

M. Shamaghdari

Faculty of Civil Engineering,
Semnan University, Semnan,
Iran.

e-mail:

ma.shamaghdari@gmail.com

M. K. Sharbatdar*

Faculty of Civil Engineering,
Semnan University, Semnan,
Iran.

e-mail:

msharbatdar@semnan.ac.ir

O. Rezaifar

Faculty of Civil Engineering,
Semnan University, Semnan,
Iran.

e-mail:

orezayfar@semnan.ac.ir

Prediction of the Amount of Energy Consumed in Existing Educational Buildings Using Artificial Neural Networks and Its Effects on Reducing Carbon Dioxide (Case Study of Mashhad Schools)

One of the major uses of energy is in residential, commercial, educational and other buildings. One of the effective ways to reduce energy consumption in these buildings is before construction. But many buildings are already under construction and a solution must be found to reduce energy consumption in these buildings. One of the important solutions is to predict the amount of energy in these buildings. In this case, the energy consumption can be evaluated before and after some changes in the building. This article addresses the issue of energy prediction in existing school buildings. For this purpose, a number of important physical characteristics of the building and its energy consumption based on consumption bills have been collected in the field. Then an artificial neural network is used for modeling. Using the results of the model, the energy of buildings in schools can be predicted. Finally, the effects of reducing carbon dioxide with respect to energy savings are discussed.

Keywords: Energy Prediction, Artificial Neural Network, School Building, Carbon Dioxide.

* Corresponding author

Received 06 October 2021, Revised 20 December 2021, Accepted 22 December 2021.

DOI: 10.22091/cer.2021.7445.1310

پیش‌بینی میزان انرژی مصرفی در ساختمان‌های با زیرساخت آموزشی موجود با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی و اثرات آن بر کاهش دی‌اکسیدکربن (مطالعه موردی مدارس مشهد)

یکی از مصارف انرژی در بخش ساختمان‌های در حال بهره‌برداری و بخصوص ساختمان‌های با زیرساخت‌های آموزشی مانند مدارس می‌باشد. از جمله روش‌های مؤثر کاهش مصرف انرژی در این ساختمان‌ها، قبل از ساخت می‌باشد. لیکن بسیاری از ساختمان‌ها در حال حاضر ساخته شده و می‌بایست راهکاری برای کاهش مصرف انرژی در این ساختمان‌ها پیدا نمود. از جمله راهکارهای مهم، پیش‌بینی میزان انرژی مصرفی در این ساختمان‌ها است. در این صورت می‌توان انرژی مصرفی را قبل و بعد از بعضی تغییرات در ساختمان مورد ارزیابی قرار داد. در این مقاله، به موضوع پیش‌بینی انرژی در ساختمان‌های وضع موجود در مدارس که از زیرساخت‌های مهم کشور هستند پرداخته شده است. بدین منظور ابتدا تعدادی از مشخصات مهم فیزیکی ساختمان و میزان مصرف انرژی آن براساس قبوض مصرفی، به صورت میدانی جمع‌آوری شده است. برداشت اطلاعات میدانی از ساختمان‌های وضع موجود مدارس جهت ارائه مدل پیش‌بین انرژی تجربه نو در این زمینه بوده و در پژوهش‌ها کمتر به آن پرداخته شده است. مدل‌سازی با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی انجام شده و نتایج، یک ضریب همبستگی بسیار خوب ۰/۹۹۲ را برای اعتبارسنجی مدل نشان می‌دهد. در انتها نیز اثرات کاهش دی‌اکسیدکربن با توجه به میزان صرفه‌جویی در انرژی مصرفی مورد بحث قرار گرفته است.

واژگان کلیدی: پیش‌بینی انرژی، شبکه عصبی مصنوعی، ساختمان مدارس، دی‌اکسیدکربن.

مسعود شمقدری

دانشجوی دکتری رشته مهندسی و مدیریت ساخت، دانشکده عمران، دانشگاه سمنان.

پست الکترونیک:

ma.shamaghdari@gmail.com

محمد کاظم شربتدار*

استاد، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه سمنان.

پست الکترونیک:

msharbatdar@semnan.ac.ir

امید رضایی فر

دانشیار، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه سمنان.

پست الکترونیک:

orezayfar@semnan.ac.ir

۱- مقدمه

مطالعات در زمینه انرژی مصرفی ساختمان بسیار گسترده است. به طوری که موضوع انرژی یک حوزه میان رشته‌ای بوده و از رشته‌های مهندسی تا رشته اقتصاد را شامل می‌شود و در این زمینه مقالات بسیار متنوعی می‌باشد. اما در این پژوهش با توجه به تنوع بحث انرژی به موضوع خاص پیش‌بینی انرژی در ساختمان‌های با زیرساخت آموزشی اشاره شده است. مطالعات انجام شده در این زمینه بیشتر مطالعات مدل‌سازی و شبیه‌سازی با استفاده از نرم‌افزارهای شبیه‌ساز انرژی بوده و کمتر به برداشت اطلاعات میدانی از ساختمان‌های ساخته شده و به خصوص در مدارس بوده است که کاری نو و جدید در

دولت‌ها همواره در تلاش هستند با استفاده از روش‌های نوین و به خدمت‌گرفتن تکنولوژی‌های جدید، میزان انرژی مصرفی را در بخش‌های مختلف کاهش دهند. از این رو در کشورهای پیشرو، بهینه‌سازی انرژی و استفاده از انرژی‌های نو از جمله انرژی‌های خورشیدی، انرژی بادی و غیره مورد توجه بوده است.

* نویسنده مسئول

تاریخ: دریافت ۱۴۰۰/۰۷/۱۴، بازنگری ۱۴۰۰/۰۹/۲۹، پذیرش ۱۴۰۰/۱۰/۰۱

(DOI): 10.22091/cer.2021.7445.1310 شناسه دیجیتال

نیز به خود اختصاص می‌دهد [۵]. این درحالی است که میانگین مصرف انرژی ساختمان‌های ایران بیش از ۲/۵ برابر متوسط مصرف جهانی است [۶]. بخش صنعت و بخش حمل و نقل به ترتیب ۲۵ درصد و ۳۰ درصد انرژی‌های کشور را مصرف می‌کنند. همچنین طبق برآوردهای به‌عمل آمده توسط سازمان بهره‌وری انرژی کشور با بکارگیری صنعت اتوماسیون ساختمان می‌توان حداقل ۳۰ درصد در مصرف انرژی ساختمان‌های مسکونی صرفه‌جویی کرد، که یعنی ۱۲ درصد صرفه‌جویی در مصرف انرژی سالانه کشور می‌باشد [۷].

یکی از مواردی که می‌توان انرژی مصرفی یک ساختمان را کاهش داد در زمان طراحی یک ساختمان می‌باشد یعنی قبل از اینکه ساختمان را شروع کرد. در این حالت با مطالعه عوامل اثرگذار بر کاهش مصرف انرژی ساختمان از جهت‌گیری ساختمان در اقلیم مورد نظر تا نوع مصالح مصرفی و دیگر موارد می‌توان انرژی مصرفی ساختمان را حداقل نمود. به عنوان مثال در مطالعه انجام شده توسط نرم‌افزار شبیه‌ساز، تأثیر دیوار جنوبی یک ساختمان به لحاظ جهت‌گیری و نوع مصالح مصرفی مورد بررسی قرارگرفت و مشاهده شد با انتخاب مصالح خاص می‌توان مصرف انرژی را کاهش داد [۸]. در پژوهشی دیگر، دو پارامتر مصالح درونی دیوار و همچنین بازشوها در جداره خارجی ساختمان مسکونی با استفاده از نرم‌افزار شبیه‌ساز انرژی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که جرم حرارتی و عایق حرارتی تأثیرات متفاوتی در رفتار حرارتی کل پوسته ساختمان دارد [۹]. همچنین در تحقیقی استفاده از شیشه‌های هوشمند الکتروکرومیک در جبهه بیرونی ساختمان اداری در شیراز با اقلیم گرم و خشک و تبریز با اقلیم سرد موجب کاهش ۲۸ درصدی بار سرمایش نسبت به شیشه ساده و کاهش ۱۰ درصدی نسبت به شیشه دوجداره شده است [۱۰].

بنابراین یکی از راهکارهای اساسی، ارتقا و بهره‌وری ساختمان‌های موجود جهت کاهش انرژی مصرفی ساختمان می‌باشد. جهت مدیریت انرژی در ساختمان‌ها

این حوزه می‌باشد. در ادامه به مطالعات انجام شده در این زمینه اشاره می‌شود.

با استفاده از انرژی‌های نو و یا بالابردن راندمان سیستم‌های سرمایش و گرمایش و همچنین با تغییرات در مصالح مصرفی و عایق‌نمودن آنها می‌توان به میزان قابل توجه در هزینه‌های انرژی صرفه‌جویی نمود. به عنوان نمونه در یک مطالعه برای یک ساختمان فرضی و شبیه‌سازی شده نشان داده شد که تأثیر عایق‌نمودن نما بر مصرف انرژی بسیار زیاد است و بیشترین میزان اتلاف انرژی در قسمت نما می‌باشد. در این تحقیق با استفاده همزمان از دیوار دوجداره عایقکاری، پنجره لو وی دوجداره و سقف عایقکاری تا ۴۱ درصد از مصرف انرژی کل کاهش یافته است [۱]. بدین ترتیب با کاهش مصرف انرژی و در نتیجه کاهش مصرف سوخت‌های فسیلی می‌توان از تولید میلیون‌ها تن گاز دی‌اکسیدکربن جلوگیری کرد و کمک قابل توجهی به کاهش آلودگی هوا نمود.

