پژوهش‌های مدیریت عمومی
سال ششم ، شماره نوزدهم، بهار ۱۳۹۲
صفحه ۱۵۲-۱۲۹

بهینه یابی سبد مصرف انرژی و خوشه بندی ساختمان های 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 مصرف کننده انرژی این کشور می باشند؛ فاکتورهای متعدد تاثیرگذار بر رفتار مصرف انرژی در ساختمان‌های مسکونی، مسئله پیش بینی و ممیزی مصرف انرژی را به چالشی مهم در موسسات بهینه سازی مصرف تبدیل نموده‌اند. از این رو مدیران در تلاشند تا با بهره-گیری از تکنیک های مناسب، فرآیند ممیزی و تعیین برچسب انرژی ساختمان های مسکونی را بهبود بخشند.

هدف پژوهش حاضر، با توجه به ضرورت مدیریت انرژی، مدل سازی، پیش بینی و خوشه بندی مصرف انرژی ساختمان های مسکونی، جهت ممیزی و تعیین برچسب انرژی این ساختمان‌ها می‌باشد. از این رو این پژوهش، با تلفیق شبکه عصبی فازی (FNN) و فرایند تحلیل سلسله مراتبی (AHP)، با استفاده از داده‌های پرسشنامه‌ای، به خوشه بندی 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 داده های یکسان اجرا گردید. بخش مسکونی شهر شیراز به عنوان جامعه آماری مورد نظر انتخاب گردید و به منظور آموزش و آزمایش شبکه عصبی، داده های ۲۷۰ ساختمان مسکونی مورد استفاده قرار گرفت. مقایسه قدرت تفکیک و خوشه بندی مدل های FNN در دو حالت بیان گر این مطلب است که مدل شبکه عصبی با معماری و اوزان اولیه AHP نسبت به دیگر مدل، از سرعت و دقت بالاتری در پیش بینی و خوشه بندی برخوردار است.

واژه های کلیدی: **شبکه عصبی فازی، فرایند تحلیل سلسله مراتبی، خوشه‌بندی، ساختمان‌های مسکونی، برچسب انرژی.**

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

* 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

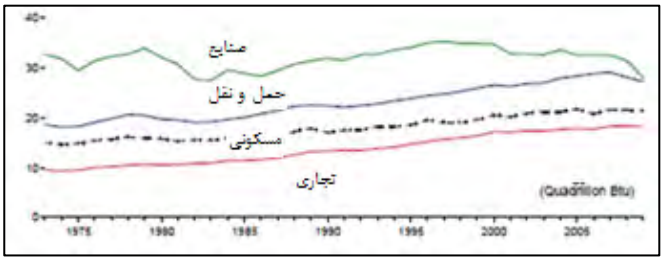
۱-۱- بیان مسئله و ضرورت پژوهش

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 حوزه ها در سیاستگذاری کلان کشور و دستیابی به توسعه پایدار تبدیل کرده است. آنچه که در این میان حائز اهمیت فراوانی است ، مقوله راهبری مصرف حامل های انرژی به دلیل نقش فرایند آنها در سبد 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 بهینه سازی 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 انرزی امری غیرقابل چشم‌پوشی است. مدیریت صحیح مصرف انرژی مستلزم شناخت وضعیت موجود و الگوی مصرف، انجام برنامه‌ریزی و اعمال کنترل برای بهینه سازی و اصلاح الگوی مصرف می باشد*(خادمی زارع و اخوان، ۱۳۸۷، ۸؛ طلوعیان، ۱۳۸۵)*.

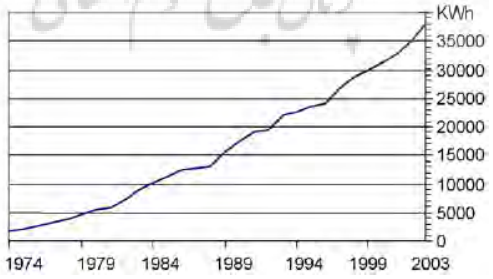
هدف از مدیریت انرژی، کاهش و منطقی کردن مصرف انرژی به نحوی است که توجیه اقتصادی داشته و در عین حال منجر به بروز تأثیراتی منفی در سطح رفاه و آسایش نگردد *(Du Plessis et. al, 2013:66)*. انرژی مورد نیاز جهان در بخش‌هایی مانند حمل و نقل، صنایع، مسکونی، تجاری، خدمات و غیره مصرف می‌شود *(Galvani and*

