

## پیش بینی تقاضای گاز طبیعی بر مبنای مدلسازی با استفاده از روش شبکه‌های عصبی در منطقه گرم و خشک بر مبنای داده‌های هواشناسی

شعبان محمدی<sup>۱\*</sup>، صابر خان محمدی<sup>۲</sup>

### چکیده

نیاز به پیش بینی و الگویابی مصرف گاز به خصوص در فصول سرد سال جهت مدیریت مصرف و سیاست گذاری و برنامه ریزی امری ضروری می‌باشد. در بخش مصارف مسکونی و تجاری که بخش عمده‌ای از مصرف گاز در کشور را به خود اختصاص می‌دهد، تاثیرات متغیرهای هواشناسی بیشترین اثر را بر مصرف دارند. در این تحقیق چهار متغیر متوسط دمای روزانه ( $T_m$ )، متوسط رطوبت نسبی روزانه ( $\varphi$ )، ساعات آفتابی در روز ( $SN$ ) و متوسط سرعت باد ( $W$ ) برای پیش بینی مصرف در بازه زمانی کوتاه مدت استفاده شده است. نتایج برای سه شهر ایلام، ایوان و مهران به شکل معادلات چند جمله‌ای درجه دوم و بر حسب متغیرهای فوق به دست آمده است. نتایج نشان می‌دهد که سه مدل به دست آمده بر مبنای میانگین ریشه مربعات خطای نرمال شده به ترتیب دارای مقدار  $0/21$ ،  $0/112$  و  $0/123$  و همچنین ضریب تعیین به ترتیب  $0/8356$ ،  $0/8706$  و  $0/7936$  می‌باشند که مقدار مطلوبی می‌باشد.

تاریخ دریافت:

۱۳۹۶/۷/۴

تاریخ پذیرش:

۱۳۹۶/۱۱/۲

کلمات کلیدی:

داده‌های هواشناسی، پیش بینی، گروه بندی داده‌های عددی، مصرف گاز طبیعی

shoab\_270@yahoo.com

kashan - kh.saber@gmail.com

۱. محقق دانشگاه صنعتی کرمانشاه (نویسنده مسئول)

۲. کارشناسی ارشد دانشگاه کاشان

## ۱. مقدمه

گاز به عنوان یکی از مهمترین بخش‌های انرژی چه در کشور و چه در سطح جهانی، مطرح است. اهمیت این موضوع را می‌توان از استقبال روز افزون کشورها و دولت‌ها به تأمین انرژی خود از این سوخت در مقابل سوخت‌های سنتی همچون نفت دید. گاز طبیعی یکی از اصلی‌ترین منابع انرژی در کشور بوده و مزایای آن، مصرف این سوخت را در سال‌های اخیر به میزان زیادی افزایش داده است. از آن جایی که این سوخت اصلی‌ترین منبع انرژی در سید تامين انرژی به خصوص در مصارف خانگی و صنعتی می‌باشد، پیش بینی تقاضای گاز طبیعی در امر سیاست‌گذاری، برنامه‌ریزی و تدارک امکانات و زیر ساخت‌های لازم جهت تهیه و توزیع پایدار گاز طبیعی مورد نیاز مشترکین جایگاه ویژه‌ای دارد. گاز طبیعی بیش از ۵۰ درصد مصرف بخش خانگی و تجاری و ۴۵ درصد بخش صنعتی و ۷۰ درصد نیروگاه‌ها و پالایشگاه‌های کشور را تأمین می‌کند.

پیش بینی مصرف گاز طبیعی و برآورد نزدیک به مقدار دقیق گاز مصرفی به‌خصوص در فصول سرد سال به شکل قابل ملاحظه‌ای می‌تواند در مدیریت مصرف گاز، جلوگیری از قطعی گاز مشترکان و تأمین مطلوب انرژی تاثیر داشته باشد. از مزایای دیگر استفاده از مدل‌های ریاضیاتی جهت تخمین مصرف گاز طبیعی، مدیریت بهتر تاسیسات انتقال و توزیع گاز و بهره‌وری بیشتر از تاسیسات موجود می‌باشد. آگاهی از مصرف انرژی و توانایی پیش‌گویی مصارف آتی همچنین می‌تواند در مدیریت بحران و مقابله با عدم تأمین گاز پایدار در این شرایط تاثیر بسزایی داشته باشد. اغلب مطالعات صورت گرفته جهت پیش‌بینی مصرف گاز طبیعی بر پایه متغیرهایی مانند درآمد و قیمت بوده و توجه کمتری به متغیرهایی همچون تغییرات آب و هوایی و پارامترهایی مانند دمای متوسط، رطوبت هوا، سرعت باد و دیگر متغیرها شده است [۱]. پیش‌بینی مصرف گاز می‌تواند در بازه‌های کوتاه مدت، میان مدت و بلند مدت صورت بگیرد. در بازه‌های کوتاه مدت پیش‌بینی می‌تواند از یک روز تا یک ماه انجام بگیرد هم چنین در بازه‌های بلند مدت پیش‌بینی‌ها می‌تواند از چند سال تا چند دهه تغییر پیدا کند [۲]. با توجه به این موضوع که توسعه مصرف کنندگان همواره بیشتر از توسعه شبکه و زیر ساخت‌های مربوط به انتقال و توزیع شبکه گاز می‌باشد این امر منجر به مشکلاتی در فصول سرد زمستان جهت تأمین گاز گردد. پیشگیری از مشکلات ذکر شده نیازمند برنامه‌ریزی تولید همسو با تغییرات مصرف می‌باشد.

موارد متعددی در مورد استفاده از شبکه‌های عصبی وجود دارد که به مطالعه عددی داده‌های موجود برای پیش بینی خواص نانو مواد تولید شده، پیش بینی رفتار مواد پلیمری و پیش بینی مصرف گاز توسط محققان مختلف [۳-۵] ارایه شده است. میدی و مهرجردی [۶] به مطالعه الگوسازی و پیش بینی مصرف انرژی بخش حمل و نقل با استفاده از الگوهای هوش مصنوعی پرداختند. آن‌ها با استفاده از داده‌های سالیانه مصرف انرژی بخش حمل و نقل کشور به عنوان متغیر خروجی الگوهای پیش بینی و از داده‌های سالیانه جمعیت کل کشور تولید ناخالص داخلی، و تعداد خودروها به عنوان متغیر ورودی الگوی پیش بینی استفاده نمودند. در این تحقیق دقت نتایج پیش بینی الگوهای مختلف، با استفاده از شاخص‌های ارزیابی مقایسه گردید. نتایج ارزیابی آن‌ها نشان داد که الگوی شبکه عصبی فازی، نسبت به سایر الگوها از بیشترین دقت در پیش بینی مصرف انرژی در بخش حمل و نقل کشور برخوردار است. همچنین براساس نتایج تحلیل حساسیت ورودی‌ها به وسیله شبکه عصبی، ورودی جمعیت کشور به عنوان ورودی شناخته شد که بیشترین تأثیر را در مصرف انرژی دارد.

