پیش‌بینی تقاضای سفر ریلی در مسیر تهران- مشهد

محمدرضا امین‌ناصری*، دانشیار، دانشکدهٔ مهندسی صنایع، دانشکدهٔ فنی و مهندسی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران
فرنام بهنام، دانش‌آموختهٔ کارشناسی‌ارشد، دانشکدهٔ مهندسی صنایع، دانشکدهٔ فنی و مهندسی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

E-mail: amin_nas@modares.ac.ir
دریافت: ۱۳۹۰/۰۶/۲۷- پذیرش: ۱۳۹۰/۱۲/۱٤

چکیده

در این مقاله با انتخاب محور ریلی خراسان به عنوان پر تردد‌ترین محور ریلی کشور به پیش‌بینی تقاضای سفر در زمان‌های اوج[1] تقاضای سفر (فروردین و شهریور) و غیراوج پرداخته شده است. با توجه به اینکه تقاضای سفر در ایام اوج تقاضا معمولاً بیش از ظرفیت ریلی موجود بوده است، مقدار واقعی این تقاضا در این ایام، مشخص نبوده و در نتیجه همهٔ تحقیقات پیشین با فرض برابر بودن تقاضای اوج با میزان مسافر جابه‌جا شده (ظرفیت موجود) در این محور انجام شده است. بنابراین، در این مقاله با شناسایی عوامل مؤثر بر تقاضای سفر در زمان‌های اوج از قبیل تعداد روزهای تعطیلی مدارس و ادارات، مناسبات مذهبی و متغیرهای آب و هوا، با استفاده از روش‌های رگرسیون و شبکه‌های عصبی مصنوعی، ابتدا میزان تأثیر این عوامل در شرایط غیر اوج به‌دست آمده و سپس با در نظر گرفتن این متغیرها در شرایط اوج، میزان تقاضای اوج تقریباً ۵/۳ درصد برآورد شده است. در این تحقیق، مدل‌های ارایه شده با دقت بیش از ۹۵ درصد، تقاضای سفر در مسیر تهران- مشهد را پیش‌بینی کردند. مدل‌های ایجاد شده در این مقاله توانسته‌اند با بهره‌گیری از متغیرهای مختلفی از نوع اقتصادی- اجتماعی، مذهبی، آب و هوایی، رقابتی و . . . دقت پیش‌بینی را نسبت به مدل‌های موجود در ادبیات بهبود بخشند و نیز برآوردی از تقاضای پاسخ نگفته توسط سیستم ریلی را در زمان اوج تقاضا به‌دست دهند. مدل رگرسیون خطی از دقت عمومی نسبتاً بیشتری در پیش‌بینی برخوردار است. ولی مدل شبکه عصبی در پیش‌بینی تقاضای اوج سفر بهبود حاصل کرده است. میزان تقاضای افزون بر ظرفیت برآورد شده توسط مدل شبکه عصبی در ایام اوج سفر، ۵/۲۷ درصد می‌باشد. با استفاده از آمار کل مسافران مشهد مقدس در ایام اوج و تعمیم آن به سفر ریلی، حجم تقاضای واقعی ریلی در ایام اوج و با توجه به آن، درصد تقاضای ارضا نشده، از این روش محاسبه شده و با درصد برآورد شده توسط شبکه عصبی مقایسه شده است.

واژه‌های کلیدی: تقاضای سفر ریلی، تقاضای اوج، رگرسیون چندمتغیره، رگرسیون چندجمله‌ای با تأثیر متقابل، شبکه عصبی پرسپترون چندلایه

۱- مقدمه

سفر یکی از وجوه مهم زندگی بشر بوده و از مهم‌ترین فعالیت‌های ادواری (یا غیر ادواری) محسوب می‌شود. به همین دلیل، طی سالیان دراز، شیوه‌های مختلفی برای تأمین این نیاز جوامع ابداع شده است. شیوه‌های مختلف سفر[2] هر یک خصوصیات (مزایا و معایب) خاص خود را دارند. در این میان، سفر ریلی از ابتدای ظهور به‌دلیل ایمنی، پاکی و حتی در برخی از موارد سرعت آن، برتری‌های قابل توجهی نسبت به سایر حالات سفر به صنعت حمل و نقل شناسانده است، که باعث می‌شود از معایب اندک آن چشم‌پوشی و به آن به چشم گزینه‌ای برتر در میان سایر گزینه‌ها نگاه کنیم. به همین دلیل تمامی کشورها در سرتاسر جهان بودجه هنگفتی را صرف برنامه‌ریزی و تأمین زیرساخت‌ها و ناوگان حمل و نقل ریلی

* نویسنده مسئول

Archive of SID
www.SID.ir

می‌نمایند. توسعه زیرساخت‌های ریلی اعم از خطوط ریلی، ناوگان و . . . و همچنین برنامه‌ریزی حمل و نقل در سطوح استراتژیک و عملیاتی، نیاز به اطلاعات تقاضای آینده سفر دارد. بنابراین، پیش‌بینی تقاضای آینده سفر ریلی از اهمیت و موضوعیت زیادی برخوردار است. از میان مسیرهای ریلی ایران، مسیر تهران- مشهد مهم‌ترین و پرترددترین محور بوده و لذا پیش‌بینی تقاضای سفر آن بسیار قابل ملاحظه و مهم می‌باشد.

محققان از روش‌های گوناگونی برای برآورد و پیش‌بینی تقاضای سفر استفاده کرده‌اند که می‌توان آنها را به دو رویکرد "غیرمستقیم (ترتیبی)[3]" و "مستقیم (سراسری)[4]" تقسیم‌بندی کرد (Festa, Condino and Mazzulla, 2006). ساختار رویکرد غیرمستقیم عموماً جهت تحلیل تقاضای سفر درون‌شهری مناسب بوده و شامل چهار فرآیند معروف "تولید"، "توزیع"، "تفکیک" و "تخصیص" سفر می‌باشد که این فرآیندها با ترتیب ذکر شده انجام شده و حاصل نهایی این چهار فرآیند منتج به پیش‌بینی تقاضای سفر خواهد شد. در مقابل، رویکرد مستقیم هر چهار فرآیند را در یک مدل سراسری انجام داده و تقاضای سفر را پیش‌بینی می‌کند. برای پیش‌بینی تقاضای سفر با رویکرد مستقیم، مطالعات زیادی انجام شده است. از آن جمله می‌توان روش‌های سری زمانی (Lim and McAleer, 2002), (Burger et al., 2001), (Profillidis, 2000), (Law and Au, 1999)، روش رگرسیون (Carson, Cenesizoglu, and Parker, 2010), (Wardman, 2006) (صفارزاده و قربانی، ۱۳۸۵)، روش تئوری مجوعه‌های ناهنجار[5] (Goh and Law, 2003)، روش سلسله مراتبی (Athanasopoulos, Ahmed, and Hyndman, 2009)، مدل پویا (Muñoz, 2007) و روش شبکه عصبی مصنوعی (Burger et al., 2001) and (Law and Au, 1999) را نام برد که برخی از آنها نیز به پیش‌بینی تقاضای سفر ریلی و به‌خصوص در سیستم ریلی کشورمان پرداخته‌اند. افندی‌زاده و رحیمی، با شناسایی پارامترهای مؤثر بر تقاضای سفر شبکه راه‌آهن سراسری کشور، اقدام به طراحی مدل رگرسیون پیش‌بینی تقاضای سفر کرده‌اند (افندی‌زاده و رحیمی، ۱۳۸٦). تیموری و همکاران نیز با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی به برآورد کل تقاضای ریلی پرداخته (تیموری، احمدی و ابوالحسن‌زاده، ۱۳۸٦) و همچنین با استفاده از مدل سری‌های زمانی (الگوی فصلی ARIMA)، تقاضای سفر در محور خراسان را پیش‌بینی کرده‌اند (تیموری، احمدی و ابوالحسن‌زاده، ۱۳۸۵). روش‌های اقتصادسنجی نیز برای پیش‌بینی تقاضای سالانه سفر در کل شبکه ریلی مورد استفاده به‌کار گرفته شده است (جمیلی، ۱۳۸٦ و لهراسبی و میزانی، ۱۳۸٦). در تحقیق دیگری که برای تقاضای سفر ریلی در بریتانیا انجام شده است، عوامل خارجی مؤثر بر میزان تقاضای سفر ریلی استخراج شده و مدل رگرسیون مربوطه بسط داده شده است (Wardman, 2006). طی تحقیقی نیز دو ساختار شبکه عصبی جدید برای پیش‌بینی کوتاه‌مدت تقاضای سفر ریلی ارایه شده است (Tsai, Lee and Wei, 2009).

هیچ‌یک از این روش‌ها را نمی‌توان به‌عنوان بهترین روش معرفی کرد؛ زیرا در شرایط گوناگون، هر یک از این روش‌ها می‌توانند عملکرد خاصی داشته باشند. در تمامی تحقیقات نام‌برده، سعی بر آن بوده است که با استفاده از روش‌های گوناگون دقت پیش‌بینی افزایش یابد. در همه این مطالعات، داده‌های تقاضای سفر در دوره‌های گذشته، مبنای پیش‌بینی آینده شده است. اما در ماه‌هایی از سال، محور ریلی خراسان با تقاضای فزایندهٔ سفر مواجه می‌شود. به طوری‌که ظرفیت موجود، پاسخ‌گوی این تقاضا نبوده و آمار این تقاضای برآورده نشده، ثبت نمی‌گردد. بنابراین، آمار گذشته تقاضای واقعی سفر در ماه‌های اوج، برای مدل‌سازی پیش‌بینی تقاضا در دسترس نبوده و به همین دلیل محققان در مدل‌های خود، از تعداد مسافران جابه‌جا شده توسط سیستم ریلی به جای تقاضای واقعی در این ایام استفاده کرده‌اند. این وضعیت موجب شده است که به‌دلیل استفاده از داده‌های نادقیق، دقت پیش‌بینی‌ها کاهش یابد و همچنین مدل‌های ایجاد شده قادر به برآورد تقاضای آتی در ماه‌های اوج نباشند.

