

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 و کوتاه‌مدت ایجاد نموده است. فرآیند بررسی شامل معرفی سری فوریه، زنجیره‌ی مارکوف و مقایسه‌ی مدل پیش‌بینی (گری) با مدل پیش‌بینی ترکیبی گری- فوریه- مارکوف که در هم آمیخته شده‌اند ادامه یافته، تا منجر به 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 با دقت 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 دو کشور از دقت بالایی برخوردار است.

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

## 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 به‌طور دقیق 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 و برای افزایش قابلیت اطمینان پیش‌بینی‌های مدیریتی تاکنون مدل‌های فراوانی پیشنهاد شده و نیز به‌کار گرفته می‌شوند. پژوهش حاضر نیز یک سامانه‌ی خبره‌ی ساده و اثربخش را برای پیش‌بینی داده‌های نوسانی تصادفی و کوتاه مدت ارائه نموده است. فرآیند بررسی شامل معرفی سری فوریه، زنجیره مارکوف و مقایسه‌ی مدل پیش‌بینی گری<sup>۱</sup> با مدل پیش‌بینی ترکیبی گری- فوریه- مارکوف که در هم آمیخته شده‌اند ادامه یافته، تا منجر به 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. 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 دو جامعه‌ی 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، ویلتناپ، کلاپی و آرمسترانگ، شیخ عبدال 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 ماکرادیکس 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، ویتترز، 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 به کار 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 بر زمان 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 و سانگ 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 به دنبال این هدف است تا مشخص کند آیا مدل ترکیبی ایجاد شده دقت پیش‌بینی داده‌های تصادفی نوسانی را بالا خواهد برد. نظریه‌ی پیش‌بینی گری بر مدل سامانه‌ای تحت شرایط عدم اطمینان و یک پارچگی 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 و صحت پیش‌بینی به کار بردند. هنگامی که 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 به وسیله‌ی آن، هر تابع متناوبی به صورت 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 به صورت سری هم‌مانگی به صورت زیر:

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

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:

$$\int_{-\pi}^{\pi} \sin(mx) \sin(nx) dx \quad (2)$$

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

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

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

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

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

$$f(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} [a_n \cos(\omega_n t) + b_n \sin(\omega_n t)] \quad (3)$$

در این جا داریم:

$$a_n = \frac{2}{T} \int_{t_1}^{t_1+T} f(t) \cos(\omega_n t) dt$$

$$c_n = \frac{1}{T} \int_{t_1}^{t_2} f(t) e^{-i\omega_n t} dt \quad \omega_n = n \frac{2\pi}{T}$$

### 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 به صورت زیر می‌توان نمایش داد:

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

فضای نمونه‌ای متغیرهای تصادفی زنجیره‌ی مارکوف می‌تواند پیوسته یا گسسته، محدود یا نامحدود باشد. برای ادامه‌ی موضوع حالت گسسته و محدود در نظر گرفته می‌شود هر چند مطالب گفته شده 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:

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

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 به دست آوردن مؤلفه‌های بردار احتمال به وسیله‌ی این تابع عبارت است از:

$$P(X^{i+1} = x) \sum_x P(X^i = \tilde{x}) T_i(\tilde{x}, x) \quad (4)$$

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

$$T_i(\tilde{x}, x) = T_j(\tilde{x}, x) = T(\tilde{x}, x) \quad (5)$$

می‌توان روابط گفته شده را به صورت رابطه‌ی ماتریسی زیر خلاصه نمود:

$$T_{n \times n} = \begin{bmatrix} T(x_1, x_1) \dots T(x_1, x_n) \\ T(x_n, x_1) \dots T(x_n, x_n) \end{bmatrix} \quad P_{i+1} = P_i \cdot T_{n \times n} \quad (6)$$

**ج) مدل پیش‌بینی گری**

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

**مرحله ۱:** عملکرد تولید را جمع کنید (AGO)

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

$$[\sum_{t=1}^1 x^{(0)}(1), \sum_{t=1}^2 x^{(0)}(2), \dots, \sum_{t=1}^n x^{(0)}(k)] \quad x(1)=[x(1)(1), x(1)(2), \dots, x(1)(n)] = (7)$$

**مرحله ۲:** معادله دیفرانسیل گری را تشکیل دهید.

معادله‌ی دیفرانسیل درجه‌ی اول مدل گری

$$\frac{dx^{(1)}(t)}{dt} + ax^{(1)}(t) = b \quad (8)$$

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 به صورت مقابل در می‌آیند:

$$\begin{bmatrix} a \\ b \end{bmatrix} = (B^T B)^{-1} B^T Y_N \quad (9)$$

به علاوه ماتریس تجمعی  $B$  به صورت مقابل است:

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

**مرحله ۳:** پیش‌بینی  $of x^{(0)}(k+1)$  را به دست آورید  $Y_N = [X^0(2), X^0(3), \dots, X^0(n)]^T$

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

$$x^1(k+1) = (x^{(0)}(1) - \frac{b}{a} e^{-an}) + \frac{b}{a} \quad (10)$$

هنگامی که  $\hat{x}^{(1)}(1) = \hat{x}^{(0)}(1)$  دنباله‌ی درجه اول عملکرد تولید تجمعی معکوس از تبدیل به صورت زیر به دست می‌آید:

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

در این مدل مدیران برای برنامه‌ریزی و تعیین راهبرد در محیط‌های نامطمئن باید روندها را به‌درستی پیش‌بینی کنند. مدیرانی که اطلاعات کامل و دقیق دارند، می‌توانند وضعیت را کنترل نموده و به‌طور سریع درست تصمیم‌گیری نمایند [۱]. نگاره‌ی شماره‌ی (۱) طرز کار این سامانه‌ی خبره را نشان می‌دهد و دو الگوریتم مدل پیش‌بینی گری و مدل پیش‌بینی 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 به کار 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 از مدل 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 بهره‌برداری 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 به کار گرفته خواهد شد و در غیر این صورت فوریه-مارکوف-گری برای پیش‌بینی انتخاب می‌شود. در این شرایط سری  $\sigma^{(0)}(k)$  برابر است با:



$$\sigma^{(0)}(k) = \frac{x^{(0)}(k-1)}{x^{(0)}(k)}, \quad 2 \geq k \quad (12)$$

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

مرحله‌ی ۱. سری فوریه را محاسبه کنید.

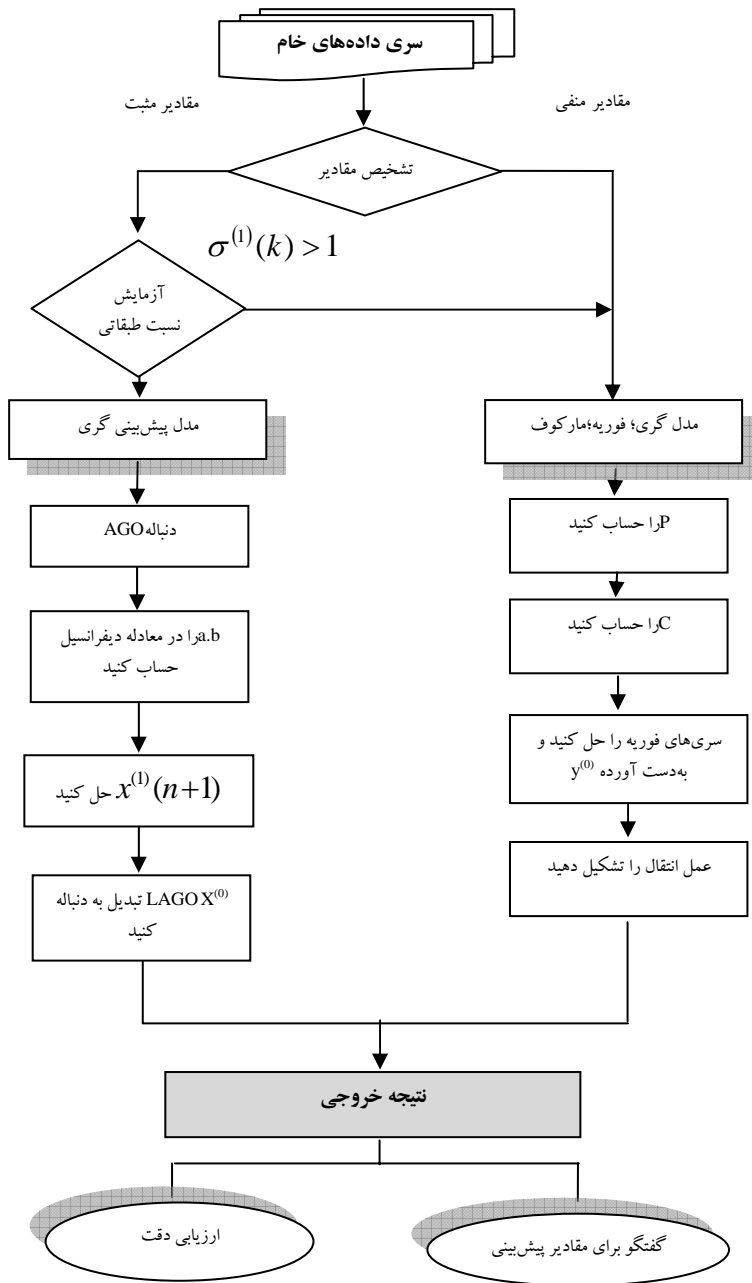
سری‌های پیوسته می‌توانند با استفاده از سری فوریه به صورت زیر به دست آیند:

$$y_0(k) = \frac{1}{2} \alpha_0 + \sum_{i=1}^{k_a} (a_i \cos(\frac{i2\pi}{T_a} k) + b_i \sin(\frac{i2\pi}{T_a} k)), \quad k > 0$$

*for*  $k = 2, 3, \dots, n.$

در معادله‌ی (۳)،  $T_a$  بیانگر دوره سری‌ها است و  $T_a = n - 1$ . و سری‌های پیوسته می‌توانند با استفاده از سری فوریه به صورت زیر در آیند:

$$y_0(k) = \frac{1}{2} a_0 + \sum_{i=1}^{ka} (a_i \cos(\frac{i2\pi}{T_a} k) + b_i \sin(\frac{i2\pi}{T_a} k)), \quad (14)$$



نمودار ۱. الگوریتم ارزیابی دقت پیش‌بینی در مدل گری و ...

معادله‌ی (۱۵) به طریق زیر به دست می‌آید:

$$p.c = y_0 \quad (15)$$

$$c = (p' p)^{-1} p' y_0 \quad (16)$$

$$c = [a_0, a_1, b_1, a_2, b_2, \dots, a_{k_a}, b_{k_a}]^T \quad (17)$$

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

در معادله  $k_a = \frac{(n-1)}{2} - 1$  و بیانگر حداقل تکرار به کارگیری 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  $y^{(0)}$  می‌توانند تعریف شوند، و هر کدام 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 به دست می‌آید:

$$p_{ij} = \frac{M_{ij}(m)}{M_i}, i, j = 1, 2, \dots, s, \quad (18)$$

که  $M_{ij}(m)$  تعداد انتقال حالت‌ها از حالت i به حالت j بعد از m مرحله است و  $M_i$  رقم کلی i حالت است. این مقادیر  $p_{ij}$  می‌توانند ماتریس احتمال انتقال  $R(m)$  باشند. گسترش آتی سامانه با مطالعه‌ی ماتریس احتمال انتقال حالت  $R(m)$  می‌تواند پیش‌بینی شود.

$$R(m) = \begin{bmatrix} p_{11}(m)p_{12}(m)\dots p_{1j}(m) \\ p_{21}(m)p_{22}(m)\dots p_{2j}(m) \\ \dots \\ p_{s1}(m)p_{s2}(m)\dots p_{sj}(m) \end{bmatrix}, i, j = 1, 2, \dots, S \quad (19)$$

وقتی که آثار را تا مرحله  $r$  ام بررسی می‌کنیم، ماتریس‌های انتقال حالت  $r$ ، به دست می‌آید. آن احتمال انتقال‌هایی که بیانگر گرایش به انتقال حالت هستند برای پیش‌بینی حالت محتمل در مرحله بعد می‌توانند مورد استفاده قرار بگیرند. ابتدا، مرکز هر حالت با  $v_i (i=1, 2, \dots, s)$  تعریف می‌شود و امکان هر حالت انتقال با  $w_i (i=1, 2, \dots, s)$  مقدار مرحله بعد با  $\hat{y}^{(0)}(n+1) = \sum_{i=1}^s \lambda_i v_i$  پیش‌بینی می‌شود و  $\lambda_i$  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

در این 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 بین‌المللی در تایوان

نگاره ۱. پیش‌بینی تقاضای توریسم بین‌المللی 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 و دقت پیش‌بینی با روش ترکیبی گری، فوریه، مارکوف را برای گردشگران آسیایی نشان می‌دهد.

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

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

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 الگوی ترکیبی فوریه-مارکوف-گری می‌تواند با دقت بالایی نوسان نامنظم را پیش‌بینی کند. در این محاسبات پنج بازه حالت پیوسته برای منحنی  $(k + 1) x^{(0)}$  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: (مرکز آمار ایران، سالنامه‌ی آماری کشور، ۱۳۸۷-۱۳۷۸)

همان‌طور که مشاهده می‌شود طبق محاسبه-های صورت گرفته در نگاره‌ی ۳ با استفاده از مدل گری-مارکوف دقت پیش‌بینی مدل تقاضای گردشگری ۹۷/۸۷٪ 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	--	--	--

همان‌طور که 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. همان‌طور که 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. نتیجه گیری

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 مدل‌سازی 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. همان‌طور که نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد، مدل پیشنهادی، دقت پیش‌بینی فوق‌العاده‌ای 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. همان‌طور که 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 حله 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. از این مدل پیشنهادی می‌توان برای ایجاد یک محیط الگوریتمی تشخیص هوش مصنوعی ساده و موثر استفاده نمود که در آن مدیر یا سرپرست می‌تواند مدل فوریه-مارکوف-گری را برای



پیش‌بینی‌های طولانی‌مدت نیز به کار برد. در نهایت، مدل فوریه-مارکوف، گری برای داده‌های زمانی کوتاه مدت مناسب تر است، به‌خصوص در صنایع نوظهور و سازمان‌هایی 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 Comparison, 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 Enterpolation, 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 Artificial 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.