هدف از مدیریت انرژی، کاهش و منطقی کردن مصرف انرژی به نحوی است که توجیه اقتصادی داشته و در عین حال منجر به بروز تأثیراتی منفی در سطح رفاه و آسایش نگردد [۲]. در پژوهشی که توسط هاروی^۱ انجام شد، نشان داد بیشترین مقدار انرژی در سیستم‌های سرمایش و گرمایش و روشنایی می‌باشد، که بهره‌وری از این سیستم‌ها به طور معنی‌داری بیشتر از حالت طبیعی است و در این صورت استفاده از تجهیزات با راندمان بالا و مصرف انرژی پایین می‌تواند تا حد معنی‌داری باعث صرفه‌جویی در مصرف انرژی ساختمان شود [۳]. میزان مصرف انرژی در بخش ساختمان ۳۵ درصد از کل انرژی مصرفی در جهان می‌باشد [۴]. طبق آمار منتشر شده از سوی سازمان بهینه‌سازی مصرف سوخت کشور، ۴۰ درصد انرژی مصرفی در ایران مربوط به بخش ساختمان می‌باشد که در حدود ۲۶/۴ درصد از انتشار گاز دی‌اکسیدکربن را

^۱- Harvey

در مرحله اول نیاز به دانستن میزان انرژی مصرفی است. در این صورت اگر بتوان میزان انرژی ساختمان را در وضع موجود پیش‌بینی کرد، می‌توان با تغییرات در پوسته خارجی ساختمان و به عنوان مثال عایق نمودن آن، اثرات آن را قبل از هرگونه تغییر بررسی نمود.

تخمین تقاضای انرژی مبتنی بر شاخص‌های اقتصادی و غیراقتصادی می‌باشد که ممکن است با استفاده از روش‌های آماری خطی و غیرخطی، ریاضیات و مدل شبیه‌سازی به‌دست بیاید. غیرخطی بودن این شاخص‌ها و تقاضای انرژی منجر به جستجو برای راه‌حل‌های هوشمند نظیر الگوریتم ژنتیک، رگرسیون فازی و شبکه عصبی شده است [۱۱]. آنالیز رگرسیون همواره به عنوان یکی از رایج‌ترین تکنیک‌های مدل‌سازی در پیش‌بینی مصرف انرژی قلمداد شده است [۱۲].

مدل‌های رگرسیون و شبکه‌های عصبی مصنوعی با استفاده از قبض‌های مصرف انرژی برای تخمین تقاضای مصرف و پیش‌بینی طولانی مدت، برای بهبود مصرف انرژی می‌توانند در تعداد زیادی از ساختمان‌های موجود به‌راحتی استفاده شوند [۱۳]. فرنسی و فیورلی^۲ طی یک مطالعه تطبیقی، پیکربندی‌های متفاوت شبکه عصبی مصنوعی برای پیش‌بینی مصرف روزانه انرژی بررسی نمودند و بهترین شبکه با کمترین معیار خطا را انتخاب کردند. همچنین در تحقیقی دیگر، توسط همین محققان، ارزیابی مصرف انرژی سیستم‌های تهویه هوا با استفاده از شبکه‌های عصبی در دانشگاه ساو پائولو مورد بررسی قرار گرفت و معیار خطای قابل قبولی حاصل شد [۱۴]. کاربرد شبکه عصبی مصنوعی در شبیه‌سازی رفتار پوسته ساختمان در شرایط تابستانی با یک سامانه شیشه‌ای جدید به منظور ارزیابی و بهبود عملکرد انرژی مورد بررسی قرار گرفت. شرایط اقلیمی و مشخصه‌های حرارتی پوسته ساختمان به عنوان ورودی و دمای فضای داخلی

در مرحله اول نیاز به دانستن میزان انرژی مصرفی است. در این صورت اگر بتوان میزان انرژی ساختمان را در وضع موجود پیش‌بینی کرد، می‌توان با تغییرات در پوسته خارجی ساختمان و به عنوان مثال عایق نمودن آن، اثرات آن را قبل از هرگونه تغییر بررسی نمود.

تخمین تقاضای انرژی مبتنی بر شاخص‌های اقتصادی و غیراقتصادی می‌باشد که ممکن است با استفاده از روش‌های آماری خطی و غیرخطی، ریاضیات و مدل شبیه‌سازی به‌دست بیاید. غیرخطی بودن این شاخص‌ها و تقاضای انرژی منجر به جستجو برای راه‌حل‌های هوشمند نظیر الگوریتم ژنتیک، رگرسیون فازی و شبکه عصبی شده است [۱۱]. آنالیز رگرسیون همواره به عنوان یکی از رایج‌ترین تکنیک‌های مدل‌سازی در پیش‌بینی مصرف انرژی قلمداد شده است [۱۲].

مدل‌های رگرسیون و شبکه‌های عصبی مصنوعی با استفاده از قبض‌های مصرف انرژی برای تخمین تقاضای مصرف و پیش‌بینی طولانی مدت، برای بهبود مصرف انرژی می‌توانند در تعداد زیادی از ساختمان‌های موجود به‌راحتی استفاده شوند [۱۳]. فرنسی و فیورلی^۲ طی یک مطالعه تطبیقی، پیکربندی‌های متفاوت شبکه عصبی مصنوعی برای پیش‌بینی مصرف روزانه انرژی بررسی نمودند و بهترین شبکه با کمترین معیار خطا را انتخاب کردند. همچنین در تحقیقی دیگر، توسط همین محققان، ارزیابی مصرف انرژی سیستم‌های تهویه هوا با استفاده از شبکه‌های عصبی در دانشگاه ساو پائولو مورد بررسی قرار گرفت و معیار خطای قابل قبولی حاصل شد [۱۴]. کاربرد شبکه عصبی مصنوعی در شبیه‌سازی رفتار پوسته ساختمان در شرایط تابستانی با یک سامانه شیشه‌ای جدید به منظور ارزیابی و بهبود عملکرد انرژی مورد بررسی قرار گرفت. شرایط اقلیمی و مشخصه‌های حرارتی پوسته ساختمان به عنوان ورودی و دمای فضای داخلی

در سال ۲۰۱۵، سه نوع مختلف از شبکه‌های عصبی برای پیش‌بینی مصرف انرژی یک فضای دانشگاهی توسط جوانویک^۴ و همکاران به کار گرفته شد. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که هر سه شبکه عصبی به کار گرفته شده با دقت بسیار خوبی قادر به پیش‌بینی مصرف انرژی لازم برای گرمایش هستند [۱۹]. نتایج تحقیق دب^۷ و همکاران نشان می‌دهد که شبکه عصبی مصنوعی با دقت بسیار خوبی قادر است مصرف انرژی روزانه بار سرمایش ساختمان‌ها را تعیین کند [۲۰]. مدل‌های پیش‌بینی انرژی، زمینه در حال رشدی در پژوهش‌ها هستند، این مسئله به‌خصوص با پیشرفت‌های جدید در هوش مصنوعی و یادگیری ماشین صدق می‌کند [۲۱]. مدل‌های یادگیری ماشین روشی جایگزین برای ارزیابی و مدل‌سازی انرژی برای انواع مختلف ساختمان‌ها هستند [۲۲]. شبکه عصبی مصنوعی به‌دلیل عملیات ساده و اجرای پیش‌بینی دقیق‌تر آن به‌طور وسیع مورد مطالعه قرار گرفته است [۲۳].

³- Argiriou

⁴- Moon

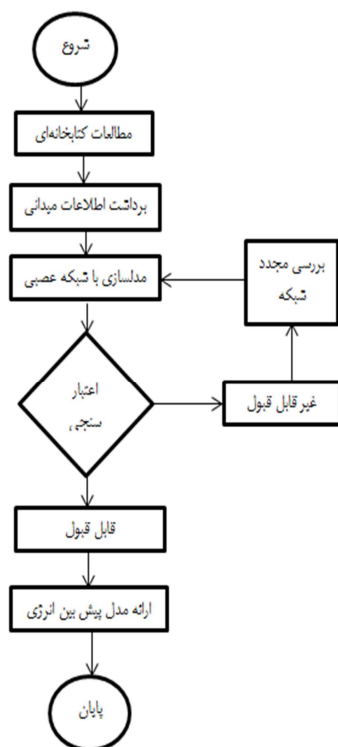
⁵- Kumar

⁶- Jovanović

⁷- Deb

²- Frenay, L.D.F & Fiorelli

هزینه‌های زیاد در مورد تامین انرژی یکی از راهکارهای مهم، بهره‌ور کردن سیستم‌های مصرف انرژی می‌باشد.



شکل ۱- فلوجارت تحقیق

به عبارت دیگر چه در زمان بهره‌برداری و چه در زمان ساخت و تولید یک محصول بتوان تا جای ممکن انرژی مصرفی را کاهش داد. علاوه بر این استفاده از انرژی‌های تولیدشده با سوخت‌های فسیلی باعث آلودگی‌های زیست‌محیطی می‌شود. لذا استفاده حداقلی و بهینه از انرژی یک الزام ضروری می‌باشد.

