارشناس می‌دهد تا با آگاهی و دقت بیشتری مسیرها را انتخاب نماید. سپس به بررسی پارامترهای ارتفاع و قدمت ساختمان‌ها، مسافت و عرض معابر هر مسیر پرداخته می‌شود. پس از بررسی پارامترهای فوق با استفاده از الگوریتم میانگین وزن‌دار مرتب به هر یک از این پارمترها وزن داده می‌شود. استفاده از این الگوریتم، این امتیاز را به کارشناس می‌دهد تا نظر خود را نیز در تعیین بهترین مسیر دخیل نماید که این مورد به صورت یک ضریب، با عنوان ضریب خوش‌بینی وارد معادلات وزن‌دهی می شود. در نهایت مسیرهای پیشنهادی بر اساس میزان احتمالی مسدود بودن و اتلاف وقت در آن‌ها، قابل مقایسه می‌باشند و می‌توان بهترین مسیر را از میان مسیرهای پیشنهادی انتخاب شده توسط کارشناس انتخاب نمود. لازم به ذکر است که مسیرهای پیشنهادی انتخاب شده باید به نحوی باشند که هریک شایستگی لازم برای انتخاب شدن به عنوان مسیر بهینه را داشته باشند. لیکن استفاده از مدل سه‌بعدی منطقه کمک شایانی به کارشناس می‌کند.

واژه‌های کلیدی: مسیریابی بهینه، امدادرسانی، زلزله، مدل سه‌بعدی، میانگین وزن‌دار مرتب

مقدمه

زلزله به عنوان مهم‌ترین خطر طبیعی، آزاد شدن ناگهانی انرژی بسیار زیاد در مدت زمان خیلی کوتاه است که در اثر بروز اغتشاش در پوسته زمین به وقوع می‌پیوندد. زلزله ممکن است ده‌ها، صدها یا هزاران سال انرژی مسدود شده را در زمان کمتر از یک دقیقه آزاد کند (گیبسون ۱۹۹۷). کشور ایران نیز به دلیل قرارگیری در کمربند کوه‌زایی آلپ-هیمالیا تا به حال ۱۳۰ زلزله به بزرگی ۷/۵ ریشتر یا بیشتر را تجربه کرده‌است (غفوری-آشتیانی ۱۹۹۹). زمان عاملی حیاتی در کاهش میزان تلفات پس از زلزله است؛ به گونه‌ای که ۲٤ ساعت اولیه پس از وقوع زلزله، فرصتی

*نویسنده مسؤول: E-mail: Hamedhesabi@ut.ac.ir

طلایی برای کمک به حادثه‌دیدگان است؛ زیرا در این ساعت‌ها بیشترین احتمال زنده ماندن قربانیان وجود دارد (Godschalk, 1999). پس صرفه‌جویی زمان در تمامی مراحل امدادرسانی از جمله دسترسی سریع به منطقه حادثه‌دیده از اهمیت بالایی برخوردار است. مسیریابی بهینه امدادرسانی به هنگام وقوع زلزله موضوعی‌ست که سال‌ها توسط کارشناسان و متخصصین مختلف به دلیل اهمیت بالا آن، مورد بحث و بررسی قرارگرفته است. همچنین تاکنون مقالات فراوانی در این زمینه به خصوص در ایران به چاپ رسیده‌است که هریک از آن‌ها به شیوه‌های متفاوت به بررسی چگونگی انتخاب یک مسیر بهینه به هنگام وقوع زلزله پرداخته‌اند. اما آنچه در انتخاب یک مسیر بهینه بعد از وقوع زلزله اهمیت بالایی دارد، در نظر گرفتن پارامتر ارتفاع است. چرا که به هنگام وقوع زلزله و تخریب ساختمان‌ها آنچه سبب انسداد مسیر می‌گردد، مصالح از هم گسیخته همان ساختمان‌های موجود در مسیر است. بنابراین، مبرهن است که چنانچه بخواهیم نتایج خود را به واقعیت نزدیک‌تر نماییم لازم است که ارتفاع ساختمان‌ها به عنوان یکی از پارامترهای مهم در تعیین بهترین مسیر دسترسی در نظر گرفته شود. تفاوت دیگری که روش ارائه شده در این مقاله با سایر مقالات دارد، استفاده از الگوریتم میانگین وزن‌دار مرتب است. این الگوریتم یکی از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره است که به کارشناس امدادرسان که خود به منطقه حادثه‌دیده شناخت دارد، این اجازه را می‌دهد تا در تعیین میزان وزدهی به پارامترهای مختلف تاثیرگذار دخیل باشد. با دقت در روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره می‌توان نتیجه گرفت که نقطه افتراق روش‌های مختلف در میزان توجه آن‌ها به نحوه مدل کردن خصوصیات ذهنی تصمیم‌گیر است. روش‌های مختلف مانند سازشی، AHP، و ELECTRE میزان ریسک‌پذیری تصمیم‌گیر را نمی‌توانند به صورت صریح مدل کنند هرچند به صورت ضمنی به این مسئله اهمیت می‌دهند. این مسئله باعث توجه بیشتر به ساخت عملگرهای تجمیع کارا و موثر شده است. در واقع مسئله اصلی به نحوه دقیق تجمیع عملکردهای هر گزینه از دید معیارها برمی‌گردد. جمع ساده عملکردها لزوما روش درستی نیست. زیرا برای یک تصمیم‌گیر در شرایط مختلف کمیت‌های بزرگتر اهمیت متفاوتی را دارد.

