نشریه علمی (فصلنامه) «انرژی ایران»
دوره ۲۲، شماره ۴، زمستان ۱۳۹۸، صفحه ۴۴ – ۲۷

پیش‌بینی تقاضای برق ایران با استفاده از الگوریتم‌های فرا ابتکاری

[۱]عالیه کاظمی*، [۲]رجاء بشیرزاده، [۳]سارا آریایی

تاریخ دریافت:
۱۳۹۸ / ۱۰ / ۲۲

تاریخ پذیرش:
۱۳۹۸ / ۱۲ / ۱۵

کلمات کلیدی:
پیش‌بینی تقاضای برق، شبکه عصبی مصنوعی، الگوریتم ژنتیک، الگوریتم بهینه‌سازی انبوه ذرات، الگوریتم رقابت استعماری.

چکیده

هدف از پژوهش حاضر، پیش‌بینی تقاضای کل مصرف برق کشور ایران بر پایه شاخص‌های اقتصادی- اجتماعی و با استفاده از روش‌های فرا ابتکاری است. برای رسیدن به این هدف دو استراتژی مختلف مورد بررسی قرار گرفته است. در استراتژی اول از الگوریتم ژنتیک، الگوریتم بهینه‌سازی انبوه ذرات و الگوریتم رقابت استعماری برای تعیین معادلات پیش‌بینی تقاضای انرژی الکتریکی استفاده شده است. بدین منظور اطلاعات مربوط به شاخص‌های جمعیت، تولید ناخالص داخلی، قیمت برق و مصرف برق طی سال‌های ۱۳۴۷ تا ۱۳۹۴ مورد استفاده قرارگرفته و مدل‌های پیش‌بینی تقاضا به دو صورت خطی و غیرخطی ارائه شده است. در استراتژی دوم از شبکه‌های عصبی مصنوعی آموزش داده شده با الگوریتم‌های فراابتکاری فوق‌الذکر برای پیش‌بینی تقاضای برق بر پایه همان متغیرهای ورودی تعیین شده در استراتژی اول استفاده شده است. نتایج نشان داد مدل نمایی توسعه یافته با الگوریتم بهینه‌سازی انبوه ذرات، با درصد قدرمطلق میانگین خطای ۲/۸۵٪، بهترین دقت را در پیش‌بینی تقاضای انرژی الکتریکی ایران دارد. تقاضای برق ایران تا سال ۱۴۰۴ پیش‌بینی شد و انتظار می‌رود به مقدار ۳۲۴ تراوات‌ساعت برسد.

۱. دانشیار گروه مدیریت صنعتی دانشکده مدیریت دانشگاه تهران، تهران، ایران (نویسنده مسئول)
aliyehkazemi@ut.ac.ir
۲. کارشناس ارشد مدیریت صنعتی، دانشکده مدیریت، دانشگاه تهران، تهران، ایران bashirzadeh.raja@ut.ac.ir
۳. دانشجو دکتری مدیریت صنعتی، دانشکده مدیریت، دانشگاه تهران، تهران، ایران sara.aryaee@ut.ac.ir

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-06-10]

۱. مقدمه

رشد روز افزون تقاضای هر یک از حامل‌های انرژی، در ترکیب آینده منابع تولید انرژی تأثیر به‌سزایی دارد. انرژی الکتریکی یکی از انواع انرژی است که با توجه به سهولت تبدیل و استفاده، کم خطر بودن و همچنین ملاحظات زیست‌محیطی، بیش از سایر حامل‌های انرژی مورد توجه است. انرژی الکتریکی به عنوان یک منبع تأمین انرژی مورد نیاز بخش‌های مختلف اقتصادی از یک سو و همچنین یک شاخص رفاه اجتماعی از سوی دیگر، یکی از اهرم‌های توسعه محسوب شده و برای بخش‌های مختلف اقتصادی – اجتماعی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است.

تبادل انرژی الکتریکی با سایر کشورها سبب تقویت نقش کشور در میان کشورهای همسایه و دسترسی به بازارها و مراکز جدید مصرف به عنوان فراهم‌کننده بستر تجارت انرژی برق در منطقه غرب آسیا می‌شود و از طرف دیگر امکان صدور بیشتر خدمات مهندسی و کالا و تجهیزات الکتریکی به کشورهای منطقه را فراهم می‌آورد. همچنین مبادلات برق موجب افزایش بهره‌وری، پایداری و ضریب اطمینان شبکه سراسری، استفاده از امکانات کشورهای متعامل در جهت تأمین ظرفیت ذخیره برق و در نتیجه صرفه‌جویی در سرمایه‌گذاری و کاهش اعتبارات مورد نیاز برای ایجاد این ظرفیت می‌شود. به این ترتیب، ایران در زمان پیک مصرف برق، از کشورهای منطقه برق دریافت می‌کند و در زمان پیک مصرف آن‌ها، به آنان برق صادر می‌کند. طرح همکاری منطقه‌ای برق می‌تواند زمینه را برای انتقال برق ایران به کشورهایی که در همسایگی ایران نیستند نیز فراهم کند. این امر پیش‌زمینه‌ای است تا برق ایران به شبکه برق اروپا متصل گردد. همچنین پیش‌بینی صحیح و دقیق تقاضای برق کشور، امکان برنامه‌ریزی صحیح برای توسعه منابع تولید و مدیریت مصرف را برای سیاست‌گذاران حوزه انرژی، میسر می‌نماید. با توجه به موارد ذکر شده، پیش‌بینی میزان تقاضای برق برای کشور ایران با دقت مناسب، نقش اساسی در تصمیم‌گیری‌های اقتصادی، سیاسی، ملی و منطقه‌ای دارد. از این رو در سال‌های اخیر، استفاده از روش‌های نوین پیش‌بینی بر پایه بهینه‌سازی هوشمند توسعه یافته است [۶].

برخی از روش‌های پیش‌بینی، مبتنی بر روابط صرفاً کلاسیک می‌باشند. مشکلات مربوط به مشتق‌گیری‌های پیاپی جهت ایجاد مدل‌های بهینه، باعث شده است، روش‌های نوین برای ایجاد این گونه مدل‌ها، جایگزین روش‌های کلاسیک شوند. در سال‌های اخیر، استفاده از الگوریتم‌های

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-06-10]

بهینه‌سازی هوشمند در آموزش شبکه‌های عصبی مصنوعی به عنوان رویش مؤثر برای حل مسائل مختلف مطرح شده است.

روند افزایشی در تقاضای انرژی باعث شده است که به مدل‌های پیش‌بینی مصرف انرژی قابل اعتماد نیاز باشد [۱] که این امر نشان‌دهنده اهمیت بالای این موضوع است [۱۷]. یکی از مزایای پیش‌بینی دقیق مصرف انرژی، برنامه‌ریزی صحیح در هدایت مصرف و کنترل مطلوب پارامترهای عرضه و تقاضای انرژی است [۴]. مزیت دیگر آن آگاهی از رفتار و تغییرات رفتاری متقاضیان در دوره‌های زمانی خاص است [۲]. از مدل‌های مختلفی به منظور پیش‌بینی تقاضای انرژی استفاده شده است. در ادامه به برخی از آن‌ها اشاره شده است: سری‌های زمانی [۲۱]، اقتصادسنجی [۲۶]، [۲۹] منطق فازی [۲۰]، شبکه‌های عصبی [۲۴]، برنامه‌ریزی ژنتیک [۱۵] و الگوریتم انبوه ذرات [۳۰] و [۱].

در پژوهش حاضر، با دو استراتژی جداگانه، مدل‌های نظری زیر، توسعه داده می‌شوند:

- مدل‌های پیش‌بینی تقاضای برق ایران بر اساس الگوریتم ژنتیک، الگوریتم بهینه‌سازی انبوه ذرات و الگوریتم رقابت استعماری.
- مدل‌های پیش‌بینی تقاضای برق ایران بر اساس شبکه‌های عصبی مصنوعی آموزش یافته با الگوریتم ژنتیک، شبکه‌های عصبی مصنوعی آموزش یافته با الگوریتم بهینه‌سازی انبوه ذرات و شبکه‌های عصبی مصنوعی آموزش یافته با الگوریتم رقابت استعماری.

با توجه به میزان دقت این مدل‌ها (خطای کمتر داده‌های اعتبار)، مدل مناسب برای پیش‌بینی تقاضای انرژی کشور انتخاب و میزان تقاضا تا سال ۱۴۰۴ پیش‌بینی می‌شود.

در ادامه پس از مرور پیشینه پژوهش، روش‌شناسی پژوهش مورد بررسی قرارگرفته است. سپس یافته‌های تحقیق مورد بررسی قرار می‌گیرد و نهایتاً نتیجه‌گیری و پیشنهادها ارائه شده است.

۲. مبانی نظری

میزان مصرف انرژی یکی از فاکتورهای کلیدی در بررسی روند توسعه اقتصادی و تکنولوژیکی هر کشور است و پیش‌بینی دقیق تقاضای آن ضروری است. کل مصرف برق در کشور ایران در پایان سال۱۳۹۵، در حدود ۲۳۷۴۳۶ میلیون کیلووات ساعت بوده است [۶]. 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 [۵].

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-06-10]

بررسی مطالعات صورت گرفته در زمینه مصرف انرژی نشان می‌دهد که از روش‌های مختلفی برای پیش‌بینی مصرف انرژی استفاده شده است. در ادامه تعدادی از این مطالعات در حوزه پیش‌بینی برق به اختصار تشریح می‌گردد.

لیی و همکاران (۲۰۱۹) با استفاده از مدل ادغام عمیق[1] به پیش‌بینی کوتاه‌مدت مصرف برق خانگی در استرالیا پرداختند. جوهانِسِن و همکاران (۲۰۱۹) با استفاده از تکنیک‌های رگرسیون به پیش‌بینی تقاضا انرژی برق برای نواحی شهری پرداختند. امین و همکاران (۲۰۱۹) به پیش‌بینی تقاضا و تجزیه‌وتحلیل مصرف برق خانگی در مقایس‌های زمانی چندگانه پرداختند. هه و همکاران (۲۰۱۹) مدل پیش‌بینی تراکم احتمالی مصرف برق بر اساس نوعی شبکه عصبی رگرسیون را ارائه کردند.

مورالیتاران و همکاران (۲۰۱۸) به مدل‌سازی مصرف انرژی الکتریکی برای کشور هند با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی آموزش یافته با استفاده از الگوریتم‌های ژنتیک و بهینه‌سازی انبوه ذرات پرداختند. نتایج نشان داد که شبکه‌های عصبی مصنوعی آموزش یافته بر پایه الگوریتم بهینه‌سازی هوشمند دارای دقت بالاتری می‌باشند. در این مطالعه، اطلاعات دوره‌های قبل مصرف انرژی الکتریکی به عنوان ورودی‌های مدل استفاده گردیدند. کابلی و همکاران (۲۰۱۷) به تخمین تقاضای انرژی الکتریکی برای پنج کشور در حوزه کشورهای آ سه آن[2] پرداختند. بدین منظور اطلاعات مربوط به متغیرهای جمعیت، تولید ناخالص داخلی، صادرات و واردات کشورهای مالزی، تایلند، سنگاپور، اندونزی و فیلیپین برای مدل‌سازی مصرف انرژی الکتریکی این کشورها مورد استفاده قرار گرفت و از روش برنامه‌ریزی بیان ژن[3] استفاده شد. برای تعیین دقت این روش، نتایج به دست آمده با مدل‌های مستخرج از روش‌هایی مختلف همچون شبکه‌های عصبی چندلایه پرسپترون، شبکه‌های عصبی تطبیق یافته با منطق فازی، الگوریتم بهینه‌سازی انبوه ذرات و الگوریتم جستجوی فاخته مقایسه گردید. نتایج این مقایسه نشان داد دقت مدل معرفی شده از سایر روش‌ها بیشتر است.

1. Deep Fusion Model
2. ASEAN-5
3. Gene Expression Programming

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-06-10]

پرز–گارسیا و مورال–کارسدو (۲۰۱۶) با استفاده از روش مدل تجزیه به پیش‌بینی تقاضای انرژی الکتریکی کشور اسپانیا پرداختند. در این مطالعه متغیرهایی همچون جمعیت و نرخ تولید داخلی به ازاء هر نفر به عنوان پارامترهای مؤثر بر مصرف انرژی الکتریکی مورد بررسی قرار گرفت. پسانها و لئون (۲۰۱۵) با استفاده از روش مدل تجزیه به تخمین تقاضای انرژی الکتریکی برای بخش خانگی کشور برزیل پرداختند. در این مطالعه متغیرهایی همچون جمعیت و متوسط درآمد هر خانوار به عنوان پارامترهای مؤثر بر مصرف انرژی الکتریکی مورد بررسی قرار گرفت.

آزاده و همکاران (۲۰۱۴)، با استفاده از الگوریتم‌های سیستم ایمنی مصنوعی، ژنتیک و بهینه‌سازی انبوه ذرات به تخمین تقاضای مصرف انرژی الکتریکی برای ۱۶ کشور دنیا تا سال ۲۰۳۰ پرداختند. در این مطالعه اطلاعات مربوط به این کشورها طی سال‌های ۱۹۸۰ تا ۲۰۰۶ مورد استفاده قرار گرفت. نتایج نشان داد کلیه الگوریتم‌ها دارای دقت مناسبی در تخمین انرژی الکتریکی می‌باشند. شکوری و کاظمی (۲۰۱۳)، با استفاده از فرایند تصمیم‌گیری فازی، به پیش‌بینی مصرف برق ایران پرداختند. در این مطالعه، ورودی‌های متنوع در قالب ۱۱۵۲۰ مدل گوناگون مورد بررسی قرار گرفتند و از میان این مدل‌ها، مدل لگاریتم خطی با ورودی‌های ارزش افزوده بخش‌های اقتصادی، تعداد افراد غیرشاغل، ارزش تجمعی ساختمان ساخته شده و نسبت قیمت برق به شاخص قیمت سوخت و تعداد نیروی کار دارای کارایی بیشتری نسبت به سایر مدل‌ها بود.

لی و تانگ (۲۰۱۱) از یک مدل پیش‌بینی خاکستری برای پیش‌بینی مصرف برق در چین استفاده کردند و برای کاهش خطای پیش‌بینی با استفاده از برنامه‌ریزی ژنتیک مدل مورد نظر را اصلاح نمودند. مقایسه نتایج به دست آمده از مدل مورد استفاده با نتایج مدل‌های خطی و مدل پایه‌ای پیش‌بینی خاکستری نشان داد که مدل مورد استفاده از دقت پیش‌بینی بالاتر و در نتیجه خطای کمتری برخوردار می‌باشد. بیانکو و همکاران (۲۰۰۹) مصرف برق در ایتالیا را با استفاده از مدل رگرسیون خطی پیش‌بینی کردند. در این مطالعه از داده‌های تاریخی مصرف برق، تولید ناخالص داخلی، تولید سرانه و جمعیت استفاده گردید. نتایج نشان داد که قیمت برق نمی‌تواند به عنوان یک متغیر تأثیرگذار در مصرف برق کشور ایتالیا در نظر گرفته شود و سیاست‌های قیمت‌گذاری نمی‌تواند موجب استفاده کارا از الکتریسیته گردد.

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-06-10]

قادری و بامداد (۱۳۸۴) با استفاده از روش سری‌های زمانی، مدلی ریاضی برای تخمین تابع مصرف انرژی الکتریکی ارائه کردند. به این منظور چهار تابع را مورد بررسی قرار دادند و سپس برای هر یک به محاسبه شاخص‌های آماری پرداختند. با توجه به این شاخص‌ها بهترین تابع برای تخمین مصرف انرژی الکتریکی مشخص شده است.

همان‌طور که از مرور ادبیات مشخص است، استفاده از الگوریتم‌های فراابتکاری برای پیش‌بینی مصرف برق، مورد توجه بوده است. در مطالعه حاضر از چندین الگوریتم فراابتکاری و ترکیب آن‌ها با شبکه‌های عصبی مصنوعی برای پیش‌بینی مصرف برق استفاده شده و نتایج به دست آمده با یکدیگر مقایسه می‌شوند.

۳. روش تحقیق

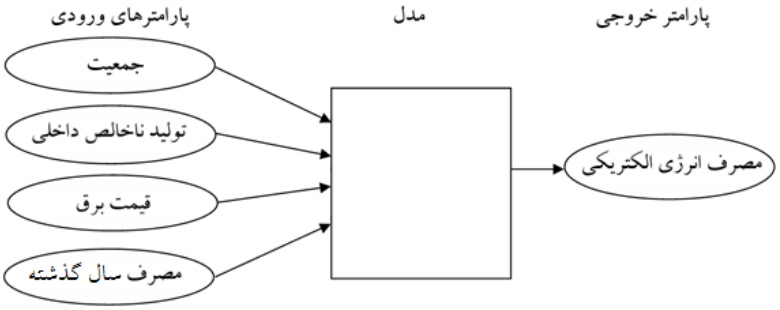
این تحقیق با توجه به نوع هدف در زمره تحقیقات کاربردی و از نظر نحوه گردآوری داده‌ها در دسته تحقیقات توصیفی (غیرآزمایشی) است. با توجه به اینکه در این پژوهش به مدلسازی ریاضی پرداخته می‌شود از نوع تحلیلی است و در مجموع در دسته تحقیقات توصیفی- تحلیلی قرار دارد. قلمرو موضوعی پژوهش، پیش‌بینی مصرف انرژی الکتریکی و قلمرو مکانی پژوهش، کشور ایران است. به منظور مدلسازی و بررسی اعتبار مدل، قلمرو زمانی پژوهش شامل داده‌های سال‌های۱۳۹۴-۱۳۴۷ است.

برای اجرای تحقیق، ابتدا داده‌های مربوط به پارامترهای ورودی و خروجی جمع‌آوری و این داده‌ها به دو دسته تقسیم می‌شوند: داده‌های مربوط به ساخت مدل‌ها (داده‌های آموزش و تست) و داده‌های مربوط به اعتبارسنجی مدل‌ها (داده‌های اعتبار). پس از انتخاب نوع استراتژی حل مساله، پارامترهای هر مدل تنظیم می‌شود و تلاش می‌شود شاخص خطا تا حد امکان برای داده‌های آموزش، تست و اعتبارحداقل شود. در صورتی که دقت مدل قابل قبول نباشد، مجددا بر حسب نوع استراتژی انتخاب شده برای حل مساله، الگوریتم مورد نظر اجرا می‌شود و پارامترهای مدل تنظیم می‌گردند. این مرحله تا زمان رسیدن به دقت قابل قبول برای مدل‌های پیش‌بینی ادامه می‌یابد.

شکل (۱) مدل مفهومی تحقیق حاضر را نشان می‌دهد. این مدل با مرور ادبیات و دریافت نظر خبرگان حاصل شده است. همان‌گونه که در این شکل دیده می‌شود، متغیر خروجی (مصرف برق) تابعی از متغیرهای ورودی (جمعیت، تولید ناخالص داخلی، قیمت واقعی برق و مصرف سال گذشته) است.

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-06-10]

مقادیر مربوط به پارامترهای ورودی و خروجی از ترازنامه انرژی (وزارت نیرو، ۱۳۹۶) استخراج شـده‌اند. برای تنظیم پارامترهای مدل پیش‌بینی تقاضای برق دو استراتژی زیر مورد توجه بوده است:



شکل ۱. مدل مفهومی تحقیق

استراتژی اول: در این استراتژی الگوریتم‌های فرا ابتکاری شامل الگـوریتم ژنتیـک، الگـوریتم بهینه‌سـازی انبوه ذرات و الگوریتم رقابت استعماری به منظور تعیین معادلات پیش‌بینی تقاضای انرژی الکتریکـی بـر پایـه شاخص‌های اقتصادی- اجتماعی به‌کار برده می‌شوند. بدین منظور اطلاعات مربوط به شاخص‌های جمعیـت، تولید ناخالص داخلی، قیمت واقعی برق و مصرف برق طی سال‌های۱۳۹۴-۱۳۴۷ مورد استفاده قرار می‌گیرنـد و مدل پیش‌بینی تقاضا به دو صورت خطی و غیرخطی (نمایی) گسترش می‌یابد.

استراتژی دوم: در این استراتژی شبکه‌های عصبی مصـنوعی آمـوزش داده شـده بـا الگوریتم‌هـای فراابتکاری ذکر شده در استراتژی اول به منظور پـیش‌بینـی تقاضـای انـرژی الکتریکـی بـا اسـتفاده از متغیرهای ورودی تعیین شده در استراتژی اول، بکار برده می‌شوند.

برای انتخاب مدل مناسب، داده‌ها به سه گروه آموزش، تست و اعتبـار تقسـیم مـی‌شـوند. از داده‌هـای آموزش (۶۵ درصـد داده‌هـا) و تسـت (۲۰ درصـد داده‌هـا) بـرای سـاخت مـدل (داده‌هـای سـال‌هـای ۱۳۴۷-۱۳۸۷) و از داده‌های اعتبار (۱۵ درصد داده‌هـا) بـرای بررسـی نحـوه عملکـرد مـدل و انتخـاب مناسب‌ترین مدل (داده‌های سال‌هـای ۱۳۹۴-۱۳۸۸) اسـتفاده مـی‌شـود. قابـل ذکـر اسـت داده‌هـا در استراتژی اول به دو قسمت، بخش اول شامل داده‌های آموزش و تست برای ساخت مدل و بخش دوم داده‌های اعتبار برای اعتبارسنجی مدل تقسیم می‌شوند. در استراتژی دوم از آنجـایی کـه از شـبکه‌های عصبی استفاده می‌شود، داده‌ها به سه بخش، بخش اول برای آموزش و ساخت مدل، بخش دوم بـرای

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-06-10]

تست و بهبود پارامترها برای عملکرد بهتر مدل و بخش سوم برای اعتبارسنجی مدل تقسیم می‌شوند. پس از انتخاب مناسب‌ترین مدل با کمترین میزان خطا بر اساس شاخص معرفی شده در رابطه (۱)، درصد قدرمطلق میانگین خطا(MAPE[1])، تقاضای برق کشور تا سال ۱۴۰۴ پیش‌بینی می‌شود.

$$\mathrm{MAPE} = \frac{1}{\mathrm{n}}\sum_{\mathrm{i}=1}^{\mathrm{n}}\left|\frac{\mathrm{x(i)} - \hat{\mathrm{x}}\mathrm{(i)}}{\mathrm{x(i)}}\right| \times 100 \qquad (۱)$$

$x(i)$ مقدار واقعی و $\hat{x}(i)$ مقدار پیش‌بینی است. n تعداد داده‌ها است.

بدیهی است برای پیش‌بینی تقاضای آتی، متغیرهای ورودی نیز باید مشخص باشند؛ بدین منظور متغیرهای ورودی با توجه به متوسط نرخ رشد سالیانه ۱۰ سال گذشته پیش‌بینی می‌شوند. شکل(۲) فرایند اجرایی پژوهش را نشان می‌دهد. قابل ذکر است برای طراحی شبکه‌های عصبی مصنوعی و الگوریتم‌های فراابتکاری از نرم‌افزار Matlab (R 2014a) استفاده شده است. در ادامه در خصوص الگوریتم‌های مورد استفاده به اختصار توضیح داده شده است.

۳-۱. الگوریتم ژنتیک

الگوریتم ژنتیک یک تکنیک برنامه‌نویسی است که از تکامل ژنتیکی به عنوان یک الگوی حل مسأله استفاده می‌کند. ابتدا با توجه به مساله، متغیرهایی که باید تعیین شوند، مشخص می‌شوند، سپس به نحو مناسبی کدگذاری و به شکل کروموزوم نمایش داده می‌شوند. بر اساس تابع هدف، مقدار برازندگی کروموزوم‌ها مشخص می‌شود و جمعیت اولیه دلخواهی به طور تصادفی انتخاب می‌شوند. به دنبال آن، مقدار برازندگی برای هر کروموزوم جمعیت اولیه حساب می‌شود. عملگرهای الگوریتم ژنتیک شامل کدگذاری، تابع برازش، عملگر تقاطع یا ترکیب، عملگر جهش و مکانیزم انتخاب است [۱۳].

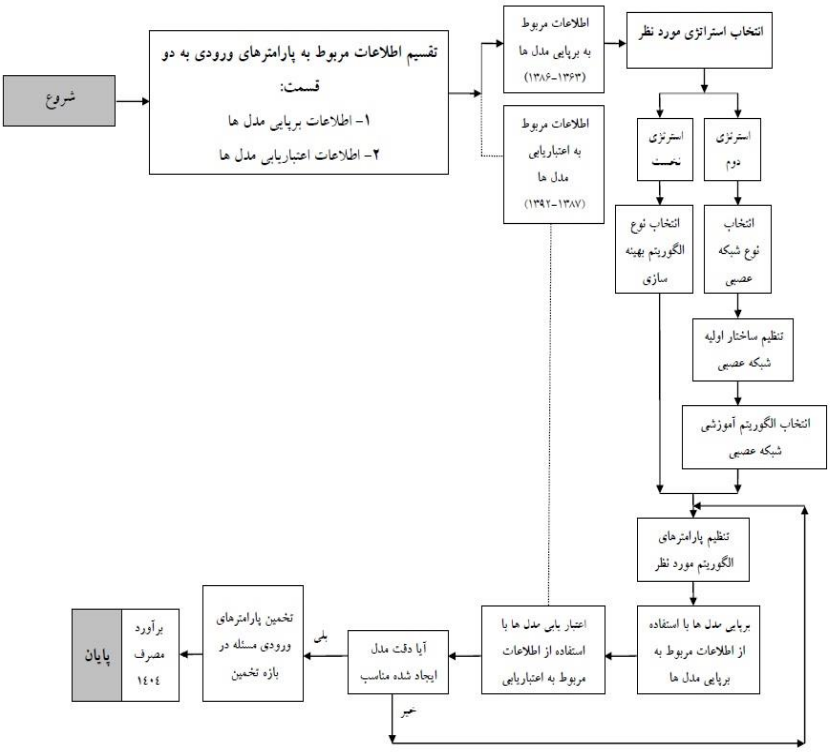
۳-۲. الگوریتم بهینه‌سازی انبوه ذرات

الگوریتم بهینه‌سازی انبوه ذرات، روش سراسری بهینه‌سازی است که با استفاده از آن می‌توان با مسائلی که جواب آنها یک نقطه یا سطح در فضای n بعدی می‌باشد برخورد نمود. در چنین فضایی، فرضیاتی

1. Mean Absolute Percentage Error

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-06-10]

مطرح می‌شود و یک سرعت ابتدایی به ذرات اختصاص داده می‌شود، همچنین کانال‌های ارتباطی بین ذرات در نظر گرفته می‌شود. سپس این ذرات در فضای پاسخ حرکت می‌کنند و نتایج حاصله بر مبنـای ملاک شایستگی پس از هر بازهٔ زمانی محاسبه می‌گردد. با گذشت زمان، ذرات به سمت ذراتی که دارای ملاک شایستگی بالاتری هستند و در گروه ارتباطی یکسانی قرار دارند، شتاب می‌گیرند [۱۴].



شکل ۲. فرایند اجرایی تحقیق

۳-۳. الگوریتم رقابت استعماری

این الگوریتم با تعدادی جمعیت اولیه تصادفی که هر کدام از آن‌ها یک کشور نامیـده می‌شـوند شـروع می‌شود. تعدادی از بهترین عناصر جمعیت به عنوان امپریالیست انتخاب می‌شوند. باقیمانده جمعیت نیـز به عنوان مستعمره، در نظر گرفته می‌شوند. استعمارگران بسته به قدرتشان، این مستعمرات را با روندی خاص به سمت خود می‌کشند. قدرت کل هر امپراطوری به هر دو بخش تشکیل دهنده آن یعنی کشور

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-06-10]

امپریالیست (به عنوان هسته مرکزی) و مستعمرات آن بستگی دارد. در حالت ریاضی، این وابستگی با تعریف قدرت امپراطوری به صورت مجموع قدرت کشور امپریالیست، به اضافه درصدی از میانگین قدرت مستعمرات آن، مدل می‌شود. با شکل‌گیری امپراطوری‌های اولیه، رقابت امپریالیستی میان آن‌ها شروع می‌شود. هر امپراطوری‌ای که نتواند در رقابت استعماری، موفق عمل کند و بر قدرت خود بیفزاید (و یا حداقل از کاهش نفوذش جلوگیری کند)، از صحنه رقابت استعماری حذف می‌شود. بنابراین، بقای یک امپراطوری، وابسته به قدرت آن در جذب مستعمرات امپراطوری‌های رقیب و به سیطره در آوردن آن‌ها خواهد بود. در نتیجه، در جریان رقابت‌های امپریالیستی، به تدریج بر قدرت امپراطوری‌های بزرگ‌تر افزوده می‌شود و امپراطوری‌های ضعیف‌تر حذف خواهند شد. امپراطوری‌ها برای افزایش قدرت خود مجبور خواهند شد تا مستعمرات خود را نیز پیشرفت دهند. با گذشت زمان، مستعمرات، از لحاظ قدرت به امپراطوری‌ها نزدیک‌تر خواهند شد و شاهد یک نوع همگرایی خواهیم بود. حد نهایی رقابت استعماری، زمانی است که یک امپراطوری واحد در دنیا داشته باشیم با مستعمراتی که از لحاظ موقعیت، به خود کشور امپریالیست، خیلی نزدیک هستند [۹].

۳-٤. شبکه‌های عصبی

شبکه‌های عصبی یکی از مباحث هوش مصنوعی است که از عملکرد مغز در شناسایی پدیده‌ها الهام گرفته شده است. مغز انسان از یک سری سلول‌های عصبی تشکیل شده است که هر کدام سیگنال‌هایی را برای یکدیگر ارسال می‌کنند. هر سلول عصبی تعدادی اکسون دارد که مانند بخش خروجی عمل نموده و نیز تعدادی دندریت دارد که به عنوان بخش ورودی عمل می‌کنند. نورون‌ها جهت فعال شدن به مقدار مشخصی قدرت سیگنال نیاز دارند و پس از فعال شدن، سیگنال الکتریکی را برای سایر نورون‌ها ارسال می‌نمایند. هر چه تعداد نورون‌ها بیشتر باشد ارتباط بین آن‌ها نیز قوی‌تر خواهد بود.

در یک شبکه عصبی مصنوعی نورون‌ها در لایه‌های مختلفی قرار می‌گیرند. لایه اول را لایه ورودی گویند که اطلاعات ورودی را دریافت نموده و برحسب قدرت ارتباطش با نورون لایه دیگر، سیگنال ورودی را به لایه بعدی انتقال می‌دهد. قدرت ارتباط هر نورون با نورون دیگر را وزن نورون گویند. تعداد نورون‌ها در هر لایه به وزن و مقدار نورون‌های لایه قبلی بستگی دارد. علاوه بر لایه ورودی، شبکه‌های عصبی متشکل از لایه‌های میانی و لایه خارجی نیز می‌باشند. لازم به ذکر است که

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-06-10]

تعداد لایه‌های میانی و نیز تعداد نورون‌های هر لایه می‌تواند به هر مقداری باشد ولی باید توجه داشت که اضافه نمودن هر نورون به لایه میانی با آنکه خطا را کاهش می‌دهد ولی باعث افزایش زمان محاسبات خواهد شد. بنابراین باید به یک تناسب منطقی در انتخاب تعداد نورون‌ها دست یافت.

در حالت کلی یک شبکه مصنوعی همانند یک تابع عمل نموده و به تعداد نورون‌های لایه ورودی، متغیر ورودی دریافت و به تعداد نورون‌های لایه خارجی، خروجی می‌دهد [۱۱]. با انتخاب بهینه متغیرهای ورودی (وزن اولیه)، تعداد لایه‌های میانی، تعداد نرون لایه‌های پنهان و انتخاب الگوریتم‌های مناسب آموزش شبکه، شبکه عصبی مصنوعی نتایج دقیق و درستی را ارائه می‌دهد. می‌توان از برخی الگوریتم‌های فراابتکاری به منظور تعیین مقادیر بهینه پارامترهای مدل شبکه عصبی در فرآیند آموزش استفاده کرد. برای مثال آموزش با الگوریتم ژنتیک به این صورت است که وزن‌های اولیه شبکه عصبی با تنظیم پارامترهای الگوریتم به‌دست می‌آیند و بدین طریق شبکه عصبی برای پیش‌بینی آماده می‌شود. در اولین تکرار، کروموزم‌های الگوریتم ژنتیک (همان وزن‌های اولیه متناظر با ورودی شبکه عصبی) به صورت تصادفی انتخاب می‌شوند و تابع برازش هر کروموزم رابطه میانگین مجذور خطا در نظر گرفته‌می‌شود. در پایان هر تکرار درصد مشخصی از بهترین کروموزوم‌ها به اضافه درصد مشخصی از کروموزوم تولید شده تصادفی به نسل بعد انتقال می‌یابند. این مراحل تا رسیدن به شرط توقف تکرارمی‌شوند. در نهایت بهترین جواب به عنوان وزن اولیه شبکه عصبی در نظر گرفته می‌شود. قابل ذکر است برای توقف، عدد مشخصی برای کل تکرار الگوریتم در نظر گرفته می‌شود و اگر بعد از تعداد تکرار معینی، بهبودی در میزان تابع برازندگی مشاهده نشود، الگوریتم متوقف می‌شود [۱].

٤. یافته‌های پژوهش

٤-١. نتایج به دست آمده از استراتژی اول

هر یک از الگوریتم‌های ژنتیک، بهینه‌سازی انبوه ذرات و رقابت استعماری، برای ۲۰ حالت مختلف از پارامترهای مربوط به هر مدل اجرا شدند و در هر اجرا، مقدار خطا (MAPE) پس از رسیدن به ملاک توقف (تعداد تکرار مشخص) ثبت گردید. نهایتاً بهترین مدل، بر اساس بیشترین همگرایی انتخاب شد. بهترین نتایج برای هر یک از الگوریتم‌ها، با استفاده از پارامترهای مشخص شده در جدول (۱) آمده است.

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-06-10]

جدول (۲) ضرایب بهینه به دست آمده برای مدل‌های معرفی شده، توسط الگوریتم ژنتیک، الگوریتم بهینه‌سازی انبوه ذرات و الگوریتم رقابت استعماری را نشان می‌دهند. قابل ذکر است مدل خطی و نمایی به ترتیب به صورت رابطه‌های (۲) و (۳) است که در اینجا Elec(t)، Pop، GDP، Price و Elec(t-1) به ترتیب نشانگر مصرف برق در سال جاری، جمعیت، تولید ناخالص داخلی، قیمت برق و مصرف سال گذشته است. تولید ناخالص داخلی و قیمت برق بر قیمت ثابت سال ۱۳۸۳ محاسبه شده است.

جدول ۱. پارامترهای الگوریتم‌های مورد استفاده برای بهترین نتایج استراتژی اول

پارامترهای الگوریتم ژنتیک	
جمعیت	اندازه جمعیت: ۴۰
انتخاب	تابع انتخاب: یکنواخت تصادفی
تکثیر	تعداد نخبه: ۲، نسبت تقاطع: ۰/۹
تقاطع	تابع تقاطع: پراکندگی
جهش	تابع جهش: گاوس، مقیاس: ۱، انقباض[1]: ۱
پارامترهای الگوریتم بهینه‌سازی ذرات انبوه	
حداکثر تعداد تکرار (t)	۴۰۰
اندازه ذره (s)	۴۰
وزن اینرسی (ω)	۰/۹۵
پارامترهای الگوریتم رقابت استعماری	
جمعیت اولیه (Ip)	۲۵۰
استعمارطلب اولیه (Ii)	۲۰
احتمال به‌روز رسانی (Up)	۰/۳۵

مأخذ: نتایج تحقیق

$$Elec(t)=w1*Pop+w2*GDP+w3*Price+w4*Elec(t-1)+w5 \quad (۲)$$

$$Elec(t)=w1*(Pop)^{w2}+w3*(GDP)^{w4}+w5*(Price)^{w6}+w7*(Elec(t-1))^{w8}+w9 \quad (۳)$$

1. Shrink

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-06-10]

جدول (۳)، درصد قدرمطلق میانگین خطا برای ساخت (شامل داده‌های آموزش و تست) و اعتبارسنجی (شامل داده‌های اعتبار) مدل‌های مختلف مربوط به استراتژی اول را نشان می‌دهد. همان‌گونه که ملاحظه می‌شود، بهترین مدل، مدل نمایی گسترش یافته بر اساس الگوریتم بهینه‌سازی انبوه ذرات ($PSO_{exponential}$) است.

٤-۲. نتایج به دست آمده از استراتژی دوم

در استراتژی دوم، شبکه‌های عصبی مصنوعی با تعداد لایه‌های مخفی متفاوت و تعداد نورون در لایه مخفی مختلف و توابع تحریک گوناگون ایجاد و هر یک از این ساختارها به‌طور جداگانه توسط الگوریتم‌های ژنتیک، بهینه‌سازی انبوه ذرات و رقابت استعماری، آموزش داده شدند. بهترین مدل‌ها برای شبکه‌های عصبی مصنوعی با الگوریتم‌های ژنتیک، بهینه‌سازی انبوه ذرات از بین ۲۰ مدل به ترتیب مدل‌های ANN-GA-10 و ANN-PSO-10 با درصد قدرمطلق میانگین خطاهای ۹/۹۴ و ۶/۲۷ درصد مربوط به داده‌های اعتبار است که هر دو شبکه‌های دارای یک لایه مخفی و توابع انتقال تانژانت هایپربولیک می‌باشند. در حالی که بهترین مدل شبکه‌های عصبی مصنوعی آموزش داده شده با الگوریتم رقابت استعماری مدل ANN-ICA-8 می‌باشد که دارای درصد قدرمطلق میانگین خطای ۴/۴۶ درصد مربوط به داده‌های اعتبار بوده و یک شبکه با یک لایه مخفی دارای هشت نرون و توابع انتقال تانژانت هایپربولیک است.

مقایسه نتایج مربوط به هر دو استراتژی نشان می‌دهد مدل‌های مورد بررسی قادر به پیش‌بینی تقاضای برق کشور با دقت نسبتاً بالایی هستند. مدل‌های توسعه داده شده با استفاده از الگوریتم‌های ژنتیک و انبوه ذرات نسبت به مدل‌های شبکه عصبی آموزش داده شده با این الگوریتم‌ها با دقت بالاتری قادر به پیش‌بینی بودند، در حالی‌که مدل شبکه‌عصبی آموزش داده شده با الگوریتم رقابت استعماری نسبت به مدل توسعه داده شده با استفاده از الگوریتم رقابت استعماری دقت بالاتری داشت. نهایتاً مدل نمایی که با استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی انبوه ذرات توسعه داده شده است، با درصد قدرمطلق میانگین خطای ۲/۸۵٪ مربوط به داده‌های اعتبار، بیشترین دقت را در پیش‌بینی تقاضای برق ایران داشت.

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-06-10]

جدول ۲. ضرایب بهینه برای مدل‌های استراتژی اول

مدل	GA_{linear}	$GA_{exponential}$	PSO_{linear}	$PSO_{exponential}$	ICA_{linear}	$ICA_{exponential}$
w1	۰/۲۴۰۸	۰/۷۱۷۳	۰/۳۴۸	۰/۳۰۳۱	۰/۵۰۴۱	۰/۲۵۰۵
w2	۰/۰۳۷۱	۲/۱۶۰۱	۰/۱۵۸۳	۰/۴۷۱۶	۰/۰۷۵۵-	۰/۶۱۵۱
w3	۰/۴۹۰۳	۰/۲۳۲۷	۰/۰۵۲۱	۰/۲۷۰۴	۰/۱۵۸۱	۰/۱۶۵۱
w4	۰/۹۶۹۸	۰/۳۲۱۶	۰/۴۹۷۹	۰/۴۹۱۶	۰/۶۸۱۱	۰/۷۷۸۲
w5	-۰/۲۲۷۸	۰/۲۲۸۲	۰/۰۷۷۱-	۰/۰۹۵	۰/۱۳۲۴-	۰/۳۹۱۵
w6	–	۰/۸۷۸۴	–	۰/۴۳۳۲	–	۰/۷۸۶۱
w7	–	۰/۲۱۹۵	–	۰/۶۳۴۱	–	۰/۷۴۰۳
w8	–	۰/۰۳۲۸	–	۱/۵۱۳۳	–	۰/۹۶۶۱
w9	–	۰/۲۹۲-	–	۰/۲۱۵۶-	–	۰/۲۱۸۶-

مأخذ: نتایج تحقیق

جدول ۳. MAPE برای ساخت و اعتبارسنجی مدل‌های استراتژی اول

مدل	MAPE مربوط به داده‌های آموزش و تست	MAPE مربوط به داده‌های اعتبار
GA_{linear}	۷/۱۷	۴/۵۵
$GA_{exponential}$	۶/۶۵	۵/۱۸
PSO_{linear}	۵/۶۱	۳/۶۲
$PSO_{exponential}$	۴/۰۱	۲/۸۵
ICA_{linear}	۴/۴۳	۳/۱۸
$ICA_{exponential}$	۴/۷۰	۳/۷۹

مأخذ: نتایج تحقیق

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-06-10]

٤-۳. پیش‌بینی تقاضای آینده برق

برای پیش‌بینی تقاضای برق، ورودی‌های مدل بر اساس متوسط نرخ رشد سالیانه در ۱۰ سال اخیر، پیش‌بینی شدند. جدول (۴) مقادیر پیش‌بینی شده برای ورودی‌های مدل و همچنین میزان تقاضای برق طی سال‌های ۱۳۹۸ تا ۱۴۰۴ را نشان می‌دهد.

جدول ۴. پیش‌بینی ورودی‌ها و خروجی مدل با استفاده از مدل $PSO_{exponential}$

سال	جمعیت (میلیون نفر)	GDP (میلیارد ریال، سال پایه ۱۳۷۶)	قیمت برق (ریال بر کیلووات ساعت)	مقدار پیش‌بینی مصرف برق (تراوات ساعت)
۱۳۹۹	۸۵/۲۱	۲۱۲۴۱۶۵	۴۶/۹۷	۲۶۴
۱۴۰۰	۸۶/۳۴	۲۱۳۴۱۷۱	۵۳/۷۶	۲۷۳
۱۴۰۱	۸۷/۴۷	۲۱۴۴۱۷۸	۵۸/۲۸	۲۸۳
۱۴۰۲	۸۸/۶۰	۲۱۵۴۱۸۴	۶۴/۰۱	۲۹۴
۱۴۰۳	۸۹/۷۳	۲۱۶۴۱۹۱	۷۴/۹۷	۳۰۸
۱۴۰۴	۹۰/۸۶	۲۱۷۴۱۹۷	۷۷/۰۴	۳۲۴

مأخذ: نتایج تحقیق

همان‌گونه که ملاحظه می‌شود پیش‌بینی می‌شود مصرف برق روندی افزایشی داشته باشد و به مقدار ۳۲۴ تراوات ساعت در سال ۱۴۰۴ برسد.

۵. نتیجه‌گیری و پیشنهادها

رشد و حتی بقای اکثر فعالیت‌های اقتصادی کشور به مسئله تأمین انرژی وابسته است. از این‌رو سیاستگذاران حوزه انرژی سعی می‌کنند با پیش‌بینی هرچه دقیق‌تر مصرف انرژی و برنامه‌ریزی صحیح در هدایت مصرف، پارامترهای عرضه و تقاضای انرژی را به نحو مطلوب کنترل کنند. در این پژوهش به منظور تعیین مدلی مناسب برای تخمین تقاضای انرژی الکتریکی بر پایه الگوریتم‌های فراابتکاری و با استفاده از شاخص‌های اقتصادی- اجتماعی دو استراتژی مورد بررسی قرار گرفت. مدل‌های تخمین تقاضای انرژی الکتریکی در هر دو استراتژی، بر اساس شاخص‌های جمعیت، تولید ناخالص داخلی، قیمت واقعی و مصرف برق در سال گذشته، گسترش یافتند. نتایج نشان داد که مدل نمایی بهینه‌سازی

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-06-10]

انبوه ذرات بهترین نتایج را به همراه دارد. نهایتاً، تقاضای انرژی الکتریکی برای ایـران تـا سـال ۱۴۰۴ پیش‌بینی گردید که انتظار می‌رود به مقدار ۳۲۴ تراوات ساعت برسد.

در این پژوهش برای تخمین هر یک از پارامترهای ورودی مسئله برای پـیش‌بینـی مصـرف آتـی برق، متوسط نرخ رشد سال‌های قبل مورد نظر قرار گرفت. در تحقیقات آینده می‌توان از سایر روش‌هـا برای تخمین هر یک از پارامترهای ورودی مسئله، استفاده نمود. همچنین برای تحقیقات آتی پیشـنهاد می‌شود سایر متغیرهای مؤثر بر مصرف برق نیز در مدل به عنوان ورودی در نظر گرفته شوند.

منابع

[۱] اسلام‌نژاد، محسن؛ اکبریان‌پور، م و ن. امین ناصری (۱۳۹۴). "توسـعه شـبکه عصـبی مصـنوعی مبتنی بر الگوریتم ژنتیک به منظـور پـیش‌بینـی آزمـایش‌هـای PVT چاه‌هـای نفـت در صـنایع بالادستی". پژوهش نفت، دوره ۲۵، شماره ۸۴، ۱۳۵-۱۴۹.

[۲] صادقی، حسین و مهدی ذوالفقاری (۱۳۸۸). "طراحی روشی نوین جهت پیش‌بینی تقاضـای کوتـاه مدت گاز طبیعی در بخش خانگی. مطالعات اقتصاد انرژی". دوره ۶، شماره ۲۳، ۷۰-۴۳.

[۳] قادری، فرید و شهروز بامداد (۱۳۸۴). "مدل ریاضی جهت تخمین تابع مصرف انرژی الکتریکی بـا استفاده از سری‌های زمانی". نشریه انرژی ایران. دوره ۹، شماره ۴. ۱۶-۲۵.

[۴] کاظمی، عالیه و مهناز حسین‌زاده (۱۳۹۱). "پیش‌بینی تقاضای حامل‌هـای انـرژی در بخـش‌هـای مختلف مصرف ایران با استفاده از رگرسیون خطی فازی". چشم‌انـداز مـدیریت صـنعتی. شـماره ۸، صص۱۶۵-۱۴۳.

[۵] نظری، حسام؛ کاظمی، عالیه؛ و علی‌اصغر سعدآبادی (۱۳۹۴). "کاربرد الگوریتم ژنتیـک در انتخـاب بهترین سناریو برای پیش‌بینی تقاضای انرژی مصرفی بخش خانگی – تجـاری در ایـران". نشـریه انرژی ایران. دوره ۱۸، شماره ۲، صص۷۵- ۹۲.

[۶] وزارت نیرو (۱۳۹۷)، ترازنامه انرژی ۱۳۹۶، ایران، تهران.

[7] Amber K.P., Ahmad R., Aslam M.W., Kousar A., Usman M. and M.S. Khan (2018). "Intelligent techniques for forecasting electricity consumption of buildings". Energy, No. 157, pp. 886-893.

[8] Amin P., Cherkasova L., Aitken R. and V. Kache (2019). "Analysis and Demand Forecasting of Residential Energy Consumption at Multiple Time Scales". IFIP/IEEE Symposium on Integrated Network and Service Management (IM). pp. 494-499.

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-06-10]

[9] Atashpaz-Gargari E. and C. Lucas (2007). "Imperialist Competitive Algorithm: an Algorithm for Optimization Inspired by Imperialistic Competition". IEEE Congress on Evolutionary Computation. pp. 4661-4667.
[10] Azadeh A., Taghipour M., Asadzadeh S.M. and M. Abdollahi (2014). "Artificial Immune Simulation for Improved Forecasting of Electricity Consumption with Random Variations". International Journal of Electrical Power & Energy Systems, No. 55, pp. 205-224.
[11] Back T. (1993). Optimal Mutation Rates in Genetic Search. Fifth International Conference on Genetic Algorithms. Morgan Kaufmann, San Mateo, CA.
[12] Bianco V., Manca O. and S. Nardini (2009). "Electricity Consumption Forecasting in Italy using Linear Regression Models". Energy, 34(9), pp.1413-1421.
[13] Davis L. (1991). Handbook of Genetic Algorithms.
[14] Engelbrecht A.P. (2005). Fundamentals of Computational Swarm Intelligence, Wiley, Hoboken, N.J.
[15] Forouzanfar M., Doustmohammadi A., Hasanzadeh S. and G.H. Shakouri (2012). "Transport Energy Demand Forecast using multi-level Genetic Programming". Applied Energy, 91(1), pp. 496–503.
[16] He Y., Qin Y., Wang S., Wang X. and C. Wang (2019). "Electricity Consumption Probability Density Forecasting Method based on LASSO-Quantile Regression Neural Network". Applied energy, No. 233, pp. 565-575.
[17] Herrera M., Fosas D., Coley D.A. and B.M. Brentan (2018). Enhancing Predictive models for Short-term Forecasting Electricity Consumption in Smart Buildings. 1st International Conference on Data for Low Energy Buildings.
[18] Johannesen N.J., Kolhe M. and M. Goodwin (2019). "Relative evaluation of regression tools for urban area electrical energy demand forecasting". Journal of cleaner production, 218, 555-564.
[19] Kaboli S.H.A., Fallahpour A., Selvaraj J. and N.A. Rahim (2017). "Long-term Electrical Energy Consumption Formulating and Forecasting via Optimized gene Expression Programming". Energy, No. 126, pp. 144-164.
[20] Kucukali S. and K. Baris (2010). "Turkey's Short-term Gross Annual Electricity Demand Forecast by Fuzzy logic Approach", Energy policy, 38(5), pp.2438–2445.
[21] Kumara U. and V.K. Jainb (2010). "Time Series Models (Grey-Markov, Grey Model with Rolling Mechanism and Singular Spectrum Analysis) to Forecast Energy Consumption in India", Energy, 35(4), pp. 1709–1716.
[22] Lee Y.S. and L.I. Tong (2011). "Forecasting Energy Consumption using a grey model Improved by Incorporating Genetic Programming". Energy conversion and Management, 52(1), pp. 147-152.
[23] Lei M., Tang L., Li M., Ye Z. and L. Pan (2019). Forecasting Short-Term Residential Electricity Consumption Using a Deep Fusion Model. Chinese Intelligent Systems Conference, Springer, Singapore, pp. 359-371.

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-06-10]

[24] Marvuglia A. and A. Messineo (2012). "Using Recurrent Artificial Neural Networks to Forecast Household Electricity Consumption", Energy Procedia, No.14, pp.45–55.
[25] Muralitharan K., Sakthivel R. and R. Vishnuvarthan (2018). "Neural Network based Optimization Approach for Energy Demand Prediction in Smart grid". Neurocomputing, No.273, pp.199-208.
[26] Parameswara Sharma D., Chandramohanan Nair P.S. and R. Balasubramanian (2002). "Demand for Commercial Energy in the State of Kerala, India: an econometric analysis with medium-range projections", Energy policy, 30(9), pp. 781–791.
[27] Pérez-García J. and J. Moral-Carcedo (2016). "Analysis and long term Forecasting of Electricity Demand trough a Decomposition Model: A case study for Spain". Energy, No. 97, pp. 127-143.
[28] Pessanha J.F.M. and N. Leon (2015). "Forecasting long-term Electricity Demand in the Residential sector". Procedia Computer Science, No.55, pp.529-538.
[29] Pokharel S., Parameswara Sharma D., Chandramohanan Nair P.S. and R. Balasubramanian (2007). "An Econometric Analysis of Energy Consumption in Nepal", Energy policy, 35(1), pp. 350–361.
[30] Servet K. M., Ozceylan E., Gunduz M. and T. Paksoy (2012). "A Novel hybrid Approach based on Particle Swarm Optimization and Ant Colony Algorithm to forecast energy demand of Turkey", Energy Conversion and Management, 35(1), pp. 75–83.
[31] Shakouri G.H. and A. Kazemi (2013). Electrical Energy Demand Forecast of Iran. The 9th International Energy Conference, Tehran, Iran.
[32] Unler A. (2008). "Improvement of Energy Demand Forecasts using Swarm Intelligence: The Case of Turkey with projections to 2025", Energy policy, 36(6), pp. 937–1944.

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-06-10]