نشریه مدیریت فناوری اطلاعات، دوره ۲، شماره ۴، بهار و تابستان ۱۳۸۹، از صفحه ۱۵۷ تا ۱۷۴

هوش مصنوعی و الگوریتم ترکیبی مناسب برای افزایش دقت پیش‌بینی‌های مدیریتی

شهرام گیلانی نیا*

استادیار گروه مدیریت صنعتی دانشگاه آزاد اسلامی واحد رشت، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۳۸۸/۲/۱۴، تاریخ تصویب: ۱۳۸۸/۱۱/۱۹)

چکیده

این مقاله یک سامانه‌ی خبره‌ی ساده و اثربخش را برای پیش‌بینی داده‌های نوسانی تصادفی وکوتاه‌مدت ایجاد نموده است. فرآیند بررسی شامل معرفی سری فوریه، زنجیره‌ی مارکوف و مقایسه‌ی مدل پیش‌بینی (گِری) با مدل پیش‌بینی ترکیبی گری- فوریه- مارکوف که در هم آمیخته شده‌اندادامه یافته، تا منجربه خلق یک سامانه‌ی خبره‌ی پیش‌بینی با کمک هوش مصنوعی شود. این مدل موجب می‌شود اثربخشی پیش‌بینی داده‌های تصادفی نوسانی در اکثر برنامه‌های مدیریتی افزایش یابد. حاصل این مطالعه، معرفی الگوریتم تشخیص هوش مصنوعی است که کمک می‌کند تا محیطی رایانه‌ای برای یک سامانه‌ی پیش‌بینی خبره ایجاد شود که داده‌های کوتاه مدت و اتفاقی ناپایدار را به‌درستی و بادقت پیش‌بینی کند. جهت آزمون اثربخشی الگوریتم ارایه شده از داده‌های مطالعه‌های (چن تسای لین،۲۰۰۸) و داده‌های مربوط به پیش‌بینی تقاضای گردشگری در ایران استفاده شده است.نتایج، نشان می‌دهد خروجی مدل برای دوکشور از دقت بالایی برخوردار است.

واژه‌های کلیدی: پیش‌بینی‌های مدیریتی، هوش مصنوعی، الگوریتم ابتکاری، مدل ترکیبی، اثربخشی

* نویسنده مسئول Email: gilani@gmail.com

۱. مقدمه

پیش‌بینی تقاضای درست و صحیح برای تمام سازمان‌ها چه در بخش خصوصی و چه در بخش دولتی در بعد نظری و نیز در عمل بسیار حیاتی است. به‌طور معمول قضاوت مدیریت برای تنظیم پیش‌بینی‌های آماری در پاسخ به رویدادهای خاص مورد نیاز است.بنابراین روش‌شناسی پیش‌بینی بیشترین ارتباط و کاربرد را در مبحث مدیریت دارد. به‌علاوه یک موضوع کلیدی مدیریت پیش‌بینی تقاضا است. [۹] داده‌های کوتاه مدت و ناپایدار اتفاقی برای پیش‌بینی صحیح بسیار اهمیت دارند. پیش‌بینی تقاضا ابزاری ضروری برای عرضه‌ی کالاها، برنامه‌ریزی تولید، تعیین سطح موجودی لازم و برقراری روش توزیع مناسب است. وقتی خدماتی (هم‌چون گردشگری) به بازاری مطلوب دست می‌یابد، باید به‌طوردقیق اندازه‌ی فعلی و حجم بالقوه‌ی آتی آن برآورد شود. یک برآورد بیش از حد یا کمتر از حد واقعی بازار، موجب می‌شود که عرضه‌کننده بخش عمده‌ای از سود خود را از دست بدهد. با این وصف چیزی که برای مدیران دارای اهمیت حیاتی است میزان دقت مدل پیش‌بینی است وبرای افزایش قابلیت اطمینان پیش‌بینی‌های مدیریتی تاکنون مدل‌های فراوانی پیشنهاد شده و نیز به‌کارگرفته می‌شوند. پژوهش حاضر نیز یک سامانه‌ی خبره‌ی ساده و اثربخش را برای پیش‌بینی داده‌های نوسانی تصادفی وکوتاه مدت ارایه نموده است. فرآیند بررسی شامل معرفی سری فوریه، زنجیره مارکوف و مقایسه‌ی مدل پیش‌بینی گری[۱] با مدل پیش‌بینی ترکیبی گری- فوریه- مارکوف که در هم آمیخته شده‌اند ادامه یافته، تا منجربه خلق یک سامانه‌ی خبره‌ی پیش‌بینی با کمک هوش مصنوعی شود. این مدل موجب می‌شود اثربخشی پیش‌بینی داده‌های تصادفی نوسانی در اکثر برنامه‌های مدیریتی افزایش یابد. حاصل این مطالعه، معرفی الگوریتم تشخیص هوش مصنوعی است که کمک می‌کند تا محیطی رایانه ای برای یک سامانه‌ی پیش‌بینی خبره ایجاد شود که داده‌های کوتاه مدت و اتفاقی ناپایدار را به‌درستی و بادقت پیش‌بینی کند. به‌منظور آزمون میزان دقت پیش‌بینی در مدل‌های اخیر پیش‌بینی و ارزیابی تفاوت‌های موجود بین کاهش خطای پیش‌بینی در مدل پیشنهادی، مقاله داده‌های آماری مناسب و همگن را از دو کشور ایران و تایوان برای پیش‌بینی میزان تقاضای گردشگری مورد استفاده قرار داده و با مقایسه میزان دقت در روش‌های قبلی و پیشنهادی در دوجامعه‌ی متفاوت با یک موضوع واحد به آزمون مدل

---

1. GERY model

ارایه شده خواهد پرداخت. در رابطه با مدل پیشنهادی لازم به توضیح است مطالعه‌های اخیر فوریه- مارکوف،گری به‌طور مشابه بر اهمیت تجربه‌های گذشته بر بالا بردن صحت پیش‌بینی آینده تاکید می‌کند[۱۳].پژوهش‌های بیشتر نشان داد که سامانه‌های خبره می‌توانند از دستورالعمل‌های آماری تبعیت کند[۶]و عملکرد مدیریت می‌تواند با استفاده از خط مشی یک سامانه‌ی خبره بهبود یابد تا در صورت لزوم به تصمیم‌گیری کمک نماید. در طی فرآیند مدل سازی سامانه‌ی خبره جایگزین انسان خبره شد . در تحقیق حاضرهدف این بوده است که یک محیط "الگوریتم تشخیصی هوش مصنوعی ساده و موثر" ساخته شود تا در آن مدیر/ متصدی بتوانند از مهارت‌های فوریه- مارکوف- گری و مقادیر پیش‌بینی طولانی‌مدت استفاده کنند.

