

## پیش‌بینی قیمت زنجیره محصولات با استفاده از سیستم مبتنی بر شبکه‌های عصبی

الناز ایقانی اردبیلی<sup>1</sup>، محمد منصور ریاحی کاشانی<sup>2\*</sup>، احمد آقامحمدی<sup>3</sup>

- 1- دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال، تهران، ایران
- 2- استادیار، گروه مهندسی کامپیوتر، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال، تهران، ایران
- 3- مربی، گروه مدیریت، دانشگاه جامع علمی کاربردی بیمه ایران، تهران، ایران

پذیرش: 1394/5/7

دریافت: 1393/9/12

### چکیده

نبود پیش‌بینی ساختارمند در خصوص محصول پرکاربرد پلی اتیلن ترفتالات، شرکت صنایع پتروشیمی را بر آن داشته است که پیش‌بینی‌های قیمت را از شرکت‌های خارجی خریداری کند. جلوگیری از خروج ارز و تحمل عوامل سیاسی مانند تحریم‌ها در این حوزه نیازمند پیش‌بینی علمی قیمت‌ها در داخل است. محققان ناچار هستند به دلیل ماهیت زنجیره‌وار و نیز اطلاع نداشتن از میزان تأثیر عوامل متعدد مؤثر بر قیمت به منظور پیش‌بینی، مسائلی با پیچیدگی زیاد و معادلاتی با درجه بالا را حل کنند. انتخاب تعداد و نوع متغیرهای ورودی شبکه عصبی تأثیر بسزایی در کارایی سیستم دارد، از این رو از روش تحلیل بنیادین با تکیه بر تئوری عرضه - تقاضا و نگرش کلان اقتصادی و روش آماری دلفی برای انتخاب عواملی با اثرگذاری بیشتر بر قیمت استفاده شده است. نخست با استفاده از متغیرهای کنترل شده، توپولوژی کلی شبکه عصبی طراحی شد. سپس با در نظر گرفتن متغیرهای مستقل، مانند تعداد لایه‌های پنهان و تعداد نرون‌ها و بررسی تأثیر آنها بر کارایی عملکرد شبکه عصبی، شبکه بهینه انتخاب شد. از معیارهای میانگین مربعات خطا و ضریب تعیین به عنوان متغیرهای وابسته استفاده شده است.



بعد از ایجاد رابط کاربری، ارتباط سیستم با شبکه عصبی بهینه برقرار شد. به منظور بررسی عملکرد سیستم، قیمت واقعی محصول مدنظر در سال مرجع با قیمت پیش‌بینی شده به وسیله سیستم پیشنهادی و قیمت خریداری شده از شرکت سی‌ام‌ای‌آی مورد مقایسه قرار گرفت و نتایج، کارآیی قابل قبول سیستم پیشنهادی را با میانگین خطای کمتر از 3 درصد در پیش‌بینی قیمت زنجیره مد نظر اثبات کرد. این سیستم می‌تواند صنایع پتروشیمی را از خرید اطلاعات پیش‌بینی قیمت از شرکت‌های خارجی بی‌نیاز سازد.

**واژه‌های کلیدی:** مدل‌های پیش‌بینی قیمت، شبکه‌های عصبی، محصولات پتروشیمی.

## 1- مقدمه

به دنبال پیشرفت‌هایی که در سال‌های اخیر و در زمینه رایانه و هوش مصنوعی پدید آمد، فعالیت‌هایی به منظور پیش‌بینی قیمت در بورس اوراق بهادار، فلزات گرانبها و ... در کشورهای مختلف صورت گرفت. اما تاکنون پیش‌بینی ساختارمندی درخصوص محصولات پتروشیمی و به طور خاص محصول پرکاربرد پلی‌اتیلن ترفتالات - که از المان‌های اصلی در صنایع مختلفی از جمله نظامی و دفاعی، نساجی، خودروسازی و ... برشمرده می‌شود - بکار گرفته نشده است. این مسئله شرکت صنایع پتروشیمی را بر آن داشته است که مانند بسیاری از کشورهای تولیدکننده و مصرف‌کننده این محصولات، اطلاعات و پیش‌بینی‌ها را از شرکت‌های معتبر خارجی مانند شرکت سی‌ام‌ای‌آی خریداری کنند. با توجه به موانع ناشی از تحریم‌ها، نیاز به واسطه‌گری چندین کشور و همچنین خروج چندین برابری ارز از ایران، پیش‌بینی علمی قیمت این محصول در داخل امری ضروری به نظر می‌رسد.

به طور کلی پیشینه‌ای درخصوص سیستمی که بتواند پیش‌بینی مورد بحث را به انجام برساند، وجود ندارد؛ زیرا که به طور اساسی در ایران پیش‌بینی در این حوزه صورت نمی‌گیرد و اطلاعات مورد نیاز صرفاً خریداری می‌شود. از سوی دیگر، از دیدگاه شرکت‌های فروشنده، تکنولوژی این پیش‌بینی‌ها، تکنولوژی بومی و حتی محرمانه در نظر گرفته می‌شود و به طور طبیعی به دلیل اهمیت آن به عنوان یکی از منابع تأمین مالی و سودآوری، به صورت علمی در اختیار سایر محققان قرار نمی‌گیرد.



مرور پژوهش‌های انجام شده در گذشته نشان می‌دهد که در بسیاری از موارد استفاده از شبکه‌های عصبی در حوزه پیش‌بینی رضایت‌بخش بوده است. از جمله کاربردها می‌توان به پیش‌بینی فرآیند بازار ارز [1]، پیش‌بینی نتایج مذاکرات تجاری [2]، هزینه‌های مربوط به ساخت‌وساز [3]، پیش‌بینی بازار سهام [4]، پیش‌بینی وضعیت تغییرات آب و هوا [5]، پیش‌بینی درجه حرارت [6]، پیش‌بینی میزان مرگ‌ومیر [7]، پیش‌بینی قیمت آمونیاک [8] و نفت خام [9: 10] اشاره نمود. اما معماری شبکه، تعداد نرون‌ها، تعداد و نوع پارامترهای ورودی و تعداد لایه‌های پنهان عواملی هستند که بین حوزه‌های کاربردی مختلف، متفاوت هستند و از آن جایی که انتخاب درست یا نادرست آنها تأثیر بسزایی در عملکرد و کارایی شبکه خواهد داشت، لازم است به طور اختصاصی و براساس مسئله به دقت مورد بررسی قرار گیرند.

محصولاتی که در شرکت صنایع پتروشیمی تولید می‌شوند، اغلب خود به عنوان ماده اولیه (خوراک) برای سایر محصولات مورد استفاده قرار می‌گیرند و در مجموع زنجیره یک محصول، مانند زنجیره پلی‌اتیلن ترفتالات<sup>1</sup> را تشکیل می‌دهند. بدیهی است پیش‌بینی قیمت پلی‌اتیلن ترفتالات نیازمند پیش‌بینی هریک از حلقه‌های زنجیره مذکور است؛ از طرفی قیمت هریک از این حلقه‌ها به عوامل مختلفی وابسته است. به دلیل ماهیت زنجیره‌وار محصولات پتروشیمی و نیز اطلاع نداشتن دقیق از میزان تأثیر عوامل متعدد مؤثر بر قیمت، محققان ناچار هستند به منظور پیش‌بینی قیمت مسائلی را با پیچیدگی زیاد و معادلاتی با درجه بالا حل کنند. از ویژگی‌های برتر شبکه‌های عصبی می‌توان به قابلیت آن در یادگیری تطبیقی و تشخیص انواع الگوهای موجود در داده‌ها، مدل کردن فرآیندهای آشوبی و تحمل بی‌نظمی داده‌ها، حل معادلات غیر خطی و برخورد با توابع پیچیده و کارکرد موازی و قابلیت تعمیم آن اشاره کرد. با توجه به این ویژگی‌ها در سیستم پیشنهادی، از شبکه عصبی استفاده شده است. در واقع شبکه عصبی مجموعه عوامل مؤثر بر قیمت و میانگین سالیانه قیمت محصولات زنجیره را به عنوان ورودی دریافت می‌کند و از این طریق شبکه آموزش می‌بیند. سپس شبکه اطلاعات ورودی سال جدید را دریافت کرده و با استنتاج از قواعد تشکیل یافته، قیمت پیش‌بینی شده را ارائه می‌دهد. در نبود این سیستم فرد خبره ناچار است خود میزان تأثیر عوامل مختلف مؤثر بر قیمت را بسنجد، این درحالی است که میزان تأثیر این عوامل به طور

1. Polyethylene Terephthalate



مشخص قابل بیان نیست، ضمن اینکه در حال حاضر به طور کلی هیچ سیستمی برای پیش‌بینی قیمت وجود ندارد. بنابراین ارائه سیستمی که بتواند این پیش‌بینی را با دقت قابل قبول ارائه دهد، می‌تواند کشور را در این حوزه خودکفا کرده و از خروج ارز جلوگیری نماید. همچنین می‌توان از ساختار آن در پیش‌بینی قیمت تمام محصولات پتروشیمی نیز استفاده کرد. ضمن اینکه ارائه سیستم تجاری مبتنی بر سیستم پیشنهادی می‌تواند راه‌حلی برای ورود ارز از کشورهای منطقه به ایران باشد. در بخش‌های آینده، روش طراحی این سیستم بیان خواهد شد.

## 2- شبکه عصبی در حوزه پیش‌بینی سری زمانی

پیش‌بینی رفتار سیستم‌های پیچیده، یکی از کاربردهای گسترده شبکه‌های عصبی است. از این رو بررسی جامعی از مقالات تخصصی در حوزه شبکه‌های عصبی مصنوعی و مقایسه عملکرد آنها در پیش‌بینی صورت گرفته است [11]. نتایج نشان داده است که شبکه پیشخور چند لایه در بیش از 40 درصد موارد بهتر از رقبای خود عمل کرده‌اند. در واقع اغلب رویکردهای شبکه عصبی برای مسئله پیش‌بینی، یک شبکه پیشخور چندلایه را که با استفاده از الگوریتم پس انتشار خطا آموزش داده شده است، بکار می‌برند [10]. با توجه به بررسی‌های صورت گرفته در راستای انجام این پژوهش، امکان عملکرد شبکه‌های عصبی روی تغییر شبکه و همچنین تغییر نتایج بسیار زیاد می‌باشد، اما در بسیاری از مدل‌های دیگر پیش‌بینی مانند رگرسیون، تنها با تغییر تعداد متغیرها می‌توان نتایج پیش‌بینی را بهبود بخشید [1؛ 6؛ 11]. در فرآیند پیش‌بینی به‌وسیله شبکه عصبی، اغلب از سری زمانی استفاده می‌شود، به این صورت که مجموعه‌ای از داده‌های تاریخی به عنوان بردار ورودی و بردار هدف به شبکه داده می‌شود و شبکه عصبی ارتباط بین این دو بردار را تخمین می‌زند. تعداد این بردارها و در واقع انتخاب بازه زمانی عاملی تعیین‌کننده در کارایی شبکه می‌باشد. پس از پایان تخمین روابط، و پایان وزندهی، آموزش شبکه صورت گرفته و عمل برون‌یابی برای آینده انجام می‌گیرد. در طول این مراحل توابعی به عنوان تابع عملکرد شبکه مدنظر قرار گرفته می‌شوند که در واقع توابعی مبتنی بر خطای برون‌یابی هستند. در بخش‌های بعدی در خصوص تابع عملکرد بیشتر توضیح داده خواهد شد.



### 3- متغیرهای سیستم

به طور کلی در این پژوهش، سه نوع متغیر در نظر گرفته شده است. این متغیرها در روند اجرای پژوهش مقداردهی می‌شوند:

● متغیرهایی که در طول آزمایش ثابت نگه داشته می‌شوند و با نام «متغیرهای کنترل شده»<sup>1</sup> معرفی می‌شوند.

- تعداد عصب‌های شبکه عصبی که در واقع تعداد عناصر زنجیره پلی‌اتیلن ترفتالات می‌باشند.

- تعداد نرون‌های ورودی که در واقع تعداد عوامل مؤثر بر قیمت می‌باشند.

- تعداد نرون‌های خروجی که در واقع قیمت پیش‌بینی شده می‌باشد.

● متغیری که به عمد و هدفمند آن را تغییر می‌دهیم و تأثیر تغییر آن را روی سیستم بررسی می‌کنیم؛ این متغیرها با عنوان «متغیر مستقل»<sup>2</sup> معرفی می‌شوند.

- تعداد نرون‌ها در لایه پنهان شبکه عصبی که براساس مرور پژوهش‌های گذشته معمولاً

5-20 برابر تعداد متغیرهای ورودی آن در نظر گرفته می‌باشد.

- تعداد لایه‌های پنهان شبکه عصبی

- تابع یادگیری و محرک

● بعد از تغییر دادن میزان متغیر مستقل، لازم است تغییرات مشاهده شده وابسته در «متغیر وابسته»<sup>3</sup> را مد نظر قرار داد و سپس در مورد نحوه اندازه‌گیری تغییرات به تصمیم‌گیری پرداخت.

- ضریب تعیین<sup>4</sup>

- میانگین مربعات خطا<sup>5</sup>

در این پژوهش، در میان متغیرهای کنترل شده، برای دستیابی به تعداد عوامل مؤثر بر قیمت (تعداد نرون‌های ورودی شبکه) از روش تحلیل بنیادین با تکیه بر تئوری عرضه و تقاضا و نگرش کلان اقتصادی، استفاده شده است. از آنجایی که انتخاب تعداد و نوع نرون‌های ورودی

1. Controlled Variables

2. Independent Variable

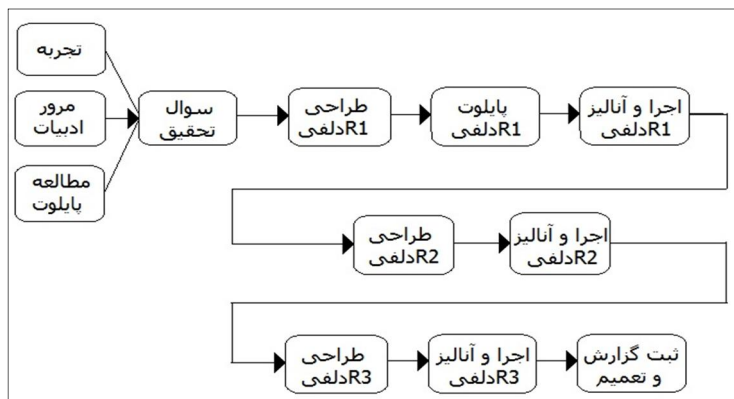
3. Dependent Variable

4. R<sup>2</sup>

5. MSE



شبکه عصبی تأثیر بسزایی در کارایی سیستم خواهد داشت، از روش آماری دلفی<sup>1</sup> برای انتخاب عواملی با اثرگذاری بیشتر بر قیمت محصولات پتروشیمی استفاده شده است [12]. دلفی پنل استفاده شده شامل سه دور<sup>2</sup> (مرحله) طراحی شده است [13]. نمودار 1 این پنل را نمایش می‌دهد. در این پژوهش پس از مشورت با واحد تحقیقات بازار شرکت ملی صنایع پتروشیمی، عوامل مؤثر بر قیمت، شناسایی و پرسشنامه مربوطه آن طراحی شد. سپس این پرسشنامه تحت پیش‌پردازش قرار گرفت. در آغاز 15 متغیر به عنوان عوامل تأثیرگذار بر پیش‌بینی قیمت معرفی شدند و پس از اجرای مرحله اول هشت متغیر حذف شدند. مرحله دوم آزمون با هفت متغیر باقیمانده اجرا شد و پس از جمع‌آوری پرسشنامه‌ها دو متغیر دیگر حذف شد. در نهایت پنج متغیر ظرفیت عرضه<sup>3</sup>، تقاضا<sup>4</sup>، میزان تولید<sup>5</sup>، قیمت خوراک<sup>6</sup> و میزان رشد اقتصادی جهان<sup>7</sup> به عنوان عوامل مؤثر بر قیمت محصولات پتروشیمی در نظر گرفته شد. نفتا خوراک اصلی است و درصدی از آن به پارازیلین سپس به پلی‌ترفتالیک اسید و در نهایت به پلی‌اتیلن ترفتالات تبدیل می‌شود. به این شکل زنجیره شکل می‌گیرد [14]. بنابراین تعداد حلقه‌های زنجیره، یعنی تعداد عصب‌های شبکه سه عدد می‌باشد.



نمودار 1 دلفی پنل استفاده شده

1. Delphi
2. Round
3. Capacity
4. Demand
5. Production
6. Feed Price
7. GDP



برآورد پارامترها در یک شبکه عصبی، از راه روش آزمون و خطا و تکرار آزمایش‌ها میسر است. به دلیل نحوه مقداردهی اولیه در هر بار تکرار آزمایش ممکن است نتایج متفاوتی به دست آید. بنابراین تعداد تکرار آزمایش‌ها برای به دست آوردن یک شبکه ایده‌آل بستگی به حوصله محقق دارد [10]. در این پژوهش برای هر محصول حداقل 30 مرتبه آزمایش تکرار شده است و میانگین معیارهای عملکرد به عنوان نتیجه نهایی یک مرتبه آزمایش در نظر گرفته شده است. بعد از تکرار آزمایشات در هر محصول و توجه به تغییرات متغیرهای وابسته، در نهایت مقادیر قابل قبول متغیرهای مستقل انتخاب شده‌اند.

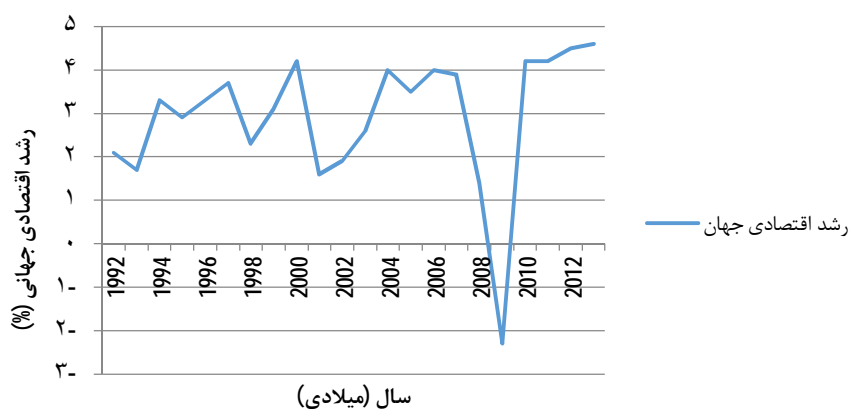
#### 4- داده‌ها

داده‌ها، شامل دو بخش فنی و بنیادین می‌باشد. داده‌های فنی همان قیمت عناصر زنجیره پلی اتیلن ترفتالات است. از جمله داده‌های بنیادین می‌توان به روند رشد اقتصاد جهانی اشاره کرد که از واحد اطلاع‌رسانی بانک جهانی تهیه شده است. در این پژوهش از داده‌های واقعی سال 1992 تا 2012 استفاده شده است. اطلاعات 20 ساله هر محصول به عنوان داده‌های آموزش و تست (به صورت تصادفی) داخل شبکه می‌شوند. اطلاعات پیش از سال 1992 در شرکت صنایع پتروشیمی موجود نیست. از سوی دیگر با توجه به نتایج تست شبکه، سیستم با در نظر گرفتن حجم داده کمتر، به دلیل کاهش داده‌های آموزشی، دچار افت کارایی می‌شود. از میانگین سالیانه مقادیر هر متغیر در این سیستم استفاده شده است، اطلاعات ماهانه چندان متأثر از متغیرهای بنیادین (ساختاری) نیستند و استفاده از آنها تنها باعث افزونگی داده‌ها و کاهش کارایی سیستم می‌شود [8]. این اطلاعات از سوی شرکت صنایع پتروشیمی محرمانه تلقی می‌شوند، به این ترتیب از ذکر اطلاعات اجتناب خواهد شد. جدول 1، 12 داده آخر ورودی سیستم را نشان می‌دهد (محصول پارازایلین) نمودار 2 روند رشد اقتصادی جهان [15]، نمودارهای 3، 4، 5 و 6 به ترتیب نوسانات قیمت نفتا، پارازایلین، پلی ترفتالیک اسید و پلی-اتیلن ترفتالات از سال‌های 1992 تا 2013 را نمایش می‌دهند.



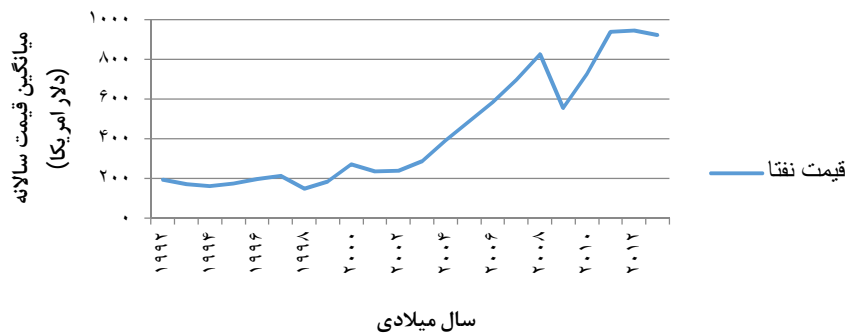
جدول 1 بخشی از داده‌های آموزشی محصول پارازیلین

بردار هدف	بردار ورودی					سال
	قیمت محصول	قیمت خوراک (نفثا)	رشد اقتصادی جهان	ظرفیت تولید	تقاضا	
462	235/87	1/6	8/647	8/186	9/924	2001
464/58	236/70	1/9	9/043	8/695	9/924	2002
570/42	258/11	2/6	9/444	10/067	10/524	2003
770/42	388/67	4	10/292	10/780	10/949	2004
889/04	4886/69	3/5	11/236	12/123	11/314	2005
1077/05	75/582	4	12/002	12/733	12/431	2006
1100	695/77	3/9	13/278	14/298	13/637	2007
1118/75	825/30	1/4	12/727	13/951	14/454	2008
913/58	553/51	-2/3	13/904	15/465	16/513	2009
1037/08	723/87	4/2	15/619	17/492	17/953	2010
1541/08	938/27	4/2	16/236	18/830	19/288	2011
1490/29	13/943	4/5	17/621	19/801	20/029	2012

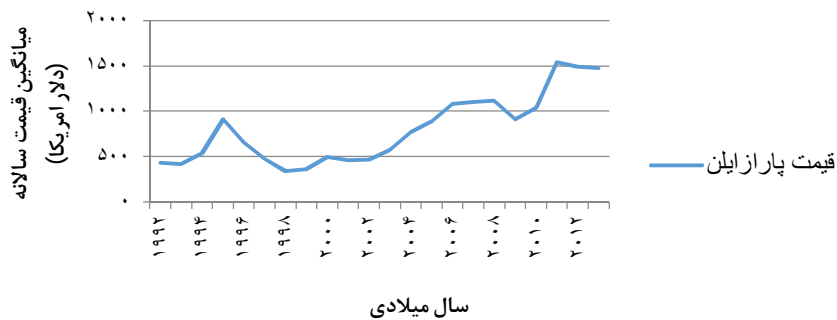


نمودار 2 روند رشد اقتصادی جهان

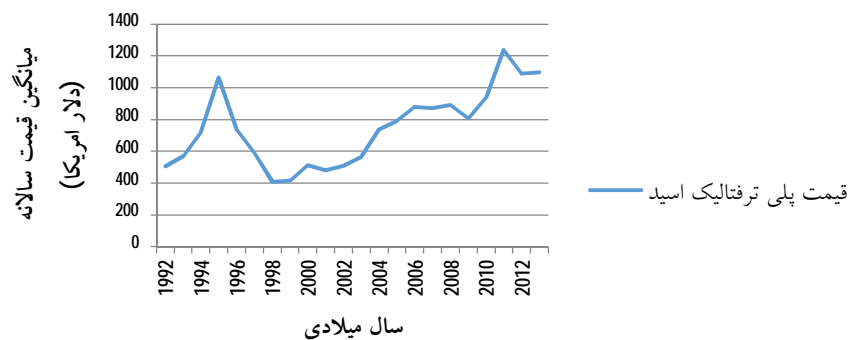




نمودار 3 نوسان‌های قیمت نفتا



نمودار 4 نوسان‌های قیمت پارازایلین



نمودار 5 نوسان‌های قیمت ترفتالیک اسید



نمودار 6 نوسان‌های قیمت پلی‌اتیلن ترفتالات

## 5- معیارهای عملکرد

ضریب تعیین، میانگین مربعات خطا، مجموع مربعات خطا<sup>1</sup>، میانگین مطلق خطا<sup>2</sup> و درصد میانگین مطلق خطا<sup>3</sup> را می‌توان به عنوان نمونه‌هایی از معیارهای عملکرد پرکاربرد نام برد. هیچ اجماع کلی روی بهترین معیار عملکرد، جهت ارزیابی مدل پیش‌بینی وجود ندارد [16]. مهم‌ترین معیار عملکرد شبکه عصبی، معیاری است که عملکرد آن براساس دقت خروجی‌های شبکه تعیین شود، گاهی به‌واسطه محدودیت‌های یک معیار منفرد، محققان از چند معیار عملکرد استفاده می‌کنند. این معیارها اندازه خطای شبکه را نشان می‌دهند [17؛ 18؛ 19].

## 6- طراحی مدل شبکه عصبی برای بکارگیری در سیستم خبره

### پیش‌بینی قیمت

برآورد پارامترها در یک شبکه عصبی، از طریق روش آزمون و خطا و تکرار آزمایش‌ها میسر است. به دلیل نحوه مقاداردهی اولیه در هر بار تکرار آزمایش ممکن است نتایج متفاوتی به

<sup>1</sup> SSE  
<sup>2</sup> MAE  
<sup>3</sup> MAPE



دست آید. بنابراین تعداد تکرار آزمایش‌ها برای به دست آوردن یک شبکه ایده‌آل بستگی به حوصله محقق دارد [10]. در این پژوهش برای هر محصول حداقل 30 مرتبه آزمایش تکرار شده است و میانگین معیارهای عملکرد به عنوان نتیجه نهایی یک مرتبه آزمایش در نظر گرفته شده است. برای طراحی شبکه عصبی و برآورد پارامترها و تحلیل داده‌ها، کارایی نرم‌افزارهای موجود مورد بررسی قرار گرفت. با بررسی جوانب مختلف و نقاط ضعف و قوت نه نرم‌افزار متداول، در نهایت نرم‌افزار متلب<sup>1</sup> انتخاب شد.

### 6-1- انتخاب بهترین تابع عملکرد

در [18؛ 20] از تابع عملکرد میانگین مجموع مربعات خطا (رابطه 1) به عنوان یکی از بهترین توابع عملکرد استفاده می‌شود. در صورتی که مجموع مربعات خطا به تعداد مشاهدات تقسیم شود، متوسط میزان خطا به ازای مشاهدات به دست خواهد آمد.

$$MSE = \frac{SSE}{n} = \frac{\sum (y_t - \hat{y}_t)^2}{n} = \frac{\sum e_t^2}{n} \quad (1)$$

در این پژوهش نیز از تابع عملکرد میانگین مجموع مربعات خطا و نیز معیار ضریب تعیین برای بررسی عملکرد شبکه عصبی با استفاده از داده‌ها و پارامترها استفاده شده است. معیار ضریب تعیین که محدوده بین صفر و یک دارد، تعیین می‌کند که چه مقدار از پراکندگی داده‌ها به وسیله مدل توضیح داده می‌شود و در واقع میزان انطباق مدل را مشخص می‌کند. هر چه مقادیر متناظر در دو مجموعه خروجی و هدف به هم نزدیک‌تر باشند، این معیار به مقدار یک نزدیک‌تر خواهد شد.

### 6-2- پیش‌پردازش داده‌ها

در شبکه‌های عصبی قابلیت نرمال‌سازی اطلاعات میان بالاترین و پایین‌ترین دسته طبقه‌بندی شده وجود دارد. به منظور جلوگیری از کاهش سرعت و دقت شبکه ناشی از استفاده از داده‌های خام و

<sup>1</sup> Matlab R2014a



همچنین به منظور یکسان کردن ارزش داده‌ها برای شبکه، عمل نرمال‌سازی صورت می‌گیرد [21]؛ [22]. عمل نرمال‌سازی مانع از کوچک شدن بیش از حد وزن‌ها و سبب جلوگیری از اشباع زود هنگام نرون‌ها می‌شود. به طور معمول برای نرمال‌سازی از رابطه 2 استفاده می‌شود.

$$x_{normal} = \frac{(x - x_{min})}{(x_{max} - x_{min})} \quad (2)$$

### 6-3- نسبت داده‌های آزمون و آزمایش

به طور معمول داده‌های سری زمانی به دو بخش داده‌های آموزش [ورودی، خروجی هدف] و داده‌های آزمایش تقسیم می‌شوند. پس از آموزش، مجموعه آزمایش به منظور بررسی میزان یادگیری به وسیله شبکه مورد استفاده قرار گرفته و با مقایسه مقادیر واقعی با پاسخ مدل، کارایی ارزیابی می‌شود. برای آموزش صحیح شبکه و جلوگیری از بروز مشکلاتی از قبیل اشباع شدن شبکه و وجود وزن‌های بی‌معنی، باید حجم مناسبی از داده‌ها را به مراحل اصلی شبکه اختصاص داد. به این منظور اغلب اختصاص داده‌ها به این دو مجموعه به یکی از نسبت‌های 90%-10%، 80%-20%، 75%-15% و 70%-30% انجام می‌شود [23]. در شبکه پیشنهادی از بین انواع متداول تقسیم‌بندی داده‌ها، 80 درصد داده‌ها به طور تصادفی به فرآیند آموزش و بقیه به آزمون شبکه اختصاص پیدا کرد.

### 6-4- الگوریتم آموزش شبکه

این شبکه از الگوریتم پس انتشار خطا برای آموزش استفاده می‌کند. فرآیند یادگیری در شبکه‌های عصبی معادل با کاهش خطا است. در این پژوهش توابع یادگیری مختلف آزمایش شد که در نهایت تابع لونیبرگ - مارکوآت - که با استفاده از آن این شبکه بهترین عملکرد و کمترین خطا را به دست آورد - انتخاب شد.

### 6-5- تأثیر توابع تحریک مختلف بر عملکرد شبکه

با توجه نوع مسأله و کاربرد آن و نیز سوابق موضوع، تأثیر استفاده از توابع سیگموئید، تانژانت هیپربولیک و خطی بررسی شد. استفاده از توابع تبدیل سیگموئید و تانژانت هیپربولیک در لایه



پنهان سبب تثبیت خروجی نرون‌های این لایه در بین محدوده‌های معین صقر تا یک، و منفی یک تا مثبت یک می‌شود. در نتیجه با جلوگیری از تولید مقادیر بسیار بزرگ، از شکست فرآیند آموزش جلوگیری خواهد شد. در نتیجه تاثرات سیگموئید به عنوان محرک مورد استفاده قرار گرفت.

### 6-6- تعداد لایه‌ها و نرون‌های شبکه

با افزوده شدن تعداد لایه‌ها، سرعت شبکه کاهش پیدا می‌کند. براساس قضیه کولموگروف<sup>1</sup>، هر شبکه عصبی پیش‌خور چند لایه با یک لایه مخفی سیگموئیدی و یک لایه خروجی قادر به تخمین هر نگاشت پیچیده‌ای خواهد بود، مشروط بر اینکه در انتخاب تعداد نرون‌های لایه مخفی دقت کافی به عمل آید [24]. تعیین تعداد نرون‌های لایه پنهان بر عملکرد شبکه تأثیر به‌سزایی دارد. بنابراین تعداد نرون‌های لایه مخفی، نسبتی از تعداد ورودی‌ها انتخاب می‌شود. اگر شبکه به جواب مطلوب همگرا نگردد، تعداد نرون‌های مخفی را افزایش می‌دهیم، در غیر این صورت تعداد نرون‌های مخفی کمتری را مورد آزمایش قرار می‌دهیم. در نهایت روی یک اندازه مناسب براساس عملکرد کلی سیستم توافق می‌شود. تعداد نرون‌ها در لایه پنهان از پنج تا 20 برابر تعداد متغیرهای ورودی تغییر داده شد تا یک شبکه بهینه با یک لایه مخفی و تعداد 48 نرون در لایه پنهان طراحی شود.

### 6-7- شبکه عصبی نهایی

جدول 2 خلاصه‌ای از ویژگی‌های شبکه عصبی نهایی را نشان می‌دهد. با توجه به مقادیر ذکر شده برای پارامترها، خروجی مجموعه‌های آموزش و ارزیابی به خوبی بر بردارهای هدف منطبق شد (شکل 1). برای محصول پلی‌اتیلن ترفتالات، مقدار ضریب تعیین برابر با یک به دست آمده است. همچنین کاهش مقدار میانگین مجموع مربعات خطا به این معنا است که داده‌ها به خوبی آموزش دیده‌اند (شکل 2).

---

1. Kolmogorov's Theorem

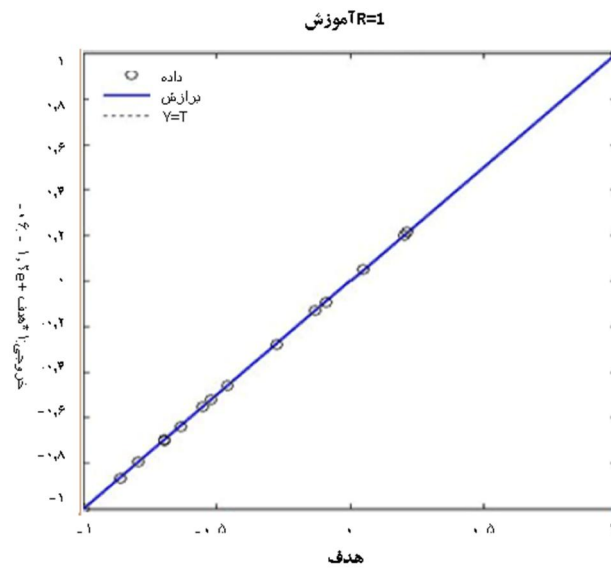


## 7- استفاده از شبکه عصبی در سیستم طراحی شده

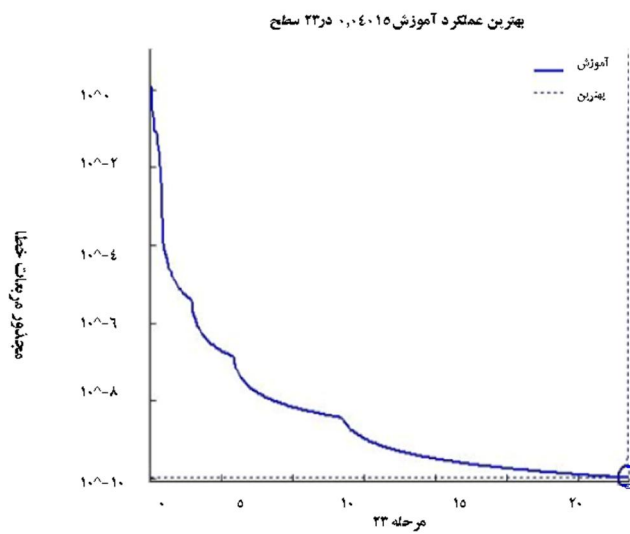
بعد از تعیین مقادیر متغیرهای کنترل شده، مستقل و وابسته به طریقی که توضیح داده شد، پس از آموزش شبکه، رابط کاربری توسط زبان سی شارپ به منظور ارتباط کاربر خبره با سیستم طراحی شد که در آن مقادیر عرضه، تقاضا، قیمت خوراک، ظرفیت تولید و رشد اقتصادی جهان را به عنوان متغیرهای ورودی در سه زبانه<sup>1</sup> مجزا و برای سه محصول مختلف گرفته و قیمت پیش‌بینی شده با توجه به داده‌های ورودی را نمایش می‌دهد. سپس ارتباط بین دو سیستم برقرار شد و شبکه عصبی برای بکارگیری به منظور استنتاج مورد استفاده قرار گرفت. شکل 3 شبکه عصبی طراحی شده را به منظور بکارگیری جهت پیش‌بینی قیمت زنجیره محصول در این سیستم نشان می‌دهد.

جدول 2 مقادیر پارامترهای شبکه عصبی

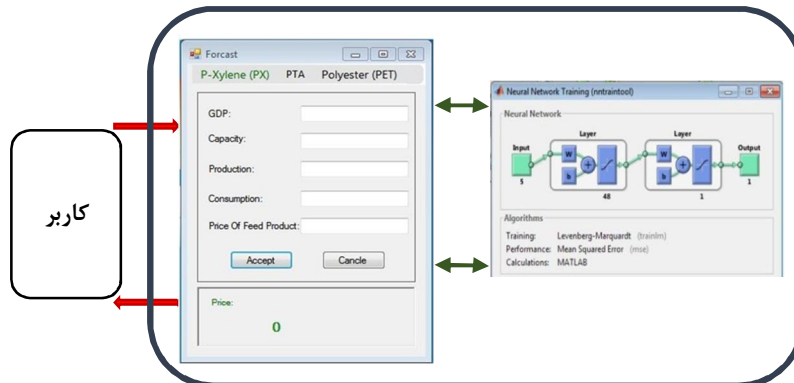
مقدار	پارامتر	مقدار	پارامتر
3	تعداد عناصر زنجیره	پیش‌خور چند لایه	نوع شبکه عصبی
1	تعداد لایه‌های ورودی	لونبرگ - مارکوات	الگوریتم یادگیری
5	تعداد نرون‌های لایه ورودی	تانژانت سیگموئید	تابع محرک
1	تعداد لایه‌های میانی	میانگین مجموع مربعات خطا و ضریب تعیین	توابع عملکرد
48	تعداد نرون‌های لایه میانی	5	تعداد عوامل مؤثر بر قیمت
1	تعداد لایه‌های خروجی	20	بازه سری زمانی (سال)
1	تعداد نرون‌های لایه خروجی	30	تعداد تکرار آزمایشات



شکل 1 ضریب تعیین



شکل 2 کاهش میانگین مجموع مربعات خطا



شکل 3 ارتباط اجزای سیستم طراحی شده متناسب با ساختار سیستم خبره

## 8- آزمون سیستم

پس از آموزش شبکه، نخست براساس جدول 3، داده‌های واقعی سال 2013 به سیستم وارد و پیش‌بینی قیمت محصول مدنظر برای این سال انجام شد. با توجه به اینکه هر محصول خوراک محصول دیگر است، پیش‌بینی قیمت زنجیره‌وار ادامه پیدا می‌کند. جایگزین کردن سیستم پیشنهادی منوط به عملکرد قابل قبول آن، نسبت به سیستم موجود است.

جدول 3 بخشی از داده‌های آموزشی محصول پارازیلن

بردار ورودی					
سال	عرضه	تقاضا	ظرفیت تولید	رشد اقتصادی جهان	قیمت خوراک (نفثا)
2013	22/676	21/185	18/365	4/60	52/921

جدول 4 پیش‌بینی قیمت سیستم پیشنهادی، قیمت واقعی و سیستم موجود فعلی و اختلاف مقادیر آنها را در سال 2013 نشان می‌دهد. در این جدول منظور از سیستم موجود، اطلاعات خریداری شده از شرکت سی.ام.ای.آی می‌باشد. در ارزیابی این سیستم از میانگین قدرمطلق درصد خطا به همراه ضریب تعیین و میزان خطا<sup>1</sup> استفاده شده است. این معیار پراستفاده‌ترین معیار بدون واحد است.

1. E





جدول 4 مقایسه پیش‌بینی قیمت زنجیره پلی‌اتیلن ترفتالات توسط سیستم پیشنهادی با قیمت واقعی

و سیستم موجود

محصول	قیمت واقعی (دلار آمریکا در تن)	قیمت پیش‌بینی شده به وسیله سیستم پیشنهادی (دلار آمریکا در تن)	قیمت پیش‌بینی شده به وسیله سیستم موجود (دلار آمریکا در تن)
پاراایلن	1565	1541	1476
ترفتالیک اسید	1245	1274	1072
پلی‌اتیلن ترفتالات	1557	1598	1397

## 9- نتیجه‌گیری

افزایش ضریب تعیین و کاهش خطا و میانگین قدرمطلق درصد خطا بیانگر بهبود عملکرد شبکه است. مقادیر خطا و میانگین قدرمطلق درصد خطا در مدل پیشنهادی نسبت به مدل موجود کمتر است. این امر بیانگر صحت عملکرد مدل پیشنهادی می‌باشد. براساس مقادیر به دست آمده میانگین قدر مطلق درصد خطا در روش پیشنهادی درصد خطای سیستم کمتر از 3 درصد بوده است و بر این اساس، عملکرد سیستم بیش از 97 درصد صحت دارد. در حالی که در عملکرد سی.ام.ای.آی، کارایی کمتری مشاهده می‌شود.

جدول 5 بیانگر عملکرد قابل قبول سیستم پیشنهادی در سال 2013، نسبت به سیستم موجود است. براساس اصل استقرا انتظار می‌رود این سیستم بتواند کارایی قابل قبولی را در کل روند پیش‌بینی (در سال‌های آینده) از خود نشان دهد و بتواند جایگزین مناسبی برای سیستم موجود و برطرف‌کننده مشکلات فعلی شرکت صنایع پتروشیمی ایران باشد.

جدول 5 ارزیابی عملکرد سیستم پیشنهادی در مقایسه با سیستم موجود

محصول	ضریب تعیین سیستم پیشنهادی	خطای سیستم پیشنهادی	خطای سیستم موجود	میانگین قدرمطلق درصد خطای سیستم پیشنهادی	میانگین قدرمطلق درصد خطای سیستم موجود
پاراایلن	0/984	24	89	1/53	5/68
ترفتالیک اسید	0/976	29	173	2/32	13/89
پلی‌اتیلن ترفتالات	0/973	41	160	2/63	10/2



## 10- پیشنهادها برای انجام پژوهش‌های آینده

به منظور دسترسی به بهترین و کارآترین سیستم تجاری قابل توسعه لازم است:

1. این سیستم مبتنی بر الگوریتم ژنتیک نیز طراحی شود و نتایج حاصل با نتایج سیستم پیشنهادی مورد مقایسه قرار گیرد.
  2. برای بهبود توانایی مدل‌های شبکه عصبی می‌توان از شبکه‌ها و الگوریتم‌های آموزش متفاوت استفاده کرد. برای نمونه لازم است تا از الگوریتم ژنتیک نیز برای بهینه کردن معماری شبکه (پارامترها، تعداد لایه‌های مخفی، تعداد نرون‌ها در لایه مخفی، تابع انتقال هر لایه) استفاده شود و نتایج حاصل با نتایج سیستم پیشنهادی مورد مقایسه قرار گیرد.
  3. از روش‌های ترکیبی منطق فازی با شبکه عصبی استفاده شود، نتایج حاصل با نتایج سیستم پیشنهادی مورد مقایسه قرار گیرد.
  4. نتایج حاصل از انواع روش‌های مورد مطالعه مذکور در بندهای قبل مورد مطالعه قرار گیرد و سیستم تجاری قابل استفاده شرکت ملی صنایع پتروشیمی با در نظر گرفتن پایگاه داده کامل راه‌اندازی شده و کشور به طور کامل در این حوزه خودکفا گردد.
- کاربرد مدل‌های شبکه عصبی در اقتصاد محدود به پیش بینی نمی‌شود و محققان می‌توانند برای الگوسازی، شناخت الگو و خوشه‌بندی نیز از کارایی شبکه‌های عصبی بهره‌مند شوند.

## 11- مراجع

- [1] Tiong D. L., Ngo Y. Lee; "Forex trading predication; Artificial Neural Network and Dynamic Time Warping Algorithms"; Proceedings of 4<sup>th</sup> International Conference on Computing and Informatics, 2013, pp. 92-99.
- [2] Moosmayer D., Chong A., Liu M., Schuppar B.; "A neural network approach to predicting price negotiation outcomes in business-to-business contexts"; Expert Systems with Applications, Vol. 40, 2013, pp. 3028-3035.
- [3] Amusan L., Mosaku T.; "Expert system based predictive cost model for building works: Neural network approach"; International Journal of Basic & Applied Sciences IJBAS-IJENS, Vol. 13:1, 2013, pp. 36-44.



- [4] Wang J. Z., Wang J. J., Zhang Z. G., Guo S. P.; "Forecasting stock indices with Back-Propagation Neural Network"; Expert Systems with Applications, Vol. 38:11, 2012, pp. 346-355.
- [5] Culclasure A.; "Using neural networks to provide local weather forecasts"; Electronic Theses & Dissertations, Georgia Southern University, 2013, p. 32.
- [6] Santhosh S., Shereef I.; "An efficient weather forecasting system using artificial neural network"; International Journal of Environmental Science and Development, Vol. 1:4, 2012, pp. 321-326.
- [7] فرج‌زاده م.، دارند م.؛ مقایسه روش‌های رگرسیون خطی و شبکه عصبی مصنوعی در پیش‌بینی میزان مرگ‌ومیر به عنوان تابعی از دمای هوا (مطالعه موردی: تهران)؛ مجله پژوهشی حکیم، دوره 12، شماره سه، 1390، صص 45-53.
- [8] مهرآرا م.، معینی ع.، احقراری م.، بهرامی ز.؛ پیش‌بینی قیمت آمونیاک با رویکرد تحلیل‌های بنیادین، تکنیکی و شبکه عصبی؛ فصلنامه اقتصاد مقداری، دوره 6، شماره 1، 1390، صص 51-57.
- [9] فرجام‌نیا ا.، ناصری م.، احمدی م.؛ پیش‌بینی قیمت نفت با شبکه عصبی مصنوعی؛ فصلنامه پژوهش‌های اقتصادی ایران، دوره نهم، شماره 32، 1389، صص 161-196.
- [10] امین ناصری م.، ر.، اصفهانیان م.؛ پیش‌بینی کوتاه‌مدت قیمت نفت خام با استفاده از شبکه عصبی پیشخور؛ نشریه بین‌المللی علوم مهندسی دانشگاه علم و صنعت ایران، دوره 1، شماره 19، 1389، صص 27-35.
- [11] Gomez E., Venegas F.; "A review of Artificial Neural Network: How well do they perform in forecasting time series?"; Journal of Statistical Analysis, Vol. 6, No. 2, 2013, pp. 7-15.
- [12] Dunham R.; "The Delphi technique"; www.medsch.wisc.edu/adminmed/2014/, 2014.06.14.
- [13] Chu H., Hwang G.; "A Delphi-based approach to developing expert systems"; Expert Systems with Applications, Vol. 34, No. 4, 2010, pp. 2826-40.
- [14] Smith K., Srivam P.; "Chemical economics handbook"; HIS, 2013.
- [15] <http://data.worldbank.org>, 2014.07.14.

- [16] Tkacz G.; “Neural network forecasting of Canadian GDP Growth”; International Journal of Forecasting, Vol. 17, 2003, pp.57-69.
- [17] Chi L. Feng. H, Ding L., “Integrating independent component analysis based denoising scheme with neural network for stock price prediction”; Advances in information Sciences and Services-AISS, Vol:4, No. 4, 2012, pp. 27-34.
- [18] Jian Da W.; “An expert system of price forecasting for used cars using adaptive neuro-fuzzy interference”; Expert system with Application, 2011, pp. 7809-7817.
- [19] Wang C. , Lin S., ”Using neural network for forecasting TXO price under different volatility models”, Expert System with Application, Vol. 39, No. 5, 2012, pp. 5025-32.
- [20] Jian W.; “Development of a predictive system for car fuel consumption using an artificial neural network”; Expert System with Application, Vol. 40, No. 5, 2013, pp. 4967-4971.
- [21] Wilson I.D., Ware S.D., Ware J.A.; “Residential property price time series forecasting with neural networks”; Knowledge-Based System, Vol. 15, 2004, pp. 335-346.
- [22] Atiya A. F., El-Shoura S. M., Shaheen S.I.; “A comparison between neural network forecasting techniques”; IEEE Transactions on Neural Networks, Vol. 10, No. 2, 2001, pp. 402-409.
- [23] Zhang G., Patuwo B., Hu M.; “Forecasting with artificial neural networks”; International Journal of Forecasting, Vol. 14, 2000, pp. 35-61.
- [24] Kurkova V., " Kolmogorov's theorem and multilayer neural networks", Neural Networks archive, Vol. 5, No. 3, 1992, pp. 501-506.