عملگر میانگین وزن‌دار مرتب، OWA دارای توانایی رفع ایراد مذکور است. در واقع خصوصیت ویژه آن در مدل کردن دقیق خصوصیات ذهنی تصمیم‌گیر در رابطه با ریسک‌پذیری است. قابلیت این عملگر در وزن‌دهی به داده‌هایی است که بزرگی و کوچکی آن‌ها بر نوع وزن‌دهی آن‌ها موثر است.

منطقه مطالعاتی در این مقاله بخشی از منطقه یک استان تهران است.

شکل ۱- پارسل‌های مسکونی بخشی از منطقه یک استان تهران

روش‌شناسی

همانطور که گفته شد در این مقاله برای پیدا کردن بهترین مسیر دسترسی به منطقه حادثه‌دیده، چهار پارامتر مسافت، عرض معابر، ارتفاع و قدمت ساختمان‌ها مورد بررسی قرار می‌گیرد. لیکن پیش از بررسی آن‌ها لازم است تعدادی مسیر به عنوان مسیر پیشنهادی تعیین گردند. در این مقاله منطقه مورد مطالعه قسمتی از منطقه یک تهران بزرگ است.

- مسیرهای پیشنهادی

برای انتخاب تعدادی مسیر پیشنهادی، یک مدل سه-بعدی از منطقه مورد نظر تهیه گردید و در اختیار کارشناس امدادرسانی قرار گرفت. کارشناس با استفاده از مدل و شناخت نسبی خود از منطقه، چهار مسیر را به عنوان مسیرهای پیشنهادی انتخاب نمود. لازم به ذکر است که مدل سه‌بعدی کمک شایانی برای انتخاب بهترین مسیرهای پیشنهادی می‌نماید. به طور مثال ممکن است در دو مسیر متفاوت عرض معابر تقریبا یکسان باشد اما در یکی از مسیرها ساختمان‌های بلندمرتبه و در دیگری ساختمان‌های با ارتفاع متوسط قرار داشته باشد. بنابراین، کارشناس با توجه به معلومات و مشاهدات خود می‌تواند مسیرهایی را به عنوان مسیر پیشنهادی انتخاب نماید که شایستگی انتخاب به عنوان مسیر بهینه را داشته باشند. چنانچه مسیرهای پیشنهادی شایستگی لازم را نداشته باشند، با انتخاب بهترین مسیر از میان آن‌ها نیز به هدف خود که امدادرسانی در کوتاه‌ترین زمان ممکن است نخواهیم رسید. لیکن در وهله اول چیزی که از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است انتخاب تعدادی مسیر مناسب به جهت شرکت در انتخاب بهترین مسیر است. بنابراین، مدل سه‌بعدی منطقه از جمله ابزاری است که کمک شایانی برای انتخاب مسیرهای پیشنهادی مناسب است. چراکه تمامی عوارض و موانعی که می‌تواند به نحوی سبب انسداد مسیر گردند، روی آن مشخص می‌باشند.

