

استفاده از تکنیک AHP در محیط GIS برای مکان‌یابی ایستگاه‌های آتش‌نشانی (مطالعه موردی: شهر سمنان)

محسن قدس¹، مربی گروه مهندسی عمران، دانشگاه آزاد اسلامی واحد سمنان، ایران
سعید کامیابی، استادیار گروه جغرافیا، دانشگاه آزاد اسلامی واحد سمنان، ایران

چکیده

هدف اصلی مکان‌یابی خدمات شهری، جلوگیری از اتلاف هزینه‌ها از یک سو و اطمینان از کارایی خدمات شهری در تقابل با کل سیستم شهر از سوی دیگر است. از خدمات عمومی مهم در شهرها، خدمات امداد رسانی آتش‌نشانی است. آنچه در کیفیت عملکرد و خدمت‌رسانی این خدمات در سطح شهرها نقش عمده‌ای دارد، موقعیت و چیدمان این خدمات و تأثیرپذیری آنها از شرایط ترافیکی است. تعیین مکان مناسب برای ایجاد ایستگاه‌های آتش‌نشانی جدید و یا در صورت نیاز انتقال مکانی ایستگاه‌های فعلی موجود برای بهبود کیفیت عملکرد و خدمت‌رسانی، یکی از وظایف مهم مدیران شهری است که باید در چارچوبی سیستماتیک صورت گیرد. در حال حاضر با توجه به جمعیت و وسعت فعلی محدوده مورد مطالعه شهر سمنان، فقط 4 ایستگاه آتش‌نشانی در سطح شهر و حریم آن به مساحت حدود 16000 هکتار در حال خدمت‌رسانی هستند که بر اساس استانداردها این تعداد پاسخگو نبوده و نیاز به ایستگاه‌های آتش‌نشانی جدید در مکان‌های مناسب مطابق با معیارهای مکان‌یابی احساس می‌شود. لذا در این تحقیق برای تعیین مکان‌های مناسب برای احداث ایستگاه‌های آتش‌نشانی در محدوده مورد مطالعه شهر سمنان، پس از تعریف مدل، معیارهای مؤثر در مکان‌یابی ایستگاه‌های آتش‌نشانی مشخص و اطلاعات مورد نیاز آماده‌سازی گردید. در مرحله بعد، از مدل تصمیم‌گیری چند معیاره فرآیند تحلیل سلسله مراتبی در محیط سیستم اطلاعات مکانی استفاده و مکان‌های مناسب برای احداث ایستگاه آتش‌نشانی تعیین گردید. نتایج پژوهش مشخص نمود که استفاده از تکنیک AHP برای مکان‌یابی بهینه ایستگاه‌های آتش‌نشانی بسیار مفید است و حتی این مدل را می‌توان در موارد امداد رسانی دیگر نیز به کار برد. استفاده از این تکنیک مشخص نمود که حداقل 4 ایستگاه آتش‌نشانی جدید برای تحت پوشش قرار دادن شهر سمنان مورد نیاز است.

کلمات کلیدی: مکان‌یابی، ایستگاه آتش‌نشانی، GIS، AHP

مقدمه

اعتبار و اهمیت هر شهر بستگی به خدمات و تأسیساتی دارد که اساس سکونت‌گاه‌های شهری را تشکیل می‌دهند. هرچه کیفیت ارائه این خدمات بهتر باشد، زندگی در آن راحت‌تر و هزینه زندگی برای شهروندان کمتر است. اگر این خدمات در مکان‌های مناسب و به اندازه کافی باشد، از هزینه‌های اقتصادی و زمانی ساکنین به نحو محسوسی کاسته خواهد شد. لازمه این موضوع، تحقیق و بررسی علمی و کارشناسی است. (سعیدی خواه، 1383). یکی از وظایف اصلی برنامه ریزان شهری، تخصیص زمین به کاربری‌های مختلف با توجه به نقش و کارکرد شهر، اقتصاد شهری و نیز تأثیر و تأثر متقابل کاربری با یکدیگر است. امروزه مکان‌یابی مراکز خدمات شهری از جمله: مدارس، مراکز بهداشت و درمان، ایستگاه‌های آتش‌نشانی، مراکز پلیس، فروشگاه‌های زنجیره‌ای و... در برنامه‌ریزی شهری از اهمیت بسزایی برخوردار است. برنامه‌ریزان شهری نیز با مکان‌یابی مناسب، در تامین رفاه شهروندان و در نتیجه تحقق عدالت اجتماعی نقش مؤثری دارند (پورمعلم، 1390). از بین کاربری‌های و خدمات موجود در شهر، توزیع و مکان‌یابی بهینه ایستگاه‌های آتش‌نشانی به دلیل اهمیت موضوع ایمنی در شهرها و ارائه تمهیداتی در زمینه پیش‌گیری و مقابله با حوادث از اهمیت قابل توجهی برخوردار است. این امر در شهرهایی که دارای بافتی متراکم با شبکه‌های دسترسی نامناسب هستند، حساسیت بیشتری دارد، زیرا لازم است تا در مواقع اضطراری و وقوع حوادث در این بافت‌ها، عملیات امداد رسانی به ساکنین به موقع انجام گیرد. (پوراسکندری، 1380). سیاست کلی ایجاد ایستگاه‌های آتش‌نشانی در ایران بدون برنامه خاص و مدون بوده است. به گونه‌ای که برای ایجاد هر ایستگاه در محدوده‌های شهری مهم‌ترین اصل، خالی بودن زمین، بدون مالک بودن آن و یا عوامل دیگری است که به موجب آن بایستی زمین ارزشی نداشته باشد که این امر بر مکان‌یابی ایستگاه‌های آتش‌نشانی در سطح شهرها تأثیرگذار بوده است (ایمانی جاجرمی، 1375). این موضوع در مکان‌یابی ایستگاه‌های آتش‌نشانی در شهر سمنان نیز صادق بوده است. شهر سمنان

با بافتی متراکم و شبکه دسترسی نسبتاً نامناسب، به خصوص در نیمه جنوبی شهر، به کمبود و عدم تعادل در توزیع مکانی خدمات شهری و از جمله ایستگاه‌های آتش‌نشانی دچار می‌باشد. به طوری که 4 ایستگاه آتش‌نشانی موجود در شهر قادر به خدمات‌رسانی به کل سطح شهر نیست. با توجه به استاندارد جهانی زمان مجاز بین شروع آتش‌سوزی تا شروع عملیات آتش‌نشانی 3 الی 5 دقیقه می‌باشد. زیرا براساس منحنی استاندارد زمان - درجه حرارت، چنانچه در 5 دقیقه اول وقوع آتش‌سوزی نتوان در محل حادثه حضور یافت و به خاموش کردن آن اقدام نمود آتش از کنترل خارج می‌گردد و پیامدهای ناگواری در پی خواهد داشت (استاندارد شماره 6430 مؤسسه استاندارد ایران، 1380).