در یک تحقیق عصارى و همکاران [۷] از دو مدل نمایی و خطی برای برآورد تقاضای گاز طبیعی در ایران استفاده کردند. مدل‌های ارایه شده بر اساس شاخص‌های جمعیت، تولید ناخالص داخلی و ارقام وارداتی و صادراتی ارایه شده بودند. در این تحقیق داده‌های سال‌های ۱۹۸۱ تا ۱۹۹۹ برای مدلسازی استفاده شده بود. صادقی و موسویان [۸] با استفاده از الگوریتم ژنتیک و ازدحام ذرات برای داده‌های ما بین سال‌های ۱۳۸۱ تا سال ۱۳۸۸ مدلی برای پیش بینی مصرف ماهانه گاز طبیعی بخش خانگی طی سال‌های ۱۳۸۹ تا ۱۳۹۰ با فاصله اطمینان ۹۵ درصد به دست آوردند. ابریشمی و همکاران [۹] مطالعه تقاضای گاز طبیعی در بخش خانگی - تجاری، صنعت و نیروگاه که جزء مصرف کنندگان عمده گاز طبیعی هستند، را انجام دادند. آن‌ها از دو روش ARIMA و دسته بندی داده‌های عددی GMDH برای پیش بینی تقاضای مصرف گاز استفاده کردند. در تحقیق مذکور از معیار میانگین مربعات خطای معیار MSE و ریشه میانگین مربعات خطا RMSE برای مقایسه دو روش و سنجش دقت دو مدل استفاده شده بود. نتایج آن‌ها نشان داد که روش دسته بندی داده‌های عددی دارای دقت بیشتری در پیش بینی مصرف گاز طبیعی می‌باشد.

بررسی‌های مطالعات انجام شده نشان می‌دهد، در سال‌های اخیر مطالعات گسترده‌ای با استفاده از روش‌های مبتنی بر شبکه‌های عصبی (ANN) جهت استحصال توابع مفید با متغیرهای گوناگون

برای پیش بینی پدیده ها در علوم مختلف به کار گرفته شده است. در این مطالعه با استفاده از روش دسته بندی داده‌های عددی که توانایی مناسبی در مدلسازی داده‌های گسسته دارد، برای تعیین توابع پیش بینی کننده مصرف گاز طبیعی بر اساس پارامترهای جوی نظیر، میانگین دمای روزانه، رطوبت هوا، ساعات آفتابی در روز و سرعت باد که بیشترین تاثیر را بر روی مصرف گاز دارند، به کار گرفته شده است. در ادامه به ارایه مبانی مدل دسته بندی گروهی داده‌های عددی پرداخته می‌شود.

## ۲. روش دسته بندی گروهی داده‌های عددی

الگوریتم دسته بندی داده‌های عددی، یک روش ساده خود سازمانده است که به تدریج مدل‌های پیچیده‌تر بر اساس ارزیابی عملکرد آن‌ها و مجموعه‌ای از داده‌های با چند ورودی و یک خروجی از آن طی سال‌های اخیر پیشنهاد شده است. روش دسته بندی گروهی داده ها یک الگوریتم چند لایه‌ای ترکیبی است که لایه ها و گره ها با استفاده از جریانی از داده‌ها ارزیابی می‌شوند. هدف استفاده از این روش به دست آوردن یک مدل ریاضیاتی برای داده ها تحت بررسی است. این روش به صورت انطباقی مدل هایی از داده ها را به شکل شبکه‌های بهینه شده‌ای از توابع انتقالی به صورت تولید لایه‌های مختلف ایجاد می‌کند. با استفاده از این الگوریتم، یک مدل می‌تواند توسط مجموعه‌ای از نرون ها مجموعه‌های جفتی که در هر لایه هستند توسط چند جمله‌ای‌های درجه دوم به هم متصل شده و بنابراین نرون‌های جدید در لایه‌های جدید تولید می‌شوند. این نوع نمایش می‌تواند به عنوان یک نگاشت ورودی به خروجی به کار گرفته شود. یک تعریف کلاسیک برای مساله یافتن تابع  $f$  است که به طور تقریبی بتواند مقدار  $\hat{y}$  را تقریب بزند. به طوری که برای ورودی  $X = (x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)$  به عنوان نزدیک‌ترین تقریب به مقدار واقعی  $y$  تعریف می‌شود. بنابراین با توجه به  $M$  مشاهده چند ورودی و یک خروجی برای جفت داده ها داریم:

$$y_i = f(x_{i1}, x_{i2}, x_{i3}, \dots, x_{in}) \quad i = 1, 2, \dots, M \quad (1)$$

اکنون این امکان وجود دارد که یک شبکه عصبی از نوع GMDH برای تخمین خروجی‌های  $\hat{y}$  برای هر بردار ورودی  $X = (x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)$  که به صورت زیر است استفاده شود:

$$\hat{y}_i = \hat{f}(x_{i1}, x_{i2}, x_{i3}, \dots, x_{in}) \quad i = 1, 2, \dots, M \quad (2)$$

اکنون مساله تعیین یک شبکه عصبی از نوع GMDH است به طوری که مربعات اختلاف بین خروجی‌های واقعی و مقادیر تخمین زده مینیمم شود به نحوی که داشته باشیم [۱۰]:

$$\sum_{i=1}^M [\hat{f}(x_{i1}, x_{i2}, x_{i3}, \dots, x_{in}) - y_i]^2 \rightarrow 0 \quad (3)$$

کامل ترین فرم ریاضیاتی می تواند توسط یک سیستم چند جمله ای درجه دوم جزئی متشکل از دو متغیر (نرون) توسط سری های تابعی ولترا<sup>۱</sup> معروف به چند جمله ای کولموگروف-گابور به شکل زیر نشان داده شود.

$$y = a_0 + \sum_{i=1}^n a_i x_i + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n a_{ij} x_i x_j + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^n a_{ijk} x_i x_j x_k + \dots \quad (4)$$

که در آن  $a_0, a_i, a_j, a_{ij}, a_{ijk}$  ثابت ها و  $x_i, x_j$  و  $x_k$  ورودی ها و  $y$  خروجی می باشد. کامل ترین شکل می تواند توسط سیستم چند جمله ای که از دو متغیر (نرون) تشکیل شده است به شکل زیر نمایش داده شود.

$$\hat{y} = G(x_i, x_j) = a_0 + a_1 x_i + a_2 x_j + a_3 x_i^2 + a_4 x_j^2 + a_5 x_i x_j \quad (5)$$

در این جا یک روش پیشخوران از شبکه های عصبی از نوع GMDH استفاده شده است. ضریب  $a_i$  در معادله فوق با استفاده از روش رگرسیون محاسبه می شود به طوری که اختلاف بین مقادیر واقعی  $y$  و مقدار تخمین زده شده  $\hat{y}$  برای هر جفت ورودی  $(x_i, x_j)$  کمترین مقدار شود [۱۱]. به طور قطع درخت چند جمله ای ها با استفاده از رابطه درجه دوم (معادله ۵) ساخته می شود مطابق با کمترین مقدار مربعات خطا می باشد. در این حالت ضرایب هر کدام از توابع چند جمله ای  $G_i$  ها طوری به دست می آیند که برای همه مجموعه های ورودی خروجی به طور بهینه متناسب می باشد به طوری که:

$$E = \frac{\sum_{i=1}^M [y_i - G_i()]^2}{\sum_{i=1}^M y_i^2} \rightarrow \min \quad (6)$$

در حالت کلی در الگوریتم GMDH همه احتمالات ترکیب دو متغیر مستقل از تعداد  $n$  پارامتر ورودی برای ساخت چند جمله ای درجه دوم رگرسیون به شکل معادله (۵) به کار گرفته می شود تا بهترین برازش بسته به مشاهدات با معیار کمترین مربعات خطا شکل بگیرد در نتیجه:

$$\binom{n}{2} = \frac{n(n-1)}{2} \quad (۷)$$

نرون ها که در لایه دوم ساخته شده به صورت مجموعه زیر است.

$$\{(y_i, x_{ip}, x_{iq}) | (i = 1, 2, \dots, M) \text{ and } p, q \in (1, 2, \dots, M)\} \quad (۸)$$

شکل چند جمله‌ای تابع بیان شده در معادله (۵) برای مجموعه M تایی را می‌توان به صورت زیر نشان داد.

$$Aa = Y \quad (۹)$$

که در آن A بردار ضرایب مجهول چند جمله‌ای معادله (۵) به صورت زیر می‌باشد.

$$a = \{a_0, a_1, a_2, a_3, a_4, a_5\} \quad (۱۰)$$

$$Y = \{y_1, y_2, y_3, \dots, y_M\}^T \quad (۱۱)$$

برای M سری داده آزمایشی ماتریس ضرایب به صورت زیر تعیین می‌شود [۱۲].

$$A = \begin{bmatrix} 1 & x_{1p} & x_{1q} & x_{1p}^2 & x_{1q}^2 & x_{1p}x_{1q} \\ 1 & x_{2p} & x_{2q} & x_{2p}^2 & x_{2q}^2 & x_{2p}x_{2q} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 1 & x_{Mp} & x_{Mq} & x_{Mp}^2 & x_{Mq}^2 & x_{Mp}x_{Mq} \end{bmatrix} \quad (۱۲)$$

با استفاده از تحلیل رگرسیون و روش کمترین مربعات خطا می‌توان نوشت:

$$a = (A^T A)^{-1} A^T Y \quad (۱۳)$$

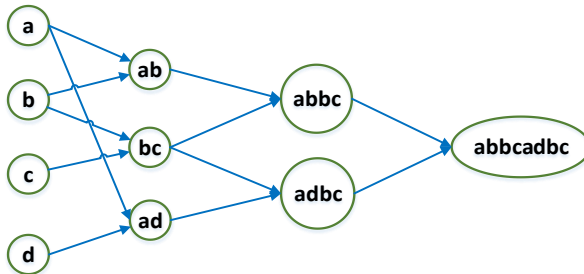
رابطه فوق بردار مجهول ها را که شامل M عضو می‌باشد نشان می‌دهد.

### ۳. الگوریتم ژنتیک برای حل مساله

روش‌های تکاملی مانند الگوریتم ژنتیک در مراحل مختلف طراحی شبکه‌های عصبی با توجه به توانایی‌های منحصر به فرد آن‌ها در پیدا کردن مقادیر مطلوب و توانایی جستجو در فضاها غیر قابل

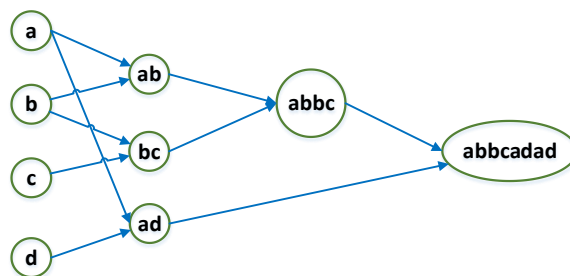
پیش بینی به طور گسترده‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرند [۱۳]. با توجه به این که الگوریتم ژنتیک به عنوان یکی از بهترین روش‌های تکاملی برای بهینه سازی شناخته شده است و با توجه به این که در حل‌های دیگر روش‌ها ی مستقیم برای حل معادله (۹) منجر به احتمال نقاط تکی نمی شود، در مطالعه حاضر برای ایجاد شبکه عصبی و تعیین ضریب آن الگوریتم ژنتیک و روش تجزیه نقاط تکین (SVD) استفاده می‌شود.

در نوع اول از دسته بندی داده‌های عددی نرون‌ها در هر لایه دارای توانایی اتصال به نرون قبلی را دارند که این نوع ساختار دسته بندی متداول دسته بندی داده‌های عددی (Common structure group of Method Data Handling) معروف است و به صورت زیر نشان داده می‌شود.



شکل ۱. یک ساختار از شبکه متداول GMDH برای یک کروموزوم

در نوع دوم از دسته بندی داده‌های عددی قید استفاده از لایه‌های مجاور برای اتصال نرون‌ها حذف شده است که در این حالت به روش عمومیت یافته دسته بندی داده‌های عددی (Generalized Group of Method Data Handling) معروف است این ساختار را می‌توان به شکل زیر نمایش داد.



شکل ۲. یک ساختار از شبکه عمومیت یافته GMDH برای یک کروموزوم

در این تحقیق از ساختار عمومیت یافته روش دسته بندی گروهی داده‌های عددی برای چند جمله‌ای‌ها استفاده شده است.

#### ۴. ورودی‌ها و خروجی‌های مساله

با توجه به اینکه عمده مصرف انرژی در بیشتر مناطق ایران در فصول سرد سال به مصارف خانگی و گرمایش منازل مسکونی اختصاص دارد و صنایع پر مصرف نظیر صنایع سیمان و واحدهای نیروگاهی در فصل سرد سال از سوخت‌های جایگزین استفاده می‌کنند، مصرف گاز در این فصل وابسته به پارامترهایی مانند دمای متوسط محیط ( $T_m$ )، رطوبت هوا ( $\varphi$ )، سرعت وزش باد ( $w$ ) و ساعات آفتابی ( $S$ ) طی یک روز می‌باشد. عمده ترین پارامترهایی که در تخمین کوتاه مدت تقاضای گاز می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد متغیرهای مذکور می‌باشند که به عنوان ورودی‌های مساله به خوبی از داده‌های هواشناسی و جغرافیایی هر منطقه قابل دستیابی و پیش بینی با دقت معقولی می‌باشد. از سوی دیگر، هدف به دست آوردن یک تابع با خروجی تقاضای مصرف است که بتواند با ورودی‌های دقیق با دقت مناسب تقاضای مصرف گاز را پیش بینی نماید. در این مطالعه از داده‌های هواشناسی ایلام در بازه زمانی مربوط به داده‌های موجود برای مصرف گاز استفاده شده است. سه شهر ایلام، ایوان و مهران در این مطالعه به عنوان مطالعه موردی به کار گرفته شده اند و توابع چند جمله‌ای برای مصارف هر کدام از آن‌ها با روش دسته بندی گروهی داده‌های عددی حاصل شده است. در این مطالعه ۳۶۵ سری از داده‌ها به عنوان داده‌های آموزش و آزمون استفاده شده اند. همچنین بازه تغییرات متغیرهای موثر بر مصرف گاز برای شهرهای مورد مطالعه در جدول ۱ آورده شده است.

جدول ۱. بازه تغییرات مشخصات آب و هوایی شهرهای مورد مطالعه

و مصارف یک ساله مربوط به آن‌ها در بازه سال ۱۳۹۵

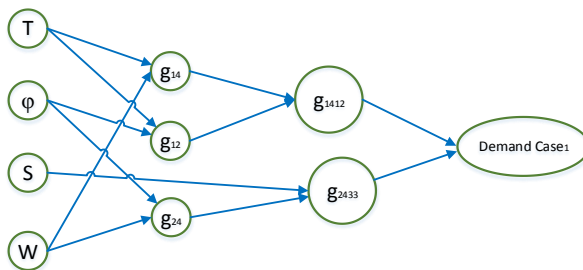
مصارف گاز در یک روز ( $m^3$ )	سرعت وزش باد ( $w$ )	ساعات آفتابی ( $s$ )	رطوبت هوا ( $\varphi$ )	دمای میانگین ( $T_m$ )
۱۲۶۲۷ تا ۱۳۹۹۱۳۵	۲ تا ۲۳	۰ تا ۱۳/۳	۱۰/۵ تا ۹۲	۱/۸۵ تا ۳۳/۱۵ (۱)
۱۲۶۴۶ تا ۲۹۲۲۳۳	۴ تا ۳۰	۰ تا ۱۳	۱۶ تا ۹۰	-۳/۹ تا ۳۲/۶ (۲)
۴۵۴۷ تا ۵۸۸۲۷	۲ تا ۲۳	۰ تا ۱۲/۹	۳ تا ۷۹	۴/۷ تا ۴۳/۸ (۳)

لازم به ذکر است که داده‌های جدول مذکور مربوط به اطلاعات روزانه این متغیرها می‌باشد. از داده‌های مورد بررسی ۲۲۰ داده به عنوان داده‌های آموزش و ۱۴۵ داده به عنوان آزمایش استفاده شده است. مرجع داده‌های مورد استفاده برای سازمان هواشناسی و مرجع داده‌های مصرف گاز شرکت ملی گاز می‌باشد.

## ۵. بحث و بررسی

جهت استخراج مدل مصرف گاز در شهرهای مورد مطالعه داده‌های موجود که ۳۶۵ سری داده آب و هوایی و همچنین مصارف مربوطه می‌باشند، به دو دسته داده آموزش و آزمایش تقسیم بندی شده اند. از این تعداد ۲۲۰ داده به عنوان آموزش و ۱۴۵ داده باقیمانده به عنوان داده آزمایش جهت برآورد شبکه به کار گرفته شده است. ساختار مدل شبکه عصبی در این مطالعه با دو لایه پنهان و ساختار عمومیت یافته GMDH می‌باشد.

شکل ۳ ساختار شبکه عصبی عمومیت یافته از نوع GMDH برای شهر ایلام نشان می‌دهد.



شکل ۳. ساختار شبکه GMDH در پیش بینی مصرف گاز برای شهر ایلام

با استفاده از ساختار بهینه به دست آمده برای الگوی مصرف گاز در شهر ایلام رابطه بازگشتی مربوط به پیش بینی مصرف گاز برای شهر ایلام با رابطه زیر نشان داده می‌شود.

$$\begin{aligned}
 g_{14} &= a_{01} + a_{11}(T) + a_{21}(W) + a_{31}(T)^2 + a_{41}(W)^2 \\
 &\quad + a_{51}(T)(W) \\
 g_{12} &= a_{02} + a_{12}(T) + a_{22}(\varphi) + a_{32}(T)^2 + a_{42}(\varphi)^2 + a_{52}(T)(\varphi) \\
 g_{24} &= a_{03} + a_{13}(\varphi) + a_{23}(W) + a_{33}(\varphi)^2 + a_{43}(W)^2 \\
 &\quad + a_{53}(\varphi)(W) \\
 g_{1412} &= a_{04} + a_{14}(g_{14}) + a_{24}(g_{12}) + a_{34}(g_{14})^2 + a_{44}(g_{12})^2 \\
 &\quad + a_{54}(g_{14})(g_{12}) \\
 g_{2433} &= a_{05} + a_{15}(g_{24}) + a_{25}(s) + a_{35}(g_{24})^2 + a_{45}(s)^2 \\
 &\quad + a_{55}(g_{24})(s) \\
 Demand_{Case1} &= a_{06} + a_{16}(g_{1412}) + a_{26}(g_{2433}) + a_{36}(g_{1412})^2 \\
 &\quad + a_{46}(g_{2433})^2 + a_{56}(g_{1412})(g_{2433})
 \end{aligned} \tag{۱۴}$$

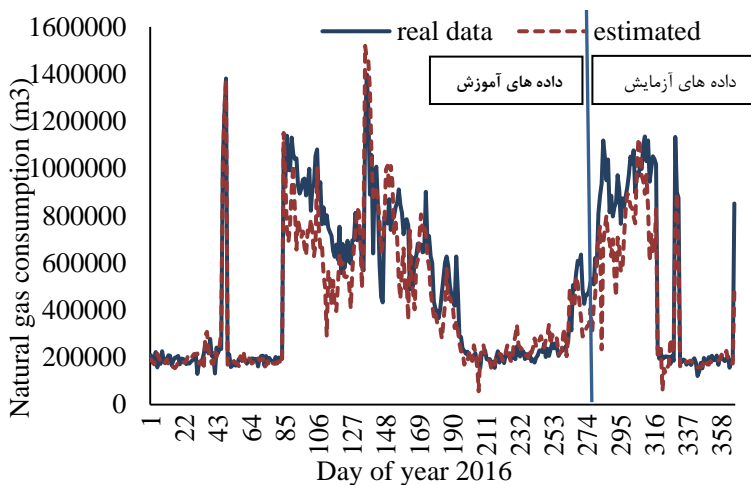
همچنین ضرایب  $a_{ij}$  در رابطه بالا ضرایب ثابتی هستند که از جدول ۴ برای معادله فوق می‌توانند استفاده گردد.

جدول ۴. ضرایب ثابت معادله (۱۴)

پارامتر	مقادیر	پارامتر	مقادیر
$a_{01}$	1170735.256906212	$a_{02}$	711185.4264309588
$a_{11}$	80182.5938242690	$a_{12}$	-0.393208281384486
$a_{21}$	15298.9926507960	$a_{22}$	11450.7225021550
$a_{31}$	1596.288517697	$a_{32}$	799.3379311509
$a_{41}$	63.508969401	$a_{42}$	43.5228806240
$a_{51}$	-638.318311776	$a_{52}$	-502.3350874745
$a_{03}$	622525.1403441339	$a_{04}$	0.000002793214340
$a_{13}$	-9134.2904155100	$a_{14}$	0.484420694061971
$a_{23}$	-89191.7477941498	$a_{24}$	0.495866048833850
$a_{33}$	235.4194451153	$a_{34}$	-0.000000748166313
$a_{43}$	6705.3689287391	$a_{44}$	0.000000378668599
$a_{53}$	-694.4748135826	$a_{54}$	0.000001151985093

پارامتر	مقادیر	پارامتر	مقادیر
$a_{05}$	0.000001869326129	$a_{06}$	0.000006601483525
$a_{15}$	0.320354529890260	$a_{16}$	1.156730830928475
$a_{25}$	0.000009728680233	$a_{26}$	-0.151111344514388
$a_{35}$	0.000000802736807	$a_{36}$	-0.000000148244217
$a_{45}$	0.000093074129711	$a_{46}$	0.000000035114694
$a_{55}$	0.041161237073063	$a_{56}$	0.000000195979646

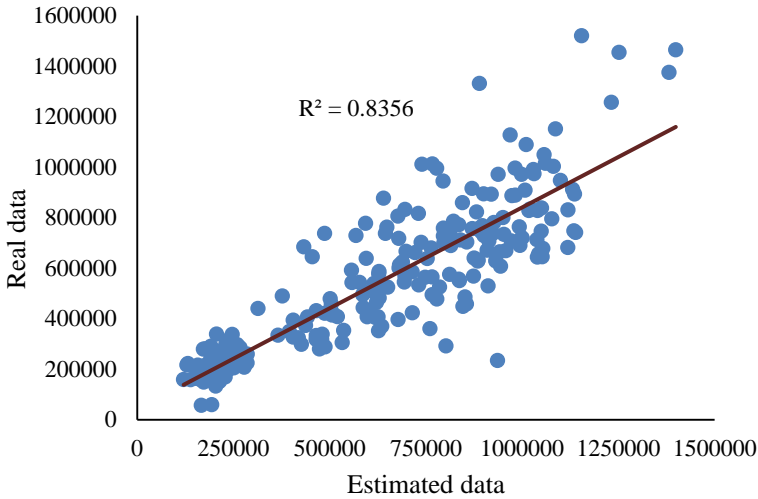
رابطه (۱۴) یک تابع با چند متغیر را نشان می‌دهد که با استفاده از پارامترهای میانگین دمای روزانه، رطوبت نسبی هوا، ساعات آفتابی در روز و سرعت باد، مقدار تقاضای مصرف را بر آورد می‌کند. برای نشان دادن دقت مدل مقادیر واقعی تقاضای گاز طبیعی با مقادیر حاصل شده از تابع مدل شده نشان داده شده است.



شکل ۴. داده‌های خروجی بدست آمده از مدل و داده‌های مصارف واقعی گاز

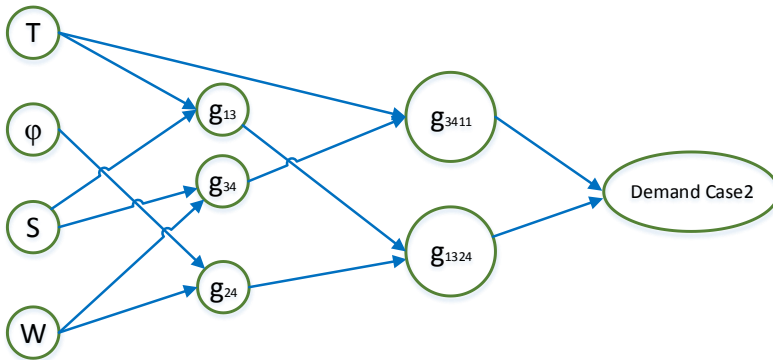
ضریب تعیین ( $R^2$ ) نشان می‌دهد که چند درصد تغییرات متغیر وابسته به وسیله متغیر مستقل تبیین می‌شود یا به عبارت دیگر ضریب تعیین نشان دهنده این است که چه مقدار از تغییرات متغیر وابسته تحت تاثیر متغیر مستقل مربوطه بوده و مابقی تغییرات متغیر وابسته مربوط به سایر عوامل می‌باشد. این ضریب در واقع نتایج تقریبی پارامتر موردنظر در آینده را براساس مدل ریاضی تعریف شده

که منطبق بر داده‌های موجود است، بیان می‌دارد. شکل ۵ پیش بینی مقادیر با استفاده از مدل استخراج شده و مقادیر واقعی مصرف گاز را با ضریب تعیین  $0/۸۳۴$  نشان می‌دهد.



شکل ۵. مقایسه داده‌های استخراج شده از مدل و داده‌های واقعی مصرف گاز با مقدار ضریب تعیین  $R^2 = 0/۸۳۵۶$  برای شهر ایلام

شکل ۶ ساختار شبکه عصبی عمومیت یافته از نوع **GMDH** را برای شهر ایوان نشان می‌دهد.



شکل ۶. ساختمان شبکه **GMDH** در پیش بینی مصرف گاز برای شهر ایوان

برای شهر ایوان که نمونه‌ای از یک شهر سردسیر با مشخصه‌های متفاوت با شهر ایلام است با به کارگیری داده‌های مصرف گاز طبیعی و اطلاعات آب و هوایی طی سال ۱۳۹۴، بر پایه شبکه عصبی از نوع دسته بندی داده‌های عددی یک مدل ریاضیاتی برای مصرف گاز استخراج شده است (معادله (۱۵)). مدل حاصل شده یک معادله چند جمله‌ای درجه دوم با ضرایب ثابت است که همانند معادله رابطه پیشین در پیش بینی تقاضای گاز استفاده می‌شود.

$$\begin{aligned}
 Z_{34} &= a_{01} + a_{11}(s) + a_{21}(W) + a_{31}(s)^2 + a_{41}(W)^2 \\
 &\quad + a_{51}(s)(W) \\
 Z_{13} &= a_{02} + a_{12}(T) + a_{22}(s) + a_{32}(T)^2 + a_{42}(s)^2 + a_{52}(T)(s) \\
 Z_{24} &= a_{03} + a_{13}(\varphi) + a_{23}(W) + a_{33}(\varphi)^2 + a_{43}(W)^2 \\
 &\quad + a_{53}(\varphi)(W) \\
 Z_{3411} &= a_{04} + a_{14}(Z_{34}) + a_{24}(T) + a_{34}(Z_{34})^2 + a_{44}(T)^2 \\
 &\quad + a_{54}(Z_{34})(T) \\
 Z_{1324} &= a_{05} + a_{15}(Z_{13}) + a_{25}(Z_{24}) + a_{35}(Z_{13})^2 + a_{45}(Z_{24})^2 \\
 &\quad + a_{55}(Z_{13})(Z_{24}) \\
 Demand_{Case2} &= a_{06} + a_{16}(Z_{3411}) + a_{26}(Z_{1324}) + a_{36}(Z_{3411})^2 \\
 &\quad + a_{46}(Z_{1324})^2 + a_{56}(Z_{3411})(Z_{1324})
 \end{aligned}
 \tag{15}$$

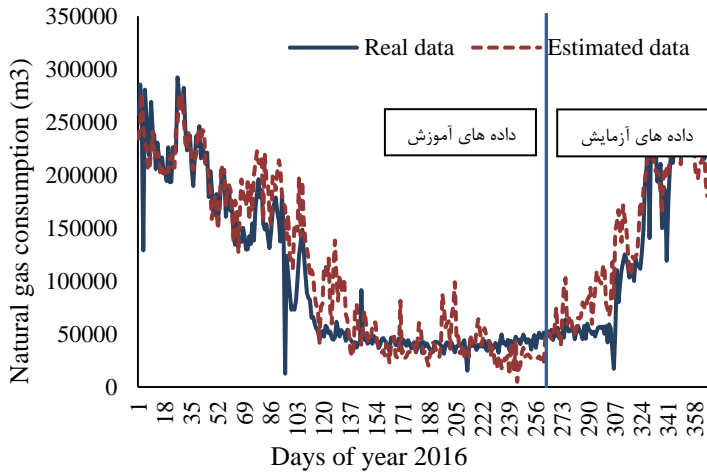
همچنین ضرایب ثابت معادلات فوق در جدول ۵ داده شده است.

جدول ۵. ضرایب ثابت معادله (۱۵)

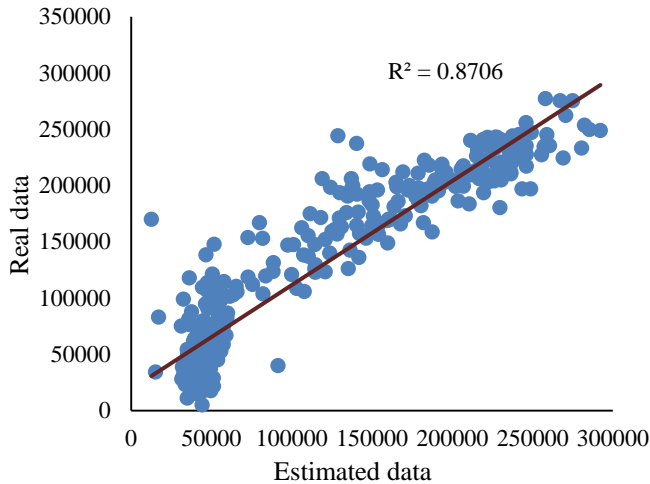
پارامتر	مقادیر	پارامتر	مقادیر
$a_{01}$	207958.4748077422	$a_{02}$	247282.4896755619
$a_{11}$	8174.9712852125	$a_{12}$	-1926.7555427703
$a_{21}$	4466.2264562395	$a_{22}$	4191.8716929742
$a_{31}$	-799.0577986941	$a_{32}$	189.8892455864
$a_{41}$	-245.9987730136	$a_{42}$	-266.5724574572
$a_{51}$	-534.3734367292	$a_{52}$	-438.0086748898
$a_{03}$	110871.8231474845	$a_{04}$	0.000017805659992

پارامتر	مقادیر	پارامتر	مقادیر
$a_{13}$	2525.8077053305	$a_{14}$	1.773364575302190
$a_{23}$	2211.4791344962	$a_{24}$	0.000099034077511
$a_{33}$	-11.6348172414	$a_{34}$	-
$a_{43}$	-95.1306112005	$a_{44}$	0.000002717235634
$a_{53}$	-25.8904978021	$a_{54}$	-
			0.027173287211822
$a_{05}$	0.000005645606992	$a_{06}$	0.000004552628854
$a_{15}$	0.578174952705620	$a_{16}$	0.491760834608995
$a_{25}$	0.568760480447241	$a_{26}$	0.475275224504794
$a_{35}$	-	$a_{36}$	-
	0.000001486980743		0.000000378184762
$a_{45}$	-	$a_{46}$	0.000001649521951
	0.000004492627316		
$a_{55}$	0.000005306574444	$a_{56}$	-
			0.000001122345291

شکل ۷ داده‌های آزمون و آزمایش را برای مقادیر واقعی مصرف و مقادیر بدست آمده از مدل چند جمله‌ای حاصل شده از شبکه عصبی از نوع GMDH را نشان می‌دهد. همان طور که دیده می‌شود مقادیر تخمین زده شده و مقادیر واقعی به خصوص در مصارف بالا که بیشتر حائز اهمیت است به درستی پیش بینی شده است.

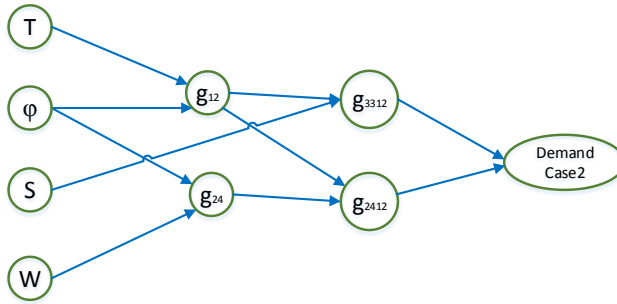


شکل ۷. مقادیر پیش بینی به دست آمد از مدل و مقادیر واقعی مصرف گاز برای شهر ایوان برای ارزیابی دقیق‌تر مدل بدست آمده داده‌های واقعی و داده‌های پیش بینی شده در نمودار شکل ۸ رسم شده است. محاسبات انجام شده مقدار ضریب تعیین را برای این حالت  $0.8706$  نشان می‌دهد و تجمع داده‌ها حول خط رگرسیون نشان دهنده دقت مناسب مدل در پیش بینی مقادیر مصرف گاز می‌باشد.



شکل ۸. مقایسه داده‌های استخراج شده از مدل و داده‌های واقعی مصرف گاز با مقدار ضریب تعیین  $R^2 = 0.8706$  برای شهر ایوان

برای شهر مهران با شرایط آب و هوایی گرم و خشک که مشخصات آن در جدول ۱ ذکر شد طبق مصارف در ۳۶۵ روز و داده‌های هواشناسی در بازه مورد بررسی مدل بهینه‌ای که مصارف را می‌تواند پیش بینی کند مطابق شکل ۹ می‌باشد.



شکل ۹. ساختمان شبکه GMDH در پیش بینی مصرف گاز برای شهر ایوان

مطابق مدل به کار رفته با الگوی بهینه فوق معادله (۱۶) استخراج شده است.

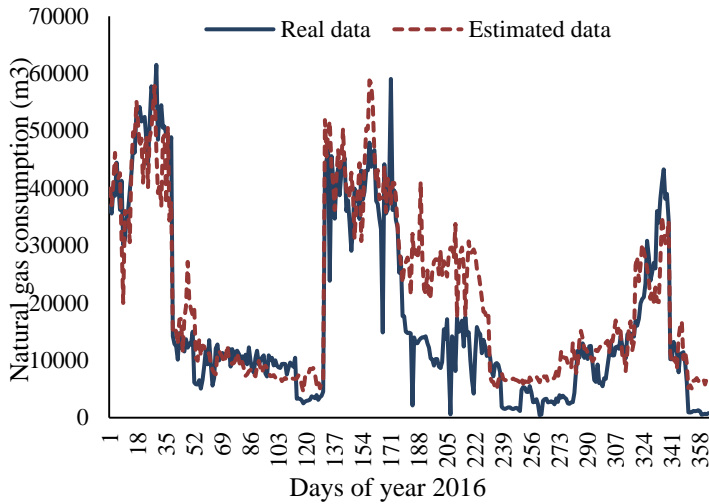
$$\begin{aligned}
 d_{12} &= a_{01} + a_{11}(T) + a_{21}(\varphi) + a_{31}(T)^2 + a_{41}(\varphi)^2 + a_{51}(T)(\varphi) \\
 d_{24} &= a_{02} + a_{12}(\varphi) + a_{22}(W) + a_{32}(\varphi)^2 + a_{42}(W)^2 \\
 &\quad + a_{52}(\varphi)(W) \\
 d_{3312} &= a_{03} + a_{13}(s) + a_{23}(d_{12}) + a_{33}(s)^2 + a_{43}(d_{12})^2 \\
 &\quad + a_{53}(s)(d_{12}) \\
 d_{2412} &= a_{04} + a_{14}(d_{24}) + a_{24}(d_{12}) + a_{34}(d_{24})^2 + a_{44}(d_{12})^2 \\
 &\quad + a_{54}(d_{24})(d_{12}) \\
 Demand_{Case3} &= a_{05} + a_{15}(d_{3312}) + a_{25}(d_{2412}) + a_{35}(d_{3312})^2 \\
 &\quad + a_{45}(d_{2412})^2 + a_{55}(d_{3312})(d_{2412})
 \end{aligned} \tag{16}$$

برای معادله فوق الذکر ثابت‌های مربوطه در جدول ۶ ارائه شده است.

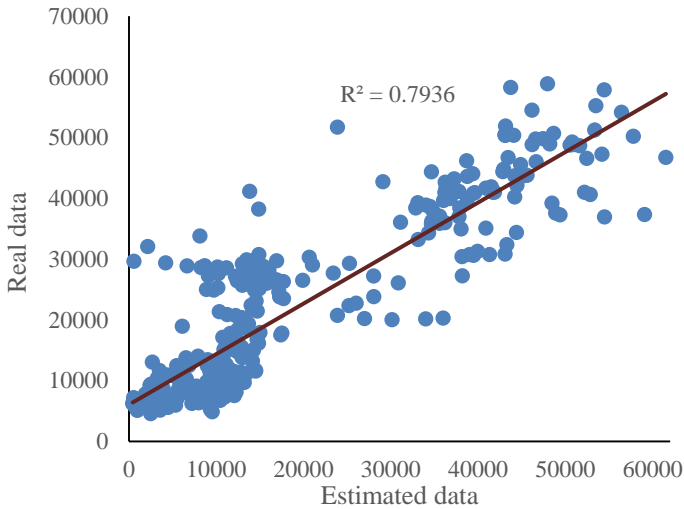
جدول ۶. ضرایب ثابت معادله (۱۶)

پارامتر	مقادیر	پارامتر	مقادیر
$a_{01}$	94427.90119122337	$a_{02}$	1361.788348483098
$a_{11}$	-4260.27964504978	$a_{12}$	1165.12230546119
$a_{21}$	-623.16229605854	$a_{22}$	-1770.03742983244
$a_{31}$	52.26874207251	$a_{32}$	-10.82354779746
$a_{41}$	6.19386741219	$a_{42}$	50.27166965894
$a_{51}$	9.76790774126	$a_{52}$	21.76348171580
$a_{03}$	-	$a_{04}$	0.000027665359493
	0.004134126080776		
$a_{13}$	-	$a_{14}$	-
	0.061650407102359		0.154422706150614
$a_{23}$	1.198101375736016	$a_{24}$	1.329207887558343
$a_{33}$	-	$a_{34}$	-
	0.807011319215627		0.000004856778525
$a_{43}$	0.000002007548271	$a_{44}$	-
			0.000009847330726
$a_{53}$	-	$a_{54}$	0.000011048127398
	0.016721493029606		
$a_{05}$	0.000058273291245	$a_{35}$	-
			0.000254993390800
$a_{15}$	1.148476751024793	$a_{45}$	-
			0.000256234040167
$a_{25}$	-	$a_{55}$	0.000510003601809
	0.056627103299780		

شکل ۱۰ مقادیر تخمین زده شده و مقادیر واقعی مصرف گاز و همچنین نمودار شکل ۱۱، مقایسه داده‌های استخراج شده از مدل مصرف گاز و داده‌های واقعی مصرف گاز با ضریب تعیین را برای شهر مهران نشان می‌دهد.



شکل ۱۰. مقادیر پیش بینی بدست آمد از مدل و مقادیر واقعی مصرف گاز برای شهر مهران



شکل ۱۱. مقایسه داده‌های استخراج شده از مدل و داده‌های واقعی مصرف گاز

با مقدار ضریب تعیین  $R^2 = 0.7936$  برای شهر مهران

چهار معیار برای سنجش دقت مدل‌های به دست آمده، استفاده شده است. جدول ۷ معیارها را برای سه مدل حاصل شده نشان می‌دهد. شاخص MAE متوسط خطای مقادیر پیش بینی و داده‌های واقعی را نشان می‌دهد. بنا به مقادیر حاصل شده برای مطالعه موردی سوم با ۵۳۴۰ کمترین و بهترین

مقدار نسبت به بقیه موارد می‌باشد. همچنین ریشه مربعات خطا معیاری است که به میانگین مربع اختلاف محاسبه شده برای هر داده پیش بینی با داده واقعی مربوط می‌شود که در جدول ۷ نمایش داده شده است. برای چند سری داده متفاوت برای مقایسه بهتر، باید از مقدار نرمال شده که با تقسیم این مقادیر بر مقدار متوسط یا دامنه تغییرات مصرف گاز حاصل می‌شود استفاده نمود. مقدار نرمال میانگین مربعات خطا برای مقایسه چند دسته داده می‌تواند استفاده شود. طبق نتایج حاصل شده دیده می‌شود که مقدار نرمال شده میانگین ریشه مربعات خطا برای هر سه مدل در بازه مطلوب قرار دارند و همچنین برای مطالعه موردی ۲ با ۰/۱۱۲ بهترین نتیجه حاصل شده است.

جدول ۷. خطاهای محاسبه شده برای سه مدل بدست آمده از روش شبکه‌های عصبی از نوع GMDH

پارامتر	MAE	RMSE	NRMSE	$R^2$
مدل شهر ایلام	۹۴۳۶۴	۱۴۵۰۲۴	۰/۲۱	۰/۸۳۵۶
مدل شهر ایوان	۲۲۰۹۹	۳۰۵۵۸	۰/۱۱۲	۰/۸۷۰۶
مدل شهر مهران	۵۳۴۰	۷۲۶۹	۰/۱۲۳	۰/۷۹۳۶

## ۶. نتیجه گیری

در این مطالعه بر اساس داده‌های بدست آمده از هواشناسی و همچنین مصارف گاز برای شهرهای مختلف در منطقه آب و هوایی گرم و خشک که قسمت عمده مصرف مربوط به مصارف خانگی می‌باشد، با استفاده از روش شبکه‌های عصبی از نوع دسته بندی داده‌های عددی مدلی بر اساس دمای متوسط روزانه، متوسط رطوبت نسبی روزانه، ساعات آفتابی روزانه و سرعت متوسط باد در روز استخراج شده است. برای سه شهر ایلام، ایوان و مهران با سه شرایط متفاوت آب و هوایی، مدل‌هایی برای پیش بینی الگوی مصرف استخراج شده است. در این مطالعه از روش شبکه‌های عصبی از نوع گروه بندی داده‌های عددی با ۳۶۵ داده مصرف و هواشناسی مربوطه سه مدل چند جمله‌ای با دقت قابل قبول می‌باشد. طبق داده‌های حاصل شده مدل‌های استخراج شده برای شهرهای ایلام، ایوان و مهران به ترتیب با دارای میانگین ریشه مربعات خطای نرمال شده به ترتیب ۰/۲۱، ۰/۱۱۲ و ۰/۱۲۳ و همچنین ضریب تعیین به ترتیب ۰/۸۳۵۶، ۰/۸۷۰۶ و ۰/۷۹۳۶ می‌باشند که مقدار مطلوبی می‌باشد.

همچنین نتایج نشان داد در مصارف بالا علی‌الخصوص زمستان که نیاز به دقت بیشتری برای پیش بینی مصارف گاز وجود دارد، مدل‌های حاصل شده دقت بهتری دارند.

## سپاسگزاری

نویسنده بر خود لازم می‌داند از شرکت ملی گاز ایران و گاز استان ایلام به جهت حمایت و پشتیبانی لازم، تشکر و قدردانی نماید.

## منابع

- [۱] ابریشمی حمید، جبل عاملی فرخنده، ابوالحسنی معصومه و جوان افشین (۱۳۹۳)، "عملکرد دو روش ARIMA و شبکه عصبی GMDH در پیش بینی تقاضای گاز طبیعی در بخش‌های مختلف ایران-۱۳۸۰-۱۳۸۹"، فصلنامه مطالعات اقتصادی کاربردی ایران. از صفحه ۵۸ تا ۷۲ (۱۲)۳.
- [۲] احمدآذری، مجتبی شریعتی نیاسر، محمود البرزی و افشین بختیاری (۱۳۸۷)، "برآورد میزان بار گاز مصرفی شهر تهران با استفاده از فناوری شبکه‌های عصبی"، نشریه دانشکده فنی، دوره ۴۲، شماره ۸، از صفحه ۹۶۱ تا ۹۶۹.
- [۳] صادقی سید کمال، موسویان سید مهدی (۱۳۹۴)، "تحلیل آماری و برآورد فاصله اطمینان پیش‌بینی شبکه عصبی ترکیبی به منظور مقایسه با مدل خطی: ARIMA مطالعه موردی مصرف ماهانه گاز طبیعی در بخش خانگی ایران". فصلنامه تحقیقات مدل سازی اقتصادی. ۷۳-۱۰۶: (۲۰)۵.
- [۴] طحاری مهرجردی محمدحسین، بابایی میبدی حمید، تقی زاده مهرجردی روح الله (۱۳۹۱)، "الگوسازی و پیش‌بینی مصرف انرژی بخش حمل و نقل ایران: کاربردی از الگوهای هوش مصنوعی". فصلنامه برنامه ریزی و بودجه، ۱۷ (۱) ۲۹-۴۷.
- [۵] عساری محمدرضا، احسان الله عساری، محمد علی بهرنگ و افشین قنبرزاده (۱۳۸۹)، "کاربردی از ترکیب الگوریتم ژنتیک و شبکه‌های عصبی مصنوعی برای برآورد مصرف گاز طبیعی در ایران". نشریه تبدیل انرژی، جلد اول، از صفحه ۲۵ تا ۳۱.
- [6] Abdolrahimi S., Nasernejad B. and G. Pazuki (2014), Prediction of partition coefficients of alkaloids in ionic liquids based aqueous biphasic systems using hybrid group method of data handling (GMDH) neural network, Journal of Molecular Liquids, Vol. 191, No. 0, pp. 79-84.
- [7] Borji, Mehdi, et al. (2015), "Parametric analysis and Pareto optimization of an integrated autothermal biomass gasification, solid oxide fuel cell and micro

- gas turbine CHP system." *International Journal of Hydrogen Energy* 40.41: 14202-14223.
- [8] Karimi, Hajir, and Jamaledin Dastranj (2015), "Artificial neural network-based genetic algorithm to predict natural gas consumption." *Energy Systems* 5.3: 571-581.
- [9] Khanmohammadi, Shoaib, Kazem Atashkari, and Ramin Kouhikamali (2016), "Modeling and assessment of a biomass gasification integrated system for multigeneration purpose." *International Journal of Chemical Engineering* 2016.
- [10] Kondo T., Ueno J. and S. Takao (2013), Hybrid Multi-layered GMDH-type Neural Network Using Principal Component Regression Analysis and its Application to Medical Image Diagnosis of Liver Cancer, *Procedia Computer Science*, Vol. 22, No. 0, pp. 172-181.
- [11] Papari, Mohammad M., et al. (2011), "Modeling thermal conductivity augmentation of nanofluids using diffusion neural networks." *International Journal of Thermal Sciences* 50.1: 44-52.
- [12] Yousefi, F. et al. (2015), "Prediction of thermodynamic behavior of copolymers using equation of state and artificial neural network." *Colloid and Polymer Science* 293.1: 75-87.