کاربرد الگوریتم ژنتیک در انتخاب بهترین سناریو برای پیش‌بینی تقاضای انرژی مصرفی بخش خانگی – تجاری در ایران

حسام نظری[۱]، عالیه کاظمی[۲]، علی اصغر سعدآبادی[۳]

تاریخ دریافت مقاله: ۹۳/۹/۱۳

تاریخ پذیرش مقاله: ۹۴/۳/۸

چکیده:

توسعه مدل‌های پیش‌بینی انرژی یکی از مراحل مهم در برنامه‌ریزی‌های کلان برای تامین پایدار انرژی در راستای توسعه اقتصادی و رفاه اجتماعی است و همواره مورد توجه سیاستگذاران و تحلیلگران انرژی بوده است. بخش خانگی- تجاری بزرگترین مصرف کننده انرژی در ایران است و پیش‌بینی تقاضای این بخش از اهمیت بالایی برخوردار است. در تحقیق حاضر با استفاده از توابع خطی و نمایی و با ضرایب بدست آمده از الگوریتم ژنتیک به پیش‌بینی تقاضای انرژی بخش خانگی – تجاری ایران پرداخته شده است. پنجاه و چهار سناریوی مختلف با ورودی‌های متفاوت مورد بررسی قرار گرفته و از داده‌های مربوط به سال‌های ۱۳۴۶ تا ۱۳۸۹ برای توسعه مدل‌ها و انتخاب سناریوی مناسب استفاده شده است. نتایج نشان داد مدل نمایی با ورودی‌های ارزش افزوده کل منهای بخش نفت، ارزش ساختمان‌های ساخته شده، تعداد کل خانوار و شاخص قیمت مصرف انرژی مناسب‌ترین مدل است. با استفاده از سناریوی انتخابی، تقاضای انرژی بخش خانگی–تجاری تا سال ۱۴۱۰ پیش‌بینی شده است. نتایج نشان می‌دهد تقاضای انرژی این بخش در سال ۱۴۱۰ به حدود ۱۱۷۹ میلیون بشکه معادل نفت خام می‌رسد.

کلمات کلیدی:

پیش‌بینی، تقاضای انرژی، بخش خانگی تجاری، الگوریتم ژنتیک

۱) کارشناسی ارشد مدیریت صنعتی دانشکده مدیریت دانشگاه تهران h_nazari@ut.ac.ir
۲) استادیار گروه مدیریت صنعتی دانشکده مدیریت دانشگاه تهران Aliyehkazmei@ut.ac.ir
۳) دانشجوی دکتری سیاستگذاری علم و فناوری دانشگاه تهران (نویسنده مسئول) Alisadabadi@ut.ac.ir

مقدمه

انرژی عنصر حیاتی و اساسی تولید است که در اشکال مختلف از چوب و سوخت‌های فسیلی در پایین‌ترین سطح پالایش تا انرژی هسته‌ای در بالاترین سطح فرآوری در طبیعت وجود دارد[۵]. وابستگی روزافزون جوامع به انرژی به دلیل جایگزینی نیروی ماشین به جای نیروی انسانی سبب شده تا انرژی در کنار سایر عوامل تولید یک عامل موثر در رشد و توسعه اقتصادی تلقی شود و در عملکرد بخش‌های مختلف اقتصادی نقش چشم‌گیری ایفا کند [۴]. تامین امنیت عرضه انرژی در دنیا از مسائل راهبردی پیش روی تمامی دولت‌ها می‌باشد. در کنار محور مدیریت سمت عرضه انرژی، بخشی که کمتر از آن نامی به میان می‌آید مدیریت سمت تقاضای انرژی است. در کشور ما امروزه تلاش‌ها در جهت مدیریت سمت عرضه انرژی بوده و کمتر به مدیریت سمت تقاضای انرژی توجه می‌شود در حالی‌که مدیریت تقاضای انرژی و تلاش در جهت استفاده بهینه از انرژی در تمامی کشورهای پیشرفته دنیا از مهمترین عوامل پیشرفت صنعتی پایدار بوده است [۶]. هرگونه سیاست‌گذاری و تصمیم‌گیری در حوزه انرژی مستلزم بررسی روند تقاضای انرژی و عوامل موثر بر آن است. بنابراین، شناخت تقاضای انرژی کشور و پیش‌بینی روند آتی آن در کنار دیگر سیاست‌های حاکم بر تقاضای انرژی می‌تواند نقش موثری در فرایند تصمیم‌گیری‌های اقتصادی داشته باشد و از سوی دیگر، به دلیل اینکه شبیه‌سازی و پیش‌بینی تقاضای انرژی در زمینه سیاست‌گذاری‌های اقتصادی، رفاه و انرژی مساله‌ای مهم و ضروری محسوب می‌شود، دستیابی به تکنیکی قدرتمند با توانایی‌های بالا و خطای کم در شبیه‌سازی و پیش‌بینی تقاضای انرژی یکی از مسائل مورد توجه محققین و سیاستگذارانِ درگیر با مسائل انرژی است. با توجه به اهداف و مطالب ذکر شده در این تحقیق، با استفاده از مدل‌های خطی و نمایی و الگوریتم ژنتیک به پیش‌بینی روند تقاضا در بخش خانگی- تجاری پرداخته می‌شود. در این راستا، سناریوهای مختلف با ورودی‌های متفاوت مورد بررسی قرار گرفته و مناسب‌ترین سناریو انتخاب و تقاضای انرژی این بخش طی سال‌های آتی پیش‌بینی می‌شود. لازم به ذکر است دوره زمانی شبیه‌سازی در این مطالعه سال‌های ۱۳۴۵ تا ۱۳۸۹ است که از داده‌های دوره زمانی ۱۳۴۶ تا ۱۳۸۶ برای مدل‌سازی و از داده‌های ۱۳۸۷ تا ۱۳۸۹ برای آزمون دقت پیش‌بینی مدل استفاده می‌شود. مطالعه حاضر در شش بخش تنظیم شده‌است: پس از مقدمه، در بخش دوم، پیشینه تحقیق مرور می‌شود؛ در بخش سوم، مبانی نظری الگوریتم ژنتیک به اختصار معرفی می‌شود؛ در بخش چهارم، سناریوهای مورد بررسی، معرفی می‌شوند، روند مصرف انرژی با استفاده از سناریوهای مختلف در بخش پنجم پیش‌بینی شده و کارایی آنها با توجه به روند واقعی مصرف انرژی مورد بررسی قرار می‌گیرد و سپس میزان تقاضای انرژی در بخش خانگی – تجاری تا سال ۱۴۱۰ با استفاده از کاراترین سناریو پیش‌بینی می‌شود و نهایتا در بخش ششم نتایج تجربی و پیشنهادها ارائه شده است.

پیشینه تحقیق

در سال‌های اخیر، محققین از روش‌های مختلفی مانند روش‌های اقتصادسنجی و الگوریتم‌های فراابتکاری برای پیش‌بینی تقاضای انرژی در بخش‌های مختلف مصرف استفاده کرده‌اند. اهداف روش‌های اقتصادسنجی را به طور کلی می‌توان اعطای محتوای تجربی به روابط اقتصادی برای آزمودن نظریه‌های اقتصادی، پیش‌بینی، تصمیم‌گیری، و ارزیابی پیش‌بینی یک سیاستگذاری یا تصمیم دانست. روش‌های اقتصادسنجی صرفا زمانی که برای متغیرهای مدل، مشاهدات تاریخی به اندازه کافی وجود داشته باشد قابل اجرا هستند. در این مدل‌ها با استفاده از داده‌های تاریخی کلی، رفتار گذشته متغیرها برون‌یابی به آینده تسری داده می‌شود. از آنجایی که در روش‌های اقتصادسنجی، رابطه آینده بین متغیرها بر روابط گذشته آنها استوار است، بکارگیری این روش‌ها مستلزم وجود ثبات در واکنش رفتار اقتصادی است. این مدل‌ها برای پیش‌بینی کوتاه مدت بسیار مناسب می‌باشند و با استفاده از این مدل‌ها می‌توان تعامل بین بخش انرژی و سایر بخش‌های اقتصادی را تجزیه و تحلیل نمود و بیشتر مواقعی که روابط حاکم بین متغیرها خطی باشند، بهتر عمل می‌کنند [۱۲]. اما زمانی که متغییرها از یک روند پرنوسان و غیرخطی پیروی می‌کنند، الگوریتم‌های فراابتکاری توفیق بیشتری پیدا می‌کنند. روش‌ها و الگوریتم‌های بهینه‌سازی به دو دسته الگوریتم‌های دقیق و الگوریتم‌های تقریبی تقسیم‌بندی می‌شوند. الگوریتم‌های دقیق قادر به یافتن جواب بهینه به صورت دقیق هستند اما در مورد مسائل بهینه‌سازی سخت، کارایی ندارند و زمان حل آنها در این مسائل به صورت نمایی افزایش می‌یابد. الگوریتم‌های تقریبی قادر به یافتن جواب‌های خوب (نزدیک به بهینه) در زمان حل کوتاه برای مسائل بهینه‌سازی سخت هستند و به دو دسته الگوریتم‌های ابتکاری و فراابتکاری تقسیم‌بندی می‌شوند. دو مشکل اصلی الگوریتم‌های ابتکاری، قرارگرفتن آن‌ها در بهینه‌های محلی و عدم قابلیت آنها برای کاربرد در مسائل مختلف است. الگوریتم‌های فراابتکاری یا متاهیوریستیک‌ها برای حل این مشکلات الگوریتم‌های ابتکاری ارائه شده‌اند. در واقع الگوریتم‌های فراابتکاری، یکی از انواع الگوریتم‌های بهینه‌سازی تقریبی هستند که دارای سازوکارهای خروج از بهینه‌ی محلی می‌باشند و قابل کاربرد در طیف وسیعی از مسائل هستند [۲]. با توجه به موضوع پژوهش حاضر در ادامه به تعدادی از مطالعات انجام شده با استفاده از الگوریتم‌های فراابتکاری پرداخته می‌شود.

شیری و پیلتن (۱۳۸۹) [۱]، با استفاده از توابع خطی و غیرخطی و با ضرایب بدست آمده از الگوریتم بهینه سازی انبوه ذرات به پیش‌بینی و تحلیل انرژی در بخش صنعت فلز ایران پرداختند. در این مطالعه، مصرف برق تابعی از متغیرهای ارزش افزوده، تعداد شاغلین، قیمت انرژی‌های جایگزین، قیمت برق و ارزش سرمایه‌گذاری در ماشین آلات است. نتایج نشان داد مدل غیرخطی لگاریتمی دارای بهترین جواب بوده است. میرفخرالدینی و همکاران (۱۳۹۱) [۷]، با استفاده از مدل ترکیبی شبکه عصبی مصنوعی و الگوریتم ژنتیک مصرف انرژی ایران را پیش‌بینی کردند. در این مطالعه از داده‌های سالانه مصرف انرژی کشور به عنوان متغیر خروجی مدل پیش‌بینی و از داده‌های سالانه جمعیت کل کشور، تولید ناخالص داخلی، صادرات و واردات به عنوان متغییرهای ورودی مدل‌های پیش‌بینی استفاده شده است. نتایج ارزیابی مدل‌ها نشان داد الگوی

ترکیبی شبکه عصبی و الگوریتم ژنتیک نسبت به سایر مدل‌ها دارای بالاترین دقت در پیش‌بینی مصرف انرژی کشور است. کاوه و همکاران (۲۰۱۲) [۹]، با استفاده از الگوریتم جستجوی هارمونی تقاضای انرژی بخش حمل و نقل ایران را تا سال ۲۰۲۰ تخمین زدند. در این مطالعه متغیرهای جمعیت، تولید ناخالص داخلی و تعداد وسایل نقلیه به عنوان ورودی مدل‌های خطی و نمایی در نظر گرفته شدند، همچنین از داده‌های مربوط به سال‌های ۱۳۴۶ تا ۱۳۸۸ برای آموزش و آزمایش مدل‌ها استفاده شد و نتایج نشان داد مدل نمایی بهتر عمل کرده است. کیرن و همکاران (۲۰۱۲)[1] [۱۰]، در مطالعه‌ای با استفاده از یک روش ترکیبی و با دو الگوریتم بهینه‌سازی انبوه ذرات و کلونی مورچه‌ها تقاضای سالانه انرژی کشور ترکیه را پیش‌بینی کردند. آنها متغیرهای تولید ناخالص داخلی، جمعیت، صادرات و واردات را به عنوان ورودی مدل‌های خطی و درجه دوم در نظر گرفتند و با توجه به نتایج دریافتند فرم درجه دوم در سناریوهای مختلف بهتر عمل کرده است. یو و همکاران (۲۰۱۲)[2] [۱۳]، در مقاله‌ای با ترکیب دو الگوریتم ژنتیک و بهینه‌سازی انبوه ذرات تقاضای انرژی اولیه چین را تخمین زدند. متغیرهای در نظر گرفته شده تولید ناخالص داخلی، جمعیت، سهم صنعت در نرخ رشد تولید ناخالص داخلی، نرخ رشد سهم زغال سنگ، نرخ شهرنشینی و مصرف انرژی ساختمان بودند. از داده‌های مربوط به سال‌های ۱۹۹۰ تا ۲۰۰۹ استفاده و تقاضای انرژی اولیه چین تا سال ۲۰۲۰ پیش‌بینی شده است. اردکانی و اردهالی (۲۰۱۴) [۱۴]، در مطالعه‌ای با استفاده از دو الگوریتم شبکه عصبی و بهینه‌سازی انبوه ذرات تقاضای بلندمدت بار الکتریکی در ایران و آمریکا را پیش‌بینی کردند. آنها متغیرهای تولید ناخالص داخلی، واردات انرژی، صادرات انرژی و جمعیت را برای دوره‌های ۱۹۶۷– ۲۰۰۹ در نظر گرفتند و بر اساس آن میزان انرژیِ دو کشور را تا سال ۲۰۳۰ پیش‌بینی کردند.

مرور تحقیقات انجام شده نشان می‌دهد الگوریتم‌های فراابتکاری برای پیش‌بینی تقاضای انرژی نتایج مطلوب‌تری نسبت به الگوهای خطی داشته‌اند. در تحقیق حاضر از الگوریتم ژنتیک برای انتخاب مناسب‌ترین سناریو جهت پیش‌بینی تقاضای انرژی بخش خانگی– تجاری کشور استفاده می‌شود.

مبانی نظری الگوریتم ژنتیک

ایده اصلی الگوریتم‌های تکاملی در سال ۱۹۶۰ میلادی توسط ریچنبرگ[3] مطرح گردید. الگوریتم‌های ژنتیک که منشعب از این نوع الگوریتم‌ها می‌باشد، در حقیقت روش جستجوی رایانه‌ای بر پایه الگوریتم‌های بهینه‌سازی و بر اساس ساختار ژن‌ها و کروموزم‌هاست که توسط جان هلند[4] (۱۹۷۰) در دانشگاه میشیگان مطرح شد. الگوریتم‌های ژنتیک از اصول انتخاب طبیعی داروین برای یافتن فرمول بهینه جهت پیش‌بینی یا تطبیق الگو استفاده می‌کنند. این الگوریتم‌ها اغلب گزینه

1) Kıran
2) Yu
3) Richen berg
4) John Holland

خوبی برای تکنیک‌های پیش بینی بر مبنای رگرسیون هستند [۸]. در ادامه، مفاهیم اولیه الگوریتم‌های ژنتیک بـه اختصـار توضیح داده شده است.

اصول پایه‌ای

الگوریتم‌های ژنتیکی بر اساس نظریه تکاملی داروین می‌باشند و جواب مساله‌ای که از طریق الگـوریتم ژنتیـک حـل می‌شود رفته رفته بهبود می‌یابد. الگوریتم ژنتیک با یک مجموعه از جواب‌ها که از طریق کروموزوم‌ها نشان داده می‌شـوند، شروع می‌شود. این مجموعه جواب‌ها جمعیت اولیه نام دارد. در این الگوریتم، جواب‌های حاصل از یک جمعیت، برای تولیـد جمعیت بعدی استفاده می‌شوند. در این فرایند امید است جمعیت جدید نسبت به جمعیت قبلی بهتر باشد. انتخاب بعضـی از جواب‌ها از میان کل جواب‌ها (والدین) به منظور ایجاد جواب‌های جدید یا همان فرزندان بر اسـاس میـزان برازنـدگی آنهـا می‌باشد .طبیعی است که جواب‌های مناسب‌تر شانس بیشتری برای تولید مجدد داشته باشند. این فرایند تا برقراری شـرطی که تعیین شده است (مانند تعداد جمعیت‌ها یا میزان بهبود جواب) ادامه پیدا می‌کند [۳].

نمای کلی الگوریتم ژنتیک

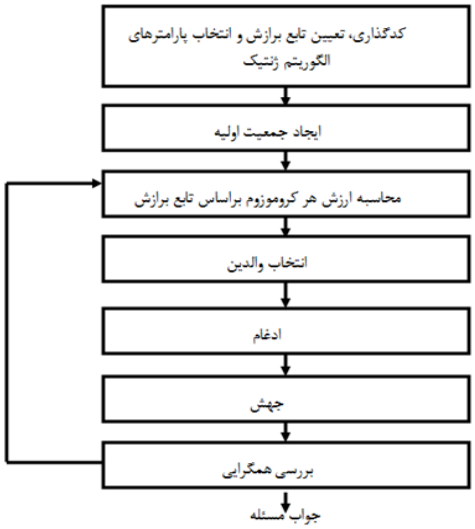
۱. تولید جمعیت اولیه شامل n کروموزوم
۲. بررسی تابع ارزیابی $f(x)$ برای هر کروموزوم x در جمعیت
۳. ایجاد یک جمعیت جدید براساس تکرار قدم‌های زیر:
   ۳-۱. انتخاب دو کروموزوم والد از یک جمعیت براساس میزان برازندگی آنها
   ۳-۲. در نظر گرفتن مقدار مشخصی برای احتمال اعمال عملگر ترکیب (تقاطع) و سپس انجام عملیات ترکیب بر روی والدین به منظور ایجاد فرزندان (اگر هیچ ترکیب جدید صورت نگیرد، فرزندان همان والدین خواهند بود)
   ۳-۳. در نظر گرفتن احتمال جهش و سپس تغییر فرزندان در هر مکان
   ۳-۴. جایگزین فرزندان جدید در جمعیت جدید
۴. استفاده از جمعیت جدید برای اجراهای بعدی الگوریتم
۵. توقف اجرای الگوریتم در صورت مشاهده شرایط توقف و برگرداندن بهترین جواب در جمعیت فعلی
۶. رفتن به مرحله۲

شکل ۱) نمای کلی الگوریتم ژنتیک

منبع: [۸]

مراحل اجرای الگوریتم ژنتیک

با توجه به صورت مساله، متغیرهایی که باید تعیین شوند، مشخص می‌شوند. سپس این متغیرها به نحو مناسبی کدگذاری شده و به شکل کروموزوم نمایش داده می شوند . بر اساس تابع هدف، یک تابع برازندگی برای کروموزوم‌ها تعریف می‌گردد و یک جمعیت اولیه دلخواه نیز به طور تصادفی انتخاب می‌شود. به دنبال آن، میزان تابع برازندگی برای هر کروموزوم جمعیت اولیه محاسبه می شود . سپس مراحلی که در شکل (۲) نمایش داده شده است به ترتیب زیر انجام می‌گیرد [۳].



شکل ۲) مراحل اجرای الگوریتم ژنتیک

منبع: [۸]

با توجه به مطالب پایه‌ای الگوریتم ژنتیک که بطور مختصر توضیح داده شد، نرخ‌های مربوط به هریک از پارامترهای الگوریتم مطابق با جدول (۲)، کدگذاری کروموزوم بصورت دودویی (برای هر بیت یکی از دو مقدار صفر و یا یک)، جمعیت کروموزوم ها بصورت واحد مطابق با نرخ جدول (۲)، تابع برازندگی با توجه به رابطه (۱)، عملگر انتخاب مطابق با روش ازدواج از بالا به پایین، عملگر ادغام مطابق با روش چند نقطه‌ای، نرخ جهش هم به صورت جدول (۲) درنظر گرفته شد.

$$(f(xi)=2-sp+2(sp-1)\ (i-1)/\ Npop-1 \qquad (۱)$$

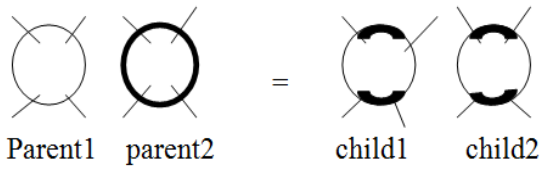
در اینجا (f) تابع برازندگی (N_{pop}) تعدا افراد و (X_i) فردی دارای مرتبه (i) در جمعیت که در بهترین فرد (i=۱) و در بدترین فرد ($i=N_{pop}$) است. مقدار SP بصورت تجربی و مطالب پایه‌ای الگوریتم ۰٫۸ در نظر گرفته شد.

روش ازدواج از بالا به پایین

در این روش از بالای فهرست شروع و کروموزوم‌ها دوتا دوتا زوج می‌شوند. ردیف‌های زوج مثلا مادر و ردیف‌های فرد مثلا پدر هستند. الگوریتم، ردیف‌های فرد را با ردیف‌های زوج مزدوج می‌کند.

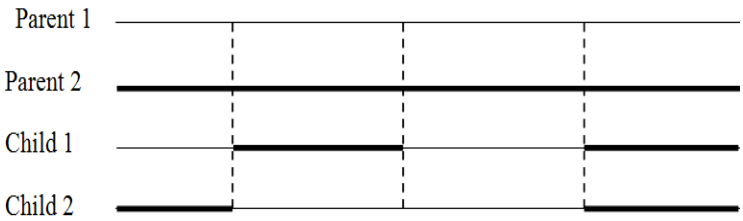
روش ادغام چند نقطه‌ای

در این روش ممکن است تعداد مکان‌ها، زوج یا فرد باشند. اگر مقدار زوج باشد، رشته‌ها به صورت یک حلقه که بدون ابتدا و انتهاست، خواهد بود که این مکان بصورت تصادفی در اطراف دایره انتخاب می‌شود. بنابراین، اطلاعات بین این مکان‌ها مطابق شکل (۳) جابجا می‌شوند:



شکل ۳) ادغام چند نقطه‌ای با درنظر داشتن مقدار زوج

اما اگر مقدار آنها فرد باشد، یک مکان متفاوتی در رشته در نظر گرفته شده و اطلاعات آن مطابق شکل (۴) جابجا می‌شوند:



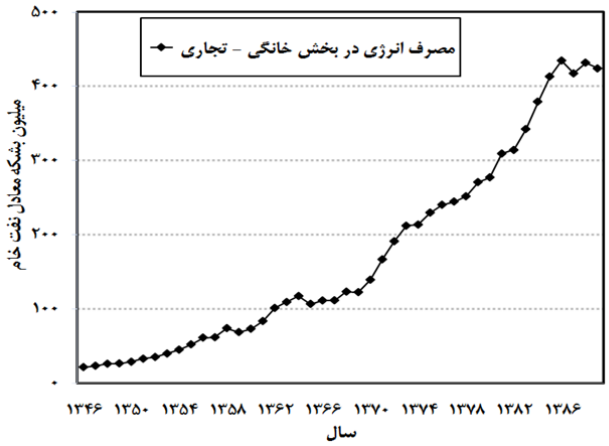
شکل ٤) ادغام چند نقطه‌ای با درنظر داشتن مقدارفرد

توسعه سناریوهای مختلف برای پیش‌بینی تقاضای انرژی بخش خانگی- تجاری

همانگونه که ذکر شد، در این تحقیق سناریوهای مختلف با ورودی‌های متفاوت مورد بررسی قرار گرفته و مناسب‌ترین سناریو انتخاب می‌شود. با بررسی تحقیقات مختلف و کسب نظر خبرگان، متغیرهای مدل شامل متغیرهای ورودی و متغیر خروجی [۱۱] به صورت ذیل انتخاب شده‌اند.

متغیر خروجی

مصرف سالانه انرژی در بخش خانگی– تجاری به عنوان متغیر خروجی مدل در نظر گرفته شده است. شکل(۵) میزان مصرف انرژی در بخش خانگی- تجاری کشور را از سال ۱۳۴۶ تا ۱۳۸۹ نشان می‌دهد.



شکل ۵) مصرف انرژی در بخش خانگی ـ تجاری

متغیرهای ورودی

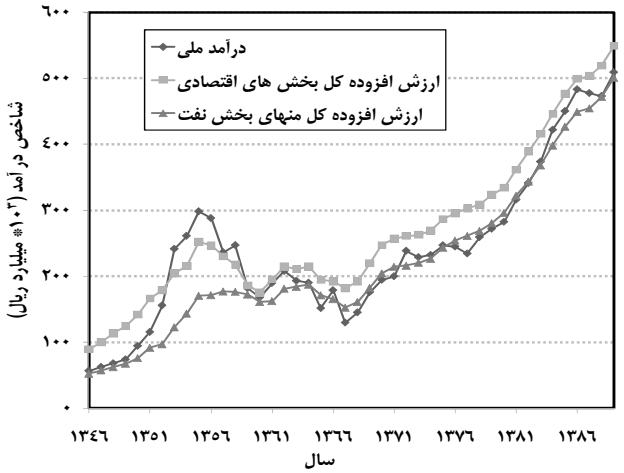
ارزش افزوده

ارزش افزوده حاصل از چهار بخش اقتصادی نفت، صنعت + معدن، تجاری و کشاورزی است که می‌تواند نشان دهنده یک شاخص سنجش مناسب برای رفاه درآمدی فرد یا خانوار باشد. با توجه به اینکه در بخش نفت درآمد تاثیر مستقیم بر میزان مصرف ندارد، از این رو، ارزش افزوده به دو بخش نفت و غیرنفت تقسیم می‌شود. بنابراین، متغیرهای این بخش به صورت زیر خواهند بود. واحد اندازه‌گیری هر متغیر مشخص شده است و حروف اختصاری نشان دهنده آن نیز داخل پرانتز آمده است.

- ✓ ارزش افزوده کل بخش‌های اقتصادی (ارزش افزوده کل) (VAT) (10^3* میلیارد ریال)

- ✓ ارزش افزوده کل منهای بخش نفت (VAN) ($*10^3$ میلیارد ریال)
- ✓ درآمد ملی (YNI) ($*10^3$ میلیارد ریال)

شکل (۶) مقادیر این متغیرهای طی سال‌های ۱۳۴۶ تا ۱۳۸۹ را نشان دهد.



شکل ٦) شاخص درآمد

ساختمان

سرمایه‌گذاری‌های صورت گرفته برای ساختمان و یا ارزش ساختمان‌های ساخته شده نشان می‌دهد سالانه چه تعداد ساختمان اضافه می‌شوند و در واقع، چه مقدار انرژی برای سیستم‌های سرمایشی، گرمایشی و تهویه مطبوع مورد نیاز است. بنابراین، متغیرهای این بخش شامل دو دسته زیر در نظر گرفته شده‌اند:

- ✓ تشکیل سرمایه ثابت ناخالص ساختمان (INVC) ($*10^3$ میلیارد ریال)
- ✓ ارزش ساختمان‌های ساخته شده (BLD) ($*10^3$ میلیارد ریال)

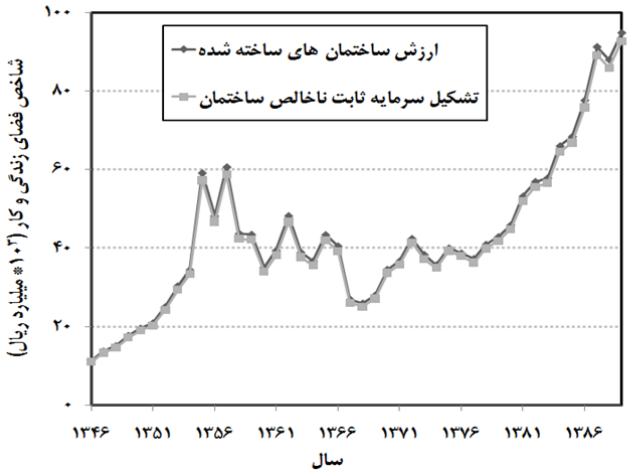
شکل(۷) مقادیر این متغیرها طی سال‌های ۱۳۴۶ تا ۱۳۸۹ را نشان دهد.

جمعیت و نیروی کار

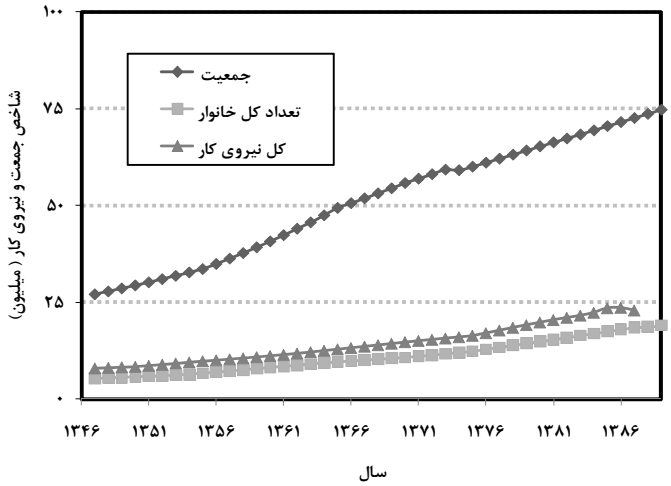
مسلما جمعیت نقش مهمی در مصرف انرژی بخش خانگی- تجاری دارد. همچنین نیروی کار به عنوان بخشی از جمعیت که خارج از خانه هستند بر مصرف انرژی بخش خانگی ـ تجاری تاثیرگذارند. متغیرهای اثرگذار در این بخش از این جهت به صورت زیر دسته بندی می‌شوند:

- ✓ جمعیت (PO) (میلیون)
- ✓ تعداد کل خانوار (HNT) (میلیون)
- ✓ کل نیروی کار (LT) (میلیون)

شکل(۸) مقادیر این متغیرها طی سال‌های ۱۳۴۶ تا ۱۳۸۹ را نشان دهد.



شکل ۷) شاخص فضای زندگی و کار



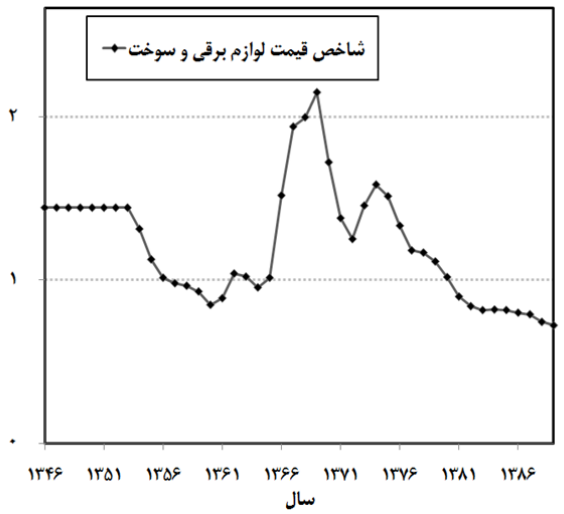
شکل ۸) شاخص جمعیت و نیروی کار

قیمت

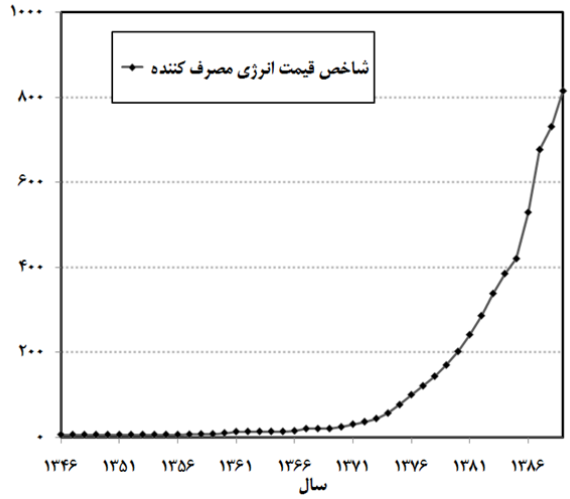
متغیرهای زیر در این بخش مورد توجه قرار گرفته‌اند:

- ✓ شاخص قیمت انرژی مصرف کننده (PFC)
- ✓ شاخص قیمت انرژی تعدیل شده توسط شاخص عمومی قیمت (PFPG)
- ✓ شاخص قیمت لوازم برقی و سوخت (PAPL)

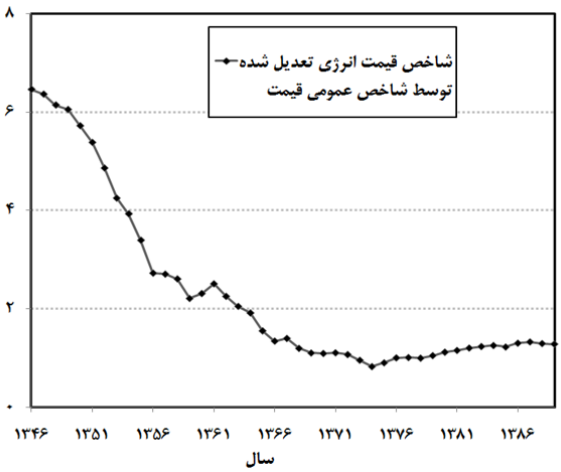
قابل ذکر است از آنجایی که انرژی بخش خانگی – تجاری غیرقابل جایگزینی است، ممکن است مصرف کننده با افزایش قیمت نیز مصرف خود را کاهش ندهد. در واقع، مصرف کننده میزان مصرف را با توجه به قیمت سوخت‌های مختلف و نه با توجه به قیمت قبلی آن مشخص می‌کند. بنابراین، متغیر شاخص قیمت انرژی تعدیل شده توسط شاخص عمومی قیمت نیز در نظر گرفته شده است. شکل‌های (۹)، (۱۰) و (۱۱) مقادیر این متغیرها طی سال‌های ۱۳۴۶ تا ۱۳۸۹ را نشان می‌دهد.



شکل ۹) شاخص قیمت لوازم برق و سوخت



شکل ۱۰) شاخص قیمت انرژی مصرف‌کننده



شکل ۱۱) شاخص قیمت انرژی تعدیل شده توسط شاخص عمومی قیمت

هر کدام از زیر متغیرهای ورودی ذکرشده در بالا می‌تواند به عنوان یک متغیر ورودی در نظر گرفته شود. بـه عنـوان مثال، ارزش افزوده کل بخش‌های اقتصادی، ارزش افزوده کل منهای بخش نفت و درآمد ملی هر کدام می‌توانند به عنوان یک متغیر ورودی در نظر گرفته شوند. سناریوهای مختلف هر کدام از این متغیرها را به عنوان متغیر ورودی در نظر گرفته و با بررسی داده‌های آزمایش نهایتا مناسب‌ترین سناریو انتخاب می‌شود. با توجه به ۱۱ متغیـر ورودی، ۵۴ مـدل چهارتـایی از ترکیب آنها به صورت سناریوهای مختلف حاصل می‌شود. این مدل‌ها در جدول (۱) نشان داده شده است.

جدول ۱) مدل‌های استخراج شده از ترکیب متغیرها

مدل	ورودی‌های مدل				مدل	ورودی‌های مدل			
۱	PAPL	HNT	BLD	VAN	۲۸	PAPL	HNT	INVC	VAT
۲	PFC	HNT	BLD	VAN	۲۹	PFC	HNT	INVC	VAT
۳	PFPG	HNT	BLD	VAN	۳۰	PFPG	HNT	INVC	VAT
۴	PAPL	PO	BLD	VAN	۳۱	PAPL	PO	INVC	VAT
۵	PFC	PO	BLD	VAN	۳۲	PFC	PO	INVC	VAT
۶	PFPG	PO	BLD	VAN	۳۳	PFPG	PO	INVC	VAT
۷	PAPL	LT	BLD	VAN	۳۴	PAPL	LT	INVC	VAT
۸	PFC	LT	BLD	VAN	۳۵	PFC	LT	INVC	VAT
۹	PFPG	LT	BLD	VAN	۳۶	PFPG	LT	INVC	VAT
۱۰	PAPL	HNT	INVC	VAN	۳۷	PAPL	HNT	BLD	YNI
۱۱	PFC	HNT	INVC	VAN	۳۸	PFC	HNT	BLD	YNI
۱۲	PFPG	HNT	INVC	VAN	۳۹	PFPG	HNT	BLD	YNI
۱۳	PAPL	PO	INVC	VAN	۴۰	PAPL	PO	BLD	YNI
۱۴	PFC	PO	INVC	VAN	۴۱	PFC	PO	BLD	YNI
۱۵	PFPG	PO	INVC	VAN	۴۲	PFPG	PO	BLD	YNI
۱۶	PAPL	LT	INVC	VAN	۴۳	PAPL	LT	BLD	YNI
۱۷	PFC	LT	INVC	VAN	۴۴	PFC	LT	BLD	YNI
۱۸	PFPG	LT	INVC	VAN	۴۵	PFPG	LT	BLD	YNI
۱۹	PAPL	HNT	BLD	VAT	۴۶	PAPL	HNT	INVC	YNI
۲۰	PFC	HNT	BLD	VAT	۴۷	PFC	HNT	INVC	YNI
۲۱	PFPG	HNT	BLD	VAT	۴۸	PFPG	HNT	INVC	YNI
۲۲	PAPL	PO	BLD	VAT	۴۹	PAPL	PO	INVC	YNI
۲۳	PFC	PO	BLD	VAT	۵۰	PFC	PO	INVC	YNI
۲۴	PFPG	PO	BLD	VAT	۵۱	PFPG	PO	INVC	YNI
۲۵	PAPL	LT	BLD	VAT	۵۲	PAPL	LT	INVC	YNI
۲۶	PFC	LT	BLD	VAT	۵۳	PFC	LT	INVC	YNI
۲۷	PFPG	LT	BLD	VAT	۵۴	PFPG	LT	INVC	YNI

با توجه به متغیرهای معرفی شده در قسمت قبل ابتدا هریک از این متغیرها با الگوریتم ژنتیک طی ۱۰۰ بار تکرار مطابق با رابطه (۲) مورد شبیه‌سازی قرار گرفتند و بهترین نتیجه حاصل از شبیه‌سازی هر متغیر به عنوان یک متغیر مدل چهارتایی درنظر گرفته شد. سپس هر کدام از مدل‌ها در دو حالت خطی و نمایی مطابق با رابطه (۳) در نظر گرفته شدند. بنابراین، ۱۰۸ سناریو مورد بررسی قرار گرفت.

$$X_1(t) = \sum_{i=1}^{i=5} \alpha_{1,i}\, t^{\beta_{1.i}} \qquad (۲)$$

.
.

$$X_4(t) = \sum_{i=1}^{i=5} \alpha_{4,i}\, t^{\beta_{4.i}}$$

$$y(t) = c_1 x_1(t) + \cdots + c_4 x_4(t)$$
$$y(t) = c_1 (x_1(t))^{\gamma_1} + \cdots + c_4 (x_1(t))^{\gamma_4} \qquad (۳)$$

در اینجا α,β,λ,C ضرایب بدست آمده از الگوریتم ژنتیک است، $x(t)$ معرف متغیر ورودی مدل براساس زمان و $y(t)$ معرف خروجی مدل است که میزان مصرف انرژی در بخش خانگی– تجاری بر اساس میلیون بشکه معادل نفت خام را نشان می‌دهد.

لازم به ذکر است که ظرایب مدل‌های فوق با توجه به رابطه (۴) با هدف حداقل کردن مقدار واقعی با مقدار شبیه‌سازی توسط الگوریتم ژنتیک است.

$$\text{Min} = E_i^{observed} - E_i^{stimulate} \qquad (۴)$$

در اینجا $E_i^{observed}$ مقادیر واقعی تقاضای انرژی در طول دورهٔ i و $E_i^{stimulate}$ مقادیر شبیه سازی شده توسط تابع برای دورهٔ i باشد.

هر کدام از این ۱۰۸ مدل با استفاده از الگوریتم ژنتیک طراحی و اعتبار مدل‌ها با استفاده از دو تابع برازش میانگین مربعات خطا و مجذور میانگین مربعات خطا، میانگین قدرمطلق انحراف و درصد میانگین قدرمطلق خطا مطابق با روابط (۵) و (۶) بررسی می‌شود.

$$\text{RMSE} = \sqrt{\frac{\sum (y_{actual} - y_{estimated})^2}{n}} \qquad (۵)$$

$$\text{MAEP} = \frac{\sum \left| \frac{y_{actual} - y_{estimated})}{y_{actual}} \right|}{n} * 100 \qquad (۶)$$

در اینجا $y_{(actual)}$ مقدار واقعی و $y_{(estimated)}$ مقدار شبیه‌سازی شده می‌باشد.

داده‌های درنظرگرفته شده در این تحقیق که از گزارش‌های سالانه بانک مرکزی، وزارت نفت و وزارت نیرو استخراج شده است، به دو دسته داده‌های آموزش (۱۳۴۶– ۱۳۸۶) و داده‌های آزمایش (۱۳۸۷–۱۳۸۹) تقسیم شده‌اند. به منظور انجام محاسبات با استفاده از الگوریتم ژنتیک ابتدا داده‌ها به صورت داده‌های نرمال بین صفر و یک تبدیل می‌شوند. برای این کار از رابطه (۷) استفاده شده است.

$$z = \frac{x - \mu}{\delta} \quad (۷)$$

در اینجا z تابع توزیع نرمال، x مقدار متغیر، μ معرف میانگین داده‌ها و δ معرف انحراف معیار داده‌هاست.

با توجه به اینکه هدف پیش‌بینی انرژی بخش خانگی–تجاری است، تابع شایستگی با تاثیر گرفتن از زمان به صورت رابطه (۸) توسعه داده شده است تا بتوان نمودار شبیه‌سازی شده را با تاثیرگیری از زمان به نمودار واقعی همگرا کرد.

$$\min f(t) = \frac{t}{n}|\mathrm{sim}(t) - \mathrm{RE}(t)| \quad (۸)$$

در اینجا، t معرف زمان، n تعداد متغیرها، sim(t) مقدار شبیه‌سازی شده و re (t) مقدار واقعی داده‌ها می‌باشد.

برای برآورد ضرایب بهینه الگوهای (۲) و (۳) با استفاده ازالگوریتم ژنتیک، از نرم افزار Matlab ۲۰۱۳ استفاده شده است. پارامترهای مدل ژنتیک مطابق با جدول (۲) انتخاب شده است:

جدول۲) پارامترهای الگوریتم ژنتیک

جمعیت	جهش	ادغام	تکرار
۳۰۰	۰/۰۱	۰/۰۸	۱۰۰

انتخاب مناسب ترین مدل و پیش‌بینی تقاضای انرژی بخش خانگی – تجاری

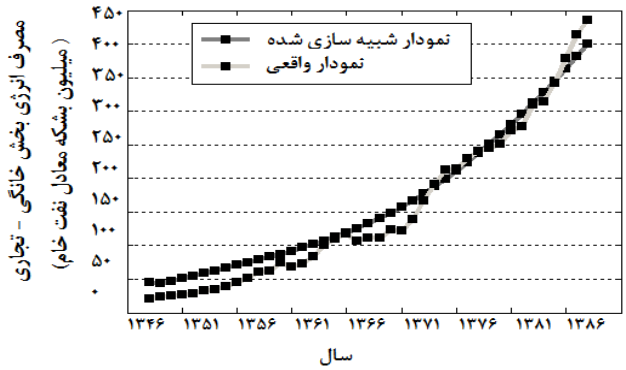
پس از توسعه سناریوهای مختلف و با ۱۰۰ مرتبه شبیه‌سازی، با بررسی داده‌های آزمایش، دو مدل (۹) و (۱۰) به عنوان بهترین مدل‌ها در حالت خطی و نمایی از میان ۱۰۸ مدل انتخاب شدند:

$$ER = 4.0707(VAT) - 2.6353(INVC) + 4.6237(\mathrm{LT}) + 3.3274(\mathrm{PFC}) + 0.0660 \quad (۹)$$

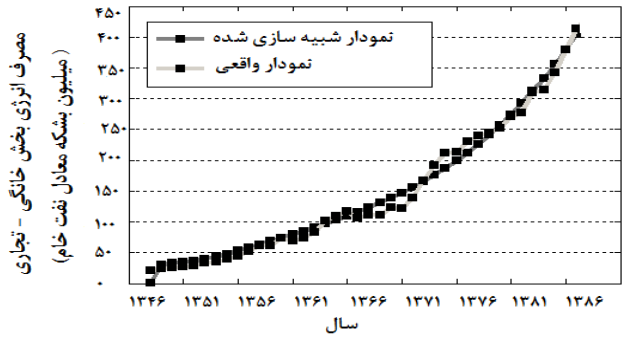
$$ER = -4.05(VAN)^{1.3555} - 3.96(BLD)^{-2.1842} + 2.09(\mathrm{HNT})^{7.34966} + 9.48(\mathrm{PFC})^{1.6271} + 0.258 \quad (۱۰)$$

در اینجا، ER مصرف انرژی بخش خانگی– تجاری، VAT ارزش افزوده کل بخش‌های اقتصادی، INVC تشکیل سرمایه ثابت ناخالص ساختمان، LT کل نیروی کار، PFC شاخص قیمت مصرف انرژی، VAN ارزش افزوده کل منهای بخش نفت، BLD ارزش ساختمان‌های ساخته شده و HNT تعدا کل خانوار می‌باشد. شکل‌های (۱۲) و (۱۳)

نمودار بهترین حالات شبیه‌سازی شده با دو معادله فوق را نشان می‌دهند.



شکل ۱۲) بهترین مدل بدست آمده در حالت خطی با استفاده از الگوریتم ژنتیک



شکل ۱۳) بهترین مدل بدست آمده در حالت نمایی با استفاده از الگوریتم ژنتیک

برای انتخاب بهترین مدل، داده‌های آزمایش مطابق با روابط (۵) و(۶) مورد بررسی قرار گرفتند. نتـایج در جـدول (۳) ارائه شده است.

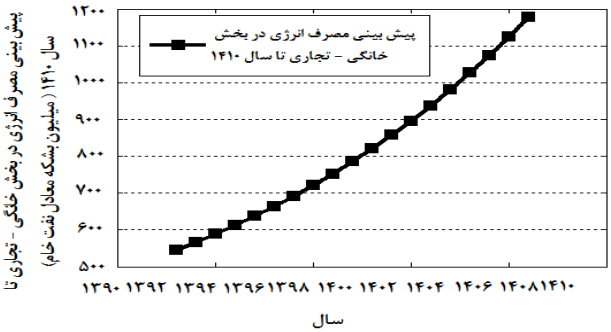
جدول ۳) نتایج ارزیابی پیش‌بینی داده‌های آزمایش با مقادیر شبیه‌سازی شده (واحد: میلیون بشکه معادل نفت خام)

سال	۱۳۸۶	۱۳۸۷	۱۳۸۸	۱۳۸۹	مجذور میانگین مربعات خطا	درصد میانگین قدرمطلق خطا
مقادیر واقعی	۴۳۴/۷	۴۱۷/۴	۴۳۱/۹	۴۲۴/۱		
پیش‌بینی الگوی خطی الگوریتم ژنتیک	۴۴۲/۹	۴۴۵/۵	۴۳۹/۲	۴۵۰/۵	۲۰/۰۴	۴/۱۳
پیش‌بینی الگوی نمایی الگوریتم ژنتیک	۴۳۶/۹	۴۲۴/۹	۴۵۱	۴۴۵/۱	۱۴/۷۲	۲/۹۲

نتایج نشان می‌دهد بهترین سناریو برای پیش‌بینی تقاضای انرژی بخش خانگی- تجاری کشور مدل نمایی شبیه‌سـازی شده با استفاده از الگوریتم ژنتیک است.

پیش‌بینی تقاضای انرژی بخش خانگی – تجاری تا سال ۱۴۱۰

با توجه به اینکه مدل نمایی مطابق با رابطه (۱۰) به عنوان بهترین سناریو انتخاب شد، پیش‌بینی تقاضای بخش خانگی ـ تجاری تا سال ۱۴۱۰ با استفاده از این مدل مطابق با شکل (۱۴) انجام شده است. همانطور که شکل (۱۴) نشان می‌دهد، روند تقاضای انرژی بخش خانگی– تجاری تا سال ۱۴۱۰ صعودی بوده و به حدود ۱۱۷۹ میلیون بشکه معادل نفت خام می‌رسد.



شکل ١٤) پیش‌بینی تقاضای انرژی بخش خانگی – تجاری تا سال ١٤١٠

نتیجه گیری

در این مطالعه، سناریوهای مختلف با ورودی‌های متفاوت برای پیش‌بینی تقاضای انرژی بخش خانگی– تجاری در دو حالت خطی و نمایی توسعه داده شد. بررسی‌های انجام شده نشان می‌دهد در بین دو مدل خطی و نمایی در نظر گرفته شده در سناریوهای مختلف، مدل نمایی در برازش داده‌ها بهتر عمل می‌کند. پارامترهای توانی مدل به آن انعطاف‌پذیری بسیار بالایی می‌دهند. از طرف دیگر، تابع شایستگی بکار گرفته شده در این مطالعه از قدرت بالایی جهت کم کردن اختلاف مقدار واقعی با مقدار شبیه‌سازی برخوردار بوده است. مدل نمایی با ورودی‌های زیر به عنوان مناسب ترین مدل انتخاب شده است :

۱– ارزش افزوده کل منهای بخش نفت
۲– ارزش ساختمان‌های ساخته شده
۳– تعدا کل خانوار
۴– شاخص قیمت مصرف انرژی

با استفاده از مدل مذکور، میزان تقاضای انرژی بخش خانگی– تجاری تا سال ۱۴۱۰ پیش‌بینی شد.

پیشنهاد می‌شود با استفاده از روش ارائه شده در این تحقیق تقاضای انرژی سایر بخش‌های مصرف پیش‌بینی شود. همچنین می‌توان از سایر الگوریتم‌های فراابتکاری برای پیش‌بینی تقاضای انرژی بخش خانگی– تجاری استفاده نموده و نتایج را با روش مورد استفاده در این تحقیق مورد مقایسه قرار داد.

منابع

[۱] شیری، هیوا. پیلتن، مهدی. (۱۳۸۹)، برآورد تقاضای انرژی در بخش صنعت فلز ایران با استفاده از الگوریتم گروه ذرات، هفتمین کنفرانس بین المللی مهندسی صنایع، دانشگاه صنعتی اصفهان.

[۲] عشقی، کورش. کریمی، مهدی. (۱۳۹۱)، بهینه‌سازی ترکیبی و الگوریتم های فراابتکاری، تهران، انتشارات آذرین مهر،۱۰۰-۲۵۰.

[۳] علیرضا، مهدی. (۱۳۸۶)، مقدمه‌ای بر الگوریتم‌های ژنتیک و کاربرد آن، تهران، ناشر ناقوس اندیشه،۵۰-۱۰۰.

[۴] فضل‌زاده، علیرضا. تجویدی، مینا. (۱۳۸۷)، مدیریت انرژی در صنایع ایران مطالعه موردی رابطه‌ی علی بین مقدار برق مصرفی و ارزش افزوده صنایع کوچک، فصلنامه مطالعات اقتصاد انرژی، سال پنجم، ۱۹: ۱۶۲-۱۴۷.

[۵] کاظمی، عالیه. منهاج، محمد باقر. مهرگان، محمدرضا. کامیاب مقدس، امین. (۱۳۸۴)، طراحی مدل رتبه‌بندی پالایشگاه های نفت کشور به روش تحلیل پوششی داده‌های فازی، اولین کنگره سیستم‌های فازی و خبره، دانشگاه فردوسی مشهد،۷-۹ شهریور ماه.

[۶] مبینی دهکردی، علی. حوری جعفری، حامد. حمیدی نژاد، عطیه. (۱۳۸۸)، بررسی وضعیت شاخص‌های مدیریت انرژی، فصلنامه راهبردی، سال هجدهم، ۵۱: ۲۹۱-۲۷۱.

[۷] میرفخرالدینی، سیدحیدر. بابایی میبدی، حمید. مروتی شریف آبادی، علی. (۱۳۹۱)، پیش بینی مصرف انرژی ایران با استفاده از مدل ترکیبی الگوریتم ژنتیک – شبکه عصبی مصنوعی و مقایسه آن با الگوهای سنتی، پژوهش‌های مدیریت در ایران، ۱۷: ۱۹۶-۲۲۲.

[8] Haupt, RL., Haupt, SE., (2004) *Practical genetic algorithms*: John Wiley & Sons.

[9] Kaveh, A., Shamsapour, N., Sheikholeslami, R., Mashhadian, M., (2012) "Forecasting transport energy demand in Iran using meta-heuristic algorithms", *Int J Optim Civil Eng*, 2(4): 533-544.

[10] Kıran, MS., Ozceylan, E., Gunduz, M., Paksoy, T., (2012) "A novel hybrid approach based on particle swarm optimization and ant colony algorithm to forecast energy demand of Turkey", *Energy conversion and Management*, 53(1):75-83.

[11] Shakouri, GH., Kazemi, A., (2011) "Energy demand forecast of residential and commercial sectors: Iran case study", *proceedings of the 41st international conference on computers & industrial engineering 23-25 October*, Los Angeles, California, USA.

[12] Suganthi, L., Samuel, A.A., (2012) "Energy models for demand forecasting A review", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(2):1223-1240.

[13] Yu, S., Zhu, K., Zhang, X., (2012) "demand projection of China using a path-coefficient analysis and PSO–GA approach", *Energy conversion and Management*, 53(1): 142-153.

[14] Ardakani, F., Ardehali, M., (2014) "Long-term electrical energy consumption forecasting for developing and developed economies based on different optimized models and historical data types", *Energy*,65:452-461.