۲. پیشینه‌ی پژوهش

با توجه به بررسی‌های انجام گرفته توسط پژوهشگر، در زمینه‌ی دست یافتن به یک روش مطلوب برای ترکیب روش‌های پیش‌بینی، تلاش‌های زیادی انجام گرفته است. افرادی نظیر موریس، ماکرادیکس و نگلیر ، آگنو، ویلتنباپ، کلاپی و آرمسترانگ، شیخ عبدل حمیدداکری، در این زمینه پژوهش‌هایی را انجام داده‌اند. در زمینه رویکرد ترکیبی (به-عنوان رویکرد جدید) نیز پژوهش‌های متعددی انجام شده است. پژوهش‌های پیش‌بینی ترکیبی به‌صورت نظری با کار ماکارادیکس و وینکلر به‌صورت جدی مطرح شد . آن‌ها در یک پژوهش گسترده در مورد ترکیب روش‌های پیش‌بینی دریافتند که میانگین موزون و یا ساده، میزان خطای پیش‌بینی را نسبت به سایر روش‌ها بسیار کاهش می‌دهد. کار این افراد در زمینه پیش‌بینی داده‌های سری زمانی اقتصادی مانند تولید ناخالص ملی بوده است. کلاپی و آرمسترانگ شیوه‌ی مبتنی بر قاعده را، روش مناسب ترکیب انواع پیش‌بینی‌ها مورد توجه قرار داده‌اند [۸] .در مورد تحلیل‌های مربوط به رویکرد ترکیبی، مارسلو و آلوارو ترکیب روش‌های پیش‌بینی هموارسازی نمایی و شبکه‌های عصبی را به‌کار بردند [۴]. در این تحلیل، روش پیش‌بینی ARIMA به‌عنوان ورودی شبکه عصبی لحاظ شده است. در یک رویکرد ترکیبی، وزن‌گذاری شبکه‌های عصبی به‌وسیله‌ی الگوریتم ژنتیک انجام شده و از آن به‌عنوان روش هیبرید نام برده شده است در بررسی و تحلیل رویکردهای ترکیبی، یکی از روش‌های غالب به‌کار رفته، روش سیستم‌های خبره است.

سیستم‌های خبره با سیستم‌های مبتنی بر دانش با تنظیم پایگاه دانش مناسب، روش پیش‌بینی مناسب را مورد استفاده قرار می‌دهند. در کار پژوهشی فلورس و پیرس روش‌های مختلف پیش‌بینی ، مانند تحلیل نایو، هولت، وینترز، و تحلیل‌های روند با هم مقایسه شده و با توجه به معیارهای خطا با هم ترکیب شده‌اند [۱۲]. آرمسترانگ و کلاپی از همین تحلیل سیستم‌های خبره مبتنی بر دانش برای ترکیب و انتخاب مناسب بین روش‌های پیش‌بینی استفاده کردند[۵]. بسیاری از پژوهشگران مدل پیش‌بینی (گری)را به‌کار برده‌اند تا قدرت تحلیل روند تغییرات را بالا ببرند[۱]. اگرچه از سامانه‌ی پیش‌بینی «گری» در زمینه‌های بسیاری به‌طور موفقیت آمیزی بهره برداری شده است.بنابراین پژوهش‌ها نشان می‌دهد که هنوز عملکرد آن می‌تواند بهبود یابد. بنابراین در این پژوهش سری‌های فوریه و زنجیره مارکوف نیز با روش پیش‌بینی گری تلفیق شده‌اند تا دقت پیش‌بینی را با مدل سازی مبتنی برزمان و پدیده‌های اتفاقی بهبود بخشند . ابتدا بیتز و گرانگر [۱] نشان دادند که چگونه پیش‌بینی‌های ترکیبی می‌تواند دقت پیش‌بینی را افزایش دهد. از آن زمان مطالعه‌ی تکنیک‌های ترکیبی پیش‌بینی به‌وجود آمدند. تلاش‌های صورت گرفته است تا روش‌های پیش‌بینی ترکیبی مختلف را با استفاده از آزمایش‌های تجربی و/ یا شبیه‌سازی ایجاد کرده و بهبود بخشند. وانگ وسانگ و ویت نتیجه گرفته‌اند که پیش‌بینی ترکیبی دقت (صحت) را افزایش می‌دهد. برای آزمون صحت این ادعا ، این مطالعه ضمن ترکیب مدل اصلی فوریه با مدل پیش‌بینی مارکوف و گری به‌دنبال این هدف است تا مشخص کند آیا مدل ترکیبی ایجاد شده دقت پیش‌بینی داده‌های تصادفی نوسانی را بالاخواهد برد. نظریه‌ی پیش‌بینی گری بر مدل سامانه‌ای تحت شرایط عدم اطمینان و یک‌پارچگی اطلاعات تمرکز دارد و با استفاده از داده‌های محدود می‌تواند عمل پیش‌بینی را به انجام رساند[۷]. مدل اصلی فوریه را، بریگهام [۲] گسترش داد. این کار مدل فوریه ای را که هسو[۱۱] و لین و لی ایجاد کرده بودند گسترش می‌دهد. آن‌ها مدل سری‌های فوریه را برای افزایش دقت وصحت پیش‌بینی به‌کار بردند. هنگامی‌که داده‌های نمونه بسیار متغیر(نوسانی) هستند، سری‌های فوریه می‌توانند با دقت تخمین بزنند. سرانجام ماتریس‌های انتقال وضعیت مارکوف می‌توانند ارزش پیش‌بینی شده برای مرحله‌ی بعد را اصلاح کند مدل افزوده شده در این کار فوریه- مارکوف- گری است. در این مدل پیشنهادی، الگوریتم مدل پیش‌بینی گری اصلاح شده است تا دقت و صحت تحلیل روند را بالا ببرد. سری فوریه و زنجیره‌ی

مارکوف نیز در فوریه- مارکوف - گری تلفیق شده‌اند تا پدیده‌های اتفاقی و منظم متناوب را با دقت پیش‌بینی بالاتر مدل سازی کنند.