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



نمودار۱: مصرف انرژی بخش های مختلف از سال ۱۹۹۷ تا ۲۰۰۹ ***(شاه حسینی، ۱۳۸۸)***

مطابق آمارهای موجود، ساختمان های مسکونی ایران بزرگترین مصرف‌کننده انرژی این کشور می‌باشند *(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 می‌دهد. از طرف دیگر نه تنها پتانسیل صرفه جویی انرژی در بخش ساختمان و مسکن بطور کلی بیش از بخش‌های دیگر است، بلکه کاهش مصرف انرژی در این بخش ساده‌تر و با سرمایه‌گذاری کمتری نسبت به بخش‌های دیگر قابل دسترس می‌باشد *(نصرالهی، ۱۳۸۹: ۱)*. از این رو در راستای کاهش مصرف انرژی در جهان و بخصوص ایران، یکی از سیاست‌های کارا می‌تواند کاهش مصرف انرژی بخش مسکونی باشد *(طلوعیان، ۱۳۸۵)*. کاهش مصرف انرژی ساختمان‌های مسکونی در ایران بویژه در مقیاس وسیع، تأثیر بسزایی بر کل مصرف انرژی کشور خواهد داشت. در این راستا، خوشه‌بندی رفتار مصرف انرژی ساختمان‌های مسکونی، گامی بسیار اثربخش خواهد بود.



نمودار۲: 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 ساختمان های 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 ساختمان های 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 شبکه های 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 یافته های 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 از مدلهای غیرخطی (شاخه های هوش مصنوعی شامل الگوریتم ژنتیک، شبکه‌های نوروفازی و شبکه‌های عصبی مصنوعی) جهت پیش‌بینی میزان مصرف انرژی به عنوان یک گزینه راه گشا مطرح و مورد کاربرد قرار گرفته است *(Kalogirou and Bojic, 2000:483; Azadeh and Faiz, 2001:618)*.

گیتی فروز 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 پیش پردازش داده‌ها بر کارایی مدل می باشد *(گیتی فروز، ۱۳۸۵)*، در تحقیق دیگری، آزاده و همکاران یک رویکرد شبکه عصبی با پرسپترون چند لایه برای پیش بینی مصرف برق ارائه داده اند. برای آموزش شبکه عصبی مصنوعی، داده‌های پیش پردازشی 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 سلسله مراتبی را به عنوان ملاحظات سرمایه‌گذاری و تکنیک-های ارزیابی ساختمان هوشمند مورد بررسی قرار دادند *(Wong et al, 2005:145)*. لی و همکاران، پژوهشی برای ایجاد مدل شاخص رفاهی انجام داده‌اند که می تواند 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 سلسله مراتبی، طراحی یکپارچه و مدل ارزیابی جهت بهینه نمودن 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 پیش بینی، خوشه‌بندی رفتار مصرف انرژی و تعیین برچسب مصرف انرژی در ساختمان‌های مسکونی استفاده شده است.

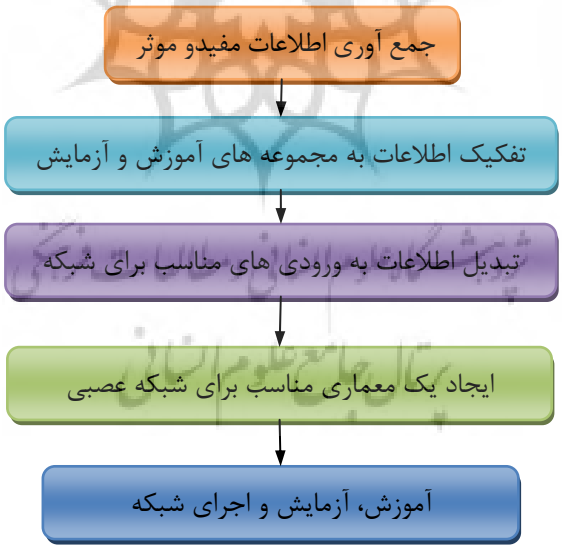
۲-۱-مبانی نظری پژوهش

۲-۱-۱-مزیتهای کاربرد شبکه عصبی در پیش بینی 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 تصمیم گیری انسان در پیش بینی 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.



