
بررسی جایگاه تیم ملی فوتبال ایران در رده‌بندی فدراسیون جهانی: مدل پیش‌بینی ANN و ARIMA

سردار محمدی^{۱*}، مهوش نوربخش^۲، امیر سرشین^۳

ص ص: ۶۶-۴۳

تاریخ دریافت: ۹۲/۷/۱۲

تاریخ تصویب: ۹۳/۱/۲۵

چکیده

پیش‌بینی عملکرد ورزشکاران در ورزش همچون پیش‌بینی دیگر مسائل سیاسی و اقتصادی امر بسیار پیچیده و مشکلی است اما امروزه مدل‌هایی وجود دارد که با استفاده از آنها می‌توان تا حدودی نتایج و رده‌بندی‌های آتی را پیش‌بینی نمود. هدف از پژوهش حاضر ارائه یک مدل پیش‌بینی بر مبنای ANN^۴ و ARIMA^۵ است تا بتوان براساس آن جایگاه تیم ملی فوتبال ایران در رده‌بندی فدراسیون جهانی را پیش‌بینی نمود. روش تحقیق حاضر از نوع توصیفی-تحلیلی بوده که در بخش توصیفی، سوابق تیم ملی فوتبال ایران در سال ۲۰۰۶-۱۹۹۶ (شامل: جایگاه ایران در رده‌بندی فدراسیون جهانی در پایان هرماه میلادی، امتیاز تیم ایران در پایان هر ماه، نتیجه بازی‌ها، تعداد گل‌های رد و بدل شده، محل برگزاری مسابقه، نوع بازی، جایگاه تیم حریف ایران در رده‌بندی ماه قبل فدراسیون جهانی و قدرت منطقه‌ای تیم حریف ایران) از سایت رسمی فدراسیون جهانی به دست آمد و در بخش تحلیلی، اطلاعات توسط سیستم ANN مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت و یک مدل پیش‌بینی برای آن نیز ارائه شد. یافته‌های پژوهش نیز به دو شیوه ارائه شده است؛ شیوه اول یک مدل مفهومی است. در این مدل می‌توان با ارائه متغیرهای مستقل ذکر شده، جایگاه تیم ملی ایران در ماه‌های بعدی را پیش‌بینی نمود. این روش نسبتاً دقیق بوده و به رده‌بندی ارائه شده از سوی فدراسیون جهانی در ماه بعدی نزدیک خواهد بود. در حالت دوم زمانی

۱ - استادیار گروه تربیت‌بدنی و علوم ورزشی دانشگاه کردستان.

۲ - استاد دانشکده تربیت بدنی و علوم ورزشی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرج، کرج، ایران.

۳ - عضو هیات علمی دانشکده تربیت و علوم ورزشی دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرج

* نویسنده مسئول: sardarmohammadi@gmail.com

4 - Artificial Neural Networks

5 - Autoregressive-Integrated Moving Average

است که متغیرهای مستقل ذکر شده، مشخص نباشند، در اینجا می‌توانیم متغیر مستقل را زمان در نظر گرفته و مدل پیش بینی مورد نظر را طراحی نمود. به طور کلی، می‌توان گفت انجام بازی‌های زیاد در هر ماه بویژه با تیم‌های ملی فوتبال کشورهایی که دارای جایگاه خوبی در رده‌بندی فدراسیون جهانی هستند، می‌تواند در بهبود جایگاه تیم ملی فوتبال ایران در رده‌بندی فدراسیون جهانی مؤثر باشد. این امر می‌تواند با جلب حمایت اسپانسرهای مالی نیز تحقق یابد.

واژه‌های کلیدی: مدل‌سازی - پیش‌بینی - ANN - رده‌بندی فدراسیون جهانی - ARIMA

مقدمه

بدیهی است در مسیر پیشرفت کلیه شاخه‌های علوم از جمله علم تربیت-بدنی پیش بینی نتایج و بررسی عملکردها در کسب موفقیت‌های آتی نقشی بسیار مهم داشته و به طور روزافزونی استفاده از سایر علوم محاسباتی در این گونه پیش بینی‌ها در حال گسترش می‌باشد. با گذشت بیش از نیم قرن فعالیت فوتبال در کشور ما، امروزه این ورزش طرفداران بسیاری در نقاط مختلف ایران پیدا کرده است و تیم ملی فوتبال ایران توانسته است بارها قهرمان بازی‌های آسیایی، جام ملت‌های آسیا و قهرمان باشگاه‌های آسیا شده و دو بار به بازی‌های المپیک و سه بار نیز به مسابقات جام جهانی راه پیدا کند. دهه گذشته دهه معرفی فوتبال ایران به دنیا بوده است، به طوری که در این دهه، تیم ملی فوتبال ایران در رده بندی فوتبال دنیا (فدراسیون جهانی) حدود یک صد پله صعود کرده است و بازیکنان برجسته‌ای را به بزرگترین تیم‌های باشگاهی اروپا معرفی کرده است.

در پایان هر ماه میلادی فدراسیون بین‌المللی فوتبال، براساس عملکرد تیم‌های ملی فوتبال عضو این فدراسیون، اقدام به رده‌بندی تیم‌های عضو این فدراسیون می‌کند (۱). جایگاه تیم‌های ملی فوتبال اغلب کشورها همواره دچار نوسانات زیادی می‌گردد، که از عملکرد آنها در طی آن ماه ناشی می‌شود. بر طبق آمارهای موجود از رده‌بندی ۱۲۰ ماه گذشته فدراسیون جهانی، کشورهای آمریکای جنوبی و اروپا همواره در صدر این رده‌بندی بوده‌اند و ایران نیز همواره در حال پیشرفت به سوی جایگاه‌های برتر در این رده‌بندی بوده است به طوری که در نیمه دوم سال ۲۰۰۵ تیم ملی فوتبال ایران به جمع ۱۵ تیم برتر جهان راه یافت و این در حالی است که ده سال پیش در چنین زمانی تیم ملی فوتبال ایران جایگاهی بهتر از صد و هیجدهم جهان را در اختیار نداشته است البته این پیش بینی امیدوارکننده تنها براساس سیر صعودی جایگاه تیم ملی فوتبال

ایران در رده بندی فدراسیون جهانی طی ۱۲۰ ماه گذشته بوده و می‌تواند تحت تأثیر عوامل گوناگونی از جمله مدیریت فعلی و آینده ورزش ایران، میزان سرمایه‌گذاری‌ها در این ورزش و عوامل مخل بسیاری قرار گیرد.