با توجه به اینکه برآورد تقاضای اوج، یکی از مهم‌ترین اهداف مدل‌های پیش‌بینی تقاضای سفر می‌باشد (به‌ویژه در مسیر تهران- مشهد به‌دلیل جاذبه زیارتی- سیاحتی به‌خصوص در مناسبت‌های خاص). بنابراین، در این مقاله با شناسایی عوامل مؤثر بر افزایش سفر (که دسترسی به آنها مقدور است) در زمان‌های اوج و با انتخاب مسیر تهران- مشهد، به‌عنوان پرترددترین محور ریلی کشور، به طراحی مدل‌های رگرسیون، سری زمانی و شبکه عصبی

Archive of SID
www.SID.ir

مصنوعی برای پیش‌بینی تقاضای سفر اوج و غیراوج در این محور پرداخته شده است. مدل‌های رگرسیون چندمتغیره، رگرسیون چندجمله‌ای با تأثیر متقابل و شبکه عصبی پرسپترون به عنوان مدل‌های اصلی و مدل‌های سری زمانیِ پیش‌بینی روند و تجزیه برای مقایسه با مدل‌های اصلی ایجاد شده‌اند. در بخش ۲ مقاله متغیرها و نحوه ایجاد مدل‌های تحقیق تشریح و در بخش ۳، نتایج پیش‌بینی ارایه و تحلیل خواهد شد. در نهایت بخش ۵ به جمع‌بندی و نتیجه‌گیری مقاله خواهد پرداخت.

۲- ارایه مدل

برای ایجاد مدل‌های پیش‌بینی تقاضای سفر در مسیر تهران- مشهد، ابتدا عوامل مؤثر بر تقاضای سفر در این محور و همچنین عوامل مؤثر بر افزایش تقاضای سفر در زمان‌های اوج شناسایی و تحلیل شدند. داده‌های مربوط به متغیرهای شناسایی شده برای یازده سال به‌صورت ماهانه استخراج و داده‌های مربوط به ماه‌های اوج تقاضای سفر حذف گردید و با سایر داده‌ها، مدل‌های پیش‌بینی تقاضای سفر توسعه داده شدند. سپس با وارد کردن داده‌های متغیرهای مستقل در ماه‌های اوج، به برآورد تقاضای سفر (متغیر وابسته) در زمان‌های اوج پرداخته شده است.

۲-۱- متغیرهای مدل

به‌دلیل قرار گرفتن حرم مطهر امام رضا (ع) در شهر مشهد، این شهر مهم‌ترین شهر زیارتی کشور می‌باشد. در ضمن استان خراسان رضوی مراکز تاریخی، تفریحی و گردشگری فراوانی دارد که همه اینها باعث می‌شود که این استان سالانه مسافران زیادی را با اهداف زیارتی، تفریحی، کاری و تحصیلی جذب کند. از این میان، راه‌آهن به‌دلیل ایمنی، ارزانی و . . . سهم عمده‌ای در جابه‌جایی مسافران به این مقصد را به عهده دارد که بخش اعظم این مسافران نیز از طریق محور خراسان به این استان سفر می‌نمایند. تقاضای سفر (متغیر وابسته) در محور ذکر شده فصلی است. به این معنی که در ماه‌های مشخصی از سال حجم تقاضا کم و در برخی ماه‌ها حجم تقاضا زیاد می‌باشد و این موضوع تقریباً در تمام سال‌ها صادق است. شکل ۱، تعداد مسافر ریلی جابه‌جا شده در این محور را در ماه‌های مختلف از سال ۱۳۷۸ تا سال ۱۳۸۸ نمایش می‌دهد. همان‌طور که در نمودار شکل ۱ مشاهده می‌شود، میزان تقاضای سفر در ماه‌های فروردین، تیر، مرداد و شهریور به میزان قابل توجهی افزایش یافته و در شهریور ماه به حداکثر خود می‌رسد؛ در فروردین و شهریور، تقاضا برای استفاده از سیستم سفر ریلی بسیار بیشتر از ظرفیت این سیستم می‌باشد. بنابراین، آمار مربوط به عملکرد این سیستم در جابه‌جایی مسافر در این دو ماه نمی‌تواند نمایانگر حجم تقاضای واقعی این شیوهٔ سفر باشد. در حقیقت نمی‌توان در زمان‌های اوج تقاضای سفر، از اطلاعات مربوط به میزان جابه‌جایی مسافر به‌عنوان میزان تقاضای سفر استفاده کرد.

در این مقاله سعی شده است که عواملی استخراج شود که سفرهای انجام شده در مسیر یاد شده در بالا را با توجه به مهم‌ترین دلایلی که ممکن است در این مسیر سفری انجام گیرد، پوشش دهند. بنابراین، در مجموع ۲٤ متغیر برای ایجاد مدل‌ها انتخاب شد که یا از ادبیات موضوع استخراج گردیده (افندی‌زاده زرگری و رحیمی، ۱۳۸۹، صفارزاده و قربانی، ۱۳۸۵ و تیموری، احمدی و ابوالحسن‌زاده، ۱۳۸٦) و یا به عنوان متغیری جدید شناسایی و کاندیدای ورود به مدل شده‌اند. عوامل مؤثر بر تقاضای سفر ریلی در مسیر تهران- مشهد را می‌توان به چهار گروه اقتصادی- اجتماعی، مرتبط با مشتری، مجازی و رقابتی تقسیم‌بندی کرد که هر یک از گروه‌ها شامل متغیرهای مختلفی هستند (جدول ۱). بهره‌گیری از متغیرهای مذهبی و متغیرهای مرتبط با بنزین در تحقیقات پیشین ملاحظه نشده است. بهره‌گیری از متغیرهای مرتبط با آب و هوا گرچه در مدل‌سازی پیش‌بینی تقاضای سفر بسیار مورد توجه قرار گرفته است (Creutzig and He, 2009, Jonkeren, Jourquin and Rietveld, 2009 and Koetse and Rietveld, 2009)، در ادبیات پیش‌بینی تقاضای سفر ریلی کشورمان مورد استفاده قرار نگرفته‌اند. متغیرهایی مانند تعطیلی مدارس و ادارات به‌منظور تخمین تقاضا در ایام اوج در نظر گرفته شده‌اند. با توجه به این‌که سفر جاده‌ای رقیب اصلی راه‌آهن محسوب می‌شود، متغیرهای مربوط به این شیوهٔ سفر نیز برای ورود به مدل لحاظ شده‌اند.

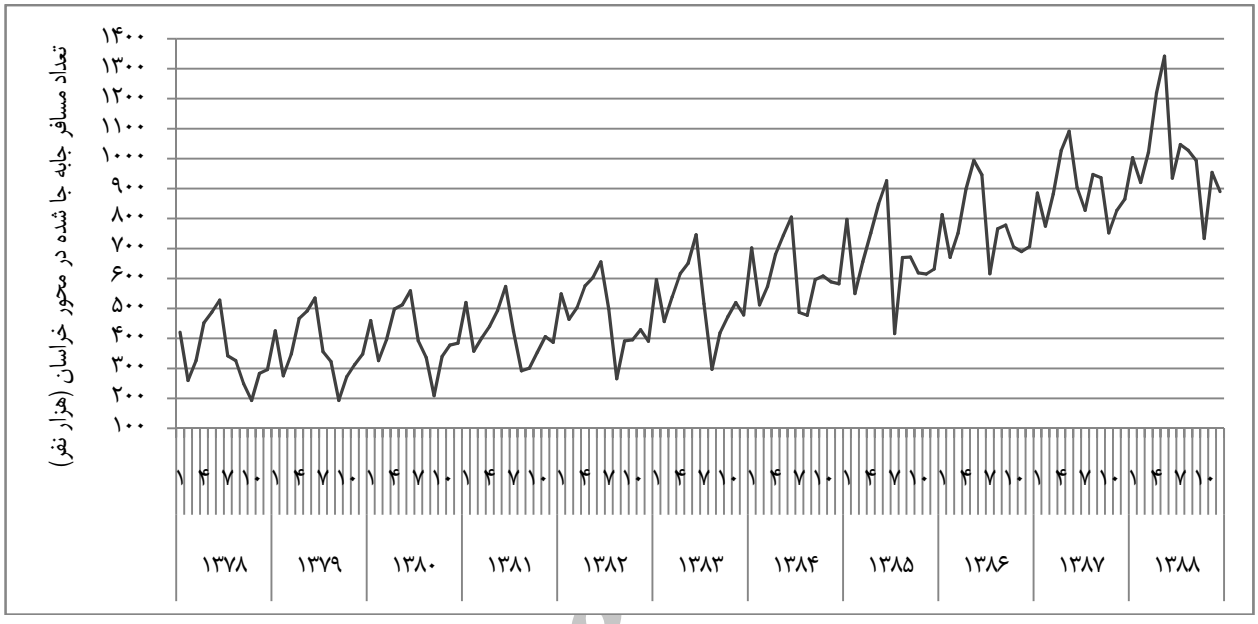
۲-۲- رگرسیون خطی چند متغیره

قبل از ایجاد مدل رگرسیون چندمتغیره، می‌بایست به انتخاب تعدادی از متغیرهای مستقل از میان ۲٤ متغیر شناسایی شده

Archive of SID
www.SID.ir

پرداخت. این کار برای شناسایی متغیرهای مؤثر بر متغیر وابسته و کاهش تعداد متغیرهای مدل و همچنین افزایش دقت پیش‌بینی انجام می‌شود.