طبق بررسی میدانی انجام شده، بیش از نیمی از شهر سمنان خارج از شعاع پوشش ایستگاه‌های آتش‌نشانی فعلی قرار دارد. در این تحقیق برای رفع مسأله کمبود ایستگاه‌های آتش‌نشانی و تعیین مکان بهینه برای احداث ایستگاه‌های جدید از تکنیک AHP استفاده شده است. این تکنیک روشی منعطف، قوی و ساده است که برای تصمیم‌گیری در شرایطی به کار می‌رود که معیارهای تصمیم‌گیری متضاد، انتخاب بین گزینه‌ها را با مشکل مواجه می‌سازند. همچنین با توجه به ماهیت مکانی بودن معیارهای مؤثر در تصمیم‌گیری، از این تکنیک در محیط GIS استفاده شده است. چرا که امروزه مسائل شهری باعث شده است متغیرهای متعددی در مکان‌یابی کاربری‌ها تأثیرگذار باشد و امکان تحلیل آنها به روش‌های سنتی نظیر روی هم‌گذاری دستی نقشه‌ها، به دلیل حجم زیاد داده‌ها امکان‌پذیر نیست. لذا استفاده از ابزار توانمندی چون GIS در مکان‌یابی کاربری‌ها در شهر ضروری است. (نظری عدلی، 1386). همراه با رشد جمعیت و انجام طرح ملی مسکن مهر در شهر سمنان، توسعه فیزیکی شتابانی صورت گرفته است. این گسترش فضای کالبدی شهری، چنانچه با برنامه‌ریزی مناسب همراه نباشد، باعث بروز نابسامانی‌هایی در زمینه ارائه خدمات عمومی و از جمله دسترسی ایستگاه‌های آتش‌نشانی به مناطق مختلف شهری می‌شود. در حال حاضر با

توجه به جمعیت و وسعت فعلی شهر، فقط 4 ایستگاه آتش‌نشانی در سطح شهر و حریم آن به مساحت حدود 16000 هکتار در حال خدمت‌رسانی هستند که بر اساس استانداردها این تعداد پاسخگو نبوده و نیاز به ایستگاه‌های آتش‌نشانی جدید در مکان‌های مناسب مطابق با معیارهای مکان‌یابی احساس می‌شود. لذا سؤال اساسی این است که:

- 1- با توجه به رشد جمعیت و توسعه فیزیکی شهر سمنان آیا ایستگاه‌های آتش‌نشانی موجود برای خدمت‌رسانی مطلوب کافی است؟
- 2- شهر سمنان به چه تعداد ایستگاه آتش‌نشانی جدید و در کدام مناطق نیازمند است؟

پیشینه تحقیق

در زمینه مکان‌یابی ایستگاه‌های آتش‌نشانی با استفاده از GIS در سال‌های اخیر مطالعاتی گسترده‌ای در کشورهای در حال توسعه و توسعه یافته صورت گرفته است که بدین موارد می‌توان اشاره کرد. در زمینه ایجاد ایستگاه‌های آتش‌نشانی یک روش تحلیلی و تکرارشونده توسط Helly ارائه شد. مراحل اجرای این روش عبارت بود از: تعریف مناطق تحت پوشش هر ایستگاه، معرفی بهترین مکان هر ایستگاه در منطقه تحت پوشش، بهینه‌سازی مناطق ایستگاه‌ها. در نظر گرفتن مسأله مکان‌یابی به عنوان یک مسأله چند معیاره توسط بدری¹ (1998) مطرح شد. وی با ارائه یک مدل بر اساس زمان سفر از ایستگاه تا نقطه حادثه دیده به جای مسافت، با ارائه 11 معیار مؤثر بر مکان‌یابی ایستگاه‌ها، نواقص مدل قبلی را پوشش داد. سپس چن² (2003) روش هلی³ را برای مکان‌یابی ایستگاه‌ها در چین به کار گرفت. کلیه روش‌های فوق دارای معایب زیر بود. فاصله ایستگاه تا نقطه حادثه دیده معمولاً به صورت خط مستقیم در نظر

1 - Badri

2- Chen

3 - Helly

گرفته شده است و این که اطمینان حاصل نماییم که تمام نقاط حادثه دیده در کمترین زمان ممکن سرویس‌دهی می‌شود یا نه کار مشکلی است. رفع این نواقص با ارائه یک مدل بر مبنای شبکه واقعی راه‌ها توسط یان یو¹ (2008) انجام گرفت. ایوانس² (2004) ضمن تبیین نقش GIS در مدیریت بحران حوادث مرتبط با فعالیت‌های سازمان آتش‌نشانی، اثبات کرد استفاده از GIS علاوه بر این که در مکان‌یابی بهینه احداث ایستگاه‌های آتش‌نشانی موجب کاهش خسارات می‌گردد، در حین امداد رسانی نیز GIS کارآیی بالایی دارد. از دیگر مطالعات انجام شده می‌توان به تلفیق برنامه‌نویسی چند معیاره به همراه الگوریتم ژنتیک توسط یانگ³ (2007) اشاره کرد. وی ابتدا کلیه معیارها را با استفاده از برنامه‌نویسی چند معیاره فازی تبدیل به یک معیار واحد نمود و سپس با استفاده از الگوریتم ژنتیک تعداد و مکان‌های مناسب برای ایستگاه‌ها را تعیین کرد. پرهیزگار (1376) ضمن مطالعه روش‌ها و مدل‌های مکان‌یابی مانند مدل نظریه مکان مرکزی، مدل تاکسونومی عددی، مدل لاری و مدل‌های تصادفی، با مطالعه موردی در مکان‌یابی مراکز آتش‌نشانی شهر تبریز، توانایی GIS را نسبت به سایر مدل‌ها اثبات کرد. پوراسکندری (1380) در تحقیقی با استفاده از روش شعاعی، چندضلعی‌های تیسسن و تحلیل شبکه، ضمن بررسی نحوه توزیع سوانح آتش‌سوزی در شهر کرج به مکان‌یابی ایستگاه‌های آتش‌نشانی اقدام کرد. فروتن مقدم (1388) با استفاده از روش شبکه‌های عصبی مصنوعی در مناطق سه‌گانه 10، 11 و 12 شهر تهران مکان‌یابی ایستگاه‌های آتش‌نشانی را انجام داد. هادیانی (1389) با استفاده از تحلیل شبکه و مدل AHP، برای شهر قم، مکان‌یابی ایستگاه‌های آتش‌نشانی را انجام داد. پورمعلم (1390) با ترکیبی از مدل آنالیز سلسله مراتبی (کیفی) و مدل برنامه‌ریزی چند هدفه (کمی) مکان‌یابی ایستگاه‌های آتش‌نشانی را انجام داد. ملک (1390) با استفاده از تحلیل شبکه، منطق فازی و GIS در قالب تحقیقی، به مکان‌یابی بهینه استقرار ایستگاه‌های آتش‌نشانی

