

بهینه‌یابی سبد مصرف انرژی و خوشه‌بندی ساختمان‌های مسکونی با بهبود شبکه عصبی فازی با اوزان و معماری AHP^۱

مهناز زارعی*
حسن خادمی زارع**
محمد باقر فخرزاد***

چکیده

ساختمان‌های مسکونی ایران، مطابق آمارهای موجود، بزرگترین مصرف‌کننده انرژی این کشور می‌باشند؛ فاکتورهای متعدد تأثیرگذار بر رفتار مصرف انرژی در ساختمان‌های مسکونی، مسئله پیش‌بینی و ممیزی مصرف انرژی را به چالشی مهم در موسسات بهینه‌سازی مصرف تبدیل نموده‌اند. از این رو مدیران در تلاشند تا با بهره‌گیری از تکنیک‌های مناسب، فرآیند ممیزی و تعیین برچسب انرژی ساختمان‌های مسکونی را بهبود بخشند. هدف پژوهش حاضر، با توجه به ضرورت مدیریت انرژی، مدل‌سازی، پیش‌بینی و خوشه‌بندی مصرف انرژی ساختمان‌های مسکونی، جهت ممیزی و تعیین برچسب انرژی این ساختمان‌ها می‌باشد. از این رو این پژوهش، با تلفیق شبکه عصبی فازی (FNN) و فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP)، با استفاده از داده‌های پرسشنامه‌ای، به خوشه‌بندی رفتار مصرف انرژی ساختمان‌های مسکونی پرداخته است. بر این اساس، ضرایب وزنی و معماری حاصل از AHP به عنوان اوزان و معماری اولیه شبکه عصبی استفاده شده است. شبکه عصبی در دو حالت "با اوزان و معماری اولیه" و "بدون اوزان و معماری اولیه" بر روی داده‌های یکسان اجرا گردید. بخش مسکونی شهر شیراز به عنوان جامعه آماری مورد نظر انتخاب گردید و به منظور آموزش و آزمایش شبکه عصبی، داده‌های ۲۷۰ ساختمان مسکونی مورد استفاده قرار گرفت. مقایسه قدرت تفکیک و خوشه‌بندی مدل‌های FNN در دو حالت بیان‌گر این مطلب است که مدل شبکه عصبی با معماری و اوزان اولیه AHP نسبت به دیگر مدل، از سرعت و دقت بالاتری در پیش‌بینی و خوشه‌بندی برخوردار است.

واژه‌های کلیدی: شبکه عصبی فازی، فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی، خوشه‌بندی، ساختمان‌های مسکونی، برچسب انرژی.

۱- این مقاله مستخرج از رساله دکتری نویسنده مسئول (مهناز زارعی) به راهنمایی دکتر حسن خادمی زارع می‌باشد.

* نویسنده مسئول - دانشجوی دکتری مهندسی صنایع، دانشکده مهندسی صنایع دانشگاه یزد

** دانشیار دانشکده مهندسی صنایع دانشگاه یزد

*** استادیار دانشکده مهندسی صنایع دانشگاه یزد

۱- مقدمه

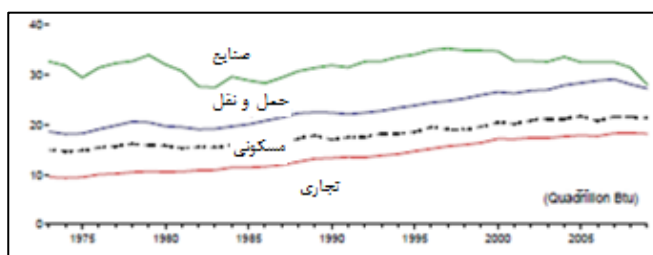
۱-۱- بیان مسئله و ضرورت پژوهش

در دهه‌های اخیر احساس مسؤولیتی جدی در مصرف بهینه انرژی، افزایش راندمان آن و مسأله حمایت از محیط زیست ایجاد شده و مدیریت انرژی و اصلاح الگوی مصرف به امری اجتناب ناپذیر مبدل گردیده است. به علاوه بر اساس مطالعات انجام شده، بین ۱۵ تا ۲۰ درصد کل انرژی مصرفی هر کشور به مصرف فضاهای مسکونی اختصاص یافته است که این مقدار بیانگر هزینه بسیار، از بین بردن منابع طبیعی و تخریب محیط زیست در ابعاد وسیع است. از سوی دیگر، وابستگی بیش از حد درآمدهای کشورمان ایران، به منابع نفت و گاز، مقوله انرژی را به یکی از مهمترین و استراتژیک‌ترین حوزه‌ها در سیاستگذاری کلان کشور و دستیابی به توسعه پایدار تبدیل کرده است. آنچه که در این میان حائز اهمیت فراوانی است، مقوله راهبری مصرف حامل‌های انرژی به دلیل نقش فراینده آنها در سید انرژی کشور و جهان است.

نرخ رشد مصرف حامل‌های انرژی طی سال‌های ۱۹۸۰ تا ۲۰۰۶ در جهان ۱/۹۸ درصد و در ایران ۶/۳ درصد بوده است (آمار سازمان بهینه‌سازی مصرف سوخت کشور، ۱۳۸۹). به عبارت دیگر در مدت زمان مورد اشاره، نرخ رشد مصرف حامل‌های انرژی در ایران بیش از سه برابر مقدار جهانی آن بوده است. شدت مصرف انرژی نیز در کشور ما بیش از چهار برابر متوسط جهانی آن برآورد شده است. بدین ترتیب با ادامه روند موجود در مصرف انرژی در کشور، در چشم‌انداز ۱۴۰۴، ایران از صادر کننده خالص انرژی به یک کشور وارد کننده مبدل خواهد شد و مزیت‌های نسبی درآمدهای سرشار ناشی از صادرات انرژی را نیز از دست خواهد داد (شاه حسینی، ۱۳۸۷). از این رو ضرورت مدیریت مصرف انرژی امری غیرقابل چشم‌پوشی است. مدیریت صحیح مصرف انرژی مستلزم شناخت وضعیت موجود و الگوی مصرف، انجام برنامه‌ریزی و اعمال کنترل برای بهینه‌سازی و اصلاح الگوی مصرف می‌باشد (خادمی زارع و اخوان، ۱۳۸۷، ۸؛ طلوعیان، ۱۳۸۵).

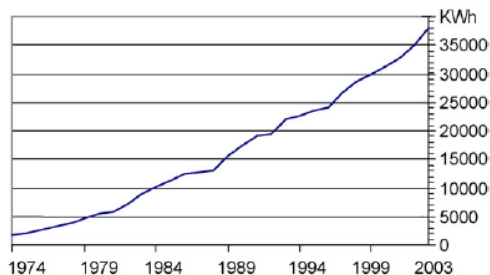
هدف از مدیریت انرژی، کاهش و منطقی کردن مصرف انرژی به نحوی است که توجیه اقتصادی داشته و در عین حال منجر به بروز تأثیراتی منفی در سطح رفاه و آسایش نگردد (Du Plessis et al, 2013:66). انرژی مورد نیاز جهان در بخش‌هایی مانند حمل و نقل، صنایع، مسکونی، تجاری، خدمات و غیره مصرف می‌شود (Galvani and

(Plourde, 2010: 260). در نمودار (۱)، روند مصرف انرژی در بخش های مختلف به تصویر کشیده شده است.