شکل۱: فرآیند کلی کاربرد شبکه عصبی در حل مسئله خوشه بندی مصرف انرژی

۲-۱-۲-شبکه های نوروفازی

شبکه‌های نوروفازی ترکیب شبکه عصبی با منطق فازی می‌باشند. با استفاده از الگوریتم آموزش شبکه عصبی، پارامترهای سیستم فازی تعیین می‌شود. این سیستم ترکیبی، بر اساس سیستم فازی که بیانگر عدم قطعیت‌ها می‌باشد پایه گذاری شده است. روش فازی برای ارتقاء توانایی‌های آموزش یا بهبود عملکرد شبکه عصبی استفاده می‌شود. در اینجا یک تفسیر زبانی بر اساس شبکه عصبی و با خصوصیت جعبه سیاه پایه‌گذاری شده است. این سیستم ها یا به صورت شبکه‌هایی می‌باشند که از قوانین فازی برای تعیین نسبت آموزش استفاده می کنند و یا شبکه‌هایی می‌باشند که دارای ورودی‌های فازی بوده است. مدلANFIS (سیستم فازی تطبیق‌پذیر مبتنی بر شبکه عصبی) اولین بار توسط ژانگ در ۱۹۹۳ معرفی شد. این مدل یک سیستم فازی سوگنو را در یک ساختار عصبی اجرا می‌کند و برای فرآیند آموزش از ترکیبی از روش‌های آموزش پس انتشار خطا و حداقل مربعات خطا استفاده می‌کند*(Kalogirou and Bojic, 2000:483)*.

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

انواع مختلفی از شبکه‌های عصبی با توجه به اهداف تحقیق می‌توانند مورد استفاده قرار گیرند که یکی از معروف‌ترین آنها، شبکه عصبی پیش خور(MFNN) می‌باشد. شبکه عصبی چند لایه پیش خور با استفاده از یک ناظر خود را آموزش می‌دهد. بر طبق مطالعات اخیر بیش از پنجاه درصد مطالعات گزارش شده از شبکه عصبی، بصورت چند لایه و با قوانین یادگیری پس انتشار می‌باشند. این نوع شبکه عصبی دارای کاربردهای گسترده در مسایل مدیریت از قبیل پیش‌بینی، طبقه‌بندی و مدلسازی بوده و دارای قابلیت یادگیری مناسب است *(Pahlavan et al, 2012: 173)*.

در این تحقیق با ترکیب شبکه‌های 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 می‌شوند. سپس با مقایسه مقدار خروجی واقعی و مطلوب توسط کمترین مربعات، مقدار خطا محاسبه می‌شود. در مسیر برگشت به عقب نسبت خطا بر روی مراحل قبلی توزیع و با استفاده از روش شیب نزولی مقدار خطا تصحیح می‌شود. ساختارهای مختلفی برای پیاده‌سازی یک سیستم فازی توسط شبکه‌های عصبی پیشنهاد شده است *(Zhang et al, 2013: 245)*. تفاوت اصل شبکه عصبی فازی با شبکه عصبی مصنوعی در آن است که وزن‌ها 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 ساختارAHP 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 ارزش گذاری‌ها 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 تصمیم گیری 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[1] 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 سیاست های کلی ساختمان ها 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 تصمیم گیری 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.