همانطور که اشاره شد یکی از زمینه‌های مصرف انرژی در صنایع و ساختمان‌های در حال بهره‌برداری می‌باشد. به عنوان نمونه در بخش ساختمان‌های مسکونی، بسیاری از ساختمان‌ها قدیمی بوده و از مصالح و سیستم‌های گرمایش و سرمایشی ناپه‌ره‌ور استفاده می‌کنند که نیاز به بازنگری در این نوع سیستم‌ها ضروری است. در سال‌های اخیر با توجه به اهمیت بسیار بالای مسائل زیست‌محیطی از جمله میزان مصرف انرژی، موضوع ساختمان‌های سبز مطرح شده است. در این ساختمان‌ها اثرات زیست‌محیطی ساختمان‌ها چه در مرحله ساخت و چه در مرحله بهره‌برداری مورد بررسی

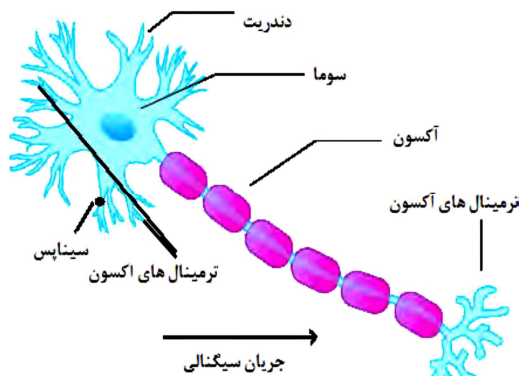
همانطور که در تحقیقات انجام‌شده نشان داده شد، یکی از روش‌های مؤثر و کاربردی جهت پیش‌بینی میزان انرژی ساختمان، شبکه‌های عصبی مصنوعی می‌باشد. این موضوع به خصوص برای حل مسائل غیرخطی از جمله انرژی ساختمان که به عواملی غیر مرتبط است از جمله شرایط آب و هوایی، جنس مصالح، موقعیت ساختمان، سیستم سرمایش و گرمایش وابسته است، کاربرد دارد. لذا در این مطالعه نیز از این مدل استفاده شده است.

در پژوهش‌های انجام گرفته، استفاده از شبکه عصبی مصنوعی برای پیش‌بینی انرژی مصرفی ساختمان‌های وضع موجود کمتر مورد بررسی قرار گرفته است. در این مطالعه به‌طور ویژه به ساختمان‌های مدارس پرداخته شده است. بدین منظور، جمع‌آوری اطلاعات مورد نیاز به‌صورت میدانی از تعدادی از ساختمان‌های مدارس انجام شد. این مشخصات شامل تعدادی از مشخصات فیزیکی ساختمان و میزان مصرف انرژی ساختمان‌ها بود. پس از جمع‌آوری این اطلاعات از یک مدل پیش‌بینی توسط شبکه عصبی استفاده شده است. در انتها نتایج به‌دست آمده از این مدل پیش‌بینی مورد بحث قرار گرفته است. همچنین اثرات کاهش مصرف انرژی در تولید دی اکسید کربن بررسی شده است. در شکل ۱ فلوجارت نحوه انجام تحقیق و مراحل آن نمایش داده شده است.

۲- ضرورت انجام تحقیق

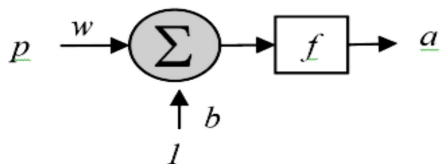
همانطور که در قسمت مقدمه توضیح داده شد، موضوع انرژی یکی از موضوعات گسترده در مقالات است که از دهه‌های قبل مورد توجه محققین بوده است. موضوع انرژی در بخش صنعت بسیار قابل اهمیت بوده به‌طوری که هیچ صنعتی بدون مصرف انرژی امکان فعالیت ندارد. در بخش‌های دیگر هم مثل ساختمان یا در کشاورزی و دیگر موارد موضوع به همین شکل است. خود انرژی هم تنوع بسیار زیادی دارد از سوخت‌های فسیلی گرفته تا انرژی‌های نو مورد استفاده می‌باشد. در واقع با توجه به

به‌طور مختصر یک نرون، پس دریافت سیگنال ورودی از سلول‌های دیگر و ترکیب سیگنال‌ها یا یکدیگر، یک خروجی جدید ایجاد می‌نماید. در شکل ۲ یک نرون بیولوژیک و بخش‌های مختلف آن نمایش داده شده است.



شکل ۲- یک نرون بیولوژیک و مشخصات آن [۱۵]

شبکه عصبی مصنوعی براساس نرون مصنوعی ایجاد شده است. در شکل ۳ نمایی از یک شبکه عصبی نمایش داده شده است. در این شکل مقدار P ورودی است که به نرون اعمال می‌شود. این مقدار در پارامتر W که مشخصه وزن می‌باشد ضرب می‌شود که می‌تواند باعث تقویت یا ضعف نرون شود.



شکل ۳- ساختار یک نرون مصنوعی [۲۴]

علاوه بر این با ورودی دیگری به نام بایاس که با نماد b نمایش داده می‌شود، جمع می‌شود. پارامتر بایاس، b مقدار قابل تنظیم در نرون‌ها است که باعث تقویت شبکه عصبی می‌شود. مجموع این پارامترها، ورودی تابعی به نام تابع تحریک یا انتقال می‌شود که در رابطه (۱) نمایش داده شده است:

$$a = f(wp + b) \quad (1)$$

با قرار دادن نرون‌ها در چند لایه می‌توان شبکه قوی‌تری ایجاد نمود. در این‌صورت خروجی هر یک از لایه‌ها، ورودی لایه بعدی را ایجاد می‌کند. شبکه‌های

قرار می‌گیرد. سیستم‌های با رتبه بندی متفاوت در این زمینه ارائه شده است و بسیاری از کشورها دارای سیستم رتبه‌بندی بومی هستند.

یکی از موارد مطرح شده در ساختمان‌های سبز، تغییر در مصالح مصرفی ساختمان و بهبود عملکرد آن می‌باشد. یعنی با توجه به تغییرات در بهبود انرژی مصرفی در این ساختمان‌ها، امتیازی با توجه به معیارهای صرفه‌جویی در مصرف انرژی در نظر گرفته می‌شود. این موضوع برای انواع ساختمان‌ها لحاظ شده است. معمولاً امتیاز کسب شده پس از تغییرات در ساختمان و بررسی کامل ساختمان به بهره‌بردار اطلاع داده می‌شود. یکی از چالش‌های جدی در این زمینه این است که بهره‌بردار یا مالک ساختمان بتواند قبل از اعمال تغییرات اجرایی موردنظر در ساختمان، برآوردی از میزان انرژی مصرفی ساختمان داشته باشد. به عبارت دیگر قبل از هرگونه تغییرات در ساختمان میزان انرژی مصرفی را پیش‌بینی نماید.

بدین منظور در این مطالعه از بین گروه‌های مختلف ساختمانی، بطور خاص ساختمان‌های با زیر ساخت آموزشی (مدارس) انتخاب شده و مورد بررسی قرار گرفته است. به عبارت دیگر یک مدل پیش‌بینی انرژی در این نوع ساختمان‌ها ارائه شده است. این مدل براساس اطلاعات برداشت شده و به‌صورت میدانی از تعدادی از مدارس انجام شده که کاری نو در این زمینه می‌باشد. جهت مدل‌سازی انرژی از روش‌های مبتنی بر هوش مصنوعی نظیر شبکه عصبی استفاده شده است.

۳- شبکه عصبی مصنوعی

استفاده از روش‌های الهام گرفته از طبیعت یکی از پرتعدادترین روش‌ها برای حل مسائل پیچیده در واقعیت هستند. یکی از این موارد، الگوی الهام گرفته از مغز انسان است. مغز انسان از هزاران شبکه عصبی تشکیل شده است. شبکه عصبی با میلیون‌ها نرون در ارتباط هستند.

در رابطه (۴)، Y_i ، \bar{Y} ، \bar{Y}_j به ترتیب خروجی مطلوب، خروجی تخمینی توسط مدل‌های مبتنی بر هوش مصنوعی، میانگین خروجی‌های مطلوب و میانگین خروجی تخمینی توسط شبکه و N تعداد مشاهدات آزمون هستند.

در این تحقیق برای پیش‌بینی انرژی مصرفی ساختمان از یک شبکه عصبی دولایه با الگوریتم پس انتشار خطا استفاده شده است. در شبکه‌های پس انتشار که برای آموزش شبکه عصبی استفاده می‌شود خطا در لایه خروجی از انتها به لایه ورودی انتشار می‌یابد. در بخش مدل‌سازی شبکه عصبی جزئیات مدل‌سازی ارائه شده است.

۴- جمع‌آوری داده‌ها و فرضیات مسأله

جهت ارائه مدل پیش‌بین انرژی مصرفی ساختمان از اطلاعات ساختمان‌های موجود استفاده شده است. بدین منظور برای برداشت اطلاعات از ساختمان‌های وضع موجود، تعدادی از مدارس شهر مشهد در نظر گرفته شد. در این مطالعه ۲۲ مدرسه از یک ناحیه از اداره آموزش و پرورش خراسان رضوی، شهر مشهد، انتخاب شده است. کار جمع‌آوری اطلاعات کاری بسیار سخت و زمان‌بر می‌باشد. به طوری که علاوه بر هماهنگی‌ها و محدودیت‌ها، ماه‌ها زمان صرف جمع‌آوری و برداشت اطلاعات مورد نیاز از این ساختمان‌ها شده است.