نمودار ۱: مصرف انرژی بخش های مختلف از سال ۱۹۹۷ تا ۲۰۰۹ (شاه حسینی، ۱۳۸۸)

مطابق آمارهای موجود، ساختمان های مسکونی ایران بزرگترین مصرف کننده انرژی این کشور می باشند (ریاضی و حسینی، ۱۳۹۰: ۱)؛ نمودار (۲) روند صعودی مصرف انرژی در بخش مسکونی ایران در فاصله زمانی سال ۱۹۷۴ تا ۲۰۰۳ میلادی را نشان می دهد. از طرف دیگر نه تنها پتانسیل صرفه جویی انرژی در بخش ساختمان و مسکن بطور کلی بیش از بخش های دیگر است، بلکه کاهش مصرف انرژی در این بخش ساده تر و با سرمایه گذاری کمتری نسبت به بخش های دیگر قابل دسترس می باشد (نصراللهی، ۱۳۸۹: ۱). از این رو در راستای کاهش مصرف انرژی در جهان و بخصوص ایران، یکی از سیاست های کارا می تواند کاهش مصرف انرژی بخش مسکونی باشد (طلوعیان، ۱۳۸۵). کاهش مصرف انرژی ساختمان های مسکونی در ایران بویژه در مقیاس وسیع، تأثیر بسزایی بر کل مصرف انرژی کشور خواهد داشت. در این راستا، خوشه بندی رفتار مصرف انرژی ساختمان های مسکونی، گامی بسیار اثر بخش خواهد بود.



نمودار ۲: روند صعودی مصرف انرژی در بخش مسکونی ایران در فاصله زمانی سال های ۱۹۷۴ تا ۲۰۰۳ میلادی (Azadeh and Faiz, 2011)

۱-۲-اهداف پژوهش

هدف پژوهش حاضر، با توجه به ضرورت مدیریت انرژی، مدل سازی، پیش بینی و خوشه‌بندی مصرف انرژی ساختمان‌های مسکونی، جهت ممیزی و تعیین برچسب انرژی می‌باشد. بر این اساس در این مقاله ضمن ارائه یک متدولوژی مطلوب جهت یافتن الگوی حاکم بر مصرف انرژی، به منظور پیش بینی انرژی مصرفی مورد نیاز ساختمان‌های مسکونی با کمترین خطا، به کمک ترکیب فرآیند تحلیل سلسله مراتبی و شبکه عصبی به خوشه بندی و ممیزی رفتار مصرف انرژی پرداخته شده است.

ساختار مقاله در ادامه به شرح زیر است: پس از ارائه پیشینه پژوهش در بخش دوم، به مبانی نظری مرتبط شامل مزیت‌های کاربرد شبکه‌های عصبی، شبکه‌های نوروفازی و فرایند تحلیل سلسله مراتبی در پیش‌بینی مصرف انرژی، پرداخته شده است. سومین بخش به روش پژوهش و بخش چهارم به بیان کاربرد AHP در تعیین اوزان اولیه شبکه عصبی اختصاص یافته است. معماری مناسب شبکه عصبی، در بخش پنجم و یافته‌های پژوهش همراه با مثال عددی آموزش و آزمایش در ششمین بخش مقاله ارائه شده است. بخش پایانی مقاله نیز، به نتایج و تحقیقات آتی اختصاص یافته است.

۲- پیشینه پژوهش

در سال‌های اخیر، ساختمان‌های کم مصرف انرژی مورد توجه شایان ذکری قرار گرفته‌اند. در این زمینه، اکثر پژوهش‌ها توجه خود را بر ویژگی‌های معماری ساختمان (تکنیک‌های ساخت) و نیز منابع جایگزین انرژی متمرکز نموده‌اند: (Yang et al, 2010: 7691). از آنجا که مشخصات مصرف انرژی بخش مسکونی پیچیده و به هم مرتبط است، مدل‌های مفهومی برای ارزیابی اثرات تکنولوژیکی و اقتصادی و میزان کارایی انرژی‌های تجدیدپذیر مناسب مصارف خانگی، مورد نیاز است (Tso et al, 2007: 1762); (Aydinalp et al., 2002: 91). در این زمینه سوان و آگورسال در مقاله خود به مرور ادبیات تکنیک‌های متفاوت استفاده شده در مدل سازی انرژی مصرفی بخش مسکونی پرداخته‌اند. مروری انتقادی بر هر تکنیک، با تمرکز بر نقاط قوت، ضعف و اهداف ارائه گردیده است (Swan and Ugursal, 2009: 1821). آنالیز رگرسیون همواره به عنوان یکی از رایج‌ترین تکنیک‌های مدل سازی در پیش‌بینی مصرف انرژی قلمداد شده است (Tso ans Yau, 2003: 1674)؛ اما از آنجا که ماهیت مصرف انرژی در دنیا و

بالاخص در ایران غیرخطی است، از این رو استفاده از مدل‌های غیرخطی (شاخه‌های هوش مصنوعی شامل الگوریتم ژنتیک، شبکه‌های نوروفازی و شبکه‌های عصبی مصنوعی) جهت پیش‌بینی میزان مصرف انرژی به عنوان یک گزینه راه‌گشا مطرح و مورد کاربرد قرار گرفته است (Kalogirou and Bojic, 2000:483; Azadeh and Faiz, 2001:618).

گیتی‌فروز در پژوهش خود از روشهای رگرسیون فازی و عصبی-فازی جهت پیش‌بینی مصرف انرژی الکتریکی در ایران استفاده نموده است. از نقاط قوت ساختار پیشنهادی، بررسی تأثیر پیش‌پردازش داده‌ها بر کارایی مدل می‌باشد (گیتی‌فروز، ۱۳۸۵)، در تحقیق دیگری، آزاده و همکاران یک رویکرد شبکه عصبی با پرسپترون چند لایه برای پیش‌بینی مصرف برق ارائه داده‌اند. برای آموزش شبکه عصبی مصنوعی، داده‌های پیش‌پردازشی با کمک تکنیک‌های سری‌های زمانی برای پیش‌بینی مصرف برق استفاده شده است (Azadeh et al, 2007:1756).

وانگ و همکاران تحقیقی مروری بر پیشینه موضوع ساختمان‌های هوشمند ارائه نموده‌اند. آنها فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی را به عنوان ملاحظات سرمایه‌گذاری و تکنیک‌های ارزیابی ساختمان هوشمند مورد بررسی قرار دادند (Wong et al, 2005:145). لی و همکاران، پژوهشی برای ایجاد مدل شاخص رفاهی انجام داده‌اند که می‌تواند برای ارزیابی ساختمان‌های مسکونی بسیار بلند مورد استفاده قرار گیرد. در مقاله مورد اشاره، از AHP به منظور نظام‌مند کردن شاخص‌های رفاهی ساختمان بهره گرفته شده است (Lee et al, 2011:1189). رن و همکاران با ترکیب برنامه‌ریزی خطی (LP) و فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی، طراحی یکپارچه و مدل ارزیابی جهت بهینه‌نمودن سیستم انرژی مسکونی ارائه کردند (Ren et al, 2009: 5486). وانگ و لی از AHP در تحلیل چند معیاری انتخاب سیستم‌های هوشمند ساختمان استفاده کرده‌اند. به وسیله AHP توزین‌های مهم برای معیارها اولویت‌بندی و تعیین شده‌اند (Wong and Li, 2008: 112). در پژوهش حاضر، از تلفیق روش AHP و شبکه‌های عصبی برای بهبود پیش‌بینی، خوشه‌بندی رفتار مصرف انرژی و تعیین برچسب مصرف انرژی در ساختمان‌های مسکونی استفاده شده است.