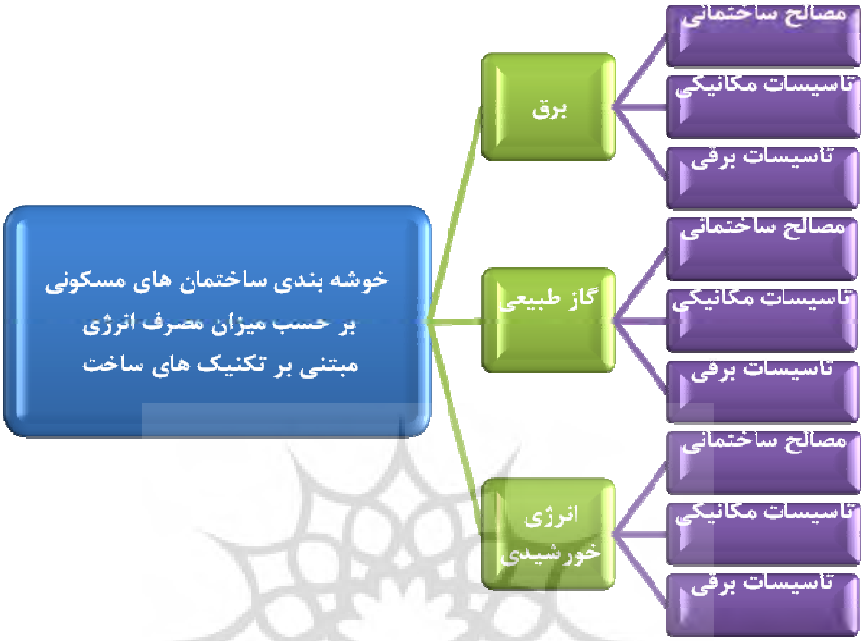
1- Axioms

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 *(داداش زاده و همکاران، ۱۳۹۰، ۲؛ سوقشقایی، ۱۳۸۹، ۲۶)*، لذا در این تحقیق برای حذف شرایط آب و هوایی مختلف مناطق گوناگون کشور، ساختمان‌های مسکونی شهر شیراز در نظر گرفته شده اند. همچنین بر این اساس تنها تکنیک‌های ساخت (شامل فاکتورهای مصالح ساختمانی، تاسیسات برقی و تاسیسات مکانیکی) در خوشه‌بندی رفتار مصرف انرژی ساختمان‌های مسکونی در نظر گرفته شده اند.

ابتدا متغیرها و پارامترهای مهم تکنیک‌های ساخت تعیین شدند؛ سپس داده‌های 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 مقیاس‌های متفاوتند. برای یکسان‌سازی مقیاس و میزان تأثیر هر یک از عوامل، در فرآیند تحلیل سلسله مراتبی از ابتدا داده‌ها نرمال گردیده‌اند. همچنین برای تعیین بهترین پیش‌بینی و خوشه‌بندی در شبکه عصبی از ضریب بار ساختمان (BLC) و تابع حلقوی (سیگموید) 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 پیش‌بینی و خوشه‌بندی رفتار مصرف انرژی در ساختمان‌های مسکونی شده است. معماری شبکه عصبی پیشنهادی مبتنی بر تکنیک‌های 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 *(کیخاونی،۱۳۸۷: ۵)*.



شکل۲: 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[1] 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 پایابی آن با روش(r =۰/۸۷ و Cronbach's α= ۰/۹۱) مورد تائید قرار گرفته است.

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

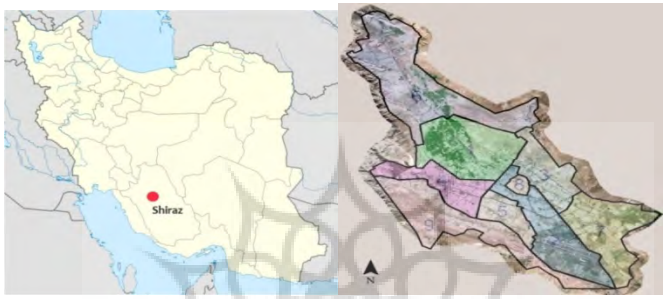
عوامل اصلی	عوامل فرعی
مصالح ساختمانی	عمق تراس؛ عایق پوشش کردن سقف؛ برچسب بازتابنده نور؛ عایق کاری دیوارها؛ استفاده از نمای آلومینیوم عایق دار؛ دوجداره کردن در و پنجره؛ چارچوب PVC؛ استفاده از درزگیرهای حرارتی.
تاسیسات برقی	نصب کلیدهای تایمری اتوماتیک در راهرو و راه پله؛ استفاده از تجهیزات برقی کم مصرف؛ 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 بخارآب.

