نشریه علمی (فصلنامه) «انرژی ایران»
دوره ۲۶، شماره۴، زمستان ۱۴۰۲، صفحه ۲۳-۴۰

مدلسازی و پیش بینی اوج مصرف روزانه برق در ایران

محمد میرباقری جم
استادیار گروه اقتصاد دانشکده مهندسی صنایع و مدیریت دانشگاه صنعتی شاهرود
m.mirbagherijam@shahroodut.ac.ir
عماد بنی طرفی
کارشناسی ارشد برنامه ریزی سیستم های اقتصادی، دانشگاه صنعتی شاهرود
Emad9899733@gmail.com
حمیده محرمی
(نویسنده مسئول)
دانشجو دکتری توسعه اقتصادی دانشگاه مازندران
hemi.mhrmi77@gmail.com

تاریخ دریافت:
۱۴۰۲ / ۰۷ / ۲

تاریخ پذیرش:
۱۴۰۳ / ۰۱ / ۱۹

کلمات کلیدی:
اوج مصرف روزانه برق،
مدل‌سازی و پیش‌بینی،
شبکه عصبی،
مدل ARIMA،
مدل رگرسیون

چکیده

پیش‌بینی اوج مصرف روزانه برق و شناسایی عوامل تعیین‌کننده آن در توازن بین عرضه و تقاضای برق کمک‌کننده است. در این پژوهش اوج مصرف روزانه برق ایران را با رویکردهای مختلف در دوره ۱۳۹۵/۱۲/۳۰-۱۴۰۱/۰۳/۱۶مدلسازی و پیش‌بینی می‌شود. ۹۰ درصد مشاهدات برای ساخت مدل و مابقی برای ارزیابی مدل پیش‌بینی استفاده می‌شود. نورن های بهینه لایه های پنهان مدل شبکه عصبی(NN) بر اساس معیار حداقل خطای پیش‌بینی در لایه اول ۱۱ و در لایه دوم ۸ برآورد شد. نتایج نشان می‌دهد که فراوانی اوج اول مصرف در ساعت ۱۱ و فراوانی اوج دوم مصرف در ساعت ۲۱ بیشتر از بقیه ساعات است. متغیرهای تعطیلات رسمی، ساعت مصرف انرژی، تعداد مبتلایان جدید به کرونا، دما و رطوبت نسبی هوا و جمعیت در مدل رگرسیون اثر معنی‌دار بر اوج مصرف برق دارند. همچنین اثر متغیر تعطیلات رسمی و دمای هوا بیشتر از سایر متغیرها است. مقایسه نتایج پیش‌بینی اوج مصرف برق نشان می‌دهد که دقت پیش‌بینی مدل‌ها و رویکردهای مختلف یکسان نیست. متوسط درصد خطای پیش‌بینی مدل‌های NN،GLM و ARIMA طی ۱۸۷روز(۱۴۰۰/۰۹/۱۱-۱۴۰۱/۰۳/۱۶) به ترتیب 0/0799، 0/0754 و 0/0714 است. پس مدل ARIMA با داشتن حداقل متوسط خطای پیش‌بینی، مدل مناسب پیش‌بینی اوج مصرف است.

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-22]

نشریه علمی (فصلنامه) «انرژی ایران»
دوره ۲۶، شماره۴، زمستان ۱۴۰۲، صفحه ۲۳-۴۰

۱- مقدمه

مدیریت توازن بین تقاضا و عرضه برق شبکه در افزایش سطح رفاه جامعه مهم است. ذخیره برق در حجم وسیع امکان پذیر نیست و مازاد تولید و توزیع آن در شبکه هزینه‌های اقتصادی و زیست‌محیطی برای کشور ایجاد می‌نماید. مازاد مصرف۱ برق از تولید۲ آن نیز باعث قطعی برق و بروز خسارت‌های ناشی از آن می‌شود. در حفظ تعادل بین تولید و مصرف برق سه رویکرد قابل بحث است: عرضه متناسب با مصرف که این مستلزم پیش بینی صحیح مصرف برق و برنامه ریزی قبل از تولید است؛ مصرف متناسب با عرضه که مستلزم کنترل و مدیریت مصرف در سطح تولید است؛ رویکرد سوم تلفیقی از رویکرد اول و دوم است. در سال های اخیر عوامل متعدد از جمله شیوع ویروس کرونا (عطوفت شمسی و همکاران، ۱۳۹۹) و گسترش استخراج رمزارزها (رجبی و صابری، ۱۴۰۱)، شکاف بین تولید و مصرف برق کشور را افزایش داده و تداوم این وضع خطر بزرگی بر پایداری شبکه برق کشور است۳. اگر چه می‌توان با تغییر ساعات کاری ادارات، قطع برق مشترکین پرمصرف خارج از الگو و قطع برق برخی صنایع تولیدی در ساعات اوج مصرف تا حدی ناترازی بین تولید و مصرف برق را در یک بازه زمانی محدود مدیریت نمود ولی به نظر می‌رسد که این راهکارها کافی نباشد و پیش بینی اوج مصرف روزانه برق جهت برنامه ریزی عرضه در یک افق زمانی معین یک ضرورت است. در ادبیات تقاضای انرژی برق، بیشترین و کمترین مقدار انرژی که مصرف کننده از شبکه در یک دوره زمانی معین می‌گیرد را به ترتیب اوج بار[۴] و بار پایه[۵] گویند؛ و پیش بینی صحیح هریک از آنها کاربردهای متفاوتی برای ذینفعان صنعت برق [۶]دارد. افق برنامه ریزی و پیش بینی اوج مصرف ممکن است یک دوره بسیار کوتاه مدت[۷] ، کوتاه مدت[۸] ، میان مدت[۹] و بلندمدت[۱۰] باشد *(Lindberg et al., 2019)*. با توجه به اهمیت موضوع پیش بینی صحیح اوج بار در صنعت برق، پژوهش های زیادی انجام یافته است و چندین مطالعه مروری در این زمینه وجود دارد که به عنوان نمونه می‌توان به پژوهش های *(Alfares & Nazeeruddin, 2002)*، *(Hammad et al., 2020)*، *(Dai et al., 2021)* و *(Isaac Kofi Nti et al., 2020)* اشاره نمود.

---

[۱] تقاضا

[۲] عرضه

[۳] در گزارشی از مرکز مطالعات مجلس شورای اسلامی، از سال ۱۳۹۸ تا ۱۴۰۰مجموع دستگاه های غیرمجاز استخراج رمزارز کشف شده به بیش از ۲۲۱ هزار دستگاه رسیده است.

[4] Peak Load

[5] Base Load

[۶] از جمله اپراتورهای شبکه و خرده فروشان برق و نیروگاه ها اشاره کرد.