شکل ۲ یک نمای دوبعدی از چهار مسیر پیشنهادی انتخاب شده توسط کارشناس را نشان می‌دهد.

شکل ۱ - چهار مسیر پیشنهادی انتخاب شده توسط کارشناس

چهار مسیر فوق توسط کارشناس از روی مدل سه‌بعدی منطقه انتخاب گردیده است. شکل ۳ بخشی از مدل سه‌بعدی مسیر شماره یک را نشان می‌دهد. همانطور که در شکل مشخص است، ساختمان‌های بلندمرتبه‌ای در کنار جاده‌ای با عرض کم وجود دارد. لیکن چنانچه این ساختمان‌ها تخریب گردند احتمال اسناد مسیر زیاد است. اما ممکن است قدمت ساختمان‌ها و نحوه ساخت این سازه‌ها به نحوی باشد که کارشناس احتمال تخریب آن‌ها را کم ببیند و آن را به عنوان یکی از مسیرهای پیشنهادی انتخاب نماید. بنابراین، کارشناس می‌تواند با مشاهده این‌مدل‌ها به شناسایی مسیرهای مناسب بپردازد.

شکل ۲ - مدل سه‌بعدی بخشی از مسیر پیشنهادی شماره یک

شکل ٤ نیز بخشی از مدل سه‌بعدی مسیر شماره یک را نشان می‌دهد که در آن ارتفاع یکی از ساختمان‌ها و عرض یکی از معابر مشخص شده است. کلیه این اطلاعات از روی مدل سه بعدی قابل شناسایی و استخراج است.

شکل ۳ – مدل سه‌بعدی بخشی از مسیر پیشنهادی شماره یک

مطالعه و بررسی چهار پارامتر اصلی موثر در انتخاب مسیر بهینه

پس از مشخص شدن مسیرهای پیشنهادی لازم است پارامترهای اصلی موثر در انتخاب مسیر بهینه مورد بررسی قرار گیرند.

۱- مسافت

مسافت یکی از عوامل مهم در محاسبه زمان دسترسی به منطقه است. لیکن لازم است مسافت مسیرهای پیشنهادی نیز به عنوان یکی از پارامترهای موثر در معادلات وزن‌دهی وارد شود. بنابراین، مسافت بین امدادرسان و منطقه حادثه‌دیده روی هر چهار مسیر، اندازه‌گیری شده و در

جدول ۱ نشان داده شده است.

ملاحظه می‌شود که مسیر شماره ۳ کمترین فاصله را دارد. بنابراین، چنانچه صرفا پارامتر فاصله برای انتخاب بهترین مسیر امدادرسانی مورد بررسی باشد، این مسیر به عنوان مسیر بهینه انتخاب می‌گردد. لیکن با تاثیر پارامترهای دیگر و وارد کردن همه آن‌ها در معادلات میانگین وزن‌دار مرتب، امکان انتخاب مسیر دیگری به عنوان مسیر بهینه وجود دارد. هم‌چنین در جلوتر مشخص می‌شود که مسافت یکی از عواملی است که تاثیر کمتری نسبت به پارامترهای دیگر در معادلات دارد و نمی‌تواند به تنهایی معیار مناسبی برای انتخاب مسیر امدادرسانی باشد.

جدول ۱ – مسافت چهار مسیر پیشنهادی

شماره مسیر	مسافت (متر)
۱	۱٤۱۲
۲	۱۳٤۷
۳	۱۲۸۰
٤	۱۸٦۳

۲- عرض معابر

در هر مسیر معابر مختلف با عرض‌های متفاوتی وجود دارد. ما در این مقاله و با نظر کارشناس مربوطه، معابر را به دو دسته معابر با عرض بیشتر از شش متر و کمتر از شش متر تقسیم نموده‌ایم. این تقسیم‌بندی با توجه به منطقه مطالعاتی و عرض معابر آن صورت گرفته است. بنابراین، می‌تواند متناسب با عرض معابر مناطق دیگر تغییر نماید.