1 - YanYu

2 - Evans

3- Yang

زنجان پرداخت. رامشت (1390) با استفاده از دو روش تخصیص خطی و TOPSIS و با کمک GIS الویت‌بندی نواحی شهری ماکو را به منظور تأسیس ایستگاه‌های آتش‌نشانی انجام داد.

مبانی نظری تحقیق

مکان‌یابی: مکان‌یابی سلسله عملیات و اقدامات و تمهیداتی است که در زمینه حصول لزوم وجود شرایط و فراهم آمدن امکان اجرای یک فعالیت بوده و بر اساس آن دستگاه اجرایی با دید باز برنامه اجرایی فعالیت‌ها را از جهات مختلف مورد ارزیابی قرار داده و در صورت دست‌یابی به هدف نسبت به اجرای عملیات در مکان انتخاب شده اقدام می‌نماید. (یغفوری و همکاران، 1392)

مدیریت بحران: در قانون تشکیل سازمان مدیریت بحران کشور در سال 1387 مدیریت بحران عبارت است از فرآیند برنامه‌ریزی، عملکرد و اقدامات اجرایی است که توسط دستگاه‌های دولتی، غیردولتی و عمومی پیرامون شناخت و کاهش سطح مخاطرات (مدیریت خطرپذیری) و مدیریت مقابله و بازسازی و بازتوانی مناطق آسیب دیده (مدیریت بحران) صورت می‌پذیرد. در این فرایند با مشاهده پیش‌نشانگرها و تجزیه و تحلیل آن‌ها و منابع اطلاعاتی در دسترس، تلاش می‌شود به صورت یکپارچه، جامع و هماهنگ با استفاده از ابزارهای موجود از بحران‌ها پیشگیری کرده یا در صورت بروز آن‌ها با آمادگی لازم برای کاهش خسارات جانی و مالی به مقابله سریع با آن‌ها پرداخته تا شرایط به وضعیت عادی بازگردد (قانون تشکیل سازمان مدیریت بحران، 1387). مدیریت بحران در واقع عبارت است از به کارگیری راهبردهایی، جهت ایجاد آمادگی و فراهم کردن زمینه و تدارکات لازم سازمانی برای رویارویی با بحران و به حداقل رساندن آثار تخریبی آن (صالحیان، 1383) مدیریت بحران عبارت است از "تلاش نظام یافته توسط اعضای سازمان همراه با ذی‌نفعان خارج از سازمان در جهت پیشگیری از بحران‌ها و یا مدیریت اثر بخش آن در زمان وقوع (کاووسی، 1389)

تحلیل گر شبکه: برای بررسی وضعیت پراکندگی مکانی ایستگاه‌های آتش‌نشانی و بررسی محدوده عملکرد هر یک و نیز تعیین نواحی خارج از شعاع پوشش ایستگاه‌ها، از تحلیل گر شبکه استفاده می‌شود.

فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP^1): روشی منعطف، قوی و ساده است که برای تصمیم‌گیری در شرایطی که معیارهای تصمیم‌گیری متضاد، انتخاب بین گزینه‌ها² را با مشکل مواجه می‌سازند، به کار می‌رود. این روش ارزیابی چند معیاری³ در سال 1980 توسط توماس ال ساعتی پیشنهاد گردید (زبردست، 1380). این تکنیک امکان فرموله کردن مسأله را به صورت سلسله مراتبی فراهم می‌کند و همچنین امکان در نظر گرفتن معیارهای مختلف کمی و کیفی را در مسأله دارد. این فرآیند گزینه‌های مختلف را در تصمیم‌گیری دخالت داده و امکان تحلیل حساسیت روی معیارها و زیرمعیارها را دارد. علاوه بر این، بر مبنای مقایسه زوجی بنا نهاده شده که قضاوت و محاسبات را تسهیل می‌نماید. همچنین میزان سازگاری و ناسازگاری تصمیم را نشان می‌دهد که از مزایای ممتاز این تکنیک در تصمیم‌گیری چند معیاره می‌باشد. فرآیند تحلیل سلسله مراتبی با تجزیه مسائل مشکل و پیچیده، آن‌ها را به شکلی ساده تبدیل کرده و به حل آن‌ها می‌پردازد. به عنوان نمونه در مسائل مکان‌یابی که دارای معیارهای مختلفی است و مسأله پیچیدگی خاصی دارد، می‌توان به تعیین معیارهای اصلی در تعیین مکان و به دنبال آن با تعیین زیرمعیارهای مشخص در هر معیار اصلی پرداخت و پس از زیرمعیارها می‌توان به تحلیل و بررسی گزینه‌ها پرداخت. (پورمعلم، 1390)

در واقع مسأله پیچیده اولیه به سه سطح: معیار، زیرمعیار و گزینه شکسته شده و ساده می‌گردد و در چنین شرایطی امکان تحلیل و مقایسه گزینه‌ها به راحتی وجود دارد. در این روش، عناصر هر سطح نسبت به عنصر مربوط به خود، در سطح بالاتر به صورت زوجی مقایسه شده و وزن آنها محاسبه می‌گردد که این وزن‌ها را وزن نسبی می‌نامیم. سپس با تلفیق وزن‌های نسبی، وزن نهایی هر گزینه مشخص می‌گردد که آن را

1- Analytical Hierarchy Process

2- Alternatives

3- Multi criteria Evaluation Technique

وزن مطلق می‌نامیم. کلیه مقایسه‌ها در این روش به صورت زوجی صورت می‌گیرد. به عبارت دیگر در این مقایسه تصمیم‌گیرندگان از قضاوت‌های شفاهی استفاده خواهند کرد. متضادها توسط توماس ساعتی مبدع این روش به مقادیر کلی بین 1 تا 9 تبدیل شده است که این مقادیر در جدول 3 ارائه شده است.

جدول 3. مقیاس 9 کمیته برای مقایسه دودویی گزینه‌ها

میزان اهمیت	تعریف
1	اهمیت برابر
3	اهمیت متوسط
5	اهمیت قوی
7	اهمیت بسیار قوی
9	اهمیت فوق‌العاده قوی
8,6,4,2	هنگامی که حالت‌های میانه وجود دارد

مأخذ: زبردست، 1380

داده‌ها و روش‌ها

موقعیت منطقه مورد مطالعه

سمنان یکی از شهرهای ایران، مرکز استان سمنان و شهرستان سمنان است. این شهر در جنوب رشته کوه البرز و شمال دشت کویر در مسیر تهران به خراسان قرار گرفته است. آب و هوای آن خشک می‌باشد. شهرستان سمنان از سوی خاور با شهرستان دامغان، از شمال با شهرستان مهدیشهر و از باختر با شهرستان سرخه همسایه است. در طول جغرافیایی 53 درجه و 23 دقیقه و عرض جغرافیایی 35 درجه و 34 دقیقه واقع شده و ارتفاع متوسط آن از سطح دریا 1130 متر است. همچنین فاصله آن تا تهران 216 کیلومتر است و به راه آهن سراسری تهران - مشهد، متصل می‌باشد. جمعیت شهر سمنان بر اساس نتایج سرشماری سال 1390 خورشیدی، برابر بر 153680 نفر است. (سالنامه آماری استان سمنان، 1390) از نظر تغییرات جمعیتی، شهر سمنان طی پنج دوره پس از انقلاب روند افزایشی را داشته است. به طوری که دارای متوسط رشد جمعیتی سالیانه بالای 3 درصد بوده است. از دلایل اصلی این موضوع مهاجرت از

شهرها و استان‌های همجوار به خصوص استان‌های تهران، مازندران و گلستان و نیز بحث صنعتی شدن شهر سمنان می‌باشد. به طوری که پیش‌بینی می‌شود جمعیت شهر سمنان در 1400 به بیش از 300000 نفر برسد. (خدادادی، 1389)

جدول 1. تغییرات جمعیتی شهر سمنان

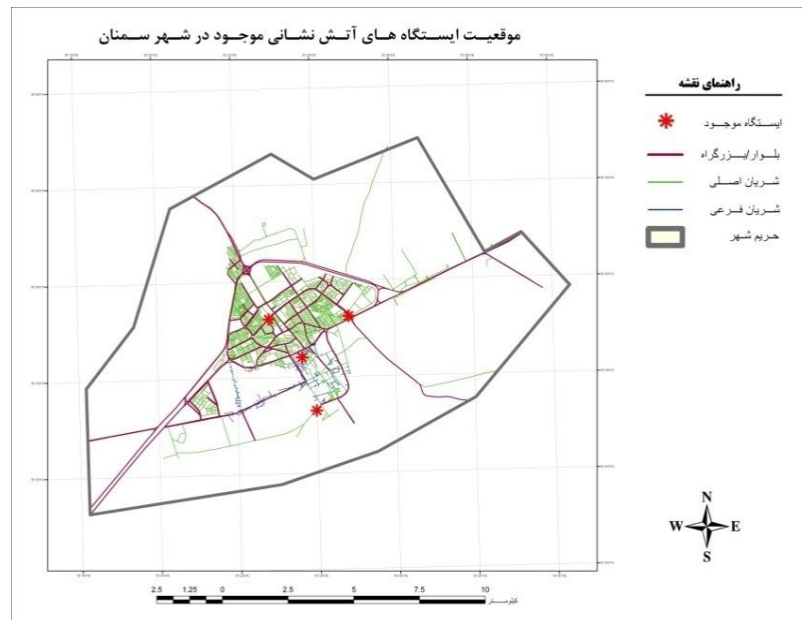
جمعیت								شهر
آبان	آبان	آبان	آبان	آبان	آبان	آبان	آبان	
1390	1385	1375	1370	1365	1355	1345	1335	سمنان
153680	126780	91045	75131	64891	38786	31058	29036	

مأخذ: سالنامه آماری استان سمنان، 1390

جدول 2. متوسط رشد جمعیت سالیانه (بر حسب درصد)

متوسط رشد جمعیت سالیانه (درصد)							شهر
1385-90	1375-85	1370-75	1365-70	1355-65	1345-55	1335-45	
+3/92	+3/37	+3/92	+2/97	+5/28	+2/25	+0/68	سمنان

مأخذ: سالنامه آماری استان سمنان، 1390



شکل 1. موقعیت ایستگاه‌های آتش‌نشانی موجود در شهر سمنان.

روش تحقیق

در این مقاله با روش توصیفی-تحلیلی و با بررسی عوامل مؤثر در مکان‌یابی ایستگاه‌های آتش‌نشانی، از نقشه‌های شبکه معابر شهری، کاربری اراضی و... استفاده شده است. ابتدا این لایه‌ها با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای بهنگام و سپس با عملیات میدانی بازنگری و گویا گردیده و بر اساس دستورالعمل آماده‌سازی داده‌های مکانی (سازمان نقشه برداری کشور، 1387) برای ورود به محیط GIS آماده شده است. در مرحله بعد پس از اتخاذ روش مناسب، از تحلیلگر شبکه¹ و استفاده از مدل تصمیم‌گیری AHP با استفاده از نظر خبرگان (در این‌جا منظور از خبرگان مدیران شهری و کارشناسان و پرسنل آتش‌نشانی شهر سمنان می باشد) مکان‌های مناسب برای احداث ایستگاه‌های آتش‌نشانی انتخاب گردیده است.

تجزیه و تحلیل

شهر سمنان با توجه به رشد فیزیکی که با اجرای طرح مسکن مهر و تغییر بافت جمعیتی ناشی از آن همراه شده و نیز با توجه به بافت متراکم و شبکه دسترسی نسبتاً نامناسب، به کمبود و عدم تعادل در توزیع مکانی ایستگاه‌های آتش‌نشانی دچار می‌باشد. به طوری که 4 ایستگاه آتش‌نشانی فعلی نشان داده شده در شکل 2 قادر به خدمات‌رسانی به کل سطح شهر نیست. لذا شهر سمنان به ایستگاه‌های آتش‌نشانی جدید نیاز دارد. برای یافتن مکان مناسب استقرار این ایستگاه‌ها از روش تصمیم‌گیری AHP در محیط GIS استفاده شده است.

تحلیلگر شبکه

ابتدا همه مسیرهای ارتباطی با توجه به یک طرفه و یا دو طرفه بودن مسیر در محیط نرم افزار ArcGIS تهیه و پس از رفع خطاهای ترسیم، برای ایجاد ارتباط منطقی و

1- Network Analyst

مطابق با واقعیت بر روی لایه خیابان‌ها، توپولوژی ایجاد و اطلاعات توصیفی طول معابر، نوع معبر (بزرگراه، بلوار، خیابان اصلی، خیابان فرعی، دور برگردان، کوچه)، یک طرفه و دو طرفه بودن معبر، سرعت عبور از معبر، زمان لازم برای طی معبر، تعداد سرعت‌گیر در هر معبر وارد گردید. برای محاسبه زمان عبور از معبر با توجه به مشخص بودن طول هر معبر و متوسط سرعت عبور از رابطه 1 استفاده شده است.

$$T_1 = \frac{L}{V} \quad \text{رابطه 1}$$

که در آن L طول معبر، V متوسط سرعت عبور از معبر و T_1 زمان عبور از معبر است.

برای مطابقت بیشتر اطلاعات زمان عبور با واقعیت دو پارامتر دیگر نیز که در زمان طی معبر مؤثرند در نظر گرفته شده است:

1- با توجه به این که مانع سرعت‌گیر موجب کاهش سرعت و در نتیجه افزایش زمان طی معبر می‌شود، با بررسی‌های میدانی موقعیت سرعت‌گیرها مشخص و زمان عبور از هر سرعت‌گیر با توجه به دو پارامتر متوسط سرعت عبور در معبر و کاهش سرعت اندازه‌گیری شده هنگام عبور از سرعت‌گیر محاسبه شد. برای هر معبر، تعداد سرعت‌گیر موجود در آن تعیین و در جدول اطلاعات توصیفی وارد شد. رابطه 2 زمانی را نشان می‌دهد که باید به زمان طی معبر اضافه شود تا اثر سرعت‌گیرها در نظر گرفته شوند.

$$T_2 = n.T' \quad \text{رابطه 2}$$

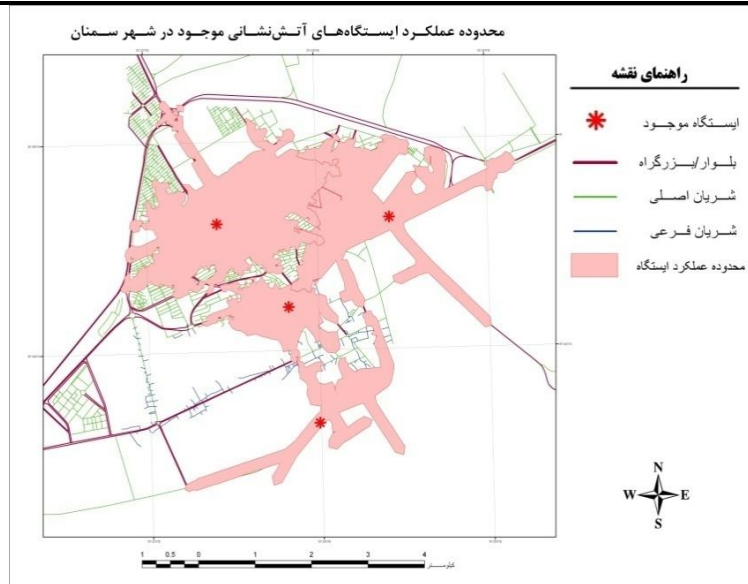
که در آن T' زمان عبور از سرعت‌گیر با توجه به متوسط سرعت عبور در آن معبر و کاهش سرعت صورت گرفته هنگام عبور از سرعت‌گیر است، n تعداد سرعت‌گیر در هر معبر و T_2 زمانی است که باید برای در نظر گرفتن اثر وجود سرعت‌گیر یا سرعت‌گیرها به زمان طی معبر اضافه شود.

2- اگرچه خودروهای امدادی مجاز به عبور از چراغ‌های راهنمایی و رانندگی هستند، ولی با بررسی‌های میدانی مشخص شد وجود ترافیک شدید در بعضی از تقاطع‌های دارای چراغ راهنمایی و رانندگی باعث ایجاد تأخیر زمانی در حرکت خودروهای امدادی می‌گردد. لذا زمان T_3 زمان قرمز بودن چراغ راهنمایی و رانندگی به عنوان زمان تأخیر - فقط برای معابری که با این گونه چراغ‌های راهنمایی و رانندگی مواجه‌اند - در نظر گرفته می‌شود.

در رابطه 3 زمان T ، زمان طی هر معبر با نظر گرفتن طول معبر و متوسط سرعت عبور از آن، اثر تأخیری ناشی سرعت گیرهای موجود در معبر و نیز اثر تأخیری ناشی از چراغ‌های راهنمایی و رانندگی پر ترافیک را نشان می‌دهد.

$$T = T_1 + T_2 + T_3 \quad \text{رابطه 3}$$

با توجه به استاندارد جهانی، زمان مجاز بین شروع آتش سوزی تا شروع عملیات آتش‌نشانی 3 الی 5 دقیقه می‌باشد. زیرا براساس منحنی استاندارد زمان - درجه حرارت، چنانچه در 5 دقیقه اول وقوع آتش سوزی نتوان در محل حادثه حضور یافت و به خاموش کردن آن اقدام نمود آتش از کنترل خارج می‌شود و پیامدهای ناگواری در پی خواهد داشت (استاندارد شماره 6430 مؤسسه استاندارد ایران، 1380). البته باید زمان 1 تا 2 دقیقه‌ای آمادگی امداد رسانی و حرکت خودروها نیز در نظر گرفته شود (پرهیزگار، 1383). بدین ترتیب برای تعیین شعاع عملکرد ایستگاه‌های آتش‌نشانی و پس از کسر زمان آمادگی امداد، زمان 3 دقیقه برای شروع حرکت خودروها تا شروع عملیات آتش‌نشانی، بر روی شبکه معابر برای 4 ایستگاه موجود اعمال و با استفاده از آنالیز شبکه، محدوده عملکرد هر ایستگاه مشخص شد. نتیجه حاصل عدم پوشش تمامی فضاهای شهری توسط ایستگاه‌های موجود را نشان می‌دهد. به طوری که بیش از نیمی از محدوده شهر خارج از شعاع پوششی ایستگاه‌ها قرار دارد و مکان‌یابی و احداث ایستگاه‌های جدید ضروری است. شکل 2 این مطلب را نشان می‌دهد.



شکل 2. محدوده عملکرد ایستگاه‌های آتش‌نشانی موجود در شهر سمنان با استفاده از تحلیلگر شبکه.

روش تصمیم‌گیری AHP

با تشکیل ماتریس زوجی می‌توان وزن هر گزینه را محاسبه کرد. پس از آن که وزن معیارها نسبت به هدف و همچنین وزن گزینه‌ها نسبت به معیارها محاسبه گردید، با ترکیب این وزن‌ها، وزن نهایی گزینه‌ها (مکان‌های کاندید شده) مشخص می‌شود و در نهایت گزینه یا مکان برتر انتخاب می‌شود. لذا پس از بررسی استانداردهای موجود، استفاده از تحقیقات انجام شده در این زمینه، معیارها مشخص و با بهره‌گیری از نظر خبرگان، وزن دهی به معیارها انجام شد. جدول 4 مقایسه دودویی معیارهای ارزیابی و وزن هر معیار را نشان می‌دهد.

جدول 4. آرایه مقایسه دودویی معیارهای ارزیابی و وزن هر معیار

وزن	فاصله از شبکه معابر	فاصله از مراکز صنعتی-کارگاهی	فاصله از مراکز تاسیسات	فاصله از مراکز حمل و نقل-انبار	تجاری-خدماتی	فاصله از مراکز اداری	فاصله از مراکز آموزشی	فاصله از مراکز درمانی	فاصله از فرهنگی-گردشگری	فاصله از پارک-فضای سبز	فاصله از مراکز مذهبی	فاصله از مراکز مسکونی	فاصله از جایگاه سوخت	معیار
0/250	9	9	9	9	9	8	7	6	5	4	4	4	1	فاصله از مراکز جایگاه سوخت
0/193	9	9	9	9	8	7	7	6	5	4	4	1	1/4	فاصله از مراکز مسکونی
0/141	8	8	8	7	7	6	5	5	4	4	1	1/4	1/4	فاصله از مراکز مذهبی
0/112	7	7	7	7	6	6	5	4	4	1	1/4	1/4	1/4	فاصله از مراکز پارک-فضای سبز
0/075	5	6	6	6	5	4	3	3	1	1/4	1/4	1/5	1/5	فاصله از مراکز فرهنگی گردشگری
0/065	5	6	6	6	5	4	3	1	1/3	1/4	1/5	1/6	1/6	فاصله از مراکز درمانی
0/046	5	6	5	4	3	2	1	1/3	1/3	1/5	1/5	1/7	1/7	فاصله از مراکز آموزشی
0/034	4	4	4	3	2	1	1/2	1/4	1/4	1/6	1/6	1/7	1/8	فاصله از مراکز اداری
0/025	2	3	3	3	1	1/2	1/3	1/5	1/5	1/6	1/7	1/8	1/9	فاصله از مراکز تجاری-خدماتی
0/018	2	2	2	1	1/3	1/3	1/4	1/6	1/6	1/7	1/7	1/9	1/9	فاصله از مراکز حمل و نقل-انبار
0/015	2	2	1	1/2	1/3	1/4	1/5	1/6	1/6	1/7	1/8	1/9	1/9	فاصله از مراکز تاسیسات
0/012	1	1	1/2	1/2	1/3	1/4	1/6	1/6	1/6	1/7	1/8	1/9	1/9	فاصله از مراکز صنعتی-کارگاهی
0/013	1	1	1/2	1/2	1/2	1/4	1/5	1/5	1/5	1/7	1/8	1/9	1/9	فاصله از شبکه معابر

مأخذ: نگارندگان

یکی از مزایای فرآیند تحلیل سلسله مراتبی، کنترل سازگاری تصمیم است. به عبارت دیگر همواره در فرآیند تحلیل سلسله مراتبی می‌توان میزان سازگاری تصمیم را

محاسبه کرد و نسبت به قابل قبول و یا مردود بودن آن قضاوت نمود. (عظیمی حسینی، 1390) به عبارت دیگر ماتریس دودویی معیارها اگر معیار i از معیار j مهم‌تر و معیار j از معیار k مهم‌تر است، قاعدتاً باید معیار i از معیار k مهم‌تر باشد. پس سنجش‌های را باید یافت که میزان ناهماهنگی میان قضاوت‌ها را نمایان سازد. مکانیزمی که ساعتی برای بررسی ناسازگاری در قضاوت‌ها در نظر گرفته است، محاسبه ضریبی به نام ضریب ناسازگاری¹ I.R. طبق رابطه 5 است که از تقسیم شاخص ناسازگاری² I.I. محاسبه شده از رابطه 4 به شاخص تصادفی بودن³ R.I. استخراج شده طبق جدول 5 حاصل می‌شود. اگر این ضریب کوچک‌تر یا مساوی 0/1 باشد، سازگاری در قضاوت‌ها مورد قبول است (زبردست، 1380).

$$I.I. = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} = \frac{14.833 - 13}{13 - 1} = 0.15275 \quad \text{رابطه 4}$$

جدول 4. شاخص تصادفی بودن

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	n
1/59	1/57	1/56	1/48	1/51	1/49	1/45	1/41	1/32	1/24	1/12	0/9	0/58	0	R.I.

مأخذ: (بوون⁴، 1993)

$$I.R. = \frac{I.I.}{R.I.} = \frac{0.15275}{1.56} = 0.098 \quad \text{رابطه 5}$$

پس از تعیین وزن و تعیین سازگاری معیارها، لایه‌های اطلاعاتی مورد نیاز در محدوده‌هایی که خارج از محدوده عملکرد ایستگاه‌های آتش‌نشانی فعلی بودند، در محیط GIS به فرمت رستری تبدیل شدند. سپس با انجام آنالیز تعیین حریم⁵ برای ایجاد

1- Inconsistency Ratio

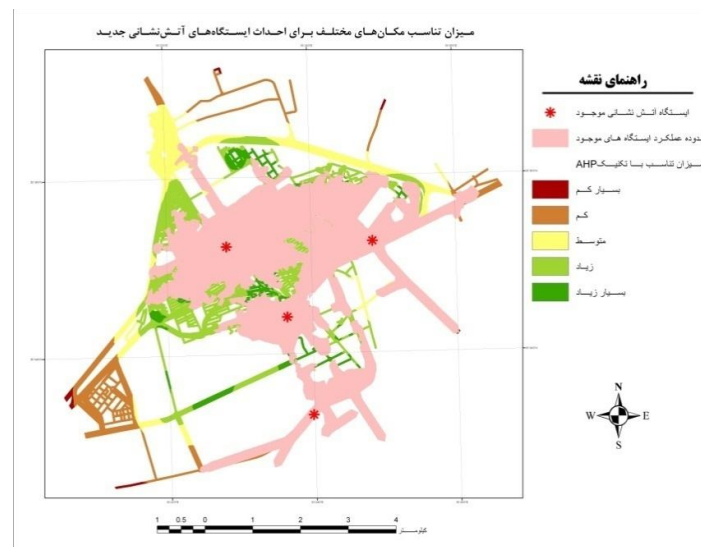
2- Inconsistency Index

3- Random Index

4- Bowen

5- Buffer

لایه رستری فاصله، آنالیز طبقه‌بندی مجدد¹ برای اختصاص وزن بیشتر به پیکسل‌های نزدیک‌تر و در نهایت آنالیز همپوشانی² بر اساس وزن‌های بدست آمده از تکنیک AHP برای لایه‌ها، الویت‌بندی مکان‌های مناسب برای احداث ایستگاه آتش‌نشانی با تناسب بسیار زیاد، زیاد، متوسط، کم و بسیار کم صورت گرفت که در شکل 3 نشان داده شده است.

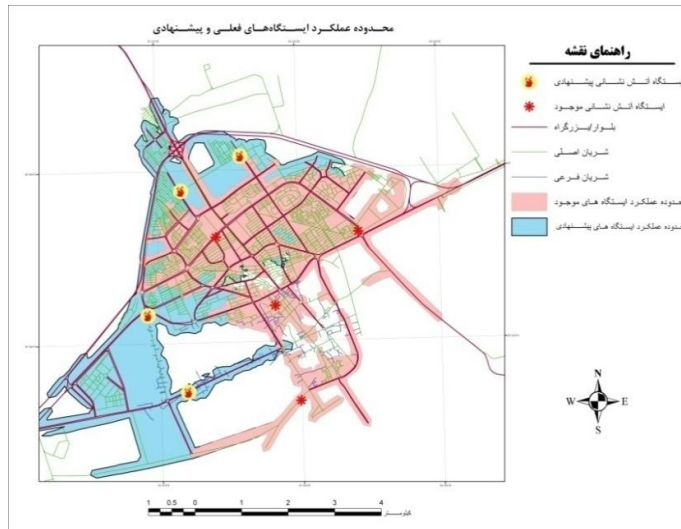


شکل 3. میزان تناسب مکان‌های مختلف برای احداث ایستگاه‌های آتش‌نشانی جدید

برای پوشش کل محدوده شهر به نحوی که امکان دسترسی به مناطق مختلف در فاصله زمانی استاندارد 3 دقیقه برای ایستگاه‌های آتش‌نشانی فراهم شود، حداقل 4 ایستگاه جدید مورد نیاز است که باید در مکان‌هایی که میزان تناسب بسیار زیاد دارند، در نظر گرفته شده و با 4 ایستگاه آتش‌نشانی فعلی این پوشش را فراهم آورند. لذا این

1- Reclassify
2- Overlay

ایستگاه‌های جدید در مکان‌هایی با تناسب بسیار زیاد در محیط GIS مکان‌یابی شده، محدوده عملکرد 3 دقیقه‌ای آن‌ها مشخص گردیده و در شکل 4 نشان داده شده است.



شکل 4. محدوده عملکرد ایستگاه‌های فعلی و پیشنهادی.

همان‌طور که در شکل 4 نشان داده شده است، با احداث ایستگاه‌های جدید کل محدوده شهر تحت پوشش محدوده عملکرد 3 دقیقه‌ای قرار می‌گیرد.

نتیجه‌گیری

با توجه به نقشه کاربری اراضی و بررسی نحوه توزیع ایستگاه‌های آتش‌نشانی موجود در شهر سمنان و تعیین محدوده عملکرد هر یک از ایستگاه‌ها، بر اساس استاندارد 6430 مؤسسه استاندارد و با استفاده از تحلیلگر شبکه و در نظر گرفتن زمان لازم بین شروع آتش‌سوزی تا شروع عملیات در تحلیل شبکه، می‌توان نتیجه گرفت بخش زیادی از شهر با وجود کاربری‌های حساس مسکونی، تجاری، صنعتی و غیره در خارج از محدوده عملیاتی 4 ایستگاه آتش‌نشانی فعلی است. لذا احداث ایستگاه‌های

آتش‌نشانی جدید ضروری می‌نماید. برای یافتن مکان‌های مناسب برای احداث ایستگاه آتش‌نشانی، شناسایی معیارهای مؤثر در این انتخاب و نیز میزان تأثیر هر یک از معیارها امری مهم است. برای این منظور از تکنیک AHP که روشی منعطف، قوی و ساده برای تصمیم‌گیری در شرایطی که معیارهای تصمیم‌گیری متضاد یکدیگرند استفاده شده است. با توجه به ماهیت مکانی بودن معیارهای مؤثر و تعدد آنها، استفاده از قابلیت‌های فراوان سیستم اطلاعات جغرافیایی در تصمیم‌گیری‌ها ضروری است. نتایج حاصل از تحلیل AHP در محیط GIS نشان می‌دهد که با استقرار 4 ایستگاه آتش‌نشانی جدید در مکان‌هایی که دارای تناسب زیاد و خیلی زیاد می‌باشند و فعالیت این ایستگاه‌ها در کنار 4 ایستگاه فعلی، قابلیت تحت پوشش قرار دادن کل سطح شهر سمنان در محدوده عملکرد 3 دقیقه مطابق با استانداردها وجود دارد.

بررسی‌های انجام شده و مطالعه موردی نشان می‌دهد که استفاده از تکنیک AHP برای مکان‌یابی بهینه ایستگاه‌های آتش‌نشانی بسیار مفید است و می‌توان این مدل را در موارد امداد رسانی دیگر از جمله خدمات بیمارستانی و اورژانس نیز به کار برد. هرچند برای دست‌یابی به نتایج واقعی‌تر در تحلیل شبکه و تعیین محدوده عملکرد ایستگاه‌های آتش‌نشانی فعلی، زمان عبور از هر معبر با در نظر گرفتن تأخیر ناشی از وجود سرعت‌گیر در معبر و نیز تأخیر ناشی از چراغ‌های راهنمایی و رانندگی که ترافیک شدید دارند، محاسبه شده است، ولی برای دست‌یابی به نتایج دقیق‌تر می‌توان تأخیر ناشی از عبور از دوربرگردان‌ها و نیز تأخیر ناشی از گردش به راست و گردش به چپ را در تقاطع‌هایی که الزاماً با کاهش سرعت وسیله نقلیه همراه است در نظر گرفت که البته نیاز به مدل‌سازی دقیق‌تر زمان عبور از هر یک دارد.

منابع

- ایمانی جاجرمی، حسین، (1375)، مطالعه‌ای در باب ایجاد سازمان‌های مرکزی آتش‌نشانی کشور، وزارت کشور، تهران، انتشارات مرکز مطالعات برنامه‌ریزی شهری.
- پرهیزگار، اکبر، (1376)، ارائه الگوی مناسب مکان‌گزینی مراکز خدمات شهری با تحقیق در مدل‌ها و GIS شهری، پایان‌نامه دکتری، دانشگاه تربیت مدرس.
- پرهیزگار، اکبر، (1383)، ارائه مدل و ضوابط مکان‌گزینی ایستگاه‌های آتش‌نشانی، جلد سوم، مرکز پژوهش‌های شهری و روستایی معاونت پژوهشی دانشگاه تربیت مدرس، تهران، سازمان شهرداری‌ها و دهیاری‌های کشور.
- پوراسکندری، عباس، (1380)، سنجش توزیع فضایی سوانح آتش‌سوزی در شهر با استفاده از GIS، مطالعه موردی شهر کرج، دانشگاه تربیت مدرس، گروه جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری.
- پورمعلم، ناصر و محمد کامرانی و امین محمدی، (1390)، مکان‌یابی بهینه ایستگاه‌های آتش‌نشانی، یازدهمین کنفرانس بین‌المللی مهندسی حمل و نقل و ترافیک، تهران.
- خدادادی، راحله و یوسفعلی زیاری و سیدجمال‌الدین دریاباری، (1389)، بررسی و تحلیل و پیش‌بینی تغییرات جمعیت و اشتغال با استفاده از مدل طولی و عرضی ایزارد و تغییر سهم ضریب مکانی (مطالعه موردی شهرستان سمنان)، فصلنامه جغرافیای انسانی، سال دوم، شماره چهارم.
- رامشت، محمدحسین و علیرضا عرب عامری، (1390)، الویت‌بندی نواحی شهری به منظور تأسیس ایستگاه‌های آتش‌نشانی با استفاده از دو روش تخصیص خطی و TOPSIS و با کمک تکنیک GIS (مطالعه موردی: شهر ماکو)، مجله برنامه‌ریزی فضایی، سال اول، شماره اول.
- زبردست، اسفندیار، (1380)، کاربرد فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی در برنامه‌ریزی شهری و منطقه‌ای، مجله هنرهای زیبا، شماره دهم.

سازمان نقشه‌برداری کشور، (1387)، دستورالعمل آماده‌سازی داده‌های مکانی مقیاس 1:2000 برای تشکیل پایگاه داده توپوگرافی، انتشارات سازمان نقشه‌برداری کشور. سعیدی خواه، عبدالصمد، (1383)، بررسی تأسیسات و تجهیزات شهری (پست، مخابرات، آتش‌نشانی) و مکان‌یابی آن‌ها در بافت قدیم و جدید شهر مشهد، تیرماه، پایان‌نامه کارشناسی ارشد جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشگاه سیستان و بلوچستان.

عظیمی حسینی، محمد و رضوانه مؤمنی، (1390)، کاربرد GIS در مکان‌یابی، تهران، انتشارات مهرگان قلم.

فروتن مقدم، متین و محمدحسن وحیدنیا و امین مهرمنش، (1388)، تعیین مکان‌های بهینه ایستگاه‌های آتش‌نشانی با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی، همایش ملی ژئوماتیک سازمان نقشه‌برداری کشور، تهران.

قدسی پور، سیدحسن، (1379)، مباحثی در تصمیم‌گیری چندمعیاره؛ فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی، انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر.

قانون تشکیل سازمان مدیریت بحران کشور مصوب، (1387).

کاووسی، اسماعیل، (1389)، مدیریت بحران، چاپ اول، تهران: انتشارات پژوهشکده تحقیقات استراتژیک مجمع تشخیص مصلحت نظام.

مرکز آمار ایران، (1391)، سالنامه آماری استان سمنان - فصل دوم (جمعیت)، انتشارات مرکز آمار ایران.

ملک، محمدرضا، فرشاد همّتی، نادر جاهدی و مهدی فرداد، (1390)، مکان‌یابی بهینه ایستگاه‌های آتش‌نشانی شهر زنجان با استفاده از تحلیل شبکه، منطق فازی و GIS، همایش ملی ژئوماتیک سازمان نقشه‌برداری کشور، تهران.

مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، (1380)، استاندارد شماره 6430: آیین کار ضوابط مکان‌یابی ایستگاه‌های آتش‌نشانی شهری، انتشارات مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران.

- مؤمنی، مصطفی، (1377)، پایگاه علم جغرافیا در ایران، جلد اول، پایگاه جغرافیای شهری در ایران، تهران، انتشارات فرهنگستان علوم جمهوری اسلامی ایران.
- نظری عدلی، سعید و محمدجواد کوهساری، (1386)، تلفیق منطق بولین و مدل تحلیل سلسله مراتبی (AHP) با استفاده از GIS، نشریه شهرنگار، شماره چهارم، تهران.
- هادیانی، زهره و شمس‌اله کاظمی‌راد، (1389)، مکان‌یابی ایستگاه‌های آتش‌نشانی با استفاده از روش تحلیل شبکه و مدل AHP در محیط GIS مطالعه موردی: شهر قم، مجله جغرافیا و توسعه، شماره هفدهم.
- یغفوری، حسین، صمد فتوحی و جاسم بهشتی‌فر، (1392)، کاربرد سامانه اطلاعات جغرافیایی در تجزیه و تحلیل توزیع فضایی و مکان‌یابی داروخانه شهر جاجرچم، مجله پژوهش و برنامه‌ریزی شهری، سال 4 شماره 14 صص 20-1.
- Evans, D. (2004). Investigation of Active Fire Protective Systems Project 4. Building and Fire Research Laboratory, National Institute of Standards and Technology. U.S. Department of Commerce.
- Badri, M. A., Mortagy, A. K., & Alsayed, C. A. (1998). A multi-objective model for locating fire stations, European Journal of Operational Research, volume 110, part 18, pp. 243-260.
- Chen, Ch., & Ren, A. (2003). Optimization of fire station locations using computer, JT singhua Univ (Sci & Tech), volume 43, part 10, pp. 1390-1393.
- Yan Yu, Q. G., & Xinming, T. (2008). Gradual optimization of urban fire station locations based on geographical network, available at: <http://isprs-wgii-1.casm.ac.cn/source>, Access time July 2008.
- Yang, L., Jones, B., & Yang Shuang-Hua. (2007). A fuzzy multi-objective programming for optimization of fire station locations through genetic algorithms, European Journal of Operational Research, volume 181, pp. 903-915.