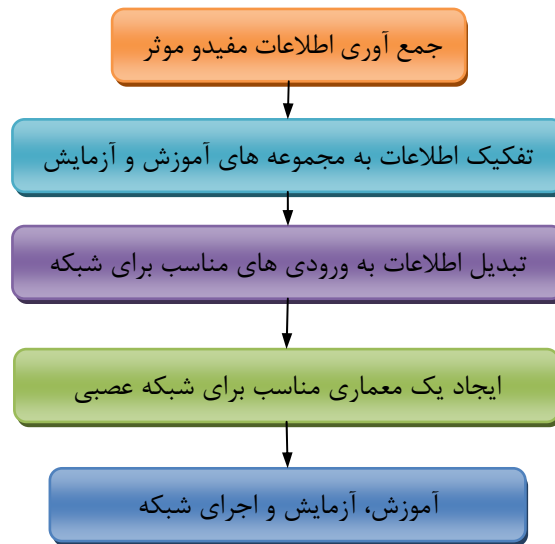
۲-۱-۱- مبانی نظری پژوهش

۲-۱-۱- مزیت‌های کاربرد شبکه عصبی در پیش‌بینی مصرف انرژی

شبکه‌های عصبی، با قابلیت شایان توجه خود در استنتاج معانی از داده‌های پیچیده و نیز مبهم، می‌توانند برای استخراج الگوها و شناسایی روشهایی که آگاهی از آنها برای انسان

و دیگر تکنیک‌های کامپیوتری بسیار پیچیده است به کار گرفته شوند. یک شبکه عصبی تربیت یافته می‌تواند به عنوان یک متخصص در مقوله اطلاعاتی که برای تجزیه و تحلیل به آن داده شده است منظور شود. مزیت‌های دیگر شبکه عصبی شامل یادگیری انطباق پذیر، سازماندهی توسط خود و نیز عملکرد بهنگام (امکان انجام محاسبات بصورت موازی) است (Aydinalp et al, 2002: 89; Azadeh et al, 2010:2354; Yang et al, 2005:1405)

مزیت کاربرد شبکه‌های عصبی در واقع تقلید رفتار تصمیم‌گیری انسان در پیش‌بینی و خوشه‌بندی ساختمان‌های مسکونی در مصرف انرژی می‌باشد. همچنین این شبکه توانایی مواجهه با تنوع اطلاعات ورودی بدون نیاز به تبدیل اطلاعات به شکل استاندارد را دارد. فرآیند کلی بکارگیری شبکه عصبی در حل مسئله پیش‌بینی و خوشه‌بندی مصرف انرژی در شکل (۱) نمایش داده شده است.



شکل ۱: فرآیند کلی کاربرد شبکه عصبی در حل مسئله خوشه بندی مصرف انرژی

۲-۱-۲- شبکه های نوروفازی

شبکه های نوروفازی ترکیب شبکه عصبی با منطق فازی می باشند. با استفاده از الگوریتم آموزش شبکه عصبی، پارامترهای سیستم فازی تعیین می شود. این سیستم ترکیبی، بر اساس سیستم فازی که بیانگر عدم قطعیت ها می باشد پایه گذاری شده است. روش فازی برای ارتقاء توانایی های آموزش یا بهبود عملکرد شبکه عصبی استفاده می شود. در اینجا یک تفسیر زبانی بر اساس شبکه عصبی و با خصوصیت جعبه سیاه پایه گذاری شده است. این سیستم ها یا به صورت شبکه هایی می باشند که از قوانین فازی برای تعیین نسبت آموزش استفاده می کنند و یا شبکه هایی می باشند که دارای ورودی های فازی بوده است. مدل ANFIS (سیستم فازی تطبیق پذیر مبتنی بر شبکه عصبی) اولین بار توسط ژانگ در ۱۹۹۳ معرفی شد. این مدل یک سیستم فازی سوگنو را در یک ساختار عصبی اجرا می کند و برای فرآیند آموزش از ترکیبی از روش های آموزش پس انتشار خطا و حداقل مربعات خطا استفاده می کند (Kalogirou and Bojic, 2000:483).

۲-۱-۳- کاربرد شبکه عصبی در مسئله خوشه بندی

انواع مختلفی از شبکه های عصبی با توجه به اهداف تحقیق می توانند مورد استفاده قرار گیرند که یکی از معروف ترین آنها، شبکه عصبی پیش خور (MFNN) می باشد. شبکه عصبی چند لایه پیش خور با استفاده از یک ناظر خود را آموزش می دهد. بر طبق مطالعات اخیر بیش از پنجاه درصد مطالعات گزارش شده از شبکه عصبی، بصورت چند لایه و با قوانین یادگیری پس انتشار می باشند. این نوع شبکه عصبی دارای کاربردهای گسترده در مسایل مدیریت از قبیل پیش بینی، طبقه بندی و مدل سازی بوده و دارای قابلیت یادگیری مناسب است (Pahlavan et al, 2012: 173).

در این تحقیق با ترکیب شبکه های عصبی و منطق فازی، یک سیستم فازی با قابلیت یادگیری ایجاد شده است. در این سیستم در هر دور آموزش و حرکت به جلو خروجی های هر گره تا لایه آخر محاسبه می شوند. سپس با مقایسه مقدار خروجی واقعی و مطلوب توسط کمترین مربعات، مقدار خطا محاسبه می شود. در مسیر برگشت به عقب نسبت خطا بر روی مراحل قبلی توزیع و با استفاده از روش شیب نزولی مقدار خطا تصحیح می شود. ساختارهای مختلفی برای پیاده سازی یک سیستم فازی توسط شبکه های عصبی پیشنهاد شده است (Zhang et al, 2013: 245). تفاوت اصل شبکه عصبی فازی با شبکه عصبی مصنوعی در آن است که وزن ها و مقادیر ورودی و خروجی شبکه عصبی، به صورت اعداد

فازی تعریف می‌شوند (Mohandes et al, 2011:4026). در این مقاله از اوزان و معماری ساختار AHP به عنوان اوزان و معماری اولیه شبکه عصبی به صورت فازی استفاده شده است.

۲-۱-۴- مزیت کاربرد AHP

فرایند تحلیل سلسله مراتبی یک تکنیک تصمیم‌گیری چند معیاره است که می‌توان از آن در اولویت‌بندی استفاده نمود. AHP مجموعه‌ای از قضاوت‌ها و ارزش‌گذاری‌ها به یک شیوه منطقی است (Saaty, 1980:62). AHP گزینه‌های متعدد را در اولویت‌بندی دخالت داده و امکان در نظر گرفتن معیارهای مختلف کمی و کیفی را در مسئله فراهم می‌سازد. از ویژگی‌های منحصر به فرد در تصمیم‌گیری چند معیاره تعیین میزان سازگاری و ناسازگاری اولویت‌بندی است (Chinese et al., 2011:559). این فرایند که با نرم افزارهای Criterium و Expertchoice نیز قابل اجراست، از مبنای تئوریک قوی برخوردار بوده و بر اساس اصول بدیهی^۱ بنا نهاده شده است (Ho,2008:219; Wong & Li,2008:118).

مزیت دیگر این روش ساختار دادن به مساله تصمیم‌گیری با تشکیل سلسله مراتبی است. قابلیت درک آسان، ارایه ساختاری جهت همکاری و مشارکت گروهی در تصمیم‌گیری، استفاده از هر دو بعد نگرش سیستمی و تحلیل جزء به جزء برای حل مسایل و دارا بودن مقیاس اندازه‌گیری مختص این روش، از جمله قابلیت‌های AHP است (Saaty, 1980:62).