۳. سری فوریه، زنجیره‌ی مارکوف و مدل گری و الگوی گری - فوریه - مارکوف

الف) سری فوریه

سری فوریه، روشی در ریاضیات است که به‌وسیله‌ی آن ، هر تابع متناوبی به‌صورت جمعی از توابع سینوس و کسینوس می‌تواند نوشته شود. نام این قضیه به اسم ریاضیدان فرانسوی ، ژوزف فوریه ثبت شده است.در نظریه سری‌های فوریه نشان داده شده است که اگر f(x) در شرایطی مثل (شرط دیریکله) صدق کند، می‌توان آن را به‌صورت سری هماهنگی به صورت زیر:

$$\int(x)=\frac{1}{2}\alpha_0\cos(nx)+\sum_{n=1}^{\infty}b_n\sin(nx) \qquad (۱)$$

بسط داد و این که در نقاط ناپیوستگی سری سمت راست رابطه‌ی بالا برابر مقدار متوسط است. ضرایب a_n و b_n را می‌توان با استفاده از روابط زیر استفاده نمود :

$$\int_{-\pi}^{\pi}\sin(mx)\sin(nx)dx \qquad (۲)$$

$$\int_{-\pi}^{\pi}\cos(mx)\cos(nx)dx$$

$$\int_{-\pi}^{\pi}\sin(mx)\cos(nx)dx$$

$$\int_{-\pi}^{\pi}\sin(mx)dx$$

$$\int_{-\pi}^{\pi}\cos(mx)dx$$

هم‌چنین اگر یک تابع متناوب با تناوب T باشد یا به عبارتی f(t + T) = f(t): آن‌گاه، این تابع به‌صورت زیر می‌تواند نوشته شود:

$$f(t)=\frac{a_0}{2}+\sum_{n=1}^{\infty}\left[a_n\cos(\omega_n t)+b_n\sin(\omega_n t)\right] \qquad (۳)$$

در این‌جا داریم:

$$a_n=\frac{2}{T}\int_{t1}^{t2}f(t)sos(\omega_n t)dt$$

$$c_n = \frac{1}{T}\int_{t1}^{t2} f(t)e^{-i\omega_n t}dt \qquad \omega_n = n\frac{2\pi}{T}$$

ب) زنجیره‌ی مارکوف

زنجیره‌ی مارکوف، دنباله‌ای از متغیرهای تصادفی است که همگی این متغیرهای تصادفی دارای فضای نمونه‌ای یکسان هستند اما، توزیع احتمالات آن‌ها می‌تواند متفاوت باشد و در ضمن هر متغیر تصادفی در یک زنجیره‌ی مارکوف تنها به متغیر قبل از خود وابسته است. دنباله‌ی متغیرهای تصادفی را به‌صورت زیر می‌توان نمایش داد:

$X^0, X^{(1)}, X^{(2)}, \ldots$

فضای نمونه‌ای متغیرهای تصادفی زنجیره‌ی مارکوف می‌تواند پیوسته یا گسسته، محدود یا نامحدود باشد. برای ادامه‌ی موضوع حالت گسسته و محدود درنظر گرفته می‌شود هرچند مطالب گفته‌شده قابل تعمیم به حالت پیوسته نیز است.با فرض حالت گسسته محدود برای فضای نمونه‌ای، می‌توان هر متغیر تصادفی را با توزیع احتمالش نمایش داد. این توزیع را با یک بردار که احتمال هر کدام از مقادیر فضای نمونه‌ای را در خود جای داده است، می‌توان نشان داد. بنابراین، نمایش دیگر زنجیره‌ی مارکوف عبارت است از:

$P_0, P_1, P_2, \ldots P_i = [p(X^i = x_i), \ldots, p(X^i = x_n)]$

با توجه به تعریف زنجیره‌ی مارکوف، دانستن اولین مؤلفه‌ی زنجیره و رابطه‌ای که مؤلفه‌ی i–ام را از مؤلفه‌ی (i-1)–ام تولید می‌کند. این رابطه را تابع تبدیل (T) می‌نامند و نحوه‌ی به‌دست آوردن مؤلفه‌های بردار احتمال به وسیله‌ی این تابع عبارت است از:

$$P(X^{i+1} = x)\sum_{X} P(X^i = \tilde{\tilde{x}})T_i(\tilde{\tilde{x}}, x) \qquad (۴$$

چنان‌چه در زنجیره‌ی مارکوف، رابطه‌ی بین متغیرهای تصادفی متوا لی به موقعیت آن‌ها در زنجیره‌ی وابسته نباشد، زنجیره‌ی همگن نامیده می‌شود. در یک زنجیره‌ی همگن:

$$T_i(\overset{i}{x}, x) = T_j(\tilde{\tilde{x}}, x) = T(\tilde{x}, x) \qquad (۵$$

می‌توان روابط گفته‌شده را به‌صورت رابطه‌ی ماتریسی زیر خلاصه نمود:

$$T_{n\times n} = \begin{bmatrix} T(x_1, x_1)\ldots T(x_1, x_n) \\ T(x_n, x_1)\ldots T(x_n, x_n) \end{bmatrix} \qquad P_{i+1} = P_i . T_{n\times n} \qquad (۶$$

ج) مدل پیش‌بینی گری

بنابر نظریه‌ی سامانه‌ی گری که دنگ (Deng) آغازگر آن بود سامانه‌ای که آهنگ (نظم) ندارد می‌تواند سامانه‌ی گری به حساب بیاید. تنها چهار مشاهده برای توصیف یک نظام ناشناخته درمدل گری کافی است. مراحل ساخت مدل گری به قرار زیر است

مرحله‌ی ۱: عملکرد تولید را جمع کنید (AGO)

$x^{(1)}$ درجه اول $x^{(0)}$ دنباله (AGO) است که به‌صورت زیر است.

۷) x(1)=[x(1)(1),x(1)(2),…,x(1)(n)]= $[\sum_{t=1}^{1} x^{0}(1), \sum_{tt=1}^{2} x^{(0)}(2),..., \sum_{t=1}^{n} x^{(0)}(k)]$

مرحله‌ی ۲: معادله دیفرانسیل گری را تشکیل دهید.

