

بهبود سری زمانی سوانح ترافیکی زمانمند با کمک شبکه‌های عصبی مصنوعی،

مبتنی بر سیستم اطلاعات مکانی مطالعه موردی آزادراه کرج - قزوین

رضا صناعی، دانشجوی دکتری، گروه تخصصی سنجش‌ازدور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، دانشکده منابع طبیعی و محیط‌زیست، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران

علیرضا وفائی نژاد (مسئول مکاتبات)، استادیار، دانشکده مهندسی عمران، آب و محیط‌زیست، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

جلال کرمی، استادیار، گروه تخصصی سنجش‌ازدور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

حسین آقامحمدی زنجیرآباد، استادیار، گروه تخصصی سنجش‌ازدور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، دانشکده منابع طبیعی و محیط‌زیست، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران

E-mail: a_vafaei@sbu.ac.ir

پذیرش: ۱۳۹۸/۰۷/۱۳

دریافت: ۱۳۹۸/۰۳/۰۶

چکیده

این مطالعه مدل‌سازی بهینه، داده‌های سوانح ترافیکی زمانمند را در مقیاس روزانه برای محور کرج - قزوین به‌عنوان یکی از محورهای حادثه‌خیز ایران در طی سال‌های ۱۳۸۸ تا ۱۳۹۲ با دو روش سری زمانی و شبکه عصبی مصنوعی بر مبنای سیستم اطلاعات مکانی بررسی می‌نماید. الگوهای زمانی مخاطرات جاده‌ای، با در نظر گرفتن مؤلفه‌های روند و دوره‌ای، نوع و مرتبه مدل، توابع خودهمبستگی و خودهمبستگی جزئی، داده‌های سوانح ترافیکی زمانمند (حجم نمونه ۱۰۹۷ حادثه) به‌دست‌آمده است. در روش پیشنهادی اول میزان وابستگی حوزه زمان و مرتبه مدل زمانی محاسبه شده است و در روش دوم معماری‌های مختلف از شبکه عصبی مصنوعی پرسپترون چندلایه جهت تعیین بهینه‌ترین عملکرد تشخیصی پیاده‌سازی گردید. برای ارزیابی شبکه نیز شاخص‌های مشخصه، ضریب تبیین و صحت مورد استفاده قرار گرفت و برای محاسبات دو مدل در سناریوهای مختلف از نرم‌افزار ARCGIS و مطلب استفاده شده است. بر اساس نتایج مدل شبکه عصبی مصنوعی با مقدار ضریب تبیین $(R^2 = 0.66)$ و خطای جذر میانگین مربعات ۱۰.۷۱ می‌تواند نرخ رخداد حوادث روزانه را تا اندازه‌ای بهتر از روش سری زمانی و خودهمبستگی جزئی با مقدار ضریب تبیین $(R^2 = 0.35)$ و خطای جذر میانگین مربعات ۱۴.۳۱ برآورد کرد. لازم به ذکر است، ارائه مدل داده‌های سوانح ترافیکی با مدل شبکه عصبی مصنوعی و خودهمبستگی جزئی در مقیاس روزانه، تاکنون در تحقیقات و مطالعات مشابه مشاهده نشده است.

واژه‌های کلیدی: سامانه‌های اطلاعات مکانی، سری زمانی، سوانح ترافیکی، شبکه عصبی مصنوعی، ضریب خودهمبستگی جزئی

۱. مقدمه

روند روبه رشد سوانح ترافیکی در اکثر کشورها از مشکلات جدی سلامت عمومی محسوب می‌گردد [World Health Organization, 2013 & 2004].

با توجه به هزینه‌های سرسام‌آور و ناخواسته‌ای که به دلیل سوانح ترافیکی بر کشورهای توسعه‌یافته و در حال توسعه وارد می‌آید، لزوم کنترل این‌گونه حوادث بیش‌ازپیش خود را نشان می‌دهد. به‌طور مثال در اسپانیا در سال ۲۰۰۸ هزینه‌های اجتماعی اقتصادی سوانح ترافیکی بالغ بر ۰/۰۴ درصد از تولید ناخالص ملی را شامل می‌شد [Alemany and Guillén, 2013] و همچنین در ایران طبق مطالعه انجام‌شده توسط بهادری منفرد و همکاران حدود ۱۹ هزار مرگ در سال ۱۳۹۱ گزارش شده است [Bahadorimofared, et al. 2013].

بر اساس آمار منتشره توسط سازمان پزشکی قانونی ایران میزان کشته‌های حوادث رانندگی در سال ۱۳۹۳ به ۱۶۸۷۲ نفر رسیده است. بنابراین مرگ‌های ناشی از حوادث ترافیکی در ایران، یکی از مهم‌ترین اولویت‌های سیستم بهداشتی دولت است [Naghavi, et al. 2013]. علیرغم تلاش‌های انجام‌شده در حیطه حوادث ترافیکی در ایران توسط سه ارگان وزارت بهداشت و درمان، پلیس راهور ناجا و وزارت راه هنوز هم شاهد تلفات جانی و مالی زیادی در این حیطه هستیم. بنابراین شناسایی عوامل مؤثر در تصادفات ترافیکی و آنالیز شدت صدمات ناشی از آن می‌تواند خط مشی کلی برای کاهش سوانح ترافیکی و تلفات ناشی از آن را در پی داشته باشد.

هدف اصلی این تحقیق بررسی سوانح ترافیکی زمانمند با استفاده از مدل شبکه عصبی و سری زمانی داده‌های مربوط به آزادراه کرج - قزوین، بر مبنای سیستم اطلاعات مکانی در مقیاس روزانه است.

در روش سری زمانی میزان وابستگی حوزه زمان و مرتبه مدل زمانی بر مبنای مؤلفه‌های روند و دوره‌ای، نوع و مرتبه مدل، توابع خودهمبستگی و خودهمبستگی جزئی، داده‌های سوانح

ترافیکی (حجم نمونه ۱۰۹۷ حادثه) به دست آمده است و در روش دوم معماری‌های مختلف از شبکه عصبی مصنوعی پرسپترون چندلایه^۱ جهت تعیین بهینه‌ترین عملکرد تشخیصی با استفاده از نرم‌افزار ARCGIS و مطلب پیاده‌سازی شد. همچنین ارزیابی شبکه نیز با شاخص‌های مشخصه، ضریب تبیین و صحت انجام شد.

نوآوری این مطالعه را می‌توان ارائه مدل داده‌های سوانح ترافیکی با خطای جذر میانگین مربعات ۱۰/۷۱ حادثه، مبتنی بر سیستم اطلاعات مکانی با در نظر گرفتن مؤلفه‌های روند و دوره‌ای، توابع خودهمبستگی و خودهمبستگی جزئی به روش شبکه عصبی با خودهمبستگی جزئی در مقایسه سری زمانی دانست.

در ادامه ابتدا مدل ریاضی شبکه عصبی و سری زمانی تشریح خواهد شد؛ و سپس معرفی منطقه مورد مطالعه و داده‌های استفاده‌شده در این تحقیق، تجزیه و تحلیل شبکه عصبی و سری زمانی و تعیین آماره‌های نمونه با نتیجه‌گیری‌های به دست آمده بیان خواهد شد.

۲. پیشینه پژوهش

از روش سری زمانی و شبکه عصبی کارهای متنوعی برای پیش‌بینی مدل استفاده‌شده است که از آن جمله می‌توان به موارد زیر اشاره کرد.

وفایی نژاد و همکاران (۲۰۱۱) یک سیستم اطلاعات جغرافیایی مکانمند- زمانمند مختص ایران طراحی و اجرا کرده‌اند که دارای قابلیت‌های ویرایشی، تناظر یابی نقشه‌ای و تجزیه و تحلیل مسیریابی مکانمند- زمانمند بر اساس کمترین فاصله و زمان دسترس ممکن بین دو نقطه است [Vafaeinejad, et al. 2011].

وانگ و کوداس و ای زون (۲۰۱۳) آنالیزهای زمانی و مکانی در بازه زمانی ۲۰۰۳ تا ۲۰۰۷ در انگلستان را با توسعه مدل اثر

بهبود سری زمانی سوانح ترافیکی زمانمند با کمک شبکه‌های عصبی مصنوعی، مبتنی بر سیستم اطلاعات مکانی مطالعه موردی آزادراه کرج - قزوین

نوبخت، صغری و شریفی (۲۰۱۶) با استفاده از مدل‌های احتمال اتورگر سیو میانگین متحرک به مدل سازی سری زمانی موقعیت روزانه ایستگاه دائمی LLAS در منطقه کالیفرنیا جنوبی در مدت زمان هفت سال پرداخته‌اند. [Nobakht Arsi, Safari and Sharifi, 2016]

در پژوهشی دیگر با بهره‌گیری از سه رهیافت خود توضیح جمعی میانگین متحرک فصلی شبکه عصبی مصنوعی و الگوی هیبرید خود توضیح جمعی میانگین متحرک فصلی در ترکیب با الگوریتم پس انتشار خطابه الگوسازی و پیش‌بینی مقدار مصرف آب شرب شهر رشت پرداخته شد. در این راستا سری زمانی ماهانه مصرف آب شهر رشت طی سال‌های ۱۳۸۰ تا ۱۳۸۷ مورد استفاده قرار گرفت. در روش فوق به منظور ایجاد الگوی SARIMA از روش آزمون ریشه واحد استفاده شده است [Mousavi, et al. 2016]

ابراهیمی و همکاران (۲۰۱۶) عوامل مؤثر بر تولید پسماند شهری نظیر جمعیت، رشد شهرنشینی، شاخص تورم GDP و همچنین ارتباط بین آن‌ها را با استفاده از مدل GEE مشخص کردند. در نهایت میزان تولید پسماند شهر اصفهان با استفاده از روشی پویا سیستم توسط نرم‌افزار Vensim و روش سری زمانی با فن ARMA پیش‌بینی گردید [Ebrahimi, et al. 2016]

یین و شنگ (۲۰۱۶) روش پیش‌بینی سری‌های چند متغیره زمانی با استفاده از الگوی آموزش هوشمند به همراه روش نزدیک‌ترین همسایگی و مدل رگرسیون غیر پارامتری مورد بحث قرار گرفته است [Yin and Shang, 2016]