۳-۳-جامعه و نمونه آماری

جامعه آماری پژوهش حاضر، در برگیرنده کلیه ساختمان‌های مسکونی شهر شیراز می‌باشد. حجم نمونه عبارت از۲۷۰ خانه ایرانی (در بخش مسکونی شهر شیراز) و روش نمونه‌گیری به صورت تصادفی بوده است. از داده‌های۲۷۰ ساختمان مسکونی در مناطق مختلف شهر شیراز، جهت آموزش وآزمایش 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، متراژ، 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.



شکل۳: 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 نوعا با داده‌هایی در فاصله (۰ و ۱) و یا (۱ و ۱-) کار می کنند. 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 گزینه‌ها نسبت به یکدیگر محاسبه شده است. این اوزان در جداول(۴ و ۳) نشان داده شده اند.

جدول ۲: وزن گزینه ها و عوامل

عبارت کلامی	علامت اختصاری	وزن گزینه	گزینه
عالی	E	(۰/۷۵و۱و۱)	Excellent
خوب	G	(۰/۵و۰/۷۵و۱)	Good
متوسط	F	(۰/۲۵و۰/۵و۰/۷۵)	Fair
ضعیف	P	(۰و۰/۲۵و۰/۵)	Poor
خیلی ضعیف	VP	(۰و۰و۰/۲۵)	Very poor

جدول ۳: اوازن 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

جدول۴: 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 میلتون 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*):

$M=\sqrt{x.y}$

(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 مسله 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 روشAHP 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 لایه های مخفی و تعداد نرون های آنها زمانی متوقف می‌شود که افزایش تعداد لایه و نرون در جواب ها بهبودی ایجاد نکند. در حالت مخرب در هر وصل یک لایه میانی و یک نرون از شبکه اولیه حذف و عملیات آموزش تکرار می شود. کاهش تعداد لایه‌های مخفی و تعداد نرونها زمانی متوقف می‌شود که با کاهش تعداد لایه و نرون در جواب‌ها بهبودی ایجاد نشود.

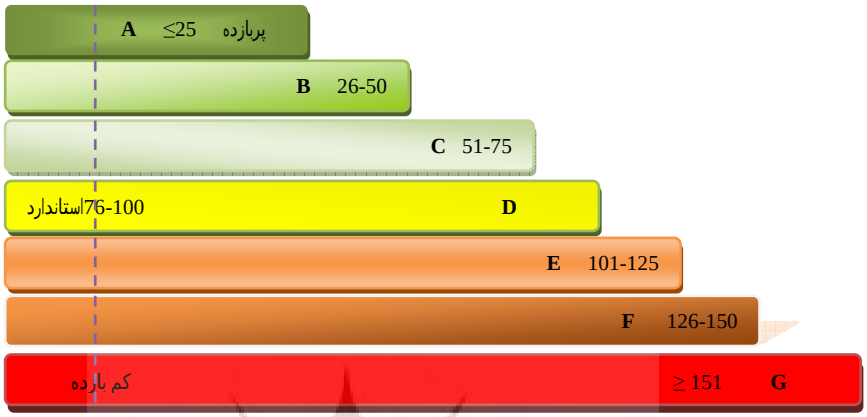
برای تعریف شبکه عصبی کامل باید برای هر یک از خروجی‌های ممکن، مجموعه‌های آموزشی تعریف شود؛ اما این موضوع غالبا امکان‌پذیر نیست. بر این اساس محققان در مسایل شبکه های عصبی ۳۰-۲۰ درصد از کل داده‌ها را به عنوان مجموعه آزمایش و ۸۰-

۷۰ درصد را به عنوان مجموعه آموزش در نظر می گیرند (*Zhang and Qi,2005, 504; Zhang and Pattuwo, 1998, 37*). در این پژوهش، حدود۷۰ درصد(۱۹۰ مورد) برای مجموعه آموزش و حدود۳۰ 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 داده‌ایم تا اینکه در نرخ یادگیری ۷٪ نمودار خطا بهترین وضعیت را نشان داده است.