معادله‌ی دیفرانسیل درجه‌ی اول مدل گری

$$\frac{dx^{(1)}(t)}{dt} + ax^{(1)}(t) = b \qquad (۸$$

است که t بیانگر متغیرهای مستقل در سامانه است و a ضریب گسترده است و b متغیر کنترل گری است و a و b بیانگر پارامترهایی است که نیازمند محاسبه در مدل هستند. مقادیر a و b با روش حداقل مجذور به‌صورت مقابل در می‌آیند:

$$\begin{bmatrix} a \\ d \end{bmatrix} = \left(B^{T}B\right)^{-1} B^{T} Y_{N} \qquad (۹$$

به‌علاوه ماتریس تجمعی B به‌صورت مقابل است:

$$B = \begin{bmatrix} -0.5\left[x^{(1)}(1) + x^{(1)}(2)\right] & 1 \\ -0.5\left[x^{(1)}(2) + x^{(1)}(3)\right] & 1 \\ ... & \\ -0.5\left[x^{(1)}(n-1) + x^{(1)}(n)\right] & 1 \end{bmatrix}$$

مرحله‌ی ۳: پیش‌بینی $of x^{(0)}(k+1)$ را به‌دست آورید $Y_N = [X^{0}(2), X^{0}(3),..X^{(0)}(n)]^{T}$

رابطه‌ی تخمینی می‌تواند با ادامه‌ی جایگزینی a ی به‌دست آمده در معادله دیفرانسیل و با حل سری داده‌های خام به‌دست بیاید.

$$x^{1}(k+1) = (x^{(0)}(1) - \frac{b}{a} e^{-an} + \frac{b}{a} \qquad (۱۰$$

هنگامی که $\hat{x}^{(1)}(1)=\hat{x}^{(0)}(1),$ دنباله‌ی درجه اول عملکرد تولیـد تجمعـی معکـوس از تبدیل به‌صورت زیر به‌دست می‌آید :

$$x^{(0)}=x^{(0)}(k+1)=x^{(0)}(k+1)-x^{(0)}k=[x^{(0)}(2),x^{(0)}(3),...,x^{(0)}(n)\} \quad (11)$$

دراین مدل مدیران برای برنامه‌ریزی و تعیین راهبرد در محیط‌های نامطمئن باید رونـدها را به‌درستی پیش‌بینی کنند. مدیرانی که اطلاعات کامل ودقیق دارند، می‌توانند وضـعیت را کنترل نموده و به‌طور سریع درست تصمیم‌گیری نمایند[۱]. نگاره‌ی شماره‌ی(۱) طرز کـار این سامانه‌ی خبره را نشان می‌دهد و دو الگوریتم مدل پـیش‌بینـی گـری و مـدل پـیش‌بینـی گری- مارکوف- فوریه را شامل می‌شود.

د) مدل پیش‌بینی گری- مارکوف- فوریه

در فوریه- مارکوف – گری، ماتریس‌های انتقال وضعیت مارکوف برای تهیه‌ی اطلاعات آماری درباره‌ی روندهای پیش‌بینی عملکرد به‌کار می‌روند، ماتریس‌های انتقال وضعیت مارکوف می‌توانند اصلاح‌های ممکن مورد نظر برای پیش‌بینی مقدار مرحله‌ی بعد را میسر سازند . فوریه- مارکوف - گری یک مدل پیش‌بینی است که گری، نظریه‌ی فوریه و زنجیره مارکوف را با هم ترکیب می‌کند، بر طبق پژوهش‌های گذشته، میزان دقت پیش‌بینی روند سری‌های اولیه که ازمدل گری استفاده می‌کنند، می‌تواند با استفاده از سری‌های فوریه افزایش یابد تا مقدار باقی‌مانده پیش‌بینی‌های مدل گری را اصلاح کند. بر این اساس یک سامانه‌ی خبره که شامل قوانین معینی است، می‌تواند مورد بهره برداری قرار بگیرد. نمودار(۱) طرز کار این سامانه خبره را نشان می‌دهد و دو الگوریتم مدل پیش‌بینی گری و مدل پیش‌بینی گری- مارکوف- فوریه را شامل می‌شود.

قانون ۱. تمام ارقام سری داده‌های خام در مدل‌های پیش‌بینی گری غیر منفی هستند. در سامانه‌ی تشخیص خبره برای پیش‌بینی دقت با هوش مصنوعی رشته (سلسله) داده خام $x^{(0)}(k)$ شامل داده‌های منفی است و سامانه‌ی مدل پیش‌بینی گری- فوریه- مارکوف را انتخاب می‌کند.

قانون ۲. اگر $x^{(0)}(k)>0$ و $\sigma^{(0)}(k)\in(0,1]$ آن‌گاه مدل گری به‌کار گرفته خواهد شد , در غیر این صورت فوریه- مارکوف- گری برای پیش‌بینی انتخاب می‌شود. در این شرایط سری $\sigma^{(0)}(k)$ برابر است با:

$$\sigma^{(0)}(k) = \frac{x^{(0)}(k-1)}{x^{(0)}(k)}, \qquad 2 \geq k \tag{۱۲}$$

لازم به ذکر است که در الگوریتم ارایه شده سامانه خبره به طور مستقیم از داده‌های خام با فوریه- مارکوف -گری و بدون دقت پیش‌بینی اصلاح شده مدل گری استفاده می‌کند.

مرحله‌ی۱ . سری فوریه را محاسبه کنید.

سری‌های پیوسته می‌توانند با استفاده از سری فوریه به صورت زیر به‌دست آیند:

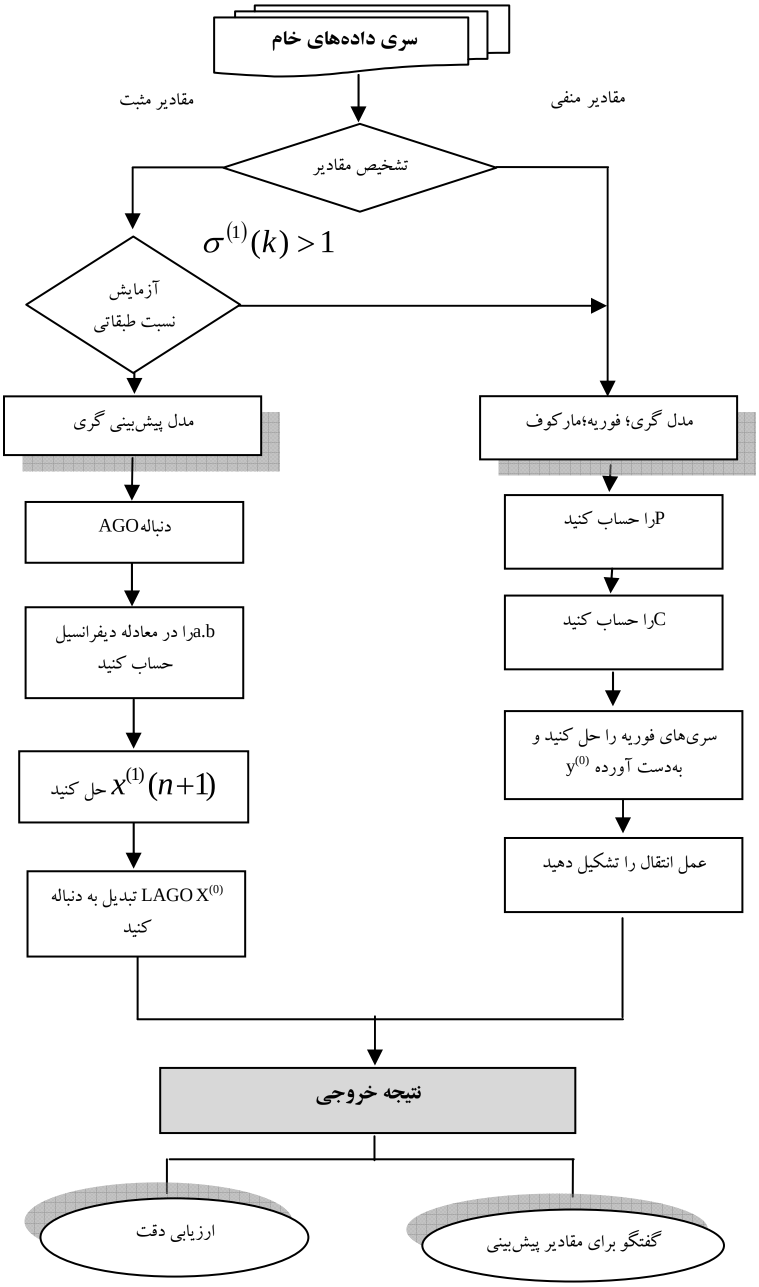
(۱۳)

$$y_0(k) = \frac{1}{2}\alpha 0 + \sum_{i=1}^{k_a}(a_i \cos(\frac{i2\pi}{T_a}k) + b_i \sin(\frac{i2\pi}{T_a}k)), \qquad k\rangle 0$$

$$for \;\; k = 2,3,....,n.$$

در معادله‌ی (۳)، T^aبیانگر دوره سری‌ها است و $T_a = n-1$. وسری‌های پیوسته می‌توانند با استفاده از سری فوریه به‌صورت زیر در آیند:

$$y0(k) = \frac{1}{2}a_0 + \sum_{i=1}^{ka}(a_i \cos(\frac{i2\pi}{T_a}k) + b_i \sin(\frac{i2\pi}{T_a}k)), \tag{۱۴}$$



نمودار ۱. الگوریتم ارزیابی دقت پیش بینی در مدل گری و ...

معادله‌ی (۱۵) به‌طریق زیر به‌دست می‌آید:

$$p.c = y_0 \qquad (۱۵)$$

$$c = (p^t p)^{-1} p^t y_0 \qquad (۱۶)$$

$$c = [a_0, a_1, b_1, a_2, b_2, ..., a_{ka}, b_{ka}]^r \qquad (۱۷)$$

$$p = \begin{bmatrix} \frac{1}{2}\cos(\frac{2\pi 1}{T_n}2)\sin(\frac{2\pi 1}{T_n}2)\cos(\frac{2\pi 2}{T_n}2)\sin(\frac{2\pi 2}{T_n}2)....\cos(\frac{2\pi k_n}{T_n}2)\sin(\frac{2\pi k_n}{T_n}2) \\ \frac{1}{2}\cos(\frac{2\pi 1}{T_n}3)\sin(\frac{2\pi 1}{T_n}3)\cos(\frac{2\pi 2}{T_n}3)\sin(\frac{2\pi 2}{T_n}3)....\cos(\frac{2\pi k_n}{T_n}3)\sin(\frac{2\pi k_n}{T_n}3) \\ \frac{1}{2}\cos(\frac{2\pi 1}{T_n}n)\sin(\frac{2\pi 1}{T_n}n)\cos(\frac{2\pi 2}{T_n}n)\sin(\frac{2\pi 2}{T_n}n)....\cos(\frac{2\pi k_n}{T_n}n)\sin(\frac{2\pi k_n}{T_n}n) \end{bmatrix}$$

در معادله $k_a = \frac{(n-1)}{2} - 1$ و بیانگر حداقل تکرار به‌کارگیری سری‌های فوریه است.

در این مرحله اگر شرایط مدل گری بر قرار باشد برای مثال می‌توان پیش‌بینی تعداد توریست‌ها را در کشور مورد مطالعه با تعداد واقعی آن‌ها مقایسه نمود این مورد در نمودار شماره‌ی (۲) نشان داده شده است .

مرحله‌ی ۲ . ماتریس‌های انتقال وضعیت مارکوف را اجرا کنید.

فوریه- مارکوف- گری بر این ایده است که عمل انتقال y^0 را با ماتریس انتقال مارکوف انجام دهد. اصلاح‌های ممکن برای مقادیر پیش‌بینی شده با این ماتریس‌های مارکوف انجام پذیر است. حالت‌ها S برای هر مرحله بر طبق توزیع $\hat{y}^{(0)}$ می‌توانند تعریف شوند، و هرکدام از این حالت‌ها فاصله‌ای است که برای یک بخش ثابت، بین حداکثر و حداقل تمام داده‌های یکسان است. احتمال انتقال حالت، از حالت i به حالت j بعد از m مرحله با استفاده از معادله بعد به‌دست می‌آید:

$$p_{ij} = \frac{M_{ij}(m)}{M_i}, i, j = 1,2,...., s, \qquad (۱۸)$$

که $Mij(m)$ تعداد انتقال حالت‌ها از حالتi به حالت j بعد از m مرحله است و Mi رقم کلی i حالت است. این مقادیر pij می‌توانند ماتریس احتمال انتقال R(m) باشند. گسترش آتی سامانه با مطالعه‌ی ماتریس احتمال انتقال حالت R(m) می‌تواند پیش‌بینی شود.

$$R(m)=\begin{bmatrix} p_{11}(m)\,p_{12}(m)....p_{1j}(m) \\ p_{21}(m)\,p_{22}(m)....p_{2j}(m) \\ p_{s1}(m)\,p_{s2}(m)....p_{ij}(m) \end{bmatrix}, i, j=1,2,...S \qquad (۱۹$$

وقتی‌که آثار را تا مرحله‌ی r ام بررسی می‌کنیم، ماتریس‌های انتقال حالت r، به‌دست می‌آید. آن احتمال انتقال‌هایی که بیانگر گرایش به انتقال حالت هستند برای پیش‌بینی حالت محتمل در مرحله‌ی بعد می‌توانند مورد استفاده قرار بگیرند. ابتدا، مرکز هر حالت با $v_{i\,(i=1,2,...,\,s)}$ تعریف می‌شود و امکان هر حالت انتقال با $w_i\,(i=1,2,...,\,s)$. مقدار مرحله‌ی بعد با $\hat{y}^{(0)}(n+1)=\sum_{i=1}^{s}\lambda_i v_i$ پیش‌بینی می‌شود و λ_i برابر است با وزن حالت i. برای بررسی الگوریتم ارایه شده باید آزمون‌های تکمیلی به شرح زیر به انجام رسند.

۴. آزمون مدل ترکیبی و مقایسه آن با مدل‌های تکی

دراین پژوهش، اطلاعات معتبر به دلیل صحت بالای داده‌ها از مقاله (چن تسای،۲۰۰۸) و مرکز آمار ایران استخراج شده است.

مورد اول. پیش‌بینی تقاضای گردشگری بین المللی در تایوان

نگاره‌ی ۱. پیش‌بینی تقاضای توریسم بین المللی در تایوان با مدل گری- مارکوف

سال	تعداد واقعی توریست‌ها	تعداد پیش‌بینی توریست‌ها با مدل MG	خطای باقی مانده	میانگین خطای باقی مانده	دقت پیش‌بینی
۲۰۰۳	۲۲۴۸۱۱۷	–	–	۲/۰۳	۹۷/۹۷
۲۰۰۴	۲۹۵۰۳۴۲	۳۰۳۸۳۶۰	۲/۹۰	–	–
۲۰۰۵	۳۳۷۸۱۱۸	۳۲۶۱۵۵۰	۳/۵۷	–	–
۲۰۰۶	۳۵۱۹۸۲۷	۳۵۰۱۱۳۴	۰/۵۳	–	–
۲۰۰۷	۳۷۱۶۰۶۳	۳۷۵۸۳۱۸	۱/۱۲	–	–
۲۰۰۸	–	۴۰۳۴۳۹۴	–	–	–
۲۰۰۹	–	۴۳۳۰۷۴۹	–	–	–
۲۰۱۰	–	۴۶۴۸۸۷۴	–	–	–
۲۰۱۱	–	۴۹۹۰۳۶۷	–	–	–
۲۰۱۲	–	۵۳۵۶۹۴۶	–	–	–

داده‌های تحلیل شده، تعداد گردشگران خارجی است که در طول سال‌های ۲۰۰۳-۲۰۰۷ از تایوان دیدن کرده‌اند. نگاره‌ی شماره‌ی یک ارقام پیش‌بینی شده و واقعی را به-صورت کمی و تصویری مقایسه می‌کند. اطلاعات انعکاس یافته در نگاره‌ی شماره‌ی(۲) تعداد واقعی توریست‌ها، تعداد پیش‌بینی توریست‌ها ودقت پیش‌بینی با روش ترکیبی گری، فوریه، مارکوف را برای گردشگران آسیایی نشان می‌دهد.

نگاره‌ی ۲. پیش‌بینی تعدادگردشگران آسیایی که از تایوان دیدن کرده‌اند، با استفاده از مدل گری، فوریه ، مارکوف

میزان دقت پیش‌بینی	متوسط خطای باقی مانده	خطای باقی مانده	تعداد پیش‌بینی توریست‌ها	تعدادواقعی توریست‌ها	ماه	سال
۹۸/۸۳	۱/۱۷	--	--	۱۶۳۱۸۰	MAY	۲۰۰۵
		۰/۳۶	۱۷۲۶۰۶	۱۷۱۹۸۰	JUNE	
		۰/۷۹	۱۴۱۸۰۶	۱۴۲۹۴۰	JULY	
		۰/۹۸	۱۶۶۵۳۱	۱۶۴۹۲۰	AUGUST	
		۱/۲۴	۱۶۲۹۳۶	۱۶۴۹۸۰	SEPTEMBER	
		۱/۳۴	۱۸۳۴۷۱	۱۸۱۰۵۰	OCTOBER	
		۱/۴۱	۱۹۰۷۷۸	۱۹۳۵۱۰	NOVEMBER	
		۱۵۶	۱۹۳۳۵۹	۱۹۰۳۹۰	DECEMBER	
			۱۷۰۶۰۵	۱۷۳۷۳۰	JANUARY	۲۰۰۷
			۱۵۰۴۷۶	۱۴۷۲۸۰	FEBRUARY	
			۲۰۷۰۴۳۱	۲۱۰۶۱۰	MARCH	
			۱۷۸۱۰۶	۱۷۵۰۳۰	APRIL	
			۱۶۸۶۵۲	۱۷۱۵۴۰	MAY	
			۱۷۸۱۶۲	۱۷۵۵۴۰	JUNE	
			۱۴۵۸۵۵	۱۴۸۱۴۰	JULY	
			۱۷۳۰۴۰	۱۷۱۱۵۵	AUGUST	
			۱۷۶۰۹۹	۱۷۷۵۳۳	SEPTEMBER	
			۱۸۲۱۱۲	۱۸۱۱۶۹	OCTOBER	
			۲۰۳۹۱۸	۲۰۳۳۴۵	NOVEMBER	
			۲۱۰۸۶۱	۲۱۰۹۶۲	DECEMBER	
			۱۸۳۲۷۹	–	JANUARY	۲۰۰۸
			۱۵۶۹۰۶	–	FEBRUARY	
			۲۲۰۳۱۳	–	MARCH	

نگاره‌ی(۲) تعداد گردشگران آسیایی پیش‌بینی شده در تایوان را از ژانویه ۲۰۰۵ تا ژوئن ۲۰۰۸ نشان می‌دهد. در فرآیند یاد شده، خطای باقی‌مانده، محاسبه شده با الگوی فوریه- مارکوف- گری برای پیش‌بینی تقاضای بازدید گردشگران آسیایی از تایوان به ۹۸.۸۳٪ رسیده است. این نتایج بیان می‌کند که ا لگوی ترکیبی فوریه- مارکوف- گری می‌تواند بادقت بالایی نوسان نامنظم را پیش‌بینی کند. در این محاسبات پنج بازه حالت پیوسته برای منحنی $\hat{x}^{(0)}(k+1)$ مورد استفاده قرار گرفته است.