در علوم ورزشی و در سال‌های اخیر استفاده از ریاضیات و شاخه‌های وابسته به کمک مدیران، مربیان و صاحب‌نظران آمده است تا با بررسی عملکرد گذشته ورزشکاران برنامه‌ریزی‌های دقیق‌تری برای آینده داشته باشند. با استفاده از این روش‌های علمی نوین می‌توان با شناخت عوامل اثرگذار بر نتایج بدست آمده، نتایج رویدادها و رده‌بندی تیم‌های ورزشی را نیز پیش‌بینی نمود (۲).

این پیش‌بینی‌ها تحت تأثیر عوامل گوناگونی از جمله شیوه‌های مدیریت فعلی و آینده ورزش ایران، میزان سرمایه‌گذاری‌ها در این ورزش، تجهیزات ورزشی بهتر، تغذیه و تمرین بهتر و به‌ویژه اثر موادنیروزا در آینده ورزش، میزان آمادگی مقطعی هر ورزشکار، مربیان، تسهیلات تیم‌ها و شانس و عوامل مخل بسیاری قرار گیرد. در طی سال‌های گذشته محققین علوم ورزشی با تکیه بر اطلاعات موجود و پیشرفت نرم‌افزارهای کامپیوتری، به بررسی و پیش‌بینی برخی وقایع آینده پرداخته‌اند و در برخی موارد به نتایج قابل توجهی دست یافته‌اند (۳).

پیش‌بینی در فوتبال همچون پیش‌بینی مسائل سیاسی و اقتصادی امر بسیار پیچیده و مشکلی است اما امروزه منابع و مدل‌هایی وجود دارد که با استفاده از آنها و در نظر گرفتن توانائی‌های تیم‌ها و مدیریت آنها تا حدودی نتایج و رده‌بندی‌های آتی آنها را پیش‌بینی نمود. در این مدل‌ها دو فرآیند مختلف مورد بررسی قرار می‌گیرد: الف) توزیع اطلاعات و شرایط تیم‌ها در گذشته و حال، ب) بررسی رشد عوامل مدیریتی و برنامه‌ریزی که می‌توان بر اساس آنها مدل‌هایی برای نتایج آینده به دست آورد (۴).

مدل پیش‌بینی ANN

در طی دهه اخیر شاهد حضور موفق شبکه‌های عصبی مصنوعی^۱ بوده‌ایم. ایده آموزش برای حل مسائل شناسایی الگوهای پیچیده با استفاده از دیدگاه عامل‌های داده هوشمند برای محققان دانشگاهی بسیار چالش برانگیز شده است. ANN ابزار محاسباتی ساده‌ای برای آزمون داده‌ها و ایجاد مدل از ساختار داده‌ها است. داده‌هایی که برای ایجاد مدل‌ها استفاده می‌شوند، به داده‌های آموزشی مشهور هستند. هر گاه شبکه عصبی از داده‌های آموزشی برای یادگیری الگوهای موجود در داده‌ها استفاده کند، می‌تواند آنها را برای دستیابی به خروجی‌ها و نتایج مختلف بکار بگیرد.

انواع مختلفی از مدل‌های ANN با توجه به اهداف تحقیق می‌توانند مورد استفاده قرار گیرند که یکی از معروف‌ترین آنها، شبکه عصبی چند لایه پیش‌خور^۲ (MFNN) می‌باشد. شبکه عصبی چند لایه پیش‌خور، مثالی از شبکه عصبی آموزش داده شده با استفاده از ناظر است. بر طبق مطالعات اخیر(۵)، بیش از پنجاه درصد مطالعات کاربردی بازرگانی شبکه عصبی گزارش شده، از شبکه‌های عصبی چند لایه پیش‌خور (MFNNها) با قوانین الگوریتم یادگیری پس انتشار استفاده کرده‌اند. این نوع شبکه عصبی بدلیل کاربردهای گسترده در بسیاری از ابعاد مسائل مربوط به مدیریت، مانند پیش‌بینی اصولی، طبقه‌بندی و مدل‌سازی، بسیار محبوب است. MFNN برای حل مسائلی که شامل یادگیری ارتباط بین یک مجموعه ورودی‌ها و خروجی‌های مشخص هستند، مناسب می‌باشد. که در حقیقت یک تکنیک آموزش با ناظر برای یادگیری ارتباط‌های بین داده‌ها با استفاده از مجموعه داده‌های آموزش است(۶،۷،۸).

به طور کلی، ANN برای مقصودی که ما از آن استفاده می‌کنیم، توانایی بالایی در توسعه یک مدل در زمانی منطقی را ندارد. از سوی دیگر، مدل-سازی فازی برای

1 - Artificial Neural Networks

2 - Multilayered Feedforward Neural Network

کاربرد ادغام تصمیمات از متغیرهای متفاوت، نیازمند یک رویکردی جهت یادگیری از تجربیات (داده‌های جمع‌آوری شده) است. ANN و مدل فازی در بسیاری از زمینه‌های کاربردی استفاده شده‌اند و هر کدام آنها دارای محاسن و معایبی هستند. بنابراین، ترکیب موفقیت آمیز این دو دیدگاه، مدلسازی ANN و فازی، موضوع مطالعات آتی قرار گرفته است.

در میان روش‌های مدل سازی نوین، سیستم‌های فازی جایگاه ویژه‌ای را کسب نموده‌اند. این امر را می‌توان معلول توانایی پیاده‌سازی دانش بشری با استفاده از مفهوم برجسب‌های زبانی و قواعد فازی، غیر خطی بودن و قابلیت تطبیق پذیری این نوع سیستم‌ها دانست. به طور خلاصه مدل ANN یک سیستم مبتنی بر قواعد منطقی اگر- آنگاه است. نقطه شروع ساخت یک مدل ANN به دست آوردن مجموعه‌ای از قواعد اگر - آنگاه فازی از دانش فرد خبره یا دانش حوزه مورد نظر است. به دست آوردن این قواعد مهمترین و سخت ترین مرحله کار است. چراکه نیازمند دانش بالای فرد متخصص و پیاده‌سازی صحیح آن است. داشتن روشی که در کنار دانش بشری بتوان از اطلاعات عددی موجود برای ساخت قواعد استفاده کرد نیز می‌تواند در این مرحله بسیار مفید باشد.

به این صورت موفق به پیاده‌سازی یک سیستم فازی به گونه‌ای شده‌ایم که قابلیت یادگیری داشته باشد. بنابراین قادر خواهیم بود که خطای مقادیر خروجی را با استفاده از روش کمترین مجموع مربعات خطا به دست آوریم. با ترکیب این روش و روش پس انتشار خطا به یک روش آموزش ترکیبی دست پیدا نموده‌ایم که به این صورت عمل می‌کند؛ در هر دور آموزش، هنگام حرکت رو به جلو خروجی‌های گره‌ها به صورت عادی تا لایه آخر محاسبه می‌شوند و سپس پارامترهای نتیجه توسط روش کمترین مجموع مربعات خطا محاسبه می‌شوند. در ادامه پس از محاسبه خطا در بازگشت رو

به عقب نسبت خطا بر روی پارامترهای شرط پخش شده و با استفاده از روش شیب نزولی خطا مقدار آنها تصحیح می‌شود.

در طی سال‌های گذشته محققین علوم ورزشی با تکیه بر اطلاعات موجود و پیشرفت نرم‌افزارهای کامپیوتری، به پیش‌بینی برخی وقایع آینده پرداخته‌اند و در برخی موارد به نتایج قابل توجهی دست یافته‌اند. درونکو و همکارانش در سال ۲۰۰۰ با استفاده از نرم‌افزارهای کامپیوتری، عملکرد ورزشکاران نخبه پنج ماده دوومیدانی در ۱۰ سال آینده را پیش‌بینی نموده‌اند و میزان بهبود رکوردها تا سال ۲۰۱۰ میلادی را بین ۰/۲ درصد تا ۱۰/۳ درصد پیش‌بینی کرده‌اند. آنها همچنین خاطر نشان کرده‌اند که ارزش‌های به دست آمده حاصل از این پیش‌بینی کامپیوتری می‌تواند تحت تأثیر عواملی همچون تجهیزات ورزشی بهتر، تغذیه و تمرین بهتر و بویژه اثر مواد نیروزا در آینده ورزش قرار گیرد (۹). در این ارتباط لوکاس و لوالگیا (۲۰۰۵) نیز تأثیر شیوه‌های مدیریتی، مربیان، تسهیلات تیم‌ها و شانس را در پیش‌بینی رده-بندی تیم‌ها مؤثر دانستند (۱۰).

برایان و همکاران (۲۰۰۱) در پیش‌بینی نتایج لیگ ملی بسکتبال (براساس نتایج منتشر شده توسط نیویورک تایمز)، به پیش‌بینی تقریباً درستی (۰/۶۵) دست یافتند (۱۱). بولیر و استکلر (۲۰۰۳) با انجام تحقیقی تحت عنوان پیش‌بینی نتایج بازی‌های لیگ ملی فوتبال آمریکا، عملکرد پیشگویانه مدل‌های آماری و میزان قضاوت را در پیش‌بینی بازی‌های فوتبال حرفه‌ای آمریکا از سال ۱۹۹۴ تا ۲۰۰۰ مورد بررسی قرار دادند. یافته‌های آنها نشان داد که میزان موفقیت مدل آماری (۶۲٪) (براساس نمرات چاپ شده در مجله نیویورک تایمز) فراتر از ویراستارهای ورزشی روزنامه‌ها (۶۰٪) بوده است. به طور کلی، در پیش‌بینی نتایج لیگ ملی فوتبال آنها به پیش‌بینی ۷۵٪ دست یافتند (۱۲).

براون (۲۰۰۵) نیز با استفاده از ANN و با توجه به برنامه‌های تیم‌ها و بازی‌های گذشته آنها در NCAA آمریکا، رده‌بندی تیم‌ها در هفت هفته آینده را پیش‌بینی نمود. پس از انجام بازی‌ها در هفت هفته مشخص شد که نتایج پیش‌بینی با استفاده از ANN ۹۰ درصد صحیح بوده است (۱۳). نکته جالب این که افرادی که با یک رشته ورزشی آشنایی کافی داشته باشند، به پیش‌بینی بهتری دست می‌زنند. پاتریک اندرسون و همکارانش (۲۰۰۵) در بررسی پیش‌بینی نتایج جام جهانی ۲۰۰۲ توسط افراد ماهر و غیر ماهر دریافت که افراد آشنا به فوتبال با اعتماد به نفس و دقت بیشتری نتایج را پیش‌بینی کردند (۱۴).

آنچه که در ورزش انکار ناپذیر بوده و می‌تواند پیش‌بینی‌های آینده را تا حدودی با مشکل مواجه سازد، وجود عامل شانس می‌باشد. گمبرایس و همکاران در بررسی عامل شانس بر روی رکوردهای ورزشی دریافته‌اند که از ۲۲ مورد پیش‌بینی بعمل آمده به شیوه پیشرفت سیستماتیک، تنها ۴ مورد درست بوده است و بقیه موارد پیش‌بینی شده با عملکردهای واقعی فاصله داشته‌اند (۱۴). با این حال، کاربرد اخیر فنون مدل سازی برای تمرینات ورزشی امکان پیش‌بینی آینده را بوجود آورده است (۱۵). در سال ۲۰۰۱ کاندل و همکاران به پیش‌بینی عفونت‌های باکتریایی بر اساس اطلاعات جامعه‌شناسی پرداخته‌اند و ارتباط ۸۴ درصد را بین این دو عامل پیدا کرده‌اند (۱۶). چی یو سونگ و همکارانش (۲۰۰۷) تحقیقی تحت عنوان مقایسه دقت پیش‌گویی توسط مدل و داوری در بازی‌های فوتبال آمریکا (NFL) انجام گرفت. آنها نتایج بازی NFL را توسط ۳۱ مدل آماری و به کمک ۷۰ متخصص که برندگان ۴۹۶ بازی NFL را در سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۱ پیش‌گویی می‌کردند، را پیش‌بینی کردند. نتایج نشان داد که تفاوت در دقت پیش‌بینی سیستم‌های آماری و متخصصین برای پیش‌گویی برندگان بازی‌ها معنی دار نبود. تغییرات در میزان موفقیت پیش‌بینی در متخصصین نسبت

به سیستم‌های آماری بالاتر بود. با این حال، داشتن اطلاعات خیلی زیاد دقت پیش بینی را بهبود نمی‌بخشد. نه تنها متخصصین بلکه سیستم‌های آماری هم نتوانستند به طور مفیدی عمل پیشگویی را درست انجام دهند (۱۷). تحقیقات دیگری نیز در زمینه پیش‌بینی جهت افزایش قابلیت اعتماد مدل پیش‌بینی نیز در حال شکل‌گیری است (۱۸، ۱۹، ۲۰، ۲۱). در ایران کارهای نسبتاً محدودی برای استفاده از علوم ریاضیات برای پیش‌بینی‌های ورزشی صورت گرفته است که از آن جمله می‌توان به مدل سازی پیش‌بینی جایگاه تیم ملی فوتبال ایران در رده بندی فیفا توسط گرژی و همکاران و پیش‌بینی عملکرد ورزشکاران رشته ژیمناستیک در مسابقات کشوری و برون مرزی با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی توسط محمدی و همکاران اشاره نمود (۱۷ و ۲۲). تحقیق حاضر قصد دارد تا با استفاده از شبکه‌های عصبی فازی و بر اساس نتایج بازی‌های تیم ملی فوتبال ایران و رده‌بندی این تیم در ۱۲۰ ماه گذشته به مدل سازی پیش‌بینی جایگاه تیم ملی فوتبال ایران در سال‌های آینده بپردازد.

روش‌شناسی تحقیق

روش تحقیق پژوهش حاضر به صورت توصیفی - تحلیلی بوده که در بخش توصیفی، سوابق تیم ملی فوتبال ایران در ۱۲۰ ماه گذشته (۲۰۰۶-۱۹۹۶) شامل: جایگاه ایران در رده‌بندی فدراسیون جهانی در پایان هر ماه میلادی، امتیاز تیم ایران در پایان هر ماه میلادی، نتیجه بازی‌ها، تعداد گل‌های رد و بدل شده، محل برگزاری مسابقه، نوع بازی، جایگاه تیم حریف ایران در رده‌بندی ماه قبل فدراسیون جهانی و قدرت منطقه‌ای تیم حریف ایران از سایت رسمی فدراسیون جهانی به دست آمد و در بخش تحلیلی، اطلاعات توسط سیستم ANN مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت و یک مدل پیش‌بینی برای آن نیز ارائه شد.

بررسی تجربی پیش‌بینی جایگاه تیم ملی فوتبال ایران در رده بندی فدراسیون جهانی

برای مدلسازی پیش‌بینی جایگاه تیم ملی فوتبال ایران در رده‌بندی فدراسیون جهانی در این تحقیق از دو روش ANN و ARIMA استفاده شده است. داده‌های ماهانه رده‌بندی ایران در فدراسیون جهانی در بازه زمانی ده ساله ژانویه ۱۹۹۶ تا دسامبر ۲۰۰۶ به صورت سری زمانی انتخاب شده است. در طراحی ANN، با توجه به تعداد زیاد داده‌ها، نیمی از داده‌ها به عنوان داده‌های آموزشی، ۲۵٪ به عنوان داده‌های آزمایشی و باقیمانده به عنوان داده‌های اعتبارسنجی انتخاب شده‌اند. متغیرهای مستقل این تحقیق عبارتند از:

الف- امتیاز نوع بازی:

۱- دوستانه: ۱ امتیاز؛ ۲- مقدماتی قهرمانی قاره‌ای: ۱/۵ امتیاز؛ ۳- مقدماتی جام جهانی: ۱/۵ امتیاز؛ ۴- مرحله نهایی جام قاره‌ای: ۱/۷۵ امتیاز؛ ۵- جام کنفدراسیون‌ها: ۱/۷۵ امتیاز؛ ۶- مرحله نهایی جام جهانی: ۲ امتیاز (۲۳).

ب- نتیجه بازی:

۱- برد: ۲ تا ۳ امتیاز؛ ۲- تساوی: ۱ امتیاز؛ ۳- باخت: صفر امتیاز؛ ۴- باخت با ضربات پنالتی: ۱ امتیاز (۲۳).

ج- قدرت منطقه‌ای:

۱- اروپا: ۱/۰۰ امتیاز؛ ۲- آمریکای جنوبی: ۰/۹۹ امتیاز؛ ۳- آفریقا: ۰/۹۶ امتیاز؛ ۴- آمریکای شمالی و مرکزی: ۰/۹۴ امتیاز؛ ۵- آسیا: ۰/۹۳ امتیاز؛ ۶- اقیانوسیه:

۰/۹۳ امتیاز (۲۳).

د- تعداد گل‌ها:

- ۱- گل‌های وقت بازی و وقت اضافی (بدون در نظر گرفتن ضربات پنالتی آخر بازی)؛
- ۲- ارزش گل‌ها بر اساس قدرت تیم‌ها است (قدر نسبی دو تیم رقیب).

ح- میزبان یا میهمان:

- ۱- میزبان بدون امتیاز؛ ۲ - میهمان: ۳/۳۰ امتیاز؛ ۳- در مسابقات جام جهانی هیچ امتیازی به تیم‌های میهمان داده نمی‌شود.

ی- جایگاه تیم حریف در آخرین رده بندی فدراسیون جهانی

ن- گذر زمانی نتایج سال‌های گذشته تیم‌ها نیز در رده‌بندی فدراسیون جهانی مؤثر است.

- ۱- نتایج همان سال - ۸/۸ امتیاز؛ ۲- نتایج سال قبل: ۷/۸ امتیاز؛ ۳- نتایج ۲ سال قبل: ۶/۸ امتیاز؛ ۴- نتایج ۳ سال قبل: ۵/۸ امتیاز؛ ۵- نتایج ۴ سال قبل: ۴/۸ امتیاز؛ ۶- نتایج ۵ سال قبل ۳/۸ امتیاز؛ ۷- نتایج ۶ سال قبل: ۲/۸ امتیاز؛ ۸- نتایج ۷ سال قبل: ۱/۸ امتیاز.

طبیعی سازی داده‌ها

قبل از پردازش داده‌ها بوسیله ANN، داده‌ها باید نرمال سازی شوند تا توان پیش‌بینی بالاتر رود. بنابراین تبدیلی بر روی داده‌های ورودی به شبکه انجام می‌شود

که داده‌ها در فاصله $[L, H]$ قرار گیرند. این کار با استفاده از رابطه زیر انجام می‌شود:

$$X_{scaled} = mX_i + b$$

که در این رابطه:

$$m = \frac{H - L}{X_{max} - X_{min}}, \quad b = \frac{X_{max} \cdot L - X_{min} \cdot H}{X_{max} - X_{min}}$$

در این رابطه، H و L حد بالا و پایین فاصله نرمال سازی هستند و معمولاً برابر ۱ و -۱ در نظر گرفته می‌شوند، نیز به ترتیب مقادیر حداقل و حداکثرها هستند. در این صورت رابطه ذکر شده به شکل ساده تر زیر که اغلب مورد استفاده قرار می‌گیرد، تبدیل می‌شود:

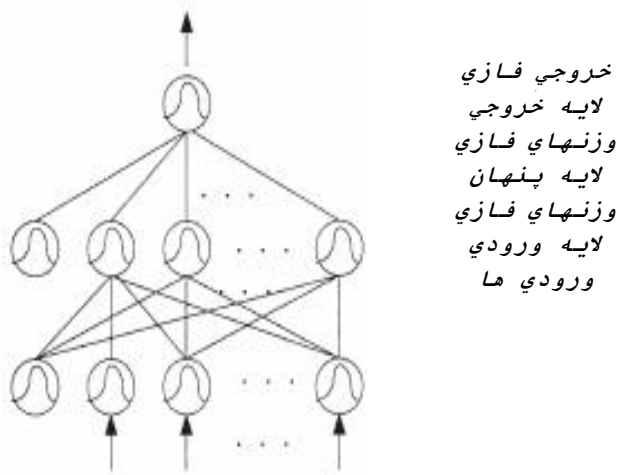
$$X_n = \frac{2(X - X_{min})}{X_{max} - X_{min}} - 1$$

انتخاب فاصله $[L, H]$ بسته به نوع مسئله مورد نظر و تابع تبدیل انتخاب شده، متفاوت است. فاصله هایی که بیشتر از بقیه مورد استفاده قرار می‌گیرند، $[0, 1]$ و $[-1, 1]$ هستند، که برای توابع تبدیل هیپربولیک و لجستیک بکار می‌روند. در این تحقیق داده‌ها در فاصله $[-1, 1]$ نرمال سازی شده‌اند.

طراحی مدل ANN

ساختارهای مختلفی برای پیاده‌سازی یک سیستم فازی توسط ANN پیشنهاد شده‌اند که یکی از پر قدرت‌ترین این ساختارها، ساختار موسوم به شبکه عصبی انطباقی بر مبنای سیستم استدلال فازی^۱ (ANFIS) است که توسط جانگ ابداع گردیده است (۲۴، ۲۵، ۲۶). معماری سیستم استدلال عصبی فازی در شکل ۱ نشان

داده شده است. در طراحی مدل شبکه‌های عصبی فازی، از شبکه عصبی چندلایه پیش‌خور (MFNN) با الگوریتم یادگیری پس انتشار خطا و سیستم استنتاج فازی ساگنو^۱ با تابع ورودی "تفاوت دو تابع سیگموئید" و تابع خروجی خطی و برای غیرفازی نمودن از تابع میانگین متحرک استفاده گردید.



شکل ۱: نحوه طراحی ANN

برای طراحی سیستم بهینه ANN، از طریق تغییر مداوم تعداد لایه‌ها و تعداد نرون‌های لایه پنهان، توپولوژی مناسب شبکه عصبی مورد بررسی قرار گرفت و از طریق تغییر مداوم توابع عضویت مختلف و تعداد توابع عضویت، سیستم مناسب پایگاه استنتاج فازی طراحی شد. تعداد توابع عضویت استفاده شده در این تحقیق، ۱۰۰ تابع می‌باشد. تابع عضویت یک مجموعه فازی یک نگاشت از اعضای مجموعه A در بازه [۰ و ۱] است به گونه‌ای که

$$A: X \rightarrow [0,1]$$

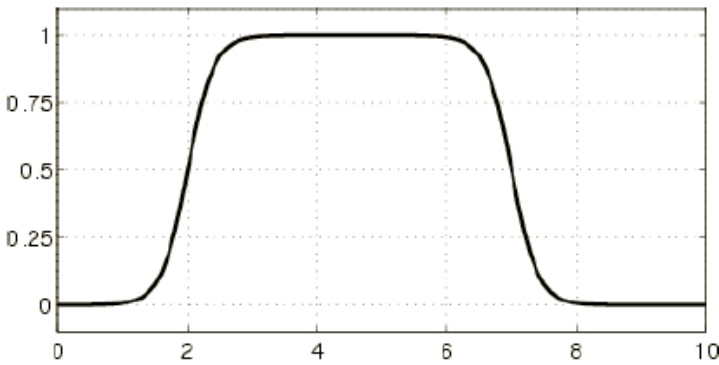
در حالت کلی هر تابعی که چنین نگاشتی را پیاده کند می‌تواند به عنوان تابع

عضویت یک مجموعه فازی مورد استفاده واقع شود. همانطور که اشاره شد، برای تابع ورودی در این تحقیق از تابع تفاوت دو تابع سیگموئید استفاده گردیده است. این تابع در شکل ۲ نشان داده شده است. یک تابع عضویت سیگموئید به صورت زیر تعریف می‌گردد؛

$$f(x; a, c) = \frac{1}{1 + e^{-a(x-c)}}$$

تابع عضویت تفاوت دو تابع سیگموئید به چهار عامل بستگی دارد که عبارتند از:

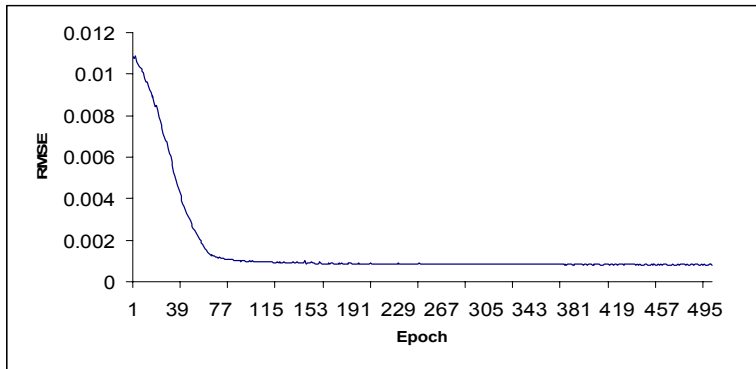
$$f_1(x; a_1, c_1) - f_2(x; a_2, c_2) \quad a_1, a_2, c_1, c_2$$



شکل ۲: تابع عضویت تفاوت دو تابع سیگموئید ($a_1=5, c_1=2, a_2=5, c_2=7$)

تعداد مراحل تکرار الگوریتم آموزش ۵۰۰ تکرار می‌باشد. نمودار میزان بهبود مقدار RMSE در تکرارهای مختلف آموزش شبکه‌های عصبی فازی برای مدل‌سازی پیش‌بینی جایگاه تیم ملی فوتبال در رده بندی فدراسیون جهانی در شکل ۳ نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود، با افزایش تعداد تکرارها، میزان بهبود در مقدار RMSE کاهش یافته و تقریباً در تکرارهای پایانی هیچ گونه بهبودی حاصل نمی‌شود.

گردد. دوباره تأکید می‌شود که مقادیر خطا براساس داده‌های نرمال شده در فاصله $[-1, 1]$ می‌باشد و مقدار خطای واقعی باید پس از تبدیل این داده‌ها به داده‌های واقعی محاسبه گردد. مقادیر شش معیار ارزیابی عملکرد مدل ANN در جدول ۱ نشان داده شده است.



شکل ۳: مقدار RMSE در تکرارهای آموزش ANN جایگاه تیم ملی فوتبال در رده‌بندی فدراسیون جهانی

در مدل‌سازی انجام شده در فوق، باید متغیرهای مستقل برای یک ماه خاص به مدل داده شود و سپس مدل می‌تواند با استناد به ارزیابی عملکرد نشان داده شده در جدول ۱، پیش‌بینی نسبتاً دقیقی از جایگاه ایران در رده‌بندی فدراسیون جهانی ارائه نماید. اما نداشتن متغیرهای مستقل برای پیش‌بینی آن ماه (همانند مدل‌های رگرسیونی) محدودیت بزرگی محسوب می‌شود و دیگر نمی‌توان برای چند ماه آینده پیش‌بینی را انجام داد. از سوی دیگر، این مدل از توانایی بالایی برای پیش‌بینی برخوردار است. در یک مدل دیگر، متغیر مستقل فقط زمان در نظر گرفته شد. بنابراین با این روش می‌توان برای چند ماه آینده پیش‌بینی را انجام داد، ولی توانایی پیش‌بینی آن با توجه به حذف متغیرهای مستقل، کمتر از مدل قبلی است. بر مبنای این روش، جایگاه و رتبه ایران در

رده‌بندی فدراسیون جهانی برای ۲ ماه آینده (دسامبر ۲۰۰۶ و ژانویه ۲۰۰۷) به ترتیب ۱۹ و ۲۰ پیش‌بینی شده است.

طراحی مدل ARIMA

یکی از معتبرترین فنون پیش‌بینی آماری، مدل ARIMA^۱ می‌باشد. این روش عبارتست از برازش یک الگوی میانگین متحرک تلفیق شده با خودرگرسیو^۲ به مجموعه داده‌ها و بدست آوردن الگوی ریاضی شرطی است. یک مدل ARIMA سه جزء دارد: (۱) خودرگرسیو؛ (۲) میانگین یکپارچه و (۳) میانگین متحرک. ساختمان مدل بنیادی ARIMA مشتمل بر چهار مرحله است، این مراحل عبارتند از: (۱) توجیه و شناسایی مدل؛ (۲) تخمین پارامتر؛ (۳) تشخیص و دریافت مدل؛ (۴) تایید، پیش‌بینی و منطقی بودن.

مدل ARIMA (p,d,q) عمومی و کلی می‌باشد. در این مدل p مرتبه خود رگرسیو مدل و q مرتبه میانگین متحرک مدل و d مرتبه تفاضلی مدل (جهت ایستا کردن مدل) می‌باشد. آنچه که این مدل را کاملتر از مدل‌ای دیگر می‌نماید، تبدیل مناسب جهت پایا بودن مدل است.

$$\psi_p = (B)Z_t = \delta + \theta_q(B)a_t$$

که در آن

$$Z_t = (1 - \beta)^d y_t$$

و یا

$$Z_t = \nabla^d y_t$$

که داده‌های سری زمانی داده شده می‌باشد. در ترکیبات مدل ARIMA به ندرت

1 - Autoregressive-Integrated Moving Average

2 - Auto Regressive

مقادیر q و d و p از ۲ بیشتر می‌شود و عملاً همین دامنه کوچک بسیاری از حالت‌های عملی موجود در پیش بینی را می‌پوشاند. در مدل ARIMA طراحی شده در این تحقیق، مرتبه خود رگرسیون (p)، برابر ۱، مرتبه میانگین متحرک مدل (q) برابر ۱ و مرتبه تفاضلی مدل (d) برابر ۱ می‌باشد [ARIMA(1,1,1)]. مقادیر شش معیار ارزیابی عملکرد روش ARIMA برای پیش‌بینی جایگاه تیم ملی فوتبال در رده بندی فدراسیون جهانی نیز در جدول ۱ نشان داده شده است.

ارزیابی عملکرد پیش بینی

برای مسائل پیش بینی، از برخی معیارهای عملکرد برای نشان دادن چگونگی یادگیری ارتباط‌های داده‌ها در ANN استفاده می‌شود. در این تحقیق از ۶ معیار استفاده می‌شود که سه مورد اول از خانواده محاسبات میانگین خطای استاندارد هستند: الف) مربع میانگین خطای استاندارد (MSE)؛ ب) مربع مجذور میانگین خطا (RMSE)؛ و ج) مربع میانگین خطای استاندارد نرمال شده (NMSE). دو مورد بعدی $2R$ و NMSE هستند که $2R$ ضریب تعیین است و در ارتباط با NMSE است و $2R-1=NMSE$ مقدار $2R$ بین صفر تا یک است و مقدار یک نشان دهنده تطابق کامل داده‌هاست، در حالی که مقدار صفر نشان دهنده عملکردی است که می‌توان از استفاده میانگین مقدار خروجی واقعی d به عنوان مبنای پیش بینی‌ها انتظار داشت. دو معیار بعدی در مورد خطای مطلق هستند: میانگین قدر مطلق خطا (MAE) و میانگین قدر مطلق درصد خطا (MAPE). از آنجا که هر یک از معیارهای ارزیابی عملکرد، جنبه خاصی را مورد ارزیابی قرار می‌دهد، برای ارزیابی عملکرد روش‌های ANN و ARIMA از هر شش معیار فوق استفاده شده است. نتایج معیارهای ارزیابی عملکرد برای هر دو روش در جدول ۱ آورده شده است.

جدول ۱: معیارهای ارزیابی عملکرد برای روش‌های مختلف

نام روش	RMSE	MSE	NMSE	MAPE	MAE	R ²
مدل پیش‌بینی ANN	۰/۱۲۳۴	۰/۰۱۵۲	۰/۰۰۰۰۳۲	۰/۰۰۰۰۰۲	۰/۰۵۰۷	۰/۹۹۹۹۷۲
مدل پیش‌بینی ARIMA	۳/۰۳۴۰	۹/۲۰۵۲	۰/۰۲	۲/۰۰۳۵	۰/۰۰۷۸	۰/۹۸

همان‌طور که در جدول ۱ مشاهده می‌شود، پیش‌بینی جایگاه تیم ملی فوتبال در رده‌بندی فدراسیون جهانی به روش ANN از لحاظ تمامی معیارهای ارزیابی عملکرد بر روش ARIMA برتری دارد. میزان بهبود خطای پیش‌بینی توسط معیارهای مختلف، متفاوت بوده است، برای مثال معیار RMSE نسبت به معیار MAE در استفاده از دو روش ANN و ARIMA بهبود بیشتری نشان می‌دهد. این بدان دلیل است که معیارهای مختلف از روش‌های مختلفی برای محاسبه میزان خطا استفاده می‌کنند.

بحث و نتیجه‌گیری

امروزه در موضوعات گوناگون امر پیش‌بینی به عنوان یکی از مهمترین شاخه‌های علمی مطرح شده است و روز به روز در حال توسعه و پیشرفت است. مدیران بخش‌های مختلف به ویژه مدیران سازمان‌های ورزشی، به دلیل وجود انبوه متغیرهای تأثیرگذار، ترجیح می‌دهند مکانیزمی را در اختیار داشته باشند که بتواند آنها را در امر تصمیم‌گیری یاری و مشاوره دهد. به همین دلیل، سعی در روی آوردن به روش‌هایی در پیش‌بینی دارند که بواسطه آنها تخمین‌هایشان به واقعیت نزدیک و خطاهای-شان بسیار کم باشد. توجه به روش‌های نوین پیش‌بینی (شبکه‌های عصبی - فازی، الگوریتم‌های فازی و...) سبب شده است تا چالش‌های دیگری در علم پیش‌بینی ایجاد شود. در مطالعات مختلف انجام شده این روش‌ها جواب‌های متعددی داده‌اند. در بعضی مطالعات که با

استفاده از داده‌های سری زمانی یک یا چند متغیره صورت گرفته است، روش‌های پیش‌بینی AAN جواب بهتری داده و با داده‌ها برازش بهتری پیدا نموده‌اند، اما در بعضی مدل‌های دیگر، روش کلاسیک و یا روش‌های هموارسازی نمائی، جواب‌های بهتری داده‌اند.

تحلیل سری‌های زمانی و پیش‌بینی یک حوزه فعال پژوهش در طی چند دهه اخیر است. صحت پیش‌بینی سری‌های زمانی در بسیاری از فرایندهای تصمیم‌گیری اصولی و حیاتی است و به همین دلیل، پژوهش برای بهبود اثربخشی مدل‌های پیش‌بینی هرگز متوقف نشده است. با تلاش‌های Box و Jenkins، مدل ARIMA یکی از محبوبترین روش‌ها در حوزه پیش‌بینی شده است. در طی دهه اخیر، ANN برای حل مسایل شناسایی الگوهای پیچیده با استفاده از دیدگاه عامل‌های داده هوشمند برای محققان دانشگاهی بسیار چالش برانگیز شده و در حوزه‌های مختلفی مورد استفاده قرار گرفته است. از طرفی دیگر مدیران بخش‌های مختلف به ویژه مدیران سازمان‌های ورزشی، به دلیل وجود انبوه متغیرهای تأثیرگذار، ترجیح می‌دهند مکانیزمی را در اختیار داشته باشند که بتواند آنها را در امر تصمیم‌گیری یاری و مشاوره دهد. به همین دلیل، سعی در روی آوردن به روش‌هایی در پیش‌بینی دارند که بواسطه آنها تخمین‌های‌شان به واقعیت نزدیک و خطاهای‌شان بسیار کم باشد.

از آنجائی که براون (۲۰۰۵) از طریق شبکه‌های عصبی فازی با توجه به بازی‌های گذشته تیم‌ها در لیگ NCAA آمریکا رده‌بندی تیم‌ها را در هفت هفته آینده تا ۹۰ درصد درست پیش‌بینی کرد (۱۳). برایان و همکاران به پیش‌بینی تقریباً (۰/۶۵) و بولیر و استکلر نیز به پیش‌بینی ۷۵٪ دست یافتند (۱۱). در این تحقیق مدل پیش‌بینی جایگاه ایران در رتبه بندی فدراسیون جهانی با استفاده از ANN و روش ARIMA طراحی شده و از لحاظ معیارهای عملکرد (MSE, RMSE, NMSE, MAE,)

MAPE و R2) با هم مقایسه شده‌اند. نتایج تحقیق نشانگر آن است که ANN از لحاظ تمامی معیارهای عملکرد بر روش ARIMA برتری دارد. برای مثال، از نظر RMSE میزان خطای AAN به صورت چشم‌گیری نسبت به روش ARIMA کمتر است. این موضوع بدین دلیل است که داده‌های پیش‌بینی جایگاه تیم ملی فوتبال در رده‌بندی فدراسیون جهانی ماهیت غیرخطی دارند. چنانچه داده‌های مورد استفاده به این میزان غیر خطی نبودند، میزان بهبود خطای روش ANN بدین حد نمی‌باشد و حتی ممکن بود روش خطی ARIMA پاسخ بهتری ارائه دهد.

همان طور که گلیکمن و استرن (۲۰۰۵) برای پیش‌بینی نتایج تیم‌ها، شرایط تیمی در گذشته و حال عوامل مدیریتی را مهم برشمرد (۱۴)، در این پژوهش برای پیش‌بینی جایگاه تیم ملی فوتبال ایران در رده‌بندی فدراسیون جهانی، دو حالت تصور شده است؛ در حالت اول چنانچه متغیرهای مستقلی همانند جایگاه ایران در رده‌بندی فدراسیون جهانی در پایان هر ماه میلادی، امتیاز تیم ایران در پایان هر ماه میلادی، نتیجه بازی‌ها شامل؛ برد، باخت، تساوی، محل برگزاری مسابقه، نوع بازی (دوستانه - مقدماتی جام‌های قاره‌ای - مقدماتی جام جهانی - جام کنفدراسیون‌ها - مرحله نهایی جام‌های آسیایی - مرحله جام جهانی)، جایگاه تیم حریف ایران در آخرین رده‌بندی فدراسیون جهانی (ماه قبل) و قدرت منطقه‌ای تیم حریف ایران مشخص باشد، می‌توان از مدل اول جهت پیش‌بینی دقیق رتبه آن ماه (قبل از اعلام رده بندی از سوی فدراسیون جهانی) استفاده نمود. در حالت دوم چنانچه متغیرهای مستقل ذکر شده مشخص نباشد. برای مثال، جایگاه ایران در ۴ ماه آینده، می‌توانیم متغیر مستقل را زمان در نظر گرفته و مدل پیش‌بینی مورد نظر را طراحی نمود.

با توجه به این که مدل ANN توانایی بالایی را برای پیش‌بینی جایگاه ایران در رده‌بندی فدراسیون جهانی نشان داد، مسئولین فدراسیون فوتبال می‌توانند از روند پیش‌بینی ارائه شده جهت برنامه‌ریزی‌های آتی خود استفاده نمایند. از آنجائی که

جایگاه تیم ملی فوتبال ایران و یا هر کشوری تا حدود زیادی متأثر از شیوه‌های مدیریتی اعمال شده توسط فدراسیون فوتبال و حتی سازمان تربیت‌بدنی کشور است، نتایج این پیش‌بینی می‌تواند در تأیید یا عدم تأیید شیوه‌های مدیریتی اعمال شده در گذشته و حال مورد استفاده قرار بگیرد. همچنین مسئولین فدراسیون فوتبال می‌توانند از این مدل به عنوان بازخوردی برای شیوه‌ی مدیریت خود استفاده کنند. با این حال نتایج این پیش‌بینی می‌تواند تحت تأثیر عوامل زیادی از جمله شانس، وضعیت تیم‌های رقیب آینده ایران، آسیب‌دیدگی بازیکنان کلیدی تیم و عوامل گوناگون دیگری همچون مدیریت سازمان تربیت‌بدنی و بویژه فدراسیون فوتبال قرار گیرد.

به هر حال آنچه از نتایج رده‌بندی فدراسیون جهانی برمی‌آید این است که؛ انجام بازی‌های زیاد در هر ماه بویژه با تیم‌های ملی فوتبال کشورهایی که دارای جایگاه خوبی در رده‌بندی فدراسیون جهانی هستند، می‌تواند در بهبود جایگاه تیم ملی فوتبال ایران در رده‌بندی فدراسیون جهانی مؤثر باشد. این امر می‌تواند با جلب حمایت اسپانسر-های مالی تحقق یابد.

از سوی دیگر نتایج تجربی این تحقیق و بعضی تحقیقات مشابه نشان داده‌اند که ترکیب شبکه‌های مصنوعی و منطق فازی و ایجاد ANN موفقیت-آمیز بوده و باعث کاهش قابل توجه در خطای پیش‌بینی شده است. علاوه بر این، از آنجا که سیستم ANN نیازمند داده‌های صریح و قطعی نبوده و به نمونه بزرگی از داده‌ها نیاز ندارد، می‌تواند پیش‌بینی خوبی از وضعیت جایگاه ایران در رده‌بندی فیفا ارائه دهد و اطمینان می‌دهد که این روش نسبت به روش‌های کلاسیک پیش‌بینی مناسب‌تر است. در نهایت برای تحقیقات آینده پیشنهاد می‌گردد تا محققین، امر پیش‌بینی را با گروهی از متخصصین فوتبال و افراد غیرمتخصص انجام داده و نقطه نظرات آنها را با همدیگر و با نتایج این مقاله مقایسه نمایند.

فهرست منابع

1. Zhang, G.P., www.fifa.com., December 2005. Ranking and statistics, youth and men, FIFA/Coca-Cola World Ranking.
2. Choong-Ki Lee, Tacy Taylor. 2004. Critical reflections on the economic impact assessment of a mega-event: The case of 2002 FIFA World cup. *Tourism Management*. 26 (2005) 596-603.
3. Lovalgia, M.J., Lucus, J.W. 2005. High visibility athletic programs in the Football. *The Sport Journal*. 8 (2): 1-5.
4. Glickman, M.E., Stern, H.S. 2005. Astate- space model for national football league scores. *J the American Statistical Association*. 3.
5. Wilson, I.D., Paris, S.D., Ware, J.A., D.H. (2002). Residential property price time series forecasting with neural networks. *Knowledge-based Systems*, Vol. 15, P.P. 335-341.
6. Le Cun, Y. (1985). Une procedure d'apprentissage pour reseau a seuil assymetrique. *Cognitive*, 85, 599-604.
7. Parker, D.B. (1985). Learning logic: Casting the cortex of the human brain in silicon. Technical Report TR-47. Cambridge, MA: Center for Computational Research in Economics and Management, MIT.
8. Werbos, P.J. (1974). Beyond Regression: New Tools for Prediction and Analysis in the Behavioral Sciences. Cambridge, MA: Harvard University, Ph.D. dissertation.
9. Dereveco P., Albu M., Duma E. (2002). Forecasting of top athletic performance. *Rom J. Physiol*; 39-40:57-62.
10. Lucas, J.W., Lovaglia, M.J. 2005. Can Academic progress help collegiate football teams. *The sport Journal*. 8 (3): 1-3.

11. Bryan L. Boulier, H. O. Steker., 2001. Predicting the outcomes of National Football League games. *International Journal of forecasting*. 19(2003) 257-270.

12. ChiUng Song, Bryan L. Boulier, Herman O. Stekler. (2007). the comparative accuracy of judgmental and model forecasts of American football games, *International Journal of Forecasting* 23, 405-413.

13. Brown, G.T. 2005. APR101. *NCAA News on line*, February 14.

14. Patric Andersson , Jan Edman , Martias Ekman. 2005. Predicting the world cup 2002 in soccer: performance and confidence of experts and non-experts. *International Journal of forecasting*. 21: 265-276.

15. Fitz-Clarke, JR, Mortan RH, Banister EW. (1991). Optimizing athletic performance by influence curves. *Appl physiol*; 71(3) 1151-8.

16. Cundell, D.R, Silibovsky R. S, Sztandera, L. M. (2001). Using fuzzy sets to analyze putative correlates between age, blood type, gender and/or race with bacterial infection.. *Artiff Intell* ; 21(1-3): 235-9.

۱۷. گرزلی، علی؛ افسر، امیر؛ احسانی، محمد؛ محمدی، سردار (۱۳۸۶). مدل‌سازی پیش‌بینی جایگاه تیم ملی در رده بندی فدراسیون جهانی با استفاده از شبکه‌های عصبی. ۶ همایش بین‌المللی تربیت بدنی و علوم ورزشی. کیش. ایران.

18. Fang, Y., (2003). Forecasting combination and encompassing tests. *International Journal of Forecasting* 19 87-94.

19. McAvinchey, I.D. (2003). Yannopoulos Stationary, structural change and specification in a demand system: the case of energy, *Energy Economics* 25 65-92.

20. Nobuhiko, T., Dijk, H.K., (2002). Combined forecasts from linear and nonlinear time series models. *International Journal of Forecasting* 18 421-438.

21. Pai, P.F., Lin, C.S., (2005). A hybrid ARIMA and support vector machines

نشریه علمی - پژوهشی، فصلنامه علوم ورزش / سال ششم، شماره پانزدهم، پاییز ۱۳۹۳
model in stock price forecasting, Omega 33 497 – 505.

۲۲. محمدی، سردار؛ رضایی، خلیل. ۱۳۸۷. پیش بینی عملکرد ورزشکاران رشته ژیمناستیک در مسابقات کشوری و برون مرزی با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی. اولین همایش تخصصی مدیریت ورزشی. آمل. مازندران

23. Boulier, B. L., & Stekler, H. O. (2003). Predicting the outcomes of National Football League games. *International Journal of Forecasting*, 19, 257–270.

24. Jang, J. R. and Sun, C. (1995). Nero Fuzzy Modelling and Control. *Proc. of the IEEE*, P.P: 378-405.

25. Jang, J.-S. R. (1991). Fuzzy Modeling Using Generalized Neural Networks and Kalman Filter Algorithm, *Proc. of the Ninth National Conf. on Artificial Intelligence (AAAI-91)*, PP. 762-767.

26. Jang, J.-S. R. (1993). ANFIS: Adaptive-Network-based Fuzzy Inference Systems. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, Vol. 23, No. 3, PP. 665-685.