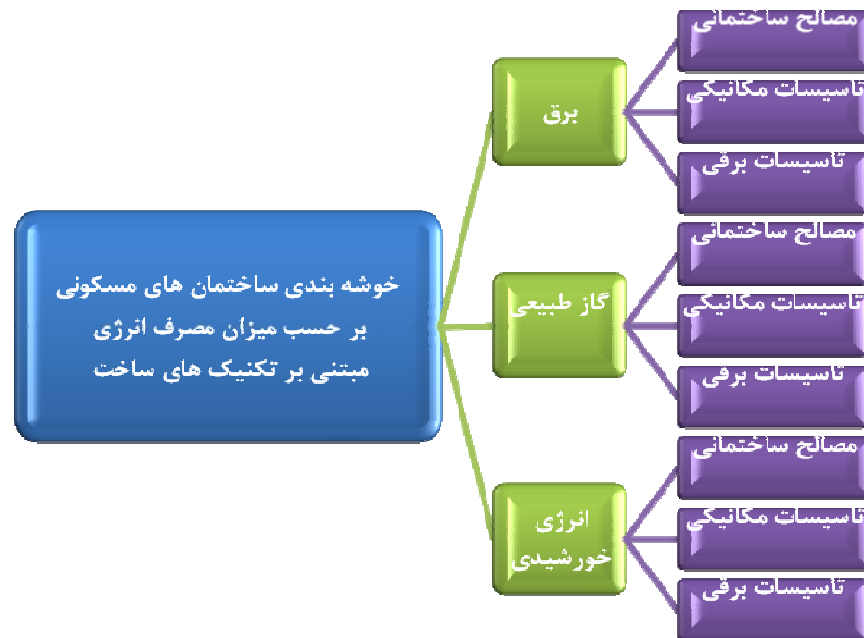
AHP در تعیین سیاست‌های کلی ساختمان‌ها کاربرد وسیعی داشته است (Jaber et al.,2008:280;Ramanathan & Ganesh,1995:69) با وجود برخی محدودیت‌ها، بنا به نظر محققان متعدد، AHP از جمله تکنیک‌های تصمیم‌گیری چند معیاره می‌باشد که به جهت سهولت کاربرد، مورد استفاده فراوان واقع شده است (Jaber et al.,2008:281;Pohekar & Ramachandran,2004 :370 ;Saaty ,2001 :48) در پژوهش حاضر، استفاده از AHP برای تعیین ضرایب وزنی هر یک از عوامل موثر بر مصرف انرژی به عنوان اوزان و معماری اولیه در شبکه، باعث افزایش سرعت و دقت شبکه عصبی در پیش‌بینی و خوشه‌بندی رفتار مصرف انرژی در ساختمان‌های مسکونی شده است.

۳- روش پژوهش

از آنجا که میزان مصرف انرژی بستگی به شرایط آب و هوایی، تجهیزات مورد استفاده، تغییرات دما و رطوبت، مصالح ساختمانی، تاسیسات و غیره دارد (د/د/ش زاده و همکاران، ۱۳۹۰، ۲؛ سوقشقای، ۱۳۸۹، ۲۶)، لذا در این تحقیق برای حذف شرایط آب و هوایی مختلف مناطق گوناگون کشور، ساختمان های مسکونی شهر شیراز در نظر گرفته شده اند. همچنین بر این اساس تنها تکنیک های ساخت (شامل فاکتورهای مصالح ساختمانی، تاسیسات برقی و تاسیسات مکانیکی) در خوشه بندی رفتار مصرف انرژی ساختمان های مسکونی در نظر گرفته شده اند.

ابتدا متغیرها و پارامترهای مهم تکنیک های ساخت تعیین شدند؛ سپس داده های ۲۷۰ ساختمان مسکونی در سه نمونه ویلایی، آپارتمانی و قدیمی در شهر شیراز، در شبکه عصبی مورد آموزش و آزمایش واقع گردید. عوامل و فاکتورهای موثر بر مصرف انرژی شناسایی شده در این مقاله دارای مقیاس های متفاوتند. برای یکسان سازی مقیاس و میزان تأثیر هر یک از عوامل، در فرآیند تحلیل سلسله مراتبی از ابتدا داده ها نرمال گردیده اند. همچنین برای تعیین بهترین پیش بینی و خوشه بندی در شبکه عصبی از ضریب بار ساختمان (BLC) و تابع حلقوی (سیگموئید) به عنوان تابع تبدیل برای آموزش و آزمایش شبکه عصبی استفاده شده است^۱. استفاده از AHP برای تعیین ضرایب وزنی عوامل به عنوان اوزان و معماری اولیه در شبکه عصبی از یک سو و ضریب بار ساختمان به عنوان تابع تبدیل برای آموزش و آزمایش شبکه عصبی از سوی دیگر، باعث افزایش سرعت و دقت شبکه عصبی در پیش بینی و خوشه بندی رفتار مصرف انرژی در ساختمان های مسکونی شده است. معماری شبکه عصبی پیشنهادی مبتنی بر تکنیک های ساخت در شکل (۲) نشان داده شده است.

۱- ضریب بار حرارتی ساختمان (BLC) در حقیقت مقدار بار حرارتی به ازای یک درجه اختلاف دمای داخل و خارج ساختمان می باشد (کیخاوی، ۱۳۸۷: ۵).



شکل ۲: معماری شبکه عصبی پیشنهادی مبتنی بر تکنیک های ساخت
منبع: نگارندگان

از آن جا که در جامعه آماری مورد نظر، کاربرد انرژی خورشیدی وجود نداشته است، داده‌های مربوطه به این انرژی صفر در نظر گرفته شده است؛ اما به منظور جامعیت مدل، این معیار نیز (میزان مصرف انرژی خورشیدی) در مدل پیشنهادی لحاظ شده است.

۳-۱- ابزار گردآوری اطلاعات

در این تحقیق به منظور جمع‌آوری و تکمیل اطلاعات، دو پرسشنامه جداگانه در اختیار کارشناسان و مدیران قرار گرفت. در پرسش نامه اول با توجه به بررسی‌ها و مصاحبه‌های انجام گرفته، کلیه عوامل موثر بر میزان مصرف انرژی در ساختمان‌های مسکونی به سه دسته اصلی تقسیم و در جداول جداگانه قرار گرفته‌اند. در این پرسش نامه‌ها میزان ضرورت و اهمیت هر یک از عوامل در میزان مصرف انرژی بر اساس طیف پنج گزینه ای لیکرت^۱ از کارشناسان و مدیران مورد پرسش قرار گرفت. همچنین از کارشناسان و مدیران خواسته شد تا عوامل اصلی و فرعی که ذکر نشده‌اند را به انتهای جداول اضافه

1 -Five point lickert scale

کنند. پس از بررسی و تجزیه و تحلیل نتایج حاصل از تکمیل پرسش نامه‌های اول، در پرسش نامه دوم عوامل اضافه شده به همراه عوامل قبلی در اختیار همه کارشناسان و مدیران قرار گرفت تا نظر ایشان در خصوص میزان اهمیت و ضرورت هر یک از آن عوامل تعیین شود. خلاصه این عوامل اصلی و فرعی به صورت طبقه بندی شده در جدول (۱) نشان داده شده است. روایی این پرسشنامه با بهره گیری از کارشناسان، مدیران و اساتید مربوطه و پایایی آن با روش ($r = 0.87$ و $\alpha = 0.91$ Cronbach's) مورد تأیید قرار گرفته است.

جدول ۱: عوامل اصلی و فرعی موثر بر میزان مصرف انرژی در ساختمان های مسکونی

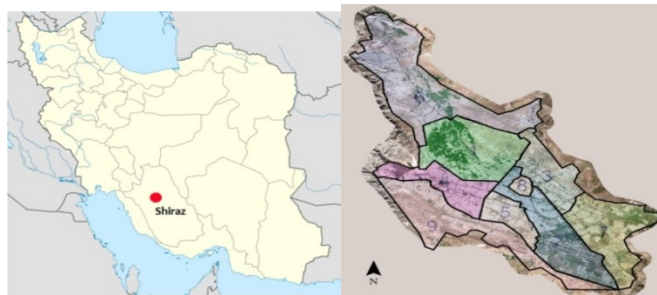
عوامل اصلی	عوامل فرعی
مصالح ساختمانی	عمق تراس؛ عایق پوشش کردن سقف؛ برچسب بازتابنده نور؛ عایق کاری دیوارها؛ استفاده از نمای آلومینیوم عایق دار؛ دوجداره کردن در و پنجره؛ چارچوب PVC؛ استفاده از درزگیرهای حرارتی.
تاسیسات برقی	نصب کلیدهای تایمری اتوماتیک در راهرو و راه پله؛ استفاده از تجهیزات برقی کم مصرف؛ استفاده از تابلو هوشمند کنترل انرژی؛ استفاده از روشنایی طبیعی محیط اطراف؛ استفاده از رنگ های روشن.
تاسیسات مکانیکی	عایق کاری لوله‌های آب گرم؛ استفاده از سنسورهای مرکزی کنترل دما؛ نصب شیرهای تنظیم دستی روی رادیاتورها؛ عایق بندی و درزبندی کانال ها؛ عایق کاری مخزن آب گرم و بخار آب.

۳-۳- جامعه و نمونه آماری

جامعه آماری پژوهش حاضر، در برگیرنده کلیه ساختمان‌های مسکونی شهر شیراز می‌باشد. حجم نمونه عبارت از ۲۷۰ خانه ایرانی (در بخش مسکونی شهر شیراز) و روش نمونه‌گیری به صورت تصادفی بوده است. از داده‌های ۲۷۰ ساختمان مسکونی در مناطق مختلف شهر شیراز، جهت آموزش و آزمایش شبکه عصبی استفاده شده است که شامل سه نمونه ۹۰ تایی از منازل ویلایی، آپارتمان و قدیمی می‌باشد. شکل (۳)، نمایی از شهر شیراز در استان فارس و مناطق نه گانه آن را نشان می‌دهد.

بخش نخست پرسشنامه راجع به اطلاعاتی نظیر محل ساختمانها، سن ساختمان، نوع ساختمان، مترای، تعداد طبقات، تعداد ساکنین و میزان درآمد ایشان، می‌باشد. بخش دوم پرسش نامه شامل میزان تأثیر هر یک از عوامل اصلی مثل مصالح ساختمانی، تاسیسات

برقی و تاسیسات مکانیکی و خوشه بندی رفتار مصرف انرژی می باشد. میزان هر یک از این عوامل بر اساس طیف پنج گزینه‌ای لیکرت (گزینه‌های فوق العاده مهم، بسیار مهم، مهم، کمی مهم و بی اهمیت) سنجیده شده است. بخش سوم پرسش نامه شامل میزان تأثیر هر یک از عوامل فرعی بر عوامل اصلی می‌باشد. این عوامل نیز به کمک گزینه‌های پنج گانه بخش دوم جداگانه نسبت به عوامل اصلی سنجیده شده‌اند.



شکل ۳: نمایی از استان فارس، شهر شیراز و مناطق نه گانه آن

منبع: نگارندگان، ۱۳۹۲.

۳-۲- تبدیل داده‌ها به ورودی مناسب شبکه عصبی

شبکه‌های عصبی نوعاً با داده‌هایی در فاصله (۰ و ۱) و یا (۱ و -۱) کار می‌کنند. هر کدام از فیلدها در پایگاه‌ها داده باید داخل یک یا چند ورودی شبکه و مقدار مناسب وارد شود. هدف از تبدیل داده‌ها به فرم ورودی مناسب برای شبکه، یافتن راهی برای طراحی پایگاه داده به شکل مناسب برای ورود به شبکه عصبی می‌باشد. این داده‌ها می‌توانند به صورت اعداد فازی، قطعی یا احتمالی باشند، در این مقاله برای تبدیل داده‌ها به ورودی‌های مناسب شبکه عصبی از مقیاس پنج گزینه‌ای لیکرت برای هر کدام از عوامل مطابق جدول (۲) استفاده شده است (Zhang et al, 2013: 245).

۴- کاربرد AHP در تعیین اوزان اولیه شبکه عصبی

برای محاسبه اوزان اولیه در شبکه عصبی با استفاده از اوزان حاصل از پرسش نامه‌های طیف لیکرت، جدول مقایسات زوجی تشکیل شده است. جدول مقایسات زوجی به کمک نتایج حاصل از پرسشنامه‌ها تکمیل شده است، سپس با کمک قوانین AHP و نرم‌افزار

Expert Choice (EC 9.5) وزن نهایی هر یک از معیارها، زیر معیارها و گزینه ها نسبت به یکدیگر محاسبه شده است. این اوزان در جداول (۳ و ۴) نشان داده شده اند.

جدول ۲: وزن گزینه ها و عوامل

عبارت کلامی	علامت اختصاری	وزن گزینه	گزینه
عالی	E	(۰/۷۵ و ۱)	Excellent
خوب	G	(۰/۵ و ۰/۷۵)	Good
متوسط	F	(۰/۲۵ و ۰/۵)	Fair
ضعیف	P	(۰ و ۰/۲۵)	Poor
خیلی ضعیف	VP	(۰ و ۰/۲۵)	Very poor

جدول ۳: اوزان شبکه عصبی در سطح اول و دوم

اوزان در سطح اول			
معیار	برق	گاز	خورشید
وزن	۰/۴۷	۰/۵۳	۰
اوزان در سطح دوم			
زیر معیار	مصالح ساختمانی	تاسیسات برق	تاسیسات مکانیکی
وزن برق	۰/۳۳	۰/۳۲	۰/۳۵
وزن گاز	۰/۳۵	۰/۳۰	۰/۳۵

جدول ۴: اوزان شبکه عصبی در سطح سوم نسبت به انرژی کل

گزینه	وزن	گزینه	وزن	گزینه	وزن	گزینه	وزن
A ₁	۰/۶۵	A ₆	۰/۹۴	B ₁	۰/۷۶	C ₁	۰/۸۴
A ₂	۰/۹	A ₇	۰/۸۵	B ₂	۰/۵۶	C ₂	۰/۸۸
A ₃	۰/۶۸	A ₈	۰/۷۶	B ₃	۰/۸۷	C ₃	۰/۸
A ₄	۰/۸۳	A ₉	۰/۷۸	B ₄	۰/۶۴	C ₄	۰/۶۱
A ₅	۰/۷۵	A ₁₀	۰/۸۴	B ₅	۰/۶۲	C ₅	۰/۴۳

A_i: عوامل فرعی مصالح ساختمانی؛ B_i: عوامل فرعی تاسیسات برقی؛ C_i: عوامل فرعی تاسیسات مکانیکی.

۵- معماری مناسب شبکه عصبی

انتخاب معماری بهینه در شبکه‌های عصبی، از جمله حوزه‌های تحقیقاتی است که همچنان محققان در مورد آن به پژوهش می‌پردازند. بر این اساس علاوه بر معماری ایده آل در خصوص تعداد لایه‌های میانی و تعداد نرونهای داخل هر لایه نظرات متفاوتی وجود دارد. کاسترا و میلتنون در تحقیقات خود نشان دادند که وجود یک لایه میانی در شبکه عصبی قادر است غالب توابع و مسایل را به صورت مناسب مدل‌سازی نماید. آنها در این تحقیق حداکثر تعداد نرونها در لایه میانی را به صورت زیر ارائه نمودند (Kaastra and Milton, 1996: 223):

$$\sqrt{x \cdot y} M =$$

(M): بهترین تعداد نرون در لایه میانی؛ X: تعداد نرونهای ورودی؛ Y: تعداد نرونهای خروجی).

در صورتی که هدف مسئله یادگیری رفتاری مثل میانگین باشد، توابع تبدیل حلقوی (سیگموئید) دارای بهترین کارکرد است و در صورتی که هدف مسئله یادگیری رفتاری مثل انحراف معیار باشد، توابع تبدیل تانژانت هایپربولی دارای بهترین کارکرد است. با توجه به اینکه تابع خروجی مسئله، ارزیابی و خوشه‌بندی رفتار مصرف انرژی ساختمان‌های مسکونی در فاصله بین صفر و یک می‌باشد، در این مقاله از توابع تبدیل حلقوی استفاده شده است.