در مطالعه این پارامتر نیز ملاحظه می‌گردد که مسیر شماره ۳ که کمترین مسافت را داشت، دارای سه معبر است که هر سه آن‌ها عرض کمتر از ٦ متر دارند که می‌تواند انتخاب این مسیر را به عنوان بهترین مسیر به خطر بیندازد.

جدول ۲ - تعداد مسیرهای با عرض بیشتر و کمتر از شش متر برای هر مسیر

شماره مسیر	کمتر از ٦ متر	بیشتر از ٦ متر
۱	۳	۱
۲	۱	۱
۳	۳	۰
٤	۱	۲

۳- ارتفاع ساختمان‌ها

در طول هر مسیر ساختمان‌های بلند و کوتاه با ارتفاع متفاوتی وجود دارد. در این مقاله ساختمان‌ها به دو دسته با ارتفاع بیشتر از ده متر و کمتر از ده متر تقسیم می‌گردند. که این دسته‌بندی نیز با توجه به نظر کارشناس و ساختمان‌های موجود در منطقه مطالعاتی انجام گردیده است. ممکن است در منطقه‌ای که ارتفاع ساختمان‌ها کم است این دسته بندی با ارتفاع کمتری انجام گردد.

اما نکته حائز اهمیت آن است که از نظر کارشناس مربوطه، ارتفاع ساختمان‌های هر مسیر علی‌رغم مسافت آن‌ها از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. چرا که چنانچه مسیری مسافت کمتری داشته باشد اما یک ساختمان بلند در آن وجود داشته باشد که احتمال خرابی آن زیاد باشد، این مسیر به هیچ عنوان نمی‌تواند صلاحیت انتخاب داشته باشد و امدادرسان را با مشکل روبرو می‌نماید.

در جدول ۳ ملاحظه می‌شود که در مسیر شماره یک، ۱۱۸ ساختمان با ارتفاع کمتر از ۱۰ متر و ٤۹ ساختمان با ارتفاع بیشتر از ۱۰ متر موجود است.

جدول ۳ - تعداد ساختمان‌های بیشتر و کمتر از ده متر در هر مسیر

شماره مسیر	کمتر از ۱۰ متر	بیشتر از ۱۰ متر
۱	۱۱۸	٤۹
۲	۱۲۷	٤٦
۳	۱۱٤	٤۷
٤	۱۱۰	٦۸

٤- قدمت ساختمان‌ها

قدمت ساختمان‌ها یکی دیگر از مهم‌ترین عوامل موثر در انتخاب مسیر بهینه است. چرا که هرچه قدمت ساختمان بیشتر باشد احتمال خرابی آن بیشتر می‌شود و بنابراین، امکان انسداد مسیر وجود دارد. لیکن بار دیگر مدل سه‌بعدی منطقه این امکان را به کارشناس می‌دهد تا علاوه بر ارتفاع ساختمان‌ها به قدمت آن‌ها

نیز توجه نماید. چراکه ممکن است ساختمانی بسیار بلند مرتبه باشد ولی تازه ساخت باشد و امکان خرابی کمی داشته باشد. در این مقاله قدمت ساختمان‌ها به دو دسته با قدمت بیشتر از پانزده سال و کمتر پانزده سال تقسیم می‌گردند.