اطلاعات برداشت شده به صورتی در نظر گرفته شد تا اطلاعات ورودی و خروجی شبکه عصبی مصنوعی باشد. بدین منظور ورودی‌های شبکه عصبی شامل برداشت اطلاعات مساحت دیوارهای خارجی، مساحت خارجی پنجره‌ها و درب‌ها، مساحت بام و میزان ضریب انتقال حرارت هرکدام بوده و خروجی مدل نیز میزان انرژی مصرفی ساختمان می‌باشد. در جدول ۱ و ۲ متغیرهای ورودی و خروجی مدل نشان داده شده است. در این تحقیق انرژی مصرفی برحسب کیلووات‌ساعت در نظر گرفته شده است.

عصبی معمولاً از لایه ورودی، لایه میانی و لایه خروجی تشکیل می‌شود. منظور از لایه ورودی همان ورودی‌های شبکه عصبی می‌باشد. لایه خروجی همان مقدار تابع هدف می‌باشد. لایه‌های میانی یا لایه‌های مخفی می‌تواند چند لایه باشد. با افزایش تعداد لایه شبکه قوی تر شده و امکان حل مسائل پیچیده تر را دارد. برای انتخاب ساختار شبکه عصبی می‌توان از تعداد لایه‌های متفاوت و نرون‌های متفاوت استفاده نمود تا بهترین شبکه را به دست آورد. باید در انتخاب تعداد لایه‌ها و نرون‌ها دقت نمود زیرا با افزایش آنها شبکه اصطلاحاً پیش از حد آموزش دیده و این باعث ایجاد خطا در شبکه عصبی خواهد شد.

در ساختار شبکه عصبی به منظور بررسی شبکه از معیارهای میانگین مربعات خطا (MSE^8)، ریشه میانگین مربعات خطا ($RMSE^9$) و ضریب همبستگی (CC^{10}) استفاده می‌شود. مقدار میانگین مربعات خطا از رابطه (۲) به دست می‌آید:

$$MSE = \frac{\sum_{i=1}^N (Y_i - \hat{Y}_i)^2}{N} \quad (2)$$

مقدار ریشه میانگین مربعات خطا نیز از رابطه (۳) به دست می‌آید:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (Y_i - \hat{Y}_i)^2} \quad (3)$$

ضریب همبستگی وضعیت مقایسه ای مقادیر واقعی با مقادیر پیش‌بینی شده را نشان می‌دهد. در واقع هرچه انطباق بین این دو مقادیر بیشتر باشد، همبستگی بین داده‌ها بیشتر است. مقدار این ضریب هرچه به عدد یک نزدیکتر باشد دقت بالاتر مدل شبکه عصبی را نشان می‌دهد. مقدار این ضریب از رابطه (۴) به دست می‌آید:

$$CC = \frac{\sum_{i=1}^N (Y_i - \bar{Y})(\hat{Y}_i - \bar{Y}_j)}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (Y_i - \bar{Y})^2 \sum_{i=1}^N (\hat{Y}_i - \bar{Y}_j)^2}} \quad (4)$$

⁸ - mean squared error

⁹ - root mean squared error

¹⁰ - correlation coefficient

ساختمان‌های سرایداری معمولاً دارای خانوار کم می‌باشند، دامنه مصرف نوع دو در نظر گرفته شده است. با توجه به این معیار، مصرف در ماه‌های سرد سال و گرم سال مختلف است. طبق معیارهای شرکت ملی گاز ایران ماه‌های سرد سال پنج و نیم ماه و تعداد ماه‌های گرم سال شش و نیم می‌باشد [۲۵]. لذا بطور میانگین میزان مصرفی ۱۸۹۵ متر مکعب در نظر گرفته شده است. میزان متوسط ماهانه برق مصرفی خانوار در کشور ۱۸۶ کیلووات ساعت می‌باشد [۲۶]. با توجه به اینکه مصرف برق ساختمان سرایداری با ساختمان مدرسه مشترک می‌باشد، همین میزان متوسط برق مصرفی خانوار، برای ساختمان سرایداری در نظر گرفته شده است و از میزان کل مصرفی برق مدرسه کسر شده است. نظر به اینکه برداشت قبوض برق و گاز بصورت دوره‌ای می‌باشد و نیاز به داشتن میزان انرژی مصرفی در تاریخ‌های مشخص می‌باشد، برای تعیین میزان انرژی مصرفی روزانه در یک دوره مشخص، از میانگین‌گیری استفاده شده است. در زمان عید نوروز نیز با توجه به اینکه در بعضی موارد، مدارس مسافر داشته‌اند به منظور مدل‌سازی دقیق‌تر در این ایام از میانگین روزانه مصرف در دوره‌های قبل و بعد از این دوره استفاده شده است. به عبارتی دیگر انرژی مصرفی در مدت عید نوروز با توجه به مصرف مازاد انرژی توسط مسافری، حذف و برای مصرف انرژی جایگزین در این دوره از دوره‌های قبل و بعد این مدت استفاده شده است. همچنین فرض بر این بوده که در این ایام سرایدار حضور داشته است.

در بعضی مدارس، ساختمان‌های دیگری در خارج از ساختمان اصلی مدرسه بودند نظیر نمازخانه، کلاس‌های درس، کارگاه‌های آموزشی و غیره، و این ساختمان‌ها نیز انرژی مصرفی دارند، به‌منظور مدل‌سازی، میزان انرژی مصرفی این ساختمان‌ها به لحاظ حجمی، درصدی از ساختمان اصلی مدرسه فرض شده و به این نسبت از میزان انرژی مصرفی کل ساختمان کسر گردیده است. برای تعیین میزان ضریب انتقال حرارت دیوارها، پس از

جدول ۱- ورودی‌های شبکه عصبی

ردیف	ورودی‌ها
۱	مساحت دیوارهای خارجی
۲	ضریب انتقال حرارت دیوارهای خارجی
۳	مساحت درب‌ها و پنجره‌ها
۴	ضریب انتقال حرارت درب‌ها و پنجره‌ها
۵	مساحت بام
۶	ضریب انتقال حرارت بام

جدول ۲- خروجی شبکه عصبی

ردیف	خروجی
۱	میزان انرژی مصرفی

انرژی مصرفی شامل برق مصرفی و گاز مصرفی می‌باشد. با توجه به اینکه گاز مصرفی ساختمان برحسب مترمکعب می‌باشد، میزان انرژی مصرفی ناشی از گاز معادل‌سازی شده و برحسب کیلووات ساعت محاسبه گردیده است. هر مترمکعب انرژی مصرفی با توجه به ضرایب تبدیل انرژی معادل ۳/۱۴۴ کیلووات ساعت می‌باشد. انرژی مصرفی ساختمان برای یک دوره نهمه‌ماه در نظر گرفته شده است. به عبارت دیگر در مدت زمان یک سال تحصیلی یعنی از ابتدای مهرماه تا پایان خردادماه در نظر گرفته شده است. برای تمامی مدارس میزان مصرف انرژی از مهرماه سال ۱۳۹۷ تا پایان خردادماه ۱۳۹۸ در نظر گرفته شده است (در مواردی که اطلاعات کامل نبود از اطلاعات سال قبل از این دوره استفاده شد).

در بسیاری از ساختمان‌ها، ساختمان سرایداری خارج از ساختمان بوده و دارای کنتور مجزا نبوده و انرژی مصرفی به ویژه برق ساختمان مشترک می‌باشد. با توجه به اینکه میزانی از مصرف انرژی مربوط ساختمان‌های سرایداری می‌باشد، برای این نوع ساختمان‌ها بطور میانگین یک سرانه مصرف در نظر گرفته شده است و این میزان از انرژی مصرفی کل ساختمان مدرسه، کسر گردیده است. میزان مصرف انرژی در ساختمان سرایداری برای گاز با توجه به اقلیم شهر مشهد نوع دو در نظر گرفته شده است. دامنه مصرف نیز با توجه به اینکه

دیوار متفاوت از ساختمان اصلی می‌باشند. به منظور تسهیل در کار مدل‌سازی، در مواردی که ضرایب انتقال حرارت متفاوت برای جداره‌های با ضخامت متغیر برای یک مصالح وجود داشته، یک مساحت معادل با توجه به ضرایب انتقال حرارت آن، لحاظ شده است.

نظر به اینکه ساختمان‌ها در وضع موجود می‌باشند، جهت برداشت نوع سقف از مشاهدات و تشخیص در محل، استفاده شده و نهایتاً جمع بندی شده است. ضخامت سقف اصلی مدارس با توجه به نوع سقف‌ها برای نوع سقف ضربی و بتنی ضخامت ۲۵ سانتیمتر و برای تیرچه بلوک ضخامت ۴۰ سانتی متر لحاظ شده است. در بعضی موارد هم سقف سبک شامل آردواز یا ورق فلزی می باشد. از بازشوهای کوچک حدود یک مترمربعی در سقف نیز صرف نظر شده است. پوشش دیوارهای خارجی از داخل خاک گچ و گچ سفید در نظر گرفته شده است. در بعضی از مدارس در قسمت پایین دیوار، پوشش سنگ یا پوشش دیگری یا بدون پوشش بوده که برای سهولت مدل‌سازی، همان پوشش کلی لحاظ شده است. سال ساخت مدارس انتخابی از حدود سال ۱۳۵۶ تا حدود سال ۱۳۸۱ متغیر می‌باشد. همچنین مدارس انتخابی دارای تعداد طبقات متفاوت بودند که در جدول ۳ نمایش داده شده است.