۶- یافته‌های پژوهش

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

پرتال جامع علوم انسانی



نمودار۵: بر چسب انرژی برحسب 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	$0 \le x \le 25$	Then	Education =A
Rule(2): If	$25 < x \le 50$	Then	Education =B
Rule(3): If	$50 < x \le 75$	Then	Education =C
Rule(4): If	$75 < x \le 100$	Then	Education =D
Rule(5): If	$100 < x \le 125$	Then	Education =E
Rule(6): If	$125 < x \le 125$	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 می‌باشد. در این مرحله مقدار هر متغیر ورودی در وزن آن متغیر ضرب می‌شود، سپس واحد جمع‌کننده نرون، همه نتایج ورودی وابسته به هر نرون را با هم جمع می‌کند. این حاصل جمع با مقدار ثابت بایاس جمع می‌شود. فرمولهای مورد استفاده در این مرحله به صورت زیر است. در لایه آخر مقدار متغیر خروجی معادل ضریب بار ساختمان(BLC) است.

$$BLC(j) = \sum_{i=1}^{nj} \binom{n}{k} w_{ij} \cdot O_{pi} \quad \Rightarrow \quad u_j = Blc(j) + b_j \qquad (۱)$$

Blc (j): مجموع وزنی متغیرهای ورودی به نرون j O_{pi}:مقدار متغیر ورودی i در مرحله p

w_{ij}: وزن متغیر ورودی i به نرون j 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 می‌شود. این تابع تبدیل مجموع ورودی‌ها را به عددی در بازه صفر و یک تبدیل می‌کند .

$$Y_j = \frac{1}{1 - e^{-u_j}} \qquad (۲)$$

در صورتی که مقدار خروجی واقعی نرون در لایه خروجی و مقدار ایده آل آن مساوی نباشد یک پیام خطا داده می‌شود. در این مرحله شبکه عصبی با یک حرکت رو به عقب برای اصلاح مقادیر بایاس و اوزان تلاش می‌کند تا خطای شبکه را کاهش داده و یا حذف کند.

سومین مرحله محاسبه خطا می‌باشد. برای محاسبه خطای لایه خروجی می‌توان از میانگین مجموع مربعات خطا (MSE) استفاده کرد:

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} (T_{pk} - O_{pk})^2 \qquad (۳)$$

T_{pk}: خروجی ایده ال نرون k در مرحله p O_{pk}: خروجی واقعی نرون k در مرحلهp

MSE: میانگین مربعات خطا

مقدار خطایی که در لایه خروجی تشخیص داده می‌شود با تغییر مقادیر وزنی و بایاس باید تا حد امکان کاهش یابد. ساده‌ترین و کاراترین روش برای به روز کردن وزنهای شبکه استفاده از روش تندترین شیب (Steepest Descent) در جهت‌بردار گردایان می‌باشد:

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

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

مصالح ساختمانی						تاسیسات برقی		تاسیسات مکانیکی	
A_1	خوب	A_6	متوسط	A_{10}	متوسط	B_1	خوب	C_1	عالی
A_2	ضعیف	A_7	خوب	A_{11}	خوب	B_2	ضعیف	C_2	خوب
A_3	ضعیف	A_8	خوب	A_{12}	خوب	B_3	عالی	C_3	خوب
A_4	ضعیف	A_9	خوب	A_{13}	خوب	B_4	خوب	C_4	متوسط
A_5	ضعیف	A_{10}	متوسط	A_{14}	متوسط	B_5	ضعیف	C_5	ضعیف
متغیر خروجی: D = 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 وG در تابع تبدیل $Y = \frac{1}{1+e^{-x}}$ قرار گرفته و مقادیر خروجی نرون محاسبه می‌شوند.

۱۰- مقادیر خروجی نرونهای E وG 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 $w_i(new) = w_i(old) + 0.7\,(y_i - \hat{y}_i)$

b. If Evaluation < Estimation then $w_i(new) = w_i(old) - 0.7\,(y_i - \hat{y}_i)$

c. If Evaluation = Estimation then $w_i(new) = w_i(old)$

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 و۸٪ و ۵۵٪) بالاتر از وضعیت واقعی (۱ و ۷۵٪ و ۰/۵) می‌باشد از رابطه دوم استفاده می‌شود. یعنی باید مقادیر وزنی مقداری کمتر 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 گزینه ها 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 ادمه، 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 مصرف‌انرژی 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 کارامد 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 ازAHP ، 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 پیمان۱۳۹۰، 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 مهدی۱۳۹۰، 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-سوقشقایی ، 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., Forcasting 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: Acase 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 industrialbuilding, 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.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی