سیستم های فازی و کاربردها
شاپای چاپی: ۲۷۱۷ـ۴۴۰۹
سال هفتم، شماره اول (بهار و تابستان ۱۴۰۳)
شاپای الکترونیکی: ۲۷۱۷ـ۳۹۸۴
صص. ۱ تا ۲۳
DOI:10.22034/JFSA.2024.447024.1197

پیش‌بینی مدت زمان رسیدن آتش‌نشانان به محل حادثه با بهره‌گیری از روش رگرسیون خطی فازی (مطالعه موردی: سازمان آتش‌نشانی مشهد)

آیلین پاکزاد*، لیلا فضلی

گروه مهندسی صنایع، دانشگاه کوثر بجنورد، بجنورد، ایران
گروه مهندسی صنایع، دانشگاه اراک، اراک، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۲/۱۵ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۳/۲۱

نوع مقاله: علمی‌ـ پژوهشی

چکیده. ایستگاه‌های آتش‌نشانی از جمله مراکز مهم و حیاتی خدمت‌رسانی در شهرها هستند که نقش مهمی در تأمین ایمنی افراد، دارایی‌ها و محیط‌زیست دارند. بدیهی است خدمت‌رسانی به‌موقع آتش‌نشانان که مستلزم تخصیص صحیح ایستگاه آتش‌نشانی به محل حادثه می‌باشد، می‌تواند کاهش مطلوبی در صدمات جانی و مالی ناشی از حوادث ایجاد نماید. عوامل متعددی خدمت‌رسانی به‌موقع را تحت تأثیر قرار می‌دهند که تحلیل همه‌جانبه‌ی آنها به‌وسیله روش‌های سنتی به‌دلیل حجم زیاد داده‌ها امکان‌پذیر نیست. از طرفی عدم توجه به این عوامل می‌تواند نتایج و تصمیم‌گیری‌های نادرستی را در پی داشته باشد؛ لذا استفاده از ابزار تحلیل رگرسیون که بتواند با حجم وسیعی از داده‌ها کار نماید، می‌تواند در دست‌یابی به نتایج و تصمیم‌گیری‌های صحیح مفید واقع گردد. از این‌رو این پژوهش برای اولین بار به توسعه مدل پیش‌بینی مدت زمان رسیدن آتش‌نشانان به محل حادثه با استفاده از روش رگرسیون خطی فازی و بکارگیری آن در تخصیص مناسب‌ترین ایستگاه آتش‌نشانی به محل حادثه با استفاده از اطلاعات سازمان آتش‌نشانی (ادامه دارد)

2010 *Mathematics Subject Classification.* 90C29, 90C70
* Corresponding author
E-mails: a.pakzad@kub.ac.ir and leyla.fazli@yahoo.com.
عبارات و کلمات کلیدی. پیش‌بینی، ایستگاه آتش‌نشانی، تخصیص، مدل رگرسیون خطی فازی.

© ۱۴۰۳ (انجمن سیستم‌های فازی)

مشهد می‌پردازد. نتایج نشان می‌دهد که مدل رگرسیون خطی فازی با توجه به معیارهای ضریب‌تعیین، میانگین مربعات خطا و میانگین مربعات خطای پیش‌بینی از کارایی بهتری نسبت به سایر مدل‌های رگرسیون نظیر: خطی چندگانه، ریج، ماشین بردار پشتیبان و درختی برخوردار می‌باشد.

۱. مقدمه و بیان مسئله

شهر پایگاه اصلی تمدن انسانی و تبلور عینی تکامل ذهنی و فنّاورانه بشر است. هرجا که تجمع انسانی بوده است مشکلاتی نیز ناشی از آن تجمع پدید آمده است. از سوی دیگر دارایی‌ها و سرمایه‌های ملی بسیاری برای بهره‌مندی تجمعات انسانی از آن‌ها در شهرها وجود دارند که حفظ و نگهداری آن‌ها ضروری است. زندگی شهری در کنار آسایش و رفاهی که برای شهرنشینان فراهم آورده است در درون خود خطرات و حوادث بسیاری دارد که جان و مال افراد را تهدید می‌نماید. مقابله با این خطرات از دیرباز در اندیشه و عمل بشر بوده و او همیشه تلاش داشته تا در حد امکان این مسائل را از زندگی خویش دور سازد [۲۳]. از نظر استاندارد جهانی (استانداردهای شهرسازی، زیرساخت‌های شهری و رعایت حریم‌های آن، ضوابط و استانداردهای مصون‌سازی شهرها و غیره) به علل مختلف شهرهای ایران در مقابل حوادث طبیعی و انسان‌ساخت، شهرهای ناامن تلقی می‌شوند. نبود ضابطه در طرح‌های توسعه شهری، در هم‌تندیگی بافت سنتی و جدید، نبود پیش‌بینی‌های شهرسازی برای مواقع خطر، مشکلات معابر شهری، تهدیدهای پنهان شبکه‌ها، زیرساخت‌های نادرست در شهرها، توسعه بی‌رویه و بی‌برنامه حاشیه شهرها و تراکم در نواحی مرکزی و وجود عوامل خطرزا در محیط‌های شهری منجر به مشکلات ساختاری گردیده‌اند که بحث‌ها و برنامه‌ریزی‌ها را در مورد حفاظت شهرها در مقابل بلایا و حوادث مردد می‌سازند [۳۱].

ایستگاه‌های آتش‌نشانی ازجمله عناصر و کاربری‌های خدماتی ـ اورژانسی شهرها می‌باشند که نقش مهم و حیاتی در حفاظت از جان و مال مردم در برابر حوادث مختلف، بالأخص آتش‌سوزی‌ها دارند. ایمنی در شهر در برابر خطرات مختلف و تضمین امنیت جانی و مالی شهروندان به عهده این عنصر مهم شهری می‌باشد. بنابراین از بین کاربری‌ها و خدمات موجود در شهر، مدیریت، ساماندهی و لجستیک ایستگاه‌های آتش‌نشانی به دلیل اهمیت موضوع ایمنی در شهرها و ارائه تمهیداتی در زمینه پیشگیری و مقابله با حوادث از اهمیت قابل‌توجهی برخوردار است. این امر در شهرهایی با بافت متراکم و شبکه‌های دسترسی نامناسب حساسیت بیشتری

دارد؛ زیرا لازم است تا در مواقع اضطراری و وقوع حوادث در این بافت‌ها، عملیات امدادرسانی به ساکنین به‌موقع انجام گیرد [۲۳].

خدمت‌رسانی مناسب و به‌موقع ایستگاه‌های آتش‌نشانی به‌عنوان یکی از عناصر اصلی در مدیریت بحران مطرح می‌باشد. از آنجایی که در رسیدگی به حوادث حتی ثانیه‌ها می‌تواند سرنوشت‌ساز باشد؛ پاسخگویی بهینه در کمترین زمان و اثربخش‌ترین نحو ممکن می‌تواند کاهش مطلوبی در صدمات جانی و مالی ناشی از حوادث ایجاد نماید. از اینرو در این پژوهش سعی می‌گردد یک چارچوب سیستماتیک و جامع جهت پیش‌بینی مدت زمان رسیدن آتش‌نشانان به محل حادثه از طریق بکارگیری مدل رگرسیون خطی فازی[1] ارائه گردد. شایان ذکر است، مدل پیش‌بینی پیشنهادی می‌تواند به‌عنوان ابزاری مفید در جهت افزایش سرعت امدادرسانی و تعیین مناسب‌ترین ایستگاه آتش‌نشانی جهت اعزام به محل حادثه بکار گرفته شود؛ بدین‌گونه که ابتدا با در نظر گرفتن ایستگاه‌های مختلف آتش‌نشانی، مدت زمان رسیدن به محل حادثه را پیش‌بینی نموده و سپس ایستگاهی را به محل حادثه اختصاص می‌دهد که دارای کمترین حداکثر زمان پیش‌بینی شده برای رسیدن به محل حادثه باشد.

در ادامه این پژوهش، ابتدا به مرور مطالعات پیشین پرداخته می‌شود. سپس در بخش سوم، روش‌شناسی پژوهش و روش رگرسیون خطی فازی تشریح می‌گردد. در بخش چهارم، یافته‌های پژوهش، نتایج پیاده‌سازی و اعتبارسنجی رویکرد پیشنهادی ارائه می‌شود. در بخش پایانی نتیجه‌گیری و پیشنهادهای آتی ارائه می‌گردد.

۲. پیشینه پژوهش

همه ساله افراد بسیاری بر اثر سوانح مختلف جان خود را از دست می‌دهند. از جمله دلایل این امر می‌توان به پراکندگی نامناسب ایستگاه‌های آتش‌نشانی، قرار گرفتن آنها در مناطق پرترافیك و فقدان پاسخ‌گویی به زمان استاندارد در امدادرسانی اشاره نمود. بنابراین اگر برنامه‌ریزی مناسبی برای مقابله با حوادث غیرمترقبه انجام نگیرد؛ هرج‌ومرج و اتلاف وقت، هزینه و امکانات به وجود می‌آید و در این صورت، ممکن است جان افراد بسیاری به خطر بیفتد؛ درحالی‌که با إتخاذ تدابیر مناسب مانند امدادرسانی به‌موقع می‌توان از صدمات مالی و جانی جلوگیری به عمل آورد. همچنین حوادث ناگهانی و تشکیل بحران‌ها عموماً غیرقابل‌پیش‌بینی هستند و تصمیم‌گیری در زمان بحران تحت شرایط وخیم و زمان کوتاه باید صورت گیرد که این عوامل انسان را از انتخاب صحیح دور می‌نماید. در حقیقت با توجه به محدودیت منابع

[1] Fuzzy linear regression method

و تجهیزات و از سوی دیگر ضرورت سرعت در خدمت‌رسانی، تخصیص مناسب‌ترین ایستگاه آتش‌نشانی به محل حادثه حائز اهمیت می‌باشد.

ایستگاه‌های آتش‌نشانی به‌عنوان بخشی از خدمات عمومی در مناطق شهری در مواقع بروز حوادث، نقش محوری در فعالیت‌های حفاظتی و نجات جان و اموال مردم ایفا می‌نمایند [۲۱]. زمان پاسخ‌گویی آتش‌نشانان، مدت زمانی است که نیروهای آتش‌نشانی جهت رسیدن به محل حادثه پس از دریافت اطلاعات حادثه لازم دارند [۱۸]. در سال ۲۰۱۰، چالاندز[1] [۴] دریافت که پاسخ سریع و به‌موقع به تماس‌های خدمات اضطراری تأثیر قابل‌توجهی بر آسیب‌های سازه‌ای دارد. بر اساس تحقیقات وی، همبستگی مثبتی بین زمان پاسخ و میزان آسیب سازه تشخیص داده شد. به‌عبارت‌دیگر هزینه آسیب وارده به سازه به میزان تقریباً سه هزار دلار آمریکا به ازای هر دقیقه آتش‌سوزی افزایش می‌یابد [۲۹]. در پژوهشی دیگر، سردکویست و هولمستد[2] دریافتند که زمان پاسخ کوتاه منجر به آتش‌سوزی‌های کوچکتری می‌شود. بر این اساس، خدمات آتش‌نشانی در صورتی ارزشمند است که به‌موقع انجام گردد که باعث کاهش خسارات جانی و مالی شود [۱۷]. چن و همکاران[3]، به‌منظور بهبود توانایی نجات اضطراری ایستگاه‌های آتش‌نشانی، یک سیستم ارزیابی را با شناسایی عوامل تأثیرگذار بر توانایی نجات اضطراری ایستگاه‌های آتش‌نشانی ایجاد نمودند. این سیستم شامل سه سطح می‌باشد. توانایی نجات اضطراری در سطح هدف قرار دارد که این سطح به سطوح معیار و زیر معیار تقسیم گردیده است. شاخص‌های سطح معیار به پنج جنبه شامل کارکنان، تجهیزات، محیط‌زیست، مدیریت و ورودی مالی تفکیک شده‌اند و سطح زیر معیار نیز شامل بیست و پنج شاخص می‌باشد که از تجزیه و تحلیل شاخص‌های درگیر در سطح معیار به‌دست آمده‌اند. به‌عنوان مثال، شاخص‌های مربوط به معیار کارکنان شامل وجود کارکنان کافی، توانایی واکنش اضطراری، مهارت عملیاتی کار با تجهیزات، وضعیت فیزیکی، شرایط روانی، دانش آتش‌نشانی، توانایی فرماندهی عملیات آتش‌نشانی می‌باشند. با توجه به ماهیت ابهام و عدم قطعیت ذاتی موجود در این شاخص‌ها و فرآیند ارزیابی که توسط نظر و تصمیم ذهنی خبرگان بوده و به‌صورت کلمات زبانی مانند خوب، استاندارد، متوسط، بد و بدتر بیان می‌شود، از روش ارزیابی جامع فازی[4] که بر پایه نظریه فازی بنا نهاده شده است، به‌منظور در نظر گرفتن این عدم قطعیت‌ها استفاده شده است. آن‌ها همچنین برای بررسی اثربخشی سیستم ارزیابی ایجاد شده، یک ایستگاه آتش‌نشانی در شهر

[1] Challands
[2] Särdqvist and Holmstedt
[3] Chen et al.
[4] Fuzzy Comprehensive Evaluation (FCE)

ژنگ ژو[1] (چین) را به‌عنوان نمونه ارزیابی نمودند [۵]. سازمان بین‌المللی استاندارد نیز زمان پاسخ‌گویی را به‌عنوان یک شاخص کلیدی ارزیابی عملکرد خدمات اضطراری پذیرفته است و معیاری قابل مقایسه و قابل تأیید از عملکرد سیستم‌های خدمات اضطراری ارائه می‌نماید. از این‌رو مطالعات متعددی باهدف شناسایی عوامل تأثیرگذار در زمان رسیدن (زمان پاسخ‌گویی) نیروهای آتش‌نشانی و ارزیابی اهمیت نسبی آن‌ها انجام شده است. به‌عنوان مثال، کالسار و واکر[2] رابطه بین زمان و مسافت دو هزار حادثه در شهر نیویورک[3] را در ساعات مختلف روز مطالعه نمودند. این مطالعه نشان داد که برای مسافت‌های کوتاه، زمان سفر با جذر مسافت افزایش می‌یابد و برای مسافت‌های طولانی، مدت زمان سفر به‌صورت خطی افزایش می‌یابد. این مطالعه همچنین به دو نتیجه مهم دست یافت؛ زمان پاسخ‌گویی متفاوتی در زمان‌های مختلف روز و نقاط مختلف شهر وجود دارد؛ اما هر دوی آنها به دلیل کوچک بودن در برنامه‌ریزی ناچیز هستند [۱۵]. یافته‌های مطالعات هندی و همکاران[4] در شارلوت[5] (کارولینای شمالی) نشان داد که زمان پاسخ‌گویی در مناطقی با کاهش اتصالات خیابانی و شبکه‌های خیابانی با تراکم بالا به‌طور قابل‌توجهی بیشتر می‌باشد [۱۰]. یانگ و همکاران[6] از زمان پاسخ‌گویی چهار تا پنج دقیقه برای آتش‌سوزی‌های پرخطر و ده تا بیست دقیقه برای آتش‌سوزی‌های کم‌خطر، در منطقه دربیشایر[7] (بریتانیا) استفاده نموده‌اند [۳۳]. ماری و تانگ[8] ادعا می‌نمایند که زمان پاسخ‌گویی شش دقیقه‌ای (یک دقیقه جهت رسیدگی به تماس، یک دقیقه جهت آمادگی و خروج از ایستگاه و چهار دقیقه جهت سفر) استاندارد می‌باشد [۲۰]. مطالعات پارک و همکاران[9] در سال ۲۰۱۶ در ساسکاتون[10] (کانادا) نشان داد که زیرساخت‌های فیزیکی نظیر گذرگاه‌هایی از نوع بزرگراه–راه‌آهن می‌توانند منجر به تأخیر قابل توجه در سرویس‌دهی به حادثه‌دیدگان و افزایش زمان پاسخ‌گویی تا بیست دقیقه گردند [۲۲].

از سوی دیگر، محل استقرار ایستگاه آتش‌نشانی یک عامل مهم در قابلیت و توانایی آن ایستگاه در مقابله با حوادث و مدیریت بحران در شهرها و همچنین حفظ استانداردهای خدمت رسانی است. انتخاب مکان مناسب برای ایستگاه آتش‌نشانی منجر به کاهش زمان پاسخ‌گویی

[1] Zhengzhou
[2] Kolesar and Walker
[3] Newyork
[4] Handy et al.
[5] Charlotte
[6] Yang et al.
[7] Derbyshire
[8] Murray and Tong
[9] Park et al.
[10] Saskatoon

در هنگام وقوع حوادث می‌گردد. مطالعات متعددی در حوزه مکان‌یابی بهینه ایستگاه‌های آتش‌نشانی در کشورهای مختلف ازجمله سنگاپور، اندونزی، ترکیه و چین انجام گردیده است که بر روی زمان پاسخ‌گویی پنج دقیقه یا کمتر به توافق رسیده‌اند [۸، ۱۲، ۱۳، ۳۴]. شورورزی و همکاران، در حل مسئله مکان‌یابی ایستگاه‌های آتش‌نشانی به مقایسه چند الگوریتم فراابتکاری پرداختند و اعلام نمودند که الگوریتم جستجوی ممنوعه[۱] جواب‌هایی با دقت و کیفیت بالاتری را در شرایطی بدون محدودیت زمانی نسبت به الگوریتم‌های ژنتیک[۲] و شبیه‌سازی تبرید[۳] ایجاد خواهد کرد [۲۸]. به‌منظور کمینه‌سازی حجم کار سالانه منابع یک ایستگاه آتش‌نشانی خاص و جلوگیری از شکست سیستم آتش‌سوزی اضطراری، مارتین‌ـ‌فرناندز و همکاران[۴] به حل مسئله مکان‌یابی بهینه ایستگاه‌های آتش‌نشانی در ناحیه مادرید (اسپانیا) با استفاده از یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی و SAA مبتنی سیستم اطلاعات جغرافیایی[۵] پرداختند [۱۹]. شیری و شمس به تعیین عوامل مؤثر بر مکان‌یابی ایستگاه‌های آتش‌نشانی در شهر همدان پرداختند و دو گروه عوامل بازدارنده نظیر: پتانسیل خطر، شعاع ترافیک، کاربری اراضی و شعاع عملکرد مفید و عوامل فرصت‌ساز نظیر: دسترسی، جهت توسعه شهری، جمعیت و اندازه قطعه زمین را ارائه کردند [۲۷]. همچنین تحقیقات مشابه بسیاری به مکان‌یابی ایستگاه‌های آتش‌نشانی با استفاده از GIS پرداخته‌اند. در پژوهش‌های صورت گرفته توسط حاصل‌طلب و همکاران، مکان‌های بهینه ایستگاه‌های آتش‌نشانی در منطقه شش شهرداری تهران با استفاده از ترکیب روش‌های فرآیند تحلیل سلسله مراتبی[۶]، تاپسیس[۷] و GIS تعیین گردید [۱۱]. پوررمضان و جوان مطالعه‌ای را با هدف تحلیل وضع موجود خدمات ایمنی و امداد و نجات در شهر رشت و ارائه مکان‌های بهینه ایستگاه‌های آتش‌نشانی با استفاده از GIS انجام دادند. نتایج حاکی از آن بود که این شهر با کمبود ده ایستگاه آتش‌نشانی روبرو می‌باشد و با توجه به بافت فرسوده شهر، احداث ایستگاه‌های جدید می‌بایست در اسرع وقت انجام گیرد [۲۴]. خرقانی و همکاران، مکان بهینه احداث ایستگاه‌های آتش‌نشانی در شهر مشهد را با استفاده از روش ترکیبی متشکل از تکنیک AHP، الگوریتم‌های فراابتکاری GA و ازدحام ذرات[۸] و GIS تعیین نمودند

[1] Tabu search algorithm (TSA)
[2] Genetic algorithm (GA)
[3] Simulated annealing algorithm (SAA)
[4] Martín-Fernández et al.
[5] Geographic Information Systems (GIS)
[6] Analytical Hierarchy process (AHP)
[7] Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS)
[8] Particle swarm optimization algorithm (PSOA)

[۱۴]. دی‌برات و همکاران[1]، جهت مکان‌یابی ایستگاه‌های آتش‌نشانی از تلفیق روش‌های GIS و AHP بهره گرفتند [۶]. شاهپروری و همکاران در تحقیقاتشان ابتدا توزیع جغرافیایی ایستگاه‌های آتش‌نشانی موجود در شهر ملبورن (استرالیا) را بررسی نمودند. سپس با استفاده از GIS و مدل‌های مکان‌یابی ـ تخصیص، به تعیین مکان‌های بهینه ایستگاه‌های آتش‌نشانی جدید و بازسازی مکان‌های موجود پرداختند. نتایج نشان داد که ایستگاه‌های آتش‌نشانی موجود تنها قادر به پوشش هشتاد و یک درصد حوادث آتش‌سوزی در عرض پنج دقیقه می‌باشند؛ درصورتی‌که بیست و دو دستگاه جدید در مکان‌های معرفی‌شده ایجاد گردد؛ میزان پوشش به نود و پنج درصد افزایش خواهد یافت [۲۶]. نیم‌بیلی و اردن[2]، یک رویکرد چند معیاره فازی مبتنی بر GIS را جهت انتخاب مکان بهینه ایستگاه‌های آتش‌نشانی در شهر استانبول ارائه نمودند [۲۱]. جهت حل مسئله مکان‌یابی ـ تخصیص ایستگاه‌های آتش‌نشانی، بلوری و همکاران در سال ۲۰۱۸، از GA، SAA و GIS استفاده کردند [۲]. اودن و ونیچای[3] نیز یک رویکرد ترکیبی متشکل از GIS، روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره[4] و الگوریتم‌های بهینه‌سازی ریاضی را برای حل این مسئله در سیستم پیچیده شهری پیشنهاد نمودند [۳۲]. برای مسئله مکان‌یابی ایستگاه‌های آتش‌نشانی و تخصیص امکانات به ایستگاه‌ها در دوره‌های مختلف و شرایط اضطرار (جنگ‌ها و بلایای طبیعی)، حاجی‌پور و همکاران یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی جدید که با استفاده از الگوریتم‌های فراابتکاری آن‌را حل نمودند، ارائه کردند. نتایج حاکی از آن بود که در حل این مسئله، PSOA از نظر کیفیت جواب و زمان محاسباتی بهتر از الگوریتم کلونی زنبورعسل مصنوعی[5] عمل می‌نماید [۹]. در مطالعه‌ای دیگر، بلوری و همکاران در سال ۱۳۹۹، جهت حل مسئله تخصیص ایستگاه‌های آتش‌نشانی منطقه ۲۲ تهران از رویکرد ترکیبی مدل میانه تخصیص برداری در محیط GIS استفاده نمودند. یافته‌های پژوهش نشان داد که تعداد ایستگاه‌های آتش‌نشانی موجود جهت خدمت‌دهی در زمان استاندارد پنج دقیقه، مناسب نبوده و لازم است دو ایستگاه آتش‌نشانی دیگر در منطقه ایجاد گردد [۳]. در سال ۲۰۲۰، دو و همکاران[6] یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی به‌منظور تخصیص بهینه و زمان‌بندی منابع اضطراری برای نجات قربانیان و جلوگیری از گسترش حادثه پیشنهاد نمودند [۷].

---

[1] D'brot et al.
[2] Nyimbili and Erden
[3] Uddin and Warnitchai
[4] Multi-criteria decision making (MCDM)
[5] Artificial bee colony algorithm (ABCA)
[6] Du et al.

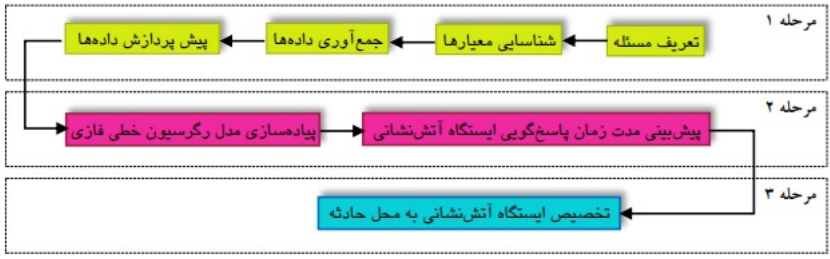
با توجه به مطالعات صورت گرفته در ادبیات موضوع مورد بحث، بیشتر تمرکز بر ارائه روش‌هایی جهت مکان‌یابی و تخصیص ایستگاه‌های آتش‌نشانی از طریق حل یک مسئله بهینه‌سازی با الگوریتم‌های فراابتکاری می‌باشد و در هیچ یک از پژوهش‌های بررسی شده، پیش‌بینی مدت زمان رسیدن ایستگاه‌های آتش‌نشانی به محل حادثه (زمان پاسخ‌گویی ایستگاه‌های آتش‌نشانی) صورت نپذیرفته است. از این‌رو در این پژوهش برآنیم ضمن بررسی سودمندی کاربرد روش رگرسیون خطی فازی در پیش‌بینی زمان پاسخگویی آتش‌نشانان و شناسایی عوامل موثر در آن، دقت تخمین این روش را با سایر مدل‌های رگرسیون همچون: خطی چندگانه[1]، ریج[2]، ماشین بردار پشتیبان[3] و درختی[4] نیز مورد ارزیابی قرار دهیم. همچنین براساس مدل پیش‌بینی به‌دست آمده، مناسب‌ترین ایستگاه آتش‌نشانی جهت تخصیص به محل حادثه را معرفی می‌نماییم.

۳. روش‌شناسی پژوهش

پژوهش حاضر یک پژوهش کاربردی می‌باشد که هدف آن پیش‌بینی مدت‌زمان پاسخ‌گویی ایستگاه‌های آتش‌نشانی و تخصیص مناسب‌ترین ایستگاه آتش‌نشانی به محل حادثه، جهت دست‌یابی به خدمت‌رسانی بهینه است. از این‌رو یک چارچوب پیش‌بینی که به‌صورت مرحله به مرحله در شکل ۱ نمایش داده شده است، پیشنهاد می‌گردد. همان‌طور که در شکل ۱ ملاحظه می‌نمایید، در مرحله اول بر اساس تعریف مسئله که پیش‌بینی مدت زمان پاسخ‌گویی ایستگاه‌های آتش‌نشانی و تخصیص مناسب‌ترین ایستگاه به محل حادثه است، متغیرهای تأثیرگذار در پیش‌بینی شناسایی و داده‌های خام جمع‌آوری و پیش‌پردازش می‌شوند. در مرحله دوم، با ورود داده‌های پیش‌پردازش شده به مدل رگرسیون خطی فازی مدت‌زمان پاسخ‌گویی ایستگاه‌های آتش‌نشانی پیش‌بینی می‌گردد. در مرحله سوم، با توجه به مدت زمان‌های پاسخ‌گویی پیش‌بینی شده در مرحله دوم، تخصیص ایستگاه آتش‌نشانی به محل حادثه انجام می‌گردد.

۱.۳. مدل رگرسیون خطی فازی. رگرسیون خطی با ضرایب فازی اولین بار توسط تاناکا و همکاران[5] معرفی شد [۳۰]. رگرسیون خطی کلاسیک و رگرسیون خطی فازی بر اساس دو دیدگاه متفاوت گسترش‌یافته‌اند. اگرچه مدل رگرسیون خطی کلاسیک ابزاری کاربردی در مدل‌سازی ارتباط بین متغیرها است؛ اما در بعضی مواقع به دلیل وجود مشکلاتی نظیر: تعداد

[1] Multiple linear regression
[2] Ridge regression
[3] Support vector machine regression
[4] Tree regression
[5] Tanaka et al.



شکل ۱: رویکرد پیشنهادی پژوهش

کم یا نامناسب بودن مشاهدات، مشکلات تعریف تابع توزیع مناسب، ابهام در رابطه‌ی بین متغیرهای مستقل و وابسته، ابهام در وقوع یا درجه‌ی وقوع رویدادها و بی‌دقتی و خطا با فرض خطی بودن تابع، ساختن مدل با مشکلاتی مواجه می‌گردد. بنابراین این شرایط سبب می‌گردد تا از رگرسیون فازی بهره جوییم.

در رگرسیون خطی با ضرایب فازی، فرض می‌شود که ورودی‌ها داده‌های غیرفازی هستند و ابهام در مدل و ضرایب رگرسیون است؛ درنتیجه، خروجی‌ها داده‌های فازی می‌باشند. فرض کنیم Y متغیر وابسته و X_1، X_2، $\cdots$ و X_p متغیرهای مستقل باشند .مدل پایه رگرسیون خطی فازی به‌صورت رابطه (۱.۳) تعریف می‌گردد.

$$\tilde{Y}=\tilde{A}_0+\tilde{A}_1X_1+\tilde{A}_2X_2+\ldots+\tilde{A}_pX_p \tag{۱.۳}$$

هدف، برآورد ضرایب $i = 0,\cdots,P$، $\tilde{A}_i$ به‌گونه‌ای که بهترین برازش را بتوان برای داده‌ها به‌دست آورد، می‌باشد. همچنین در مدل پایه رگرسیون خطی فازی تاناکا و همکاران فرض گردیده است که ضرایب $\tilde{A}_i$ به‌صورت اعداد فازی مثلثی متقارن (a_i, s_i) هستند؛ به‌طوری‌که a_i پارامتر میانه و s_i پارامتر گستره‌ی عددی فازی است. تابع عضویت ضرایب فازی $\tilde{A}_i$ به‌صورت رابطه (۲.۳) می‌باشد.

$$\mu_{\tilde{A}_i}(x) = \begin{cases} 1 - \frac{|a_i - x|}{s_i} & a_i - s_i \le x \le a_i + s_i \\ 0 & otherwise \end{cases} \tag{۲.۳}$$

بنابراین رابطه (۱.۳) را می‌توان به‌صورت رابطه (۳.۳) نشان داد.

$$\tilde{Y}=(a_۰,s_۰)+(a_۱,s_۱)\,X_۱+\ldots+(a_P,s_P)\,X_P \qquad (۳.۳)$$

با مشخص شدن تابع عضویت ضرایب فازی مدل و به‌کارگیری اصل گسترش، تابع عضویت عدد فازی خروجی مدل رگرسیون به‌صورت رابطه (۴.۳) می‌باشد.

$$\mu_{\tilde{Y}_j}(Y_j)=\begin{cases}۱ & ,X_i=۰,Y=۰\\ ۱-\frac{\left|Y-\left(a_۰+\sum_{i=۱}^{p}a_iX_i\right)\right|}{s_۰+\sum_{i=۱}^{p}s_i|X_i|}, & X_i\neq ۰\\ ۰ & ,X_i=۰,Y\neq ۰\end{cases} \qquad (۴.۳)$$

فرض کنید تعداد مشاهدات در دسترس m باشد، در این صورت رابطه (۳.۳) را می‌توان به‌صورت رابطه (۵.۳) نشان داد.

$$\tilde{Y}_j=(a_۰,s_۰)+(a_۱,s_۱)\,X_{۱j}+\ldots+(a_p,s_p)\,X_{Pj}, j=۱,\ldots,m \qquad (۵.۳)$$

تاناکا و همکاران [۳۰] روش رگرسیون خطی فازی بر مبنای کمینه کردن ابهام کل مدل (مجموع پهناهای مقادیر برآورد شده متغیر وابسته)، تحت شرایطی که حداقل درجه عضویت مقدار مشاهده شده متغیر وابسته Y_j در برآورد فازی آن h باشد را ارائه نمودند. به‌عبارتی دیگر، مشاهده Y_j با درجه‌ی عضویت حداقل h متعلق به $\mu_{\tilde{Y}}(Y)$ (تابع عضویت عدد فازی خروجی) مطابق رابطه (۶.۳) باشد. بنابراین، داریم [۲۵]:

$$\mu_{\tilde{Y}_j}(Y_j)\geq h_j, j=۱,۲,\ldots,m \qquad (۶.۳)$$

درجه عضویت h را کاربر تعیین می‌نماید که با افزایش h، میزان فازی بودن خروجی کاهش می‌یابد. بنابراین مدل برنامه‌ریزی خطی رگرسیون خطی فازی تاناکا و همکاران [۳۰] به‌صورت روابط (۷.۳) الی (۱۰.۳) می‌باشد.

$$min\ Z = s_0 + \sum_{i=1}^{p}\sum_{j=1}^{m} s_i\,|X_{ij}| \quad (۷.۳)$$

$$Y_j a_0 + \sum_{i=1}^{p} a_i X_{ij} - (1-h)(s_0 + \sum_{i=1}^{p} s_i\,|X_{ij}|), j = 1,2,\ldots,m \quad (۸.۳)$$

$$Y_j a_0 + \sum_{i=1}^{p} a_i X_{ij} + (1-h)(s_0 + \sum_{i=1}^{p} s_i\,|X_{ij}|), j = 1,2,\ldots,m \quad (۹.۳)$$

$$a_0, a_i, s_0, s_i \geq 0, i = 1,2,\ldots,p \quad (۱۰.۳)$$

لازم به ذکر است، با جایگذاری رابطه (۴.۳) در رابطه (۶.۳)، محدودیت‌های (۸.۳) و (۹.۳) به‌دست آمده‌اند. با حل مدل برنامه‌ریزی خطی فازی فوق، مرکز و پهنای ضرایب فازی به‌دست می‌آیند. با جایگذاری مقادیر به‌دست آمده در معادله رگرسیون، متغیر خروجی به‌صورت فازی تعیین می‌گردد.

۴. پیاده‌سازی رویکرد پیشنهادی و تحلیل نتایج

در این پژوهش، به‌منظور بررسی عملکرد و اعتبارسنجی رویکرد پیشنهادی، داده‌های مربوط به ایستگاه‌های آتش‌نشانی شهر مقدس مشهد در سال ۱۳۹۴ در نظر گرفته شده‌اند. همچنین از نرم‌افزارهای Microsoft Excel، Rapid miner studio و R studio بر روی سیستمی با سخت‌افزار RAM = 2GB، CPU = 2.53GH و نرم‌افزار Ultimate Windows 7 استفاده شده است. در ادامه پیاده‌سازی رویکرد پیشنهادی و مقایسه آن با سایر مدل‌های رگرسیون آمده است.

۱.۴. پیاده‌سازی مدل رگرسیون خطی فازی.

۱.۱.۴. مرحله اول: آماده‌سازی داده‌ها. پیش از ارائه یک مدل پیش‌بینی مناسب باید بتوانیم داده‌ها را به‌خوبی شناسایی نماییم. از این‌رو در این بخش توصیف متغیرهای ورودی مسئله، آماده‌سازی داده‌ها و گزارش‌های آمار توصیفی مرتبط با مجموعه داده‌ها ارائه می‌شود. در این پژوهش اطلاعات مربوط به ۹۵۸۰ عملیات امداد رسانی (حادثه حریق و حادثه غیرحریق) در ایستگاه‌های آتش‌نشانی سطح شهر مشهد از فروردین تا دی ماه سال ۱۳۹۴ که به‌صورت تصادفی و مستقل از هم نمونه برداری گردیده‌اند، مورد بررسی قرار می‌گیرد. هدف، پیش‌بینی مدت زمان رسیدن آتش‌نشانان به محل وقوع حادثه (زمان پاسخ‌گویی آتش‌نشانان) با توجه به متغیرهای ماه وقوع حادثه، روز وقوع حادثه، ساعت وقوع حادثه، شماره ایستگاه آتش‌نشانی

اعزامی، منطقه شهرداری محل وقوع حادثه و نوع عملیات امدادرسانی با استفاده از مدل رگرسیون خطی فازی می‌باشد. متغیرهای مستقل و وابسته در نظر گرفته شده در جدول ۱ آمده است.

جدول ۱: معرفی متغیرهای مستقل و وابسته

نام متغیر	نوع	توصیف
ماه وقوع حادثه ($\boldsymbol{X}_۱$)	چند اسمی	(ماه فروردین: $X_۱ = ۱$، ... و ماه دی :$X_۱ = ۱۰$)
روز وقوع حادثه ($\boldsymbol{X}_۲$)	عددی	شماره روز در ماه (۳۱ـ۱)
ساعت وقوع حادثه ($\boldsymbol{X}_۳$)	عددی	شماره ساعت در یک شبانه روز (۲۴ـ۱)
شماره ایستگاه آتش‌نشانی اعزامی ($\boldsymbol{X}_۴$)	چند اسمی	(ایستگاه اول: $X_۴ = ۱$، ... و ایستگاه آخر :$X_۴ = ۴۴$)
منطقه شهرداری محل وقوع حادثه ($\boldsymbol{X}_۵$)	چند اسمی	(شهرداری منطقه ۱: $X_۵ = ۱$، ... و شهرداری منطقه ۱۳: $X_۵ = ۱۳$)
نوع عملیات ($\boldsymbol{X}_۶$)	دو اسمی	(حادثه غیر حریق: $X_۶ = ۱$ و حادثه حریق: $X_۶ = ۲$)
مدت زمان رسیدن آتش‌نشانان به محل وقوع حادثه ($\boldsymbol{Y}$)	عددی	مدت زمان لازم برای رسیدن نیروهای آتش‌نشانی به محل حادثه پس از دریافت اطلاعات حادثه (برحسب ثانیه)

از آنجایی‌که مدل‌های رگرسیونی با متغیرهای عددی سروکار دارند؛ همان‌طور که در ستون توصیف در جدول ۲ تشریح شده است، ابتدا متغیرهای کیفی مسئله (چند اسمی و دو اسمی) را با استفاده از تکنیک Unique integer در نرم‌افزار Rapid Miner عددی نمودیم. این تکنیک با تخصیص یک عدد صحیح منحصربفرد به هر یک از متغیرهای کیفی، آن‌ها را به متغیرهای کمی تبدیل می‌نماید. این کار با استفاده از عملگر Nominal to Numerical انجام می‌گردد. بنابراین تمام متغیرهای انتخابی در ساخت مدل، عددی می‌باشند.

آمار توصیفی داده‌ها در جدول ۲ آورده شده است. همچنین جهت بررسی توزیع متغیرهای مستقل، نمودارهای میله‌ای و توزیع نرمال برای هر یک از متغیرهای مستقل در شکل‌های ۲ و ۳ آورده شده است. به‌منظور بررسی فرضیه نرمال بودن متغیرهای مستقل، علاوه بر ترسیم نمودار، از آزمون کولموگروف‌ـاسمیرنف[1] در سطح اطمینان ۹۵% نیز بهره گرفته شد. برای هر یک از متغیرهای مستقل $X_۱$، ... و $X_۶$، مقدار پی‌ـمقدار[2] آزمون کولموگروف‌ـاسمیرنف در سطح اطمینان ۹۵% کمتر از ۲۲×۱۰^{-۱۷} به‌دست آمد که مقدار بسیار کوچکی می‌باشد؛ درنتیجه فرض نرمال بودن متغیرهای مستقل رد می‌گردد. این نتیجه در شکل‌های ۲ و ۳ نیز قابل مشاهده می‌باشد. همچنین جهت بررسی همبستگی بین متغیرهای مستقل، آزمون همبستگی

[1] Kolmogorov–Smirnov
[2] P-Value

پیرسون انجام و نتایج در شکل ۴ آورده شده است. با توجه به مقادیر پی‌ـ مقدار و مقادیر ناچیز ضرایب همبستگی حاصله می‌توان بیان نمود که همبستگی قابل‌توجهی بین متغیرهای مستقل وجود ندارد؛ درنتیجه اثر متقابل نیز بین آن‌ها وجود ندارد.

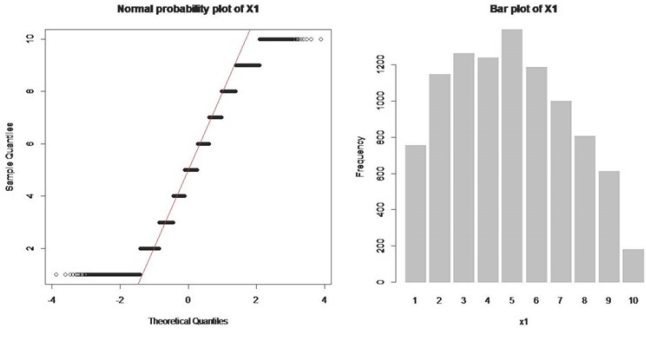
جدول ۲: آمار توصیفی متغیرهای مستقل

متغیر	کمینه	چارک اول	میانه	میانگین	چارک سوم	بیشینه
$X_۱$	۱	۳	۵	–	۷	۱۰
$X_۲$	۱	۸	۱۶	۸۱/۱۵	۲۳	۳۱
$X_۳$	۱	۱۱	۱۵	۷۹/۱۴	۲۰	۲۴
$X_۴$	۱	۸	۲۱	–	۳۲	۴۴
$X_۵$	۱	۲	۷	–	۹	۱۳
$X_۶$	۱	۱	۱	–	۲	۲

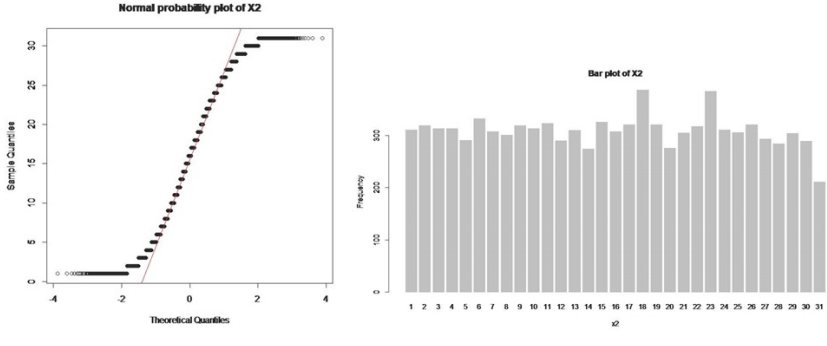
۲.۱.۴. مرحله دوم: ساخت مدل پیش‌بینی. جهت ساخت مدل پیش‌بینی، پس از انجام عملیات آماده‌سازی داده‌ها، مجموعه داده‌های گردآوری‌شده به نسبت ۷۰ به ۳۰ تقسیم می‌گردد. بنابراین ۶۷۰۶ نمونه به‌عنوان داده‌های آموزش، جهت ساخت مدل رگرسیون خطی فازی و ۲۸۷۴ نمونه دیگر به‌عنوان داده‌های آزمون، جهت سنجش اعتبار این مدل استفاده می‌گردد. تقسیم داده‌ها به‌صورت تصادفی و به کمک عملگر Split validation در نرم‌افزار Rapid Miner انجام می‌شود. سپس مدل رگرسیون خطی فازی توسط نرم‌افزار R studio براساس مجموعه داده‌های آموزش اجرا و رابطه (۱.۴) حاصل شده است.

$$\begin{aligned}\hat{Y} = {} & (۳۲۰/۸۰۲۷۸, ۸۳۶/۳۰۵۵۶) + (۳۹/۹۷۲۲۲, ۳۹۹/۷۲۲۲۲)\, X_۲ \\ & + (۱۸/۱۸۰۵۶, ۱۸۱/۸۰۵۵۶)\, X_۳ + (۶۴/۳۵۸۳۳, ۶۴۳/۵۸۳۳۳) X_۵ \\ & - (۲۳۷/۱۷۲۲۲, ۰) X_۶ \end{aligned} \tag{۱.۴}$$

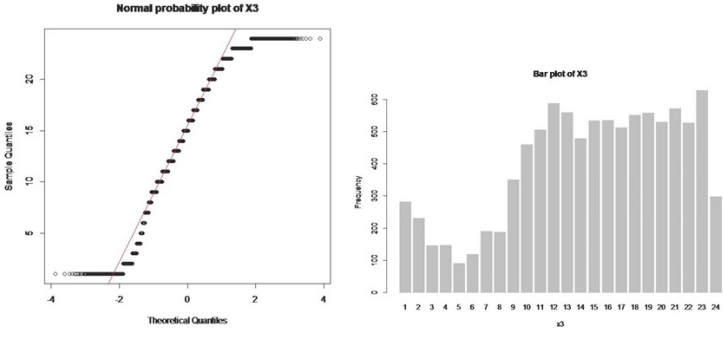
با توجه به رابطه بالا، ملاحظه می‌گردد متغیر وابسته Y (مدت زمان رسیدن آتش‌نشانان به محل وقوع حادثه) رابطه مثبتی با متغیرهای مستقل $X_۲$ (روز وقوع حادثه)، $X_۳$ (ساعت وقوع حادثه) و $X_۵$ (منطقه شهرداری محل وقوع حادثه) دارد. به عبارتی دیگر، مدت زمان رسیدن



(آ)

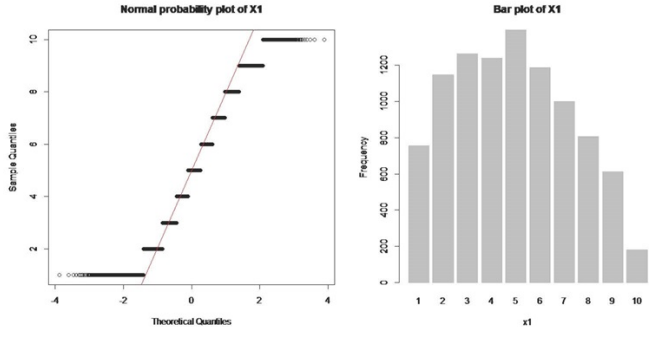


(ب)

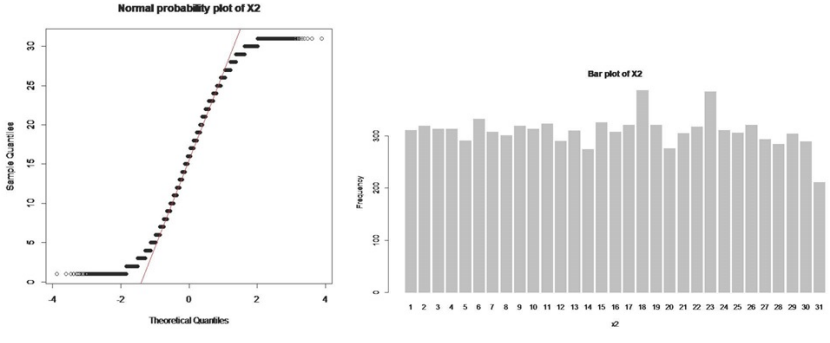


(ج)

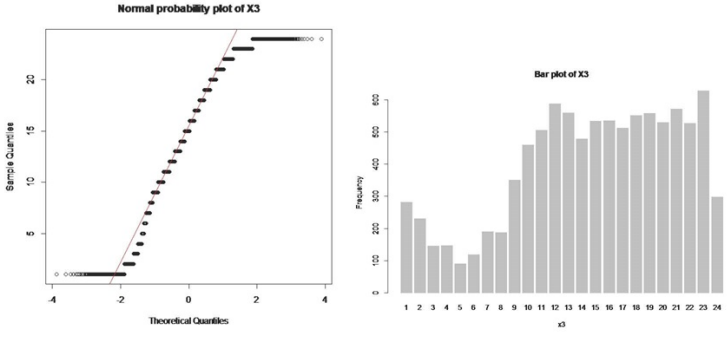
شکل ۲: نمودار میله‌ای و توزیع نرمال متغیرهای مستقل



(آ)



(ب)



شکل ۳: نمودار میله‌ای و توزیع نرمال متغیرهای مستقل

Correlation X1, X2, X3, X4, X5, X6

	X1	X2	X3	X4	X5
X2	-0.090 0.000				
X3	-0.004 0.840	0.029 0.117			
X4	-0.015 0.437	-0.008 0.661	0.026 0.165		
X5	0.005 0.778	0.001 0.959	0.014 0.441	0.186 0.000	
X6	-0.008 0.655	-0.037 0.050	-0.047 0.011	0.066 0.000	-0.062 0.001

Cell contents: Pearson correlation
P-Value

شکل ۴: نتایج آزمون همبستگی پیرسون

آتش‌نشانان به محل وقوع حادثه در روزهای آخر ماه، ساعات پایانی شبانه‌روز و نقاطی از شهر با شماره منطقه شهرداری بزرگتر افزایش می‌یابد. همچنین متغیر وابسته با متغیر مستقل $X_۶$ (نوع عملیات امدادرسانی) رابطه منفی دارد. بدین صورت، هنگامی‌که عملیات امدادرسانی از نوع حریق می‌باشد ($X_۶ = ۲$)؛ زمان پاسخگویی آتش‌نشانان کمتر از زمانی است که عملیات امدادرسانی از نوع غیرحریق ($X_۶ = ۱$) می‌باشد. این نتیجه از آنجایی‌که وظیفه اصلی آتش‌نشانان در درجه اول مقابله با آتش و اطفاء حریق و در درجه دوم مقابله با برخی دیگر از سوانح و حوادث است، دور از انتظار نیست. از سویی دیگر، متغیرهای مستقل $X_۱$ (ماه وقوع حادثه) و $X_۴$ (شماره ایستگاه آتش‌نشانی اعزامی به محل وقوع حادثه) بر پیش‌بینی زمان پاسخ‌گویی آتش‌نشانان تأثیرگذار نمی‌باشند.

۲.۴. ارزیابی عملکرد مدل رگرسیون خطی فازی. به‌منظور سنجش کارایی عملکرد مدل پیش‌بینی پیشنهادی (رابطه (۱.۴))، مدل رگرسیون خطی فازی با مدل‌های رگرسیون خطی چندگانه، ریج، ماشین بردار پشتیبان و درختی بر اساس شاخص‌های ضریب تعیین[۱] ($R^۲$)، میانگین مربعات خطا[۲] (MSE) و میانگین مربعات خطای پیش‌بینی[۳] (MSPR) مقایسه می‌گردد. آماره $R^۲$ به‌عنوان یک شاخص جهت بیان دقت خط رگرسیون بکار گرفته می‌شود و مقدار آن

[1] Determination coefficient (R^2)
[2] Mean square error (MSE)
[3] Mean square prediction error (MSPR)

بین صفر و یک تغییر می‌نماید و مقادیر نزدیک به یک تطابق بهتر داده‌های مشاهده شده و برآورد شده را نشان می‌دهد [۱۶]. به‌منظور تعیین R^2 از رابطه (۲.۴) استفاده می‌گردد.

$$R^2=\frac{SSE}{SST}, SSE=\sum_{j=1}^{m}(Y_j-\hat{Y}_j)^2, SST=\sum_{j=1}^{m}(Y_j-\overline{Y}_j)^2 \quad (۲.۴)$$

شایان ذکراست، شاخص R^2 برای مدل رگرسیون خطی فازی به‌صورت رابطه (۳.۴) محاسبه می‌گردد [۱]:

$$R^2 = 1 - \frac{2\sum_{j=1}^{m}((a_0+\sum_{i=1}^{p}a_iX_{ij})-Y_j)^2}{\sum_{j=1}^{m}(Y_j-(a_0+\sum_{i=1}^{p}a_iX_{ij}-(s_0+\sum_{i=1}^{p}s_i|x_{ij}|)))^2+\sum_{j=1}^{m}((a_0+\sum_{i=1}^{p}a_iX_{ij}+(s_0+\sum_{i=1}^{p}s_i|x_{ij}|))-Y_j)^2} \quad (۳.۴)$$

شاخص‌های *MSE* و *MSPR* به‌صورت روابط (۴.۴) و (۵.۴) بیان می‌گردند.

$$MSE = \frac{\sum_{j=1}^{m}(Y_j-\hat{Y}_j)^2}{m} \quad (۴.۴)$$

$$MSPR = \frac{\sum_{j=1}^{n}(Y_j-\hat{Y}_j)^2}{n} \quad (۵.۴)$$

لازم به ذکر است، آماره‌های R^2 و MSE براساس مجموعه داده‌های آموزش و آماره MSPR براساس مجموعه داده‌های آزمون حاصل گردیده‌اند. بدین صورت که در روابط (۲.۴) و (۴.۴)، Y_j مقدار متغیر وابسته (پاسخ) در jامین داده از مجموعه داده آموزش و $\hat{Y}_j$ مقدار پیش‌بینی‌شده متغیر پاسخ در jامین داده از مجموعه داده آموزش بر اساس مدل به‌دست آمده از مجموعه داده آموزش و m تعداد مشاهدات مجموعه داده آموزش می‌باشد. در رابطه (۵.۴)، Y_j مقدار متغیر پاسخ در jامین داده از مجموعه داده آزمون و $\hat{Y}_j$ مقدار پیش‌بینی‌شده متغیر پاسخ در jامین داده از مجموعه داده آزمون بر اساس مدل به‌دست آمده از مجموعه داده آموزش و n تعداد مشاهدات مجموعه داده آزمون می‌باشد. همچنین جهت محاسبه MSPR در مدل رگرسیون خطی فازی، مقادیر پیش‌بینی شده‌ی مدت زمان رسیدن آتش‌نشانان به محل وقوع حادثه با بهره‌گیری از روش میانگین عدد فازی مثلثی متقارن (رابطه (۶.۴)) فازی‌زدایی می‌گردند.

$$de\left(\tilde{A}\right) = \frac{((a-s)+2a+(a+s))}{4}, \tilde{A}=(a,s) \quad (۶.۴)$$

که در آن a پارامتر میانه و بیانگر محتمل‌ترین مقدار و $a+s$ و $a-s$به‌ترتیب بدبینانه‌ترین و خوش‌بینانه‌ترین زمان‌پاسخ‌گویی آتش‌نشانان می‌باشند.

۳.۴. نتایج ارزیابی عملکرد و بحث. مقادیر شاخص‌های ارزیابی R^2، MSE و MSPR برای مدل‌های رگرسیون خطی فازی، خطی چندگانه، ریج، ماشین بردار پشتیبان و درختی در جدول ۳ آورده شده است. همچنین روابط حاصل از اجرای مدل‌های رگرسیون خطی چندگانه، ریج و ماشین بردار پشتیبان در جدول ۴ و خروجی مدل رگرسیون درختی در شکل ۵ آمده است.

جدول ۳: نتایج شاخص‌های ارزیابی مدل‌های رگرسیون

مدل	R^2	MSE	MSPR
رگرسیون خطی چندگانه	۰۰۶۵۱۵/۰	۶۶/۳۰۸۴۴	۶۵/۳۲۶۳۹
رگرسیون ریج	۰۰۶۶۰۶۳۵۳/۰	۰۲/۳۰۸۵۱	۹۵/۳۲۶۳۱
رگرسیون ماشین بردار پشتیبان	۰۰۱۶۵۵۷۳۴/۰	۷۷/۳۱۰۰۴	۹۴/۳۲۷۰۷
درخت رگرسیون	۰۴۹۴۱۹۶۸/۰	۱۹/۲۹۵۰۸	۳۶/۶۸۸۱۱
رگرسیون خطی فازی	۹۹۳۸۴۴۶/۰	۲۶۲۴۴۰۶	۱۳۳۳۹۶۶

جدول ۴: معادلات حاصله از مدل‌های رگرسیون در نظر گرفته شده براساس مجموعه داده‌های آموزش

مدل	خروجی مدل
رگرسیون خطی چندگانه	$\hat{Y} = ۲۷۲/۱۶۳۱ + ۰/۳۵۴۶X_۲ + ۰/۸۵۷۶X_۳ - ۳/۲۵۶۱X_۵ - ۱۱/۴۶۷۴X_۶$
رگرسیون ریج	$\hat{Y} = ۲۷۵/۱۵۴۰۹ - ۰/۳۴۶۷۱X_۱ + ۰/۳۴۱۸۸X_۲ + ۰/۸۳۷۳۳X_۳ - ۰/۱۱۶۷۷۴۵X_۴ - ۳/۱۱۳۰۷X_۵ - ۱۰/۹۹۷۵۱X_۶$
رگرسیون ماشین بردار پشتیبان	$\hat{Y} = ۲۷۵/۷۹۹۲۶ - ۰/۷۰۸۶۵X_۱ + ۰/۲۰۰۴۶X_۲ + ۰/۳۶۷۰۵X_۳ - ۰/۰۵۶۷۶X_۴ - ۴/۲۷۴۶۹X_۵ - ۱۲/۰۴۰۶۷X_۶$

شکل ۵: خروجی مدل رگرسیون درختی براساس مجموعه داده‌های آموزش

با توجه به نتایج ارائه شده در جدول ۳، براساس هر سه شاخص ارزیابی R^2، MSE و MSPR، روش رگرسیون خطی فازی نسبت به مدل‌های رگرسیون خطی چندگانه، ریج، ماشین

بردار پشتیبان و رگرسیون درختی از عملکرد بهتری برخوردار می‌باشد. این نتیجه احتمالاً به این علت است که تمامی مدل‌های رگرسیون مذکور بر پایه فرض دقیق بودن روابط بین متغیرها استوار هستند؛ درحالی‌که با توجه به ماهیت زمان پاسخ‌گویی آتش‌نشانان که به دلایل مختلف دارای عدم قطعیت و ابهام است، معمولاً با مشاهدات نادقیق یا روابط مبهم بین متغیرها روبرو می‌باشیم. از این‌رو روش رگرسیون خطی فازی انطباق بیشتری با دنیای واقعی داشته و عملکرد بسیار بهتری نسبت به سایر مدل‌های رگرسیون دارد. با توجه به نتایج مدل‌های رگرسیون خطی چندگانه، ریج و ماشین بردار پشتیبان که در جدول ۴ ارائه شده‌اند، ملاحظه می‌گردد متغیرهای مستقل مهم مشترک در پیش‌بینی زمان پاسخ‌گویی آتش‌نشانان، متغیرهای $X_۲$ (روز وقوع حادثه)، $X_۳$ (ساعت وقوع حادثه)، $X_۵$ (منطقه شهرداری محل وقوع حادثه و $X_۶$ (نوع عملیات) می‌باشند. همچنین با توجه به شکل ۵، در مدل رگرسیون درختی، تنها متغیر مستقل $X_۴$ (شماره ایستگاه آتش‌نشانی اعزامی به محل وقوع حادثه) در پیش‌بینی متغیر وابسته Y تأثیرگذار می‌باشد.

۴.۴. تخصیص ایستگاه آتش‌نشانی. بدیهی است خدمت‌رسانی به‌موقع ایستگاه‌های آتش‌نشانی بیش از هر چیز مستلزم تخصیص صحیح ایستگاه مناسب به محل وقوع حادثه است که بتوانند در اسرع وقت به محل حادثه برسند و اقدامات امداد را به انجام برسانند. در این راستا، بر اساس رویکرد پیشنهادی پژوهش، ابتدا با در نظر گرفتن ایستگاه‌های مختلف آتش‌نشانی، مدت‌زمان رسیدن آتش‌نشانان به محل وقوع حادثه با استفاده از مدل رگرسیون خطی فازی پیش‌بینی می‌گردد. سپس ایستگاه آتش‌نشانی به محل وقوع حادثه اختصاص داده می‌شود که دارای کمترین حداکثر زمان پاسخ‌گویی پیش‌بینی‌شده باشد. می‌توان بیان نمود از مهم‌ترین مزایای مدل پیش‌بینی برآورد شده، تخصیص مناسب‌ترین ایستگاه آتش‌نشانی جهت رسیدن به‌موقع به محل وقوع حادثه می‌باشد.

۵. نتیجه‌گیری و پیشنهادها

از مهم‌ترین تلاش‌های انسانی برای مقابله با بحران، برنامه‌ریزی پیش از بحران و بکارگیری آن در هنگام رخداد و پس از آن است که باعث کاهش مشکلات ناشی از بحران می‌گردد. همچنین با توجه به گستردگی فیزیکی و کالبدی شهرها، خطرات مترقبه و غیرمترقبه افزایش‌یافته است. درنتیجه پرداختن به کاربری‌های امدادرسانی اورژانسی نظیر ایستگاه‌های آتش‌نشانی در شهرها ضروری به نظر می‌رسد و در ارتباط با این مسئله تخصیص مناسب ایستگاه آتش‌نشانی و حضور به‌موقع درصحنه حادثه از اهمیت بسیار بالایی برخوردار می‌باشد. از این‌رو در این

پژوهش عملکرد مدل رگرسیون خطی فازی در پیش‌بینی زمان رسیدن آتش‌نشانان به محل وقوع حادثه بر اساس داده‌های سازمان آتش‌نشانی مشهد در برابر برخی از مدل‌های متداول رگرسیون نظیر: خطی چندگانه، ریج، ماشین بردار پشتیبان و درختی بررسی گردید. نتایج ارزیابی مدل‌ها براساس معیارهای R^2، MSE و MSPR نشان داد که مدل‌های رگرسیون خطی چندگانه، ریج، ماشین بردار پشتیبان و درختی عملکرد بسیار ضعیفی در برآورد زمان رسیدن آتش‌نشانان به محل وقوع حادثه دارند؛ بنابراین استفاده از این مدل‌ها توصیه نمی‌گردد. از سویی دیگر، با توجه به مقدار بسیار مطلوب معیار R^2برای مدل رگرسیون خطی فازی و همچنین مقدار کوچک‌تر MSPR این مدل نسبت به MSE آن، مدل رگرسیون خطی فازی از عملکرد بسیار بهتری نسبت به سایر مدل‌ها برخوردار می‌باشد. همچنین با توجه به نتایج حاصل از مدل رگرسیون خطی فازی، متغیرهای مستقل روز وقوع حادثه، ساعت وقوع حادثه و منطقه شهرداری محل وقوع حادثه رابطه مثبت و متغیر مستقل نوع عملیات امدادرسانی رابطه منفی با زمان پاسخ‌گویی آتش‌نشانان دارند. از سویی دیگر، متغیرهای مستقل ماه وقوع حادثه و شماره ایستگاه آتش‌نشانی اعزامی به محل وقوع حادثه بر پیش‌بینی زمان پاسخ‌گویی آتش‌نشانان تأثیرگذار نمی‌باشند.

با توجه به تعدد متغیرهای تأثیرگذار بر زمان رسیدن به محل وقوع حادثه و مدل‌هایی که برای پیش‌بینی وجود دارند، پیشنهاد می‌گردد فرآیند تحقیق با استفاده از سایر مدل‌ها و در حضور متغیرهای دیگر علاوه بر متغیرهای در نظر گرفته شده در این پژوهش تکرار گردد و نتایج تحقیقات با یکدیگر مقایسه گردند. همچنین بکارگیری دیگر توابع عضویت فازی مانند گوسی، ذوزنقه و ... جهت فازی‌سازی ضرایب متغیرهای مستقل و متغیر وابسته و توسعه مدل رگرسیون خطی فازی مبتنی بر این نوع توابع عضویت و نیز بررسی تأثیر آن‌ها در برآورد زمان پاسخ‌گویی آتش‌نشانان پیشنهاد می‌گردد.

تشکر و قدردانی

پژوهش حاضر از طرف دانشگاه کوثر بجنورد با شماره قرارداد۰۱۱۰۱۱۱۴۲۶ .NO حمایت گردیده است.

مراجع

[1] Azadeh, A., Seraj, O., Saberi, M. (2011). An integrated fuzzy regression – analysis of variance algorithm for improvement of electricity consumption estimation in uncertain environments. International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 53: 645 – 660. https://doi.org/10.1007/s00170-010-2862-5.

[2] Bolouri, S., Vafaeinejad, A., Alesheikh, A., Aghamohammadi, H. (2018). The ordered capacitated multi-Objective location-allocation problem for fire stations. Isprs International Journal of GeoInformation. 7(2): 44. https://doi.org/10.3390/ijgi7020044.

[3] Bolouri, S., Vafaeinejad, A., Alesheikh, A., Aghamohammadi, H. (2020). Location-Allocation problem of fire stations in Tehran, region 22 using "VAOMP" a unified approach. Geographical Planning of Space, 10(37): 43-56. doi: 10.30488/gps.2019.154046.2921.

[4] Challands, N. (2010). The relationships between fire service response time and fire outcomes. Fire Technology, 46(3), 665- 676.

[5] Chen, M., Wang, K., Dong, X., Li, H. (2020). Emergency rescue capability evaluation on urban fire stations in China, Process Safety and Environmental Protection, 135, 59-69, https://doi.org/10.1016/j.psep.2019.12.028.

[6] D'brot, C., Bravo, W., Arana, V. (2019). Optimum location and amount of new Fire Stations based on Geographic Information System and Analytic Hierarchy Methods. 2019 Congreso Internacional de Innovación y Tendencias en Ingenieria (CONIITI), Bogota, Colombia. 1-6, doi: 10.1109/CONIITI48476.2019.8960912.

[7] Du, Y., Sun, J., Duan, Q., Qi, K., Xiao, H., Liew, K. M. (2020). Optimal assignments of allocating and scheduling emergency resources to accidents in chemical industrial parks, Journal of Loss Prevention in the Process Industries, 65:104-148, https://doi.org/10.1016/j.jlp.2020.104148.

[8] Erden, T., Coskun, M. (2010). Multi-criteria site selection for fire services: the interaction with analytic hierarchy process and geographic information systems. Natural Hazards and Earth System Sciences, 10(10): 2127-2134. https://doi.org/10.5194/nhess-10-2127-2010.

[9] Hajipour, V., Fattahi, P., Bagheri, H., Babaei Morad, S. (2022). Dynamic maximal covering location problem for fire stations under uncertainty: soft-computing approaches. International Journal of System Assurance Engineering and Management, 13(1): 90-112. https://doi.org/10.1007/s13198-021-01109-8.

[10] Handy, S., Paterson, R. G., Butler, K. (2003). Planning for street connectivity: getting from here to there (No. PAS Report No. 515).

[11] Haseltalab, M., Bioki, J., Bazafkan, E. and Naseri Tajvar, R., (2014), Determining the optimal location of the fire stations of the 6th district of Tehran municipality using MCDM-GIS integrated method. The 7th National Conference on Urban Planning and Management with Emphasis On urban development strategies, Mashhad, https://civilica.com/doc/435673.

[12] Huang, B., Liu, Chandramouli, M. (2006). A GIS supported Ant algorithm for the linear feature covering problem with distance constraints. Decision Support Systems, 42(2): 1063-1075. https://doi.org/10.1016/j.dss.2005.09.002.

[13] Indriasari, V., Mahmud, A., Ahmad, N., Shariff, A. (2010). Maximal service area problem for optimal siting of emergency facilities. International Journal of Geographical Information Science, 24(2): 213-230. https://doi.org/10.1080/13658810802549162.

[14] Kharaghani, H., Etemadfard, H., Salem Rafush, A. (2022). Allocation of fire stations by hybrid method (Case Study: Mashhad). Urban Management Studies, 13(48): 55-67. doi: 10.30495/ums.2022.19616.

[15] Kolesar, P., Walker, W. (1979). Measuring the travel characteristics of new york city's fire companies. New York, New York City RAND Institute, R-1449-NYC.

[16] Legates, D.R., McCabe, G.J. (1999). Evaluating the use of "Goodness – of – fit" measures in hydrologic and hydroclimatic model validation. Water Resources Research, 35(1): 233-241. https://doi.org/10.1029/1998WR900018.

[17] Li, X., Zhao, Z., Zhu, X., Wyatt, T. (2011), Covering models and optimization techniques for emergency response facility location and planning: a review. Mathematical Methods of Operations Research, 74(3), 281-310.

[18] Mainak, B., Varun, S.)2016(. Development of agent-based model for predicting emergency response time. Perspectives in Science, 8, 138-141.

[19] Martín-Fernández, S., Martínez-Falero, E., Peribáñez, J.R., Ezquerra, A. (2021). GIS-Based simulated annealing algorithm for the optimum location of fire stations in the madrid region, spain: monitoring the collapse index. Applied Sciences, 11(18): 8414. https://doi.org/10.3390/app11188414.

[20] Murray, A., Tong, D. (2009). GIS and spatial analysis in the media. Applied Geography, :250-259.

[21] Nyimbili, P. H., Erden, T. (2020). GIS-based fuzzy multi-criteria approach for optimal site selection of fire stations in Istanbul, Turkey. Socio-Economic Planning Sciences, 71, 100860, https://doi.org/10.1016/j.seps.2020.100860.

[22] Park, P. Y., Jung, W. R., Yeboah, G., Rempel, G., Paulsen, D., Rumpel, D. (2016). First responders' response area and response time analysis with/without grade crossing monitoring system. Fire Safety Journal, 79: 100-110.

[23] Poureskandar, A. (2002). Measuring the spatial distribution of fire accidents in the city using GIS. Master thesis, Tarbiat Modares University, Tehran.

[24] Pourramzan, E., Javan, F. (2016). Analysis of limits of safety and optimal positioning of fire stations by using GIS (case study : rasht). Territory, 13(50):1-16.

[25] Redden, D.T., Woodall, W.H. (1996). Further examination of fuzzy linear regression. Fuzzy Sets and Systems. 79(2): 203 – 211. https://doi.org/10.1016/0165-0114(95)00176-X.

[26] Shahparvari, S., Fadaki, M., Chhetri, P. (2020). Spatial accessibility of fire stations for enhancing operational response in Melbourne. Fire Safety Journal, 117. https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2020.103149.

[27] Shiri, F., Shams, M. (2016). factors affecting location of fire stations using cluster analysis technique. environmental based territorial planning (amayesh), 9(33), 113-132. sid. https://sid.ir/paper/130776/en.

[28] Shurvarzi, H., mesgari, M., Alimohammadi, A., Aghamohamadian, H. (2012). Assessing the capability of meta-heuristic algorithms in location-finding for firefighting centers. Spatial Planning (Modares Human Sciences), 16(3):, 1-29. sid. https://sid.ir/paper/171917/en.

[29] Tamat, A., Pawanchik, S., Kamil, A. A., Hilmi, M. F., Lateh, H. H., Hasan, M. Z., Ferdushi, K. F., Hossain, M. K. (2014). An analysis of variation of turn out time and response time in Penang state fire and rescue department, Journal of Environmental Science and Technology, 7, 200- 208.

[30] Tanaka, H., Uejima, S., Asai, K. (1982). Fuzzy linear model, fuzzy linear regression model. IEEE Transactions on Systems Man and Cybernetics. 12: 903 – 907. http://dx.doi.org/10.1109/TSMC.1982.4308925.

[31] Tashakor, Z. (1999). Fire departments and structural deficiencies. Municipalities, 10.

[32] Uddin, Md. Sh., Warnitchai, P. (2020). Decision support for infrastructure planning: a comprehensive location–allocation model for fire station in complex urban system. Natural Hazards, 102(3): 1475-1496. 10.1007/s11069-020-03981-2.

[33] Yang, L., Jones, B. F., Yang, S.H. (2007). A fuzzy multi-objective programming for optimization of fire station locations through genetic algorithms. European Journal of Operational Research, 181, 903-915.

[34] Zhang, W., Jiang, J. C. (2011). Research on the location of fire station based on GIS and GA. Applied Mechanics and Materials, 130–134, 377–380. https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amm.130-134.377.