جدول ٤ - تعداد ساختمان‌های با قدمت بیشتر و کمتر از پانزده سال

شماره مسیر	کمتر از ۱۵ سال	بیشتر از ۱۵ سال
۱	۷۸	۸۹
۲	۸٦	۸۷
۳	٦٤	۹۷
٤	۱۰٦	۷۲

- نتیجه گیری

برای انتخاب بهترین مسیر از الگوریتم میانگین وزن-دار مرتب استفاده می‌شود. در این الگوریتم به هریک از چهار پارامتر موثر با استفاده از رابطه‌های موجود وزن داده می‌شود. نکته قابل توجه در این رابطه‌ها این است که پارامتری به عنوان درجه خوش‌بینی وجود دارد که توسط کارشناس معین می‌گردد و لازم است به صورت مختصر توضیح داده شود. درجه خوش‌بینی عددی بین صفر و یک است. وقتی کارشناس درجه خوش‌بینی را یک در نظر می‌گیرد، گوییم که کارشناس خوش‌بین است. یعنی به طور مثال فرد کارشناس معتقد است که اگر تمام ساختمان‌های موجود در یک مسیر ارتفاعی بیشتر از ده متر داشته باشند ولی حتی یک ساختمان هم با ارتفاع کمتر از ده متر موجود باشد شرایط ایده‌آل است. اما اگر کارشناس درجه خوش-بینی را برابر با صفر در نظر بگیرد گوییم که بدبین است. یعنی به طور مثال فرد کارشناس معتقد است که چنانچه تمام ساختمان‌های موجود در یک مسیر ارتفاع کمتر از ده متر داشته باشند ولی حتی یک ساختمان بالای ده متر هم وجود داشته باشد، این مسیر مناسب نیست. لیکن همانطور که ملاحظه می‌شود، به نظر می-رسد کارشناسی که بدبین است باید نتیجه بهتری نسبت به فردی که خوش‌بین است بگیرد.

در این مقاله وزن پارامترهای مختلف برای درجه خوش‌بینی‌های ۰، ۰.۲۵، ۰.۵، ۰.۷۵ و ۱ محاسبه می-گردد و مسیر بهینه به ازای هر یک از این درجه خوش‌بینی‌ها تعیین می‌گردد و در نهایت به مقایسه هریک از آن‌ها پرداخته می‌شود.

در این مقاله ابتدا با استفاده از مدل سه‌بعدی منطقه حادثه دیده چهار مسیر پیشنهادی برای امدادرسانی انتخاب گردید سپس چهار پارامتر مسافت، ارتفاع و قدمت ساختمان‌ها و عرض معابر هر مسیر مورد بررسی قرار گرفت. در مرحله با استفاده از معادلات وزن‌دهی الگوریتم میانگین وزن‌دار مرتب، وزن هریک از پارامترها با توجه به میزان درجه خوش‌بینی محاسبه گردید.

$$W_1 = \frac{2(2n-1) - 6(n-1)(1-O)}{n(n+1)}$$

$$W_n = \frac{6(n-1)(1-O) - 2(n-2)}{n(n+1)}$$

$$W_j = \frac{n-j}{n-1} W_1 + \frac{j-1}{n-1} W_n j \in \{2,...n-1\}$$

پس از محاسبه وزن‌ها با استفاده از رابطه زیر میزان انسداد مسیر برای هریک از مسیرها محاسبه می‌گردد.

$$F(a_1,a_2,...,a_n)=\sum_j^n w_j b_j = w_1b_1+w_2b_2+...+w_nb_n$$

نتایج حاصل از محاسبات وزن برای درجه خوش-بینی‌های مختلف برای تمامی پارامترها در
آورده شده است. لازم است قبل از محاسبه وزن‌ها، پارامترها را از بهترین حالت به بدترین حالت مطابق

جدول ۵ از نظر کارشناس مرتب نماییم.
همانطور که گفته شد مهمترین عامل از نظر کارشناس مربوطه ارتفاع ساختمان‌ها است. بنابراین، بهترین حالت برای مسیرها زمانی‌است که ارتفاع ساختمان‌ها کمتر از ده متر و بدترین حالت آن زمانی است که ارتفاع ساختمان‌ها بیشتر از ده متر است.
اما پارامتر مهم بعدی، قدمت ساختمان‌ها است. همانطور که گفته شد قدمت ساختمان‌ها به دودسته با

در نمودار میزان انسداد هر مسیر را با توجه به درجه خوش‌بینی‌های مختلف نشان داده شده است.
همانطور که گفته شد فردی که بدبین است و درجه خوش‌بینی کمتری را در نظر می‌گیرد، نتایج بهتری خواهد گرفت.

قدمت بیشتر و کمتر از ۱۵ سال تقسیم گردید. لیکن بعد از ارتفاع کمتر از ده متر برای ساختمان‌ها، بهترین حالت قدمت کمتر از ۱۵ سال است و به همین ترتیب قدمت بیشتر از ۱۵ سال بعد از ارتفاع بیشتر از ده متر ساختمان‌ها به عنوان بدترین حالت در نظر گرفته می-شود.
پارامتر موثر بعدی عرض معابر است که درجه اهمیت بالایی دارد. اما در آخر پارامتر مسافت است که از نظر اهمیت در اولویت آخر قرار می‌گیرد.