[۷] چند دقیقه تا یک ساعت

[۸] چند ساعت تا چند روز

[۹] یک هفته تا چندماه

[۱۰] یک سال تا چند سال

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-22]

شیوه های مدلسازی و پیش بینی اوج بار انرژی الکتریکی متعدد است. در مطالعه ای مروری *(Dai et al., 2021)* نشان داده اند که در گذر زمان از شیوه های سنتی مانند روش دستی و تجربه انسانی[۱] (۱۹۵۷)، از شیوه های کلاسیک مانند مدل های رگرسیون و تجزیه سری زمانی[۲] (۱۹۷۱)، تحلیل سری های زمانی تصادفی[۳] (۱۹۸۶)، شبکه عصبی مصنوعی[۴] (۱۹۹۱)، هموارسازی نمایی[۵] (۱۹۹۲)، فیلترکالمن و پیش بینی خاکستری[۶] (۱۹۹۵) استفاده شده است. همچنین با ظهور هوش مصنوعی و داده های بزرگ، از تکنیک های سنتی مبتنی بر هوش مصنوعی مانند منطق فازی[۷] (۱۹۹۷)، سیستم خبره[۸] (۲۰۰۰) و الگوریتم ژنتیک[۹] (۲۰۰۲) و از رویکردهای مدرن مبتنی بر هوش مصنوعی مانند ماشین بردار پشتیبان[۱۰] (۲۰۰۷)، یادگیری گروهی[۱۱] (۲۰۱۴) و یادگیری عمیق[۱۲] (۲۰۱۹) و روش های ترکیبی در مدلسازی استفاده شده است. عوامل مؤثر بر اوج بار نیز متعدد بوده و آنها را می‌توان بر اساس منشأ هر عامل و افق زمانی تأثیر بر پیک‌بار (کوتاه مدت، میان مدت و بلندمدت) دسته‌بندی نمود. تغییرات آب و هوایی[۱۳]، اثرات تقویمی[۱۴]، تغییرات اقتصادی و جمعیتی[۱۵] و تغییر نوع مشتریان[۱۶] منشاء اصلی تغییرات مصرف برق هستند.*(Dai et al., 2021)*. ادبیات پیش بینی پیک بار گسترده است. بنابراین در این پژوهش پیک‌بار مصرف برق در ایران برای دوره ۱۳۹۵/۱۲/۳۰-۰۳/۱۶/ ۱۴۰۱با رویکردهای مختلف از جمله *ARIMA* ، *GLM* و *ANN* مدلسازی و پیش‌بینی‌شده است. جهت مقایسه دقت پیش بینی مدل و رویکردهای مختلف معیارها و سنجه های متعددی وجود دارد که در این پژوهش از معیار متوسط درصد خطای پیش بینی و متوسط درصد خطای مدلسازی استفاده شده است که براساس آن مدل *ARIMA* مدل مطلوب برای پیش بینی پیشنهاد شده است.

از اهداف انجام این پژوهش می‌توان به شناسایی عوامل مؤثر بر پیک مصرف برق در ایران، تعیین ضریب و اثر هر عامل بر سطح مصرف برق در پیک‌بار و پیش‌بینی پیک مصرف برق در ایران اشاره کرد. در حقیقت این پژوهش به دنبال آن است که پیک بار مصرف برق در ایران تحت تاثیر چه عواملی است و مواردی همچون تغییر دما ، شیوع

[1] Manual method and human experience
[2] Regression models and time series analysis
[3] Analysis of random time series
[4] Artificial Neural Networks
[5] Exponential weighting model
[6] Kalman filter and gray projection
[7] Fuzzy Logic
[8] expert system
[9] Genetic algorithm
[10] Support vector machine
[11] Group learning
[12] Deep learning

[۱۳] مانند دمای هوا، رطوبت نسبی، مقدار ابر، مدت تابش آفتاب روشن، سرعت باد و غیره
[۱۴] مانند ساعات روز، روز هفته، ماه، فصل، تعطیلات و رویدادهای خاص
[۱۵] مانند درآمد، تولید، نرخ رشد جمعیت، قیمت برق و ساختار تعرفه آن
[۱۶] تجاری، مسکونی، صنعتی، کشاورزی و غیره

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-22]

ویروس کرونا و استخراج رمز ارزهای دیجیتال چه تاثیری بر پیک مصرف برق دارد و پیک بار مصرف برق در ایران در چه ساعاتی از شبانه روز اتفاق می افتد.

در ادامه نیز در زمینه ی روش تحقیق، جامعه آماری مورد پژوهش، مدل های آماری پژوهش، فلوچارت کلی پژوهش، نتایج و تحلیل نتایج، مدلسازی و پیش بینی پیک بار توسط ۳ رویکرد، ارزیابی و مقایسه نتایج رویکردهای مختلف در پژوهش، نتیجه گیری و پیشنهادات سیاستگذاری، محدودیت های پژوهش و مطالعات آتی مطالبی عرضه خواهد شد.

۲- روش تحقیق

با توجه به موضوع و هدف تحقیق این پژوهش از نوع تحلیلی، کمی، کاربردی و مفهومی است. این پژوهش ازنظر نوع تحقیق در دسته کاربردی قرار می‌گیرد که می‌تواند برای دولت و بخش خصوصی ، صنایع وابسته به شبکه توزیع برق خانگی و صنعتی و موارد دیگر حائز اهمیت و کاربرد باشد. نوع تحقیق بر مبنای هدف با استفاده از تحقیقات علمی بوده و عوامل مؤثر بر پیک مصرف شناسایی و هر یک‌کمی سازی شده است. قلمرو موضوعی پژوهش حاضر مدلسازی و پیش‌بینی پیک مصرف انرژی برق در ایران است. قلمرو مکانی آن کشور ایران و قلمرو زمانی بازه زمانی ۱۳۹۵/۱۲/۳۰ تا ۱۴۰۱/۰۳/۱۶ است. رویکردها و روش های بکار برده شده در این پژوهش نیز همانطور که گفته شد *ARIMA*، *GLM* و*ANN* می‌باشند. در ابتدا با بررسی فراوانی ساعات پیک شبانه‌روز ۱در جایگاه اول به درجه اهمیت ساعات مصرف برق پرداخته شده است. با اطلاع از بیشترین فراوانی ساعات پیک، مدیریت بهتری در تولید و توزیع برق صورت خواهد گرفت و از خاموشی در ساعات اوج مصرف برق جلوگیری خواهد شد. با استفاده از مدلسازی و پیش‌بینی پیک مصرف برق برای دوره مورد نظر با استفاده از متغیرهای میزان تاثیرگذاری و معناداری هر یک از عوامل مشخص شده. با استفاده از ۱۰ درصد از بازه زمانی مورد بررسی[۲] به پیش بینی با استفاده از سه مدل *ARIMA*، *GLM* و*ANN* پرداخته شده است، با مقایسه میانگین خطای نسبی هرکدام از مدل‌ها با داده‌های واقعی دقیق‌ترین مدل مشخص شده است. جامعه آماری پژوهش نیز گزارش روزانه پیک‌بار مصرف برق وزارت نیرو در کشور ایران می‌باشد ، این گزارش ها نیز به دو دسته ی پیک ساعت‌های روز و پیک ساعت‌های شب تقسیم بندی شده است. ازجمله متغیرهایی که به‌عنوان ابزار سنجش در مدل مورداستفاده قرار گرفته اند می‌توان به روزهای هفته ، دمای هوا ، تعطیلی‌های رسمی ، رطوبت نسبی هوا و ... اشاره داشت. همچنین نرم افزارهای مورد استفاده *EXCELL* و *R* می‌باشند.

۲-۱- مدل های آماری پژوهش

[۱] پیک ساعت اول و دوم
[۲] ۱۸۷ روز

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-22]

مدل *ARIMA* : کلمه *ARIMA* از به هم پیوستن مخففهای زیر ایجادشده که توضیح هرکدام به این صورت است:

AR : ابتدای کلمه *Autoregression* که به معنای مدلی که از ارتباط بین یک مشاهده و مشاهدات قبلی استفاده می‌کند.

I : ابتدای کلمه *Integrated* به معنای تفریق مشاهدات[۱] به جهت آنکه سیگنال به‌صورت ایستا[۲] دربیاید، می‌باشد. به‌بیان‌دیگر در اینجا افزایش یا کاهش سیگنال مهم است و نه مقدار قطعی آن.