سامین و پرادهن (۲۰۱۷) برای پیش‌بینی شدت آسیب تصادفات ناشی از ۱۱۳۰ حادثه که در مسیر شمالی-جنوبی مالزی طی شش سال گذشته رخ داده است از روش شبکه عصبی مکرر ۴ استفاده کرده‌اند که در مقایسه با شبکه‌های عصبی سنتی برای داده‌های متوالی مؤثرتر است. در این مطالعه برای پیدا کردن شبکه بهینه پیش‌بینی شدت آسیب ترافیک، از

تصادفی دوجمله‌ای منفی ۲ و دسته‌بندی کننده بیز سلسله مراتبی ۳ و تأثیر گذاری سرعت انجام داده‌اند [Wang, Quddus and Ison, 2013]

پلاک و پلد و هکرت (۲۰۱۴) چهار مدل آماری پواسون را برای بررسی حوادث ترافیکی و برآورد بهترین مدل تخمین احتمالات از نظر بازیابی ریسک آینده در بخش‌های جاده‌ای مطالعه کرده‌اند؛ و سهم هر یک از پارامترهای حمل و نقل و پارامترهای فضایی به عنوان متغیرهای پیش‌بینی کننده نرخ تصادفات جاده‌ای مورد بررسی قرار گرفته است [Pollak, Peled and Hakkert, 2014]

بابایی حصار و قضاوی (۲۰۱۵) به مدل سازی سناریوهای اقلیمی با روش سری زمانی و شبکه عصبی مصنوعی پرداختند. جهت انجام این مطالعه، ابتدا از میان مدل‌های مختلف سری زمانی بهترین مدل در برآورد متغیر بارندگی انتخاب گردید و با استفاده از داده‌های ۵۰ سال بارندگی ایستگاه‌های سینوپتیک ارومیه، تبریز و خوی، مقدار متغیر مذکور برای ۱۸ سال آینده پیش‌بینی شد. همین کار با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی نیز انجام شد [Babaei Hesar and Ghazavi, 2015]

فلاحتی، براتی و جزایری (۲۰۱۵) با استفاده از نرم افزار Mintab و آزمون‌های بارنتل، خودهمبستگی درجه اول، t استیو دنت، من-کندال، ضریب همبستگی پیرسون و نا پارامتریک اسپیرمن روی تغییرات دمای محیطی شهر اراک مطالعه کرده‌اند. پس از تعیین نوع و مرتبه مدل سری زمانی، در انتها با تخمین پارامترهای مدل AR و نیز محاسبه مقادیر باقیمانده، با استفاده از داده‌های ۴۰ سال اول برای ۱۰ سال آینده پیش‌بینی انجام شده است [Falahati, Barati, Jazayeri, 2015]

سینگ و ساچداوا و پال (۲۰۱۶) برای تصادفات جاده‌ای، پنج مدل در دوره زمانی ۲ تا ۶ سال روی بخش‌های مختلف ۸ بزرگراه ملی و ایالاتی هاریانا هند (۲۲۰ داده) را بررسی کردند [Singh, Sachdeva and Pal, 2016]

را با استفاده از سری زمانی و شاخص‌های آماری و ضریب تبیین مورد ارزیابی قراردادند. [Aghakhani, Nasrabadi and Vafaeinejad, 2018].

علاوه بر تحقیقات فوق، وحیدنیا، وفایی نژاد و شفیعی (۲۰۱۹) برای حل مشکل در فضاهای گسسته با الهام از محاسبات تکاملی و الگوریتم کارآمد تحقیق کردند و چندین آزمایش انجام دادند تا همگرایی، دقت، عملکرد و ثبات کاملاً قابل قبول با استفاده از این رویکرد مشاهده شد [Vahidnia, Vafaeinejad and Shafiei, 2019].

با توجه به تنوع روش‌های موجود و ضعف روش‌های صرفاً ریاضی در پیش‌بینی الگوهای غیرخطی مانند تصادفات، در این تحقیق از روش آنالیز شبکه عصبی و سری زمانی (بررسی مدل تابعی و آماری) با تجزیه و تحلیل داده‌های طبقه‌بندی شده منطقه مورد مطالعه مبتنی بر سیستم اطلاعات مکانی برای مسیر کرج به قزوین جهت بررسی سوانح ترافیکی و تلفات ناشی از آن استفاده شده است.

۳. شبکه‌های عصبی مصنوعی

مدل محاسباتی برای شبکه‌های عصبی مبتنی بر ریاضیات و الگوریتم‌هایی به نام منطق آستانه زمان توسط مک کلاچ و پیتس در ۱۹۴۳ ابداع شد. (McCulloch and Pitts, 1943) یک شبکه عصبی مصنوعی شبکه‌ای است از عناصر ساده به نام نورون که ورودی را دریافت می‌کنند. وضعیت درونی آن را مطابق با همان ورودی تغییر می‌دهند. فعال‌سازی و خروجی را مطابق با ورودی و فعال‌سازی، تولید می‌کنند. این شبکه مطابق شکل (۱) از اتصال خروجی برخی نورون‌ها به ورودی برخی نورون‌های دیگر تشکیل می‌شود و گرافی جهت‌دار و وزن‌دار شکل می‌دهد. وزن‌ها و توابعی که فعال‌سازی را محاسبه می‌کنند. تحت فرآیندی به نام یادگیری که توسط یک قاعده یادگیری مدیریت می‌شود، قابل اصلاح هستند.

سیستم جستجوی منظم استفاده شده است [Sameen and Pradhan, 2017].

زنگ و ون و هیوینگ و آتای (۲۰۱۷) با استفاده از روش بیزین، شدت تصادفات با همبستگی پارامترهای دخیل را محاسبه و با روش‌های دیگر مقایسه کرده‌اند [Zeng, et al. 2017].

وفایی نژاد (۲۰۱۷) در کاری کاربردی از سری زمانی برای راهنمایی خودکار وسیله نقلیه کمک گرفته است. پیش‌بینی اتفاقات احتمالی بعد و مسیریابی بر اساس وضعیت موجود و پیش‌بینی آینده مبتنی بر سری زمانی، این سیستم را کارآمدتر از روش‌های مشابه کرده است [Vafaeinejad, 2017].

بروجردیان، امین میرزا و ابراهیمی (۲۰۱۷) با استفاده از تجزیه و تحلیل رگرسیون چندجمله‌ای و اعتبارسنجی داده‌ها از طریق آزمون‌های آماری نتایج را مورد ارزیابی قراردادند. داده‌های ترافیکی و بازنگی مورد استفاده پژوهش مربوط به ۶ ماه انتهایی سال ۱۳۹۱ هستند [Boroujerdiyan, Amin and Mirza and Ebrahimi, 2017].

عینی و همکاران (۲۰۱۷) با استفاده از روش تمایل به پرداخت، هزینه جرح و فوت ناشی از سوانح ترافیکی سال ۱۳۹۲ را با تحلیل بیزی محاسبه کردند. در مجموع ۷۸۲ نفر در این مدل مورد بررسی قرار گرفتند [Ainy, et al. 2017].

وفایی نژاد (۲۰۱۸) از سری زمانی برای به‌روزرسانی در لحظه یک سیستم ناوبری پویا GIS کمک گرفته است. [Vafaeinejad, 2018].

بلوری و همکاران (۲۰۱۸) از سری زمانی برای پیش‌بینی و مدل‌سازی حوادث آتش‌سوزی و سپس از الگوریتم‌های تکاملی (ژنتیک و تبرید) برای مکان‌یابی بهینه ایستگاه‌های آتش‌نشانی بهره گرفته‌اند. در این تحقیق زمان هم متغیر مدل‌سازی و کمینه کردن زمان رسیدن به محل حادثه متغیر تابع هزینه الگوریتم‌های تکاملی بوده است [Bolouri, et al. 2018].

آقاخانی، ناصر عبدی و وفایی نژاد (۲۰۱۸) به بررسی مدل‌سازی هیدرولوژیکی حوضه طالقان در ایران پرداختند و عملکرد مدل

بهبود سری زمانی سوانح ترافیکی زمانمند با کمک شبکه‌های عصبی مصنوعی، مبتنی بر سیستم اطلاعات مکانی مطالعه موردی آزادراه کرج - قزوین

جدول ۱. مقایسه گزینه‌های از ساختارهای شبکه عصبی

سطر	ساختار	توضیح
۱	پرسپترون	جواب‌ها را کد می‌کند و خروجی از ورودی بدون هیچ‌گونه فیدبکی محاسبه می‌گردد.
۲	هاپفیلد	به الگویی همگرا می‌شود که ممکن است جزو الگوهای ذخیره‌شده نباشد. از هر حالت ابتدایی و با هر وزنی از یال‌ها که شروع کنیم، شبکه در نهایت به حالت پایدار خواهد رسید.
۳	همینگ	به پاسخ مناسب منتهی شده و همواره به یکی از الگوهای مرجع همگرا می‌شود و الگویی را که بیشترین تشابه را با ورودی مرجع دارد انتخاب می‌کند به‌نوعی بهترین جواب ممکن را می‌دهد. این شبکه اساساً برای الگوهای باینری است.

وظیفه‌ی شبکه‌های عصبی یادگیری است که به چهار گروه یادگیری تحت نظارت، بدون نظارت، نیمه نظارت و تقویتی تقسیم‌بندی می‌شوند. حال گزینه‌ای از فرآیندهای یادگیری شبکه بیان می‌شوند.

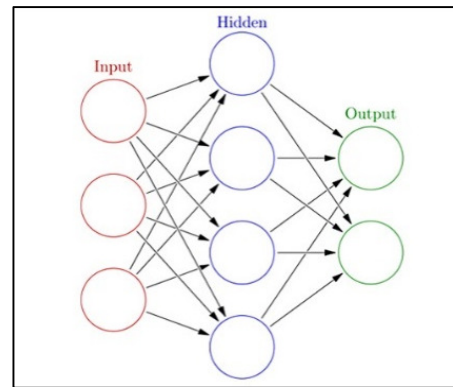
۱-۳ فرآیند یادگیری هبین

در اواخر دهه ۱۹۴۰، د. اوهب^۱ یک فرضیه یادگیری مبتنی بر مکانیسم انعطاف‌پذیری ابداع کرد که به‌عنوان یادگیری هبین شناخته شد. یادگیری هبین، یادگیری بی نظارت است. در یادگیری بدون نظارت داده X معلوم است و تابع هدف که می‌تواند هر تابعی از داده X و خروجی شبکه یعنی F باشد، باید کمینه شود.

$$F: X \rightarrow Y \quad (1)$$

فعالیت‌هایی که در پارادایم یادگیری بدون نظارت قرار می‌گیرند. عموماً مسئله‌های تخمین هستند؛ که کاربردهای آن

در شکل (۱) هر رأس دایره‌ای نمای‌شگر یک نورون مصنوعی است و پیکان نمایشگر یک اتصال از خروجی یک نورون مصنوعی به ورودی نورون دیگر است.



شکل ۱. یک شبکه عصبی با سه لایه مختلف

شبکه‌های عصبی پرسپترون، به‌ویژه پرسپترون چندلایه، در زمره کاربردی‌ترین شبکه‌های عصبی می‌باشند. این شبکه‌ها عمدتاً می‌تواند یک نگاشت غیرخطی از ورودی به خروجی را با دقت قابل‌قبول انجام دهند و در این حوزه نسبت به سایر ساختارها کارایی بیشتری دارند. با توجه به این موضوع و اینکه ما نیز در حقیقت به یک نگاشت غیرخطی نیاز داریم، در پیاده‌سازی از این ساختار استفاده شد. کاربرد اساساً در کار با آن درجه آزادی زیادی دارد و می‌تواند انواع و اقسام پارامترها و روش‌ها را عوض کند که از این جمله می‌توان به توابع فعال‌سازی و تعداد لایه‌ها اشاره کرد.

این موارد می‌توانند در مناسب بودن این الگوریتم برای یک مسئله خاص اثرگذار باشند و در این حوزه نسبت به گزینه‌ای از ساختارهای دیگر شبکه‌های عصبی مطابق جدول (۱) در سوانح ترافیکی زمانمند این مطالعه کارایی بیشتری داشته باشند.

۳-۳ فرآیند یادگیری تقویتی^۹

در این فرآیند داده X معمولاً معلوم نیست اما از تعاملات یک عامل با محیط تولید می‌شود. ANN ها را اغلب به‌عنوان یک فرآیند تصمیم مارکف^{۱۰} و به‌عنوان بخشی از الگوریتم کلی استفاده می‌کنند [Cortes et al. 2016].

۴. سری‌های زمانی

در سال‌های اخیر رقابت در زمینه پیش‌بینی بهتر مقادیر در سری‌های زمانی، سبب شده تا روش‌های گوناگونی در این‌باره به وجود آیند. سری‌های زمانی یکی از شاخه‌های آمار و احتمال است که در سایر رشته‌های علوم مانند اقتصاد، مهندسی ارتباطات کاربرد فراوانی دارد. تجزیه و تحلیل سری‌های زمانی به‌طور نظری و عملی از زمان شروع کار جورج ای. پی باکس و ام. جینکینز در ۱۹۷۰ تحت عنوان تجزیه و تحلیل سری‌های زمانی، پیش‌بینی و به‌سرعت توسعه پیدا نمود [Mbamalu and El-Hawary 1993].

سری‌های زمانی مجموعه مشاهداتی هستند که برحسب زمان مرتب شده باشند به‌طوری‌که رشته‌ای از داده‌ها بر مبنای زمان t به صورت $x(1), x(2), \dots, x(t)$ در اختیار گذاشته می‌شود و در ادامه کار مقادیر $x(t+1), x(t+2), \dots$ را باید به دست آورد. یافتن این ساختار وابسته به زمان مهم‌ترین هدف است. حال گزینه‌ای از الگوهای ممکن برای سری‌های زمانی بیان می‌شوند که آن‌ها را فرآیندهای تصادفی می‌نامیم.

۴-۱ فرآیندهای میانگین متحرک^{۱۱}

فرض کنید $\{Z_t\}$ ، فرآیند تصادفی محض با میانگین صفر و واریانس σ_z^2 باشد. در آن صورت فرآیند $\{X_t\}$ میانگین متحرک مرتبه q گفته می‌شود اگر:

(۳)

عبارت‌اند از خوشه‌سازی، تخمین دوره‌های آماری، فشرده‌سازی و فیلترینگ (Zhang, 2018)

۳-۲ فرآیند یادگیری پس‌نشر^۷

یک عامل کلیدی در احیاء شبکه‌های عصبی و یادگیری الگوریتم پس‌نشر وریوس (۱۹۷۵) بود که بطور اثربخش مسئله یا مانع جمع‌را حل کرد و آموزش شبکه‌های چندلایه‌ای را به‌طور کلی تسریع کرد. پس‌نشر با تغییر ضرایب در هر گره عبارت خطا را در لایه‌های قبلی (بالا) توزیع می‌کرد. الگوریتم‌های پس‌نشر به سه دسته تقسیم می‌شوند.

۱. بازگشتی ارتجاعی

۲. شبه نیوتن

۳. لونبرگ - مارکارد

همچنین شبکه‌های پیش‌نگر^۸ نیز برای آموزش از الگوریتم‌های پس‌نشر استفاده می‌کنند. خروجی در این شبکه‌ها بر اساس تعداد لایه‌های میانی و رابطه ماتریسی زیر قابل محاسبه است:

$$y_{hi} = f(\sum W_{J,J-1} P_J + b_J) \quad (2)$$

در رابطه ۲،

y_{hi} : خروجی لایه میانی J است که در نهایت به

خروجی اصلی ختم خواهد شد.

$W_{J,J-1}$: مقادیر وزن‌های بین لایه‌های $J-1, J$ است.

P_J : مقدار ورودی لایه J ام.

b_J : ضریب ثابت مقدار ورودی لایه J ام.

f : تابعی به نام تابع انتقال یا تحریک است که

ورودی‌ها را هنگام عبور به لایه بعد تحت

یک عملکرد ریاضی مشخص شیفیت یا

نگاشت می‌دهد و در روابط آموزش شبکه

نیز نقش مهمی دارد.

در نهایت f این توابع باید به‌طور پیوسته قابل مشتق‌گیری و

هموار باشند. (Zhang, 2018)

بهبود سری زمانی سوانح ترافیکی زمانمند با کمک شبکه‌های عصبی مصنوعی، مبتنی بر سیستم اطلاعات مکانی مطالعه موردی آزادراه کرج - قزوین

اگر به این روابط دقت کنیم می‌بینیم که تابع اتو کوواریانس در تأخیر q قطع می‌شود. گنجاندن شرط وارون‌پذیری، ما را مطمئن می‌سازد که برای هر تابع اتو کوواریانس یک فرآیند میانگین متحرک یکتا وجود دارد.

۲-۴ فرآیندهای اتورگرسیو^{۱۳}

فرض کنید ξ_t (ترم خطا) فرآیندی است تصادفی محض یا میانگین صفر و واریانس σ_ξ^2 ، در آن صورت فرآیند $\{X_t\}$ یک فرآیند اتورگرسیو مرتبه p گفته می‌شود، اگر:

$$X_t = \alpha_1 X_{t-1} + \alpha_2 X_{t-2} + \dots + \alpha_p X_{t-p} + \xi_t \quad (9)$$

در این حالت چون X_t روی متغیرهای مستقل برازش نشده، بلکه روی مقادیر گذشته X_t برآورد شده است، بنابراین اتورگرسیو نامیده می‌شود. یک فرآیند اتورگرسیو مرتبه p را با $AR(p)$ نمایش می‌دهیم.

در این مدل مقدار X_t ترکیبی است خطی از جدیدترین p مقدار گذشته خودش بعلاوه یک جمله اغتشاش (ترم خطا) که هر چیز تازه‌ای در زمان t که به وسیله مقادیر گذشته بیان شده است را در سری منظور می‌کند، به همین منظور فرض می‌کنیم که ξ_t مستقل از X_{t-1} و X_{t-2} ... است. دقت داشته باشید که ξ_t دارای خصوصیات نویز سفید است. [Frunza, 2016]

۳-۴ الگوهای مرکب

کلاس مهمی از الگوها برای سری‌های زمانی آن‌هایی هستند که از ترکیب فرآیندهای AR, MA تشکیل می‌شوند.

یک فرآیند اتورگرسیو-میانگین متحرک مرکب^{۱۴} که شامل P جمله AR و q جمله MA است از مرتبه (p, q) نامیده می‌شود.

$$X_t = \alpha_1 X_{t-1} + \alpha_2 X_{t-2} + \dots + \alpha_p X_{t-p} + \xi_t + \beta_1 \xi_{t-1} + \dots + \beta_q \xi_{t-q} \quad (10)$$

$X_t = \beta_0 Z_t + \beta_1 Z_{t-1} + \beta_2 Z_{t-2} + \dots + \beta_q Z_{t-q}$ که در آن $\{\beta_i\}$ ها ثابت هستند، معمولاً Z ها را چنان مقیاس بندی می‌کنیم که $\beta_0 = 1$ باشد. چون Z_i ها مستقل اند،

بنابراین:

$$E(X_t) = 0 \quad (4)$$

و چون:

$$Var(X_t) = \sigma_z^2 \sum_{i=0}^q \beta_i^2 \quad (5)$$

بنابراین:

$$Cov(Z_s, Z_t) = \begin{cases} \sigma_z^2 & s = t \\ 0 & s \neq t \end{cases} \quad (6)$$

(۷)

$$\begin{aligned} \gamma(k) &= Cov(X_t, X_{t+k}) \\ &= Cov(\beta_0 Z_t + \dots + \beta_q Z_{t-q}, \beta_0 Z_{t+k} + \dots + \beta_q Z_{t+k-q}) \\ &= \begin{cases} 0 & k > q \\ \sigma_z^2 \sum_{i=0}^{q-k} \beta_i \beta_{i+k} & k = 0, 1, \dots, q \\ \gamma(-k) & k < 0 \end{cases} \end{aligned}$$

چون $\gamma(k)$ به t بستگی ندارد و میانگین ثابت است بنابراین

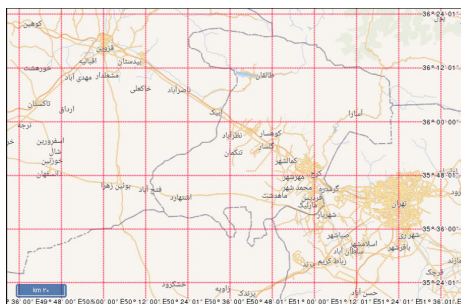
برای تمام مقادیر $\{\beta_i\}$ فرآیند ایستای مرتبه دوم است تابع خودهمبستگی^{۱۵} فرآیند میانگین متحرک به صورت رابطه ۸ داده می‌شود [North, Pyle and Zhang, 2015].

$$\rho(k) = \begin{cases} 1 & k = 0 \\ \frac{\sum_{i=0}^{q-k} \beta_i \beta_{i+k}}{\sum_{i=0}^q \beta_i^2} & k = 1, \dots, q \\ 0 & k > q \\ \rho(-k) & k < 0 \end{cases} \quad (8)$$

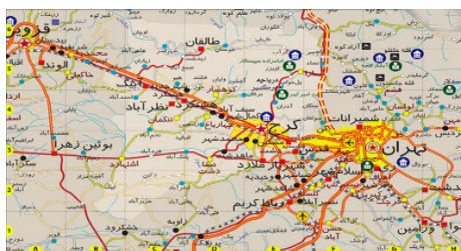
$$W_t = \alpha_1 W_{t-1} + \alpha_2 W_{t-2} + \dots + \alpha_p W_{t-p} + \xi_t + \beta_1 \xi_{t-1} + \dots + \beta_q \xi_{t-q}$$

۵. مطالعه موردی

اتوبان تهران-کرج آزادراهی است که با پهنای ۳ بانده در هر مسیر ساخته شده است. هدف ایجاد این اتوبان ارتباط آسان تهران و حومه غربی آن با کرج و سکونت جمعیت مازاد تهران در شهر کرج است. این آزادراه در ۲۰ آذر ۱۳۹۷، پنجاه و دومین سالروز تأسیس خود را تجربه می‌کند. ادامه این آزادراه به قزوین رسیده و در ادامه مسیر دوشاخه می‌شود، یک مسیر به رشت و دیگری به تاکستان و زنجان در شکل (۲) و (۳) نشان داده شده است.



شکل ۲. موقعیت آزادراه کرج قزوین



شکل ۳. منطقه مورد مطالعه مربوط به تعداد تصادفات

۱-۵ اطلاعات مورد نیاز

در این تحقیق داده‌های سوانح ترافیکی بر روی یکی از محورهای حادثه‌خیز ایران در محور کرج - قزوین در طی سال‌های ۱۳۸۸ تا ۱۳۹۲ با تحلیل‌های سری زمانی مورد بررسی قرار گرفته (۱۰۹۷ فصلنامه مهندسی حمل‌ونقل / سال دوازدهم / شماره سوم (۴۸) / بهار ۱۴۰۰

در این فرآیند ترم‌های ξ_t فرآیند تصادفی محض (نویز سفید) است.

اهمیت فرآیندهای ARMA در این حقیقت نهفته است که اغلب می‌توان یک سری زمانی ایستا با یک الگوی ARMA بیان نمود که نسبت به فرآیند MA یا AR به تنهایی، پارامترهای کمتری دارد.

۴-۴ الگوهای تلفیق شده^{۱۵}

در عمل بیشتر سری‌های زمانی نا ایستا هستند. برای برازش الگوهای ایستا، حذف کردن منابعی که باعث نا ایستایی می‌شود ضروری است. اگر سری زمانی نسبت به زمان نا ایستا باشد در آن صورت سری را تفاضلی می‌کنیم تا زمانی که ایستا شود.

برای داده‌های غیر فصلی معمولاً تفاضلی کردن مرتبه اول برای رسیدن به ایستایی ظاهری کافی است به طوری که سری جدید $\{V_t\}$ از سری $\{X_t\}$ با $V_t = X_{t+1} - X_t = \nabla X_{t+1}$ تشکیل می‌شود. تفاضلی کردن مرتبه اول به طور وسیعی در اقتصاد مورد استفاده قرار می‌گیرد. گاهی تفاضلی کردن مرتبه دوم مورد نیاز است که برای آن عملگر T^2 را به کار می‌بریم [Grami, 2016]:

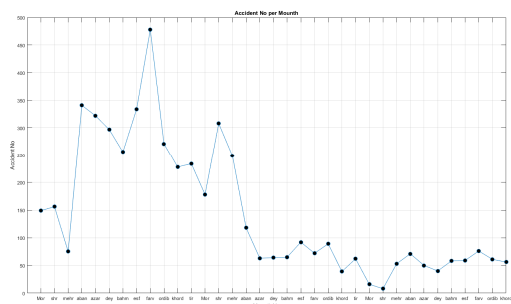
پس اگر در معادله، X_t را با $\nabla^d X_t$ عوض کنیم آنگاه الگویی داریم که قابلیت بیان بعضی انواع سری‌های نا ایستا را دارد چنین الگویی "الگوی تلفیق شده" نامیده می‌شود، زیرا الگوی ایستایی که به داده‌های تفاضلی شده برازنده شد، باید به صورت جمع در آید-یا مجتمع گردد- تا الگویی را برای داده‌های نا ایستا برازش نماید. اگر بنویسیم:

$$W_t = \nabla^d X_t \quad (11)$$

فرآیند کلی میانگین متحرک تلفیق شده با اتورگرسیون^{۱۶} به شکل زیر است: این فرآیند ARIMA که بیانگر d مرتبه تفاضلی کردن داده‌ها است را از مرتبه (p, d, q) می‌گویند. در عمل مقدار d اغلب یک منظور می‌شود [Grami, 2016].

$$(12)$$

بهبود سری زمانی سوانح ترافیکی زمانمند با کمک شبکه‌های عصبی مصنوعی، مبتنی بر سیستم اطلاعات مکانی مطالعه موردی آزادراه کرج - قزوین

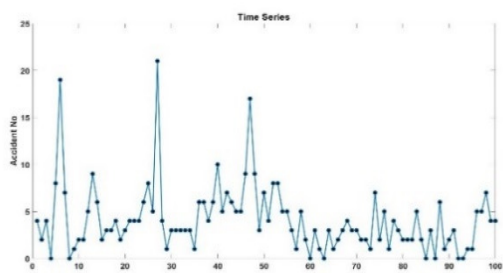


شکل ۶. تعداد تصادفات در مقیاس ماهیانه

۶. روش شناسی

۱-۶ تجزیه و تحلیل داده و تعیین آماره‌های نمونه

اولین مرحله در تجزیه و تحلیل، ترسیم سری زمانی داده‌ها است. ابتدا سری زمانی داده‌های منطقه مورد مطالعه مطابق شکل (۷) به ترتیب روز برای مقدار آماره‌های صد نمونه اول رسم شده است.



شکل ۷. سری زمانی مربوط به تعداد تصادفات در مقیاس

روزانه (صد نمونه اول)

۲-۶ بررسی وجود مؤلفه‌های روند^{۱۷} و دوره‌ای^{۱۸}

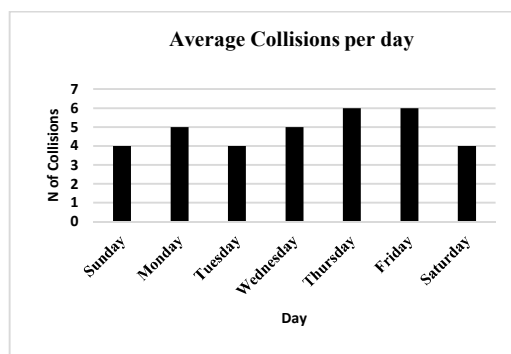
مرحله دوم در تجزیه و تحلیل، تعیین مؤلفه ایستایی در داده‌های زمانی در جهت ایستاد کردن داده‌ها است و پس از بررسی ایستایی داده‌ها، مدل‌های مناسب برازش می‌شوند. در مدل‌سازی برای تعیین مؤلفه روند، یک خط برداردها برازش می‌شود. شیب این خط برابر با مؤلفه روند است. بدیهی است در صورتی که شیب این خط صفر باشد و خط افقی باشد، داده‌ها فاقد مؤلفه روند

رکورد اطلاعاتی) که این اطلاعات بر مبنای تعداد سانحه در روز از سازمان راهداری حمل و نقل جاده‌ای اخذ شده است.

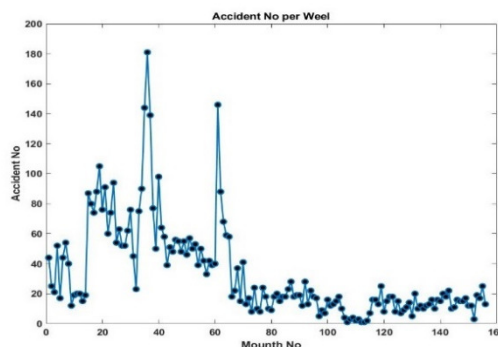
۲-۵ طبقه‌بندی داده‌ها

طبقه‌بندی داده‌های منطقه مورد مطالعه مبتنی بر سیستم اطلاعات مکانی با توجه به داده‌های موجود در ۱۰۹۷ رکورد اطلاعاتی با استفاده همزمان از دو نرم‌افزار ARCGIS و مطلب انجام شده است.

بررسی و تحلیل زمانی مدل پیش‌بینی شده سوانح ترافیکی در مقیاس روز هفته (یکشنبه، دوشنبه، سه‌شنبه، چهارشنبه، پنجشنبه، جمعه و شنبه) بر مبنای تعداد میانگین تصادفات مطابق شکل (۴) و مقیاس هفتگی شکل (۵) مشتمل بر ۱۵۵ هفته و ماهیانه شکل (۶) مشتمل بر ۳۵ ماه ترسیم شده است.



شکل ۴. تعداد تصادفات در مقیاس روزانه



شکل ۵. تعداد تصادفات در مقیاس هفتگی

۱-۳-۶ بررسی توابع خودهمبستگی و خودهمبستگی جزئی

یک روش برای بیان وابستگی زمانی در ساختار یک سری زمانی، تعریف تابع خودهمبستگی است. رابطه تابع خودهمبستگی با تأخیر k به صورت رابطه ۱۴ نشان داده می شود:

$$\rho_k = \frac{\sum_{i=1}^{n-k} (z_i - \bar{z})(z_{i+k} - \bar{z})}{\sum_{i=1}^n (z_i - \bar{z})^2} \quad -1 \leq \rho_k \leq 1 \quad (14)$$

در رابطه ۱۴،

\bar{z} : مقدار میانگین مربوط به متغیرها.

z_i, z_{i+k} : مقادیر متغیرها یا داده های سری زمانی در

مرحله زمانی i و با تأخیر زمانی k .

ρ_k : مقدار تابع خودهمبستگی سری زمانی با

تأخیر k .

f : تابعی به نام تابع انتقال یا تحریک است که

ورودی ها را هنگام عبور به لایه بعد تحت

یک عملکرد ریاضی مشخص شیفت یا

نگاشت می دهد و در روابط آموزش شبکه

نیز نقش مهمی دارد.

روش دیگر برای عنوان نمودن وابستگی زمانی در ساختار یک

سری زمانی، تعریف تابع خودهمبستگی جزئی است اگر تابع

خودهمبستگی جزئی سری زمانی با تأخیر k باشد، رابطه تابع

خودهمبستگی جزئی به صورت رابطه ۱۵ نشان داده می شود:

$$\phi_k(k) = \frac{\rho_k - \sum_{i=1}^{k-1} \phi_i(k-1)\rho_{k-i}}{1 - \sum_{i=1}^{k-1} \phi_i(k-1)\rho_i} \quad (15)$$

در رابطه ۱۵،

ϕ_k : مقدار تابع خودهمبستگی سری زمانی با

تأخیر k .

در شکل های (۹) و (۱۰) به ترتیب نمودارهای ACF و

PACF برای داده های حذف روند شده به ازای ۵۰ مرتبه تأخیر

نمایش داده شده اند که تفسیر و نتیجه حاصل از نمودارهای

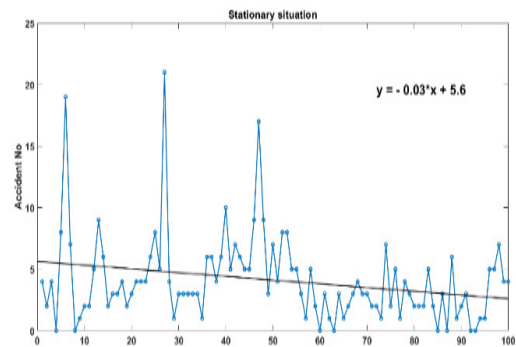
بوده و ایستا هستند [Chatfield, 2016] با بررسی صورت گرفته در داده های موجود مشخص گردید که داده ها دارای یک روند نزولی هستند.

معادله خط برازش شده بر داده ها به صورت رابطه ۱۳ است:

$$y = -0.03x + 5.6 \quad (13)$$

این معادله مبین نایستایی بسیار اندک مدل به صورت تقریبی است. بنابراین ضروری نیست سری زمانی موجود به سری ایستا تبدیل گردد.

بر اساس روند موجود می توان دید داده ها در طول زمان مطابق شکل (۸) کاهش داشته اند که نشان می دهد تعداد تصادفات در گذر زمان روند نزولی بسیار اندکی داشته است. در این داده ها حالت دوره ای (پریودیک) وجود ندارد، زیرا هیچ الگوی تکراری واضحی در شکل (۸) مشاهده نمی شود.



شکل ۸. بررسی ایستایی تصادفات در مقیاس روزانه

۳-۶ شناسایی نوع و مرتبه مدل و بررسی مدل های

آماری

برای تعیین و شناسایی نوع و مرتبه مدل بایستی ابتدا بر روی نمودارهای خودهمبستگی و خودهمبستگی جزئی^{۱۹} قضاوت نمود. به طور معمول مدل های AR، MA و ARMA قابل انتخاب هستند. دلیل استفاده گسترده از این مدل ها را می توان مربوط به توانایی آن ها در ایجاد همبستگی بین مقادیر زمان حال با زمان های پیشین و همچنین سادگی ساختار این مدل ها دانست.

بهبود سری زمانی سوانح ترافیکی زمانمند با کمک شبکه‌های عصبی مصنوعی، مبتنی بر سیستم اطلاعات مکانی مطالعه موردی آزادراه کرج - قزوین

می‌شود. مدل پیش‌بینی، داده‌های موجود اختلاف مدل و داده در شکل (۱۱) به روش سری زمانی تنها برای ۲۰۰ داده متوالی (به دلیل حجم بالای داده‌های موجود و عدم امکان نمایش با تفکیک مناسب در نمودار) ترسیم شده است.

(۱۶)

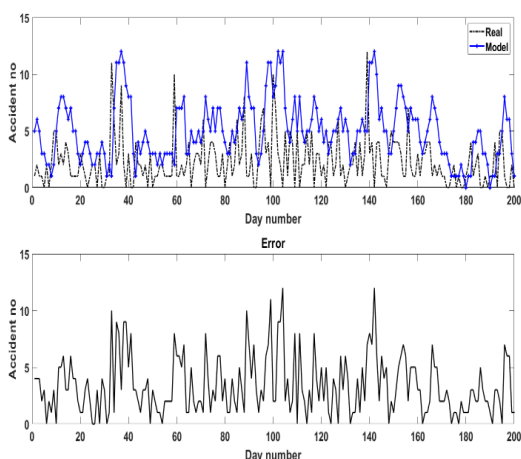
$$y_t = 0.557y_{t-4} + 0.5667y_{t-3} + 0.5691y_{t-2} + 0.579y_{t-1} + 0.26$$
 همچنین برای ارزیابی از شاخص جذر میانگین مربعات خطا^{۲۰} استفاده می‌شود؛ که رابطه آن به صورت زیر تعریف می‌شود.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{T} \sum (\hat{P}_F - \dot{P})^2} \quad (۱۷)$$

در رابطه ۱۷،

T : تعداد دوره‌های پیش‌بینی شده.

\dot{P}_F, \dot{P} : مقادیر واقعی و پیش‌بینی شده.



شکل ۱۱. نمودار بالا پیش‌بینی مدل سری زمانی با داده‌های موجود، نمودار پایین خطای بین مدل و داده از روش سری زمانی

۳-۳-۶ مزایای و معایب شبکه‌های عصبی مصنوعی

شبکه‌های عصبی به دلیل مزایای فوق‌العاده‌ای که نسبت به روش‌های دیگر دارند در این تحقیق مورد توجه قرار گرفته‌اند که برخی از این مزایا شامل قدرت یادگیری، انطباق، قدرت تعمیم، پردازش زمینه‌ای اطلاعات، تحمل خطا، مصرف انرژی کم،

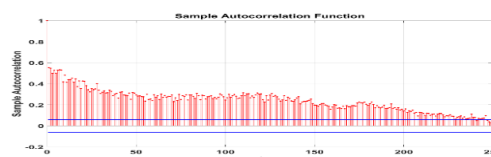
همبستگی و خودهمبستگی به شرح حالت‌های ذیل است. اگر ACF دارای الگوی تدریجی نزولی یا نهایی بود حاکی از نا ایستا بودن مدل و نیاز به تفاضل‌گیری مجدد و یا تغییر در تفاضل‌گیری صورت گرفته و یا شاید تبدیل دارد و مدل ARMA(p,q) به ARIMA(p,d,q) تبدیل می‌شود.

ب) اگر ACF نزولی به سمت صفر و PACF دارای وقفه معنی‌دار در ابتدای تابع بود، نشان می‌دهد مدل دارای الگوی اتورگر سیو مرتبه p، AR(p) است و p بستگی به تعداد وقفه‌های معنی‌دار دارد.

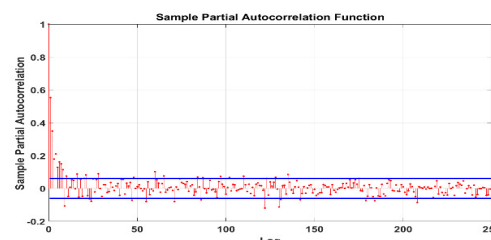
ج) اگر PACF دارای روند نزولی به سمت صفر و ACF دارای وقفه‌های معنی‌دار در ابتدای تابع بود حکایت از الگوی میانگین متحرک با مرتبه q، MA(q) دارد.

د) اگر ACF و PACF هر دو دارای روند نزولی به سمت صفر باشند نشان‌دهنده الگوی مرکب ARMA(p,q) است.

ه) اگر تابع ACF و PACF هر دو دارای یک روند متناوب باشند می‌تواند نشان‌دهنده یک الگوی فصلی باشد.



شکل ۹. نمودار تابع خودهمبستگی



شکل ۱۰. نمودار تابع خودهمبستگی جزئی

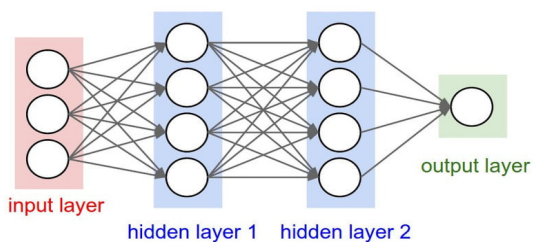
۲-۳-۶ بررسی و ارزیابی نوع مدل

با توجه به نمودارهای ACF و PACF داده‌های موجود در دو ضریب به صورت معادله ۱۵ برای پیش‌بینی مدل در نظر گرفته

فصلنامه مهندسی حمل‌ونقل / سال دوازدهم / شماره سوم (۴۸) / بهار ۱۴۰۰

وضعیت نسبی سلول‌ها در شبکه (تعداد و گروه‌بندی و نوع اتصالات آن‌ها) را توپولوژی شبکه گویند. توپولوژی در واقع سیستم اتصال سخت‌افزار نوروها به یکدیگر است که توأم با نرم‌افزار مربوطه (روش ریاضی جریان اطلاعات و محاسبه‌ی وزن‌ها) نوع عملکرد شبکه‌ی عصبی را تعیین می‌کند. شکل (۱۲) شبکه‌ای از تعداد دلخواهی واحد پردازشی (نرون، سلول یا گره) که در لایه (ها) قرار می‌گیرند را نشان می‌دهد. تا مجموعه‌های ورودی را به مجموعه خروجی ربط دهند [Menhaj, 2009].

این مطالعه دارای توپولوژی با چهار لایه‌ی ورودی، بیست و چهار لایه مخفی و در نهایت یک لایه‌ی خروجی است.



شکل ۱۲. توپولوژی شبکه

۵-۳-۶ طراحی شبکه عصبی مصنوعی

مراحل طراحی و الگوریتم شبکه به منظور مدل‌سازی بهینه سوانح ترافیکی زمانمند مطابق فلوجارت (۱۳) عبارت‌اند از:

۱. شناخت متغیرهای ورودی و خروجی.
۲. تبدیل مقادیر ورودی و خروجی به دامنه تعریف.
۳. انتخاب هندسه (توپولوژی) تابع انتقال مناسب.
۴. آموزش با داده‌های آموزشی معرف و الگوریتم تصحیح وزن.
۵. آزمون شبکه با داده‌هایی مستقل از مجموعه آموزشی و در صورت لزوم ادامه آموزش و تنظیم مثال‌های آموزشی، توپولوژی شبکه و پارامترهای آن.

شما با هت با نرون بیولوژیکی و یکنواختی تحلیل و طراحی می‌باشند. [Menhaj, 2009]

شبکه‌های عصبی پرسپترون، به‌ویژه پرسپترون چندلایه، در زمره کاربردی‌ترین شبکه‌های عصبی می‌باشند. این شبکه‌ها عمدتاً می‌توانند یک نگاشت غیرخطی از ورودی به خروجی را با دقت قابل قبول انجام دهند دارای محدودیت‌هایی هستند که عبارت‌اند از: [Menhaj, 2009]

۱. دو خروجی بیشتر ندارد (صفر و یک).
 ۲. تنها از آن می‌توان برای طبقه‌بندی ورودی‌های قابل تفکیک خطی استفاده کرد.
 ۳. برخی از بردارهای ورودی پرسپترون می‌توانند دارای اعداد بسیار بزرگی باشند که این مسئله می‌تواند مشکل‌ساز باشد، چراکه این اعداد در اصلاح وزن‌ها تأثیر زیادی گذاشته و در نتیجه تعداد زیادی داده دیگر نیاز است تا این داده را تعدیل کرده و نتیجه مطلوب حاصل شود.
- با وجود برتری‌هایی که شبکه‌های عصبی نسبت به سیستم‌های مرسوم دارند، معایبی نیز دارند که پژوهشگران این رشته تلاش دارند که آن‌ها را به حداقل برسانند، از جمله: [Menhaj, 2009]

۱. قواعد یا دستورات مشخصی برای طراحی شبکه جهت یک کاربرد اختیاری وجود ندارد.
۲. در مورد مسائل مدل‌سازی، نمی‌توان صرفاً با استفاده از شبکه عصبی به فیزیک مسئله پی برد. به عبارت دیگر مرتبط ساختن پارامترها یا ساختار شبکه به پارامترهای فرآیند معمولاً غیرممکن است.
۳. دقت نتایج بستگی زیادی به اندازه مجموعه آموزش دارد.
۴. آموزش شبکه ممکن است مشکل یا حتی غیرممکن باشد.
۵. پیش‌بینی عملکرد آینده شبکه (عمومیت یافتن) آن به‌سادگی امکان‌پذیر نیست.

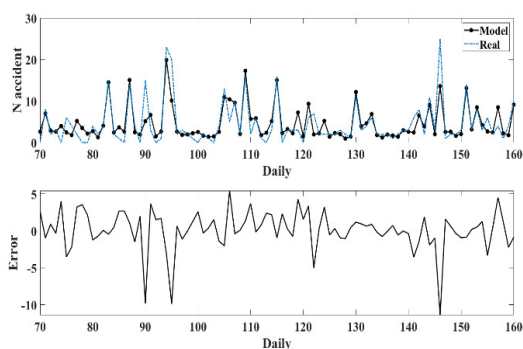
۴-۳-۶ توپولوژی شبکه عصبی مصنوعی

بهبود سری زمانی سوانح ترافیکی زمانمند با کمک شبکه‌های عصبی مصنوعی، مبتنی بر سیستم اطلاعات مکانی مطالعه موردی آزادراه کرج - قزوین

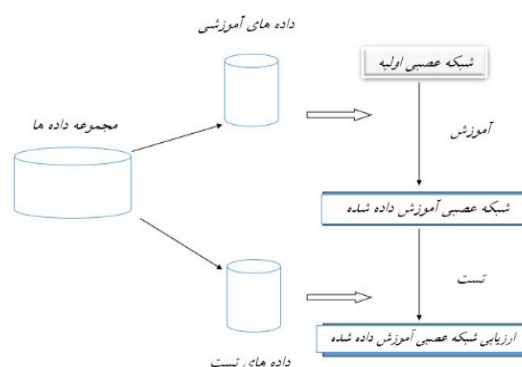
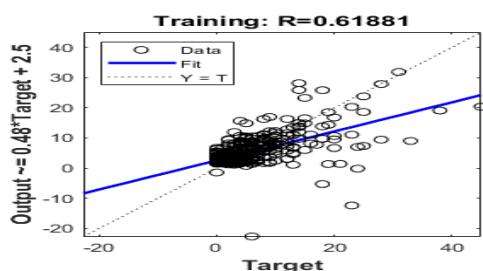
توضیحات قبل از روش شبکه عصبی تغذیه روبه‌جلو feedforward استفاده شده است. بهترین نتیجه و پارامترهای مربوط به شبکه عصبی برحسب چند معیار مهم در جدول (۲) به‌صورت عددی و نمایش منحنی ۶-های خطای مینیمم شبکه عصبی طی عملیات آموزش، داده‌های آزمایش شبکه عصبی، داده‌های آزمون شده شبکه عصبی، داده‌های آزمایش شبکه عصبی پس از آموزش و مقایسه خطاهای مینیمم شده شبکه عصبی در شکل‌های (۱۵ تا ۲۰) به‌صورت ذیل آورده شده است.

جدول ۲. اندازه‌گیری‌های پارامترهای مربوط به شبکه عصبی

N Samples	۱۰۹۷
Input Neurons	۴
Hidden Neurons	۲۴
Output Neurons	۱
Epoch	۶
Performance	۱۰/۹



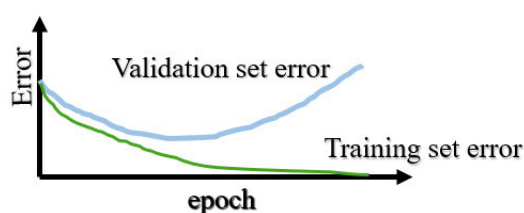
شکل ۱۵. نمودار بالا پیش‌بینی مدل و داده‌های موجود، نمودار پایین خطای بین مدل و داده از روش شبکه عصبی



شکل ۱۳. فلویچارت طراحی شبکه عصبی مصنوعی

برای یادگیری وزن‌های شبکه چندلایه از الگوریتم پس‌نشر استفاده شد؛ که در این روش با استفاده از گرادینت شیب^{۲۱} سعی می‌شود تا مربع خطای بین خروجی‌های شبکه و تابع هدف مینیمم شود.

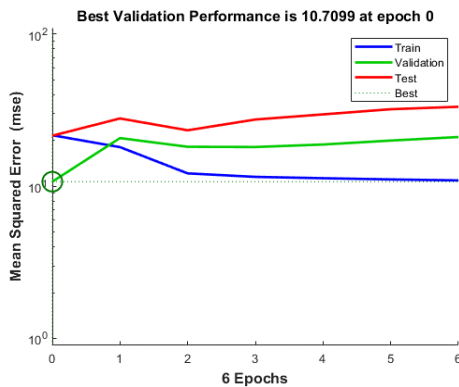
شرط توقف این الگوریتم با افزایش تعداد تکرار به‌دفعات معین، انجام شد تا پیچیدگی‌های فضای فر ضیه یادگرفته شده توسط الگوریتم بیشتر و بیشتر شود و شبکه بتواند نویزهای موجود در مجموعه آموزش را به‌درستی ارزیابی نماید که سرانجام بهینه‌ترین مدل پس از شش اپوک با مقدار ضریب تبیین $(R^2 = 0.66)$ و مطابق شکل (۱۶) با خطای جذر میانگین مربعات ۱۰,۷۱ به دست آمد.



شکل ۱۴. منحنی خطای مینیمم شده داده‌های شبکه عصبی

۶-۳-۶ آنالیز شبکه عصبی مصنوعی

دو هدف در این روش مدنظر است. هدف اول این‌که ارزیابی از روش شبکه عصبی مصنوعی به دست آید و هدف دوم شناسایی بهترین پارامترهای مربوط به وضعیت شبکه عصبی که بهینه‌ترین نتیجه را بدهد. برای انتخاب بهترین پارامترها مطابق



شکل ۲۰. منحنی مقایسه خطاهای مینیمم شده شبکه عصبی

در نهایت با توجه به بررسی جزئیات منحنی‌های خطا، بهترین نتیجه شبکه عصبی دارای ضریب همبستگی ۰,۶۶ بوده است؛ که نسبت به سری زمانی بهینه بوده و همچنین شاخص‌های آماری دو روش را در جدول (۳) مقایسه کردیم.

جدول ۳. مقایسه پارامترهای آماری خطا به صورت کلی

در شبکه عصبی و سری زمانی در داده‌های آموزش

مجموع	میانگین	ماکزیمم	مینیمم	قدر مطلق خطا
۳۹۷۰	۵	۵۱	۰	سری زمانی
۲۰۶۷	۳	۳۵	۰	شبکه عصبی

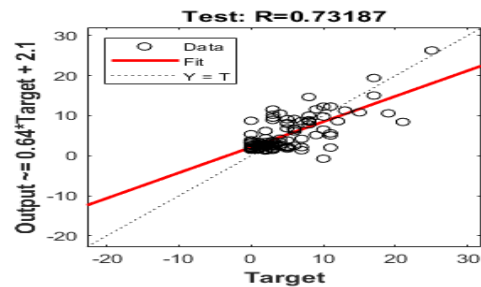
۴-۶ جمع‌بندی نتایج

در این تحقیق در مقیاس روزانه داده‌های شبکه عصبی و سری زمانی، وجود مؤلفه‌های روند دوره‌ای در داده‌ها، نوع و مرتبه مدل و توابع خودهمبستگی و خودهمبستگی جزئی بررسی شده و در نهایت بر اساس مدل منتخب، داده‌های سوانح ترافیکی مبتنی بر سیستم اطلاعات مکانی مدل بر مبنای چهارروزه پیش‌بینی شده است.

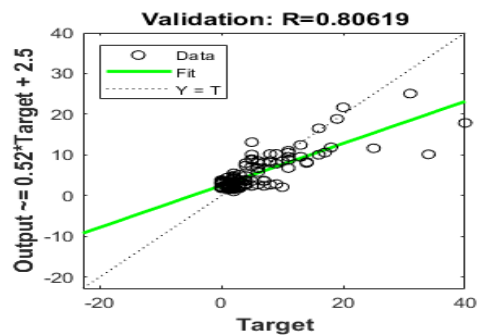
بر اساس روش سری زمانی خطای جذر میانگین مربعات ۵ حادثه (مجموع خطا ۳۹۷۰، مینیمم ۰، ماکزیمم ۵۱) به دست آمد؛ و بر اساس روش پیشنهادی، مدل منتخب یا همان روش

شکل ۱۶. منحنی خطای مینیمم شبکه عصبی طی عملیات

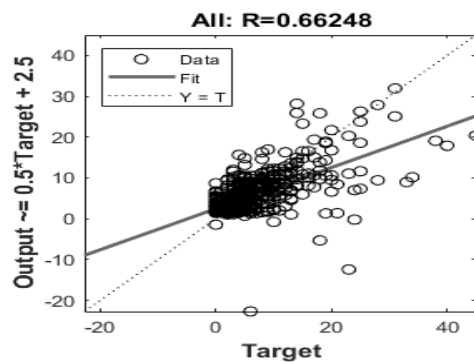
آموزش



شکل ۱۷. منحنی داده‌های آزمایش شبکه عصبی



شکل ۱۸. منحنی داده‌های آزمون شده شبکه عصبی



شکل ۱۹. منحنی تمام داده‌های شبکه عصبی پس از آموزش

بهبود سری زمانی سوانح ترافیکی زمانمند با کمک شبکه‌های عصبی مصنوعی، مبتنی بر سیستم اطلاعات مکانی مطالعه موردی آزادراه کرج - قزوین

پس از اجرای الگوریتم تصحیح وزن‌ها با رسیدن به مینیمم خطای کلی، معیار تکرار برای توقف الگوریتم با شش اپوک انجام شد.

۷. نتیجه‌گیری و پیشنهادها

موضوع ایمنی سوانح ترافیکی از جمله موضوعات بسیار پراهمیت است که خصوصاً در سال‌های اخیر و پیشرو که رشد جمعیت و عبور و مرور را شاهد هستیم، پررنگ‌تر شده است. با وجود اهمیت بسیار زیاد آن، مطالعات علمی کمی در این زمینه وجود دارد و از اهمیت آن غفلت شده است. نتایج چنین مطالعاتی می‌توانند مستقیماً در قسمت عملیاتی برای بهبود وضعیت ایمنی حمل و نقل به کار گرفته شوند.

در کار انجام‌شده در این پژوهش ابتدا ۱۰۹۷ مورد از سوانح ترافیکی در مسیر کرج - قزوین انتخاب شده و سپس با تجزیه و تحلیل داده‌های منطقه مورد مطالعه با استفاده از خودهمبستگی جزئی و استفاده از نرم‌افزار ARCGIS و مطلب اطلاعات چهار روز قبل برای برآورد نرخ حوادث پیشنهاد شد؛ که بر این اساس و الگوریتم‌های توضیح داده‌شده، روش سری زمانی خطای جذر میانگین مربعات ۵ حادثه (مجموع خطای ۳۹۷۰، مینیمم ۰، ماکزیمم ۵۱) به دست آمد و مدل پیشنهادی منتخب یا همان روش شبکه عصبی پرسپترون چندلایه با انتخاب تعداد ۴ لایه ورودی، ۲۴ لایه میانی و الگوریتم پس انتشار خطا و تابع سیگموئید، اجرای الگوریتم تصحیح وزن‌ها برای رسیدن به کمینه خطای کلی، با شش اپوک انجام شد و خطای جذر میانگین مربعات ۳ حادثه (مجموع خطای ۲۰۶۷، مینیمم ۰، ماکزیمم ۳۵) به دست آمد.

در ادامه از آنجا که شبکه‌های عصبی مصنوعی، الگوهای محاسباتی نسبتاً جدیدی هستند، می‌توان گفت که فواید، کاربردها و روابط آن‌ها با محاسبات مرسوم هنوز کاملاً شناخته‌نشده است. عنوان این مطلب که شبکه‌های عصبی

شبکه عصبی خطای جذر میانگین مربعات ۳ حادثه (مجموع خطای ۲۰۶۷، مینیمم ۰، ماکزیمم ۳۵) برآورد شد.

در مدل پیشنهادی منتخب یا همان روش شبکه عصبی پرسپترون چندلایه پیش از شروع شبیه‌سازی، داده‌های ورودی را به دو گروه تقسیم نمودیم:

۱. داده‌های آموزش: این داده‌ها به منظور آموزش شبکه و از میان کل داده‌ها (۷۰ درصد آن‌ها) را به طور تصادفی به عنوان داده‌های آموزش انتخاب شدند.
۲. داده‌های آزمون: پس از آنکه شبکه توسط داده‌های آموزش تا رسیدن به حداقل خطای آموزش یافت مابقی داده‌ها (۳۰ درصد باقی‌مانده) که در آموزش نقش ندا شدند به عنوان ورودی به شبکه داده شده و پاسخ شبکه با پاسخ مطلوب مقایسه شد.

حالت شبیه‌سازی شبکه عصبی با انتخاب تعداد ۴ لایه ورودی و ۲۴ لایه میانی انجام شد. (انتخاب لایه میانی مبنای خاصی ندارد و معمولاً با صحیح و خطا به نحوی انتخاب شد که شبکه جواب معقولی در اختیار بگذارد). قدم بعدی در شبیه‌سازی انتخاب نوع تابع خروجی نورو بود که با توجه به بحث‌های پیشین، شبکه‌های چندلایه با الگوریتم پس انتشار خطا و تابع سیگموئید استفاده شد.

شایان ذکر است با توجه به ۱۰۹۷ نمونه‌های سوانح ترافیکی وزن تمام لایه‌ها در اولین گام اجرای الگوریتم به طور تصادفی انتخاب شدند و در هر گام با استفاده از روش پس انتشار خطا، وزن‌ها تصحیح شدند. اشاره به این نکته حائز اهمیت است که پس از آنکه تمام نمونه‌ها یک‌بار به شبکه ارائه شدند دربار بعدی (اپوک بعد) ابتدا داده‌های آموزشی به طور تصادفی برزده شدند.

این کار به‌ویژه سبب شد که شبکه عصبی به ازای نمونه‌های خاص بایاس نشود و همچنین از گیرکردن در مینیمم‌های محلی جلوگیری شود.

18. Periodic
19. PACF
20. RMSE
21. Gradient descent

۹. مراجع

- ابراهیمی، اصغر، احرام پوش، محمدحسین، هاشمی، حسن و دهوری، محبوبه (۱۳۹۵) "پیش‌بینی میزان تولید پسماند شهری با استفاده از روش سری زمانی (فن ARMA) و مدل‌سازی پویایی سیستم (نرم‌افزار Vensim)"، فصلنامه سلامت و محیط‌زیست، جلد نهم، شماره اول، ص، ۵۷-۶۸.
- بابایی حصار، سحر و قضاوی، رضا (۱۳۹۴) "مقایسه مدل‌های سری زمانی و شبکه عصبی با نتایج سناریوهای انتشار در پیش‌بینی بارندگی"، آب‌و‌خاک، جلد بیست و نهم، شماره چهارم، ص، ۹۴۳-۹۵۳.
- بروجردیان، امین میرزا و ابراهیمی، مسعود (۱۳۹۶) "بررسی تأثیر شرایط جوی و بارندگی بر سرعت جریان آزاد و ظرفیت تردد در آزادراه‌ها مطالعه موردی آزادراه تهران قم"، فصلنامه علمی پژوهشی مهندسی حمل و نقل، جلد هشتم، شماره چهارم، ص، ۴۸۵-۵۰۱.
- عینی، الهه، سوری، حمید، گنجعلی، مجتبی و باغفلکی، تابان (۱۳۹۶) "محاسبه هزینه فوت و جرح ناشی از سوانح ترافیکی در ایران با استفاده از تحلیل بیزی به روش تمایل به پرداخت"، فصلنامه علمی پژوهشی مهندسی حمل‌ونقل، جلد هشتم، شماره چهارم، ص، ۶۵۷-۶۶۹.
- فلاحتی، فاطمه، براتی، محمدجواد و جزایری، سید عباس (۱۳۹۴) "آشکارسازی تغییرات دما با استفاده از سری های زمانی در راستای مدیریت ریسک مخاطرات محیطی (مطالعه موردی: شهر اراک)"، فصلنامه دانش پیشگیری و

مصنوعی می‌توانند همه مسائل، یا حتی تمامی مسائل نگاشت را به‌صورت استدلال خودکار حل کنند، احتمالاً غیرواقعی است. پیشنهادهایی که در راستای نتایج به‌دست‌آمده از این تحقیق می‌تواند داده شود به‌صورت زیر است:

- مقایسه مدل پیش‌بینی شده با سری زمانی در این تحقیق با مدل های جایگزین مانند فازی و آنالیز موجک توأم با یکدیگر مبتنی بر سیستم اطلاعات مکانی باهدف افزایش دقت مدل.
- اولویت‌بندی نقاط حادثه‌خیز به‌صورت مکانی و سپس ایمن‌سازی مناسب این نقاط اعم از نصب علائم هشداردهنده و یا افزایش نظارت.
- شناسایی عوامل خطر، وجود رابطه و شدت تأثیر آن‌ها بر سوانح ترافیکی با کمک مطالعات توصیفی می‌توانند برنامه‌ریزی و اعمال سیاست‌های مناسب برای کاهش آسیب‌ها و بارناشی از سوانح ترافیکی را تسریع و تسهیل نماید.

۸. پی‌نوشت‌ها

1. Multi Layer Perceptron
2. Random-effects negative binomial models
3. Bayesian hierarchical approach
4. Recurrent Neural Network
5. Bayesian spatial random parameters
6. D.O.Hebb
7. Back propagation
8. Feed Forward
9. Reinforce learning
10. Markov
11. Moving Average process
12. ACF
13. Autoregressive process
14. ARMA
15. Integrated
16. ARIMA
17. Trend

- Bolouri, S., Vafaeinejad, A.R., Alesheikh, A.A. and Aghamohammadi, H. (2018) "The ordered capacitated multi-objective location-allocation problem for fire stations using spatial optimization", *ISPRS International Journal of Geo-Information*, Vol. 7, No. 2, pp. 44-64.
- Brsharma, S. B. (2006) "Road traffic injuries: a major global public health crisis", *Public health*, vol. 122, No. 12, pp. 1399-406.
- Chatfield, C. (2016) "The analysis of time series an introduction", USA: CHAPMAN and Hall/CRC press.
- Cortes, C., Gonzalvo, X., Kuznetsov, V., Mohri, M. and Yang, S. (2016) "Adanet: adaptive structural learning of artificial neural networks", *International Conference on Machine Learning*, New York: 19-24 June 2016.
- Frunza, M.C. (2016) "Solving modern crime in financial markets", USA: Academic Press.
- Grami, A. (2016) "An introduction to digital communications", London: Academic Press.
- Mbamalu, G.A.N. and El-Hawary, M.E. (1993) "Load and price forecasting via suboptimal autoregressive models and iteratively recursive least squares estimation", *IEEE Transactions on Power Systems*, Vol. 8, No. 1, pp. 343-348.
- McCulloch, W.S. and Pitts, W. (1943) "A logical calculus of the ideas immanent in nervous activity", *the bulletin of mathematical biophysics*, Vol. 5, No. 4, pp.115-133.
- Naghavi, M.A.F., Pourmalek, F., Lakeh, M., Jafari N. and Vaseghi S. (2009) "The burden of disease and injury in Iran 2003", *Popul Health Metr*, Vol. 7, No. 9, pp. 195-275.
- North, G., Pyle, J. and Zhang, F. (2015) "Encyclopedia of atmospheric sciences", USA: Academic Press.
- Pollak, K., Peled, A., and Hakkert, S. (2014) "Geo-based statistical models for vulnerability prediction of highway network مدیریت بحران، جلد پنجم، شماره چهارم، ص، ۲۸۰-۲۸۵.
- موسوی، سید نعمت اله و کاوسی، کلاشمی (۱۳۹۵) "کاربرد روش‌های شبکه عصبی و مدل‌های سری زمانی در پیش‌بینی مصرف آب شرب، مطالعه موردی شهر رشت"، ماهنامه علمی پژوهشی آب و فاضلاب، جلد بیست و هفتم، شماره چهارم، ص، ۹۳-۹۸.
- نوبخت ارسی، فریدون، صفری، عبدالرضا و شریفی، محمدعلی (۱۳۹۵) "آنالیز سری زمانی موقعیت ایستگاه دائمی GPS با استفاده از اتورگرسیو میانگین متحرک"، فصلنامه علمی پژوهشی اطلاعات جغرافیایی «سپهر»، جلد بیست و پنجم، شماره نو دوهفتم، ص، ۱۳-۵.
- منہاج، محمدباقر (۱۳۸۸) "مبانی شبکه‌های عصبی هوش محاسباتی"، تهران، انتشارات امیرکبیر.
- وفایی نژاد، علی‌رضا، آل‌شیخ، علی‌اصغر، هلالی، حسین و همراه، مجید (۱۳۸۹) "مناسب‌ترین تکنولوژی تعیین موقعیت جهت سیستم‌های حمل‌ونقل هوشمند در ایران و طراحی یک GIS مکانمند-زمانمند بر اساس آن"، برنامه‌ریزی و آمایش فضا، جلد چهاردهم، شماره سه، ص، ۹۷-۱۱۶.
- Aghakhani, M., Nasrabadi, T., Vafaeinejad, A.R. (2018) "Assessment of the effects of land use scenarios on watershed surface runoff using hydrological modelling", *Applied Ecology and Environmental Research*, Vol. 16, No. 3, pp. 2369-2389.
- Alemany, A. M. R. and Guillén, M. (2013) "Impact of road traffic injuries on disability rates and long-term care costs in Spain", *Accident Analysis & Prevention*, Vol. 60, pp. 95-102.
- Bahadorimonfared, S.H.A., Mehrabi, Y., Delpisheh A., Esmaili, A. and Salehi, M. (2013) "Trends of fatal road traffic injuries in Iran", *PloS one*, Vol. 8, No. 5, pp. e65198.

- networks", *Journal of Spatial Science*, Vol. 64, No. 1, pp. 131-152.
- Wang, C., Quddus, M., and Ison, S. (2013) "A spatio-temporal analysis of the impact of congestion on traffic safety on major roads in the UK", *Transport Science*, Vol. 9, No. 2, pp. 124-148.
 - Werbos, P. (1975) "Backpropagation through time" what it does and how to do it. *Proceedings of the IEEE*, Vol. 78, No. 10, pp. 1550-1560.
 - World Health Organization. (2004) "World report on road traffic injury prevention", Switzerland: Geneva.
 - World Health Organization. (2013) "Global status report on road safety supporting a decade of action", Switzerland: Geneva.
 - Yin, Y. and Shang, P. (2016) "Forecasting traffic time series with multivariate predicting method", *Applied Mathematics and Computation*, Vol. 291, No. 23, pp. 266-278.
 - Zeng, Q., Wen, H., Huang, H. and Abdel-Aty, M. (2017) "A Bayesian spatial random parameters Tobit model for analyzing crash rates on roadway segments", *Accident Analysis and Prevention*, Vol. 100, No. 5, pp. 37-43.
 - Zhang, Z. (2018) "Multivariate time series analysis in climate and environmental research", Cham, Switzerland: Springer.
- segments", *ISPRS International Journal of Geo-Information*, Vol. 3, No. 2, pp. 619-637.
- Sadeghi, A., Ayati, E. and Alipirayesh neghab, M. (2013) "Identification and prioritization of hazardous road locations by segmentation and data envelopment analysis approach", *Traffic & Transportation*, Vol. 25, No. 2, pp. 127-136.
 - Sameen, M. and Pradhan, B. (2017) "Severity prediction of traffic accidents with recurrent neural networks", *Applied Sciences*, Vol. 7, No. 6, pp. 476.
 - Singh, G., Sachdeva, S.N., and Pal, M. (2016) "5M model tree based predictive modeling of road accidents on non-urban sections of highways in india", *Accident Analysis and Prevention*, Vol. 96, No. 13, pp. 108-117.
 - Vafaeinejad, A.R. (2017) "Dynamic guidance of an autonomous vehicle with spatio-temporal GIS", *International Conference on Computational Science and Its Applications*, Trieste, Italy: 3-6 July 2017.
 - Vafaeinejad, A.R. (2018) "Design and implementation of a dynamic gis with emphasis on navigation purpose in urban area", *International Conference on Computational Science and Its Applications*, Melbourne, VIC, Australia: 2-5 July 2018.
 - Vahidnia, M.H., Vafaeinejad, A.R., Shafiei, M. (2019) "Heuristic game-theoretic equilibrium establishment with application to task distribution among agents in spatial

بهبود سری زمانی سوانح ترافیکی زمانمند با کمک شبکه‌های عصبی مصنوعی، مبتنی بر سیستم اطلاعات مکانی مطالعه موردی آزادراه کرج - قزوین

رضا صناعی، درجه کارشناسی در رشته مهندسی عمران - نقشه‌برداری را در سال ۱۳۷۸ از دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب و درجه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی عمران - نقشه‌برداری (ژئودزی) را در سال ۱۳۸۴ از دانشگاه تهران اخذ نمود. وی از سال ۱۳۹۵ دانشجوی دکتری در رشته سنجش‌ازدور و سیستم اطلاعات جغرافیایی در دانشکده منابع طبیعی و محیط‌زیست دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران است. زمینه‌های پژوهشی موردعلاقه ایشان نقشه‌برداری (ژئودزی)، حمل‌ونقل، سیستم اطلاعات مکانی، سیستم تعیین موقعیت ماهواره‌ای، هوش مصنوعی، پایگاه داده و زیرساخت داده‌های مکانی بوده است.



علیرضا وفائی نژاد، درجه کارشناسی در رشته مهندسی عمران - نقشه‌برداری را در سال ۱۳۷۹ از دانشگاه صنعتی خواجه‌نصیرالدین طوسی و درجه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی عمران - GIS در سال ۱۳۸۱ را از دانشگاه صنعتی خواجه‌نصیرالدین طوسی اخذ نمود. در سال ۱۳۸۸ موفق به کسب درجه دکتری در رشته مهندسی نقشه‌برداری - سیستم اطلاعات مکانی از دانشگاه صنعتی خواجه‌نصیرالدین طوسی گردید. زمینه‌های پژوهشی موردعلاقه ایشان سیستم اطلاعات مکانی، حمل‌ونقل، زیرساخت داده‌های مکانی بهینه‌سازی بوده و در حال حاضر عضو هیئت‌علمی با مرتبه استادیار در دانشگاه صنعتی شهید بهشتی است.



جلال کرمی، درجه کارشناسی در رشته جغرافیا را در سال ۱۳۷۴ از دانشگاه اصفهان و درجه کارشناسی ارشد در رشته سنجش‌ازدور و GIS در سال ۱۳۸۱ را از دانشگاه تربیت مدرس اخذ نمود. در سال ۱۳۹۰ موفق به کسب درجه دکتری در رشته مهندسی نقشه‌برداری - سیستم اطلاعات مکانی از دانشگاه صنعتی خواجه‌نصیرالدین طوسی گردید. زمینه‌های پژوهشی موردعلاقه ایشان تصمیم‌گیری‌های مکانی و هوش مصنوعی بوده و در حال حاضر عضو هیئت‌علمی با مرتبه استادیار در دانشگاه تربیت مدرس است.



حسین آقامحمدی زنجیرآباد، درجه کارشناسی در رشته مهندسی عمران - نقشه‌برداری را در سال ۱۳۸۲ از دانشگاه صنعتی خواجه‌نصیرالدین طوسی و درجه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی عمران - GIS را در سال ۱۳۸۵ از دانشگاه صنعتی خواجه‌نصیرالدین طوسی اخذ نمود. در سال ۱۳۹۲ موفق به کسب درجه دکتری در رشته مهندسی نقشه‌برداری - سیستم اطلاعات مکانی از دانشگاه صنعتی خواجه‌نصیرالدین طوسی گردید. زمینه‌های پژوهشی موردعلاقه ایشان سیستم اطلاعات مکانی، سنجش‌ازدور، هوش مصنوعی و بهینه‌سازی بوده و در حال حاضر عضو هیئت‌علمی با مرتبه استادیار در دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات است.