جدول ۵ - ترتیب پارامترهای مختلف از ایده ال به بدترین حالت از نظر کارشناس

۱	۲	۳	٤	٥	٦	۷
ارتفاع کمتر از ۱۰	قدمت کمتر از ۱۵	عرض بیشتر از ٦	مسافت	عرض کمتر از ٦	قدمت بیشتر از ۱۵	ارتفاع بیشتر از ۱۰

جدول ٦ وزن پارامترهای مختلف محاسبه شده را به ترتیبی که در جدول ۵ آورده شده است به ازای درجه خوش‌بینی‌های مختلف نمایش می‌دهد.
به عنوان مثال همانطور که ملاحظه می‌شود برای درجه خوش‌بینی صفر، وزن پارامتر " ارتفاع کمتر از ۱۰ " برابر با صفر و وزن پارامتر " ارتفاع بیشتر از ۱۰ " برابر با ۰.۵۸ محاسبه گردیده است.
در این الگوریتم برای درجه خوش‌بینی‌های کمتر از ۰.۵، هر چه مقدار وزن‌های محاسبه شده بیشتر باشد، نشان‌دهنده آن است که این عامل تاثیر بیشتری روی انسداد و خرابی مسیر دارد و برای درجه

خوش‌بینی‌های بیشتر از ۰.۵، کاملا برعکس است. بنابراین، کاملا واضح است که در درجه خوش‌بینی‌های کمتر از ۰.۵، پارامتر " ارتفاع بیشتر از ۱۰ " تاثیر بیشتری نسبت به پارامترهای دیگر دارد و در درجه خوش‌بینی‌های بیشتر از ۰.۵، پارامتر " ارتفاع کمتر از ۱۰ " تاثیر بیشتری نسبت به پارامترهای دیگر دارد و این تاثیر را ما با چیدمانی که در جدول ۵ انجام داده‌ایم به وجود آوردیم.

برای درجه خوش‌بینی ۰.۵ نیز وزن‌ها یکسان می‌شوند.

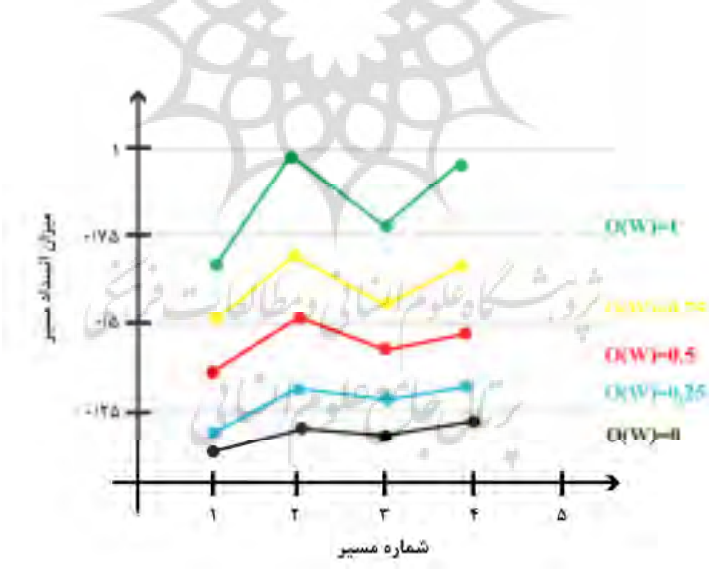
جدول ٦ – وزن پارامترهای مختلف بر اساس درجه خوش‌بینی‌های متفاوت

O(W)	Weight
0	0 , 0.04 , 0.09 , 0.23 , 0.34 , 0.41 , 0.58
0.25	0 , 0.05 , 0.13 , 0.20 , 0.27 , 0.34 , 0.43
0.5	0.15 , 0.15 , 0.15 , 0.15 , 0.15 , 0.15 , 0.15
0.75	0.43 , 0.34 , 0.27 , 0.20 , 0.13 , 0.05 , 0
1	0.58 , 0.41 , 0.34 , 0.23 , 0.09 , 0.04 , 0

حال با استفاده از رابطه گفته شده و وزن‌های بدست آمده، میزان انسداد هر مسیر محاسبه گردیده و در نمودار زیر آورده شده است

در نمودار میزان انسداد هر مسیر را با توجه به درجه خوش‌بینی‌های مختلف نشان داده شده است.