مورد دوم: پیش‌بینی تقاضای توریسم در ایران

نگاره‌ی ۳. پیش‌بینی تقاضای توریسم در ایران با استفاده از مدل گری- مارکوف

سال	تعداد واقعی توریست‌ها	تعداد پیش‌بینی توریست‌ها	خطای باقی‌مانده	میانگین خطای باقی‌مانده	میزان دقت پیش‌بینی
۷۹ /۲۰۰۰	۱۳۴۱۷۶۲	--	--	۲/۱۳	۹۷/۸۷
۸۰ /۲۰۰۱	۱۴۰۲۱۶۰	۱۴۵۲۲۲۱	۳/۴۴	--	--
۸۱ /۲۰۰۲	۱۵۸۴۹۲۲	۱۶۰۷۴۱۷	۱/۳۹	--	--
۸۲ /۲۰۰۳	۱۶۹۴۶۵۰	۱۷۱۲۲۳۵	۱/۰۲	--	--
۸۳ /۲۰۰۴	۱۷۲۵۸۸۱	۱۷۳۶۱۶۳	۰/۵۹	--	--
۸۴ /۲۰۰۵	۱۷۹۲۳۵۴	۱۸۱۴۳۲۲	۱/۲۱	--	--
۸۵ /۲۰۰۶	۱۸۳۷۶۲۵	۱۹۰۱۲۲۷	۳/۳۴	--	--
۸۶ /۲۰۰۷	۱۸۹۵۲۳۶	۱۸۴۲۶۴۱	۲/۸۵	--	--
۸۷ /۲۰۰۸	۲۰۳۵۵۱۸	۲۱۰۴۳۲۵	۳/۲۶	--	--
۸۸ /۲۰۰۹	--	۲۲۰۹۲۴۱	--	--	--
۸۹ /۲۰۱۰	--	۲۲۸۵۷۸۱	--	--	--
۹۰ /۲۰۱۱	--	۲۳۶۳۲۲۴	--	--	--
۹۱ /۲۰۱۲	--	۲۴۲۲۳۱۷	--	--	--
۹۲ /۲۰۱۳	--	۲۵۱۱۶۷۸	--	--	--
۹۳ /۲۰۱۴	--	۲۶۲۱۹۸۴	--	--	--

منبع: (مرکزآمار ایران ، سالنامه‌ی آماری کشور،۱۳۸۷- ۱۳۷۸)

همان‌طورکه مشاهده می‌شود طبق محاسبه-های صورت گرفته در نگاره‌ی ۳ با استفاده از مدل گری- مارکوف دقت پیش‌بینی مدل تقاضای گردشگری۹۷/۸۷ ٪ است.

هم‌چنین نگاره‌ی ۴ تعداد واقعی توریست‌ها، تعداد پیش‌بینی توریست‌ها و دقت پیش‌بینی با روش ترکیب گری، فوریه و مارکوف را نشان می‌دهد.

نگاره‌ی ۴. پیش‌بینی تقاضای توریسم در ایران با استفاده از مدل گری، فوریه و مارکوف

سال	تعداد واقعی توریست‌ها	تعداد پیش‌بینی توریست‌ها	خطای باقی‌مانده	میانگین خطای باقی‌مانده	میزان دقت پیش‌بینی
۷۹ /۲۰۰۰	۱۳۴۱۷۶۲	--	--	۰/۹۹	۹۹/۰۱
۸۰ /۲۰۰۱	۱۴۰۲۱۶۰	۱۴۱۲۸۷۴	۰/۷۵	--	--
۸۱ /۲۰۰۲	۱۵۸۴۹۲۲	۱۵۷۲۶۴۱	۰/۷۸	--	--
۸۲ /۲۰۰۳	۱۶۹۴۶۵۰	۱۷۱۲۳۲۱	۱/۰۳	--	--
۸۳ /۲۰۰۴	۱۷۲۵۸۸۱	۱۷۴۳۲۴۴	۰/۹۹	--	--
۸۴ /۲۰۰۵	۱۷۹۲۳۵۴	۱۸۲۱۷۳۱	۱/۶۱	--	--
۸۵ /۲۰۰۶	۱۸۳۷۶۲۵	۱۸۴۹۷۶۳	۰/۶۵	--	--
۸۶ /۲۰۰۷	۱۸۹۵۲۳۶	۱۹۱۲۸۶۱	۰/۹۲	--	--
۸۷ /۲۰۰۸	۲۰۳۵۵۱۸	۲۰۶۱۳۲۷	۱/۲۵	--	--
۸۸ /۲۰۰۹	--	۲۰۹۲۵۹۲	--	--	--
۸۹ /۲۰۱۰	--	۲۱۷۰۸۴۶	--	--	--
۹۰ /۲۰۱۱	--	۲۲۲۷۱۳۳	--	--	--
۹۱ /۲۰۱۲	--	۲۲۹۸۱۵۸	--	--	--
۹۲ /۲۰۱۳	--	۲۳۳۳۷۸۲	--	--	--
۹۳ /۲۰۱۴	--	۲۳۹۵۹۳۶	--	--	--

همان‌طورکه مشاهده می‌شود طبق محاسبه‌های صورت گرفته در نگاره‌ی ۴ با استفاده از مدل گری، فوریه و مارکوف دقت پیش‌بینی مدل تقاضای گردشگری ۹۹/۰۱ ٪ است.
با توجه به محاسبه‌های انجام گرفته می‌توان به این نتیجه رسید که الگوریتم یادشده در جوامع مختلف مؤثر بوده و کاربرد دارد.برای مقایسه‌ی نحوه‌ی عملکرد مدل پیش‌بینی ارایه شده در دو کشور ایران و تایوان باید به میزان دقت پیش‌بینی در روش‌های تکی و ترکیبی توجه شود. همان‌طورکه محاسبه‌ها نشان می‌دهد الگوی تغییرات در نمودارها در دو کشور برای تقاضای گردشگری همسان بوده و برخلاف تغییر در جامعه آماری تفاوت مشخصی برای دقت پیش‌بینی تقاضای گردشگری در استفاده از روش‌های تکی و ترکیبی در هر دو کشور مشاهده می‌شود. این نتیجه بیان می‌کند که در مرحله‌ی اول با استفاده از روش پیشنهادی بر میزان دقت پیش‌بینی افزوده خواهد شد و در مرحله‌ی دوم با تغییر در جامعه‌ی آماری قابلیت اطمینان مدل تغییر نخواهد کرد.

۵. نتیجه‌گیری

این مطالعه یک نظام تشخیص خبره برای افزایش دقت پیش‌بینی تقاضا را با استفاده از هوش مصنوعی پیشنهاد نموده است. الگوریتم یادشده، سامانه‌ی گری ، سری‌های فوریه و زنجیره‌ی مارکوف را با هم ترکیب کرده است تا کارایی پیش‌بینی را بر مبنای الگوریتم تشخیص هوش مصنوعی بالا ببرد. مدل فوریه- مارکوف گری به‌عنوان بخشی از یک الگوی آموزشی با استفاده از هوش مصنوعی به‌وجود آمد تا یک محیط یادگیری برای سامانه پیش‌بینی خبره خلق نماید. در مدل فوریه- مارکوف گری از نظریه‌ی پیش‌بینی گری استفاده شده است تا عدم اطمینان و پیوستگی اطلاعات را مدل سازی کنند و بر اساس داده‌های کمی پیش‌بینی دقیق‌تری را به‌عمل آورد. چهار مورد عملی، تقاضای گردشگری در تایوان و ایران و بازدیدهای ماهانه گردشگران آسیایی از تایوان که از پژوهش‌های (چن تسای لین) و مرکز آمار ایران استخراج شده بود برای بررسی و نمایش قابلیت پیش‌بینی با دقت بالاتر انتخاب شده است. همان‌طورکه نتایج شبیه سازی نشان می‌دهد، مدل پیشنهادی، دقت پیش‌بینی فوق‌العاده ای دارد با توجه به محاسبه‌های انجام گرفته می‌توان به این نتیجه رسید که الگوریتم یاد شده در جوامع مختلف موثر بوده و کاربرد دارد. برای مقایسه‌ی نحوه‌ی عملکرد مدل پیش‌بینی ارایه شده در دو کشور ایران و تایوان باید به میزان دقت پیش‌بینی در روش‌های تکی و ترکیبی توجه شود. همان‌طورکه محاسبه‌ها نشان می‌دهد الگوی تغییرات در نمودارها در دو کشور برای تقاضای گردشگری همسان بوده و برخلاف تغییر در جامعه‌ی آماری تفاوت مشخصی برای دقت پیش‌بینی تقاضای گردشگری در استفاده از روش‌های تکی و ترکیبی در هر دو کشور مشاهده می‌شود.این نتیجه بیان می‌کند که در وحله اول با استفاده از روش پیشنهادی بر میزان دقت پیش‌بینی افزوده خواهد شد و در مرحله‌ی دوم با تغییر در جامعه‌ی آماری قابلیت اطمینان مدل تغییر نخواهد کرد. این دقت بالا هم در کشور تایوان و هم کشور ایران قابل تأیید است .به-خصوص وقتی سامانه‌ی ناپایدار است، مدل فوریه- مارکوف- گری می‌تواند گسترش نظام‌مند را به‌طور مؤثری پیش‌بینی کند . فوریه- مارکوف- گری از الگوریتم تشخیص هوش مصنوعی استفاده می‌کند تا دقت سامانه پیش‌بینی را بالا ببرد. ازاین مدل پیشنهادی می‌توان برای ایجاد یک محیط الگوریتمی تشخیص هوش مصنوعی ساده وموثر استفاده نمود که در آن مدیر یا سرپرست می‌تواند مدل فوریه- مارکوف - گری را برای

پیش‌بینی‌های طولانی‌مدت نیز به‌کار برد. در نهایت، مدل فوریه- مارکوف، گری برای داده‌های زمانی کوتاه مدت مناسب تر است، به‌خصوص در صنایع نوظهور وسازمان‌هایی که با داده‌های ناشی از تغییرات ناپایدار مواجه هستند. از کاربردهای دیگر مدل یاد شده افزایش دقت پیش‌بینی در تکنیک‌های برنامه‌ریزی احتیاج‌های مواد، برنامه‌ریزی منابع ساخت و برنامه‌ریزی منابع مؤسسه خواهد بود.

منابع

۱. جهانگیری علی. کاربرد فناوری اطلاعات در مدیریت، انتشارات مؤسسه‌ی آموزش عالی و پژوهش مدیریت و برنامه‌ریزی. ۱۳۸۶.

۲. شوالب کتی. مدیریت پروژه فناوری اطلاعات. مؤسسه‌ی فرهنگی هنری دیباگران تهران؛ ۱۳۸۷.

۳. فتحیان محمد. مبانی و مدیریت فناوری اطلاعات. انتشارات دانشگاه علم و صنعت ایران؛ ۱۳۸۵.

۴. مرکز آماری ایران، سالنامه‌ی آماری کشور آمارهای گردشگری؛ ۱۳۷۸- ۱۳۸۷.

5. Alvaro V. A Sales Forecasting System Based on Fuzzy Neural Model for Time Series Forecasting, IEEE Transaction on Neural Net Work 2000; 11: 1402-1412.

6. Armstrong,js Collopy f. Error Measures for Generalizing about Forecasting Methods: Empirical Comparation, International Journal of Forecasting 2007; 8: 69-84.

7. Bates J. M., Granger C. W. J. The combination of Forecasts. Operational Research Quarterly 2008; 20: 451–468.

8. Brigham E. O. The fast Fourier Transform and its Applications. New Jersey: Prentice-Hall, Inc; 1998

9. Collopy F, Armstrong js. Rull Based Forecasting: Development and Validation of an Expert System Approach to Combining Time Series Enterapolation, Management Science 1992; 10: 1394-1414.

10. Chang Y. C., Chen C. C. Knowledge-based Simulation of Bunkering Services in the Port of Kaohsiung. Civil Engineering and Environmental Systems 2008; 23(1): 21–34.

11. Chaves P., Tsukatani T., Kojiri T. Operation of Storage Reservoir for Water Quality by Using Optimization and Arti.cial Intelligence Techniques. Mathematics and Computers in Simulation 2009; 67: 419–432.

12. Deng J. L. Control Problems of Grey System. Systems and Control Letters 1982; 5: 288–294.

13. Flovers B. E., Pears S. L. L. Competition in Forecasting, International Journal of Forecasting 2007; 16: 485-496.

14. Hilas C. S., Goudos S. K., Sahalos J. N. Seasonal Decomposition and Forecasting of Telecommunication Data: A Comparative Case Study. Technological Forecasting and Social Change 2006; 73: 495–509.