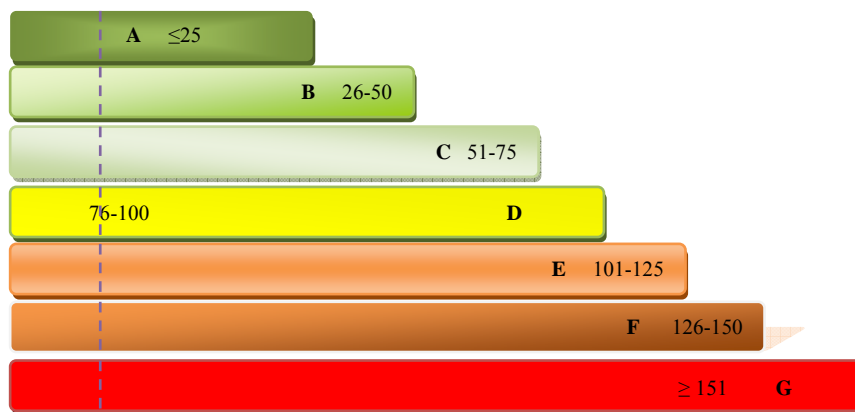
در این پژوهش برای تعیین لایه میانی و معماری شبکه عصبی از ترکیب دو روش سازنده و مخرب استفاده شده است. ساختار فرایند تحلیل سلسله مراتبی بعنوان معماری اولیه در نظر گرفته شده است. در این روش ضرایب وزنی روش AHP بعنوان اوزان اولیه در نظر گرفته شده‌اند. در حالات سازنده در هر مرحله لایه مخفی با یک نرون ایجاد و دوباره عملیات آموزش تکرار شده است. افزایش تعداد لایه‌های مخفی و تعداد نرون‌های آنها زمانی متوقف می‌شود که افزایش تعداد لایه و نرون در جواب‌ها بهبودی ایجاد نکند. در حالت مخرب در هر وصل یک لایه میانی و یک نرون از شبکه اولیه حذف و عملیات آموزش تکرار می‌شود. کاهش تعداد لایه‌های مخفی و تعداد نرونها زمانی متوقف می‌شود که با کاهش تعداد لایه و نرون در جواب‌ها بهبودی ایجاد نشود.

برای تعریف شبکه عصبی کامل باید برای هر یک از خروجی‌های ممکن، مجموعه‌های آموزشی تعریف شود؛ اما این موضوع غالباً امکان‌پذیر نیست. بر این اساس محققان در مسایل شبکه‌های عصبی ۳۰-۲۰ درصد از کل داده‌ها را به عنوان مجموعه آزمایش و ۸۰-

۷۰ درصد را به عنوان مجموعه آموزش در نظر می گیرند (Zhang and Qi, 2005, 504)
 Zhang and Pattuwo, 1998, 37; در این پژوهش، حدود ۷۰ درصد (۱۹۰ مورد)
 برای مجموعه آموزش و حدود ۳۰ درصد (۸۰ مورد) داده ها برای مجموعه آزمایش استفاده
 شده است. به علاوه، نرخ یادگیری در ابتدا ۹٪ فرض شد. سپس به دلیل نوسانات زیاد خطا
 در لایه خروجی این نرخ را کاهش داده ایم تا اینکه در نرخ یادگیری ۷٪ نمودار خطا بهترین
 وضعیت را نشان داده است.

۶- یافته های پژوهش

شبکه عصبی این مقاله با ترکیب ساختار فرایند تحلیل سلسله مراتبی و روش های
 سازنده و مخرب حاصل شده است. اوزان معماری اولیه شبکه عصبی در دو حالت تصادفی و
 AHP مورد بررسی قرار گرفته اند و در نهایت اوزان و معماری روش AHP به دلیل
 محاسبات کمتر، سرعت بیشتر و دقت بالاتر مورد استفاده قرار گرفته اند. در این مقاله به
 ازای هر مجموعه اطلاعات ورودی که مربوط به یک ساختمان مسکونی می باشد یک متغیر
 خروجی تولید می شود. این متغیر خروجی دارای یکی از حالات A, B, C, D, E, F, G
 می باشد. دامنه هر یک از متغیرهای خروجی که بیانگر میزان مصرف انرژی در واحدهای
 مسکونی می باشد در نمودار (۵) نشان داده شده است. هر یک از مقادیر خروجی بصورت
 یک عدد حقیقی می باشد، این نتیجه در یکی از دامنه های مصرف انرژی A, B, C, D, E, F, G
 قرار دارد. برای تعیین انجام عملیات ممیزی انرژی در ساختمان های مسکونی و
 تعیین نوع بر چسب انرژی بر حسب میزان مصرف از قواعد تصمیم گیری جدول (۵) استفاده
 شده است.



نمودار ۵: بر حسب انرژی بر حسب دامنه مصرف انرژی

منبع: نگارندگان

۶-۱- آموزش، آزمایش و اجرای شبکه

پارامترهای اولیه در هر شبکه عصبی شامل نرخ یادگیری، مقادیر با یاس و اوزان هر یک از ورودیها می‌باشد. در این مقاله برای تعیین معماری اولیه از ساختار فرایند تحلیل سلسله مراتبی استفاده شده است، همچنین برای اوزان اولیه از ضرایب وزنی AHP استفاده و مقادیر با یاس بصورت تصادفی در فاصله صفر و یک انتخاب شده است. شبکه عصبی در دو حالت معماری و اوزان بصورت تصادفی و AHP اجرا شده است، نتایج نشان می‌دهد که استفاده از معماری و اوزان AHP باعث ایجاد سرعت و دقت بیشتر در جواب می‌شود.

جدول ۵: قواعد تصمیم‌گیری بر حسب انرژی

Rule(1): If	$0 \leq x \leq 25$	Then	Education = A
Rule(2): If	$25 < x \leq 50$	Then	Education = B
Rule(3): If	$50 < x \leq 75$	Then	Education = C
Rule(4): If	$75 < x \leq 100$	Then	Education = D
Rule(5): If	$100 < x \leq 125$	Then	Education = E
Rule(6): If	$125 < x \leq 125$	Then	Education = F
Rule(7): If	$x > 150$	Then	Education = G

دومین مرحله آموزش، به کار بستن یک مجموعه اطلاعات ورودی و محاسبه مقدار خروجی می باشد. در این مرحله مقدار هر متغیر ورودی در وزن آن متغیر ضرب می شود، سپس واحد جمع کننده نرون، همه نتایج ورودی وابسته به هر نرون را با هم جمع می کند. این حاصل جمع با مقدار ثابت بایاس جمع می شود. فرمولهای مورد استفاده در این مرحله به صورت زیر است. در لایه آخر مقدار متغیر خروجی معادل ضریب بار ساختمان (BLC) است.

$$BLC(j) = \sum_{i=1}^{n_j} \binom{n}{k} w_{ij} \cdot O_{pi} \Rightarrow u_j = BLC(j) + b_j \quad (1)$$

BLC (j): مجموع وزنی متغیرهای ورودی به نرون
 w_{ij} : وزن متغیر ورودی i به نرون j
 O_{pi} : مقدار متغیر ورودی i در مرحله p
 b_j : مقدار بایاس نرون j
 u_j : مقدار متغیر ورودی به نرون j
 n_j : تعداد متغیرهای ورودی به نرون j

برای تولید مقادیر خروجی از طریق هر نرون، مقدار u_j به تابع تبدیل سپرده می شود. این تابع تبدیل مجموع ورودی ها را به عددی در بازه صفر و یک تبدیل می کند .

$$Y_j = \frac{1}{1 - e^{-u_j}} \quad (2)$$

در صورتی که مقدار خروجی واقعی نرون در لایه خروجی و مقدار ایده آل آن مساوی نباشد یک پیام خطا داده می شود. در این مرحله شبکه عصبی با یک حرکت رو به عقب برای اصلاح مقادیر بایاس و اوزان تلاش می کند تا خطای شبکه را کاهش داده و یا حذف کند. سومین مرحله محاسبه خطا می باشد. برای محاسبه خطای لایه خروجی می توان از میانگین مجموع مربعات خطا (MSE) استفاده کرد:

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (T_{pk} - O_{pk})^2 \quad (3)$$

T_{pk} : خروجی ایده آل نرون k در مرحله p
 O_{pk} : خروجی واقعی نرون k در مرحله p
 MSE: میانگین مربعات خطا

مقدار خطایی که در لایه خروجی تشخیص داده می شود با تغییر مقادیر وزنی و بایاس باید تا حد امکان کاهش یابد. ساده ترین و کارا ترین روش برای به روز کردن وزنه های شبکه استفاده از روش تندترین شیب (Steepest Descent) در جهت بردار گرادیان می باشد:

$$w_i(\text{new}) = w_i(\text{old}) + 0.7 (y_i - \hat{y}_i) \quad (۴)$$

y_i : مقدار خروجی واقعی \hat{y}_i : مقدار خروجی مطلوب

بعد از مرحله آموزش نوبت به آزمایش شبکه می‌رسد، در مرحله آزمایش هیچ گونه تصحیح خطای صورت نگرفت. اگر شبکه در مدت زمان آزمایش پاسخ صحیح بدهد آنگاه مراحل تمام شده است، در غیر این صورت می‌باید مرحله آموزش از نو آغاز شود. در این پژوهش شبکه عصبی در ۲۱۲۸ مرحله آموزش داده شد و به حالت پایدار رسید.

۶-۲- مثال عددی آموزش و آزمایش

در این بخش برای تشریح عملیات مسیر رفت و برگشت، محاسبات توابع تبدیل، نحوه توزیع خطا و اصلاح اوزان در آموزش شبکه عصبی بطور کامل بیان می‌شود. چنانچه عوامل فرعی برای یکی از ساختمان‌های مسکونی بعد از تکمیل پرسش نامه، مطابق جدول (۶) باشد، مراحل انجام محاسبات مثال عددی مورد نظر به صورت زیر خواهد بود:

جدول ۶: مقادیر متغیرهای ورودی و خروجی مثال عددی

تاسیسات مکانیکی		تاسیسات برقی		مصالح ساختمانی			
عالی	C_1	خوب	B_1	متوسط	A_6	خوب	A_1
خوب	C_2	ضعیف	B_2	خوب	A_7	ضعیف	A_2
خوب	C_3	عالی	B_3	خوب	A_8	ضعیف	A_3
متوسط	C_4	خوب	B_4	خوب	A_9	ضعیف	A_4
ضعیف	C_5	ضعیف	B_5	متوسط	A_{10}	ضعیف	A_5
D: متغیر خروجی = خوب = (0.5, 0.75, 1)							

۱- برای هر یک از ساختمان‌های مسکونی مقادیر متغیرهای ورودی و خروجی تعیین می‌شود.

۲- مجموعه‌های آموزش و آزمایش بصورت تصادفی از یکدیگر جدا می‌شوند. سپس مجموعه آموزش مراحل را انجام می‌شود.

۳- اعداد فازی جدول (۶) به کمک مقادیر جدول (۲) تعیین می‌شوند.

۴- مقادیر مرحله اول در اوزان جدول (۴) توسط رابطه $\lambda(a, b, c) = (\lambda a, \lambda b, \lambda c)$ ضریب می‌شوند.

۵- مقادیر مربوط به مصالح ساختمانی، تاسیسات برق و تاسیسات ساختمانی بصورت جداگانه جمع و با سه عدد (A, B, C) نشان داده می‌شوند.

۶- مقادیر C و B و A در تابع تبدیل $Y = \frac{1}{1+e^{-x}}$ قرار گرفته و مقادیر خروجی نرون محاسبه می‌شود.

۷- مقادیر خروجی نرونهای C و B و A در اوزان سطح دوم جدول (۳) ضرب می‌شود.

۸- مقادیر مربوط به انرژی برق و گاز بصورت جداگانه جمع و با دو عدد E و G نشان داده می‌شود.

۹- مقادیر E و G در تابع تبدیل $Y = \frac{1}{1+e^{-x}}$ قرار گرفته و مقادیر خروجی نرون محاسبه می‌شوند.

۱۰- مقادیر خروجی نرونهای E و G در اوزان سطح اول جدول (۲) ضرب و سپس با هم جمع می‌شوند.

۱۱- مقدار عددی در لایه خروجی را با مقدار واقعی مقایسه می‌کنید. در این مقایسه سه حالت زیر رخ می‌دهند.

- a. If Evaluation > Estimation then $w_1(new) = w_1(old) + 0.7 (y_1 - \hat{y}_1)$
- b. If Evaluation < Estimation then $w_1(new) = w_1(old) - 0.7 (y_1 - \hat{y}_1)$
- c. If Evaluation = Estimation then $w_1(new) = w_1(old)$

به عبارت دیگر در حالتی که نتیجه حاصله بیشتر از واقعیت باشد، اوزان کاهش می‌یابند و در حالتی که نتیجه کمتر از واقعیت باشد، اوزان افزایش می‌یابد؛ در غیر این صورت اوزان تغییر نمی‌کند. در این مثال با توجه به اینکه وضعیت تخمین (۱ و ۰.۸ و ۰.۵۵) بالاتر از وضعیت واقعی (۱ و ۰.۷۵ و ۰.۵) می‌باشد از رابطه دوم استفاده می‌شود. یعنی باید مقادیر وزنی کمتری شود تا نتایج پیش بینی به واقعیت نزدیکتر شود.

۱۲- توزیع مقدار خطا در لایه‌های قبلی و اصلاح اوزان

در این مرحله با توجه به اوزان هر یک از معیارها، زیر معیارها گزینه‌ها مقدار خطا در این مراحل و لایه‌های قبل توزیع می‌شود. این عمل باعث ایجاد اوزان اصلاح شده می‌شود.

۱۳- این عملیات را برای بقیه ساختمان‌های مسکونی در مجموعه آموزشی اجرا کنید. در این مطالعه تا مرحله ۱۸۲ مقادیر وزنی در حال اصلاح بوده است و بعد از این مرحله، به مرحله پایدار (تعادل) رسیده است.

- ۱۴- سپس مجموعه آزمایش مراحل زیر انجام می شود.
- ۱۵- قدم های ۳ الی ۱۰ برای هر منزل به صورت جداگانه انجام می شود.
- ۱۶- در ادامه، مقدار متغیر خروجی به کمک رابطه روبرو دی فازی می گردد:
- $$\frac{a+4b+c}{6}$$
- ۱۷- عدد حاصل در مرحله ۱۶ به کمک قواعد نتیجه‌گیری در جدول (۵) به عبارت کلامی و بر حسب انرژی تبدیل می‌شود.

۷- نتایج و تحقیقات آتی

بخش مسکونی هر کشور از جمله مصرف‌کنندگان اساسی انرژی آن کشور است، از این رو از مراکز اصلی توجه پژوهش‌ها در زمینه مصرف انرژی محسوب می‌شود. محدودیت منابع اولیه قابل تبدیل به انرژیهای تجدید ناپذیر، همچنین هزینه بالای تولید و پائین بودن راندمان پروسه تبدیل و توزیع، دست اندرکاران امور انرژی را به اتخاذ سیاست های بهینه جهت استفاده کارآمد از انواع انرژی تولید شده ترغیب نموده است. اعمال مدیریت صحیح مصرف انرژی موجب تأمین انرژی مطمئن و پایدار مشترکین خواهد شد.

در این پژوهش، بهره‌گیری از معماری و اوزان AHP در شبکه عصبی برای خوشه‌بندی میزان مصرف انرژی در ساختمان‌های مسکونی شهر شیراز، افزون بر نشان دادن قابلیت شبکه عصبی در مدلسازی و پیش‌بینی رفتار مصرف انرژی، منجر به ایجاد جوابهای بهتر در زمانی کوتاه‌تر شده است. تلفیق شبکه عصبی و فرایند تحلیل سلسله مراتبی در خوشه‌بندی میزان مصرف انرژی در منازل مسکونی، نوید بخش دستیابی به نتایج بهتر در پیش‌بینی رفتار مصرف انرژی با اطلاعات، زمان و هزینه کمتر می باشد. به علاوه، قابلیت یادگیری شبکه عصبی در کنار معماری و اوزان حاصل از AHP، سبب افزایش سرعت و دقت شبکه عصبی به میزان قابل توجه شده است.

نتایج حاصله از این عملیات بیانگر انطباق معماری شبکه عصبی با حداقل خطا بر ساختار فرایند تحلیل سلسله مراتبی می‌باشد. این نتیجه بیانگر آن است که شناسایی عوامل موثر بر تصمیم‌گیری و طبقه‌بندی آنها کمک بسیار موثری در طراحی و انتخاب معماری بهینه در شبکه عصبی می‌نماید. بررسی کلی میزان انطباق ساختار فرایند تحلیل سلسله مراتبی بر معماری شبکه و اوزان حاصله، می‌تواند به عنوان تحقیقات آتی مورد توجه پژوهشگران عرصه مدیریت انرژی واقع گردد.

منابع فارسی

- ۱- آمار سازمان بهینه سازی مصرف سوخت کشور، ۱۳۸۷.
- ۲- خادمی زارع ، حسن و اخوان آخرین ، ارائه یک مدل تلفیقی به منظور پیش بینی پیک بار و برقراری تعادل عرضه و تقاضای انرژی الکتریکی با اهداف چند گانه ، بیست و چهارمین کنفرانس بین المللی برق، ایران ، تهران ، ۲۰۰۹.
- ۳- داداش زاده، علیرضا، حسینی، سید موسی و فارسی، میر پیمان ۱۳۹۰، نقش مصالح سازه ای در طراحی ساختمان ها با تاکید بر بهینه سازی مصرف سوخت و انرژی، اولین همایش منطقه‌ای عمران و معماری، آمل، آموزشکده فنی و حرفه ای سما واحد آیت ا. آملی.
- ۴- ریاضی، منصوره و حسینی، سید مهدی ۱۳۹۰، نگاهی به سیاست های بهینه سازی تولید و مصرف انرژی در بخش ساختمانی ایران، اولین کنفرانس بین المللی رویکردهای نوین در نگهداشت انرژی، تهران، دانشگاه صنعتی امیرکبیر.
- ۵- سوقشقایلی ، علی (۱۳۸۹)، پایان نامه کارشناسی ارشد ، دانشکده مهندسی صنایع دانشگاه یزد.
- ۶- شاه حسینی، محمدعلی؛ طراحی مدل سیاستگذاری انرژی در افق چشم انداز با رویکرد سیستم‌های پویا؛ پایان نامه دکتری تخصصی؛ دانشگاه تهران . دانشکده مدیریت ۱۳۸۸.
- ۷- طلوعیان، اکبر؛ مدیریت مصرف انرژی و رابطه آن با توسعه پایدار و آلودگی محیط زیست؛ پنجمین همایش بهینه سازی مصرف سوخت در ساختمان؛ ۱۳۸۵.
- ۸- کیخاونی ، قوان ، ممیزی انرژی در ساختمان ، هفتمین همایش ملی انرژی ، ایران ، تهران ، ۲۰۰۹ .
- ۹- گیتی فروز، آناهیتا؛ برآورد مصرف ماهانه انرژی الکتریکی با استفاده از منطق فازی و شبیه سازی؛ دانشگاه تهران . دانشکده فنی . گروه مهندسی صنایع؛ ۱۳۸۵.
- ۱۰- نصراللهی، فرشاد(۱۳۸۹)، بهره‌وری انرژی در بخش ساختمان و مسکن، کنفرانس بهینه سازی مصرف انرژی، تهران، موسسه همایش صنعت.

منابع انگلیسی

- 1-Aydinalp M, Ugursal VI, Fung A. Modeling of the appliance, lighting, and spacecooling energy consumptions in the residential sector using neural networks. *Applied Energy* 2002, 72(2):87–110.
- 2-Azadeh, A., Ghaderi, S.F., Sohrabkhani, S., Forecasting electrical consumption by integration of NN, time series and ANOVA, *Applied mathematics and computation* 2007(186): 1753-1761.
- 3-Azadeh, A., Saberi, M., Seraj, O. An integrated fuzzy regression algorithm for energy consumption estimation with non-stationary data: A case study of Iran, *Energy*, 2010(35): 2351- 2366.
- 4-Chinese, D., Nardin, G., Saro, G. Multi-criteria analysis for the selection of space heating systems in an industrial building, *Energy* 36 (2011) 556-565.
- 5-Galvani, V., Plourde, A., Portfolio diversification in energy markets, *Energy Economics*, 2010, 32(2): 257-268.
- 6-Plessis, G.E.D., Liebenberg, L., Mathews, E.H., Plessis, J.N.D. A versatile energy management system for large integrated cooling systems, *Energy Conversion and Management*, 2013, 66: 312-325.
- 7-Ho, W. Integrated analytic hierarchy process and its applications - a literature review, *European Journal of Operational Research* 2008, 186: 211–228.
- 8-Jaber JO, Jaber QM, Sawalha SA, Mohsen MS. Evaluation of conventional and renewable energy sources for space heating in the household sector. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 2008;12(1):278-89.
- 9-Lee, J., Je, H., Byun, J. Well-Being index of super tall residential buildings in Korea, *Building and Environment*, 2011, 46(5): 1184-1194.
- 10-Kalogirou SA, Bojic M. Artificial neural networks for the prediction of the energy consumption of a passive solar building. *Energy* 2000; 25:479–91.
- 11-Mohandes, M., Rehman, S., Rahman, S.M., (2011), Estimation of wind speed profile using adaptive neuro-fuzzy inference system (ANFIS), *Applied Energy*, 88(11), 4024-4032.

- 12-Pahlavan, R., Omid, M., Akram, A. Energy input–output analysis and application of artificial neural networks for predicting greenhouse basil production, *Energy*, 37(1), 2012, 171-176.
- 13-Pohekar SD, Ramachandran M. Application of multi-criteria decision making to sustainable energy planning e a review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 2004; 8(4):365-81.
- 14-Ramanathan R, Ganesh LS. Energy alternatives for lighting in households: an evaluation using an integrated goal programming-AHP model. *Energy* 1995; 20(1):63-72.
- 15-Ren, H., Gao, W., Zhou, W., Nakagami, K. Multi-criteria evaluation for the optimal adoption of distributed residential energy systems in Japan, *Energy Policy*, 2009, 37, 12, 2009: 5484-5493.
- 16-Saaty, T.L. *The Analytic Hierarchy Process*. McGraw-Hill, New York, 1980.
- 17-Saaty TL. *Fundamentals of decision making and priority theory with the Analytic Hierarchy Process*. Pittsburgh: RWS Publications; 2001.
- 18-Swan, L.G., Ugursal, V. I., Modeling of end- use energy consumption in the residential sector: A review of modeling techniques, *Renewable and sustainable energy reviews*, 2009(13): 1819–1835.
- 19-Tso, GKF, Kelvin K., Yau,W., Predicting electricity energy consumption: A comparison of regression analysis, decision tree and neural networks, *Energy* 2007(32): 1761–1768.
- 20-Tso, GKF, Yau, KKW, A study of domestic energy usage pattern in Hong Kong. *Energy* 2003(28):1671–82.
- 21-Wong, J.K.W., Li, H., Wang, S.W. Intelligent building research: a review, *Automation in Construction*, 2005, 14, 1: 143-159.
- 22-Wong, J.K.W., Li, H., Application of the analytic hierarchy process (AHP) in multi-criteria analysis of the selection of intelligent building systems , *Building and Environment*, 2008,43, 1: 108-125.
- 23-Yulan Yang, Baizhan Li, Runming Yao, A method of identifying and weighting indicators of energy efficiency assessment in Chinese residential buildings, *Energy Policy*, 2010, 38, 12: 7687-7697.

- 24-Yang J, Rivard H, Zmeureanu R. Building energy prediction with adaptive artificial neural networks. IBPSA, ninth international conference, Montreal, Canada; 2005:1401–8.
- 25-Zhang, J., He Z.Y., Lin, S., Zhang, Y.B, Qian, Q.Q., An ANFIS-based fault classification approach in power distribution system, International Journal of Electrical Power & Energy Systems, 2013, 49, 243-252.
- 26-Zhang .G , Pattuwo .E.B , forecasting with Artificial Neural network :the state of the Art, International journal of forecasting , 1998, 14: 35-62.
- 27-Zhang.G, Qi M, Neural network forecasting for seasonal and time series ,European journal of operational Research , 2005, 140: 501-514.