

تحلیل داده‌های گرمایشی و سرمایشی ساختمان و بررسی عوامل مؤثر بر آن با استفاده از مدل رگرسیون هم‌زمان

کیانا جاویدی انارکی^۱ احسان بهرامی سامانی^۲ سعید عظمتی^۳

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۹/۱۷

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۲/۱۵

چکیده:

با توجه به محدود بودن منابع انرژی در جهان، بهینه‌سازی انرژی امری حیاتی است. بخش زیادی از این انرژی توسط ساختمان‌ها مصرف می‌شود. هدف پژوهش کشف عوامل مؤثر به‌طور هم‌زمان بر بارگرمایشی و سرمایشی ساختمان‌ها است. پژوهش بر روی ۷۶۸ ساختمان مسکونی شبیه‌سازی شده با نرم‌افزار Ecotect، انجام شده است، این مجموعه داده‌ها تحت عنوان داده‌های کارایی انرژی در وب‌سایت مخزن یادگیری ماشین دانشگاه کالیفرنیا قرار داشته که در این مقاله از آن‌ها استفاده شده است. از مدل رگرسیون هم‌زمان و روش‌های تحلیل اکتشافی داده‌ها برای شناسایی عوامل مؤثر به‌طور هم‌زمان بر بارگرمایشی و سرمایشی ساختمان‌ها استفاده شده و بر اساس متغیرهای فشرده‌سازی، ارتفاع کلی، مساحت سطح و سقف ساختمان‌ها عامل جدیدی تحت عنوان مدل ساختمان معرفی و نشان داده شد که یکی از مهم‌ترین عوامل مؤثر بر بارگرمایشی و سرمایشی ساختمان‌ها است. در مدل رگرسیون هم‌زمان فرض می‌شود که پاسخ‌ها از توزیع نرمال چندمتغیره پیروی می‌کنند. سپس این مدل را با مدل‌های رگرسیون جدا از هم (بدون فرض همبستگی پاسخ‌ها) مقایسه کرده و طبق معیار اطلاع آکائیکه و معیار انحراف به برتری مدل رگرسیون هم‌زمان اشاره شده است.

واژه‌های کلیدی: مدل رگرسیون هم‌زمان، تحلیل اکتشافی داده‌ها، عملکرد انرژی ساختمان، شکل ساختمان.

۱ مقدمه

[۲۱] اشاره کرد که به بررسی تأثیر تغییرات بلندمدت نیازهای گرمایشی و سرمایشی بر انرژی مصرفی بخش ساختمان و مسکن عربستان پرداخت. در تحقیقی مشابه سول و ساکلین [۲۳]، به بررسی تغییرات و نوسانات درجه روزهای گرم و سرد جنوب شرق ایالات متحده در بازه زمانی ۱۹۶۰ تا ۱۹۹۰ در راستای رخداد تغییر اقلیم اقدام کردند. ویبینگ [۲۶] به بررسی پتانسیل تغییرپذیری درجه روزهای سرد و گرم ناحیه لدز لهستان، از رخداد تغییر اقلیم اقدام کرد و نشان داد نیازهای گرمایشی در برابر تغییر اقلیم تغییرات بیشتری نسبت به نیازهای سرمایشی داشته‌اند. رادو و همکاران [۱۹] به بررسی تأثیرات بالقوه تغییر اقلیم بر پیش‌نیازهای گرمایشی در شرایط اقلیمی مختلف اقدام کردند [۵]. با توجه به اهمیت مباحث مربوط به مصرف انرژی و عوامل تأثیرگذار در آن، در این مقاله با استفاده از روش‌های تحلیل اکتشافی داده‌ها و ارائه مدل جدید رگرسیون هم‌زمان، به شناسایی عوامل مؤثر به‌طور هم‌زمان بر بارگرمایشی و سرمایشی ساختمان‌ها پرداخته شده است. سپس به

در دهه‌های اخیر افزایش فزاینده جمعیت کره زمین و نیز تولید روزافزون دی‌اکسید کربن سبب افزایش میزان توجه و اهمیت صرفه‌جویی در مصرف انرژی خاصه در صنعت ساختمان شده است [۶]. تقریباً ۴۰٪ انرژی مصرفی در ایران مربوط به بخش ساختمان بوده است [۱۷]. از این میان بخش زیادی از انرژی جهت تأمین دمای آسایش محیط داخل ساختمان، از طریق دستگاه‌های سرمایش و گرمایش مصرف می‌گردد [۱۰]. نیازهای گرمایشی و سرمایشی یا درجه روزهای سرد و گرم یکی از مهم‌ترین شاخص‌های اقلیمی در تعیین پتانسیل مصرف انرژی هر منطقه اقلیمی است [۴]. با توجه به اهمیت مباحث مربوط به مصرف انرژی و عوامل تأثیرگذار در آن، تحقیقات گسترده‌ای در سطح جهانی در مورد نیازهای گرمایشی و سرمایشی و روندهای بلندمدت آن‌ها در راستای تغییر اقلیم صورت گرفته است که از جمله آن‌ها می‌توان به سام

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد، آمار ریاضی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

^۲ دانشیار، گروه آمار، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران (نویسنده مسئول: ehsan_bahrami_samani@yahoo.com)

^۳ استادیار، گروه معماری، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شرق، تهران، ایران

مقایسه مدل رگرسیون هم‌زمان با مدل رگرسیون جدا از هم (جداگانه در نظر گرفتن پاسخ‌ها، بدون فرض همبستگی پاسخ‌ها) پرداخته و آزمون فرضیه زیر را انجام می‌دهیم.

فرض صفر: مدل رگرسیون هم‌زمان و مدل رگرسیون جدا از هم

۲ ادبیات پژوهش و پیشینه تحقیق

بر اساس بررسی‌های صورت گرفته، تعداد زیادی از تحقیقات طی سال‌های اخیر نشان می‌دهد بیش‌ترین پتانسیل برای بهره‌وری انرژی ساختمان، از مرحله طراحی حاصل می‌شود. تصمیمات معماران از بسیاری جهات بر عملکرد ساختمان تأثیر بسزایی خواهد داشت. به‌عنوان مثال با تغییر پارامترهای شکل، جهت و پوشش ساختمان، طرح بهینه‌شده می‌تواند تا ۴۰٪ در مقایسه با طرح اولیه در مصرف انرژی صرفه‌جویی کند. شکل ساختمان تأثیر مهمی بر مصرف انرژی و صرفه‌جویی در هزینه‌های اضافی ساختمان دارد [۲۷]. در فیزیک ساختمان ملاحظات مختلف معماری به‌ویژه شکل ساختمان، جزء متغیرهای اساسی هستند. مساحت سطح یک ساختمان، اندازه‌گیری کل مساحتی است که سطح ساختمان اشغال می‌کند. حجم، اندازه‌گیری میزان فضای داخل ساختمان است [۱۳]. بار سرمایشی و گرمایشی، وابسته به مؤلفه‌های متعددی است، از جمله تعداد استفاده‌کنندگان، تجهیزات مورد استفاده، تابش دریافتی از سطح و میزان تعامل حرارتی با محیط بیرون که تابعی از نسبت سطح به حجم بنا است [۲۲]. تعامل حرارتی بین محیط داخلی محصور یک ساختمان و شرایط محیطی از طریق پوشش ساختمان صورت می‌گیرد. نرخ آن از طریق فشردگی نسبی و به‌طور متناوب به‌عنوان sa/vol یا $SA:V$ مشخص می‌شود. این نسبت میزان انتقال حرارت در داخل و خارج ساختمان را تعیین می‌کند. بنابراین برای حداقل انتقال حرارت کمترین نسبت sa/vol ممکن مورد نیاز است. به‌عنوان شاخصی از فشردگی یک ساختمان است که معمولاً در معماری و مهندسی و محاسبات عملکرد انرژی ساختمان در آب‌وهوای معتدل و سرد استفاده می‌شود و مساحت سطح بیرونی ساختمان ($A_{building}$) را با حجم داخلی آن ($V_{building}$) مقایسه می‌کند

$$sa/vol = A_{building} \times V_{building}^{-1} \quad [m^2 \times m^{-3}]$$

تلاش‌های دیگری برای توصیف شاخص‌های فشردگی مرسوم که اشکال ساختمان را از نظر رابطه بین حجم ساختمان و مساحت سطح کل توصیف می‌کنند، انجام شده است [۱۱]. یک مثال رایج، طول مشخصه (lc) است که توسط مهدوی و همکاران [۱۵]، به‌صورت زیر معرفی شده

شبه یکدیگر هستند.

فرض مقابل: مدل رگرسیون هم‌زمان بهتر از مدل رگرسیون جدا از هم است.

است

$$lc = V_{body} \times A_{surface}^{-1} \quad [m^3 \times m^{-2}]$$

جهت‌گیری ساختمان به موقعیت یا جهتی که ساختمان نسبت به مسیر خورشید و نسیم‌های طبیعی روبه‌رو می‌شود، اشاره دارد. به‌طور کلی جهت‌گیری ساختمان به عواملی همچون وضعیت طبیعی زمین، میزان نیاز به فضاها، خصوصی، کنترل و کاهش صدا و نیز دو عامل باد و تابش آفتاب بستگی دارد. همان‌گونه که فصول مختلف سال در نتیجه تغییر محور زمین نسبت به خورشید از یکدیگر متمایز هستند، از دید معماری نیز یک ساختمان تحت تأثیر انرژی تابیده‌شده به دیوارهای آن در ساعات مختلف قرار داشته و بارهای گرمایشی و سرمایشی آن تابعی از جهت‌گیری آن است [۱]. سقف‌های ساختمان‌ها بخشی از پرتوهای نور خورشید را بازتابش و بخش دیگری از آن را جذب می‌کند. گرمای جذب‌شده توسط مکانیسم رسانش، وارد ساختمان شده و باعث گرم شدن هوای داخل می‌شود. مساحت شیشه سهمی از زیربنای ساختمان است که با پنجره پوشیده شده است مانند شیشه پنجره‌های دیواری، پنجره‌های بالای سقف و... شیشه‌ها در معرض عوامل خارجی مانند خورشید، باد، برف و... قرار می‌گیرند و می‌توانند بر شرایط سرمایشی و گرمایشی ساختمان‌ها تأثیر بگذارند. از طرفی تقریباً نیمی از بار گرمایشی و سرمایشی در ساختمان‌ها از طریق پنجره‌ها اتلاف می‌شود؛ بنابراین عایق کردن پنجره‌ها ضروری است [۱۰]. شیشه‌های چند جداره علاوه بر کاهش مصرف انرژی در کاهش انتقال صدا نیز تأثیرگذار هستند [۱۶]. همچنین جهت تنظیم نور و جریان هوا از بیرون به داخل می‌توان از پرده‌کرکره‌هایی برای پنجره‌ها استفاده کرد و با کاهش ضریب انتقال حرارت، نور خورشید را تنظیم نمود. در این صورت بهترین حالت کرکره‌ها جهت ورود جریان هوا، حالت افقی است [۷]. استفاده از شیشه‌ی دوجداره همراه با پرده غلتکی در اروپای مرکزی باعث کاهش ۲۹٪ تا ۴۴٪ در مصرف انرژی ساختمان گردیده است [۱۸]. آریکی و کارابای [۳]، با استفاده از تحلیل عددی به بررسی تأثیر تعداد جداره‌های شیشه بر انتقال حرارت پرداخته و به این نتیجه دست یافتند که با افزایش تعداد جداره می‌توان ۵۰٪ تا ۶۷٪ میزان انتقال حرارت را کاهش داد.

ساختمان‌ها مقدار قابل‌توجهی افزایش یا اتلاف گرما را از طریق

از این رو مجموعه داده‌های کارایی انرژی از سایت (UCI) به راحتی مورد استفاده عموم قرار گرفته است [۲۴]. این مجموعه داده شامل ۷۶۸ ساختمان مسکونی متنوع شبیه‌سازی شده با نرم افزار Ecotect مربوط به کشور یونان (شهر آتن)، ۸ متغیر کمکی و ۲ متغیر پاسخ است. این ساختمان‌ها بر اساس ۱۲ شکل طراحی شده است که این ۱۲ شکل بر اساس یکی از متغیرهای کمکی تحت عنوان فشردگی نسبی ساختمان در شکل ۱ نشان داده شده است [۲۵]. متغیرهای پاسخ بار گرمایشی (Heating-load) و بار سرمایشی (Cooling-load) است و متغیرهای کمکی شامل ۵ متغیر پیوسته، فشردگی نسبی (Relative-compactness)، مساحت سطح (Surface-area)، مساحت سقف (Roof-area)، مساحت دیوار (Wall-area)، ارتفاع کلی (Overall-height) و ۳ متغیر رسته‌ای، جهت‌گیری (Orientation)، مساحت شیشه (Glazing-area)، توزیع مساحت شیشه (Glazing-area-distribution) است. این ۸ متغیر و همین‌طور این مجموعه داده به‌طور مکرر در پژوهش‌ها برای مطالعه موضوعات مرتبط با انرژی ساختمان مورد استفاده قرار گرفته‌اند. ظرفیت در نظر گرفته شده برای این ساختمان‌ها ۷ نفر است و همه‌ی ساختمان‌ها حجمی برابر و معادل با ۷۷۷/۷۵ مترمکعب دارند اما مساحت سطح و ابعاد متفاوتی دارند. کلیه مصالح و مواد استفاده شده برای ساخت ساختمان‌ها یکسان است. در این ساختمان‌ها ۴ نوع مساحت شیشه بر اساس درصدی از مساحت کف استفاده شده است. ساختمان‌های بدون شیشه (۰٪)، ۱۰٪، ۲۵٪ و ۴۰٪ و برای هر نوع مساحت شیشه ۵ نوع توزیع در نظر گرفته شده است که شرایط آن به شرح زیر است.

۱. توزیع نامشخص (اینکه در هر طرف ساختمان چه درصدی از شیشه به‌کاررفته است، نامشخص است).
۲. توزیع یکنواخت یعنی ۲۵٪ شیشه در هر طرف ساختمان
۳. ۵۵٪ شیشه در سمت شمال ساختمان و ۱۵٪ در هرکدام از طرف‌های دیگر.
۴. ۵۵٪ شیشه در سمت شرقی ساختمان و ۱۵٪ در هرکدام از طرف‌های دیگر.
۵. ۵۵٪ شیشه در سمت جنوب ساختمان و ۱۵٪ در هرکدام از طرف‌های دیگر.
۶. ۵۵٪ شیشه در سمت غربی ساختمان و ۱۵٪ در هرکدام از طرف‌های دیگر.

متغیر جهت‌گیری ساختمان از چرخش ۱۲ شکل ساختمان در ۴ جهت ایجاد شده است. در جدول ۱ و شکل ۲ متغیرها معرفی و توصیف شده‌اند

پنجره تجربه می‌کنند و این برآسایش حرارتی ساکنان ساختمان تأثیر می‌گذارد. ساختمان بدون پنجره می‌تواند در مصرف انرژی صرفه‌جویی کند اما به دلیل مزایای نور طبیعی برآسایش بصری و تأثیر بیولوژیکی نور طبیعی بر انسان توصیه نمی‌شود [۱۲].

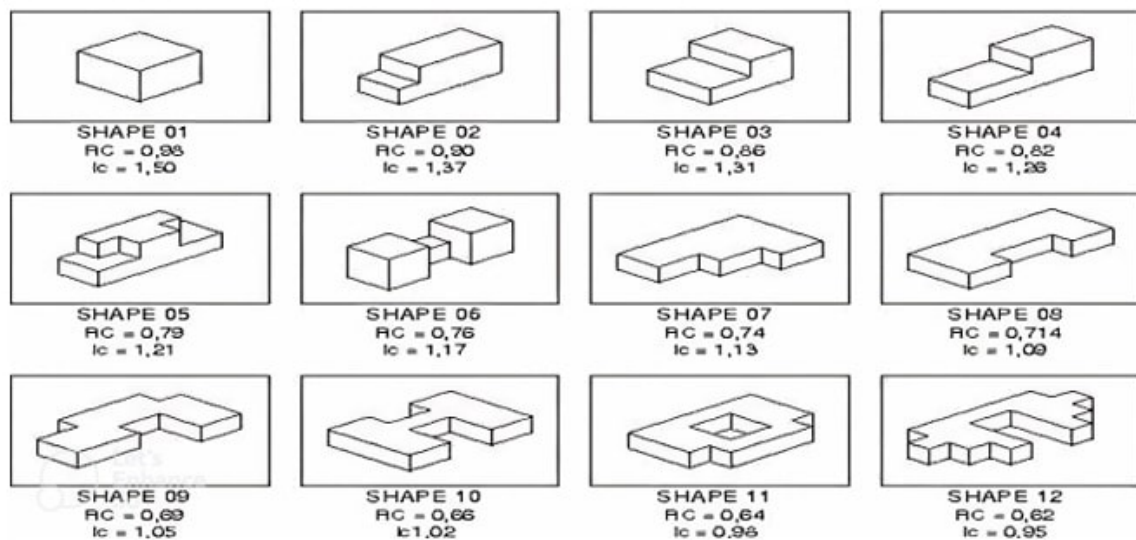
رشیدفر و چن [۲۰]، بر روی مجموعه داده‌های کارایی انرژی کار کردند و مقاله‌ای تحت عنوان برآورد عملکرد انرژی ساختمان‌ها با استفاده از تکنیک‌های یادگیری ماشین چاپ کرده‌اند. در این مقاله از تکنیک‌های رگرسیون چندجمله‌ای، ماشین بردار پشتیبان (SVM)، شبکه‌های عصبی مصنوعی (ANN) و درخت‌های تصمیم برای پیش‌بینی مقادیر مختلف موردعلاقه به‌ویژه بار گرمایشی و بار سرمایشی استفاده شده است. تیساناس و ایفارا [۲۵] بر روی مجموعه داده‌های کارایی انرژی کار کردند و مقاله‌ای تحت عنوان تخمین کمی دقیق عملکرد انرژی ساختمان‌های مسکونی با استفاده از ابزارهای یادگیری ماشین آماری چاپ کردند. در این مقاله از روش رگرسیون خطی کلاسیک در برابر یک روش قدرتمند غیرخطی پارامتری و جنگل‌های تصادفی برای تخمین بار گرمایشی و بار سرمایشی استفاده کردند.

گزارش‌ها حاکی از آن است که مصرف انرژی ساختمان‌ها در دهه‌های گذشته به‌طور پیوسته در سراسر جهان افزایش یافته است و با توجه به محدود بودن انرژی، صرفه‌جویی در مصرف آن و توجه به بار گرمایشی و سرمایشی ساختمان‌ها پراهمیت شده است. با توجه به تحقیقات صورت گرفته در طی سال‌های گذشته تاکنون محققان بسیاری به کشف عوامل تأثیرگذار به‌طور جداگانه بر بار گرمایشی و سرمایشی ساختمان‌ها پرداخته‌اند و به عواملی مانند شکل ساختمان، جهت‌گیری، پنجره‌ها، سقف‌ها، فشردگی نسبی اشاره شده است. ما در این مقاله به معرفی مدل رگرسیون هم‌زمان با متغیرهای پاسخ چند متغیره نرمال پرداختیم و با استفاده از آن به کشف هم‌زمان عوامل مؤثر بر بار گرمایشی و سرمایشی ساختمان‌ها پرداخته شده است. همچنین عامل جدیدی تحت عنوان مدل ساختمان (type)، مرتبط با شکل ساختمان با توجه به ماهیت داده‌ها بر اساس متغیرهای فشردگی نسبی، مساحت سطح، سقف و ارتفاع، تعریف کرده و نشان داده شد که متغیر مدل ساختمان یکی از مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار بر بار گرمایشی و سرمایشی ساختمان‌ها به‌طور هم‌زمان است.

۳ مواد و روش‌ها

پیش‌تر در مقدمه دیدیم که محققان زیادی در سال‌های اخیر به دنبال راهکارهایی برای صرفه‌جویی در مصرف انرژی ساختمان‌ها بوده‌اند

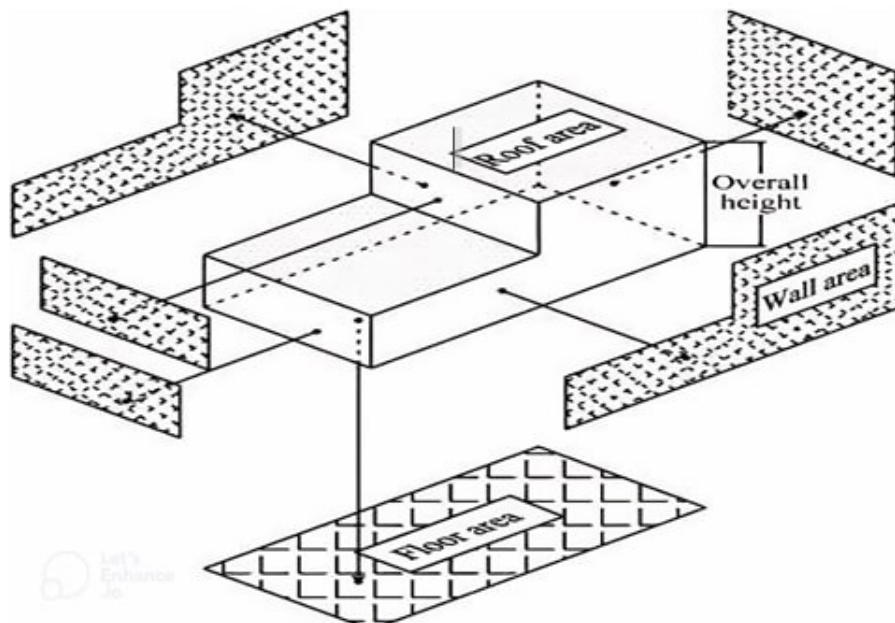
. [۲۵]



شکل ۱. اشکال ساختمان با فشردگی نسبی متفاوت [۱۴].

جدول ۱. متغیرهای ورودی و خروجی، واحد اندازه‌گیری

متغیرها	توصیف متغیرها (واحد)
X _۱	فشردگی نسبی <i>Relative Compactness – No units</i>
X _۲	مساحت سطح <i>Surface Area – m^۲</i>
X _۳	مساحت دیوار <i>Wall Area – m^۲</i>
X _۴	مساحت سقف <i>Roof Area – m^۲</i>
X _۵	ارتفاع کلی <i>Overall Height – m</i>
X _۶	جهت <i>Orientation – ۲: North, ۳: East, ۴: South, ۵: West – No units</i>
X _۷	مساحت شیشه <i>Glazing Area – ۰%, ۱۰%, ۲۵%, ۴۰% (of floor area) – No units</i>
X _۸	توزیع مساحت شیشه <i>Glazing Area Distribution – ۱: Unknown, ۲: Uniform, ۳: North, ۴: East, ۵: South, ۶: West</i>
Y _۱	بار گرمایشی <i>Cooling Load – kWh/m^۲</i>
Y _۲	بار سرمایشی <i>Cooling Load – kWh/m^۲</i>



شکل ۲. تعریف عمومی مناطق ساختمانی [۸]

که $(\beta = (\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_8), \gamma = (\gamma_1, \gamma_2, \dots, \gamma_8))$ بردار پارامترهای مدل رگرسیونی است همچنین β_0 و γ_0 عرض از مبدأهای مدل رگرسیونی هستند و ϵ_{i1} و ϵ_{i2} خطاهای مدل به صورت

$$(\epsilon_{i1}, \epsilon_{i2}) \stackrel{iid}{\sim} \mathcal{N}(0, \Sigma_{\epsilon_{i1}, \epsilon_{i2}})$$

هستند که $\Sigma_{\epsilon} = \begin{pmatrix} \sigma_1^2 & \rho\sigma_1\sigma_2 \\ \rho\sigma_1\sigma_2 & \sigma_2^2 \end{pmatrix}$ انحراف معیار متغیر پاسخ اول و σ_2 انحراف معیار متغیر پاسخ دوم است، ρ ضریب همبستگی بین دو متغیر است. برای تخمین پارامترهای مدل، از روش برآورد ماکسیمم درستنمایی استفاده شده است.

۵ تحلیل اکتشافی داده‌ها

پیش از تحلیل داده‌ها و بررسی اهداف تحقیق می‌دانیم که گام اولیه پیش‌پردازش داده‌ها است چراکه ممکن است داده‌ها در حالت اولیه خود به صورت خام برای تحلیل مناسب نباشند؛ اما چون داده‌های استفاده شده در این پژوهش شبیه‌سازی شده‌اند نیاز به بررسی داده‌های گمشده و پرت نبود. جدول ۲، آمار توصیفی متغیرهای پیوسته و جدول ۳، فراوانی متغیرهای رسته‌ای را نشان می‌دهد.

موضوعات مهمی در این پژوهش برای محققان علوم مهندسی مطرح است که پاسخ به آن‌ها هدف اصلی این مقاله است.

۱. عوامل مؤثر به‌طور هم‌زمان بر بار گرمایشی و سرمایشی ساختمان چیست؟

۲. میزان ارتباط بین بار گرمایشی و سرمایشی ساختمان به چه صورتی است؟

۳. مهم‌ترین عامل و ضعیف‌ترین عامل به‌طور هم‌زمان بر روی بار گرمایشی و سرمایشی ساختمان چیست؟

۴ معرفی مدل رگرسیون هم‌زمان

فرض کنید $Y_i = (Y_{i1}, Y_{i2})$ نشان‌دهنده‌ی بردار پاسخ‌های مربوط به بار گرمایشی و بار سرمایشی برای ساختمان i ام هستند؛ که بین‌شان یک رابطه دوطرفه به عبارتی همبستگی بالایی وجود دارد. فرض می‌شود که پاسخ‌ها از توزیع چندمتغیره نرمال پیروی می‌کنند. همچنین $X_i = (X_{i1}, X_{i2}, X_{i3}, X_{i4}, X_{i5}, X_{i6}, X_{i7}, X_{i8})$ نشان‌دهنده‌ی سطر i ام ماتریس متغیرهای کمکی مؤثر بر بردار پاسخ‌های پیوسته مربوط به بار گرمایشی و بار سرمایشی i ام است. برای تحلیل هم‌زمان پاسخ‌های پیوسته، مدل به صورت زیر معرفی می‌شود

$$Y_{i1} = \beta_0 + X'_i \beta + \epsilon_{i1}$$

$$Y_{i2} = \gamma_0 + X'_i \gamma + \epsilon_{i2}$$

جدول ۲. جدول آمار توصیفی متغیرهای پیوسته

متغیرها	مینیمم	چارک اول	میانه	میانگین	چارک سوم	ماکسیمم
فشردگی نسبی	۰/۶۲	۰/۶۸۲	۰/۷۵	۰/۷۶۴	۰/۸۳	۰/۹۸
مساحت سطح	۵۱۴/۵	۶۰۶/۴	۶۳۷/۸	۶۷۱/۷	۷۴۱/۱	۸۰۸/۵
مساحت دیوار	۲۴۵	۲۹۴	۳۱۸/۵	۳۱۸/۵	۳۴۳	۴۱۶/۵
مساحت سقف	۱۱۰/۲	۱۴۰/۹	۱۸۳/۸	۱۷۶/۶	۲۲۰/۵	۲۲۰/۵
ارتفاع کلی	۵/۳	۵/۳	۵/۲۵	۵/۲۵	۷	۷
بار گرمایشی	۶/۰۱	۱۲/۹۹	۱۸/۹۵	۲۲/۳۱	۳۱/۶۷	۴۳/۱۰
بار سرمایشی	۱۰/۹	۱۵/۶۲	۲۲/۰۸	۲۴/۵۹	۳۳/۱۳	۴۸/۰۳

جدول ۳. جدول فراوانی متغیرهای رسته‌ای

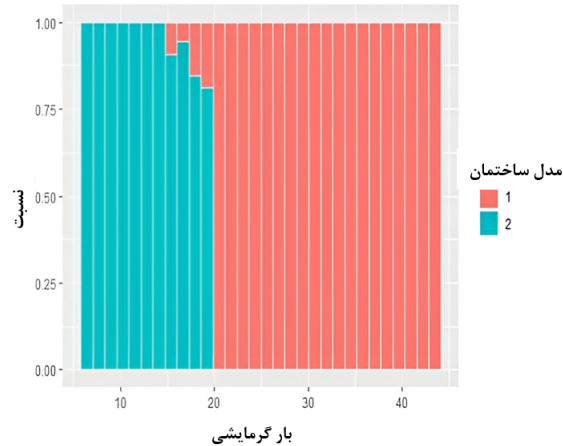
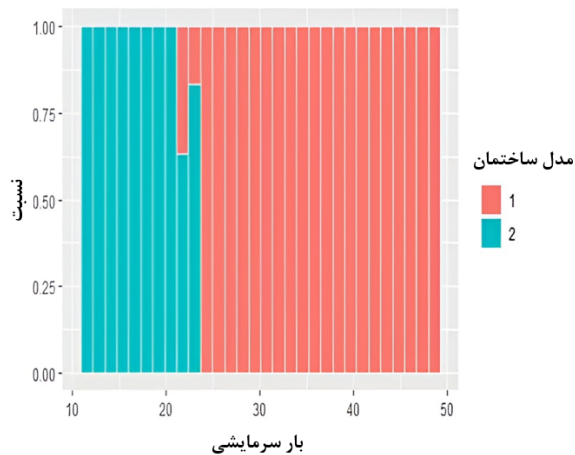
مدل ساختمان	جهت‌گیری	توزیع مساحت شیشه	مساحت شیشه
مدل ۱: ۲۸۴	شمال: ۱۹۲	نامشخص: ۴۸	۴۸: %۰
مدل ۲: ۲۸۴	شرق: ۱۹۲	یکنواخت: ۱۴۴	۲۴۰: %۱۰
	جنوب: ۱۹۲	شمال: ۱۴۴	۲۴۰: %۲۵
	غرب: ۱۹۲	شرق: ۱۴۴	۲۴۰: %۴۰
		جنوب: ۱۴۴	
		غرب: ۱۴۴	

که ساختمان‌های مدل ۱ هم بار سرمایشی و هم بار گرمایشی بیشتری نسبت به ساختمان‌های مدل ۲ دارند بدین معنی که به ساختمان‌های مدل ۱ مقدار انرژی گرمایی‌ای که باید اضافه شود تا دما در محدوده قابل قبولی حفظ شود، بیشتر است و همچنین مقدار انرژی گرمایی‌ای که باید از فضای این ساختمان‌ها حذف شود تا دما در محدوده قابل قبولی حفظ شود بیشتر است. می‌دانیم که متغیر مساحت شیشه با بار گرمایشی و سرمایشی ساختمان‌ها رابطه‌ی مستقیم دارد (شکل ۵). همچنین شکل ۵ نشان می‌دهد که ساختمان‌های مدل ۱ حتی با کمترین نرخ مساحت شیشه یعنی ۱۰ درصد مساحت کف ساختمان، همواره بار گرمایشی و بار سرمایشی بیشتری از ساختمان‌های مدل ۲ بالاترین نرخ مساحت شیشه یعنی ۴۰ درصد مساحت کف را دارند. شکل ۶ نشان می‌دهد که توزیع مساحت شیشه تنها در حالتی که به صورت یکنواخت یعنی ۲۵٪ در هر طرف ساختمان در نظر گرفته شده باشد بار گرمایشی و سرمایشی را کاهش می‌دهد. می‌دانیم که مساحت دیوار با بار گرمایشی و سرمایشی ساختمان‌ها رابطه‌ی مستقیم دارد (شکل ۷). شکل ۷ نشان می‌دهد که تأثیر مساحت دیوار بر تغییرات گرمایشی و سرمایشی ساختمان‌های مدل ۱ بیشتر از ساختمان‌های مدل ۲ شده است. پس مساحت دیوار یکی از ویژگی‌های مهم در کاهش بار

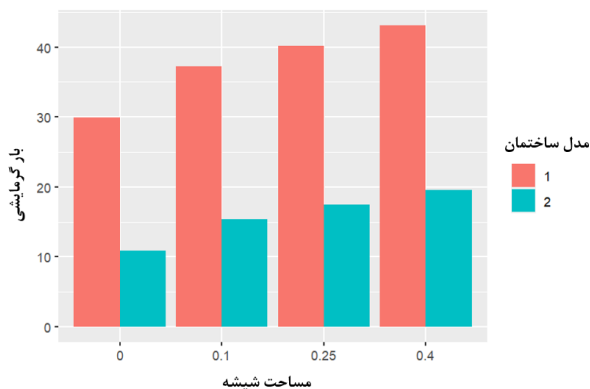
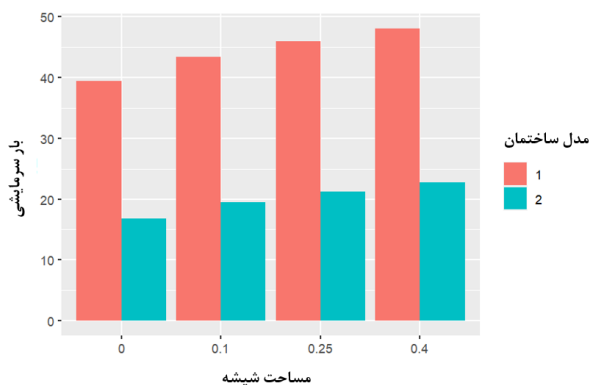
در بخش اول مطالعه از روش‌های تحلیل اکتشافی داده‌ها برای بررسی عوامل مؤثر بر بار گرمایشی و بار سرمایشی ساختمان‌ها استفاده شده است و هم‌زمان عامل جدیدی باهدف تحلیلی بررسی تأثیر شکل ساختمان بر بار گرمایشی و بار سرمایشی تعریف کرده‌ایم. این عامل را با توجه به ماهیت داده‌ها به دلخواه بر اساس سایر متغیرهای مساحت سطح، مساحت سقف، ارتفاع کلی و فشردگی نسبی ساختمان تعریف کردیم. لذا عاملی به نام مدل ساختمان (type) تعریف کردیم که مقادیر ۱ و ۲ می‌گیرد. مقدار ۱ مربوط به ساختمان‌های مدل ۱ با مساحت سطح بین ۵۰۰-۶۷۰، مساحت سقف ۱۰۰-۱۵۰، ارتفاع ۷ و فشردگی نسبی ۰/۷۶-۰/۹۸ و مقدار ۲ مربوط به ساختمان‌های مدل ۲ با مساحت سطح ۶۸۰-۸۲۰، مساحت سقف ۲۰۰-۲۲۰، ارتفاع ۳/۵ و فشردگی نسبی ۰/۶-۰/۷۵ است که بر اساس دسته‌بندی صورت گرفته، برای هر دو مدل ساختمان، ۳۸۴ نمونه داریم که در مجموع ۷۶۸ ساختمان را تشکیل می‌دهند. از پکیج ggplot2 در نرم‌افزار R برای مصورسازی و تحلیل اکتشافی داده‌ها استفاده شده است. از تحلیل اکتشافی داده‌ها برای شناسایی متغیرهای مناسب برای ورود به مدل استفاده می‌شود. نمودار بافت‌نگار بار گرمایشی و بار سرمایشی ساختمان بر اساس عامل تعریف شده جدید مدل ساختمان رسم شده است شکل ۴ نشان می‌دهد

شکل ۹ نشان می‌دهد که با افزایش مساحت سطح و مساحت سقف و کاهش مساحت دیوار می‌توان بار گرمایشی و سرمایشی ساختمان‌ها را کاهش داد.

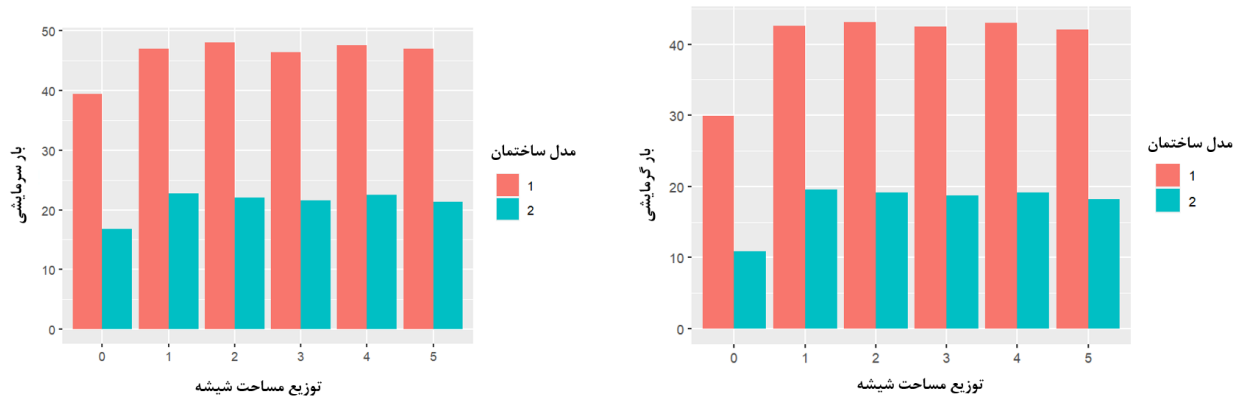
گرمایشی و سرمایشی ساختمان‌های مدل ۱ است. در این مطالعه متغیر جهت‌گیری ساختمان بر بار گرمایشی و سرمایشی ساختمان‌ها تأثیری نگذاشته است (شکل ۸).



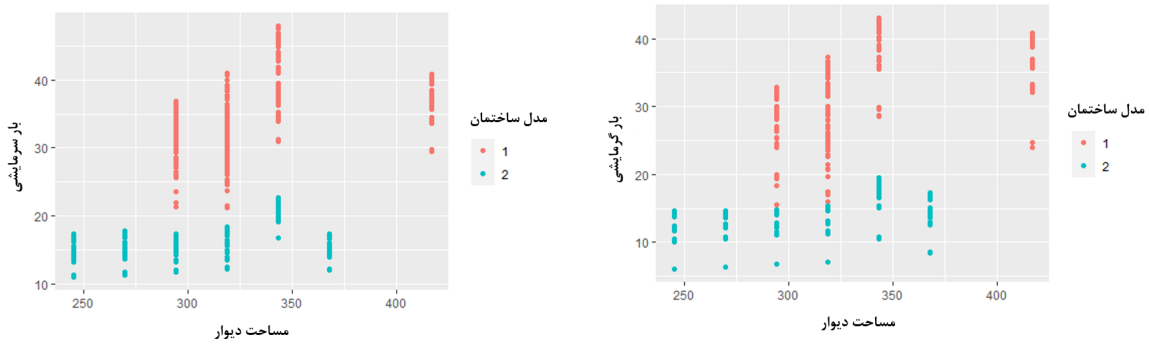
شکل ۴. نمودار بافت‌نگار بار گرمایشی و سرمایشی ساختمان بر اساس متغیر مدل ساختمان



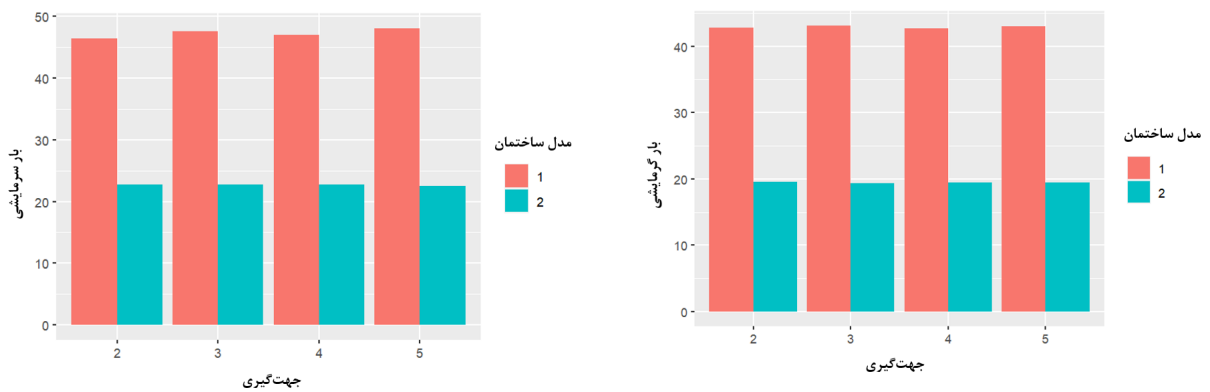
شکل ۵. نمودار بافت‌نگار بار گرمایشی و سرمایشی ساختمان بر اساس متغیر مساحت شیشه



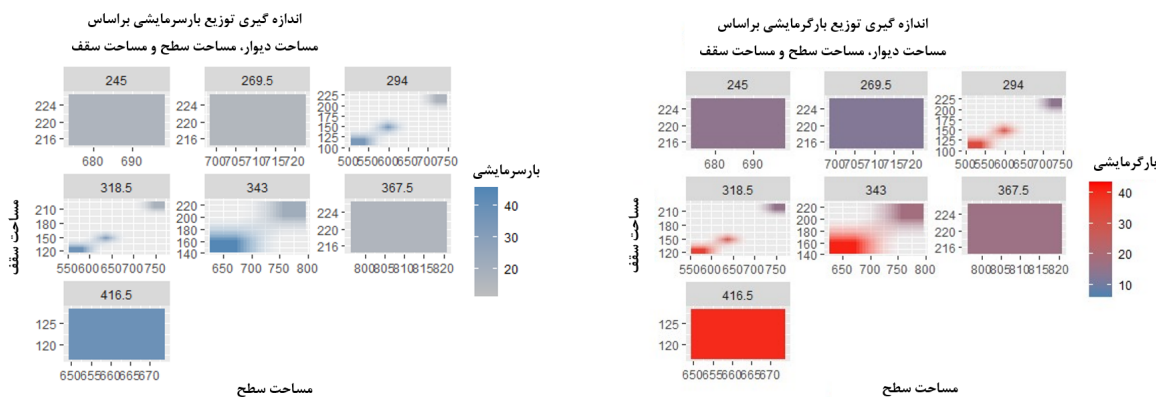
شکل ۶. نمودار بافت‌نگار بار گرمایشی و سرمایشی ساختمان بر اساس متغیر توزیع مساحت شیشه



شکل ۷. نمودار پراکنش بار گرمایشی و سرمایشی ساختمان بر اساس متغیر مساحت دیوار



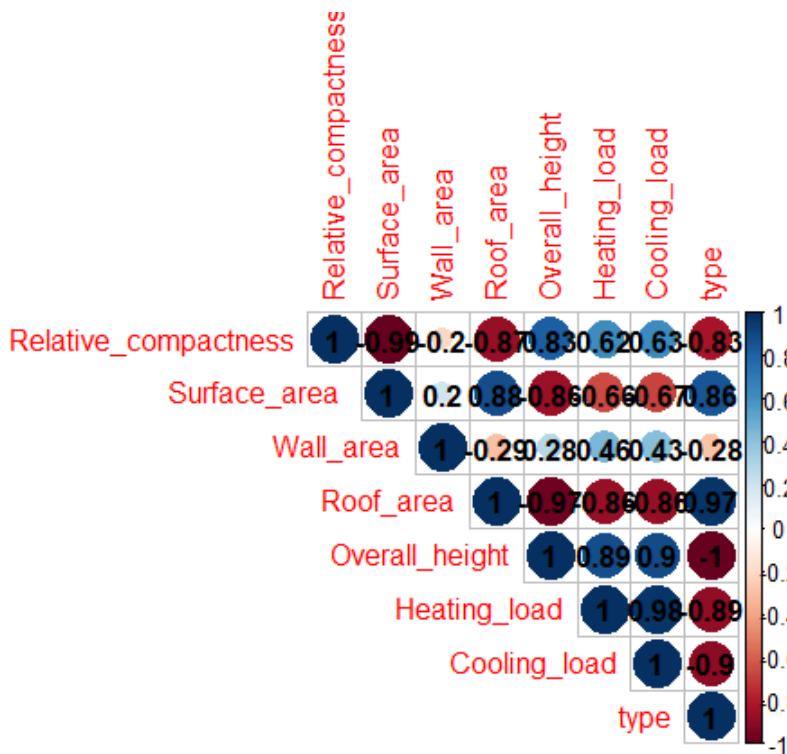
شکل ۸. نمودار بافت‌نگار بار گرمایشی و سرمایشی ساختمان بر اساس متغیر جهت‌گیری ساختمان



شکل ۹. نمودار اندازه‌گیری بار سرمایشی و گرمایشی ساختمان بر اساس متغیرهای مساحت سطح، سقف و دیوار

۶ برآزش مدل رگرسیونی هم‌زمان

شکل ۱۰ نمودار همبستگی متغیرها را نشان می‌دهد که بین متغیرهای پاسخ همبستگی بالایی وجود دارد و آن‌ها را در یک خوشه قرار داده است. این نشان‌دهنده‌ی ارتباط دوطرفه بین متغیرهای پاسخ است. همچنین همبستگی بالایی بین متغیرهای فشرده‌ی نسبی، مساحت سطح، مساحت سقف، ارتفاع کلی و عامل مدل ساختمان (type) وجود دارد که برای جلوگیری از هم خطی یکی از آن‌ها که بیشترین همبستگی را با متغیرهای پاسخمان دارد وارد مدل می‌کنیم. پس عامل (type) با ضریب همبستگی حدوداً ۰/۹- با متغیرهای پاسخمان را وارد مدل می‌کنیم. متغیر مساحت دیوار با سایر متغیرهای تبیینی همبستگی زیادی ندارد ولی با متغیرهای پاسخمان همبستگی دارد. پیش‌تر در بخش ۵ (تحلیل اکتشافی داده‌ها) پی به ارتباط مساحت دیوار و بار سرمایشی و گرمایشی بردیم. همچنین ارتباط بین مساحت شیشه و بار گرمایشی و سرمایشی نیز مشخص شد. پس هر سه متغیر مساحت دیوار، مساحت شیشه و مدل ساختمان (type) را وارد مدل رگرسیونی می‌کنیم.



شکل ۱۰. نمودار همبستگی

است و در نتیجه مدل رگرسیون هم‌زمان، مدل مناسب معرفی شده است. مانده‌های پیرونی مطابق با رابطه (۱) برای مدل رگرسیونی هم‌زمان محاسبه و بررسی شد که مانده‌ها در بازه (۳، -۳) قرار گرفته‌اند و نیکویی برازش مدل رخ داده است

$$r_i^p = \Sigma^{-1/2}(Y_i - \hat{\mu}_i), \quad (1)$$

$$\text{که } \Sigma^{-1/2} = \begin{pmatrix} \hat{\sigma}_1^2 & \hat{\rho}\hat{\sigma}_1\hat{\sigma}_2 \\ \hat{\rho}\hat{\sigma}_1\hat{\sigma}_2 & \hat{\sigma}_2^2 \end{pmatrix}^{-1/2} \text{ و } \hat{\mu}_i = \{E(Y_i)\} [9].$$

نتایج در جدول ۴ آورده شده است. مدل ساختمان، مساحت شیشه و مساحت دیوار به‌عنوان مهم‌ترین عوامل مؤثر به‌طور هم‌زمان بر بار گرمایشی و سرمایشی ساختمان‌ها شناسایی شدند. ضریب همبستگی بین بار گرمایشی و سرمایشی ساختمان‌ها نیز معنی‌دار است. مدل رگرسیون هم‌زمان به‌خوبی توانست عوامل مؤثر به‌طور هم‌زمان بر بار گرمایشی و سرمایشی ساختمان‌ها را شناسایی کند.

مدل رگرسیونی هم‌زمان با فرض همگونی واریانس را با سه متغیر کمکی مساحت دیوار، مساحت شیشه و مدل ساختمان (type) با استفاده از پکیج stats در نرم‌افزار R برازش دادیم. مقدار معیار اطلاع آکائیکه (AIC) برای مدل رگرسیون جدا از هم (جداگانه در نظر گرفتن پاسخ‌ها، بدون فرض همبستگی پاسخ‌ها) برابر با ۱۰۰۱۵/۶۳ و برای مدل رگرسیون هم‌زمان برابر با ۸۲۴۵/۵۳۲ به دست آورده شد که مدل دارای AIC کمتر، مدل بهتری است [۲]. همچنین برای انجام آزمون فرضیه و نیکویی برازش مدل از آماره انحراف (D) استفاده شده است، $D = 2(\hat{l}_1 - \hat{l}_2)$ که \hat{l}_1 تابع درستنمایی مدل اول و \hat{l}_2 تابع درستنمایی مدل دوم است.

مقدار D برابر با ۱۷۷۲/۱ به دست آورده شده است که در مقایسه با توزیع کای‌دو با پارامترهای ۱ و ۰/۰۵ معادل ۰/۰۰۴ منجر به رد فرض صفر یعنی رد برتری مدل جدا از هم نسبت به مدل هم‌زمان شده

جدول ۴. جدول نتایج حاصل از دو مدل برازش داده‌شده به داده‌ها

مدل	مدل رگرسیون جدا از هم		مدل رگرسیون هم‌زمان با فرض همگونی واریانس	
	خطای استاندارد	برآورد	خطای استاندارد	برآورد
پارامتر				
عرض از مبدأ برای پاسخ اول	۳۳۹۶۱	۱۹۲۹	۳۳۹۶۱	۱/۷۶۹
مدل ساختمان (type) برای پاسخ اول	-۱۶/۶۷۱	۰/۴۳۸	-۱۶/۶۷۱	۰/۴۰۱
مساحت دیوار برای پاسخ اول	۰/۰۵۱	۰/۰۰۵	۰/۰۵۱	۰/۰۰۴
مساحت شیشه ۱۰ درصد برای پاسخ اول	-۱۱/۱۲۵	۰/۹۲	-۱۱/۱۲۵	۰/۸۴۴
مساحت شیشه ۲۵ درصد برای پاسخ اول	-۵/۰۵۴	۰/۵۳۱	-۵/۰۵۴	۰/۴۸۷
مساحت شیشه ۴۰ درصد برای پاسخ اول	-۲/۶۵۵	۰/۵۳۱	-۲/۶۵۵	۰/۴۸۷
انحراف معیار برای پاسخ اول	۵۳۴۲	۰/۴۹۸	۵۳۴۲	۰/۴۴۲
عرض از مبدأ برای پاسخ دوم	۳۷/۷۰۵	۲/۷۴۲	۳۷/۷۰۵	۲/۰۱۲
مدل ساختمان (type) برای پاسخ دوم	-۱۶/۰۱۶	۰/۴۹۵	-۱۶/۰۱۶	۰/۴۵۶
مساحت دیوار برای پاسخ دوم	۰/۰۴۱	۰/۰۰۶	۰/۰۴۱	۰/۰۰۵
مساحت شیشه ۱۰ درصد پاسخ دوم	-۷/۲۰۵	۱/۰۸	-۷/۲۰۵	۰/۹۶
مساحت شیشه ۲۵ درصد پاسخ دوم	-۳/۹۷۵	۰/۶۶۴	-۳/۹۷۵	۰/۵۵۴
مساحت شیشه ۴۰ درصد پاسخ دوم	-۲/۰۱۸	۰/۶۶۴	-۲/۰۱۸	۰/۵۵۴
انحراف معیار برای پاسخ دوم	۶/۰۷۳	۰/۶۵	۶/۰۷۳	۰/۵
ضریب همبستگی بین دو پاسخ	-	-	۰/۹۵	۰/۰۰۷

۷ بحث و نتیجه‌گیری

اثبات برتری مدل رگرسیون هم‌زمان نسبت به مدل رگرسیون جدا از هم استفاده شد. مدل رگرسیون جدا از هم یا همان جداگانه در نظر گرفتن پاسخ‌ها بدون فرض همبستگی بین آن‌ها ممکن است باعث معنی‌دار نشدن یکسری از عوامل مؤثر بر پاسخ‌ها شود به همین دلیل مدل رگرسیون هم‌زمان به‌عنوان راه‌حلی مناسب برای شناسایی عوامل مؤثر به‌طور هم‌زمان معرفی شده است. برای مطالعات آتی، مدل ارائه‌شده در این مقاله برای تحلیل پاسخ‌های چندمتغیره نرمال آمیخته قابل‌تعمیم است.

در این مقاله به معرفی مدل رگرسیون هم‌زمان برای تحلیل پاسخ‌های چندمتغیره نرمال پرداختیم. در این مدل فرض شد که پاسخ‌ها از توزیع نرمال چندمتغیره پیروی می‌کنند. نتایج نشان داد که مدل رگرسیون هم‌زمان به‌خوبی توانست عوامل مؤثر (مدل ساختمان، مساحت شیشه و مساحت دیوار) به‌طور هم‌زمان بر بار گرمایشی و سرمایشی ساختمان‌ها را شناسایی کند. همچنین از معیارهای اطلاع آکائیکه و انحراف برای

مراجع

- [۱] عظمتی، ع. حسینی، ح. (۱۳۹۲). بررسی تأثیر جهت‌گیری ساختمان‌های آموزشی بر بارهای حرارتی و برودتی در اقلیم‌های مختلف. علوم و تکنولوژی محیط‌زیست، (۲) ۱۵، ۱۴۷-۱۵۷.
- [2] Akaike, H. (1974). A New Look at the Statistical Model Identification. *IEEE Transactions on Automatic Control*, **19**, 716-723.
- [3] Arıcı, M. and Karabay, H. (2015). Flow and heat transfer in double, triple and quadruple pane windows, *Energy and Buildings*, **86**, 394-402.
- [4] Baniassadi A., Heusinger J. and Sailor D. J. (2018). Building energy savings potential of a hybrid roofing system involving high albedo, moisture retaining foam materials. *Energy and Buildings*, **169**, 283-294.
- [5] Borna R., Jafari N. and Asadian F. (2020). Simulation the Arcitutral Charhacteristic Effect in Increasing the Cooling Needs of Tehran. *Journal of Applied researches in Geographical Sciences*, **20(57)**, 187-204.
- [6] Cuce E. and Riffat S.B. (2015). A state-of-the-art review on innovative glazing technologies, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **41**, 695-714.
- [7] Cuevas C., Fissore A. and Fonseca N. (2010). Natural convection at an indoor glazing surface with different window blinds, *Energy & Buildings*, **42(10)**, 1685-1691.
- [8] CHOU, J.S. and BUI, D.K. (2014). Modeling Heating and Cooling Loads by Artificial Intelligence for Energy-Efficient Building Design. *Energy and Buildings*, **82**, 437-446.
- [9] Cordeiro, G.M. and Simas, A.B. (2009). The distribution of Pearson residuals in generalized linear models, *Computational Statistics & Data Analysis*, **53(9)**, 3397-3411.
- [10] Granqvist C.G. (2014). Electrochromics for smart windows: Oxide-based thin films and devices, *Thin Solid Films*, **564**, 1-38.
- [11] Hajtmanek, R., Morgenstein, P., Hubinský, T., Legény, J., and Špaček, R. (2023). Determination of Solar-Surface-Area-to-Volume Ratio: Early Design Stage Solar Performance Assessment of Buildings. *In Buildings*, **13(2)**, 296.

- [12] Hee, W. J., Alghoul, M. A., Bakhtyar, B., Elayeb, O., Shameri, M. A., Alrubaih, M. S., and Sopian, K. (2015). The role of window glazing on daylighting and energy saving in buildings. *In Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **42**, 323–343.
- [13] Kistelegdi, I., Horváth, K. R., Storcz, T., and Ercsey, Z. (2022). Building Geometry as a Variable in Energy, Comfort, and Environmental Design Optimization—A Review from the Perspective of Architects. *In Buildings*, **12(1)**, 69.
- [14] Le, L.T., Nguyen, H., Zhou, J., Dou, J., and Moayedi, H. (2019). Estimating the heating load of buildings for smart city planning using a novel artificial intelligence technique PSO-XGBoost. *Appl. Sci*, **9**, 2714.
- [15] Mahdavi, A., Brahme, R., and Mathew, P. (1996). The “LEK”-concept and its applicability for the energy analysis of commercial buildings. *In Building and Environment*, **31(5)**, 409–415.
- [16] Miskinis K, Dikavicius V, Bliudzius R, and Banionis K. (2015). Comparison of sound insulation of windows with double glass units, *Applied Acoustics*, **92**, 42–46.
- [17] Nasrollahi, F. (2015). Office buildings energy efficient: energy efficiency with the architectural design, Berlin University, Germany.
- [18] Oleskiewicz-popiel C, and Sobczak M. (2014). Effect of the roller blinds on heat losses through a double-glazing window during heating season in Central Europe, *Energy & Buildings*, **73**, 48–58.
- [19] Radu Z., Guillaume R., Camille J and Jean B. (2009). Estimation of heating energy use of existing house in future climate.
- [20] R. Rashidifar, and F. F Chen. (2020). ‘Estimation of Energy Performance of Buildings Using Machine Learning Tools’, *IISE Annual Conference*.
- [21] Said, S. (1992). Degree -day bas Temperature for Residential Building Energy Prediction in Saudi Arabia, *ASHRA Transactions*, **98(1)**, 53-346.
- [22] Shareef, S. (2021). The impact of urban morphology and building’s height diversity on energy consumption at urban scale, The case study of Dubai. *Building and Environment*, **194**, 107675.
- [23] Soule P.T., and Suckling P.W. (1995). Variation in Heating and Cooling Degree Day in the South- Eastern USA, 1960-1989, *International Journal of Climatology*, **15(4)**, 355-367.
- [24] This dataset is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0) license. <https://archive.ics.uci.edu/dataset/242/energy+efficiency>.
- [25] Tsanas, A. Xifara. (2012). ‘Accurate quantitative estimation of energy performance of residential buildings using statistical machine learning tools’, *Energy and Buildings*, **49**, 560-567.
- [26] Wibing J. (2002). Heating and Cooling Degree Days Variability in LODZ in the Period, 1931 -2000, *Clim. Res*, **20**, 123 -130.
- [27] Ying, X., and Li, W. (2020). Effect of Floor Shape Optimization on Energy Consumption for U-Shaped Office Buildings in the Hot-Summer and Cold-Winter Area of China. *In Sustainability*, **12(5)**, 2079.

Analysis of heating and cooling data of buildings and investigation of the influencing factors using a joint regression model

Kiyana Javidi Anaraki¹, Ehsan Bahrami Samani² and Saeed Azemati³

Abstract:

Given the limited energy resources globally, energy optimization is crucial. A large part of this energy is consumed by buildings. The aim of the research is to discover the effective factors simultaneously on the heating and cooling of buildings. Research has been done on 768 residential buildings simulated with Ecotect software. This dataset is available under the title of "Energy Efficiency Data" on the machine learning repository website of the University of California, which has been used in this article. Joint regression models and exploratory data analysis methods were used to identify the influencing factors of the heating and cooling of buildings. Based on variables such as relative compactness, overall height, surface area, and roof of the buildings, a new factor called "type1" was introduced and shown to be one of the most important factors affecting the heating and cooling of buildings. In the joint regression model, it is assumed that the responses follow a multivariate normal distribution. Then, this model is compared with separate regression models (without assuming responses correlation) using Akaike's information criterion and deviance criterion, which point to the superiority of the joint regression model.

Keywords: joint regression model, exploratory data analysis, building energy performance, building shape.

¹Master student, Mathematical Statistics, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

²Associate Professor, Department of Statistics, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

³Assistant Professor, Department of Architecture, East Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran