فصلنامه پژوهشنامه بازرگاني، شماره ٣٤، بهار ١٣٨٤، ٦٢ ـ ٣٣

طراحي مدل پيش‌بيني تركيبي در صنعت نفت
(مدل سيستم‌هاي خبره تصميم‌گيرنده)

دكتر عادل آذر *   دكتر علي رجب‌زاده**

پيش‌بيني تركيبي/ سريهاي زماني / شبكه‌هاي عصبي مصنوعي / رگرسيون چندمتغيره / سيستم‌هاي خبره / صنعت نفت / ايران

چكيده

پيش‌بيني‌هاي مختلف مسايل اقتصادي متكي به روش‌هاي اقتصادسنجي مي‌باشد و توان بالاي اين مدل‌ها در برآورد معادلات خاص منجر به استفاده وسيع از اين مدل‌ها شده است. از حدود دو دهه قبل روش‌هاي تركيبي در پيش‌بيني مطرح شده است و در اين تحقيق، رويكرد پيش‌بيني تركيبي در مدل‌هاي اقتصادي مورد بررسي و تجزيه و تحليل قرار گرفته است. رويكرد مذكور به خاطر توان بالايي كه در كاهش ميزان خطاي نتايج پيش‌بيني دارد، در مسايل مختلف مالي و اقتصادي و بازرگاني به كار گرفته شده است. در اين تحقيق سعي شده است با تأكيد بر آخرين دستاوردها در حوزة مسايل پيش‌بيني تركيبي، با استفاده از اين رويكرد تا حد امكان خطاهاي پيش‌بيني تقاضاي نفت را كاهش داد. جهت مدلسازي تركيبي، در ابتدا با استفاده از روش‌هاي مختلف، پيش‌بيني انجام شده است كه در اين مطالعه آنها روش‌هاي فردي ناميده شده‌اند. مدل‌هاي پيش‌بيني فردي مورد استفاده شامل روش‌هاي هموارسازي نمايي، تحليل روند، باكس جنكينز، تحليل‌هاي علّي و مدل شبكه عصبي مي‌باشد.

---

* دانشيار دانشگاه تربيت‌مدرس

** استاديار دانشگاه تربيت‌مدرس

نتايج اين روش‌هاي فردي (كه از بين روش‌هاي مختلف برگزيده شده و از نظر آماري مدل آنها معنادار مي‌باشد) با استفاده از رويكرد شبكه عصبي مصنوعي (در اين تركيب روش فردي پيش‌بيني عصبي وارد نشده است)، روش رگرسيون چند متغيره (با لحاظ تمام روش‌ها و نيز با عدم وارد نمودن پيش‌بيني‌هاي فردي شبكه عصبي مصنوعي) با يكديگر تركيب و مقايسه شده است.

داده‌هاي مورد استفاده شامل تقاضاي نفت كشورهاي اوپك از سال ١٩٦٠ تا ٢٠٠٢ به عنوان متغير وابسته و قيمت، درآمد، تقاضاي ساير انرژي‌ها، جمعيت و ارزش افزوده دربخش صنعت به عنوان متغيرهاي مستقل لحاظ شده‌اند كه در روش‌هاي تك متغيره فقط متغير مستقل (با متغير وابسته زمان) براي پيش‌بيني استفاده شده است و در روش‌هاي علّي و شبكه عصبي تمام متغيرهاي بيان شده وارد شده‌اند. داده‌هاي مورد استفاده براي تمام متغيرها از سال ١٩٦٠ تا ١٩٩٦ و داده‌هاي آزمايش از سال ١٩٩٦ تا ٢٠٠٢ بوده است. معيارهاي اصلي MSE و MAPE محاسبه شده براي مقادير پيش‌بيني بيانگر كاهش قابل ملاحظه خطاي روش‌هاي تركيبي نسبت به روش‌هاي فردي است و روش تركيبي مناسب در اين مطالعه به ترتيب روش شبكه‌هاي عصبي و رگرسيون چندمتغيره بوده است.

مقدمه

توجه به روش‌هاي نوين پيش‌بيني از قبيل روش‌هاي شبكه‌هاي عصبي مصنوعي[۱] و الگوريتم‌هاي فازي[۲] سبب شده تا چالش‌هاي ديگري در علم پيش‌بيني ايجاد شود. در مطالعات مختلف انجام شدة موضوعات اقتصادي، مالي و بازرگاني اين روش‌ها جواب‌هاي متعددي داده‌اند. در بعضي مطالعات كه با استفاده از داده‌هاي سري زماني يك يا چندمتغيره صورت گرفته، روش‌هاي پيش‌بيني شبكه عصبي جواب بهتر داده و با داده‌ها برازش بهتر پيدا نموده‌اند و در بعضي مدل‌هاي ديگر، روش‌هاي كلاسيك مانند اقتصادسنجي[۳] و يا روش‌هاي هموارسازي نمايي[٤] جواب‌هاي بهتر داده‌اند. عموماً روش‌هاي پيش‌بيني نوين از قبيل الگوريتم ژنتيك[٥] و شبكه‌هاي عصبي براي پيش‌بيني متغيرهاي خاص و پيچيده مورد استفاده قرار مي‌گيرند. رويكرد تركيب كه در مقالات پيش‌بيني به آن اشاره شده و از آن استفاده شده، اشاره به اين موضوع دارد كه با تركيب روش‌هاي مختلف پيش‌بيني مي‌توان خطاي آن را كاهش داد و به جاي استفاده منحصر به فرد از يك روش پيش‌بيني، تركيبي از اين روش‌ها را به كار برد. در اين پژوهش تركيب روش‌هاي پيش‌بيني كلاسيك (تك متغيره و چندمتغيره) و روش‌هاي نوين (شبكه‌هاي عصبي) مورد توجه قرار گرفته است و كاربرد آن در مسايل اقتصادي (مانند نرخ ارز، نرخ تورم، ارزش افزوده و توليد ناخالص ملي و...)، مسايل بازرگاني (فروش و...) و مسايل مالي (سود، قيمت سهام و...) توصيه شده است. مسئله تقاضاي نفت اوپك به عنوان مطالعه موردي مطرح شده است. نتايج روش‌هاي تركيبي كه با استفاده از شبكه‌هاي عصبي مصنوعي و رگرسيون چندمتغيره انجام شده بيانگر كاهش ميزان خطاي پيش‌بيني به صورت قابل ملاحظه است.

---

[۱] Aritificial Neural Network(A.N.N)

[۲] Fuzzy Algorithm

[۳] Econometric

[۴] Exponetial Smoothing

[۵] Genetic Algorithm

۱. پيشينه تحقيق نظريه‌هاي نوين پيش‌بيني و رويكرد تركيبي

در طبقه‌بندي انواع روش‌هاي پيش‌بيني به‌طور كلي اين روش‌ها به دو دستة ۱) مدل‌هاي كيفي و ۲) مدل‌هاي كمي تقسيم مي‌شوند. روش‌هاي كيفي از قبيل روش دلفي[۱]، مقايسات تكنولوژي مستقل زماني[۲]، روش‌هاي برآورد ذهني[۳]، درخت مناسب[٤]، تحقيق موفولوژيكي[٥] و... مي‌باشند.[٦] روش‌هاي كمي، مدل‌هاي كلي تك متغيره و يا چندمتغيره را شامل مي‌گردند. در مدل‌هاي تك متغيره، روش‌هاي هموارسازي نمايي، باكس ـ جنكينز، تحليل روند مورد توجه قرار گرفته‌اند و مدل‌هاي چندمتغيره روش‌هايي از قبيل رگرسيون چندگانه و تحليل‌هاي اقتصادسنجي هستند.

در مدل‌بندي داده‌هاي تاريخي در رابطة با مسايل اقتصادي، مالي و بازرگاني و به طور كلي مسايل مديريتي رويكردهاي جديدي مطرح شده است. از جمله اين رويكردها و روش‌ها، نظريه‌هاي بي‌نظمي[۷]، پيش‌بيني با استفاده از سيستم‌هاي خبره[۸] و كاربرد الگوريتم ژنتيك[۹] است.

در تحقيقات اقتصادي، بيشترين مدل‌هاي پيش‌بيني مورد استفاده روش‌هاي اقتصادسنجي (تحليل‌هاي علّي) بوده است. در موضوعات مالي بيشترين استفاده، از روش‌هاي باكس ـ جنكينز و هموارسازي يا رگرسيون چندمتغيره (براي تحليل‌هاي علّي) (در مسايلي مانند پيش‌بيني سود شركت‌ها، قيمت سهام شركت‌ها، پيش‌بيني اقلام ترازنامه و

---

[۱] Delphi

[۲] Time independent technological Comparison

[۳] Curve estimation

[۴] Relevance Tree

[۵] Morphology Research

[۶] شيوا(۱۳۷۵).

[۷] Chaos Theory

[۸] Expert System

[۹] Genetic Algorithm

گردش وجوه نقد) و در موضوعات و مسايل بازرگاني، روش‌هاي كيفي (بيشتر روش دلفي) بيشترين استفاده را داشته‌اند. شايد مهم‌ترين دليل اين نحوة كاربرد مسبوق به سابقه بودن استفاده از اين روش‌ها در اين علوم مختلف است.

در قالب روش‌هاي پيش‌بيني با رويكردهاي فازي[1] و شبكه‌هاي عصبي نظريه آشوب و پيش‌بيني قابل به كارگيري است. در نظريه آشوب سري زماني خاصي توصيف مي‌شود كه در حالي‌كه به نظر مي‌رسد تصادفي است ولي قابل بيان با يك تابع معين است. در اين رابطه مي‌توان اعداد تصادفي كه به كمك كامپيوتر توليد مي‌شوند را مد نظر قرار داد.