روش‌های مختلفی برای کاهش متغیرهای مستقل رگرسیون وجود دارد که از آن جمله می‌توان به روش‌های "همه رگرسیون‌های ممکن[۷]" و "روش‌های جستجوی خودکار[۸]" (شامل "رگرسیون مرحله‌ای پیشرو[۹]"، "انتخاب پیشرو[۱۰]" و "حذف پسرو[۱۱]") اشاره کرد (Kutner, Nachtsheim, and Neter, 2004). از روش‌های جستجوی خودکار تنها زمانی استفاده می‌گردد که تعداد متغیرهای کاندیدا زیاد باشد (٤٠ تا ٦٠ و حتی بیشتر) و آزمایش همه مدل‌های ممکن به لحاظ محاسبات بسیار زیاد، مقدور نباشد.



شکل ۱. فصلی بودن ٦ تقاضای سفر ریلی در مسیر تهران- مشهد (بر اساس داده‌های استخراج شده از سالنامه‌های آماری شرکت رجا)

جدول ۱. دسته‌بندی متغیرهای شناسایی شده به عنوان کاندیدای ورود به مدل

متغیرهای اقتصادی- اجتماعی	متغیرهای مرتبط با مشتری	متغیرهای مجازی	متغیرهای رقابتی
▪ تولید ناخالص داخلی (GDP)	▪ صندلی- کیلومتر ایجاد شده	• **متغیرهای مذهبی**	▪ **تقاضای سفر جاده‌ای**
▪ شاخص قیمت (متغیر جایگزین نرخ تورم)	▪ تعداد روزهای تعطیلی مدارس	▪ شهادت امام رضا (ع)	▪ **تعداد سوانح جاده‌ای**
▪ جمعیت	▪ تعداد روزهای متوالی تعطیلی مدارس	▪ شهادت امام علی	
	▪ تعداد روزهای تعطیلی ادارات	▪ تاسوعا و عاشورا	
	▪ تعداد روزهای متوالی تعطیلی ادارات	▪ عید فطر	
	▪ میانگین دمای هوای مشهد	▪ عید قربان	
	▪ میانگین دمای هوای تهران	▪ عید غدیر	
		▪ عید مبعث	
		▪ ولادت امام علی (ع)	
		▪ ولادت امام رضا (ع)	
		▪ ولادت حضرت محمد و امام جعفر صادق (ع)	
		• **متغیرهای مرتبط با بنزین**	
		▪ افزایش نرخ بنزین	
		▪ سهمیه‌بندی بنزین	

Archive
www.SID.ir

بنابراین در تحقیق حاضر از الگوریتم "بهترین زیرمجموعه‌ها" که الگوریتمی از روش همه *رگرسیون‌های ممکن* می‌باشد، استفاده شده است. این روش، با توجه به معیارهایی نظیر R_p^2 (معادله ۱)، MSE_p (میانگین مربعات خطا) و C_p (معادله ۲) تعداد کمی از زیرمجموعه‌ها را به عنوان زیرمجموعه‌های منتخب، تعیین می‌کند (p تعداد پارامترهای هر زیرمجموعه از متغیرها است). به این ترتیب که مدل‌هایی با R_p^2 بزرگ‌تر و MSE_p و C_p کوچک‌تر، انتخاب می‌شوند (Kutner, Nachtsheim, and Neter, 2004).

$$R_p^2 = 1 - \frac{SSE_p}{SSTO} \qquad (۱)$$

$$C_p = \frac{SSE_p}{MSE(X_1,\ldots,X_{p-1})} - (n - 2p) \qquad (۲)$$

که در آن:

SSE_p: مجموع مربعات خطا برای مدل رگرسیون با p پارامتر

SSTO: مقدار ثابت برای تمام مدل‌های رگرسیون ممکن

الگوریتم بهترین زیرمجموعه‌ها تمامی زیرمجموعه‌های تک متغیره، دو متغیره، سه متغیره و ... تا حداکثر ۳۱ متغیر را آزمایش کرده و با استفاده از معیارهای یاد شده برای هر تعداد از متغیرها دو مدل بهترین را معرفی کند (مثلاً دو مدل بهترین برای رگرسیون تک متغیره، دو مدل بهترین برای رگرسیون دو متغیره و ...). پس از انجام تحلیل بهترین زیرمجموعه‌ها، با مقایسه سه معیار ذکر شده در زیرمجموعه‌های منتخب، مدل رگرسیون با ۱۰ متغیر مستقل به عنوان بهترین زیرمجموعه از متغیرها (که در جدول ۲ آمده است) شناسایی شد.

مدل رگرسیون با استفاده از داده‌های جمع‌آوری شده و با حذف داده‌های مربوط به ماه‌های اوجِ فروردین و شهریور برای سال‌های ۱۳۷۸ تا سال ۱۳۸۷ در مجموع با ۱۰۰ داده توسعه داده شده است. داده‌های سال ۱۳۸۸ برای تست نتایج مدل استفاده شده و در تهیه مدل رگرسیون دخیل نمی‌باشند. با استفاده از روش حداقل مربعات معمولی (OLS)[۱۲] مدل رگرسیون چند متغیره تقاضای سفر ریلی در مسیر تهران- مشهد به شرح زیر به دست آمد:

$$D = -84.49 + 0.90396\,SK + 0.00010577\,GDP + 4.741\,SH - 2.613\,SCH - 4.258\,TMT + 3.752\,MMT + 0.4317\,RTD + 80.76\,GPI - 42.99\,EAM - 15.89\,EHM + \varepsilon \qquad (۳)$$

ضریب تعیین چندگانه مرکب، نکویی برازش معادله رگرسیون را اندازه‌گیری می‌کند. در مدل رگرسیون خطی چندگانه حاصل در این تحقیق، ضریب تعیین چندگانه برابر $R^2 = ٪ ۹۸/٦$ و ضریب تعیین چندگانه تعدیل شده برابر $R_a^2 = ٪ ۹۸/٤$ برآورد شده است. آزمون دیگری که برای اعتبارسنجی مدل رگرسیون استفاده می‌شود، آزمون F است که برای بررسی معنادار بودن رگرسیون انجام می‌شود. آماره F^* برای این مدل رگرسیون مقدار ٤٧٣/٢٧ برآورد شده است که با توجه به بزرگ‌تر بودن این مقدار از مقدار $F_{(0.90,10,89)} = ۱/٦۷$ فرض معنا دار نبودن رگرسیون رد می‌شود. آزمون دیگری که برای بررسی ضرایب منفرد رگرسیون انجام می‌گیرد، آزمون t است که به معنادار بودن ضرایب رگرسیون خطی چند متغیره به‌صورت منفرد می‌پردازد. با توجه به اینکه قدر مطلق آمارهٔ t برای تمامی ضرایب رگرسیون بزرگ‌تر از $t_{0.95,89} = ۱/٦٦۲$ می‌باشد، بنابراین، فرض معنادار نبودن تمامی ضرایب رگرسیون رد می‌شود. نمودارهای شکل ۲ نشان‌دهنده نرمال بودن توزیع پس‌ماندها است که شرط استفاده از روش حداقل مربعات معمولی می‌باشد.

جدول ۲. متغیرهای مدل رگرسیون خطی

عنوان	شرح
D	تقاضای سفر ریلی در مسیر تهران- مشهد
SK	صندلی- کیلومتر ایجاد شده
GDP	تولید ناخالص داخلی
SH	تعداد روزهای تعطیلی مدارس و دانشگاه‌ها
SCH	تعداد روزهای متوالی تعطیلی مدارس و دانشگاه‌ها
TMT	میانگین دمای هوای تهران

عنوان	شرح
MMT	میانگین دمای هوای مشهد
RTD	تقاضای سفر جاده‌ای
GPI	گران شدن قیمت بنزین
EAM	شهادت امام علی (ع)
EHM	ایام تاسوعا و عاشورا (شهادت امام حسین (ع))
ε	جمله خطا

Archive of SID
www.SID.ir

فرض (شرط) دیگر استفاده از روش OLS این است که جملات خطا (پس‌ماندها)، مستقل (ناهمبسته) باشند. مستقل نبودن پس‌ماندهای رگرسیون را خودهمبستگی[۱۳] می‌نامند. آمارهٔ دوربین- واتسون برای این مدل برابر ۱/۷۲ محاسبه شده است که با توجه به نزدیک بودن به مقدار ۲، خودهمبستگی کمی در میان پس‌ماندها مشاهده می‌شود.

۲-۳- رگرسیون چندجمله‌ای با تأثیر متقابل

در بررسی متغیرهای استفاده شده در مدل رگرسیون خطی، احتمال می‌رود که بعضی متغیرها اثر یکدیگر را تشدید یا تضعیف کنند. به طور مثال، همزمان شدن مناسبت‌های مذهبی با روزهای متوالی تعطیلی مدارس و دانشگاه‌ها، می‌تواند افزایش سفر را تشدید نماید. از طرفی می‌توان حدس زد که متغیر "تعداد روزهای متوالی تعطیلی مدارس و دانشگاه‌ها"، یکی از متغیرهای مؤثر در افزایش سفر در زمان‌های پیک تقاضای سفر باشد. لذا با اضافه کردن عبارت‌هایی به مدل که این دو موضوع را ارضا نمایند، مدل رگرسیون از حالت خطی به چندجمله‌ای با تأثیر متقابل تبدیل می‌شود. برای این منظور به دو روش عمل شده و مدل‌های به‌دست آمده با هم مقایسه شده‌اند:

- در اولین روش، همه عبارت‌های بالقوه مربوط به تأثیر متقابل و عبارت درجه دوم مربوط به متغیر "تعداد روزهای تعطیلی متوالی مدارس و دانشگاه‌ها" در کنار متغیرهای منتخب (۱۰ متغیری که توسط روش "بهترین زیرمجموعه‌ها" انتخاب شدند و مدل رگرسیون خطی را تولید کردند) قرار گرفته و مجدداً روش "بهترین زیرمجموعه‌ها" اجرا می‌شود تا از میان کل متغیرها و عبارت‌ها، بهترین زیرمجموعه انتخاب شوند. سپس با این زیرمجموعه از متغیرها و عبارت‌ها مدل ایجاد می‌گردد.
- در روش دوم، همه عبارت‌های بالقوه مربوط به تأثیرات متقابل متغیرها در کنار همه متغیرهای شناسایی شده مؤثر بر تقاضا (۲٤ متغیر) قرار گرفته و به روش نام برده بهترین زیرمجموعه از متغیرها و عبارت‌ها انتخاب شده و مدل ایجاد می‌شود.

قابل ذکر است که تمام عبارت‌های مربوط به تأثیرات متقابل و عبارت درجه دوم جهت انجام تحلیل "بهترین زیرمجموعه‌ها" و مدل‌سازی رگرسیون، با تغییر متغیرهای ساده قابل تبدیل به متغیرهای درجه اول هستند. در ادامه به انجام روش‌های ذکر شده خواهیم پرداخت:

- **روش اول**

عبارت‌های زیر به‌صورت بالقوه می‌توانند به مدل رگرسیون اضافه شوند (تغییر متغیرهای لازم برای ورود به مدل نیز آمده است):

تأثیرات متقابل متغیرهای "تعداد روزهای تعطیلی مدارس و دانشگاه‌ها" و "شهادت امام علی (ع)"	$SCH\,.\,EAM = x_1$
تأثیرات متقابل متغیرهای "تعداد روزهای تعطیلی مدارس و دانشگاه‌ها" و "تاسوعا و عاشورا"	$SCH\,.\,EHM = x_2$
تأثیرات متقابل متغیرهای "تعداد روزهای تعطیلی مدارس و دانشگاه‌ها" و "میانگین دمای تهران"	$SCH\,.\,TMT = x_3$
تأثیرات متقابل متغیرهای "تعداد روزهای تعطیلی مدارس و دانشگاه‌ها" و "میانگین دمای مشهد"	$SCH\,.\,MMT = x_4$
توان دوم متغیر "تعداد روزهای تعطیلی مدارس و دانشگاه‌ها"	$SCH^2 = x_5$

با استفاده از روش بهترین زیرمجموعه‌ها، ۹ عبارت برای ورود به مدل انتخاب و مدل رگرسیون چندجمله‌ای با تأثیر متقابل، به روش OLS به صورت معادله ٤ ایجاد شد.

$$D = -73.42 + 0.89342\,SK + 0.00010724\,GDP + 1.6104\,SH - 4.089\,TMT + 3.479\,MMT + 0.4570\,RTD + 80.55\,GPI - 40.29\,EAM - 5.457\,\underbrace{SCH.EHM}_{x_2} + \varepsilon \qquad (٤)$$

در مدل رگرسیون چندجمله‌ای با تأثیر متقابل (روش اول)، ضریب تعیین چندگانه برابر $R^2 = 98.6\%$ برآورد شده است. همچنین آماره F^* برای این مدل رگرسیون مقدار ۵۳۵/۱۲ محاسبه شده که با توجه به بزرگ‌تر بودن این مقدار از $F_{(0.90,9,90)}$ =۱/٦۷ فرض معنا دار نبودن رگرسیون رد می‌شود. با توجه به بزرگ‌تر بودن قدرمطلق آمارهٔ t برای همه

Archive of SID
www.SID.ir

ضرایب رگرسیون از مقدار $t_{0.95,90} = 1.662$ فرض معنادار نبودن تمامی ضرایب رگرسیون رد می‌شود. نمودارهای شکل ۳ نشان‌دهنده نرمال بودن توزیع پس‌ماندها است.

آماره دوربین واتسون نیز برای این مدل، مقدار ۱/۷۵ محاسبه شده است که با توجه به نزدیک بودن به مقدار ۲، خودهمبستگی کمی در میان پس‌ماندها مشاهده می‌شود. ضمناً مقدار این آماره نسبت به مدل رگرسیون خطی، اندکی بهبود یافته است.

• روش دوم

همان‌طور که قبلاً اشاره شد در روش دوم، تمامی ۲٤ متغیر بالقوه مؤثر بر تقاضا به همراه تأثیرات متقابل شناسایی شده برای آنها مورد بررسی قرار گرفته و به انتخاب بهترین زیرمجموعه از آنها پرداخته شده است. عبارت‌های زیر به‌صورت بالقوه می‌توانند به مدل رگرسیون اضافه گردند (تغییر متغیرهای لازم برای ورود به مدل نیز بیان شده است):

$SCH.EAM = x_1$	تأثیرات متقابل متغیرهای "تعداد روزهای تعطیلی مدارس و دانشگاه‌ها" و "شهادت امام علی (ع)"
$SCH.EHM = x_2$	تأثیرات متقابل متغیرهای "تعداد روزهای تعطیلی مدارس و دانشگاه‌ها" و "تاسوعا و عاشورا"
$SCH.TMT = x_3$	تأثیرات متقابل متغیرهای "تعداد روزهای تعطیلی مدارس و دانشگاه‌ها" و "میانگین دمای تهران"
$SCH.MMT = x_4$	تأثیرات متقابل متغیرهای "تعداد روزهای تعطیلی مدارس و دانشگاه‌ها" و "میانگین دمای مشهد"
$SCH.ERM = x_5$	تأثیرات متقابل متغیرهای "تعداد روزهای تعطیلی مدارس و دانشگاه‌ها" و "شهادت امام رضا (ع)"
$SCH.EAB = x_6$	تأثیرات متقابل متغیرهای "تعداد روزهای تعطیلی مدارس و دانشگاه‌ها" و "ولادت امام علی (ع)"
$SCH^2 = x_7$	توان دوم متغیر "تعداد روزهای تعطیلی مدارس و دانشگاه‌ها"

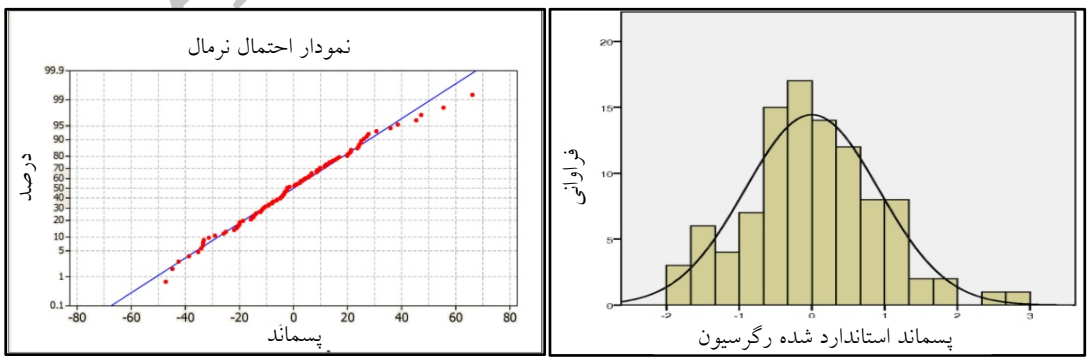
با استفاده از روش بهترین زیرمجموعه‌ها، ۱۰ عبارت برای ورود به مدل انتخاب شده و مدل رگرسیون چندجمله‌ای با تأثیر متقابل، به روش OLS به‌صورت معادله ۵ ایجاد شد (RC متغیر تعداد سوانح جاده‌ای می‌باشد).

$$D = -103.127 + 0.86162\,SK + 0.00018474\,GDP + 7.040\,SH + 0.4985\,RTD - 0.020884\,RC + 52.23\,GPI - 40.99\,EAM - 5.747\,\underbrace{SCH.EHM}_{x_2} - 0.7263\,\underbrace{SCH.TMT}_{x_3} + 0.6571\,\underbrace{SCH.MMT}_{x_4} + \varepsilon \quad (۵)$$

در مدل رگرسیون چندجمله‌ای با تأثیر متقابل (روش دوم)، ضریب تعیین چندگانه برابر $R^2 = ٪\ ۹۸/٦$ برآورد شده است. ضمناً آماره F^* برای این مدل رگرسیون مقدار ٤۹۵/٦٦ برآورد شده است که با توجه به بزرگ‌تر بودن این مقدار از $F_{(0.90,10,89)} = ۱/۹٤$ فرض معنا دار نبودن رگرسیون رد می‌شود. با توجه به بزرگ‌تر بودن قدرمطلق آمارهٔ t برای تمامی ضرایب رگرسیون از مقدار $t_{0.95,89} = ۱/٦٦۲$، فرض معنادار نبودن تمامی ضرایب رگرسیون رد می‌شود. نمودارهای شکل ٤ نشان‌دهنده نرمال بودن توزیع پس‌ماندها است.

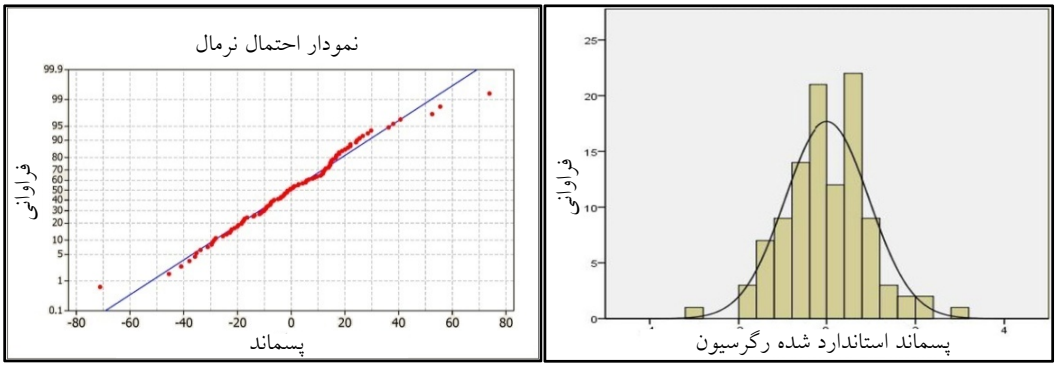
آماره دوربین واتسون نیز برای این مدل، مقدار ۱/۸٦ محاسبه شده است که با توجه به نزدیک بودن به مقدار ۲، خودهمبستگی کمی در میان پس‌ماندها مشاهده می‌شود.

هر چند لحاظ کردن تأثیرات متقابل، تأثیر محسوسی در بهبود دقت کلی پیش‌بینی نداشته است (جدول ٤ در فصل ٤) اما تأثیر بسزایی در بهبود برآورد میزان تقاضای اوج داشته است (جدول ۵). در ضمن همان‌طور که در جدول ٤ از فصل ٤ ملاحظه می‌شود، مدل رگرسیون چند جمله‌ای ایجاد شده با روش اول، دقت بیشتری نسبت به روش دوم داشته است.

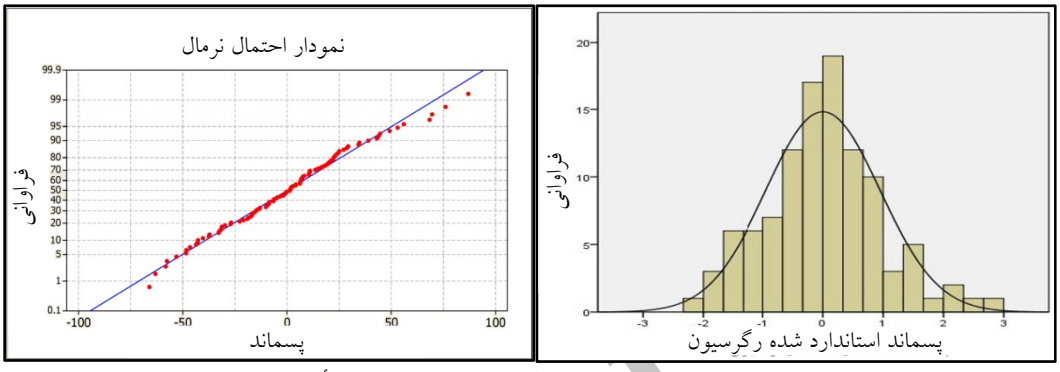


شکل ۲. نرمال بودن توزیع پس‌ماندهای مدل رگرسیون خطی

Archive of SID
www.SID.ir



شکل ۳. نرمال بودن توزیع پس‌ماندهای مدل رگرسیون چندجمله‌ای با تأثیر متقابل (روش اول)



شکل ٤. نرمال بودن توزیع پس‌ماندهای مدل رگرسیون چندجمله‌ای با تأثیر متقابل (روش دوم)

۲-٤- شبکه عصبی پرسپترون چند لایه

شبکه عصبی پرسپترون یکی از موفق‌ترین شبکه‌ها در پیش‌بینی بوده است (امین‌ناصری و اصفهانیان، ۱۳۸۳). بنابراین، در این تحقیق از این نوع شبکه عصبی برای پیش‌بینی تقاضای سفر ریلی در مسیر تهران- مشهد استفاده شده است. شبکه پرسپترون از قاعدهٔ «پس انتشار خطا[14]» که الگوریتم تعمیم‌یافته الگوریتم «حداقل مربعات خطا[15]» است، استفاده می‌کند. شبکه مورد نظر باید بتواند متغیرهای مستقل را دریافت کرده و با انجام پردازش روی آنها مقدار تقاضا را برآورد نماید. متغیرهای استفاده شده در طراحی شبکه عصبی، همان متغیرهای منتخب در روش رگرسیون خطی هستند که به روش "بهترین زیرمجموعه‌ها" انتخاب شده بودند. با استفاده از متغیر افراز[16] می‌توان از دخالت داده‌های مربوط به زمان‌های اوج جلوگیری کرد. سال ۱۳۸۸ نیز مانند قبل، برای آزمایش مدل، مورد استفاده قرار خواهند گرفت. به این ترتیب ۱۰۰ داده برای آموزش (۷۶٪) و ۳۲ داده برای آزمایش (۲٤٪) مورد استفاده قرار گرفته است. پیش‌پردازش انجام شده روی مقادیر داده‌های ورودی به‌صورت استانداردسازی انتخاب گردید. با انجام تست‌های بسیار و به کمک نرم‌افزار SPSS، شبکه پرسپترون چند لایه با دو لایه پنهان که دو گره (نرون) در لایه اول و پنج گره در لایه دوم پنهان دارد. این کار با مقایسه MSE در هر یک از حالات و در نظر گرفتن اصل امساک[17] انجام گرفته است.

تابع تبدیل انتخاب و استفاده شده در لایه‌های پنهان، تابع تانژانت هیپربولیک[18] است. این تابع، مقادیر حقیقی را دریافت کرده و به‌وسیله معادله ٦ به مقداری در بازهٔ (۱ و ۱-) تبدیل می‌کند.

$$Y(c) = \tanh(c) = \frac{e^{c}-e^{-c}}{e^{c}+e^{-c}} \qquad (٦)$$

تابع همانی به عنوان تابع تبدیل لایه خروجی انتخاب شده است. از دو الگوریتم «لونبرگ- مارکواردت[19]» و «گرادیان همجوار مقیاس‌بندی‌شده[20]»، روش گرادیان همجوار مقیاس‌بندی‌شده که گونه‌ای از الگوریتم پس از انتشار خطا می‌باشد، نتایج بهتری را حاصل نموده و به‌عنوان الگوریتم یادگیری شبکه انتخاب شده است. قانون اختتام یادگیری، «یک مرحله بدون کاهش در خطا» انتخاب شده است. این قانون می‌تواند از مسئله انطباق بیش از

Archive of SID
www.SID.ir

حد[۲۱] جلوگیری کند. لایه خروجی شبکه، یک گره دارد که پس از تأثیر تابع تبدیل همانی، مقدار تقاضای سفر برآورد شده را حاصل می‌نماید. بنابراین، شبکه به‌دست آمده را می‌توان به‌صورت $MLP^{10\text{-}2\text{-}5\text{-}1}$ بیان کرد. لایه اول (ورودی) شامل ۱۰ گره (متغیرهای مستقل) و یک بایاس، لایه پنهان اول شامل دو گره و یک بایاس، لایه پنهان دوم شامل پنج گره و یک بایاس و لایه آخر (خروجی) شامل یک گره می‌باشد. ضمناً تمامی گره‌های هر لایه به تمامی گره‌های لایه‌های قبل متصل است. این اتصالات به منزله وزن هر یک از عناصر شبکه است.

۲-۵- مدل پیش‌بینی روند

این مدل، مبتنی بر سری زمانی بوده و حاصل آن، معادله‌ای است که در آن تقاضای سفر بر اساس متغیر زمان، برآورد می‌شود. ایجاد مدل پیش‌بینی روند به‌منظور مقایسه نتایج این مدلِ مبتنی بر سری زمانی با مدل‌های رگرسیون و شبکه عصبی ایجاد شده‌اند. ضمناً این مدل، روند تغییر تقاضای سفر را مشخص می‌نماید. توابعی از نوع خطی، کوادراتیک، نمایی و نمودار S شکل (لاجستیک پرل-رید[۲۲]) مورد بررسی قرار گرفتند و با توجه به معیارهای MAPE، MSE و MAE مقایسه شده (جدول ۳) و بهترین تابع پیش‌بینی روند (تابع نمایی) انتخاب گردید. معادله ۷، بیانگر این مدل است.

$$Y_t = 301.946 + 1.00854^{\,t} \qquad (۷)$$

که در آن Y، تقاضای سفر ریلی در ماه t ام است.

جدول ۳. مقایسه توابع استفاده شده در روش پیش‌بینی روند

تابع روند	MAPE	MSE	MAE
خطی	۲۰/۸	۱۳۲۵۷/٤	۹۳/۲
کوادراتیک	۲۰/۱	۱۲۲۱۰/۷	۹۰/۷
نمایی	۱۹/٤	۱۲۲۰۸/٦	۸۹/٦
پرل- رید	۱۹/۰	۱۳٥٤٦/۲	۹۲/۱

۲-٦- مدل تجزیه

روش تجزیه یکی دیگر از روش‌های مبتنی بر سری زمانی است که برای مقایسه روش‌های سری زمانی با مدل‌های اصلی ارایه شده، توسعه داده شده است. در این روش ابتدا یک میانگین متحرک ۱۲ ماهه ایجاد می‌کنیم که بعد از محاسبه نسبت‌های فصلی تمرکز می‌یابند. سپس نرخ‌های واقعی بر این نسبت‌ها تقسیم می‌شوند تا یک پیش‌بینی یک ساله در آینده را به دست دهند. مجموعه معادلات ذیل روش تجزیه را تشریح می‌نمایند (Burger et al., 2001):

$$A12_t = \text{Average}(L_t, \dots, L_{t+11})\ t=1, \dots, n\text{-}12 \qquad (۸)$$

$$C12_t = \text{Average}(A12_t + A12_{t+1})\ t=1, \dots, n\text{-}6 \qquad (۹)$$

$$sr_i = \frac{L_{t+6}}{C12_t}\ t=1, \dots, n\text{-}6, i=1, \dots, n\text{-}12 \qquad (۱۰)$$

$$SR_i = \text{Average}(sr_t + sr_{t+12} + sr_{t+24} + sr_{t+36} + sr_{t+48} + \cdots) \qquad (۱۱)$$

$$t=1, \dots, n\text{-}6, i=1, \dots, 12 F_{t+12} = \frac{L_t}{SR_i}\ t=1, \dots, n\text{-}12, i=1, \dots, 12 \qquad (۱۲)$$

که در آن:

L_t: تقاضای سفر در زمان t

F_t: تقاضای سفر پیش‌بینی شده در زمان t

sr_i : نسبت فصلی

۲-۷- برآورد تقاضای اوج

در تهیه مدل‌های ارایه شده در این مقاله از متغیرهایی استفاده شده‌است که قادر باشند تقاضای سفر در زمان‌های اوج تقاضا را نیز برآورد کنند؛ به طور مثال، متغیرهای مربوط به تعطیلی مدارس و ادارات و متغیرهای مربوط به آب و هوا از این دسته‌اند. برای برآورد تقاضا در زمان‌های اوج، داده‌های مربوط به ماه‌های اوج تقاضای سفر (فروردین و شهریور) در مدل‌سازی مورد استفاده قرار نگرفته‌اند؛ ولی پس از تهیه مدل، داده‌های مربوط به این ماه‌ها در مدل به‌دست آمده جاگذاری شده و مقادیر برآورد شده توسط مدل مربوطه با میزان مسافر جابه‌جا شده در این زمان‌ها مقایسه می‌گردد. سپس میزان تقاضای افزون بر ظرفیت برآورد شده به‌صورت معادله ۱۳ قابل اندازه‌گیری است.

$$U = \frac{Y_t - F_p}{Y_t} \times 100 \qquad (۱۳)$$

Archive of SID
www.SID.ir

که در آن:

Y_t : میزان مسافر جابه‌جا شده در زمان t

F_p : تقاضای برآورد شده در ماه اوجِ p

۳- نتایج

نتایج پیش‌بینی انجام شده توسط مدل‌های ارایه شده بر اساس داده‌های آزمایش (داده‌های سال ۱۳۸۸)، در جدول ٤ ملاحظه می‌شود. دقت پیش‌بینی مدل‌ها توسط معیارهای شناخته شدهٔ MSE ($mean(e_t^2)$)، MAE ($mean(|e_t|)$)، MAPE ($mean(|p_t|)$) و MdAPE ($median(|p_t|)$) در این جدول مورد مقایسه قرار گرفته‌اند (Hyndman & Koehler, 2006).

$$p_t = \frac{e_t}{Y_t} \times 100 \qquad (١٤)$$

e_t : خطای پیش‌بینی در زمان t، ($e_t = Y_t - F_t$)

Y_t : مقدار واقعی در زمان t

F_t : مقدار پیش‌بینی در زمان t

همان‌طور که در جدول ٤ ملاحظه می‌شود، دقت پیش‌بینی در مدل‌های رگرسیون خطی، رگرسیون چندجمله‌ای با تأثیر متقابل (روش اول) و شبکه عصبی چندان تفاوتی ندارد. با این وجود می‌توان گفت که مدل رگرسیون خطی از دقت نسبتاً بیشتری در پیش‌بینی برخوردار است. در ضمن دقت پیش‌بینی مدل‌های ارایه شده در این مقاله در مقایسه با تحقیقات قبلی انجام شده در زمینه پیش‌بینی تقاضای ریلی در مسیر تهران- مشهد و یا در کل شبکه ریلی کشور، بهبود قابل ملاحظه‌ای داشته است. دقت پیش‌بینی در تحقیقات یاد شده بین ۷۵ تا ۸۸ درصد بوده است (Carson et al., 2010; Jonkeren et al., 2009; Lim and McAleer, 2002; .Profillidis, 2000 and Wardman, 2006) در حالی‌که مدل‌های تحقیق حاضر توانسته‌اند دقتی بیش از ۹۵ درصد داشته باشند. سایر مدل‌های ارایه شده در زمینه پیش‌بینی تقاضای سفر بین شهری در دنیا (Creutzig and He, 2009; Goh and Law, 2003 and Law and Au, 1999) دقتی بین ۷۲ تا ۹٤ درصد داشته‌اند.

مسئله دیگری که مد نظر این تحقیق بوده، برآورد تقاضا در ایام اوج تقاضای سفر می‌باشد. بنابراین، جدول ۵ به مقایسه میزان تقاضای برآورد شده در فروردین و شهریور ماه سال‌های ۱۳۷۸ تا ۱۳۸۸ توسط مدل‌های نام‌برده با مسافر جابه‌جا شده پرداخته و میزان تقاضای افزون بر ظرفیت را در این دو ماه اوج نمایش می‌دهد. همان‌طور که ملاحظه می‌شود در مدل رگرسیون خطی جز در سه مورد (شهریور ماه ۷۸، ۸۳ و ۸۵)، تقاضای برآورد شده برای این ماه‌های اوج، بین ۱ تا ۱۵/۵ درصد بیشتر از مسافران جابه‌جا شده به وسیله سیستم ریلی است. لذا میانگین تقاضای افزون بر ظرفیت بدون احتساب سه مورد ذکر شده برابر با ٤/٦ درصد خواهد بود. به این معنی که تقریباً ۷۰۳ هزار نفر در این ۱۱ سال مورد بررسی، علی‌رغم میل به تقاضای سفر با قطار، نتوانسته‌اند به هر دلیل (از جمله کمبود ظرفیت) از سیستم ریلی برای سفر در این محور استفاده کنند. به همین ترتیب میانگین تقاضای افزون بر ظرفیت برآورد شده توسط مدل‌های رگرسیون چندجمله‌ای با تأثیر متقابل (روش اول) و شبکه عصبی، ۵/۱۰ و ۵/۲۷ درصد می‌باشد.

بر اساس آمارهای به‌دست آمده، ضریب اشغال مراکز اقامتی (هتل‌ها، مسافرخانه‌ها و ...) شهر مشهد، از میانگین تقریباً ۵۰ درصد در ایام عادی (غیر اوج) به میانگین تقریباً ۷۳ درصد در ایام اوج فروردین و شهریور ماه افزایش می‌یابد. بنابراین، می‌توان این‌گونه برآورد کرد که تقاضای سفر به مشهد در زمان‌های پیک در حدود ٤٦ درصد افزایش می‌یابد. اگر این درصد افزایش را برای سیستم ریلی نیز متصور شویم، به این نتیجه خواهیم رسید که میانگین تقاضای سفر ماهانه ریلی در ۱۱ سال مورد بررسی از ۵۰۱/۲ هزار نفر در زمان‌های غیر اوج به ۷۳۱/۸ هزار نفر در زمان‌های اوج می‌رسد که تعداد میانگین ٦۹۵ هزار نفر از آنها به وسیله سیستم ریلی جابه‌جا شده‌اند.

بنابراین، ۵/۲۹ درصد (معادل مجموع ۸۱۳ هزار نفر در ۱۱ سال مورد بررسی) تقاضای افزون بر ظرفیت در این محور موجود بوده است. با این توضیحات مشخص می‌شود که مدل رگرسیون خطی چندمتغیره توانسته است تقاضای اوج را تا حدی محاسبه کند؛ ولی دقت مطلوب به‌دست نیامده است. مدل رگرسیون چندجمله‌ای با تأثیر متقابل (روش اول) توانسته است در برآورد تقاضای اوج بهبود حاصل کند و شبکه عصبی، بهترین برآورد را از تقاضای اوج ارایه داده است.

Archive of SID
www.SID.ir

جدول ٤. مقایسه نتایج پیش‌بینی انجام شده توسط مدل‌های تحقیق

مدل / ماه	مسافر جابه‌جا شده (هزار نفر)	رگرسیون خطی	رگرسیون چندجمله‌ای با تأثیر مقابل (روش اول)	رگرسیون چندجمله‌ای با تأثیر مقابل (روش دوم)	شبکه عصبی	پیش‌بینی روند	تجزیه
	تقاضای پیش‌بینی شده سفر (هزار نفر)						
۱	۱۰۰۳/۲	۱۰٤۲/۳	۱۰۲۰/۲	۱۰٤٥/۳	۱۰۲٥/۱	۹٦۸/٥	۹۱۲/٤
۲	۷۸۸/۲	۷٦٦/۲	۷٦٥/۳	۷٥٤/۳	۷٦٤/۱	۸۳٥/۲	٦٥٤/۳
۳	۹۳۲/٦	۹٥٥/٦	۹٥۸/٦	۹٦٥/٦	۹٥۸/۳	۱۰۰۹/٥	۸۰۱/۸
٤	۱۰۷۰	۱۰٤۲/۲	۱۰۳۸/٤	۱۰۳۲/٤	۱۰٥۱/۳	۱۱۸۹/۳	۹۷٥/٦
٥	۱۱٤٤	۱۰۸٥/٤	۱۰۷٦/٤	۱۰۷٦/٤	۱۰۸۳/٦	۱۳۲۲	۱۱۹۸/۳
٦	۸٦۹/٦	۹۷۷/۷	۹٦٥/٦	۹۷٥/٦	۱۰۰۷/۷	۱۳۹۸/۷	۸۰۱/۲
۷	۸۸۱/٦	۹۱۲/٥	۹۱۳/۷	۹۲۱/۸	۹۱۷/٥	۸۱۷/٤	۸۹٦/۳
۸	۸۷۳/۹	۸٤٥/۱	۸٤۱/۲	۸۳٥/۷	۸٤۰/٦	۸۹٦/۹	۹۲۲/٤
۹	۸۷۷	۸٤٦/۷	۸٤۱/٦	۸۳٥/٦	۸٤۱/۳	۹۷۲/٥	۹٤٦/۸
۱۰	۷۹۰/۲	۸۱۹/۹	۸۲۱/٤	۸۲٥/٤	۸۱۹/۹	۹٤٥/۷	۸۹۲/٦
۱۱	۸٤۹/٤	۸۷٥/۹	۸۹۱/۳	۸۹۳/۲	۸۸۳/٤	۱۰۰٦/۳	۹۸۷/٤
۱۲	۸۳۳/۹	۸٥۹/٦	۸۷۲/۱	۸۷۲/۱	۸٦۳/۲	۹٥۲/۹	۱۰۲۳/٥
دقت		٪۹٥/۸۷	٪۹٥/٦٥	٪۹٤/۸۸	٪۹٥/٤۹	٪۸٥/۱۳	٪۸۹/۲۸
R^2		٪۹۸/٦	٪۹۸/٦	٪۹۸/٦	٪۹۸/٥	--	--
MSE		۱۹٤۸/٤	۱۹۸٤/٥۷	۲٥٥۳	۲٦۱۳	۳٤۳۲۷	۱۱۰٦۲
MAE		۳۷/٥٤	۳۹/٤	٤٦/٤۳	٤۰/٥۷	۱۳۳/۲٦	۹٤/٦۳
MAPE		٤/۱۳	٤/۳٥	٥/۱۲	٤/٥۱	۱٤/۹	۱۰/۷۲
MdAPE		۳/۳۸	۳/۸٥	٤/٥۱	۳/۷۸	۱۱/۰۲	۸/۹٤

٤- نتیجه‌گیری

در این مقاله مدل‌های رگرسیون، شبکه عصبی و مدل‌های سری زمانیِ تجزیه و پیش‌بینی روند برای پیش‌بینی تقاضای سفر ریلی در زمان‌های اوج و غیر اوج تقاضا، در مسیر تهران- مشهد ارایه شدند. در تمامی مطالعات پیشین انجام شده در زمینه پیش‌بینی تقاضای سفر ریلی در مسیر تهران- مشهد و یا در کل شبکه ریلی، مشکل نبود دسترسی به داده‌های پیشین تقاضای سفر در ایام اوج تقاضا برای استفاده در مدل‌سازی وجود داشته است و مدل‌ها با این فرض تهیه شده‌اند که میزان جابه‌جایی مسافر به وسیله سیستم ریلی در این ایام، برابر با تقاضا است. در نتیجه توجه نکردن به داده‌های گذشته مربوط به تقاضای واقعی اوج، از دقت مطالعات پیشین کاسته است. در این مقاله برای برآورد تقاضا در زمان‌های اوج، ابتدا عوامل مؤثر بر افزایش تقاضا در زمان‌های اوج شناسایی و به‌صورت متغیر مستقل در مدل‌ها لحاظ شدند. مدل‌ها بدون استفاده از داده‌های مربوط به زمان‌های اوج تقاضای سفر (ماه‌های فروردین و شهریور) ایجاد گردیدند و سپس با وارد کردن داده‌های مربوط به ایام اوج در مدل‌های ایجاد شده، به تخمین تقاضای سفر اوج پرداخته شده است. در این پژوهش، متغیرهایی از انواع مختلف برای برآورد تقاضای ریلی مسیر یاد شده مورد استفاده قرار گرفته است و داده‌های مربوط به این متغیرها از منابع مختلفی استخراج گردیده است. بهره‌گیری از متغیرهای گوناگون تخمین‌زننده تقاضای اوج و غیراوج و همچنین مدل‌های مناسب، که مهم‌ترین عامل افزایش دقت پیش‌بینی در این تحقیق بوده است، مدل‌ها را قادر ساخته است که تخمین نسبتاً دقیقی از تقاضای اوج به‌دست دهند. مدل‌های رگرسیون و شبکه عصبی که از این متغیرهای جامع در ایجاد مدل استفاده کرده‌اند، دارای دقت بیشتری نسبت به روش‌های سری‌های زمانی (که بی‌نیاز از این متغیرها می‌باشند) و یا حتی روش‌های سببی‌ای که متغیرهای کافی برای ایجاد آنها به‌کار گرفته نشده است، هستند. تشدید یا تضعیف متغیرها به وسیله یکدیگر یکی دیگر از مواردی است که باید به آن توجه کرد.

Archive of SID
www.SID.ir

به طور مثال، اگر یکی از مناسبت‌های مذهبی با روزهای تعطیلی مدارس و دانشگاه‌ها همزمان شود، به طور حتم تقاضا را برای سفر افزایش می‌دهد. بنابراین، اثر متقابل متغیرها بر یکدیگر، در رگرسیون چندجمله‌ای با تأثیر متقابل لحاظ شد و عملکرد پیش‌بینی را در برآورد تقاضا در زمان‌های اوج بهبود بخشید. عده‌ای معتقدند که روش رگرسیون، یک روش ساده است که نمی‌تواند در پیش‌بینی‌ها به خوبی عمل کند. ولی در این تحقیق مشخص شد که روش رگرسیون در عین سادگی، می‌تواند با بهره‌گیری از متغیرهای مناسب و طراحی صحیح، بسیار کارآمد بوده و پیش‌بینی دقیقی ارایه دهد. شبکه عصبی با این‌که در این تحقیق دقت عمومی پیش‌بینی را افزایش نمی‌دهد، ولی توانسته است تقاضای واقعی اوج را با دقت نسبتاً مناسبی برآورد کند. از نتایج نهایی به‌دست آمده به وسیله مدل‌های ارایه شده در این تحقیق، این بوده است که روند پیش‌بینی شده تغییرات تقاضا در طی ماه‌های مختلف، تا حد زیادی منطبق بر روند تغییرات واقعی تقاضای سفر ریلی می‌باشد.

جدول ۵. برآورد تقاضای اوج توسط مدل‌های رگرسیون خطی، رگرسیون چندجمله‌ای با تأثیرمتقابل (روش اول) و شبکه عصبی

		رگرسیون خطی			رگرسیون چندجمله‌ای با تأثیر متقابل (روش اول)		شبکه عصبی	
	ماه	مسافر جابه‌جا شده (Y_t)	تقاضای برآورد شده (F_p)	تقاضای افزون بر ظرفیت (U)	تقاضای برآورد شده (F_p)	تقاضای افزون بر ظرفیت (U)	تقاضای برآورد شده (F_p)	تقاضای افزون بر ظرفیت (U)
۷۸	فروردین	٤٢٠/٤	٤٢٤/٤٢٩	٪۰/۹٦	٤٢٥/٨	٪۱/۲۸	٤٣٤/٩	٪۳/٤٥
	شهریور	٥٢٧/٨	٥١٨/٦١٧	٪-۱/۷٤	٥١٨/٢	٪-۱/۸۲	٥٠٤/٦	٪-٤/٤٠
۷۹	فروردین	٤٢٥/٣	٤٥١/٣٥٢	٪٦/۱۳	٤٧٢/٥	٪۱۱/۱۰	٤٧٧/٤	٪۱۲/۲٥
	شهریور	٥٣٤/٩	٥٧١/٢٤٢	٪٦/۷۹	٥٧١/۷	٪٦/۸۸	٥٦٢/٤	٪٥/۱٤
۸۰	فروردین	٤٥٩/٨	٤٨٣/٨٥	٪٥/۲۳	٤٩٨/٤	٪۸/۳۹	٤٧۱	٪۲/٤٤
	شهریور	٥٥٩/۱	٥٨٥/۳۱٤	٪٤/٦۹	٥٨٦	٪٤/۸۱	٥٧٨/۲	٪۳/٤۲
۸۱	فروردین	٥١٩/٩	٥٣٥/۳۲	٪۲/۹۷	٥٤٨/۷	٪٥/٥٤	٥٣۲/٤	٪۲/٤۰
	شهریور	٥٧٣/٦	٦۰۲/٥۳٦	٪٥/۰٤	٦۰٤	٪٥/۳۰	٦۰٥	٪٥/٤۷
۸۲	فروردین	٥٤٨/۷	٥٨۰/٥٨٦	٪٥/۸۱	٥٨۳/٤	٪٦/۳۲	٦۰٥/٥	٪۱۰/۳٥
	شهریور	٦٥٥/٤	٦٦۷/۹۳۲	٪۱/۹۱	٦٦٨/٨	٪۲/۰٤	٦٥۹/۱	٪۰/٥٦
۸۳	فروردین	٥۹٦/٦	٦٦۲/٥٦۹	٪۱۱/۰٦	٦٥٨	٪۱۰/۲۹	٦٨۹/۲	٪۱٥/٥۲
	شهریور	۷٤٦/۱	۷٤۱/۱۰٤	٪-۰/٦۷	۷٤۲	٪-۰/٥٥	۷۲۰/٥	٪-۳/٤۳
۸٤	فروردین	۷۰۲/۳	۷۳۲/۷۱۲	٪٤/۳۳	۷۳٥/۹	٪٤/۷۸	۷٥۹/٤	٪۸/۱۳
	شهریور	۸۰٥/۱	۸٤٥/٥۹	٪٥/۰۳	۸٤٥/٤	٪٥/۰۱	۸۲۱/۱	٪۱/۹۹
۸٥	فروردین	۷۹۷/۰	۸۲۸/۳۸٦	٪۳/۹٤	۸۲٥/۱	٪۳/٥۳	۸۱۳	٪۲/۰۱
	شهریور	۹۲٦/٤	۸۹٦/۰۲۸	٪-۳/۲۸	۸۹٥	٪-۳/۳۹	۸۹۲/٦	٪-۳/٦٥
۸٦	فروردین	۸۱۳/٤	۸۲٦/٥۲۸	٪۱/٦۱	۸۲۱/٤	٪۰/۹۸	۸٦۹/۳	٪٦/۸۷
	شهریور	۹٤٦/۲	۹۸۰/٥٥	٪۳/٦۳	۹۷۸/۷	٪۳/٤۳	۹٦٥/٦	٪۲/۰٥
۸۷	فروردین	۸۸٥/۳	۹۱۱/۷	٪۲/۹۸	۹۱۲/۲	٪۳/۰٤	۹۲٦/٤	٪٤/٦٤
	شهریور	۹۰۳/٤	۹٦٤/٥	٪٦/۷٦	۹٤۲/٦	٪٤/۳٤	۹۳۳/۹	٪۳/۳۸
۸۸	فروردین	۱۰۰۳/۲	۱۰٤۲/۳	٪۳/۹۰	۱۰۲۰/۲	٪۱/٦۹	۱۰۲٥/۱	٪۲/۱۸
	شهریور	۹۳٤/۷	۹۷۷/۷	٪٤/٦۰	۹٦٥/٦	٪۳/۳۱	۱۰۰۷/۷	٪۷/۸۱
			میانگین:	٪٤/٦۰		٪٤/۸٥		٪٥/۲۷

Archive of SID
www.SID.ir

۵- سپاسگزاری

این مقاله با حمایت شرکت قطارهای مسافری رجا تهیه شده است. از تمامی بزرگوارانی که در انجام تحقیق حاضر، همکاری کردند، به ویژه بخش برنامه و بودجه، قدردانی می‌شود.

٦- پی‌نوشت‌ها

1. Peak
2. Travel Mode
3. Indirect (Sequential) Approach
4. Direct (Global) Approach
5. Rough Sets Theory
6. Seasonality
7. All-Possible-Regressions Procedure
8. Automatic Search Procedures
9. Forward Stepwise Regression Procedure
10. Forward Selection
11. Backward Elimination
12. Ordinary Least Square
13. Auto Correlation
14. Error Back Propagation
15. Least Square Error
16. Partitioning Variable
17. Parsimony
18. Hyperbolic Tangent
19. Levenberg-Marquardt
20. Scaled Conjugate Gradient (SCG)
21. Over-Fitting
22. Pearl-Reed Logistic

۷- مراجع

- افندی‌زاده زرگری، ش. و رحیمی، ا. م. (۱۳۸٦) "طراحی مدل تقاضای سفرها در ایستگاه‌های اصلی شبکه راه آهن سراسری ایران"، نهمین همایش حمل و نقل ریلی، تهران، انجمن مهندسی حمل و نقل ریلی ایران.
- افندی‌زاده زرگری، ش. و رحیمی، ا. م. (۱۳۸۹) "مدل تحلیل عاملی برای انتخاب عوامل مؤثر بر تقاضای سفر با اتوبوس‌های بین‌شهری"، پژوهشنامه حمل و نقل، سال هفتم، شماره اول، ص. ۱-۱۰.
- امین‌ناصری، م. ر.، اصفهانیان، م. (۱۳۸۳) "پیش‌بینی کوتاه مدت قیمت نفت خام با استفاده از شبکه عصبی پیشخور"، تهران، سومین کنفرانس بین‌المللی مهندسی صنایع ، شمارهٔ ۱، ص. ٥٥٥-٥٦٤.
- تیموری، الف.، احمدی، م. و ابوالحسن‌زاده، ک. (۱۳۸٦) "پیش‌بینی تقاضای سفر با قطار با استفاده از شبکه‌های عصبی"، نهمین همایش حمل و نقل ریلی، آبان ۱۳۸٦، تهران، انجمن مهندسی حمل و نقلی ریلی ایران.
- تیموری، الف.، احمدی، م. و ابوالحسن‌زاده، ک. (۱۳۸۵) "طراحی مدل ریاضی پیش‌بینی تقاضای سفر با قطار با استفاده از سری‌های زمانی مورد کاوی: محور خراسان"، هشتمین همایش حمل و نقل ریلی، آبان ۱۳۸۵، تهران، انجمن مهندسی حمل و نقل ریلی ایران.
- جمیلی، الف. (۱۳۸٦) "مدل برآورد تقاضای حمل و نقل ریلی مسافر"، نهمین همایش حمل و نقل ریلی، آبان ۱۳۸٦، تهران، انجمن مهندسی حمل و نقل ریلی ایران.
- صفارزاده، م. و قربانی، م. (۱۳۸۵) "مدل تقاضای سفر هوایی بین شهری ایران"، نشریه فنی و مهندسی مدرس، شمارهٔ ۲۳، بهار ۱۳۸۵، ص. ۱-۱۲.
- لهراسبی، الف. و میزانی، س. (۱۳۸٦) "ارایه مدلی جهت پیش‌بینی تقاضا در حمل و نقل ریلی"، نهمین همایش حمل و نقل ریلی، آبان ۱۳۸٦، تهران، انجمن مهندسی حمل و نقل ریلی ایران.
- Athanasopoulos G., Ahmed R. A., Hyndman R. J. (2009) "Hierarchical forecasts for Australian domestic tourism", International Journal of Forecasting, Vol. 25, Issue 1, January-March, pp. 146-166.
- Burger, C., Dohnal, M., Kathrada, M. and Law, R. (2001) "A practitioners guide to time-series methods for tourism demand forecasting - a case study of Durban,South Africa", Tourism Management, An International Journal, Vol. 22, Issue 4, August, pp. 403-409.
- Carson R. T., Cenesizoglu T. and Parker R. (2010) "Forecasting (aggregate) demand for US commercial air travel", International Journal of Forecasting.

www.SID.ir

- Kutner, M. H., Nachtsheim, C. J., and Neter, J. (2004), "Applied linear regression models", Fourth Edition, The McGraw-Hill Companies, Inc.
- Law, R. and Au, N. (1999) "A neural network model to forecast Japanese demand for travel to Hong Kong", Tourism Management, An International Journal, Vol. 20, Issue 1, February, pp. 89-97.
- Lim, C. and McAleer, M. (2002) "Time series forecasts of international travel demand for Australia", Tourism Management, An International Journal, Vol. 23, Issue 4, August, pp. 389–396.
- Muñoz, T. G. (2007) "German demand for tourism in Spain", Tourism Management, An International Journal, Vol. 28, Issue 1, February, pp. 12–22.
- Profillidis, V. A. (2000) "Econometric and fuzzy models for the forecast of demand in the airport of Rhodes", Journal of Air Transport Management, An International Journal, Vol. 6, Issue 2, April, pp. 95-100.
- Tsai, T. H., Lee, C. K. and Wei, C. H. (2009) "Neural network based temporal feature models for short-term railway passenger demand forecasting", Expert Systems with Applications, An International Journal, Vol. 36, March, Issue 2, pp. 3728–3736.
- Wardman, M. (2006) "Demand for rail travel and the effects of external factors", Transportation Research, An International Journal, Part E: Logistics and Transportation Review, Vol. 42E, Issue 3, May, pp. 129–148.
- Creutzig, F. and He, D. (2009) "Climate change mitigation and co-benefits of feasible transport demand policies in Beijing", Transportation Research, An International Journal, Part D*:* Transport and Environment, Vol. 14, Issue 2, March, pp. 120-131.
- Festa, D. C., Condino, D. and Mazzulla, G. (2006) "Experimental tour-based travel demand models", European Journal of Operational Research, Vol. 175, Issue 3, December, pp. 1472–1483.
- Goh, C. and Law, R. (2003) "Incorporating the rough sets theory into travel demand analysis", Tourism Management, An International Journal, Vol. 24, Issue 5, October, pp. 511–517.
- Hyndman, R. J. and Koehler, A. B. (2006) "Another look at measures of forecast accuracy", International Journal of Forecasting, Vol. 22, Issue 4, October-December, pp. 679-688.
- Jonkeren, O., Jourquin, B. and Rietveld, P. (2009) "Modal-split effects of climate change: The effect of low water levels on the competitive position of inland waterway transport in the river Rhine area", Transportation Research, An International Journal, Part A: A policy and practice.
- Koetse, M. J. and Rietveld, P. (2009) "The impact of climate change and weather on transport: An overview of empirical findings", Transportation Research, An International Journal, Part D: Transport and Environment , Vol. 14, Issue 3, May, pp. 205–221.

Archive of SID

www.SID.ir