MA : ابتدای کلمه *Moving-Average* که به معنای ارتباط بین مشاهده فعلی و خطای ایجادشده بین پیش‌بینی مدل و مشاهدات قبلی است.

مدل رگرسیون چند متغیره خطی : رگرسیون چندگانه، روشی برای توصیف مدل رابطه خطی بین متغیرهای مستقل با یک متغیر وابسته است. در حالت کلی چنین مدلی به همراه خطای تصادفی به‌صورت زیر نوشته می‌شود.

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \cdots + \beta_p x_p + \varepsilon_y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \cdots + \beta_p x_p + \varepsilon \quad \text{رابطه (۲-۱)}$$

در رابطه (۲-۱)، متغیرهای x_1 تا x_p نقش متغیرهای مستقل رادارند. از طرفی متغیر y نیز متغیر وابسته است. در انتها نیز ε جمله خطای مدل رگرسیونی محسوب می‌شود. ضرایب β_1 تا β_p نیز ضرایب مدل رگرسیونی برای متغیرهای متناظر محسوب می‌شوند. البته توجه داشته باشید که منظور از β_0 ، مقدار ثابت یا متوسط کارایی فرد بدون در نظر گرفتن هر یک از متغیرهای مستقل است.

مدل شبکه عصبی[۳] : از چند دهه گذشته که رایانه‌ها امکان پیاده‌سازی الگوریتم‌های محاسباتی را فراهم ساخته‌اند، در راستای شبیه‌سازی رفتار محاسباتی مغز انسان، کارهای پژوهشی بسیاری از سوی متخصصین علوم رایانه، مهندسین و همچنین ریاضی‌دان‌ها شروع‌شده است، که نتایج کار آن‌ها، در شاخه‌ای از علم هوش مصنوعی و در زیرشاخه هوش محاسباتی تحت عنوان موضوع «شبکه‌های عصبی مصنوعی[۴]» طبقه‌بندی‌شده است. در مبحث شبکه‌های عصبی مصنوعی، مدل‌های ریاضی و نرم‌افزاری متعددی با الهام گرفتن از مغز انسان پیشنهادشده‌اند، که برای حل گستره وسیعی از مسائل علمی، مهندسی و کاربردی، در حوزه‌های مختلف کاربرد دارند.

مدل مفهومی و متغیرهای پژوهش :

$$PeakLoad_1 = f(MonthFa, FixedVac, RotVac, Minutes_1, tcases, ncases, DBitcoin, HashRate, tmpf, relh, drelh) \quad \text{رابطه (۲-۲)}$$

[۱] کم کردن مشاهده قبلی از مشاهده فعلی

[2] stationary

[3] ANN

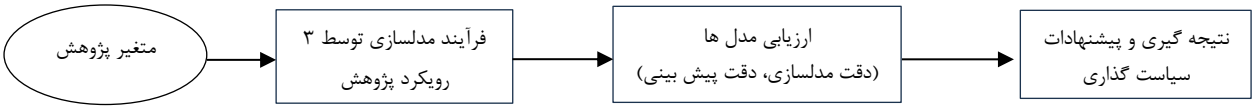
[4] Artificial Neural Networks

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-22]

متغیر وابسته: مصرف برق پیک اول‌بار[1]

متغیرهای مستقل: ماه‌های شمسی، تعطیلات ثابت رسمی، تعطیلات چرخشی، ساعت پیک، تمامی مبتلایان به کرونا، موارد جدید کرونا، ضرب بیت کوین، هش ریت بیت کوین، میانگین دمای هوا ،اختلاف دمای هوای دو شهر شیراز و مشهد، رطوبت نسبی دو شهر مشهد و شیراز، اختلاف رطوبت دو شهر مشهد و شیراز.

میتوان فلوچارت کلی پژوهش را بصورت زیر ترسیم نمود :

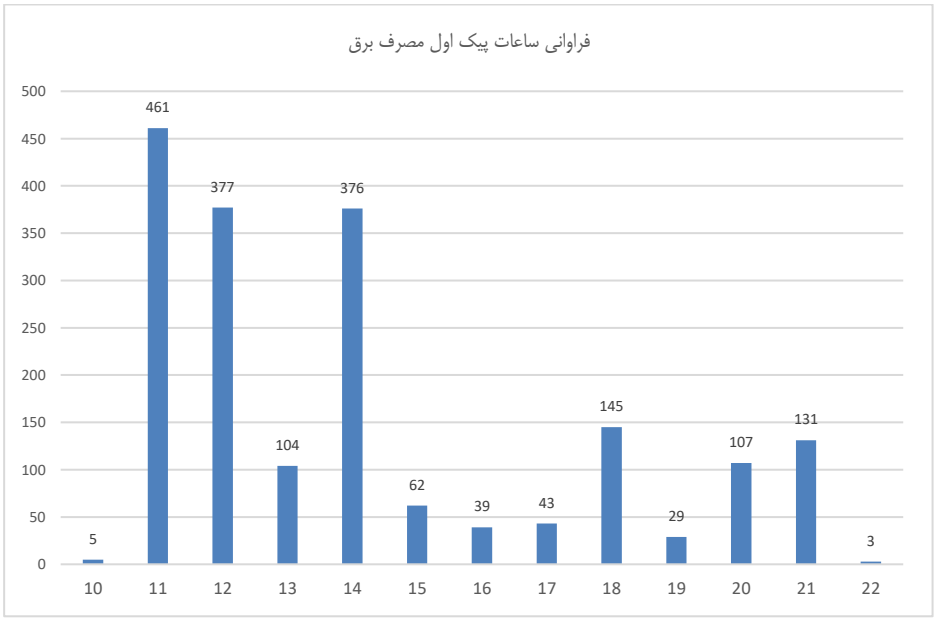


شکل ۱ : فلوچارت پژوهش

۳- نتایج و تحلیل نتایج

مدل قطعی در نمودار ۱ و نمودار ۲ میزان فراوانی پیک مصرف برق به تفکیک پیک اول و پیک دوم ترسیم‌شده است.

با توجه به نمودار ۱، ساعت ۱۱ در بین ساعات پیک اول مصرف برق دارای بیشترین فراوانی است که می‌توان استنباط کرد یکی از دلایل عمده آن فعالیت صنعت وادارات و مدارس و فعالیت مصارف برق خانگی می‌باشد . البته لازم به ذکر است که متغیرهای دیگری همچون گرمای هوا ،روزهای هفته و ... در ایجاد پیک در این ساعت مؤثر هستند ولی بیشترین تأثیر را فعالیت‌های مشاغل می‌گذارند برای مثال در ساعات ۱۲ و ۱۴ هم فراوانی بالایی را شاهد هستیم که هرکدام از این موارد می‌توانند موضوع یک پژوهش باشند.

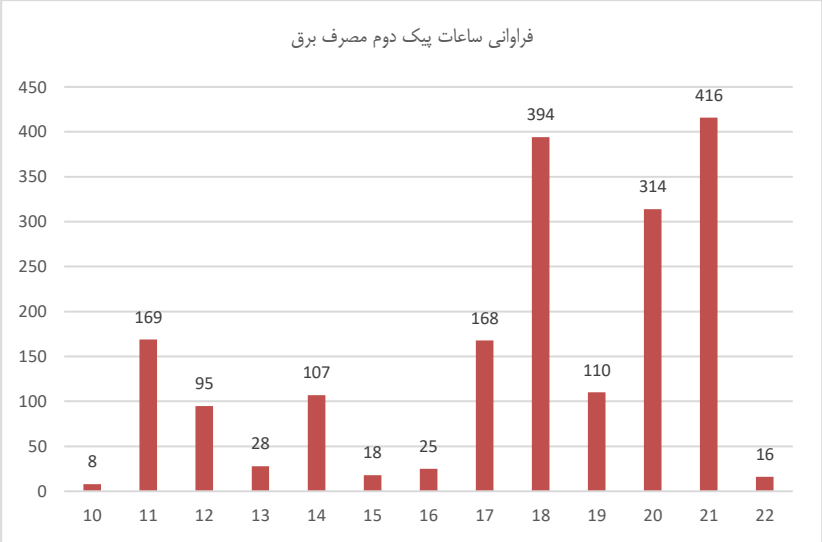


نمودار ۱: فراوانی ساعات پیک اول مصرف برق در کشور

[1] $PeakLoad_1$

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-22]

نمودار۲ فراوانی ساعات پیک دوم مصرف برق کشور را نشـان می‌دهـد ، کـه بـا توجـه نمـودار سـاعت ۲۱ دارای بیشترین فراوانی می‌باشد که ازجمله دلایل آن حضور کل افراد خانواده در خانه و استفاده از وسـایل پرمصـرف برقـی است.



نمودار۲ : فراوانی ساعات پیک دوم مصرف برق در کشور

در بررسی‌های صورت گرفته و مقایسه چندساعتی که بیشترین فراوانی رادارند به نتایجی ازجملـه اینکـه یکـی از عوامل مهم ایجاد پیک[1] الگوی مصرف نادرست و استفاده از وسایلی که دارای مصرف بالا و بهـره‌وری پـایینی هسـتند می‌باشد.

۳-۱- مدلسازی و پیش‌بینی پیک‌بار با مدل ARIMA

نتایج مدلسازی، ضرایب و پیش‌بینی مصرف برق در پیک اول با رویکرد *ARIMA* در جدول ۱ ارائه‌شده است.

جدول۱: نتایج تخمین مدل *ARIMA*

نام متغیر		ضریب برآورد شده	خطای استاندارد
عرض از مبدأ	*intercept*	−333/4638	66/5295
روز هفته	*DayWeek*	−0/0164	0/1015
ماه	*MonthFA*	1/8802	0/1127
متغیر مجازی تعطیلات رسمی	*OffVac*	−11/3187	0/3901

[1] بیشترین مصرف دوره

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-22]

پیک‌بار اول	*Minutes1*	0/0559	0/0017
موارد جدید کرونا	*ncases*	0/0005	0/0001
ضرب بیت کوین در هش ریت	*DbitcoinHash*	0	0
میانگین دمای هوا(مشهد و شیراز)	*tmpf*	1/6342	0/0304
تفاوت دمای هوا دو شهر	*dtmpf*	–0/3517	0/0376
رطوبت نسبی	*Relh*	0/2032	0/0209
تفاوت رطوبت نسبی	*drelh*	–0/0612	0/0142
جمعیت	*Population*	0	0
درآمد(تولید) حقیقی	*RealGDPper*	0/0018	0/0008

ضریب برآورد شده برای متغیر *MA(1)* برابر با *0/6809* می‌باشد . ضریب برآورد شده ماه شمسی *1/8802* نشان از آن دارد که با افزایش ماه‌های سال پیک مصرف افزایش پیدا می‌کند و اثر مستقیم دارد . ضریب برآورد شده تعطیلات رسمی *11/3187–* می‌باشد که اثر معنادار و معکوس برروی پیک دارد به معنای آنکه در تعطیلات رسمی پیک مصرف برق اتفاق نمی‌افتد و در تعطیلات رسمی تعطیلی ادارات و مدارس میزان مصرف برق کاهش چشمگیری پیدا می‌کند[1]. ضریب برآورد شده زمان پیک *0/0559*می‌باشد که نشان می‌دهد با افزایش ساعات روز مصرف برق در پیک‌بار افزایش پیدا می‌کند به عبارتی حداکثرمقدار مصرف برق [2]در هر ساعتی از شبانه‌روز ممکن است اتفاق بیافتد . لذا در صورتیکه بخواهیم مقدار پیک‌بار مصرف را پیش‌بینی کنیم باید متغیر زمان (ساعت /دقیقه) را در مدل لحاظ کنیم . وجود این متغیر درمدل برای این موضوع قابل توجیح است.

ضریب بر آورد شده میانگین دمای هوای دو شهر مشهد و شیراز*1/6342* می‌باشد واثر مستقیم بر پیک مصرف برق دارد به معنای آنکه احتمال وقوع پیک مصرف در دماهای بالا بیشتر است .ازجمله دلایلی که می‌توان در این حالت اشاره کرد این است که در دماهای بالاتر استفاده از وسایل سرمایشی پرمصرف افزایش پیدا می‌کند و در ساعات اوج دمای هوا احتمال اوج مصرف برق(پیک) افزایش پیدا می‌کند. ضریب رطوبت نسبی *0/2032* می‌باشد که نشان می‌دهد احتمال وقوع پیک در رطوبت های بالاتر به دلیل استفاده بیشتر از وسایل سرمایشی بیشتر است.

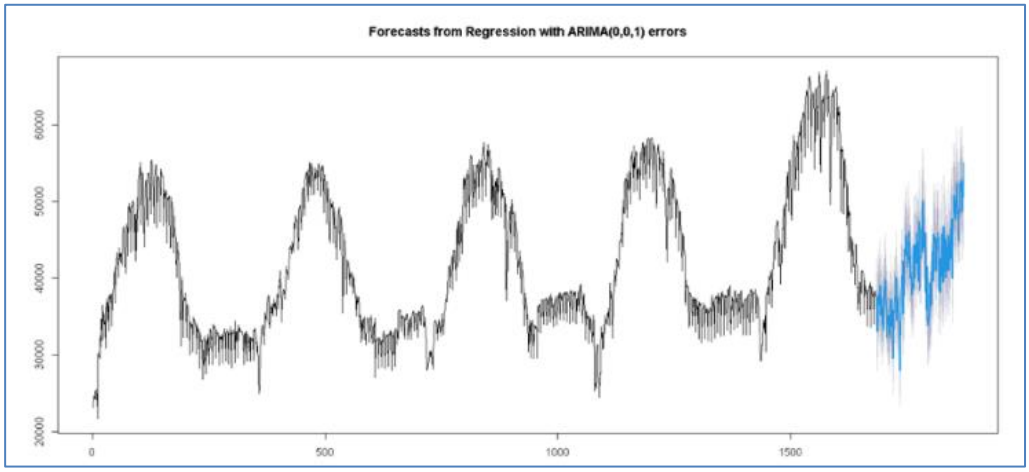
در نمودار*3* مدلسازی و پیش‌بینی پیک‌بار مصرف برق نشان داده‌شده است. در این نمودار قسمت آبی رنگ نتایج پیش‌بینی نقطه ای را نشان می‌دهد و قسمت خاکستری رنگ پیش‌بینی در سطح اطمینان ۸۰ درصد و ۹۵ درصد

[1] تعطیلی ادارات و مدارس و دیگر صنایع پرمصرف بر پایه برق در ساعات اوج مصرف برق یکی از راه های جلوگیری از خاموشی‌های مکررمی‌باشد(مانند تابستان ۱۴۰۰)

[2] پیک‌بار

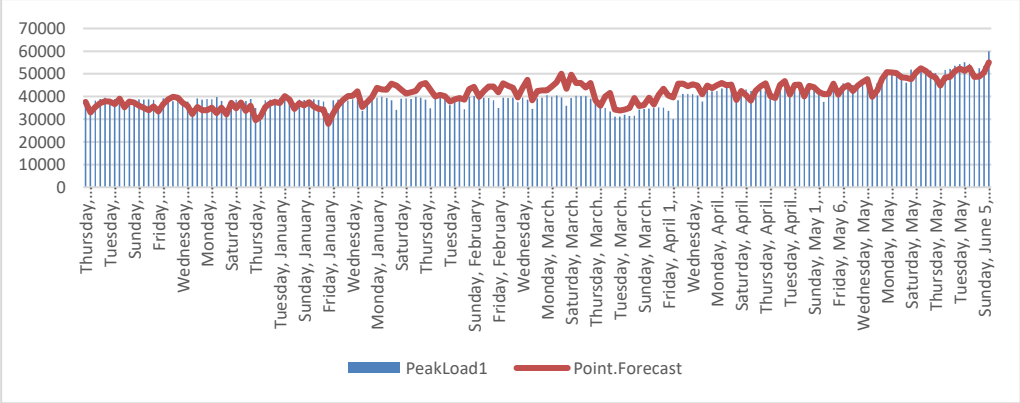
[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-22]

است. بر اساس نمودار نشان می‌دهد که مصرف پیک دوره قبل (روز قبل) تاثیری روی پیک مصرف امروز ندارد، یعنی شوک وارده بر مصرف پیک روز قبل (دوره قبل) بر سطح مصرف برق در پیک امروز دارد.



نمودار ۳ : پیش بینی پیک مصرف برق با استفاده از مدل *ARIMA* برای دوره ی ۱۸۷ روز

در نمودار۴ با مقایسه مقادیر واقعی و پیش‌بینی شده متوجه می‌شویم کـه در برخـی از روزهـا مقـدار پیش‌بینـی بیشتر از مقدار واقعی و برخی روزها کمتر از مقدار واقعی می‌باشد. لازم به ذکر است که متوسط خطای بـرآورد شـده برای ۱۸۷ روز در پیش‌بینی با مدل *ARIMA* برابر با *0/07138* می‌باشد.



نمودار۴ : مقایسه مقادیر واقعی و پیش‌بینی شده مصرف برق در پیک اول- با رویکرد *ARIMA*

۲-۳- مدلسازی و پیش‌بینی پیک‌بار با مدل رگرسیون خطی چندمتغیره

ضرایب برآورد شده هر یک از متغیرهای پیک مصرف برق با اسـتفاده از مـدل *GLM* درجـدول زیـر آورده شـده است.

جدول ۲: نتایج تخمین مدل رگرسیون خطی چند متغیره

نام متغیر	ضریب برآورد شده	خطای استاندارد	*P_value*
عـرض از مبدأ *intercept*	$-1/484e^{+05}$	$2/170e^{+04}$	$1/11e^{-11}$
روز هفته *DayWeek*	$-5/865e^{+01}$	$4/684e^{+01}$	*0/211*

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-22]

ماه شمسی	*MonthFA*	$7/489e^{+02}$	$3/829e^{+01}$	$2e^{-16}$
متغیر مجازی تعطیلات رسمی	*OffVac*	$-4/782e^{+03}$	$2/332e^{+02}$	$2e^{-16}$
زمان پیک‌بار اول	*Minutes1*	$2/013e^{+01}$	$6/420e^{-01}$	$2e^{-16}$
موارد جدید کرونا	*ncases*	$2/138e^{-01}$	$1/807e^{-02}$	$2e^{-16}$
ضرب بیت کوین و هش ریت	*Dbitcoin Hash*	$-9/954e^{-05}$	$6/618e^{-05}$	*0/133*
میانگین دمای هوا(مشهد و شیراز)	*tmpf*	$5/994e^{+02}$	$1/159e^{+01}$	$2e^{-16}$
تفاوت دمای هوا دو شهر	*dtmpf*	$-1/591e^{+02}$	$1/386e^{+01}$	$2e^{-16}$
رطوبت نسبی	*relh*	$7/176e^{+01}$	*8/250*	$2e^{-16}$
تفاوت رطوبت نسبی	*drelh*	$-2/996e^{+01}$	*5/385*	$3/07e^{-08}$
جمعیت	*Population*	$1/464e^{-03}$	$2/552e^{-04}$	$7/76e^{-09}$
درآمد(تولید) حقیقی	*RealGDP per*	$3/963e^{-01}$	$2/657e^{-01}$	*0/136*

ضریب برآورد شده برای متغیر روز هفته برابر با $-5/865e^{+01}$ می‌باشد که باتوجه به منفی بودن ضریب نشان می‌دهد که با افزایش روزهای هفته احتمال وقوع پیک مصرف برق کمتر می‌شود ولی با توجه به مقدار *p_value* که برابر *0/211* است ضریب برآورد شده معنادار نیست. ضریب برآورد شده ماه شمسی برابر $7/489e^{+02}$ است که نشان می‌دهد با افزایش ماه‌های شمسی متغیر تأثیر بیشتری بر پیک مصرف برق می‌گذارد. ضریب برآورد شده رطوبت نسبی برابر $7/176e^{+01}$ می‌باشد که نشان می‌دهد افزایش رطوبت تأثیر بیشتری بر پیک مصرف برق دوره می‌گذارد.

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-22]

لازم به ذکر است که ضرایب مثبت و معنادار اثر مستقیم و ضرایب منفی اثر معکوس بر پیک مصرف برق دارد و با توجه به مطالب گفته‌شده می‌توان بقیه ضرایب مؤثر بر پیک مصرف را تفسیر کرد.

۳-۳- مدلسازی و پیش‌بینی پیک‌بار با مدل شبکه عصبی

سوال اساسی در این بخش : تعداد لایه های پنهان در شبکه عصبی چند عدد می‌باشد ؟

تعداد لایه های پنهان حداقل یک عدد می‌تواند باشد ولی به دلیل عدم دسترسی به پردازشگر بسیار قوی برای لایه بیشتر (مثلاً ۱۰۰ لایه) در این بخش تنها دو لایه پنهان را در نظر می‌گیریم. تعیین اینکه در هر لایه چه تعداد متغیر پنهان می‌بایست وجود داشته باشد یک مسئله مهم و اساسی در مدلسازی در شبکه عصبی است . مقالات متعددی بوچکارف (۲۰۱۹) و یوتوف، ک.، هاجیکولف، ای.، و هاجیکولوا(۲۰۲۰)، شیلا، کی. جی، و دیپا، اس. ان. (۲۰۱۳) به حل این موضوع پرداخته اند. به‌طورکلی اخیرا تعیین تعداد نورون ها [1]در هر یک از لایه ها، بر اساس خطای پیش‌بینی و خطای مدلسازی تعیین می‌شود و شایان ذکر است که اهمیت نسبی خطای پیش‌بینی و خطای مدلسازی هنوز به‌صورت یک مسئله چالش زا مطرح است. گاها وزن یکسانی به هر دو نوع خطا داده می شود. در این پژوهش صددرصد وزن را به خطای پیش‌بینی داده شده است. نکته حائز اهمیت دیگر این است که معیارها و سنجه های استفاده‌شده برای سنجش اندازه خطا متعدد و مختلف است. در این پژوهش معیار متوسط خطای نسبی استفاده‌شده است، متوسط خطای نسبی از فرمول زیر محاسبه می‌شود :

$$\sum_{i=1686}^{1872} \frac{|peak\ load \text{ روز پیش‌بینی } i\text{ام} - peak\ load \text{ واقعی}|}{peak\ load \text{ واقعی}} \qquad (۳-۱)$$

مدلی که کمترین میزان خطای پیش‌بینی را دارد به‌عنوان مدل مطلوب انتخاب می‌شود. در این پژوهش تعداد متغیرهای ورودی در مدلسازی شبکه عصبی ۱۲ متغیر می‌باشد. تعداد نورون های بهینه در لایه اول طبق محاسبات انجام شده ۱۱ نورون و تعداد نورون های بهینه در لایه دوم ۸ نورون است. متوسط خطای نسبی برآورد شده برای مدل بهینه ، از طریق رابطه (۳-۱) برابر با *0/118844*می‌باشد .در جدول*3* محاسبات مربوط به خطای پیش‌بینی برای مدل‌های مفروض دیگر آورده شده است. همچنین در مدل شبکه عصبی مقدار متوسط خطای پیش‌بینی ازطریق رابطه (۳-۱)، برابر با*0/07540* می‌باشد.

در صورتیکه معیار انتخاب بهینه مدل، خطای مدلسازی فرض شود، آنگاه تعداد نورون های بهینه در لایه اول و دوم به ترتیب ۱ و ۳ خواهد بود. مقدارمتوسط خطای مدلسازی ازطریق رابطه (۳-۱) ،در این حالت برابر با *0/069622* می‌باشد .در جدول ۴ متوسط خطای محاسبه شده در مدلسازی از طریق رابطه (۳-۱)، به ازای مقادیر مختلف*j*, *i* نشان داده‌شده است[2].

[1] متغیرهای لایه پنهان

[2] i(1-10) , j(1-11)

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-22]

مقایسه نتایج جداول ۳ و ۴ نشان می‌دهد که تعداد نورون های بهینه در لایه های مدل شبکه عصبی بر اساس معیار متوسط خطا در پیش‌بینی و مدلسازی متفاوت است. ماتریس لایه پنهان نمونه *test* [۱]به‌صورت *H=(11,8)* و در نمونه مدلسازی *H=(3,1)* می‌باشد.

جدول۳ : متوسط خطای پیش‌بینی مدل‌های مختلف (*test*)

1	*2*	*3*	*4*	*5*	*6*	*7*	*8*	*9*	*10*
NA	*NA*	*0/12 5605*	*0/12 5691*	*0/12 5571*	*0/12 6204*	*0/12 5602*	*NA*	*0/12 6203*	*0/12 559*
0/12 4936	*0/12 4406*	*NA*	*0/12 2695*	*0/12 2668*	*NA*	*NA*	*NA*	*0/12 3519*	*0/12 3523*
0/12 3021	*0/12 2418*	*0/12 2369*	*0/12 2725*	*NA*	*0/12 2584*	*NA*	*NA*	*0/12 1932*	*NA*
NA	*0/12 1254*	*0/12 1494*	*0/12 1412*	*NA*	*0/12 1286*	*0/12 1222*	*0/12 1044*	*0/12 1277*	*0/12 0481*
0/12 1325	*0/12 182*	*0/12 1176*	*0/12 0682*	*0/12 1009*	*0/12 0806*	*0/12 0937*	*0/12 0272*	*0/12 1185*	*NA*
0/12 1225	*0/12 0555*	*0/12 1178*	*0/12 0701*	*0/12 0159*	*0/12 0487*	*0/12 0337*	*0/11 9955*	*0/11 9782*	*0/11 9718*
0/12 1376	*0/12 0679*	*0/11 9911*	*0/12 058*	*0/12 0072*	*NA*	*0/11 9941*	*0/11 9571*	*0/11 994*	*NA*
0/12 0707	*0/12 0296*	*0/12 0238*	*0/12 0363*	*0/11 9882*	*0/11 9733*	*0/12 0209*	*0/11 9717*	*0/11 9333*	*0/11 9307*
0/12 0513	*0/11 9936*	*0/11 9594*	*0/11 9851*	*0/11 9737*	*0/11 9373*	*0/11 9359*	*0/11 895*	*0/11 9356*	*0/11 8931*
0/12 0169	*0/12 0095*	*0/12 0001*	*0/11 918*	*0/11 9883*	*0/11 9184*	*0/11 9156*	*0/11 8885*	*0/11 8909*	*0/11 9279*
0/11 9906	*0/11 928*	*0/11 9435*	*0/11 9646*	*0/11 9124*	*0/11 9116*	*0/11 9042*	*0/11 8844*	*0/11 893*	*0/11 887*

منبع : یافته‌های پژوهش

جدول۴ : متوسط خطای مدلسازی مدل‌های مختلف (*train*)

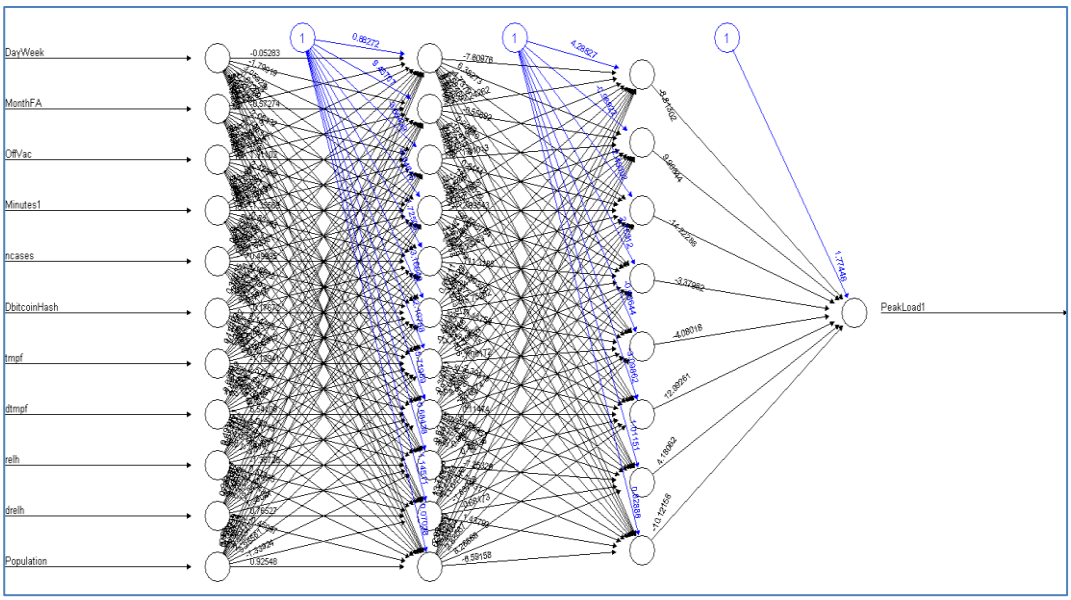
1	*2*	*3*	*4*	*5*	*6*	*7*	*8*	*9*	*10*
NA	*NA*	*0/077469*	*0/077504*	*0/077421*	*0/077504*	*0/077482*	*NA*	*0/077504*	*0/07741*
0/077064	*0/077504*	*NA*	*0/07046*	*0/070802*	*NA*	*NA*	*NA*	*0/070098*	*0/070174*
0/069622	*0/073403*	*0/072877*	*0/084044*	*NA*	*0/077021*	*NA*	*NA*	*0/081135*	*NA*
NA	*0/073339*	*0/072189*	*0/07919*	*NA*	*0/072731*	*0/073197*	*0/076119*	*0/075373*	*0/074132*
0/082678	*0/073317*	*0/077512*	*0/076776*	*0/077857*	*0/074668*	*0/072924*	*0/080332*	*0/071499*	*NA*

[۱] پیش‌بینی

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-22]

0/07121 2	0/07786 5	0/07441	0/08079 7	0/07579 9	0/07266 7	0/07054 3	0/07858 5	0/07759 8	0/076693
0/07932 1	0/07577 4	0/08142 7	0/08760 1	0/07652 7	NA	0/07675 2	0/07765	0/08057 2	NA
0/07525 5	0/07666 5	0/07627 1	0/07731 6	0/07249 2	0/07960 6	0/07355 2	0/07625	0/07977 2	0/078379
0/07598 1	0/08225 5	0/08173 5	0/07726 9	0/07930 9	0/08099 7	0/07964 8	0/07787 7	0/08534 1	0/073959
0/07644 1	0/07661 1	0/07958 7	0/07701 3	0/07697 6	0/07876 2	0/07817	0/07653 3	0/07651 3	0/076473
0/07407 4	0/07765 4	0/07591 3	0/07457 6	0/07543 8	0/07706 6	0/07930 5	0/07813	0/07699 8	0/076333

در شکل ۲ نتایج مدلسازی با استفاده از شبکه عصبی آورده شده است. همانطور که مشخص است دو لایه برای مدل فرض شده است که در لایه اول ۱۱ متغیر و در لایه دوم ۸ متغیر بهینه می‌باشد.



شکل ۲ : نتایج مدلسازی با استفاده از شبکه عصبی

۴-۳- ارزیابی و مقایسه نتایج رویکردهای مختلف در پیش‌بینی پیک‌بار

جدول۵ : مقایسه متوسط درصد خطای پیش‌بینی و متوسط درصد خطای مدلسازی مدل‌های مختلف طی ۱۸۷ روز

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-22]

	مدل رگرسیون خطی	مدل *ARIMA(0,0,1)*	مدل *ANN_11_8*
متوسط درصد خطای پیش بینی	*0/0799*	*0/0714*	*0/0754*
متوسط درصد خطای مدلسازی	*0/0962*	*0/0815*	*0/1195*

در این بخش با مقایسه مقادیر متوسط خطای برآورد شده سه مدل *ARIMA* ،َشبکه عصبی و رگرسیون خطی چند متغیره درمی یابیم که مدل *ARIMA* میانگین خطای کمتری نسبت به دو مدل دیگر و دقت بیشتری دارد. از آنجایی که داده ها بصورت لحظه ای است و پیش بینی را می‌توان برای ساعت های خاص نیز اندازه گیری کرد، می‌توان گفت متوسط خطای پیش بینی معیار بهتری است هرچند نتایج درصد خطای پیش بینی و درصد خطای مدلسازی نشان می‌دهند روش *ARIMA* میانگین درصد خطای کمتری دارد و دارای دقت بیشتری نیز می‌باشد. به دلیل آنکه در روش *ARIMA* شوک ها لحاظ می‌شود و داده و اطلاعات جزئی تر و دقیق تر است می‌توان گفت این نتیجه گیری صحیح می‌باشد.

۴- نتیجه گیری و پیشنهادات

نتایج تحلیل توصیفی داده ها :

- ✓ با توجه به نمودار ۱ ،ساعت ۱۱ در بین ساعات پیک اول مصرف برق دارای بیشترین فراوانی است که می‌توان استنباط کرد یکی از دلایل عمده آن فعالیت صنعت و ادارات و مدارس و فعالیت مصارف برق خانگی می‌باشد . البته لازم به ذکر است که متغیرهای دیگری همچون گرمای هوا ،روزهای هفته و ... در ایجاد پیک در این ساعت مؤثر هستند ولی بیشترین تأثیر را فعالیت‌های مشاغل می‌گذارند.
- ✓ نمودار۲ فراوانی ساعات پیک دوم مصرف برق کشور را نشان می‌دهد ، که با توجه به نمودار می‌توان دریافت که ساعت ۲۱ دارای بیشترین فراوانی می‌باشد که ازجمله دلایل آن حضور کل افراد خانواده در خانه و استفاده از وسایل پرمصرف برقی می‌باشد.
- ✓ با مقایسه بیشترین فراوانی ساعت پیک با متوسط دمای هوا مشخص شد که دما تنها عامل مؤثر بر ایجاد پیک مصرف نیست و در ساعاتی میانگین دمای هوا بیشینه بوده است در حالیکه در همان ساعت دارای فراوانی پیک کمتری هستیم.

نتایج مدلسازی پیک بار مصرف برق :

توسط مدل *ARIMA* می توان نتیجه گرفت که ضریب برآورد شده ماه شمسی که برابر *1/8802*است نشان از آن دارد که با افزایش ماه‌های سال پیک مصرف افزایش پیدا می‌کند و اثر مستقیم دارد . همچنین طبق ضریب برآورد شده تعطیلات رسمی که برابر *11/3187-* می‌باشد می توان نتیجه گرفت اثر معنادار و معکوس برروی پیک دارد،

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-22]

درحقیقت می توان گفت در تعطیلات رسمی پیک مصرف برق اتفاق نمی‌افتد و در تعطیلات رسمی تعطیلی ادارات و مدارس میزان مصرف برق کاهش چشمگیری پیدا می‌کند. ضریب برآورد شده زمان پیک *0/0559*می‌باشد که نشان می‌دهد با افزایش ساعات روز مصرف برق در پیک‌بار افزایش پیدا می‌کند به عبارتی حداکثرمقدار مصرف برق در هر ساعتی از شبانه‌روز ممکن است اتفاق بیافتد. ضریب بر آورد شده میانگین دمای هوای دو شهر مشهد و شیراز برابر *1/6342* می‌باشد این خود نشان از اثر مستقیم بر پیک مصرف برق دارد، .ازجمله دلایلی که می‌توان در این حالت اشاره کرد این است که در دماهای بالاتر استفاده از وسایل سرمایشی پرمصرف افزایش پیدا می‌کند و در ساعات اوج دمای هوا احتمال اوج مصرف برق(پیک) افزایش پیدا می‌کند. ضریب رطوبت نسبی نیز برابر *0/2032* می‌باشد که نشان می‌دهد احتمال وقوع پیک در رطوبت های بالاتر به دلیل استفاده بیشتر از وسایل سرمایشی بیشتر است.

توسط مدل رگرسیون خطی چند متغیره می‌توان نتیجه گرفت که متغیر روز هفته با ضریب $-5/865e^{+01}$ تاثیر منفی بر پیک مصرف برق دارد و با افزایش روزهای هفته احتمال وقوع پیک مصرف برق کمتر می‌شود ولی با توجه به مقدار *p_value* که برابر*0/211* است ضریب برآورد شده معنادار نیست. ضریب برآورد شده ماه شمسی برابر $7/489e^{+02}$ است که نشان می‌دهد با افزایش ماه‌های شمسی متغیر تأثیر بیشتری بر پیک مصرف برق می‌گذارد. ضریب برآورد شده رطوبت نسبی برابر $7/176e^{+01}$ می‌باشد که نشان می‌دهد افزایش رطوبت تأثیر بیشتری بر پیک مصرف برق دوره می‌گذارد. متغیرهای ماه شمسی، تعطیلات رسمی، زمان پیک بار اول، موارد جدید کرونا، میانگین دمای هوا (مشهد و شیراز)، تفاوت دمای هوای ۲شهر، تفاوت رطوبت نسبی و جمعیت تاثیر معنی داری بر پیک مصرف برق دارند.

توسط مدل شبکه عصبی تعداد نورون های بهینه در لایه اول و دوم به ترتیب ۱ و ۳ خواهد بود. مقدارمتوسط خطای مدلسازی ازطریق رابطه (۳-۱) ،در این حالت برابر با *0/069622* می‌باشد .

نتایج پیش‌بینی پیک‌بار مصرف برق : پیش‌بینی با استفاده از سه مدل *ANN, GLM, ARIMA* صورت گرفته است، مقدار میانگین خطای پیش‌بینی هر یک از مدل‌های *ANN, GLM, ARIMA* از چپ به راست برابر با *0/0714* ، *0/0754*، *0/0799* می‌باشد که با مقایسه سه عدد نتیجه می‌گیریم که مدل *ARIMA* دارای کمترین میانگین خطای پیش‌بینی و به عبارتی دارای بیشترین دقت در پیش‌بینی می‌باشد.

پیشنهادات سیاست گذاری :

در بخش مدلسازی با مدلسازی پیک مصرف برق توسط سه مدل *ARIMA,GLM,ANN* و بدست آوردن ضرایب تأثیر هر یک از متغیرها متوجه شدیم که متغیر تعطیلی و روزهای هفته و در برخی موارد دمای هوا بیشترین تأثیر را بر مدل‌ها می‌گذارند و با توجه به این مسئله اگر مدیریت درستی در ساعات کار ادارات و مدارس و الگوی مصرف صورت نگیرد در فصل‌هایی از سال به دلیل مصرف بالای برق دچار خاموشی‌های مکرر خواهیم بود چراکه بالابردن ظرفیت تولید و ایجاد نیروگاه‌های تولید برق و ارتقا خطوط توزیع برق امری بلندمدت است که می‌بایست در افق برنامه‌ریزی سیاست‌گذاران باشد.

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-22]

پیشنهاداتی که می‌توان برای جلوگیری از بروز مشکلاتی نظیر خاموشی‌های مکرر و عدم توازن عرضه و تقاضای مصرف برق داشت به شرح ذیل است :

- ✓ اصلاح الگوی مصرف ادارات و مدارس و مصارف خانگی و صنعتی هم ازنظر زمان (ساعت) استفاده از وسایل پرمصرف برقی و هم ازنظر نوع وسایلی که استفاده می‌شود چراکه در بیشتر موارد علی‌الخصوص در فصل گرما از وسایل سرمایشی با مصرف بالا و بهره‌وری پایین استفاده می‌شود و در بخش صنعت برای فعالیت‌های خطوط تولیدی از تکنولوژی‌های قدیمی و پرمصرف استفاده می‌شود که با رعایت همه این موارد می‌توانیم شاهد توزیع یکسان و عادلانه برق و از پیک مصرف برق که باعث خاموشی می‌شود جلوگیری کرد.
- ✓ تعرفه مصرفی برق به‌گونه‌ای لحاظ شود که علاوه بر عدالت اقتصادی (توزیع یارانه برق) از مشترکین با مصرف بالا جلوگیری کند یا اینکه مشترکین(صنایع و خانگی) حداقل بهای تمام‌شده برق را پرداخت کنند.

محدودیت های پژوهش و مطالعات آتی : در این پژوهش به جهت انجام مدلسازی با محدودیت های داده از جمله داده های آب و هوا، تعرفه قیمت برق، میزان مصرف برق به تفکیک استان ها و بطور کلی میزان تولید انرژی برق، قیمت تمام‌شده تولید برق و عدم شفافیت گزارش‌های نیروگاه‌های تولید برق مواجه بوده ایم. از جمله موارد دارای اهمیت درزمینه تحقیقات آتی می‌توان به موارد زیر اشاره کرد :

- ✓ دلایل فراوانی پیک های بار اول و دوم که تحت تاثیر موارد مختلفی است. ازجمله موضوعات است که می‌تواند در پژوهش‌هایی موردبررسی قرار گیرند چراکه بررسی هرکدام از این عوامل (متغیرها) نیاز به بررسی‌های میدانی و تخصصی دارد.
- ✓ برای آنکه از تعطیلی ادارات و صنایع به دلیل وقوع پیک مصرف جلوگیری شود می‌بایست در زمان های میان‌مدت و بلندمدت در جهت ایجاد نیروگاه‌های متناسب با مصرف برق برنامه‌ریزی های درستی صورت گیرد.
- ✓ با توجه به نتایج به‌دست‌آمده از مدلسازی و پیش‌بینی پیک‌بار مصرف برق پیشنهاد می‌شود برای بالا بردن دقت پیش‌بینی از مدل‌های دیگری همچون *ARCH،ARFIMA* یا ترکیبی از مدل‌ها استفاده شود. واردکردن متغیرهایی از قبیل تعرفه برق می‌تواند بر دقت مدلسازی تأثیر بیشتری داشته باشد.

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-22]

منابع

[۱] عطوفت شمسی, کیمیا, قانع, قائم مقامی, روژین, هدایتی, ... & عبدالی سوسن. (۲۰۲۱). تاثیر ویروس کرونا بر روی مصرف برق در ایران و جهان. روش‌های هوشمند در صنعت برق, ۱۲(۴۵), ۴۹-۶۲.

[۲] ابوالقاسم-رجبی, علی-صابری, سیدمهدی-حسینی دولت آبادی, محمد حسن-معادی رودسری, & حسن-پوراسماعیل. تأثیر استخراج رمزارز بر پایداری شبکه برق ایران.

[3] (Classification of Electricity Load Forecasting Based on the Factors Influencing the Load Consumption and Methods Used, n.d.), S., Meng, F., Dai, H., Wang, Q., & Chen, X. (2021). Electrical peak demand forecasting-A review. arXiv preprint arXiv:2108.01393.

[4] Nti, I. K., Teimeh, M., Nyarko-Boateng, O., & Adekoya, A. F. (2020). Electricity load forecasting: a systematic review. Journal of Electrical Systems and Information Technology, 7(1), 1-19.

[5] Yalcinoz, T., & Eminoglu, U. (2005). Short term and medium term power distribution load forecasting by neural networks. Energy Conversion and Management, 46(9-10), 1393-1405.

[6] Lindberg, K. B., Seljom, P., Madsen, H., Fischer, D., & Korpås, M. (2019). Long-term electricity load forecasting: Current and future trends. Utilities Policy, 58, 102-119.

[7] Nassif, A.B., Soudan, B., Azzeh, M., Attilli, I., & AlMulla, O. (2021). Artificial Intelligence and Statistical Techniques in Short-Term Load Forecasting: A Review. ArXiv, abs/2201.00437.

[8] Hammad, M.A., Jereb, B., Rosi, B., & Dragan, D. (2020). Methods and Models for Electric Load Forecasting: A Comprehensive Review. Logistics & Sustainable Transport, 11, 51 - 76.

[9] Hong, T., & Fan, S. (2016). Probabilistic electric load forecasting: A tutorial review. International Journal of Forecasting, 32, 914-938.

[10] Singh, A. K., Khatoon, S., Muazzam, M., & Chaturvedi, D. K. (2012, December). Load forecasting techniques and methodologies: A review. In 2012 2nd International Conference on Power, Control and Embedded Systems (pp. 1-10). IEEE.

[11] Alfares, H. K., & Nazeeruddin, M. (2002). Electric load forecasting: literature survey and classification of methods. International journal of systems science, 33(1), 23-34.

[12] Nti, I. K., Teimeh, M., Nyarko-Boateng, O., & Adekoya, A. F. (2020). Electricity load forecasting: A systematic review. Journal of Electrical Systems and Information Technology, 7(1), 1-19.

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-22]