در چنين مواردي ممكن است يك ساختار ديناميكي ساده با درجه آزادي محدود[2] به يك مدل ديناميكي[3] پيچيده منجر شود. در نتيجه وجود داده‌هاي تصادفي بعضي آزمون‌هاي آماري مانند تجزيه و تحليل طيفي[4]، تجزيه و تحليل واريانس در تميز و تفاوت قائل شدن بين فرآيندهاي آشوناك معين[5] و فرآيندهاي كاملاً تصادفي[6] شكست مي‌خورند و ناتوان هستند.

شكل ديگر در استفاده سري‌هاي نامنظم در اين است كه مدل‌هاي خطي مانند سري‌هاي زماني يا رگرسيون در تنظيم يك رابطه قانونمند در موارد اين داده‌ها ناتوان ظاهر مي‌شوند و اگر اين داده‌ها با يك فرآيند چندبعدي سطح بالا ايجاد نشده باشند فقط در يك پيش‌بيني كوتاه قابل استفاده هستند.

به طور كلي در مدلسازي داده‌هاي تصادفي و آشوناك مدل‌هاي خطي قابل استفاده نيست ولي مدل‌هاي غيرخطي مانند شبكه‌هاي عصبي مي‌توانند مورد استفاده قرار گيرند. شبكه عصبي مصنوعي مي‌تواند راهكارهايي براي مدلسازي سري‌هاي زماني آشوناك ايجاد نمايد. كاربرد تجربي نظريه آشوب و بحث ديناميكي غيرخطي اكثراً در تحليل‌هاي

---

[1] Fuzzy logic

[2] Irreducible Degree of Freedom

[3] Dynamic Model

[4] Spectrum analysis

[5] Deterministic Chaos

[6] Random Process

اقتصاد كلان و يا بازار سرمايه مورد استفاده قرار مي‌گيرند.[1]

تحقيقات انجام‌شده در خصوص استفاده از روش‌هاي پيش‌بيني شبكه عصبي مصنوعي و روش‌هاي تركيبي به صورت موارد زير ارايه مي‌شود:

در سال ١٩٩٦ تحقيق راجع به پيش‌بيني شاخص سهام كووالالامپور با استفاده از شبكه‌هاي عصبي انجام شده است. شاخص‌هاي مربوط به ٨٦ شركت عمده مالزي در نظر گرفته شده‌اند. معيار خطا در اين تحقيق R^2 بوده است و نتايج تحقيق حاكي از برازش مناسب داده‌ها و پيش‌بيني مناسب با استناد به معيار R^2 بوده است.[2]

بيشتر تحقيقات انجام شده راجع به كاربرد شبكه‌هاي عصبي و مقايسه آن با روش‌هاي پيش‌بيني ديگر در بورس اوراق بهادار در كشورهاي مختلف انجام شده است. در اين تحقيقات تأكيد عمده بر روي مقايسه دو يا چند روش پيش‌بيني عمدتاً ANN[3]، رگرسيون چندمتغيره و تركيبات ARIMA بوده است. پيش‌بيني نرخ ارز، نرخ بهره و شاخصه‌هاي مالي از ديگر موارد بررسي بوده‌اند.[4] در كار تحقيقاتي ديگر از مدل شبكه‌هاي عصبي به عنوان يك سيستم پشتيبان تصميم‌گيري براي مديريت استفاده شده است. در اين كار تحقيقاتي از ANN براي پيش‌بيني EPS (سود هر سهم)[5] استفاده شده است و براي تصميم‌گيري‌هاي در سطح ملي از آن استفاده شده است. در اين تحليل متدولوژي ANN براساس مراحل ١) انتخاب متغيرهاي تأثيرگذار ٢) جمع‌آوري و تحليل داده‌ها ٣) بهبود مدل ٤) آموزش شبكه ٥) تست و نرمالايز كردن داده‌ها ٦) انجام آزمايشات و انتخاب مدل مناسب بوده است.[6]

در يك كار پژوهشي ديگر استفاده از ANN در شبيه‌سازي براي سري‌هاي زماني غيرخطي مد نظر قرار گرفته است و نتيجه شده كه ANN ابزاري مفيد است در حالي‌كه روش‌هاي ديگر قابليت شبيه‌سازي سري‌هاي زماني غيرخطي را ندارند. در اين تحقيق تأكيد

---

[1] كوهزادي و بوند (١٩٩٦).

[2] يانگ (١٩٩٦).

[3] Artificial Neural Network

[4] وانگ ولي (١٩٩٦).

[5] Earning Per Share

[6] آلوارو (٢٠٠٠).

عمده بر اندازه نمونه مناسب براي به‌كارگيري در شبكه‌هاي عصبي بوده است.[۱]

در تحقيقات انجام شده شباهت بين ANN و روش‌هاي آماري محرز بوده است. ANN مي‌تواند به عنوان يك روش رگرسيون غيرخطي به كار رود. تفاوت‌هاي اساسي بين ANN و رگرسيون خطي در اين است كه معمولاً در تحليل‌هاي آماري ساختار داخلي ANN ناشناخته باقي مي‌ماند، يعني ساختار داخلي آن نامعلوم باقي مي‌ماند و مانند يك black boxعمل مي‌كند ولي نتايج آن مفيد است. ساختارهاي ANN معمولاً موقتي هستند ولي راهنمايي‌هايي براي برازش با يك مدل آماري مي‌توانند ارايه نمايند.[۲]

در بسياري از تحليل‌ها، عملكرد ANN با روش‌هاي پيش‌بيني آماري مقايسه شده است: فاربر و لاپدز[۳] (۱۹۸۷) نتيجه گرفتند كه ANN بر روش‌هاي آماري ارجحيت دارند. شاردا و پاتيل[٤] بر روي ۷۵ داده سري زماني مختلف كار كرده‌اند و دريافتند كه ANN و ARIMA نتايج مشابه با يكديگر داده‌اند.[٥] مطالعات استرن[٦] نشان مي‌دهد كه ANN نقش بسيار مهم در مدل‌هاي آشوناك مي‌تواند بازي كند. در كار تحقيقاتي ماركوس كانر[۷] (۱۹۹۹) تحقيقات به روي داده‌هاي آماري فصلي و غيرفصلي مدنظر قرار گرفته و نتيجه تحقيقات بيانگر اين است كه داده‌هاي غيرفصلي در پيش‌بيني با ANN نتايج بهتر از داده‌هاي فصلي داده است.[۸] يك مقايسه كاربردي بين مدل‌هاي ANN و ARIMA انجام شده و در اين مقايسه كه در پيش‌بيني جريان ترافيكي صورت گرفته است سعي در تركيب در مدل فوق و نيز به كارگيري فنون پيش‌بيني قضاوت‌ها در اين رابطه شده است.[۹] در يك كار تحقيقي در رابطه با بحث پيش‌بيني نرخ ارز شبكه‌هاي عصبي، گام زدن تصادفي رگرسيون و

---

[۱] زانگ (۲۰۰۱)، ص ۳۹٦ـ۳۸۱.

[۲] هاپتو (۱۹۹۳)، ص ۵۹ ـ ٦٦ و تانگ (۱۹۹۱)، ص ۳۱۰ ـ۳۰۱.

[۳] Farber and Lapedes

[۴] Sharda and Patil

[۵] شاردا (۱۹۹٤)، ص ۱۱٦.

[۶] Stern

[۷] Connor Marcus

[۸] ماركوس (۱۹۹۹).

[۹] جنگ (۲۰۰۰).

مدل‌هاي باكس ـ جنكينز مورد بررسي قرار گرفته‌اند و نحوه كاربرد آنها با يكديگر مورد مقايسه قرار گرفته است.[۱]

به طور كلي تحقيقات مختلف در رابطه با مقايسات روش‌هاي مختلف پيش‌بيني در علوم مختلف اقتصاد، بازرگاني و مالي تفاوت‌هاي آشكار بين اين روش‌ها را نشان مي‌دهد و با استناد به تصاوير معيارهاي خطا قادر به انتخاب يك روش از بين چند روش بوده‌اند.

بيتز و گرانگر[۲] (۱۹۷۰) نيوبلد[۳] و گرانگر (۱۹۷٤)، موريس[٤] (۱۹۷۷)، ماكراديكس و وينكلر[٥] (۱۹۸٦)، استون[٦] (۱۹۸٦)، كلمن و وينكلر[۷] (۱۹۸٦) آلگنو[۸] (۱۹۸٥)، گوپتا (۲۰۰۳) و ويلتن[۹] (۱۹۸۷)، مارسلو و آلوارو (۲۰۰۰)، آرمسترونگ و كلاپي (۲۰۰۰)، در زمينه پيش‌بيني تركيبي فعاليت‌هاي زيادي انجام داده‌اند. بيتز و گرانگر (۱۹۷۰) در زمينه تركيب روش‌هاي پيش‌بيني، تلفيق دو روش را در كار خود لحاظ نموده‌اند. روش كار آنها به وسيله نيوبلد و گرانگر (۱۹۷۳) به n روش پيش‌بيني تعميم داده شد.

پژوهش‌هاي صورت گرفته محققان فوق در مورد تركيب روش‌هاي پيش‌بيني مبتني بر روش ميانگين ساده و يا موزون از نتايج پيش‌بيني‌هاي فردي بوده است. ماكراديكس و وينكلر (۱۹۸۳) در يك پژوهش گسترده در خصوص روش‌هاي پيش‌بيني تركيبي دريافتند كه ميانگين موزون و يا ساده ميزان خطاي پيش‌بيني را از ساير روش‌ها بسيار كاهش مي‌دهد.

كار اين افراد در زمينه پيش‌بيني داده‌هاي سري زماني اقتصادي مانند GNP بوده است. سيلك و اربن[۱۰] (۱۹۸٦) در رابطه با سهم بازار محصولات جديد از روش پيش‌بيني تركيبي استفاده نموده‌اند.

لارنس و ادموندون[۱۱] (۱۹۸٦) نيز عنوان نموده‌اند كه مي‌توانند در كارهاي تحقيقاتي و

---

[۱] زانگ (۱۹۹۸).

[۲] Bates and Granger

[۳] Newbold

[۴] Morris

[۵] Makradiks and Winkler

[۶] Aston

[۷] Clemen and Winkler

[۸] Agno

[۹] Wilton

[۱۰] Silk and Urbun

[۱۱] Bop

كاربردي پيش‌بيني‌هاي مبتني بر قضاوت همراه با روش‌هايي كمي (رياضي) به صورت تركيبي به كار روند و اين كار خطاهاي پيش‌بيني را بسيار كاهش مي‌دهد.

كلاپي و استرونگ (۱۹۹۲) شيوه مبتني بر قاعده را به عنوان روش مناسب تركيب انواع پيش‌بيني‌ها مورد توجه قرار داده‌اند.

در ادامه تحليل‌هاي مربوط به رويكرد تركيبي مارسلو و آلوارو (۲۰۰۰) تركيب روش‌هاي پيش‌بيني هموار سازي نمايي و شبكه‌اي عصبي را با يكديگر به كار برده‌اند. در اين تحليل روش پيش‌بيني ARIMA به عنوان ورودي روش شبكه عصبي لحاظ شده است[1].

در كار تحقيقي فلورس و پيرس[2] روش‌هاي مختلف پيش‌بيني مانند تحليل نايو[3]، هولت، ونيترز، ARIMA، ANN، تحليل‌هاي روند با يكديگر مقايسه شده و با توجه به معيارهاي خطاي آنها با يكديگر تركيب شده‌اند[4].

در بررسي و تحليل رويكردهاي تركيبي يكي از روش‌هاي غالب به كار رفته، روش سيستم‌هاي خبره مي‌باشد. سيستم‌هاي خبره يا سيستم‌هاي مبتني بر دانش با تنظيم پايگاه دانش مناسب، در انتخاب روش پيش‌بيني مناسب مورد استفاده قرار گرفته‌اند.

آرسترونگ و كلاپي (۲۰۰۰) از سيستم‌هاي خبره (مبتني بر دانش) براي تركيب و انتخاب مناسب بين روش‌هاي پيش‌بيني استفاده نموده‌اند.

ميشل يو و كرستيوس[5] (۱۹۹۹) در تركيب روش‌هاي پيش‌بيني براي پيش‌بيني نرخ ارز در سيستم پولي اروپا چهار روش پيش‌بيني را از طريق روش ميانگين ساده، مدل حداقل مجذور خطاها و شبكه‌هاي عصبي با يكديگر مقايسه نموده است. چهار روش مورد استفاده از سري روش‌هاي اقتصاد سنجي بوده است و در اين مقايسه روش شبكه‌اي عصبي جواب‌هاي بهتري از ساير روش‌هاي تركيبي داده است.

---

[1] مارسلو و آلوار (۲۰۰۰).

[2] اين روش به نام Neural-Coefficient Smooth Transition بيان شده است.

[3] Nive

[4] يانگ و يو (۱۹۹۶).

[5] Bop

معيار خطا تقريباً در تمامي روش‌هاي تركيبي مورد توجه ميانگين مجذور خطاها (MSE) و يا (RMSE) بوده است. با توجه به موارد فوق براي روش‌هاي تركيبي در پيش‌بيني الگوهاي مختلفي وجود دارد كه غالب اين معيارها كاهش قابل ملاحظه خطا در نتايج پيش‌بيني را نشان مي‌دهد.

۲. مطالعه موردي تحقيق[۱]

در صنعت نفت پژوهش‌هاي انجام شده در خصوص پيش‌بيني متغيرهاي مختلف نفت عمدتاً متكي به استفاده از روش‌هاي اقتصادسنجي بوده است. در اين رابطه مدل تقاضاي بوند[۲]، مدل تقاضاي نفت خام ژاپن، مدل كميسيون هارتلي[۳]، مدل تقاضاي واردات نفت خام جرج كواريس و كولين رابينسون[٤]، مدل تقاضاي نفت اوپك و ايران، مدل‌هاي تقاضاي بخشي نفت و انرژي، تقاضاي انرژي كشورهاي در حال توسعه، مطالعات هانينگتون[5] (۱۹۹۳م.)، مدل گيتلي[٦] (۱۹۹٦م.)، مدل راشر[۷] (۱۹۹۰ م.)، مطالعات پينديك[۸] (۱۹۷۸م.) و... مد نظر بوده‌اند (به نقل از تقوي، ۱۳۷٦ هـ.ش. همتي، ۱۳۷۲ هـ. ش. يزدي‌زاده، ۱۳۷۰ هـ. ش). بررسي مدل‌هاي مختلف بازار و تقاضاي نفت و متون علمي تحقيق مرتبط با اقتصاد نفت جهت شناسايي متغيرهاي تأثيرگذار بر تقاضاي نفت انجام شده است. در غالب اين مدل‌ها متغير وابسته، انرژي يا تقاضاي نفت خام و متغيرهاي مستقل، درآمد و قيمت بوده‌اند. پس از بررسي و تحليل اين مدل‌ها و استخراج متغيرهاي تأثيرگذار به تقاضاي نفت شناسايي شده و با كسب نظر از خبرگان در خصوص اين مؤلفه‌ها،

---

[۱] در كار ميداني و تحليل‌هاي اين تحقيق در جمع‌آوري داده‌ها به كتابخانه‌هاي مختلف داخل كشور و نيز سايت‌هاي مرتبط با بخش انرژي خارج كشور مراجعه شده است. داده‌هاي بسيار گسترده آن در محيط Excel داده‌پردازي شده‌اند و كار پيش‌بيني با نرم‌افزارهاي WinNN, MaTLAB, Eviews, SPSS, Stategraph انجام شده است.

[۲] Marin E. Bond

[۳] Hartly Commission Model

[۴] Jeorge Kouris and Colin Robinson

[۵] Hunington

[۶] Vately

[۷] Rusher

[۸] Pindik

مؤلفه‌هاي اصلي تأثيرگذار شناسايي شده‌اند.

در اين پژوهش، تقاضاي نفت اوپك براي پيش‌بيني تركيبي مورد استفاده قرار گرفته است. داده‌هاي مورد استفاده شامل تقاضاي نفت اوپك از سال ۱۹۶۰ تا ۲۰۰۲ بوده است (اين داده‌ها در روش‌هاي تك متغيره مانند هموارسازي نمايي و باكس ـ جنكينز داده‌هاي سال ۱۹۳۰ تا ۱۹۶۰ را نيز شامل شده‌اند). داده‌ها از سال ۱۹۶۰ تا سال ۱۹۹۶ به عنوان داده‌هاي اصلي و داده‌هاي ۱۹۹۶ تا ۲۰۰۲ به عنوان داده‌هاي آزمون مد نظر قرار گرفته‌اند. تقاضاي نفت به‌عنوان متغير اصلي وابسته و متغيرهاي قيمت نفت، توليد ناخالص داخلي خريداران نفت اوپك (كشورهاي OECD)، ميزان مصرف انرژي‌هاي جانشين نفت (براي كشورهاي OECD)، ارزش افزوده بخش صنعت (كشورهاي OECD)، و جمعيت كشورهاي OECD در اين دوره زماني به‌عنوان متغيرهاي مستقل و تأثيرگذار مورد توجه قرار گرفته‌اند.

به‌طور كلي در تدوين مدل تركيبي مراحل زير انجام شده است:

مرحله ۱: پيش‌بيني تقاضاي نفت با استفاده از روش‌هاي كلاسيك

مرحله ۲: پيش‌بيني تقاضاي نفت با استفاده از روش شبكه‌هاي عصبي

مرحله ۳: پيش‌بيني تقاضاي نفت با استفاده از رويكرد تركيبي

مرحله ٤: طراحي مدل تصميم‌گيرنده سيستم خبره در تقاضاي نفت.

در تحليل‌هاي زير، نتايج بررسي تحليلي و آزمون هر كدام از مرحله‌ها بيان مي‌شود.

مرحله ۱: پيش‌بيني تقاضاي نفت با استفاده از روش‌هاي كلاسيك

روش‌هاي كلاسيك مورد استفاده و تحليل‌هاي آنها به شرح زير است:

۱) روش پيش‌بيني هموارسازي نمايي[۱]:

اين روش شامل بسته پيش‌بيني با مدل‌هاي زير است:

الف ـ هموارسازي براون ساده[۲]: اين روش با ضريب تصحيح α كه هموارکننده خطاهاي پيش‌بيني است، برآورد خود را انجام مي‌دهد. مقدار α از طريق روش سعي و خطا به دست

---

[۱] . Exponential Smoothing Methods

[۲] . Simple Brown

آمده است. در تحليل اين روش ضريب هموارسازي $\alpha=۰/۹$ به دست آمده است.

ب ـ هموارسازي هولت[۱]: در اين ضريب هموارسازي تصحيح α و نيز ضريب روند β نيز محاسبه مي‌گردد. محاسبه هر دو ضريب با استناد به سعي و خطا صورت گرفته و در اين روش $\alpha=۰/۷$ و $\beta=۰/٤$ به دست آمده است.

ج- هموارسازي سفارشي[۲] **با روند خطي**: در اين روش پارامترهاي $\alpha=۰/۷$ و $\beta=۰/٤٥$ بهترين ضرايب متناسب با داده‌ها به دست آمده‌اند.

د- هموارسازي سفارشي با روند نمايي: در اين روش نتايج پيش‌بيني بهترين ميزان خطاي خود را با $\alpha=۰/۷$ و $\beta=۰/٤٥$ براي داده‌ها نشان داده‌اند. روند هر داده در اين روش، نمايي است.

هـ- هموارسازي سفارشي با روند ميرا[۳]: در اين روش سه ضريب α، β و δ لحاظ مي‌شود.

بهترين ميزان خطاي به دست آمده در اين روش در نتيجه استفاده از ضرايب $\alpha=۰/۱$، $\beta=۰/۱$ و $\delta=۰/۱$ بوده است. درواقع با اين ضرايب در اين روش‌ها مجموع مجذورات خطا به حداقل رسيده است.

در روش‌هاي هموارسازي بيان شده، به طور كلي مدل‌بندي آماري صورت نمي‌گيرد، و به عنوان يكي از معايب اين روش‌ها محسوب مي‌شود. ولي از نقطه نظر سازگاري الگوي پيش‌بيني با داده‌ها اين روش‌ها به عنوان روش‌هاي مناسبي مي‌توانند مورد استفاده واقع شوند.

۲) پيش‌بيني با استفاده از روش تحليل روند[٤]:

در تحليل روند تمام داده‌ها و نحوه برازش آنها مورد توجه قرار مي‌گيرد. در اين مطالعه روندهاي مختلف شامل :

۱ـ روند خطي[٥] ۲ـ روند لگاريتمي[٦] ۳ـ روند معكوس[۷] ٤ـ روند درجه دوم[۸]

---

[۱] Holt
[۲] Custom
[۳] Damped
[۴] Trend Analysis
[۵] Linear Trend
[۶] Logarithmic T
[۷] Inverse T
[۸] Quadratic T

٥ـ روند درجه سوم[١] ٦ـ روند تواني[٢] ٧ـ روند تركيبي[٣] ٨ ـ روند منحني S[٤] ٩ـ روند لجستيك[٥] ١٠ـ روند رشد[٦] ١١ـ روند نمايي[٧] مورد بررسي قرار گرفته‌اند و با انجام آزمون تجزيه و تحليل واريانس و بررسي $R^۲$ و MSE آنها بهترين روندها انتخاب شده‌اند.

روندهاي منتخب عبارتند از: روند خطي، روند لگاريتمي، روند درجه دوم و روند تركيبي. روابط به دست آمده براي اين روندها به صورت زير است:

روند خطي : $y = b_٠ + b_١t \Rightarrow y = -۳۳۹/۵ + ٤۱۷/۹T$

روند لگاريتمي : $y = b_٠ + b_١\ln t \Rightarrow y = -۱٤۹۲۸ + ۷۹۵۲/۲۷\ln t$

روند درجه دوم : $y = b_٠ + b_١t + b_۲t^۲ \Rightarrow y = -۵۳۵۵ + ۵۸٦/٤t - ۲/٤t^۲$

روند تركيبي : $y = b_٠ \, b_١^t \Rightarrow y = ۵۳٤/۷(۱/۱)^t$

۳) پيش‌بيني با استفاده از روش باكس ـ جنكينز:

در مدل‌هاي باكس ـ جنكينز كه به نام ARIMA[٨] معروف هستند. در مدل‌بندي آماري پيش‌بيني اين مدل‌ها مراحل زير انجام مي‌گيرد.

١) بررسي وضعيت داده‌ها از نقطه‌نظر نرمال بودن[٩] و ايستا بودن[١٠] (با استفاده از آزمون آماري k-s [11] و بررسي شكل داده‌ها)

٢) استفاده از تبديل Box-Cox براي نرمال نمودن داده‌ها و تفاضل‌گيري براي ايستا نمودن داده‌ها

٣) بررسي ضرايب و نمودارهاي خودهمبستگي و خودهمبستگي جزئي[12] و مدل‌بندي آماري.

در اين مطالعه با انجام مراحل فوق مدل‌بندي آماري ARIMA به دست آمده به صورت

---

[١] Cubic
[٢] Power T
[٣] Compound T
[٤] S-Curve T
[٥] Logistic T
[٦] Growth T
[٧] Exponential trend
[٨] Autoregressive-Integrated Moving Average
[٩] Normalized
[١٠] Stationary
[١١] Kolomogrov- Sminogrov
[١٢] Autocorrolation and Partial Corrolation

زير است:

$$Y_t=\varphi_{۱}y_{t-۱} + \theta\xi_{t-۱} \Rightarrow =۰/۸ +y_{t-۱} +۰,۷۵۶\xi_{t-۱}$$

در واقع مدل‌بندي آماري به صورت (۱ و ۱ و ۱) ARIMA كه پارامترهاي P=۱، q=۱، d=۱ به دست آمده‌اند.

در برآورد مقدار تقاضاي نفت اوپك با سه روش فوق فقط سري زماني تك متغيره مورد توجه قرار گرفته است.

٤)روش‌هاي اقتصادسنجي:

در بررسي مدل‌هاي مختلف اقتصادسنجي ٤ مدل مختلف به دست آمده است كه مدل‌هاي اقتصادسنجي به صورت زير به دست آمده‌اند:

۱) $LnOD_t= -۱۸/۷- ۰/۲۸\ Ln\ PR_t + ۱/٦۷\ Ln\ GDP – ۳/۷\ LnOE_t$

$(D.W = ۲/۰۰\ ,(P\text{-}V=۰)\ ,\ R^{۲} = ۰/۷۸\ ,\ \text{تعديل شده}\ R^{۲} = ۰/۷٦\ )$

۲) $LnOD_t = ١٦/۹ – ۰/۲\ LnPR_t + ۱/٤\ LnGDP_t – ۳/۵۲\ LnOE_t + ۰/۱۷\ Ln\ VAI$

براي آماره F مؤلفه‌هاي وارد شده

$(D.W = ۱/۸\ ,\ (\underset{\uparrow}{P\text{-}V}=۰)\ ,\ R^{۲} = ۰/۸۵\ ,\ \text{تعديل شده}\ R^{۲} = ۰/۸۳\ )$

۳) $LnOD_t = -۱۰/۱۱۹ – ۰/۱۰۱\ LnPR_t + ۱/۲۰۹۸\ LnGDP – ۲/۸۲۹\ LnOE_t$

براي آماره Fآماره t براي مؤلفه‌هاي وارد شده

$(D.W = ۱/۸\ ,(\underset{\nwarrow}{P\text{-}V}=۰)\ ,\ R^{۲} = ۰/۸۱\ ,\ \text{تعديل شده}\ R^{۲} = ۰/۸\ )$

۴) $LnOD_t = -۱۲/٦۸۸ – ۰/۱۲۱\ Ln\ Pr_t + ۱/۱۵۷۷\ Ln\ GDP – ۳/۲۰۹\ Ln\ OE+۰/۲۰٤\ Ln\ VAI+ \xi_t + ۰/۹۸\ \xi_{t-۱}$

$(R^{۲} =۰/۸۲\ ,\ (\text{تعديل شده})\ R^{۲} = ۰/۸۱\ ,\ D.W=۲\ ,\ P\text{-}V=۰)$

كه در اين مدل‌ها:

OD_t : تقاضاي نفت اوپك در زمان t،

PR_t: قيمت نفت در زمان t،

GDP_t: توليد ناخالص ملي كشورهاي خريدار نفت زمان t (براي OECD)،

OE_t: ميزان تقاضا براي ساير انواع انرژي در زمان t ،

VAI: ارزش افزوده در بخش صنعت (براي OECD).

در مدل‌هاي فوق سطح معناداري[1] آماره آزمون t براي تمام متغيرها از حدود خطاي $\alpha=$ %۵ كوچكتر بوده است. مقدار $R^۲$ به $R^۲$ تعديل شده نزديك و از ۰/۷ بالاترند. خطاي نتايج اين مدل‌ها در جدول (۳) ارايه شده است.

مرحله ۲: پيش‌بيني تقاضاي نفت با رويكرد شبكه عصبي

در برآورد تقاضاي نفت اوپك با رويكرد شبكه عصبي، روش شبكه عصبي پس انتشار خطاي انعطاف‌پذير (پرسپترون چند لايه) (B.P)[2] مورد تجزيه و تحليل قرار گرفته است. پس از نرمال‌سازي داده‌ها، آموزش داده‌ها صورت گرفته است. با تغييرات مداوم تعداد لايه‌ها و بخصوص با تغييرات تعداد نرون‌هاي لاية پنهان توپولوژي شبكه مورد بررسي قرار گرفت و نهايتاً بهترين معماري شبكه عصبي پس انتشار خطاي سه لايه به صورت (۱*۱۵*۵) به دست آمده است كه لايه ورودي، ۵ متغير لايه مياني (پنهان) ۱۵ نرون و خروجي تقاضاي نفت به دست آمده است. توابع لايه مياني تابع زيگموئيدي[3] $\left(f_n = \frac{۱}{۱+e^{-cn}}\right)$ و تابع فعال‌ساز (جمع‌كننده) تابع خطي[4] در نظر گرفته شده است.

در تحليل‌هاي مالي ـ اقتصادي روش پرسپترون چند لايه به‌طور مداوم مورد استفاده قرار گرفته و با توانايي پس خور خود بهترين برازش را ارايه مي‌دهد.

مرحله ۳: رويكرد تركيبي درپيش‌بيني

در اين سناريو تركيب روش‌هاي پيش‌بيني فردي مورد توجه قرار گرفته است. روش‌هاي فردي تحليل شده به صورت زير معرفي مي‌شوند:

روش هموارسازي نمايي ساده براون : $x_{i۱}$

---

[1] P-Value

[2] Back- Progation (B.P)

[3] Sigmoid

[4] Pureline

هولت : $x_{i۲}$

مدل سفارشي با ۲ پارامتر و روند نمايي : $x_{i۳}$

مدل سفارشي با ۱ پارامتر و روند نمايي : $x_{i۴}$

مدل سفارشي با روند ميرا : $x_{i۵}$

روند خطي : $x_{i۶}$

روند درجه دوم : $x_{i۷}$

روند لگاريتمي: $x_{i۸}$

روند تركيبي: $x_{i۹}$

ARIMA (۱و۱و۱): $x_{i۱۰}$

(وارد شدن متغيرهاي قيمت، توليد ناخالص ملي وساير انرژي‌ها:مدل لگاريتمي)مدل ۱ اقتصادسنجي: $x_{i۱۱}$

مدل۲ اقتصادسنجي: $x_{i۱۲}$

(وارد شدن متغيرهاي قيمت، توليد ناخالص ملي و ساير انرژي‌ها و ارزش افزوده صنعتي: مدل لگاريتمي)

مدل۳ اقتصادسنجي: $x_{i۱۳}$

(وارد شدن متغيرهاي قيمت، توليد ناخالص ملي، ساير انرژي‌ها و مدل ميانگين ترك: مدل لگاريتمي)

(مدل معرفي شده در مقاله) مدل۴ اقتصاد سنجي: $x_{i۱۴}$

مدل پرسپترون چند لايه شبكه عصبي: $x_{i۱۵}$

تركيب مدل‌هاي پيش‌بيني فردي فوق با استفاده از روش‌هاي زير صورت گرفته است:

۱ـ تركيب روش‌هاي پيش‌بيني فردي با استفاده از رويكرد شبكه‌هاي عصبي مصنوعي

در اين تركيب، نتايج ۱٤ مدل پيش‌بيني فردي (شامل ٥ مدل هموار سازي نمايي، ٤ مدل روند، ۱مدل ARIMA و ٤ مدل علّي) وجود دارد. هر روش پيش‌بيني به عنوان يك ورودي در نظر گرفته است. توپولوژي شبكه (با روش پس انتشار خطا) به صورت ۱٤ ورودي، يك لايه پنهان و يك لايه خروجي مد نظر قرار گرفته شده است. در لايه مياني

۳۰ نرون با تابع زيگموئيدي و تابع فعال سازي جمع كننده خطي در توپولوژي شبكه عصبي به كار گرفته شده‌اند. روش شبكه‌هاي عصبي به اين دليل كه در تحليل تركيبي تمام روش ها و نتايج آنان وارد مدل مي‌شود، مي‌تواند مورد توجه باشد. در اين مدل توليد ناخالص داخلي، قيمت نفت، مصرف ساير منابع انرژي، جمعيت، ارزش افزوده در بخش صنعت وارد مدل شبكه عصبي شده‌اند.

۲ـ تركيب مدل‌هاي پيش‌بيني فردي با استفاده از روش رگرسيون چندمتغيره

متغيرهاي مستقل $xi_{۱۴}$ ...، $xi_{۲}$، $xi_{۱}$ و $xi_{۱۵}$ ،....، $xi_{۲}$، $xi_{۱}$ كه در آن (i= ۲،۱،....،۴۳) به عنوان روش‌هاي فردي پيش‌بيني هستند و متغير وابسته آنها Y_i مي‌باشد (i=۲،۱،....،۴۳) به عنوان داده‌هاي واقعي لحاظ مي‌شود. اين متغيرهاي وابسته و مستقل در يك ظرف رگرسيوني ريخته شده و با استفاده از روش گام به گام، خارج نمودن متغيرهايي كه با يكديگر همبستگي دارند به صورت مرحله‌اي انجام گرفته است. بهترين مدل به دست آمده به صورت زير بيان شده است. با توجه به تحليل واريانس انجام شده و محاسبه F=۱۷۲۸ كه بيانگر تأييد اين رابطه است و بررسي آماره آزمون t براي تمام متغيرهاي مورد نظر، ضريب بالاي $R^۲$ و نزديكي آن به $R^۲$ تعديل شده و آزمون دوربين واتسون انجام شده، كه عدم همبستگي مانده‌ها را نشان مي‌دهد. مدل تركيبي به‌دست آمده قابل استناد است.

جدول ۱ ـ جدول نتايج مدل سازگار با داده‌ها (تحليل رگرسيوني)

	B	t	سطح معناداري آماره t
$X_{i۱۵}$	۰/۵۱۶	۶/۸۸۲	۰
$X_{i۱۳}$	۰/۵	۳/۹۰۸	۰
$X_{i۱}$	۰/۲۹	۳/۸۰۸	۰
$X_{i۲}$	-۰/۳۵۹	-۲/۳۸۹	۰

$R^۲$ =۰/۹۹۵ (تعديل شده)، $R^۲$=۰/۹۹۷، D.w =۱/٤ ، F=۱۷۲۸

در واقع معادله تركيبي به صورت:

$$Y = ۰/۵۱۶\, x_{i۱۵} + ۰/۵\, x_{i۱۳} + ۰/۲۹\, x_{i۱} \text{ و } ۰/۳۵۹\, x_{i۱۲}$$

در نظر گرفته مي‌شود كه در آن Y متغير اصلي تركيبي و مقادير xij بيانگر هر روش پيش‌بيني هستند.

به جز تركيب بالا، تركيب‌هاي ديگري در مدل رگرسيوني مورد توجه قرار گرفته‌اند و يك مدل بدون وارد نمودن روش شبكه عصبي در ظرف رگرسيون چندمتغيره مورد بررسي قرار گرفته است و نتايج آن با وارد شدن متغيرهاي زير مورد توجه قرار گرفته است.

جدول (۲) ـ نتايج مدل تركيبي رگرسيون بدون ورود شبكه عصبي

	B	t	سطح معناداري آماره t
مقدار ثابت	-۱۳۸۲۴۸	-۶/۳	۰
$X_{i۱۳}$	-۱۲/۹۵۲	-۹/۲	۰
$X_{i۵}$	-۱۷/۵۱۰	-۱۰/۹	۰
$X_{i۲}$	۱۴/۳۸	۹/۸۷	۰
$X_{i۸}$	۱۲/۶	۶/۰۸	۰
$X_{i۴}$	۱۴/۷۵	۹/۲	۰
$X_{i۹}$	-۲/۵	-۳/۱۷	۰

F=۱٤۸ و $R^{۲}$=۰/۹۸ و $R^{۲}$=۰/۹٦ تعديل شده و D.w =۱/٦

بدين ترتيب با مقايسه تركيب‌هاي فوق و روش‌هاي پيش‌بيني مختلف انجام شده، مي‌توان كارايي هر كدام از روش‌هاي پيش‌بيني مورد استفاده را بررسي و تحليل نمود.

مقايسه اين روش‌ها با يكديگر با توجه به معيارهاي خطاي RMSE[۱]، MAPE[۲] و GAPE[۳] در جدول (۳) ارايه شده است:

---

[۱] $$\text{RMSE} = \sqrt{\frac{\sum_{t=۱}^{n}(y_t - \hat{y}_t)^{۲}}{n}}$$

[۲] $$\text{MAPE} = \frac{\sum_{t=۱}^{n}\left|(y_t - \hat{y}_t / y_t\right|}{n}$$

[۳] $$\text{GAPE} = \text{GeometricMean}\,\frac{(y_t - \hat{y}_t)}{y_t}$$

جدول (۳) ـ بيان مدل‌هاي مختلف و معيارهاي خطاي محاسبه شده
(معيار اصلي MSE لحاظ شده است)

مدل پيش‌بيني	معيار خطاي RMSE	معيار خطاي MAPE	معيار خطاي GAPE
۱- مدل تركيبي شبكه عصبي	۲۱۷/۷	۰/۰۰۸۹۹	۰/۰۰۳
۲- تركيب رگرسيوني بدون ورودANN	۱۱۲۶/۵	۰/۰۵۹	۰/۰۳۹
۳- تركيب رگرسيوني با ورود تمام روش‌ها	۱۳۵۱/۱	۰/۰۶۴	۰/۰۴۴
۴- مدل شبكه عصبي مصنوعي	۱۹۸۲/۱	۰/۰۵۴	۰/۰۲
۵- مدل علّي ۳ ($x_{i۱۳}$)	۲۷۴۸/۱	۰/۱۳۲	۰/۰۹۷
۶- مدل علّي ۴ ($x_{i۱۳}$)	۲۸۳۲/۶	۰/۱۳۸	۰/۰۹۶
۷- مدل علّي۱ ($x_{i۱۱}$)	۲۸۹۱/۷	۰/۱۴۳	۰/۱۱
۸- مدل علّي ۲ ($xi_{۱۲}$)	۳۳۶۲/۶	۰/۱۷۶	۰/۱۴
۹- هولت	۳۴۰۴	۰/۱۶۲	۰/۰۶۷
۱۰- سفارشي/ ۲ پارامتر / نمايي	۳۴۷۸/۸	۰/۱۸۷	۰/۰۵۶
۱۱- سفارشي/ ميرا	۳۸۳۱/۶	۰/۱۹	۰/۰۹۷
۱۲- سفارشي/ ۱ پارامتر/ نمايي	۴۰۴۵/۸	۰/۱۸۷	۰/۰۷۴
۱۳- تركيب ميانگين موزون	۴۷۹۹/۶	۰/۲۱	۰/۰۶۶
۱۴- روند لگاريتمي	۵۵۹۶/۲	۰/۲۱	۰/۱۴
۱۵- روند درجه دوم	۶۱۹۹/۳	۰/۲۶۶	۰/۱۶
۱۶- روند خطي	۶۹۶۰/۹	۰/۳۸	۰/۳۲
۱۷- روند تركيبي ساده	۷۰۳۵/۴۷	۰/۳۰	۰/۲۳

مرحله ٤: طراحي مدل تصميم‌گيرنده سيستم خبره پيش‌بيني تقاضاي نفت اوپك

ريشه اصلي بحث سيستم‌هاي خبره كه سيستم‌هاي مبتني بر دانش نيز ناميده مي‌شوند به هوش مصنوعي برمي‌گردد (دارلينگتون، ۲۰۰۰). سيستم‌هاي خبره در قالب يك پوسته نرم‌افزاري تصميم‌گيرنده عمل مي‌كند. در سيستم‌هاي خبره چند جزء اصلي قابل مشاهده

است كه عبارتند از رابط كاربر[1] (كاربر را قادر مي‌سازد تا با سيستم‌هاي خبره ارتباط برقرار نمايد.)، پايگاه دانش[2] (كه دانش مورد نياز و خاص آن حوزه را براي حل مسئله ذخيره مي‌كند.)، موتور استنتاج (كه توانايي استدلال براي تفسير پايگاه دانش را دارد) و مهندس دانش و كارشناس مربوطه (كه در طراحي و ايجاد سيستم‌هاي خبره نقش دارند). در اين پژوهش تصميم‌گيري در مورد انتخاب يك روش پيش‌بيني مؤثر با كمترين خطا با استفاده از سيستم خبره طراحي شده است. داده‌ها در مدل تصميم گيرنده خبره اضافه مي‌شوند (رابطه كاربر) و پايگاه قواعد با استفاده از تصميم‌گيري مبتني بر انتخاب روش پيش‌بيني با كمترين تعداد خطا، پيش‌بيني را انجام مي‌دهد. لازم به ذكر است در اين پژوهش طراحي الگوريتم صورت گرفته و استفاده از اين سيستم با طراحي يك برنامه مبتني بر الگوريتم عنوان شده مي‌تواند صورت گيرد. در ارتباط با تحليل مدل سيستم‌هاي خبره جهت پيش‌بيني تقاضاي نفت اوپك در سيستم تصميم‌گيرنده خبره روش‌هاي پيش‌بيني شامل روش فردي و تركيبي به پايگاه اطلاعات وارد مي‌شوند و در اين پايگاه دانش در خصوص انتخاب روش مناسب تصميم‌گيري به عمل مي‌آيد.

پايگاه سيستم خبره براي تصميم‌گيري در خصوص روش پيش‌بيني تقاضاي نفت تحليل‌هاي جامع محاسبه مقادير خطا است. در اين تحليل پايگاه قواعد در سيستم‌هاي خبره براي پيش‌بيني‌هاي مورد نظر با استفاده از اشكال

اگر مقدم

آنگاه تالي

به كار گرفته مي‌شود. قواعد با استناد به مقادير MSE و يا ساير معيارها شكل مي‌گيرند.

الگوريتم طراحي شده موارد ذيل را شامل مي‌شود:

۱ـ داده‌هاي تقاضاي نفت مورد بررسي در پايگاه داده‌ها وارد مي‌شوند. اين داده‌ها متغيرهاي بررسي شده در تقاضاي نفت اوپك به شرح نرخ رشد اقتصادي، قيمت نفت، مصرف ساير منابع انرژي، جمعيت، ارزش افزوده در

---

[1] User Interface

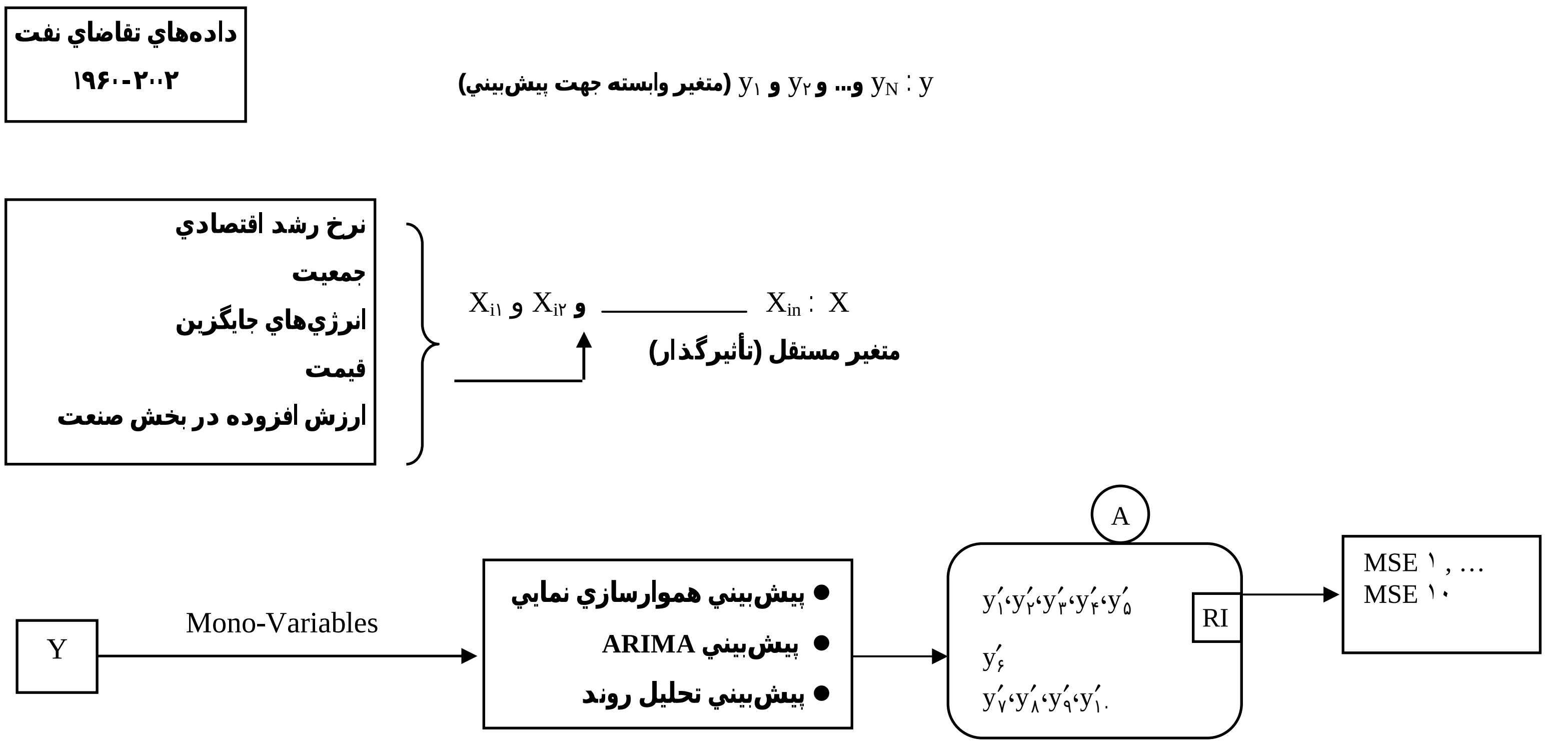
[2] Knowledge-base

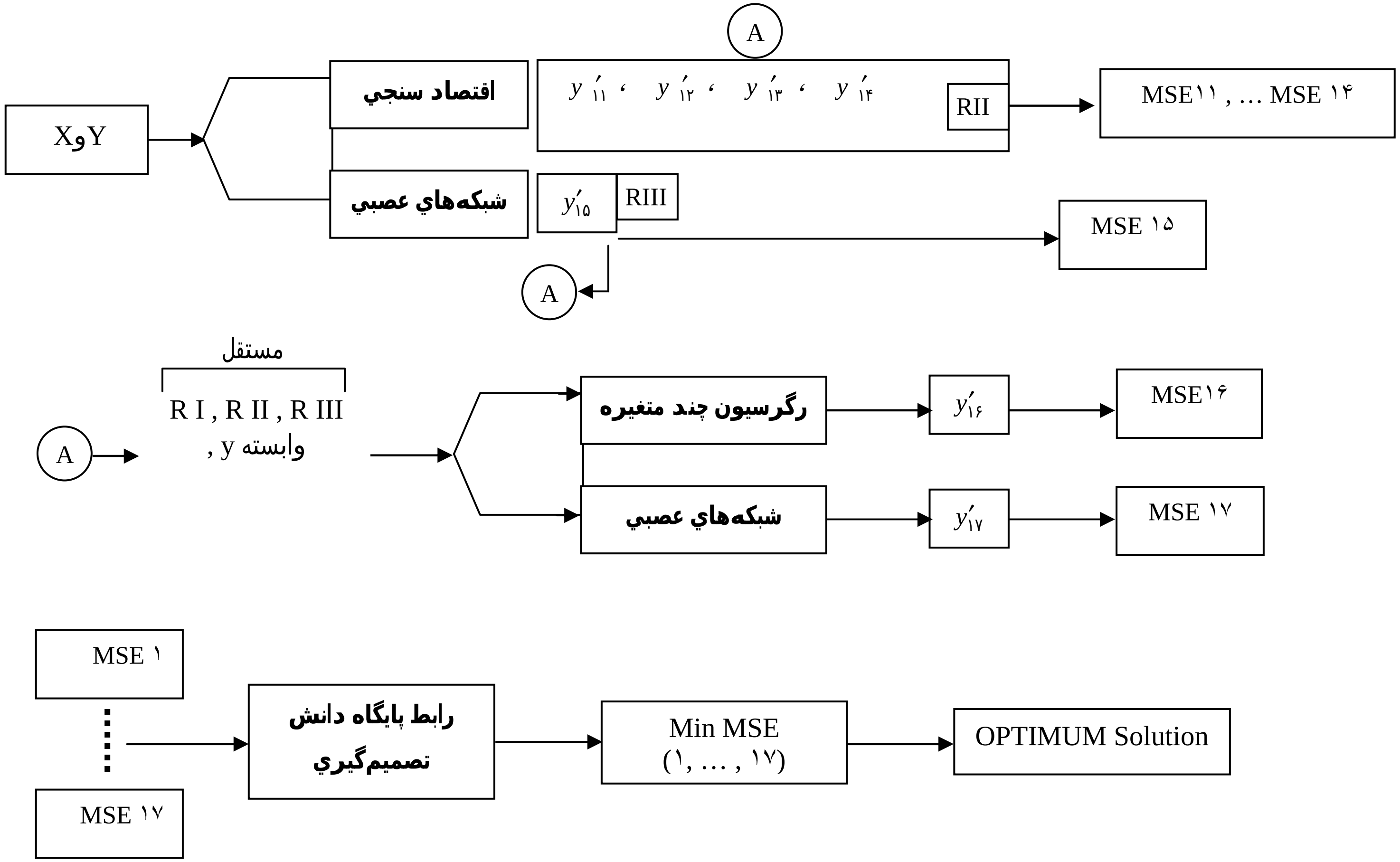
بخش صنعت و داده‌هاي تقاضاي نفت را شامل مي‌شوند.

۲ـ رابط کاربر طراحي شده به صورت مبتني بر داده عمل مي‌کند و داده‌هاي تقاضاي نفت را براي روش تك متغيره مد نظر قرار مي‌دهد. اين روش‌ها، پيش‌بيني هموارسازي نمايي، پيش‌بيني تحليل باکس جنکينز و تحليل روند را شامل مي‌شود. در پايگاه اطلاعات سيستم خبره ملاك تصميم‌گيري مبتني بر معيارهاي خطا وارد شده است که مي‌تواند معيار متوسط مجذور خطا و يا معيار متناسب ديگر از بين معيارهاي معرفي شده باشد. اين پايگاه تصميم‌گيري در مورد روش‌هاي مذکور را انجام مي‌دهد. رابط کاربر همين تحليل را ولي با استناد به تمام متغيرها با استفاده از روش‌هاي چند متغيره و شبکه‌هاي عصبي فردي انجام مي‌دهد و بهترين مدل انتخاب مي‌گردد. در واقع پس از اين بررسي بهترين روش تك متغيره انتخاب شده است. بنابراين در اين بررسي نقش سيستم خبره تصميم‌گيري با استناد به پايگاه اطلاعات و با تحليل‌هاي رابط کاربري است که اتصال نرم‌افزارهاي مرتبط SPSS، MATLAB، EVIEWS انجام داده است.

نتايج تمام روش‌هاي فردي(مدل‌هاي مرجح از بين آنها)که در اين پژوهش پانزده روش بوده است، مجدداً وارد شبکه عصبي (پرسپترون چند لايه) و نيز روش رگرسيون چندمتغيره مي‌شوند و پيش‌بيني ترکيبي و مقايسه آنها با يکديگر و نيز با روش‌هاي فردي انجام مي‌گيرد. پس از آن بهترين روش ترکيبي و يا فردي انتخاب شده است. در اين خصوص لازم به ذکر است که سيستم خبره اتصال تمام نرم‌افزارهاي مورد استفاده با طراحي رابط کاربر و پايگاه داده‌ها و اطلاعات شامل تمام متغيرها و معيارهاي خطا را شامل مي‌شود. نمودار مراحل اجرايي اين روش به شرح شکل (۱) مي‌باشد:

شکل (۱) ـ مراحل اجرايي انتخاب روش پيش‌بيني با استفاده از سيستم‌هاي خبره تصميم‌گيرنده




XوY
اقتصاد سنجي
شبکه‌هاي عصبي
A
y′۱۱ ، y′۱۲ ، y′۱۳ ، y′۱۴
RII
MSE۱۱ , … MSE ۱۴
y′۱۵
RIII
MSE ۱۵
A
مستقل
R I , R II , R III
, y وابسته
A
رگرسيون چند متغيره
شبکه‌هاي عصبي
y′۱۶
y′۱۷
MSE۱۶
MSE ۱۷
MSE ۱
MSE ۱۷
رابط پايگاه دانش تصميم‌گيري
Min MSE
(۱, … , ۱۷)
OPTIMUM Solution

۳. نتايج تحليلي تحقيق و مقايسه كارايي نتايج مدل‌هاي تركيبي با روش‌هاي فردي پيش‌بيني

در رابطه با رويكردهاي مختلف تركيبي و بررسي تفاوت‌هاي روش‌هاي نوين و كلاسيك و طراحي مدل سيستم خبره تصميم‌گيرنده در اين تحقيق نتايج زير مورد توجه قرار مي گيرد:

۱ـ در بين روش‌هاي مختلف فردي بررسي شده با استناد به معيار خطاي RMSE، پيش‌بيني شبكه عصبي مصنوعي، نتايج بهتري را ارايه داده است. لازم به ذكر است كه داده‌هاي تقاضاي نفت و داده‌هاي آماري متغيرهاي اقتصادي و بازرگاني از نوع داده‌هاي نامنظم هستند و به دليل توانايي بالاي روش شبكه عصبي مصنوعي در آموزش داده‌ها واختصاص اوزان مناسب به اين داده‌ها شبكه عصبي مصنوعي نتايج با خطاي پايين‌تري را نسبت به ساير روش‌ها داده است. ميزان اين معيار براي روش شبكه عصبي مصنوعي (الگوريتم پس انتشار خطاي انعطاف‌پذير ديناميكي) (با لحاظ نرخ يادگيري ۰/۲ و ضريب α انعطاف پذيري ۰/۲) در مقايسه با ساير روش‌هاي فردي در جدول(۳) نشان داده شده است و با به‌كارگيري سيستم خبره هوشمند جهت گزينش روش‌هاي فوق و صرفاً با ورود روش‌هاي فردي، شبكه‌ي عصبي جواب‌هاي مناسبي داده است.

۲ـ از نقطه‌نظر معيار RMSE مطابق با جدول (۳) تركيب روش‌هاي پيش‌بيني با ورود آنها به شبكه‌هاي عصبي مصنوعي بهترين ميزان خطاي پيش‌بيني داده است. اين نتيجه كارايي بسيار بالاي روش شبكه عصبي را به عنوان يك رويكرد تركيبي مي‌رساند و تركيب بعدي كه خطاي مناسبي را دارد، روش رگرسيون چندمتغيره است. با استناد به معيار RMSE كه برتري مطلق روش شبكه‌هاي عصبي نسبت به رگرسيون چندمتغيره قابل توجيه است؛ حال در اين رابطه بايد بررسي نمود كه آيا در تحليل نتايج نياز به تحليل آمار استنباطي هست يا خير؟ روش رگرسيون چندمتغيره تست خودهمبستگي

چندگانه را انجام داده و بعضي متغيرها را چنانچه ملاحظه شد، حذف مي‌نمايد، ولي در روش شبكه عصبي تمام وروديها (مدلها) مي‌توانند لحاظ شوند. به نظر محققان، در اين تحليل، روش شبكه عصبي براي تركيب مي‌تواند روش مفيد و مؤثري باشد، زيرا كه كار تركيب به روي خروجي‌ها صورت مي‌گيرد و هر كدام به عنوان ورودي كاملاً مستقل مي‌توانند فرض شوند كه كار آموزش شبكه با تمام آنها صورت مي‌گيرد. (با استناد به اين نتيجه، تأييد فرضيه اصلي نتيجه گيري مي‌شود).

۳ـ معيارهاي ديگر مورد توجه شامل MAPE,[1] GAPE,[2] MPE[3] نيز توانايي بالاي روش‌هاي تركيبي را در كاهش ميزان خطاي پيش‌بيني نسبت به روش‌هاي فردي نشان مي‌دهد. ضمن اينكه تركيب با روش شبكه‌هاي عصبي مصنوعي بيشترين كارايي را به استناد تمام معيارها نشان داده است. لازم به ذكر است كه اين معيارها، در تحقيقات مختلف به صورت يكسان به كار گرفته شده‌اند و معيارهايي همسو نمي‌باشند، ولي در اين مطالعه حداقل در به اثبات رساندن برتري مطلق روش پيش‌بيني تركيبي به روش‌هاي فردي، اين معيارها نتايج يكسان نشان داده‌اند.

٤ـ با توجه به اينكه در تئوري‌هاي تركيب روش‌هاي پيش‌بيني، يكي از روش‌هاي مورد توجه روش ميانگين موزون بوده است در اين مطالعه اقدام به انجام پيش‌بيني تركيبي با روش ميانگين موزون نيز گرديد.

وزن گذاري روش‌هاي پيش‌بيني در اين تركيب با استفاده از رابطه $Wi = \frac{(MSE_i)^{-۱}}{\sum_{i=۱}^{n}(MSE_i)^{-۱}}$ و پيش‌بيني با رابطه ساده $F_i = \sum_{i=۱}^{n} W_i x_i$ صورت گرفته است.

---

[1] Mean Absolute percentage error

[2] Geometric Absolute percentage error

[3] Mean percentage error

در اين تحليل تركيبي، ميانگين موزون به عنوان يك روش تركيبي خوب عمل نكرده است و كاهش ميزان خطاي MSE آن قابل ملاحظه نمي‌باشد و مدل هاي آماري باكس-جنكينز و هموارسازي نمايي بسيار بهتر از آن به عنوان روش‌هاي فردي عمل كرده‌اند.

به هر حال، نتايج كلي اين تحقيق در موارد فوق بيان شده و كاربرد مدل‌هاي تركيبي پيش‌بيني را براي متغيرهاي اقتصادي توصيه مي‌نمايد.

طراحي مدل سيستم خبره تصميم‌گيرنده با رويكرد مورد نظر امكان‌پذير است. در اين بررسي استفاده از سيستم تصميم‌گيرنده با استناد به حداقل تعداد خطا امكان‌پذير است. به‌كارگيري هر كدام از مدل‌ها با استفاده از نرم‌افزارهاي مختلف براي تحليل‌گران حرفه‌اي قابل استفاده است ولي طراحي سيستم جامع تصميم‌گيرنده خبره با يك طراحي مناسب نرم‌افزاري امكان استفاده از سيستم پيش‌بيني را براي كاربران مختلف امكان‌پذير مي‌سازد. مطابق با بررسي انجام شده جهت سهولت استفاده كاربر از نتايج پيش‌بيني تركيبي، به‌كارگيري رويكرد سيستم خبره ضرورت دارد. اين رويكرد از آن جهت كه قابليت طراحي يك نرم افزار خود تصميم گيرنده (و يا مشاور تصميم‌گيري) را دارد، به راحتي مي‌تواند مورد استفاده كاربر قرار گيرد. نقطه نظر محققان اين تحقيق آن است كه در الگوهاي تركيبي از آنجا كه نياز به كار با نرم‌افزارهاي مختلف و استفاده توأم از اين نرم‌افزارها وجود دارد، لذا طراحي يك سيستم خبره ضروري و كار را براي كاربرد تصميم‌گيرنده ساده‌سازي مي‌نمايد.

منابع

۱. الهي، شعبان و علي رجب‌زاده (۱۳۸۲)؛ **سيستم‌هاي خبره (الگوي هوشمند تصميم‌گيري)،** انتشارات شركت چاپ و نشر بازرگاني وابسته به مؤسسه مطالعات و پژوهش‌هاي بازرگاني.

۲. الهي، شعبان و علي رجب‌زاده (۱۳۸۱)؛ "بيان مفاهيم اساسي سيستم‌هاي خبره در تصميم‌گيري مديران"، **فصلنامه مديريت و توسعه،** مؤسسه تحقيقات و آموزش مديريت، شماره ۲.

۳. قاسمي، عبدالرسول، حسن اسدپور و مختار شاصادقي (۱۳۷۹)؛ "كاربرد شبكه عصبي در پيش‌بيني سري‌هاي زماني و مقايسه آن با مدل ARIMA"، **فصلنامه پژوهشنامه بازرگاني،** شمارة ١٤، بهار، مؤسسه مطالعات و پژوهشهاي بازرگاني .

٤. شيوا، رضا (۱۳۷۵)؛ **پيش‌بيني سري‌هاي زماني،** تهران، مؤسسه مطالعات و پژوهشهاي بازرگاني، صفحه ۱۷ و ۱۸.

٥. خالوزاده، حميد، علي خاكي صديق و كارو لوكس (۱۳۷۷)؛ "پيش‌بيني و الگوسازي قيمت سهام در بازار بورس تهران با استفاده از مدل‌هاي خطي و غير خطي"، **مجله علمي ـ پژوهشي مدرس،** شماره ٦.

٦. خالوزاده، حميد (۱۳۷۷)؛ **مدل‌سازي غيرخطي و پيش‌بيني قيمت سهام در بازار بورس تهران،** رساله دكتراي مهندسي برق ـ كنترل، دانشگاه تربيت مدرس.

۷. Alvaro, V.(۲۰۰۰); "A Hybrid Linear- Neural Model for Time Series Forecating", **IEEE Transactions on Neural Network,** V(۱۱), pp. ۱۴۰۲-۱۴۱۲.

۸. Armstrong J.S. and F. Collopy (۱۹۹۲); "Error Measures for Generalizing About Forecating Methods: Empirical Comparison", **International Journal of Forecasting,** V(۸), pp. ۶۹-۸۰.

۹. Azoff, E. (۱۹۹۴); **Neural Network Time Series Forecasting of Financial Markets,** John Wiley & Sons.

۱۰. Baker, B.D. and Richards C.E. (۱۹۹۹); **A Comparison of Conventional Linear Regression Methods and Neural Networks for Forecasting Educational**

Spending, V(۱۸), p.p(۴۰۵-۴۱۵).

۱۱. Bates, J.m and C.W.J. Granger (۱۹۷۰); "The Combination of Forecasts", **Operation Research,** No. ۲۰. pp.۴۵۱-۴۶۸.

۱۲. Boyd, M. and Kaastra, I. (۱۹۹۶); **Designing a Neural Network for Forecasting Financial and Economic Time Series,** Vol. ۱۰.

۱۳. Chat field (۱۹۸۹), **The Analysis of Time Series: An Introduction,** London, Champan and Hall, pp.۳۵-۳۶.

۱۴. Clemen, R.T, (۱۹۸۹); Combining Forecasts : a review and annotated bibliography, **International Journal of Forecasting**, pp.۵۵۹-۵۸۳.

۱۵. Collopy , F. and J.S. Armstrong, (۱۹۹۲); "Rull Based Forecasting, Development and Validation of an Expert System Approach to Combining Time Series Entrapolation", **M.g.t Science,** No. ۱۰, pp. ۱۳۹۴-۱۴۱۴.

۱۶. Darlington, K (۲۰۰۰); **The Essence of Expert Systems,** Prentice Hall.

۱۷. Flovers, B.E. and S.L.L. pears (۲۰۰۰); "M۳, Competition in Forecasting", **International Journal of Forecasting,** V(۱۶), pp. ۴۸۵-۴۹۶.

۱۸. Kohzadi, N, B.S. Milton , Kermanshahi, B. Kaastera I(۱۹۹۳); **Neuro Computing,** V۱۰ , pp. ۱۶۹-۱۸۱.

۱۹. Kohzadi, N., Boyd , M., Kermanshahi, B. and Kaastra, I. (۱۹۹۶); "A Comparison of Artificial Neural Network and Time Series Models fo Forecasting Commodity Prices", **Neuro Computing,** Vol. ۱۵.

۲۰. Kwo, R.J(۲۰۰۱); "A Sales Forecasting System Based on Fuzzy Neural Network With Initial Weight Generated by Genetic Algorithm", **European Journal of Operational Reserch,** ۱۲۰, pp. ۴۹۶- ۵۱۷.

۲۱. Lapdes, A. and R. Farber (۱۹۸۷); Non Linear Signal Processing Using N.N: Prediction and System Modeling: Los Alamos National lab, Technical Report, LA- UR- ۸۷-۲۶۶۶۲.

۲۲. Makradiks, S.A. and A.Winkler (۱۹۸۶); "Average of Forecasts: Some Empirical Results", **Management Science,** No. ۲۹, pp.۹۸۷-۹۹۶.

۲۳. Render, B. and j.Heizer (۱۹۹۳); **Principle of Operations Management,** Allyn and Bocon, p.۲۵.

۲۴. Sharda, R.(۱۹۹۴); **N.N for the Ms/OR Analysis: An Application Bibiography Interfaces,** V(۲۴), pp. ۱۱۶-۱۳۰.

۲۵. Trapson, P., (۱۹۹۰); "An MSE Statistic for Comparing Forecast Accuracy Across Series", **Int. Journal of forecasting,** ۶, pp. ۲۱۹-۲۲۷.

۲۶. Wang, G.and Leu, J. (۱۹۹۶); **Stock Market Trend Prediction Using ARIMA Based Neural Networks,** IEEE.

۲۷. Zhang, G. and Pattuwo E.B.,(۱۹۹۸); "Forecasting With Artifitial Networks: the State of the Art", **International Journal of Forecasting,** Vol. ۱۴, pp.۳۵-۶۲.

۲۸. Zhang, G., Pattuwo, E.B., and Hu, M.Y. (۲۰۰۱); "A Simulation Study of Artificial Neural Networks for Nonlinear Time Series Forecasting", **Computers & Operation Research,** Vol.۲۸, pp.۳۸۱-۳۹۶.

۲۹. Zhang, G.P. (۲۰۰۱); **Time Series Forecasting Using a Hybrid ARIMA and Neural Network Model,** Neurocomputing, Unpublished Press, November.