جدول ۳- تعداد مدارس و تعداد طبقات

تعداد طبقات	یک طبقه	دو طبقه	سه طبقه
تعداد مدارس	۵	۱۶	۱

نظر به اینکه در بعضی از مدارس برای ایجاد اتاق موتورخانه از قسمتی از ساختمان اصلی استفاده شده که بعضاً اتاق جدا بوده یا از داخل، به ساختمان اصلی ارتباط داشته که در مجموع با توجه به سطح کم دیوار و درب ورودی موتورخانه، نسبت به کل سطح دیوارها، جهت ساده‌سازی مدل، کلاً سطح ورودی به موتورخانه دیوار در نظر گرفته شده است. برای سرویس بهداشتی‌ها نیز به همین نحو عمل شده است. همچنین در مواردی که ساختمان سرایداری مشترک با ساختمان اصلی مدرسه

اندازه‌گیری ضخامت دیوارها، براساس نوع مصالح مصرفی، میزان ضریب انتقال حرارت تعیین شد (ضریب انتقال حرارت جدارها به صورت محاسبات دستی انجام شده است). در بعضی ساختمان‌ها که ضخامت دیوارها متغیر بوده، بعضاً، ضخامت تقریبی لحاظ گردیده است. همچنین در بعضی از مدارس در نمای اصلی از پوشش سرامیک یا پوشش‌های اندودی استفاده شده که به علت ضخامت کم آن از ضریب انتقال حرارت آن صرف‌نظر شده است. در مورد محاسبه ضریب انتقال حرارت سقف‌ها نیز مشابه دیوارها عمل شده است.

در بعضی موارد، دیوارهای با ضخامت کمتر از ضخامت دیوار اصلی مدرسه که دارای مساحت کمی، نسبت به کل مساحت دیوارهای خارجی بودند، با ضخامت دیوار اصلی مدرسه یکی فرض شده است. البته در مواردی هم به صورت جداگانه در نظر گرفته شده است. به هر حال به علت مساحت کم این نوع دیوارها، تأثیرگذاری آن در مساحت کل و مدل‌سازی بسیار کم است. در مورد درب‌ها و پنجره‌ها نیز میزان ضریب انتقال حرارت براساس میزان اتلاف انرژی از سطح پنجره در نظر گرفته شده است و از فریم پنجره که فلزی و بعضاً چوبی بوده، به لحاظ کوچکی سطح، صرف‌نظر شده است. در بعضی موارد که پنجره‌های متفاوت بوده مثل پنجره‌های دوجداره، ضریب انتقال حرارت بصورت جداگانه اعمال شده است. همچنین در بعضی موارد به جای شیشه از کارتن‌پلاست استفاده شده که همان ضریب انتقال حرارت شیشه لحاظ شده است (شیشه شکوریت نیز معادل شیشه معمولی فرض شده است). به دلیل ساده‌سازی مدل، ضریب انتقال ورق قسمت پائین درب‌های فلزی نیز برابر شیشه در نظر گرفته شده است، زیرا این سطح نسبت به سایر سطوح پنجره‌ها خیلی کم می‌باشد.

در بعضی از مدارس به غیر از ساختمان اصلی مدرسه، ساختمان‌هایی در مجاورت ساختمان مدرسه اضافه شده که به ساختمان اصلی چسبیده است و تبادل حرارتی دارند. این نوع ساختمان‌ها بعضاً دارای نوع سقف و

دیوارهای خارجی، مساحت سقفها، مساحت دربها و پنجره‌های مدارس و ضرایب انتقال حرارت هرکدام از آنها و همچنین انرژی مصرفی در ساختمان مدرسه در طول نهمه‌ماه ارائه شده است.

بوده، این مساحت از ساختمان اصلی کسر گردیده و مابقی ساختمان مدل‌سازی شده است. اطلاعات مربوط به مشخصات ۲۲ ساختمان برداشت شده که شامل اطلاعات مهم برای ورودی و خروجی شبکه عصبی می‌باشد در جدول ۴ نمایش داده شده است. در این جدول مساحت

جدول ۴- مشخصات و اطلاعات برداشت شده از مدارس

شماره مدارس	میزان مصرف انرژی (kWh)	ضریب انتقال حرارت پنجره ها و درب ها $\left(\frac{W}{M^2K}\right)$	مساحت پنجره‌ها و درب‌های خارجی (m^2)	ضریب انتقال حرارت سقف $\left(\frac{W}{M^2K}\right)$	مساحت سقف (m^2)	ضریب انتقال حرارت دیوار $\left(\frac{W}{M^2K}\right)$	مساحت دیوار خارجی (m^2)
۱	۴۲۴۷۱/۵۵	۵/۸	۱۶۶/۳۹	۲/۲۱	۴۸۷/۶	۱/۴۵	۵۶۳/۴۷
۲	۱۸۵۷۱/۹۷	۵/۸	۸۱/۳۶	۲/۲۱	۵۰۶/۳۲	۱/۴۵	۳۰۰/۵۷
۳	۳۶۵۳۸/۳۴	۵/۸	۹۹/۷۹	۲/۲۱	۶۲۲/۲۶	۱/۴۵	۲۷۶/۴۵
۴	۳۶۹۱۹/۷۸	۵/۸	۹۲/۴۳	۲/۲۹	۳۷۸/۷۹	۱/۵۵	۴۰۳/۴۸
۵	۳۱۰۸۷/۹۸	۵/۸	۱۵۴/۹۳	۲/۲۱	۴۷۴/۸۳	۱/۰۱	۶۹۰/۵۰
۶	۳۸۱۶۵/۲۶	۵/۸	۱۱۰/۴۸	۲/۲۱	۷۹۲/۹۷	۱/۷۸	۴۱۳/۷۷
۷	۳۵۸۲۳/۳۹	۵/۸	۱۵۰/۲۱	۲/۲۹	۴۳۹/۴	۱/۷۹	۴۵۲/۰۵
۸	۴۱۰۶۵/۳۶	۵/۸	۱۲۹/۷۷	۱/۲۶	۵۲۸/۰۱	۲/۱۰	۵۳۴/۰۵
۹	۳۸۷۲۷/۲۷	۵/۸	۹۹/۵۸	۱/۹۸	۷۴۵/۸۴	۱/۶۵	۳۵۶/۵۴
۱۰	۶۰۰۶۳/۵۵	۵/۸	۹۸/۳۰	۱/۶۱	۶۱۶/۲۵	۲/۵۹	۶۵۶/۵۴
۱۱	۴۶۰۰۳/۶۵	۵/۸	۱۲۸/۶۴	۲/۲۹	۵۹۰/۲۹	۲/۱۰	۴۷۰/۱۶
۱۲	۲۴۰۰۱/۸۳	۵/۸	۶۳/۲۱	۲/۲۹	۴۶۳/۳۴	۱/۹۳	۲۹۹/۳۷
۱۳	۸۷۱۸۹/۴۲	۵/۸	۱۷۴/۴۳	۱/۶۱	۶۴۶/۴۱	۲/۳۳	۹۲۵/۸۹
۱۴	۴۵۴۴۹/۷۱	۵/۸	۱۴۸/۱	۲/۲۹	۶۹۰/۸۲	۲/۱۰	۵۸۶/۱۱
۱۵	۳۳۴۹۴/۲۲	۵/۸	۱۶۱/۱۲	۲/۲۹	۶۱۲/۷۶	۱/۹۳	۴۶۰/۵۸
۱۶	۲۸۷۵۶/۵۳	۵/۸	۱۳۶/۱۵	۱/۶۱	۵۰۷/۰۴	۱/۹۳	۵۱۳/۹
۱۷	۳۷۹۷۱/۸۷	۵/۸	۹۴/۹۵	۲/۲۱	۵۴۸/۳۸	۱/۷۸	۵۲۸/۷۷
۱۸	۳۵۲۳۵/۴۲	۵/۸	۱۸۹/۳۲	۲/۲۴	۵۹۷/۸۸	۱/۶۵	۶۴۲/۰۹
۱۹	۴۷۶۴۵/۷۳	۵/۸	۱۲۳/۰۷	۲/۲۱	۵۳۴/۲۲	۱/۷۸	۵۲۸/۷۷
۲۰	۴۹۸۱۸/۱۹	۵/۸	۱۳۰/۲۵	۲/۲۹	۶۳۹/۰۲	۲/۱۰	۵۴۹/۱۳
۲۱	۴۱۶۹۶/۹	۵/۸	۱۲۸/۸۳	۲/۲۹	۶۸۴/۴۸	۲/۳۷	۵۹۳/۹۱
۲۲	۵۱۷۱۶/۷۵	۵/۸	۱۲۴/۶۲	۲/۲۹	۵۳۴/۱۲	۲/۱۰	۴۸۸/۴۶

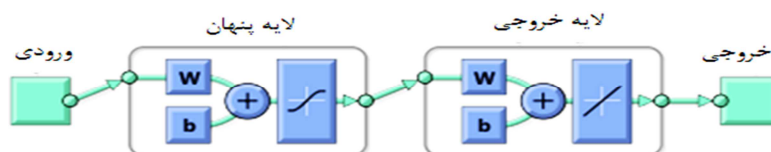
ساختمان‌ها و فرضیات مربوطه در بخش قبل توضیح داده شد.

در این پژوهش، برای مدل‌سازی از شبکه عصبی مصنوعی استفاده شده است. در مدل شبکه عصبی داده‌های موجود در شبکه، ابتدا آموزش می‌بیند و در

۵- مدل پیش‌بینی انرژی مصرفی

در این بخش، مدل‌سازی داده‌ها جهت ارائه مدل پیش‌بینی انرژی انجام می‌شود. جمع‌آوری داده‌ها در قسمت قبل از تعدادی مدارس جهت انجام مدل‌سازی انجام شد و موارد مهم در برداشت اطلاعات و مشخصات

خطی Linear می‌باشد. آموزش شبکه با الگوریتم پس انتشار لونیگ-مارکورت انجام شده که وزن‌ها و بایس‌ها با استناد به این الگوریتم بهینه می‌شوند. این الگوریتم برای مسائل چندبعدی با داده‌های بی‌نظم بخوبی تناسب دارد. همچنین این الگوریتم اغلب سریع‌ترین الگوریتم پس انتشار در جعبه ابزار نرم افزار متلب است (R2013a).



شکل ۴- ساختار شبکه عصبی (R2013a).

نرون‌ها، باعث بیش‌برازش می‌شود و منحنی برازشی بین این نقاط به شدت نوسان می‌کند [۲۷].

۶- نتایج مدل پیش‌بینی

در این مرحله با توجه به ایجاد مدل پیش‌بینی انرژی مصرفی در مدارس و معرفی ورودی‌ها و خروجی مدل، مدل شبکه عصبی را در نرم‌افزار متلب، اجرا نموده و نتایج مورد بحث قرار می‌گیرد. بدین منظور دو پارامتر ضریب همبستگی بین داده‌ها و ریشه میانگین مربعات خطا که قبلاً توضیح داده شد، در شبکه عصبی مورد بررسی قرار می‌گیرد. هرچه مقدار ضریب همبستگی به یک نزدیک‌تر و ریشه میانگین مربعات خطا کمتر باشد بهتر است.

در شکل ۵- الف نتایج شبکه برای داده‌های آموزش نمایش داده شده است. در این شکل نمودار ضریب همبستگی بین داده‌ها، R، برای داده‌های آموزش نمایش داده شده است. همانطور که در شکل مشخص است مقدار R برابر ۰/۹۷۹ می‌باشد. در شکل ۵- ب، ضریب همبستگی R، برای کل داده‌ها نمایش داده شده است که مقدار ۰/۹۱۸ می‌باشد.

همچنین در شکل ۶ به ترتیب نتایج شبکه عصبی برای داده‌های تست و صحت‌سنجی نمایش داده شده است. مقدار R برای داده‌های تست و اعتبارسنجی به

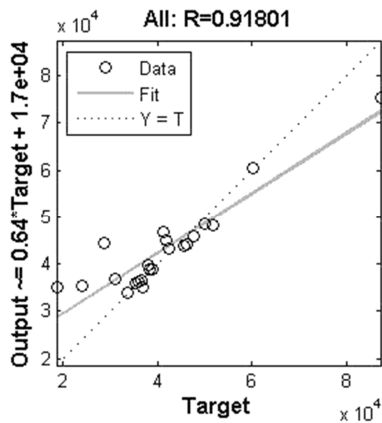
مرحله بعد داده‌ها مورد تست و اعتبارسنجی قرار می‌گیرند. به منظور ایجاد شبکه عصبی، از جعبه ابزار شبکه عصبی در نرم افزار متلب استفاده شده است. در جعبه ابزار شبکه عصبی متلب از یک شبکه عصبی دولایه با انتشار رو به جلو استفاده شده است. در شکل ۴ ساختار شبکه عصبی نمایش داده شده است. تابع تحریک برای لایه پنهان، تابع Log-Sigmoid و برای لایه خروجی تابع

پس از ایجاد ساختار شبکه عصبی می‌بایست ورودی‌ها و خروجی شبکه عصبی مشخص شود. با توجه به اطلاعات جمع‌آوری شده در جدول ۴، ورودی‌های شبکه عصبی شامل ۲۲ نمونه از مدارس، شامل شش ورودی شامل مساحت دیوارها، ضریب انتقال حرارت دیوار، مساحت بام، ضریب انتقال حرارت بام، مساحت پنجره‌ها و درب‌ها و ضریب انتقال حرارت پنجره‌ها و درب‌ها می‌باشند. در واقع ورودی‌های مدل یک ماتریس با ۲۲ سطر و شش ستون می‌باشد. خروجی شبکه عصبی که همان انرژی مصرفی ساختمان می‌باشد نیز شامل ۲۲ نمونه بوده و از جدول ۴ استخراج می‌شود. به عبارت دیگر خروجی شبکه یک ماتریس با ۲۲ سطر و یک ستون می‌باشد.

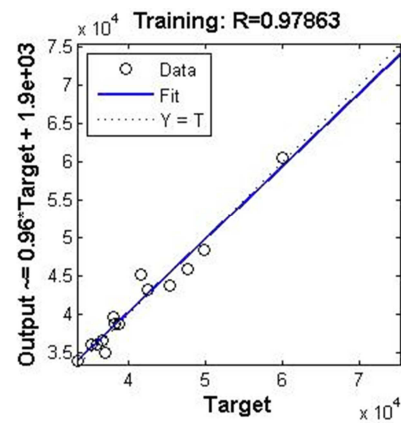
برای ایجاد شبکه عصبی نیاز است داده‌های موجود به سه بخش تقسیم شوند. تعدادی برای آموزش شبکه، تعدادی برای تست و تعدادی هم برای اعتبارسنجی در نظر گرفته شود. در این مطالعه از کل داده‌های موجود برای مدل‌سازی ۶۰ درصد برای آموزش، ۲۰ درصد برای تست و ۲۰ درصد برای اعتبارسنجی در نظر گرفته شده است. تعداد نرون‌ها برای شبکه عصبی با توجه به تعداد داده‌های موجود برابر پنج در نظر گرفته شد. تعداد نرون‌های کم باعث عدم انطباق می‌شود و تعداد زیاد

از دقت خوبی برخوردار است.

ترتیب ۰/۸۰۶ و ۰/۹۹۲ می باشد. مشاهده می شود نتایج

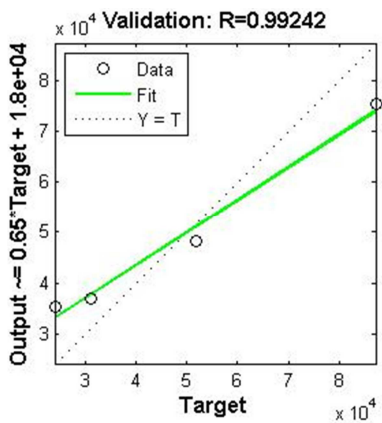


(ب)

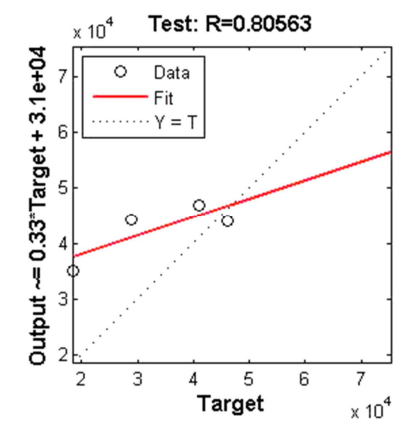


(الف)

شکل ۵- ضریب همبستگی بین داده‌های خروجی واقعی شبکه عصبی برای (الف) داده‌های آموزش و (ب) تمامی داده‌ها

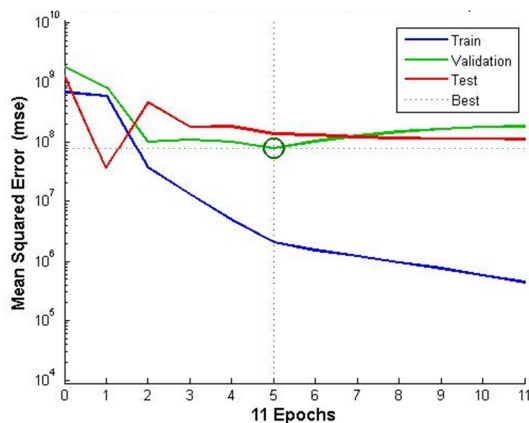


(ب)



(الف)

شکل ۶- ضریب همبستگی بین داده‌های خروجی واقعی شبکه عصبی برای (الف) داده‌های تست و (ب) داده‌های صحت سنجی



شکل ۷- عملکرد شبکه عصبی برای داده‌های آموزش،

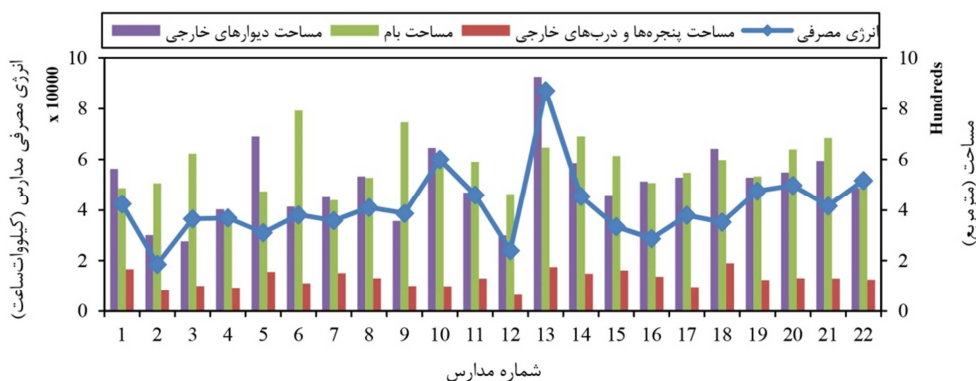
اعتبارسنجی و تست

عملکرد شبکه عصبی نیز در شکل ۷ نیز نمایش داده شده است. میزان خطای به دست آمده از شبکه عصبی برای داده‌های آموزش برابر ۱۴۴۱ کیلووات ساعت است. از جدول ۴ میانگین داده‌های مربوط به انرژی مصرفی برای ۲۲ مدرسه نمونه، مقدار ۴۱۲۹۶ کیلووات ساعت می‌باشد. حال اگر درصد خطای به دست آمده را نسبت به میانگین مصرف انرژی مدارس به دست آورده شود، مقدار سه درصد می‌شود که مقداری قابل قبول می‌باشد. در مطالعه‌ای در مورد پیش‌بینی تغییر مکان افقی سد دز با استفاده از شبکه عصبی میزان خطا حدود چهار درصد شد که نشان می‌دهد شبکه خوب آموزش دیده است [۲۸].

۷- نتایج حاصل از داده‌های جمع‌آوری شده

همانطور که مشاهده می‌شود تغییرات بسیار متنوع است. با افزایش و کاهش هرکدام از مساحت‌ها، انرژی مصرفی دچار تغییر می‌شود. به عبارت دیگر نقش تغییرات غیرخطی در مصرف انرژی بسیار مشهود می‌باشد و اینکه مصرف انرژی به عوامل متعددی بستگی دارد.

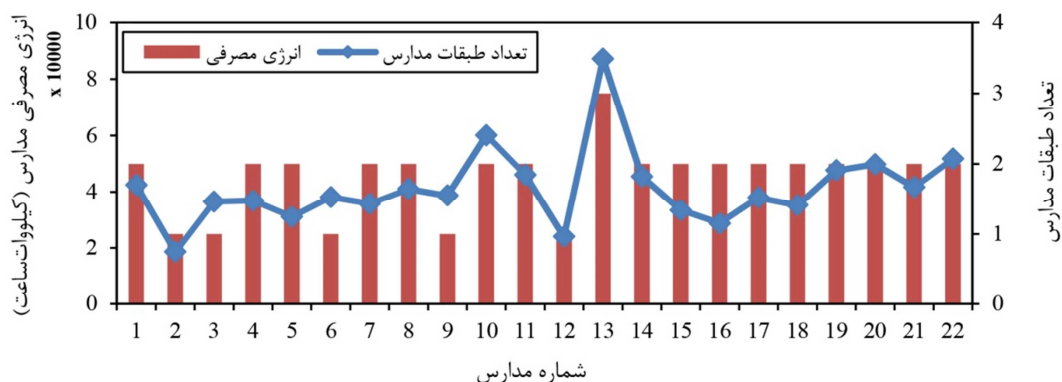
در این بخش با توجه به نمونه‌های جمع‌آوری شده مقایسه بین داده انجام شده است. در شکل ۸ مقایسه بین انرژی مصرفی، مساحت دیوارهای خارجی، مساحت پنجره‌ها و درب‌ها و مساحت بام مدارس ارائه شده است.



شکل ۸- مقایسه بین انرژی مصرفی، مساحت دیوارهای خارجی، مساحت پنجره‌ها و درب‌ها و مساحت بام مدارس

بستگی دارد. با صرف نظر از خطاهای احتمالی در جمع‌آوری و تحلیل داده‌ها، به نظر می‌رسد بتوان با مقایسه اصولی در ساختمان‌های مدارس مشابه، مثلاً در ساختمان‌های دوطبقه، عملکرد مدارس با مصرف انرژی متعادل یا پایین را با مدرسی که مصرف انرژی بالایی دارند، انجام داد و از این طریق به راهکارهای ساده‌تری حتی بدون تغییر در نوع متریکال ساختمان دست یافت.

در شکل ۹ تغییرات انرژی مصرفی مدارس نسبت به تعداد طبقات مدرسه نمایش داده شده است. در بین چهار مدرسه یک طبقه اختلاف انرژی مصرفی حدود ۱۶۰۰۰ کیلووات‌ساعت است. در حالی که در بین ۱۶ مدرسه دوطبقه اختلاف انرژی مصرفی حدود ۲۶۰۰۰ کیلووات‌ساعت می‌باشد. با توجه به نمودارهای ذکر شده همانطور که بیان شد عوامل متعددی به انرژی مصرفی



شکل ۹- تغییرات انرژی مصرفی مدارس نسبت به تعداد طبقات مدرسه

ساختمان‌های جانبی دیگر و موارد مشابه بستگی داشته باشد ولی به هر حال قابل بررسی و مورد توجه می‌باشد. به عنوان مثال ممکن است حساسیت در مدیریت مصرف انرژی در بعضی از مدارس بیشتر باشد. در این رابطه

یکی از موارد مهم در این زمینه بحث مدیریت انرژی در زمان بهره برداری می‌باشد. احتمال اینکه بعضی از مدارس عملکرد بهتری در این زمینه داشته باشند بالاتر است. هرچند ممکن است به دیگر عوامل مثل

می‌توان تحقیقی جداگانه انجام شود و حتی منتج به دستورات عملی نیز در زمینه صرفه‌جویی در مصرف انرژی شود که از حوصله این مقاله خارج است.

۸- بررسی اثر پیش بینی انرژی مصرفی در کاهش دی‌اکسیدکربن

یکی از منابع آلودگی محیط زیست، گازهای تولید شده ناشی از سوخت های فسیلی می‌باشد. گاز اصلی تولید شده دی‌اکسیدکربن است که سالانه میلیون‌ها تن از آن در هوا ایجاد می‌شود و باعث بسیاری از عواض زیست محیطی از جمله بیماری‌ها می‌شود. انرژی مصرفی در ساختمان یا گاز طبیعی بوده که برای گرمایش استفاده می‌شود و به صورت مستقیم سوزانده می‌شود، یا انرژی الکتریسیته می‌باشد. بخشی از تولید الکتریسیته نیز از طریق سوزاندن گاز طبیعی و دیگر مشتقات نفتی انجام می‌گیرد. به هر صورت جهت تولید انرژی گرمایشی یا الکتریسیته، گاز دی‌اکسیدکربن تولید می‌شود. طبق گزارش آژانس حفاظت محیط‌زیست، به ازای هر کیلووات‌ساعت تولید برق الکتریسیته، معادل ۴۱۷ گرم گاز دی‌اکسیدکربن تولید می‌شود (برق نیوز). این مقدار، میزان بسیار تکان دهنده‌ای می‌باشد که اهمیت مدیریت مصرف انرژی و استفاده بهینه از آن را بیان می‌کند. در این مطالعه همانطور که توضیح داده شد، می‌توان انرژی مصرفی ساختمان مدارس را در وضع موجود پیش‌بینی نمود و سپس با اعمال بعضی تغییرات در پوسته خارجی ساختمان، میزان انرژی ساختمان را مجدداً مورد ارزیابی قرار داد. این تغییرات می‌تواند به‌عنوان مثال از طریق عایق‌نمودن ساختمان انجام پذیرد و در این صورت با مقایسه با حالت اول و قبل از تغییرات با حالت بعد از تغییرات میزان صرفه جویی در مصرف انرژی را به‌دست آورد.

مطابق جدول ۴ میانگین انرژی مصرفی مدارس مقدار ۴۱۲۹۶ کیلووات‌ساعت می‌باشد (البته همانطور که

در بخش های قبل توضیح داده شد مقداری از مصرف انرژی گاز طبیعی می‌باشد که با انرژی برق معادل سازی شده است). همانطور که اشاره شد، اگر با عایق نمودن پوسته خارجی ساختمان و یا استفاده از درب‌ها و پنجره‌های دوجداره میزان انرژی مصرفی را با مدل ارائه شده پیش‌بینی انرژی مصرفی، بررسی نمود می‌توان میزان کاهش در انرژی مصرفی را بعد از تغییرات پیش‌بینی نمود. فرض می‌شود با اعمال تغییرات مورد نظر میزان ۲۰ درصد در مصرف انرژی صرفه جویی شود. این میزان صرفه‌جویی با توجه به میانگین مصرف انرژی حدود ۸۲۵۹ کیلووات‌ساعت می‌شود. طبق آمار ارائه شده برای تولید دی‌اکسیدکربن و اینکه الکتریسیته مورد نیاز ساختمان از طریق گاز طبیعی و سوخت‌های مشابه تامین شود، مقدار ۳۴۴۴ کیلوگرم یا به عبارتی در یک بازه نه ماه فقط یک مدرسه ۳/۴ تن آلودگی ناشی از گاز دی‌اکسیدکربن تولید می‌کند. حال اگر در شهری ۲۰۰ مدرسه وجود داشته باشد، مقدار گاز دی‌اکسیدکربن تولیدی مقدار ۶۸۰ تن می‌شود که مقداری فوق العاده زیاد می‌باشد. لازم به ذکر است که این مقدار، فقط برای صرفه جویی ۲۰ درصدی در مصرف انرژی می‌باشد و با صرفه جویی بیشتر این مقدار افزایش می‌یابد.

۹- نتیجه‌گیری

در تحقیق پیش‌رو به پیش‌بینی انرژی مصرفی ساختمان و به‌طور ویژه در ساختمان‌های با زیرساخت آموزشی پرداخته شده است. در این پژوهش به منظور نوآوری و به‌دست آوردن یک مدل پیش‌بین مبتنی بر واقعیت از جمع‌آوری داده‌های میدانی استفاده شده است که کمتر در پژوهش‌ها به آن پرداخته شده است. بدین منظور تعداد ۲۲ مدرسه از شهر مشهد انتخاب شد و به همین تعداد برای هر مدرسه یک سری داده برداشت شد. اطلاعات مورد نیاز شامل قبوض مصرفی انرژی (برق و گاز)، مساحت دیوارها، پنجره‌ها و سقف‌ها و ضریب انتقال

انرژی آن را به‌دست‌آورد. سپس کافی است با تغییر بعضی از این مشخصات، مثلاً عایق نمودن دیوارها، میزان انرژی مصرفی را پیش‌بینی نمود. در این صورت قبل از هرگونه عملیات اجرایی، میزان کاهش مصرف انرژی مشخص می‌شود. این مدل قابلیت توسعه به سایر ساختمان‌های در وضع موجود را دارد و می‌تواند در مطالعات بعدی مورد توجه قرارگیرد. بررسی داده‌ها و نمودارها نشان می‌دهد که انرژی رابطه غیرخطی با مشخصات ساختمان و یگر عوامل محیطی دارد. ابزار جدید پیشنهادی با توجه به تأثیرات آب و هوایی هر منطقه در مصرف انرژی، برای اقلیم‌های مشابه قابل استفاده می‌باشد. همچنین با مقایسه ساختمان‌های مدارس مشابه در مدیریت مصرف انرژی می‌توان مدارس با عملکرد بالا در مدیریت بهره‌وری انرژی را مورد بررسی قرارداد و انتظار می‌رود بتوان دستورالعمل مشخصی در این زمینه، برای سایر مدارس ارائه نمود. با توجه به امکان پیش‌بینی کاهش انرژی مصرفی، می‌توان مقدار کاهش دی‌اکسیدکربن مصرفی ساختمان را قبل از هرگونه تغییرات محاسبه نمود. در بررسی یک نمونه موردی مشاهده می‌شود که اثر آن بسیار قابل توجه می‌باشد

حرارت هرکدام بود. با توجه به اینکه تغییرات مصرف انرژی در یک ساختمان غیرخطی بوده و به عوامل متعددی بستگی دارد از مدل‌های مبتنی بر هوش مصنوعی استفاده شد. در این تحقیق از مدل شبکه عصبی مصنوعی بدین منظور استفاده شده است.

نتایج به‌دست آمده از این مدل شبکه عصبی نشان داد که ضریب همبستگی بین داده‌های آموزش، مقدار $0/94$ و ضریب همبستگی برای داده‌های صحت‌سنجی، مقدار $0/992$ می‌باشد و مقدار خطا برای داده‌های آموزش حدود سه درصد است که مقادیر قابل قبولی می‌باشند. به عبارت دیگر به سادگی با داشتن شش مشخصه اصلی ساختمان شامل مساحت دیوارهای خارجی ساختمان، مساحت درب‌ها و پنجره‌های خارجی، مساحت پشت بام و ضرایب انتقال حرارت هر کدام، می‌توان مقدار انرژی مصرفی یک ساختمان مدرسه را پیش‌بینی نمود. از مزایای مهم این مدل پیش‌بینی این است که امکان پیش‌بینی میزان صرفه جویی انرژی ساختمان میسر می‌باشد. بدین‌صورت که ابتدا با برداشت شش مشخصه اصلی از یک ساختمان آموزشی می‌توان میزان مصرف

مراجع

- [1] Ghafari Jabari, S., Ghafari Jabari, S. & Saleh E. (2013). "Review strategies for improving the design and construction of settlements in Tehran", *Quarterly Journal of Energy Policy and Planning Research*, 1(1), 115-132.
- [2] Plessis, G. E. D., Liebenberg, L., Mathews, E. H. & Plessis, J. N. D. (2013). "A versatile energy management system for large iNtegrated cooling Systems", *Energy Conversion and Management*, 66, 312-325.
- [3] Harvey, D. (2009). "Reducing energy use in the buildings sector: measures, costs and examples", *Energy Efficiency*, 2, 139-163.
- [4] Tian, W., Song, J., Li, Z., & Wlode, P. D. (2014). "Bootstrap techniques for sensitivity analysis and model selection in building thermal performance analysis", *Applied Energy*, 135, 320-328.
- [5] Iranian Fuel Conservation Company, www.ifco.ir
- [6] International Energy Agency (IEA), www.iea.org
- [7] Renewable Energy and Energy Efficiency Organization (SATBA), Iran, www.satba.gov.ir
- [8] Sarkardehee, E., Saghafi, M. R., & Nasrollahi, F. (2019). "Effects of southern wall angle on heating performance and energy consumption of residential buildings in Yazd", *Quarterly Journal of Energy Policy and Planning Research*, 5(1), 197-227.
- [9] Madahi, M., & Tavanaiee, F. (2019). "Optimization of thermal performance of external walls of residential building in cold and dry climate by utilizing the energy simulation software (A case study: Mashhad, Iran)", *JEM*, 9(3), 108-121.
- [10] Shaeri, J., Yaghoubi, M., & Vakilnazhad, R. (2020). "The impact of using electro chromic on the cooling load in offices at hot and dry, hot and humid, and cold climates in Iran", *JEM*, 10(3), 90-99.
- [11] Azadeh, A., Ghaderi, S. F., & Sohrabkhani, S. (2014). "A simulated-based neural network algorithm for forecasting electrical energy consumption in Iran", *Energy Policy*, 36, 2637-2644.

- [12] Tso, G., & Yau, K. (2003). "A study of domestic energy usage pattern in Hong Kong", *Energy*, 28, 1671-1682.
- [13] Ridwana, I., Nassif, N., & Choi, W. (2020). "Modeling of building energy consumption by integrating regression analysis and artificial neural network with Data classification", *Buildings*, 10(11), 198.
- [14] Frenay, L. D. F., & Fiorelli, F. A. S. (2011). "Use of neural networks for evaluation of energy consumption of air conditioning systems", *21st International Congress of Mechanical Engineering*, Natal, RN, Brazil.
- [15] Khoshtinat, A., Shieh baygi, A. (2017). "Predicting building energy consumption using multilayer perceptron neural network", *Emerging Trends in Energy conservation Sixth Conference*, Iran.
- [16] Argiriou, A. A., Bellas-Velidis, I., & Balaras, C. A. (2000). "Development of a neural network heating controller for solar buildings", *Neural Networks*, 13, 811-820.
- [17] Moon, J. W., Jung, S. K., & Kim, J. J. (2009). "Application of ANN (artificial neural network) in residential thermal control", *Proceeding of Eleventh International IBPSA Conference*, Glasgow, Scotland, 64-71.
- [18] Kumar, R., Aggarwal, R. K., & Sharma, J. D. (2013). "Energy analysis of a building using artificial neural network: a review", *Energy and Buildings*, 65, 352-358.
- [19] Jovanović, R. Z., Sretenović, A. A., & Živković, B. D. (2015). "Ensemble of various neural networks for prediction of heating energy consumption", *Energy and Buildings*, 94, 189-199.
- [20] Deb, C., Eang, L. S., Yang, J., & Santamouris, M. (2016). "Forecasting diurnal cooling energy load for institutional buildings using Artificial Neural Networks", *Energy and Buildings*, 121, 284-297.
- [21] Runge, J. & Zmeureanu, R. (2019). "Forecasting energy use in buildings using artificial neural networks: a review", *Energies*, 12(17), 3254.
- [22] Seyedzadeh, S., Rahimian, F. P., Glesk, I., & Roper, M. (2018). "Machine learning for estimation of building energy consumption and performance: a Review", *Visualization in Engineering*, 6(5).
- [23] Pino-Mejías, R., Pérez-Fargallo, A., Rubio-Bellido, C., & Pulido-Arcas, J. A. (2017). "Comparison of linear regression and artificial neural networks models to predict heating and cooling Energy Demand, energy consumption and CO₂ emissions", *Energy*, 118, 24-36.
- [24] Demuth, H., & Beale, M. (2002). "Neural network toolbox user`s guide", *Math Works Inc.*, Natick, MA, U.S.A.
- [25] Islamic Parliament Research Center of IRAN (IPRC). (2019). "About energy subsidies in Iran", N:16654.
- [26] Energy News Agency. (2017). "Bargh news", www.barghnews.com
- [27] Dashtbayzi, M. R., & Ghanbarian, M. (2016). "Comparison of artificial neural network methods for modeling of turning of polymer Matrix composite", *Journal of Mechanical Engineering Amirkabir*, 47(2), 83-98.
- [28] Naderpour, H., Hoseini Vaez, S. R., & Malekshahi, N. (2021). "Predicting the behavior of concrete dams using artificial neural networks (case study of Dez dam)", *Civil Infrastructure Researches*, 6(2), 123-132.