همانطور که گفته شد فردی که بدبین است و درجه خوش‌بینی کمتری را در نظر می‌گیرد، نتایج بهتری خواهد گرفت.



به عنوان مثال میزان انسداد هر ٤ مسیر با درجه خوش‌بینی صفر، کمتر از انسداد مسیرها با درجه خوش‌بینی ۰.۵، ۰.۷۵ و ۱ است.

اما نکته حائز اهمیت این است که در یک درجه خوش‌بینی مشخص کدام مسیر به عنوان مسیر بهینه انتخاب می‌گردد؟ کاملا واضح است مسیری انتخاب می‌شود که میزان انسداد کمتری دارد. به عنوان مثال

چنانچه درجه خوش‌بینی صفر را در نظر بگیریم، مسیر شماره یک که میزان انسداد کمتری دارد به عنوان مسیر بهینه برای امدادرسانی انتخاب می‌گردد.

منابع

آقامحمدی، حسین و همکاران (۱۳۹۱). توسعه یک روش ابتکاری برای بهینه سازی مساله مکان یابی و تخصیص در عملیات امدادرسانی به مصدومان زلزله، فصلنامه علمی و پژوهشی برنامه‌ریزی و آمایش فضا، شماره ۲، صفحه ۵۷-۷۵

پورمحمدی، محمدرضا و مصیب‌زاده، علی (۱۳۸۷). آسیب پذیری شهرهای ایران در برابر زلزله و نقش مشارکت محله ای در امدادرسانی آنها، فصلنامه علمی و پژوهشی جغرافیا و توسعه، شماره ۱۲، ص ۱۱۷-۱٤٤

ضرغامی، مهدی و همکاران(۱۳۸٦). اولویت‌بندی طرح‌های انتقال بین حوضه‌یی آب با استفاده از عملگر تجمیع میانگین وزنی مرتب استقرایی، فصلنامه‌ی علمی و پژوهشی شریف، شماره سی و هفتم، ص. ۱٦۹-۱۷۹

قریب، قریدون، شبکه ارتباطی در طراحی شهری، مرکز انتشارات دانشگاه تهران، چاپ دوم

متکان، علی اکبر و همکاران(۱۳۷٦). کاربرد GIS در مکانیابی پارکینگهای عمومی طبقاتی به روش OWA مهدوی‌نژاد، محمدجواد و جوانرودی، کاوان (۱۳۹۱). بررسی آسیب پذیری ناشی از زلزله در شبکه های ارتباطی تهران بزرگ - مطالعه موردی: خیابان ولی عصر (عج) شمالی (میدان ولی عصر (عج) تا چهارراه پارک وی)، فصلنامه علمی و پژوهشی مدیریت بحران، شماره ۱، صفحه ۱۳-۲۱

میان آبادی، حجت و افشار، عباس (۱۳۸۵). کاربرد روش میانگین وزنی مرتب شده (OWA) در تصمیم گیری و مدیریت ریسک، کنفرانس بین المللی مدیریت استراتژی پروژه، تهران

Fuller, Robert. (1996). OWA operator in decision making

M. Teresa Lamata. (2004). Ranking of altenative with ordered weighted averaging operators, International journal of intelligent systems, Voll. 19, 473-482

Moradi, Milad et al. (2013). Sensitivity analysis of ordered weighted averaging operator in earthquake vulnerability assessment, 2nd International Conference on Sensors and Models in Photogrammetry and Remote Sensing (SMPR 2013), University of Tehran

Xinwang Lio, Shilian Han. (2008). Orness and parameteraized RIM quantifier aggregation with OWA operator: A summary, International Journal of Approximate Reasoning, 48, 77-97

Zarghami, Mahdi, Ferenc, Szidarovszky. (2008). Fuzy quantifiers in sensitivity analysis of OWA operator, Computers & Industrial Engineering, 54, 1006-1018