

تحلیل مصرف و تقاضای انرژی در ساختمان و بررسی پارامترهای طراحی از طریق شبیه‌سازی

دکتر مرتضی محمدی اردهالی، دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی تکنیک تهران)،
مرکز تحقیقات انرژی آیوا- آمریکا، مهندس محمدرضا فرمد، مهندسی سیستم‌های
انرژی دانشگاه صنعتی خواجه‌نصیرالدین طوسی

چکیده

مدیریت تقاضا و مصرف انرژی در ساختمانها از طریق بررسی دقیق پارامترهای فنی و جغرافیایی میسر می‌گردد. این پارامترها خود تابعی از شرایط محیطی، شرایط کاربری و سیستم‌های کنترلی و مدیریتی هستند. برخی از پارامترها نقش موثرتری نسبت به دیگر پارامترها داشته و اعمال آنها موجب مدیریت بهتر تقاضا و مصرف انرژی می‌گردد. هدف اصلی از این مطالعه، تحلیل و بررسی تاثیر پارامترهای فنی مربوط به جداره‌ها، پنجره‌ها، میزان هوای نفوذی، سیستم گرمایشی و سرمایشی، جهت بنا، کنترل روشنایی فضاهای داخلی و زمانبندی حضور افراد بر تقاضا و مصرف انرژی در یک ساختمان اداری می‌باشد. از آنجا که شرایط اقلیمی نقش به سزائی در تقاضا و مصرف انرژی دارند، در مدل انتخابی شرایط حاکم در ایران لحاظ گردیده است. نتایج بدست آمده حاکی از آنستکه عدم کنترل روشنایی، عایقکاری نامناسب جداره‌ها، تک جداره بودن پنجره‌ها و میزان بیش از حد هوای نفوذی موجب بترتیب ۵۲/۴، ۳۲/۵، ۱۴/۰ و ۱۸/۲ درصد افزایش در مصرف و ۲۶/۸، ۳۰/۹، ۲۰/۳ و ۳۴/۸ درصد افزایش در تقاضا می‌گردد و همواره بیش از سایر پارامترها خود را آشکار می‌سازند. از طرفی نتایج شبیه سازی نشان می‌دهد مشاهده گردید که پارامترهایی نظیر جهت ساختمان و اندازه پنجره‌ها نیز با اثر متقابل بر روی یکدیگر و دیگر پارامترهای طراحی، موجب تغییرات بیشتری در تقاضای انرژی می‌شوند.

واژه‌های کلیدی: انرژی، تقاضا، مصرف، کنترل، کارایی

۱- مقدمه

ساختمانهای اداری عموماً دارای ساعات کاری منظم بوده و در سایر اوقات اغلب بدون استفاده هستند. بنابراین ایجاد و حفظ شرایط مطلوب از نظر روشنایی و تهویه هوا در این ساعات در برگیرنده هزینه‌های اضافی می‌باشد. در کشورهای گوناگون ساعات کاری، نوع ساختمانها از نظر مصالح، طول عمر، شکل ظاهری و نوع کاربری و غیره تا حدودی متفاوت هستند. در اکثر مطالعات و بررسی‌های انجام شده، ابتدا ساختمانها با توجه به نوع کاربری و پارامترهای دیگر تقسیم‌بندی شده، و سپس از لحاظ مصرف انرژی بررسی شده‌اند. برای نمونه، در مطالعه Yu and Chow (2001) که در آن به بررسی مصرف انرژی در ساختمانهای تجاری پرداخته شده است ۲۰ ساختمان مورد مطالعه از میان ساختمانهای تجاری هنگ کنگ در هفت گروه و برحسب معماری ظاهری تقسیم بندی و سپس شبیه‌سازی شده‌اند.

در ممیزی انرژی عموماً پارامترهای فنی، جغرافیایی، اقتصادی و از طرفی ملاحظات مربوط به تامین شرایط آسایشی، مورد بررسی قرار می‌گیرند. پارامترهای فنی و جغرافیایی از قبیل آب و هوا، نوع سیستم تولید کننده گرما و سرما، زمانبندی رفت و آمدها، میزان بهره‌گیری از انرژی خورشیدی، وضعیت جداره‌های ساختمان، وضعیت پنجره‌ها، میزان نور طبیعی دریافتی، اثر سایه درختان (Akbari et al., 1997)، دماهای داخل و خارج و غیره هستند. پارامترهای دیگر مرتبط با مصرف و تقاضای انرژی الکتریکی شامل سیستم نورپردازی، کنترل و دینامیک سیستمهای سرمایشی و گرمایشی (Ardehali et al., 2004; and Smith, 1997)، موتورها، کمپرسورها، گرمکنها، تجهیزات اداری (کامپیوترها، چاپگرها و مانند اینها) و غیره می‌باشند. این پارامترها نیز خود، اغلب اوقات، معیار گروه‌بندی ساختمانها قرار گرفته‌اند. تاکنون مدلهای بسیار زیادی برای برقراری رابطه میان این پارامترها از یک سو و مصرف انرژی از سوی دیگر بکار گرفته شده‌اند، برای مثال، در مطالعه مصرف انرژی دبیرستانهای یک ایالت مرکزی ایتالیا علاوه بر گروه بندی فوق نوع استفاده از ساختمان و نوع سوخت مصرفی ساختمان نیز مبنای گروه بندی قرار گرفته است (Derideri and Proietti, 2002). در آن مطالعه نرخ ورود هوای تازه، دما، رطوبت، میانگین دمای دیوارها و سطح روشنایی بعنوان پارامترهای موثر بر شرایط آسایشی تعیین شده‌اند. در مطالعه‌ای دیگر، پارامترهای سیستمهای کنترل که موثر بر کارایی تقاضا و مصرف انرژی می‌باشند توسط Ardehali et al., (2003) در بیش از ۱۵۰ ساختمان در آمریکا مورد تحلیل قرار گرفته است.

اندازه‌گیری‌ها، نمایش داده‌ها، مدلسازی‌ها و شبیه‌سازی‌های انجام گرفته براساس پارامترهای طراحی از چند جهت سودمند بوده‌اند، اولاً بهبود کارایی انرژی در ساختمان مورد مطالعه، ثانیاً، آموزش افراد مرتبط با آن ساختمان برای بهبود کارایی انرژی (Derideri and Proietti, 2002) و ثالثاً اینکه با استفاده از روابط و نتایج حاصله می‌توان تا حدودی به قضاوت در مورد ساختمانهای مشابه نیز پرداخت (Deng

(and Burnett, 2002). تکنیک‌های قدیمی‌تری که برای تحلیل گرمایش و سرمایش ساختمان در تحقیقات و مطالعات دیگر به آنها اشاره شده است عبارتند از: روشهای آماری (مدلهای خطی، Autoregressive Moving-Average و Exponential Weighted Moving-Average) و مدل‌های بر مبنای سری‌های زمانی و همچنین تکنیکهای جدیدتر عبارتند از: روشهای غیرخطی سری فوریه، شبکه‌های چند جمله‌ای، شبکه‌های عصبی مصنوعی با تحلیل Wavelet (Dhar and Reddy et al., 1998; Olofsson and Andersson et al., 1998) و روش EDA¹ (Akbari et al., 1998) و غیره.

در بخش بعدی در این مقاله الگوریتم مورد استفاده در این مطالعه ارائه می‌شود. شرح کامل مشخصات هندسی و پارامترهای در نظر گرفته شده در مدل ساختمان اداری در بخش سوم مطرح می‌گردد. بخش چهارم به بررسی پارامترهای در نظر گرفته شده جهت مطالعه و آشکارسازی آثار آنها در مصرف و تقاضای انرژی ساختمان مدلسازی شده می‌پردازد و نهایتاً نتایج و پیشنهادات در بخش پنجم ارائه شده است.

۲- الگوریتم شبیه‌سازی و آشکارسازی آثار پارامترهای طراحی

دستیابی به هدف آشکارسازی آثار پارامترهای طراحی مورد نظر در مصرف و تقاضای انرژی از طریق شبیه‌سازی مصرف و تقاضای انرژی در یک ساختمان نمونه با مشخصات عمومی که در بخش سوم به آنها پرداخته می‌شود میسر گردیده است.

ابتدا مصرف و تقاضای انرژی در ساختمان نمونه اداری تحت شرایط «ایده‌ال» شبیه‌سازی می‌گردد. در شرایط «ایده‌ال»، مقادیر پارامترهای طراحی موجب بیشترین کاهش در تقاضا و مصرف انرژی می‌شوند. بر اساس نتایج بدست آمده از شبیه‌سازی، جزئیات مصرف و تقاضای انرژی ماهیانه و منحنیهای مصرف و تقاضا بدست می‌آیند. سپس با ایجاد انحرافات در مقادیر پارامترهای مورد بررسی، منحنیهای مصرف و تقاضای جدید که هر کدام در بر گیرنده شرایط خطای خاصی هستند تهیه می‌گردند.

منحنیهای جدید در کنار منحنیهای مربوط به حالت ایده‌ال بیانگر آثار پارامترهای طراحی بطور منفرد و همچنین آثار جمعی متقابل آنها بر نحوه تغییرات مصرف و تقاضای انرژی ماهیانه ساختمان نمونه اداری در یک سال مورد نظر می‌باشد.

¹ - EDA: End-use Disaggregation Algorithm

۳- مدل ساختمان اداری

همانطور که در مقدمه اشاره شد، در کشورهای مختلف با توجه به اقلیم، معماری و فرهنگ، نوع ساختمانها و کاربری آنها متفاوت است. لذا در مدل ساختمان اداری انتخابی سعی شده است که شرایط حاکم در کشور ایران لحاظ گردد.

مطابق با شکل (۱)، ساختمان مدلسازی شده شامل ۸ واحد ساختمانی و در ۴ طبقه می‌باشد. در هر طبقه ۲ واحد قرار گرفته و هر واحد با مساحت 10×10 متر مربع و ارتفاع ۳ متر در نظر گرفته شده است.

شکل (۱) بخشی از سطوح جداره‌های شمالی و جنوبی ساختمان که شیشه شده است را با هاشور نمایش می‌دهد. یاد آوری می‌شود که درصد سطح شیشه شده در جداره‌های شمالی و جنوبی یکی از پارامترهای مورد مطالعه است. شرایط آب و هوایی مورد استفاده در شبیه‌سازی مربوط به شهر تهران می‌باشد.

برای نزدیکی به واقعیت در مدلسازی این ساختمان در هر واحد ۳ دستگاه کامپیوتر و ۴ نفر کارمند در نظر گرفته شده است. مقدار مصرف انرژی هر کامپیوتر و همچنین گرمای نهان و محسوس هر فرد با در نظر گرفتن شرایط کاری متوسط برای آن فرد در مدل لحاظ می‌شود. همچنین زمان حضور افراد مطابق ساعات رسمی اداری (۸ صبح الی ۱۷ بعد از ظهر) تنظیم می‌گردد.

در ساختمانهای اداری در ایران عمدتاً سیستم فن کویل جهت فراهم کردن شرایط آسایشی مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این شبیه‌سازی، مدل سیستم فن کویل شامل کلیه تجهیزات لازم اعم از چیلر، بویلر، برج خنک‌کن، فن کویلها می‌باشد.

اکنونمایزر^۱ نیز بعنوان سیستمی که با توجه به شرایط خاص می‌تواند با وارد کردن هوای خارج، عملکرد سیستم فن کویل را جهت کاهش تقاضا و مصرف انرژی کاهش دهد، در مدلسازی مورد توجه قرار گرفته است و همانطور که در بخش چهارم شرح داده می‌شود، آثار وجود و عدم استفاده از آن بررسی می‌شود.

در سیستم نورپردازی مصنوعی از لامپهای فلورسنت مطابق استاندارد ASHRAE و میزان توان الکتریکی برای نورپردازی هر واحد $2 \frac{W}{ft^2}$ ، و ضریب بالاست $1/2$ در نظر گرفته می‌شود. سیستم کنترلی با کنترلر خطی پیوسته و پله‌ای با تعداد پله‌های متغیر برای بررسی اثر روشنایی استفاده شده است.

۴- انتخاب پارامترها و محدوده تغییرات آنها و اثر تغییرات آنها بر مصرف و تقاضای انرژی

۴-۱- انتخاب پارامترها و محدوده تغییرات آنها

همانطور که در مقدمه اشاره شد، پارامترهای متعددی در تقاضا و مصرف انرژی در ساختمانها دخیل هستند. در این مطالعه برخی از این پارامترها که انتظار می‌رود آثار عمده‌تری داشته باشند مورد بررسی قرار گرفته‌اند.

¹ -Economizer

در این مطالعه منظور از الگو، مجموعه ای از پارامترهای مورد بررسی است که در حالت‌های «ضعیف»، «متوسط» و «خوب» تنظیم شده‌اند. برای شناسایی این الگوها از علائم اختصاری، بصورت IDEAL و X-YYYY-Z استفاده می‌شود. علامت IDEAL نشان دهنده الگوی حالت ایده‌آل و X-M(Medium), P(Poor) حروف در این علامت، سایر الگوها می‌باشد. در این حالت عمومی YYYYY-Z و G(Good) بترتیب برای حالات «ضعیف»، «متوسط» و «خوب» بجای X قرار گرفته و وضعیت پارامتر مورد مطالعه در آن الگو (YYYY) را مشخص می‌نماید. در هر الگو علامت اختصاری یک پارامتر بجای YYYYY قرار می‌گیرد. جدول (۱) علامت اختصاری پارامترها را نشان می‌دهد. در پایان حالت سایر پارامترها با همان حروفی که بجای X قرار می‌گرفتند در جایگاه Z نمایش داده می‌شوند. بعنوان مثال علامت P-INFL-M یعنی در این الگو پارامتر هوای نفوذی در حالت ضعیف P(Poor) و سایر پارامترها در وضعیت متوسط M(Medium) تنظیم شده‌اند.

جدول (۲) مقادیر مورد نظر برای پارامتر عایقکاری جداره‌ها را در حالت‌های ایده‌آل، متوسط و نامطلوب نشان می‌دهد. در واقع تغییر ضریب انتقال حرارت کلی از جداره نماینده تغییرات پارامتر عایقکاری می‌باشد.

مقادیر پارامتر نوع پنجره از نظر تک جداره یا چند جداره بودن در جدول (۳) ارائه گردیده است و تغییر ضریب انتقال حرارت کلی از پنجره نماینده تعداد جداره‌ها می‌باشد.

پارامتر ابعاد پنجره بصورت درصدی از سطح کل دیوارهای شمالی و جنوبی ساختمان در هر واحد مطابق جدول (۴) تغییر می‌نماید.

در جدول (۵) مقادیر پارامتر هوای نفوذی نشان داده شده است.

سیستم سرمایشی و گرمایشی همانطور که در بخش قبلی توضیح داده شد دارای اکونومایزر بوده و کلیه تجهیزات سیستم فن کویل در حالت ایده‌آل مصرف پایین و کارایی بالایی دارند. در حالت متوسط، افزایش مصرف موتورها و فن‌ها و کاهش کارایی آنها وجود دارد. در حالت ضعیف، علاوه بر افزایش مصرف و کاهش کارایی موتورها و فن‌ها در سیستم، اکونومایزر نیز حذف گردیده است.

پارامتر جهت ساختمان مطابق جدول (۶) تغییر داده شده است.

سیستم کنترل روشنایی مصنوعی ساختمان در حالت‌های مختلف ایده‌آل، متوسط و ضعیف بترتیب با سیستم کنترل خطی پیوسته مطابق نمودار شکل (۲)، سیستم کنترلی پله‌ای با سه پله تغییرات مطابق شکل (۳) و بدون سیستم کنترل در نظر گرفته شده است.

۴-۲- آثار تغییرات پارامترهای موثر در تقاضا و مصرف انرژی

برای شناسایی آثار تغییرات پارامترهای موثر، منحنی‌های شکل‌های (۴) و (۵) ترسیم شده‌اند. این منحنیها بترتیب مصرف و تقاضای انرژی را در حالتی که تنها یک پارامتر در حالت ضعیف در سیستم منظور شده باشد نشان می‌دهند.

در منحنیهای شکل‌های (۶) و (۷) الگوهای P-YYYY-M و IDEAL، برای مصرف و تقاضای انرژی ماهیانه ترسیم شده‌اند. در مشاهدات اولیه دیده می‌شود کلیه پارامترها در ماههای سرد سال بطور بارزتری اثر خود را نشان می‌دهند. در ادامه به بررسی هر یک از پارامترها بطور مجزا و همچنین آثار متقابل هر پارامتر بر سایر پارامترها پرداخته می‌شود.

۴-۲-۱- عایقکاری جدارها

عایقکاری مناسب جدارها از برجسته‌ترین پارامترها در تقاضا و مصرف انرژی می‌باشد (شکل (۴) و (۵)). از طرفی رسم منحنی‌های (۸) و (۹) و ملاحظه حالت عایقکاری ضعیف و تنظیم سایر پارامترها بترتیب در وضعیت «خوب»، «متوسط» و «ضعیف»، نشان می‌دهد، تقاضای انرژی همواره نسبت به حالت ایده‌ال افزایش داشته است، اما مصرف انرژی در ماههای گرم یعنی ماه سوم تا نهم سال در حالت‌های P-INSL-G و P-INSL-M در حدود یکدیگر می‌باشد و البته نسبت به حالت ایده‌ال افزایش داشته‌اند (شکل‌های (۸) و (۹)). علت این پدیده در واقع همپوشانی اثرات نامطلوب در جهت کاهش مصرف و تقاضای انرژی است. پارامتر اساسی در بروز این پدیده مصرف انرژی برای تامین روشنایی است. بخصوص در ماههای گرم که میزان تابش نیز بالاتر می‌باشد (شکل (۱۰))، در حالتی که سایر پارامترها از جمله کنترل روشنایی و اندازه پنجره‌ها در حالت خوب هستند (P-INSL-G)، مصرف انرژی برای حفظ روشنایی کافی، بیشتر می‌شود. چون در این حالت پنجره کوچکتر از حالت P-INSL-M بوده و روشنایی مصنوعی لازم بیشتر شده، لذا مصرف انرژی بخاطر تامین روشنایی و همچنین خنثی‌سازی گرمای تولیدی از سیستم روشنایی، مصرف کلی را افزایش می‌دهد. البته همزمانی عملکرد این مصرف‌کننده‌ها بخوبی در شکل (۹) قابل مشاهده می‌باشد.

۴-۲-۲- ضریب انتقال حرارت پنجره‌ها

اثر این پارامترها نیز نسبت به برخی دیگر چشمگیرتر است (شکل (۴) و (۵))، این پدیده خصوصا در حالت P-GLZI-M و در شکل‌های (۶) و (۷) قابل مشاهده‌تر است.

در ماههای سرد سال همبستگی نزدیکی در حالت P-GLZI-M، بین اثر عایقکاری پنجره‌ها و جدارها دیده می‌شود در حالیکه این پدیده در حالت P-GLZI-G کمتر است. در واقع شکل‌های (۶) و (۷) در مقایسه با شکل‌های (۴) و (۵)، نشان می‌دهند اثر همپوشانی پارامترها در مورد عایقکاری نامناسب جدارها

و عایقکاری نامناسب پنجره‌ها در حد زیادی مشابه یکدیگر بوده است. این پدیده نشان دهنده همجنس بودن این دو پارامتر است.

۴-۲-۳- ابعاد پنجره‌ها

مشاهده تغییرات این پارامتر در شکل‌های (۴) و (۵) بیانگر اثر ناچیز آن در مقابل سایر پارامترها می‌باشد. اما با توجه به شکل‌های (۶) و (۷) یعنی زمانی که سایر پارامترها در وضعیت متوسط می‌باشند، تغییرات و اختلافات قابل توجه این پارامتر به خصوص در ماه‌های سرد سال به خوبی قابل مشاهده است. به ویژه مطالعه منحنی‌های مربوط به تقاضای انرژی (شکل (۷)) و منحنی شکل (۱۰) نشان می‌دهند در ماه‌هایی که انرژی خورشید به حداکثر رسیده است با وجود پنجره‌های بزرگ تقاضای انرژی به کمترین حد رسیده است (در ماه‌های می، ژوئن و جولای بطور متوسط ۲۰/۶ درصد کاهش تقاضا نسبت به حالت ایده‌آل بوده است). البته این پدیده در شکل (۵) نیز مشاهده می‌گردد. این موضوع حاکی از برهم‌نهی اثرات انرژی خورشید، سیستم کنترل روشنایی فعال در ساختمان، عملکرد فن‌کویل با توجه به اینکه اکونومایزر برای هر دو حالت P-GLZS-M و P-GLZS-G فعال بوده است و همچنین جهت ساختمان که برای دو حالت ۴۵ درجه اختلاف دارند، می‌باشد. از طرفی اختلاف مصرف انرژی در شکل‌های (۴) و (۶) نسبت به حالت ایده‌آل ناچیز بودن اثر این پارامتر در مصرف را نشان می‌دهد. شکل‌های (۱۱) و (۱۲) پدیده‌های ذکر شده را بخوبی نشان می‌دهند.

۴-۲-۴- هوای نفوذی

این پارامتر در تمام شرایط مورد بررسی، سبب مقداری شیف‌ت در جهت افزایش با حفظ روند تغییرات مصرف انرژی حالت ایده‌آل شده است (شکل‌های (۴) و (۶)).

البته با توجه به مقادیر در ماه‌های مختلف، کاهش جزئی در مصرف انرژی در حالت P-INFL-M نسبت به P-INFL-G در ماه‌های گرم سال دیده می‌شود. این پدیده نیز به نحوه فعالیت سیستم فن‌کویل بر می‌گردد. چون منحنی تقاضا در این ماه‌ها نشانه کارکرد سیستمها بطور همزمان می‌باشد. از طرفی آثار قابل توجه در افزایش تقاضای انرژی در ماه‌های سرد سال بخاطر هوای نفوذی اضافی، در منحنی‌های شکل‌های (۶) و (۷) کاملاً مشهود است.

تغییرات میزان تقاضای انرژی در اثر اعمال هوای نفوذی بیش از حد (P-INFL-G) تا حد زیادی مشابه با تغییرات تقاضای انرژی هنگام ایجاد اختلال در پارامتر عایقکاری جداره‌ها (P-INSL-G) است. این موضوع نشان می‌دهد دستگاهها و سیستمهای فعال و نحوه فعالیت آنها برای این دو الگو مشابه هستند.

۴-۲-۵- سیستم سرمایشی و گرمایشی

از آنجا که سیستم فن کویل یکی از متداولترین سیستمهای سرمایشی و گرمایشی در ایران است، لذا این مطالعه بر روی این سیستم متمرکز شده است. روند مصرف انرژی در صورتیکه در سیستم فن کویل اکونومایزر حذف شده و کارایی موتورهای و پمپها پایین باشد (P-S-FC-G)، نسبت به حالت ایده‌آل (IDEAL)، اختلاف بسیار جزئی دارد. همچنین تقاضای انرژی نیز تفاوت چندان زیادی ندارد. علت اصلی این پدیده کارکرد بسیار کم سیستم فن کویل در طول سال بخاطر ایده‌آل بودن سایر شرایط ساختمان است. این موضوع هنگامیکه سایر پارامترها در وضعیت متوسط تنظیم شده باشند (P-S-FC-M) بخوبی مشاهده می‌شود. در این شرایط منحنی مصرف انرژی در ماههای اول و دوم و آخر سال و تقاضا در ماههای اول، دوم، سوم و آخر که درجه حرارت هوای خارج پایین آمده و نیاز به کارکرد فن کویل بیشتر می‌شود، بطور قابل توجهی افزایش می‌یابد. البته این افزایش در مقابل افزایش برخی پارامترها مانند عایقکاری جداره‌ها یا پنجره‌ها در درجه اهمیت کمتری قرار دارد، یعنی به بزرگی مقادیر آنها نمی‌باشد.

سیستم فن کویل همراه با اکونومایزر که مستقیماً تابع دما می‌باشد در شرایطی که سایر پارامترها مقادیر متوسط یا ضعیف داشته باشند اثر خود را بهتر نشان می‌دهد (شکلهای (۶) و (۷)).

۴-۲-۶- جهت ساختمان

جهت ساختمان یکی از پارامترهایی است که اثر عمده‌ای در منحنی تقاضای انرژی از خود به جای می‌گذارد. این پارامتر به شدت در رابطه مستقیم با روشنایی روز و همچنین وضعیت قرارگیری پنجره‌ها نسبت به جهت جنوب می‌باشد و طبعاً بر روی سیستم کنترل روشنایی ساختمان و میزان بار حرارتی در دو جهت و در نتیجه کارکرد متفاوت سیستم فن کویل موثر است. مقایسه الگوها در شکل (۱۳) نشان می‌دهند که مصرف انرژی در اثر تغییر جهت ساختمان، بطوریکه پنجره‌های رو به شمال و جنوب به جهات دیگر متمایل گردند، نه تنها موجب افزایش نشده است بلکه در شرایط P-DIRN-M مصرف در ماههای سوم تا ششم کمی نسبت به حالت ایده‌آل کاهش نیز داشته است. این کاهش نشانه اثر افزایش سطح پنجره‌ها و کاهش مصرف انرژی برای ایجاد روشنایی مصنوعی در الگوی P-DIRN-M است.

از طرفی همانطور که در شکل (۱۴) مشاهده می‌شود، تقاضای انرژی برای حالت P-DIRN-M نسبت به حالت ایده‌آل در ماههای ژوئن و جولای ۱۸/۹ درصد کاهش داشته است که این کاهش مصادف با افزایش انرژی خورشید (شکل (۱۰)) می‌باشد. از طرفی در حالت P-DIRN-G از ماه سوم تا نهم سال تقریباً هر ماه ۱۴/۸ درصد تقاضا نسبت به حالت ایده‌آل کمتر بوده است و این پدیده نشان دهنده کارکرد

سیستم فن کویل در این ماهها می باشد. چون در صورتیکه پنجره ها در جهت شمال و جنوب قرار گیرند اتلاف بخاطر انتقال حرارت از خارج به داخل در این ماهها بطور نسبی بیشتر می گردد.

۴-۲-۷- سیستم کنترل روشنایی

سیستم کنترل روشنایی همانطور که در قسمتهای قبل ذکر شد با توجه به جهت ساختمان، میزان انرژی خورشید و عملکرد فن کویل با وجود اکونومایزر پاسخهای متفاوتی می دهد. از طرفی در شکلهای (۱۵) و (۱۶) اثر وجود و عدم وجود این سیستم کنترلی کاملاً مشاهده می شود. اثر این پارامتر، تقریباً در مقایسه با سایر پارامترها در طول سال یکنواخت تر می باشد و روند منحنی حالت ایده آل را حفظ می نماید. از طرفی در شرایط P-DAYL-M مصرف و تقاضای انرژی برای ماههای سرد، که انرژی خورشید به مقادیر حداقل خود رسیده است، افزایش محسوسی داشته است.

۵- نتایج و پیشنهادات

در این مطالعه ابتدا یک مدل ساختمان اداری ۸ واحدی در ۴ طبقه با مشخصات هندسی و فیزیکی ذکر شده در بخش (۳)، تهیه و به شبیه سازی تقاضا و مصرف انرژی در آن پرداخته شده است. در گام اول کلیه پارامترها در وضعیت ایده آل از نظر طراحی و استانداردها در نظر گرفته شده و سپس با تغییر تک تک پارامترها اثر هر یک بر وضعیت انرژی بررسی و مطالعه شده اند. از ملاحظه شکلهای (۱۷) و (۱۸) اینگونه اثبات می شود که کنترل روشنایی، عایقکاری جدارها و استفاده از پنجره های چند جداره (۲ یا ۳ جداره) و همچنین کنترل میزان هوای نفوذی پارامترهای بسیار مهم در مصرف و تقاضای انرژی بوده و عدم بکارگیری آنها موجب بترتیب ۵۲/۴، ۳۲/۵، ۱۴ و ۱۸/۲ درصد افزایش در مصرف و ۳۰/۹، ۳۰/۳ و ۲۰/۳۴ درصد افزایش تقاضا، نسبت به حالتی که تمامی پارامترها بصورت ایده آل لحاظ شده باشند، موثر هستند و همواره بیش از سایر پارامترها خود را آشکار می سازند.

از طرفی پارامترهایی نظیر جهت ساختمان و اندازه پنجره ها نیز با اثر متقابل بر روی هم، و همچنین اثر بر روی دیگر پارامترها، نقش و ارزش منحنی تقاضا را بیشتر نشان می دهند. بعبارت دیگر این پارامترها اثر خود را در منحنی تقاضا بیش از منحنی مصرف نشان می دهند. این امر در مشاهده شکلهای (۱۷) و (۱۸) که بیانگر میانگین سالیانه انحراف میزان مصرف و تقاضا می باشند کاملاً مشهود است. در این مطالعه تکیه اصلی بر روی مشاهده تغییرات و آثار پارامترهای مختلف بصورت میانگین ماهیانه مصرف و تقاضا بوده است، در حالیکه تحلیل ساعتی برخی پارامترها، یعنی مشاهده منحنیهای مصرف و تقاضای انرژی در ساعات مختلف شبانه - روز (۲۴ ساعت)، ممکن است روشنگر برخی حقایق دیگر باشد. همچنین بررسی تجربی نتایج مطرح شده در این مطالعه پیشنهاد می گردد.

۶- مراجع

Akbari H., Kurn D. M., Bretz S. E. and Hanford J. W. (1997). "Peak power and cooling energy savings of shade trees", *Energy and buildings*, Vol.25, pp. 139-148.

Ardehali M. M., Saboori M. and Teshnelab M. (2004). "Numerical simulation and analysis of fuzzy PID and fuzzy PSD control methodologies as dynamic energy efficiency measures", *Journal of Energy Conversion and Management*, accepted for publication.

Ardehali M. M. and Smith T. F. (1997). "Evaluation of HVAC system operational strategies for commercial buildings", *Journal of Energy Conservation and Management*, Vol. 38, No.7, pp.225-236.

Ardehali M. M., Smith T. F., House J. M. and Klaassen C. J. (2003). "Building energy use and control problems: Assessment of case studies", *ASHRAE Transactions*, Vol.109.

Claridge D. E. (1998). "A perspective on methods for analysis of measured energy data from commercial buildings", *Journal of Solar Energy*, Vol.120, pp. 150-155.

Deng S-M. and Burnett J. (2000). "A study of energy performance of hotel buildings in Hong Kong", *Energy and Buildings*, Vol.31, pp. 7-12.

Desideri U. and Proietti S. (2002). "Analysis of energy consumption in the high schools of a province in central Italy", *Energy and Buildings*, Vol.1436, pp. 1-14.

Dhar A., Reddy T. A. and Claridge D. E. (1998). "Modeling hourly energy use in commercial buildings with Fourier series functional forms", *Journal of Solar Energy*, Vol.120, pp. 217-223.

Olofsson T., Andersson S. and Östin R. (1998). "A method for predicting the annual building heating demand based on limited performance data", *Energy and Buildings*, Vol.28, pp. 101-108.

Olofsson T., Andersson S. and Östin R. (1998). "Energy load predictions for buildings on a total demand perspective", *Energy and Buildings*, Vol.28, pp. 109-116.

Kreider J. F., Curtiss P. and Rabl A. (2002). "Heating and Cooling of Buildings", 2nd ed. McGraw-Hill, New York.

TRANE, TRACE 600 Engineers Manual, (2002) LaCross, Wisconsin.

Yu P. C. H. and Chow W. K. (2001). "Energy use in commercial buildings in Hong Kong", *Applied Energy*, Vol.69, pp. 243-255.

جدول (۱): علائم اختصاری در مکان YYYYY.

پارامتر طراحی	YYYY
عایقکاری جداره‌ها	INSL (Insulation)
عایقکاری پنجره‌ها	GLZI (Glazing insulation)
اندازه پنجره‌ها	GLZS (Glazing size)
هوای نفوذی	INFL (Infiltration)
سیستم فن کویل	S-FC (System-Fan Coil)
جهت ساختمان	DIRN (Direction)
سیستم روشنایی	DAYL (Daylighting)

جدول (۲): عایقکاری جداره‌ها: حالت «ایده‌ال»، «متوسط» و «ضعیف».

نوع جداره	ایده‌ال	متوسط	ضعیف
دیوار خارجی ($\text{hr-ft}^2/\text{Btu}$)	R-25	R-12	R-5
سقف ($\text{hr-ft}^2/\text{Btu}$)	R-40	R-20	R-8
دیوار داخلی ($\text{hr-ft}^2/\text{Btu}$)	R-10	R-7	R-3

جدول (۳-۵): ضریب انتقال حرارت از پنجره‌ها: حالت «ایده‌ال»، «متوسط» و «ضعیف».

نوع پنجره (Btu/hr-ft^2)	۳ جداره ($U=0.36$)	۲ جداره ($U=0.65$)	۱ جداره ($U=1.13$)
	ایده‌ال	متوسط	ضعیف

جدول (۳): اندازه پنجره‌ها: حالت «ایده‌ال»، «متوسط» و «ضعیف».

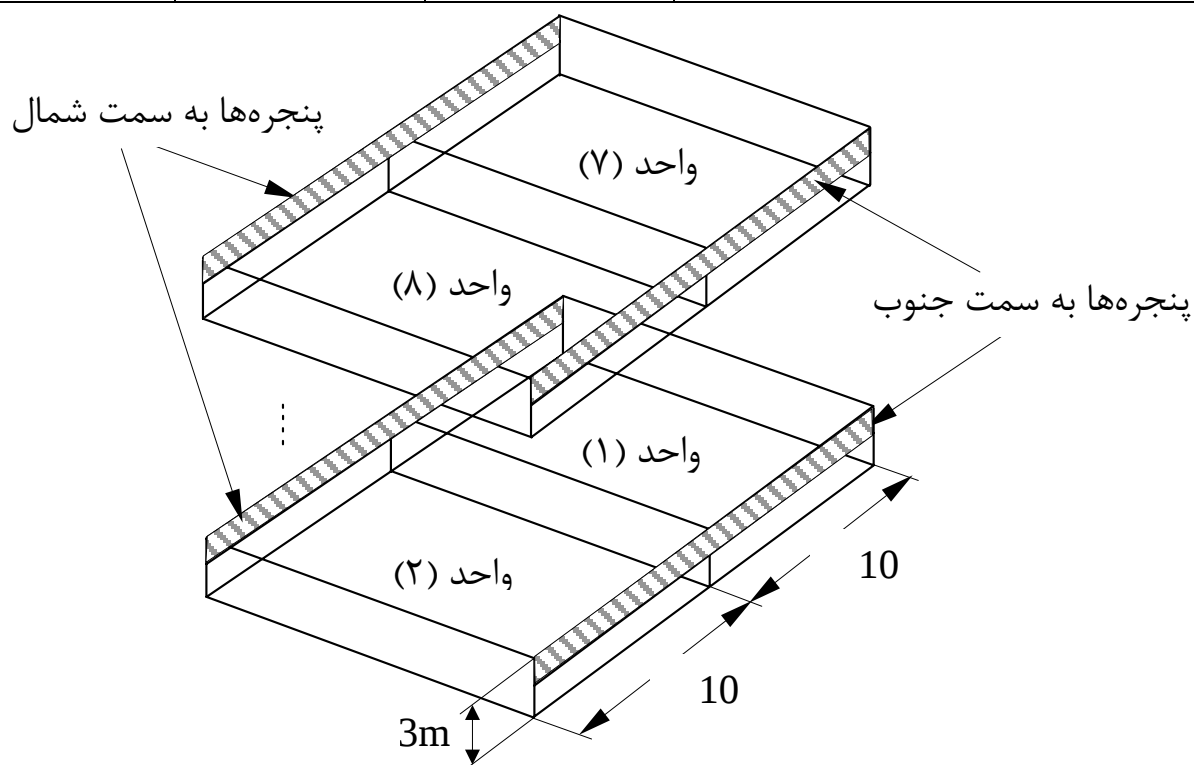
اندازه پنجره (درصد از سطح کل جداره‌های شمالی و جنوبی)	ایده‌ال	متوسط	ضعیف
	20%	25%	30%

جدول (۴): حجم هوای نفوذی: حالت «ایده‌ال»، «متوسط» و «ضعیف».

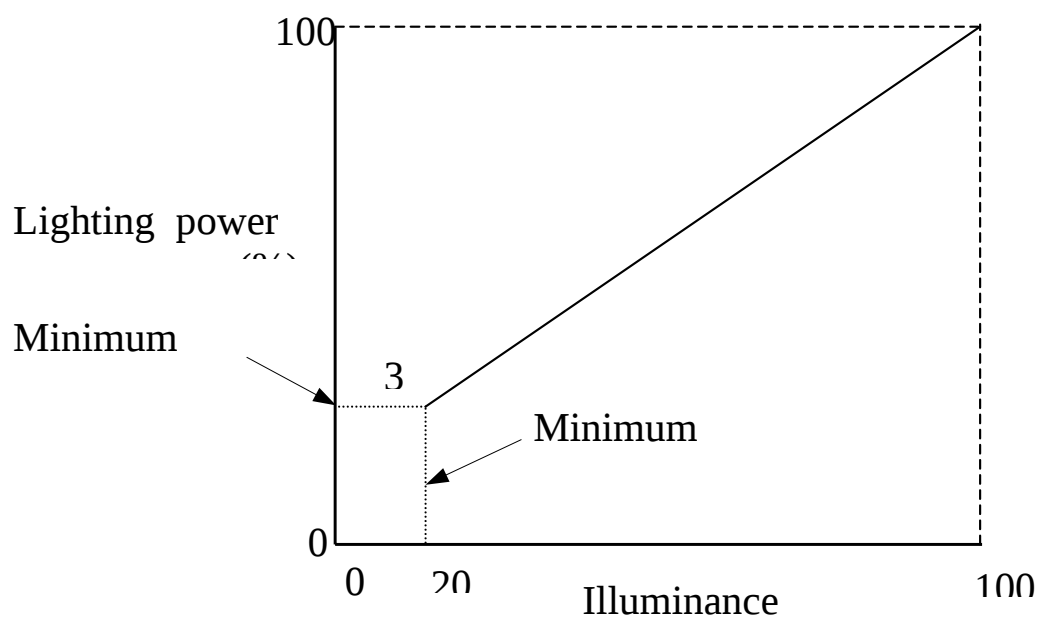
میزان هوای نفوذی (CFM/ft^2)	ایده‌ال	متوسط	ضعیف
	0.1	0.2	0.3

جدول (۵): جهت ساختمان: حالت «ایده‌ال»، «متوسط» و «ضعیف».

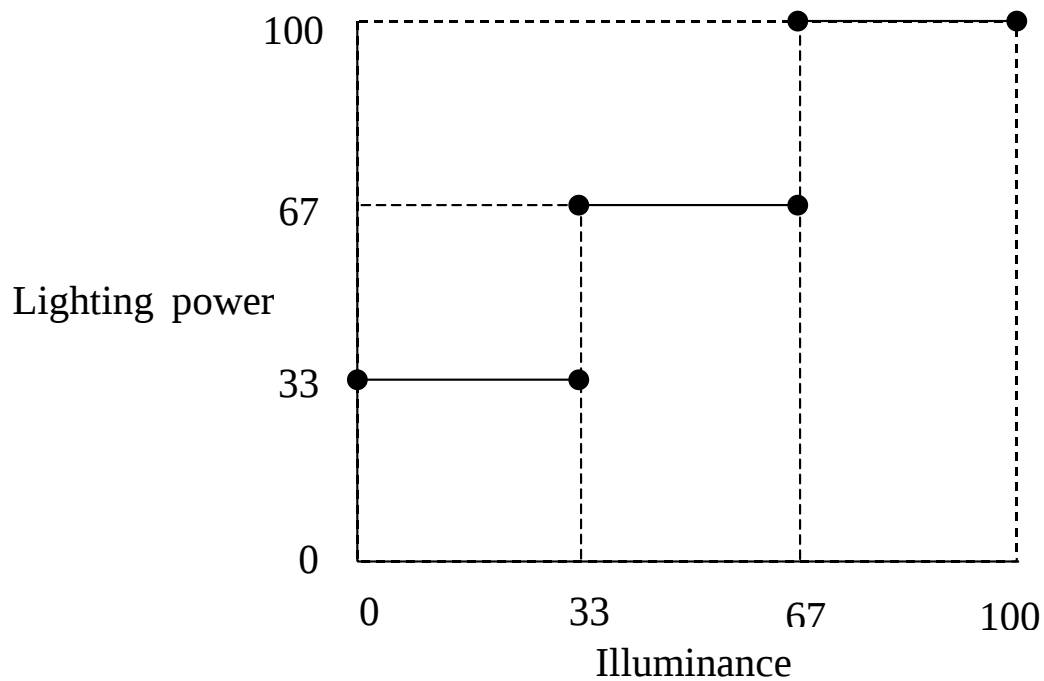
ضعیف	متوسط	ایده‌ال	زاویه امتداد عرضی ساختمان از جنوب
90°	45°	0°	



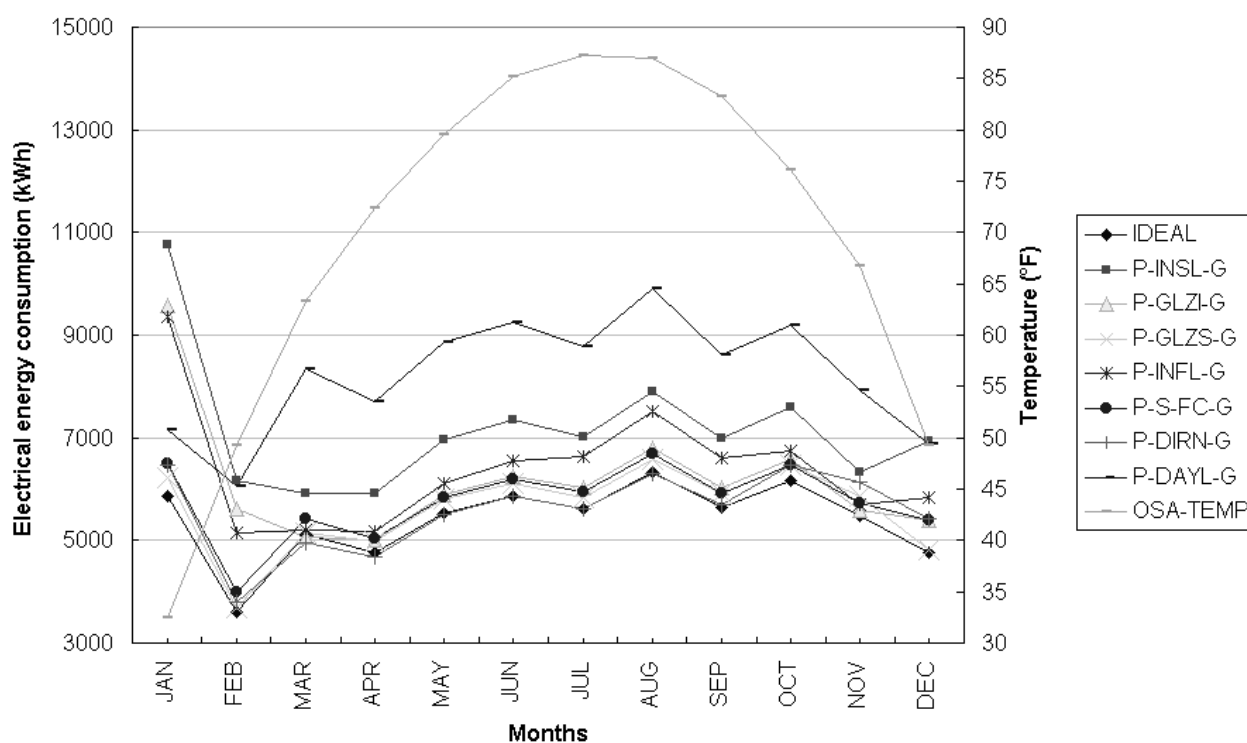
شکل (۱): شکل هندسی مدل ساختمان مورد مطالعه.



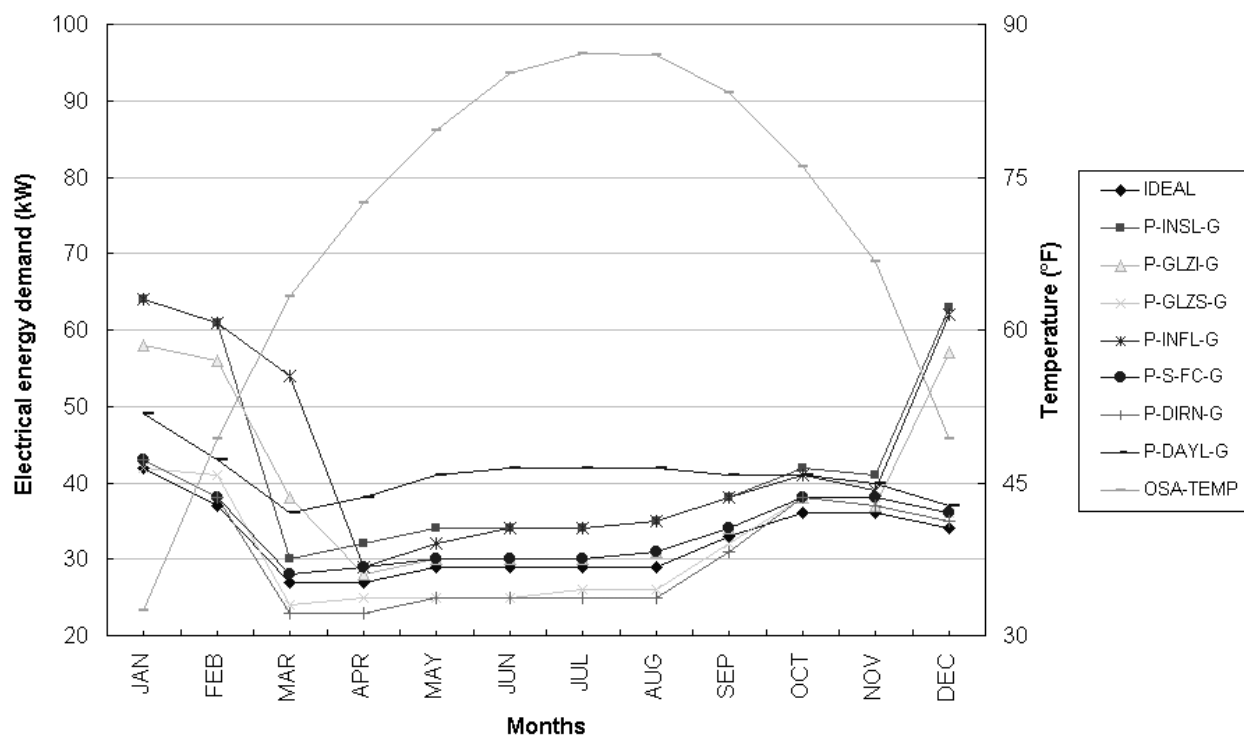
شکل (۲): نمودار سیستم کنترل خطی.



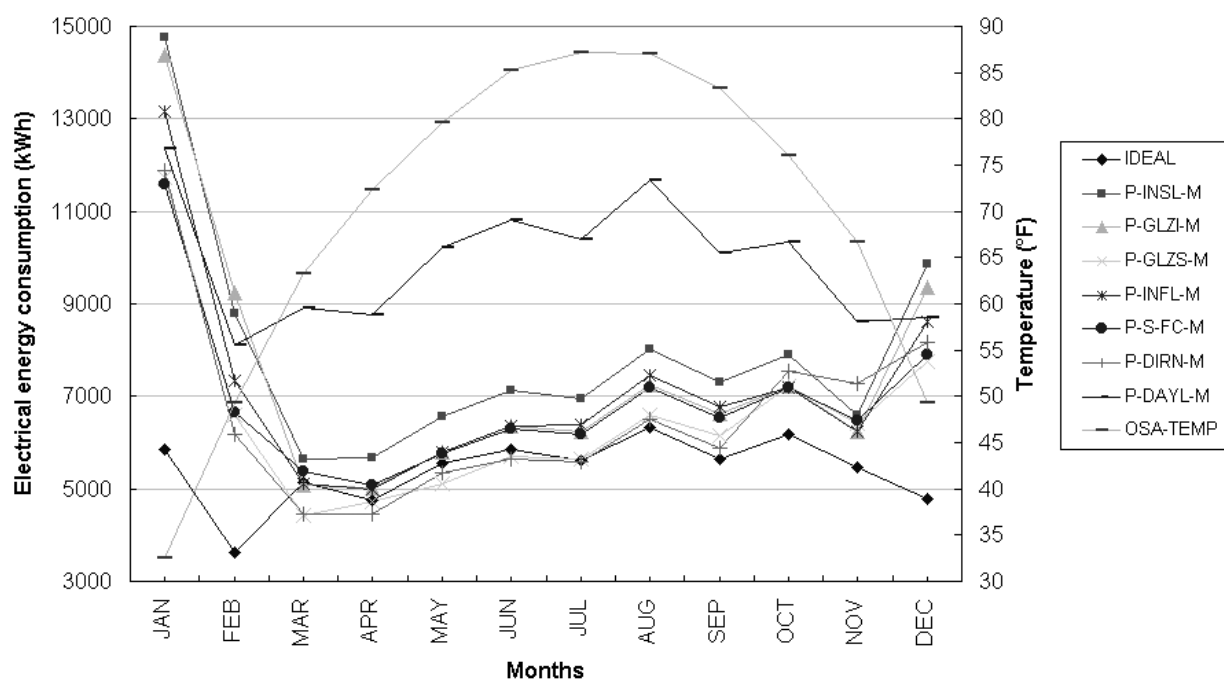
شکل (۳): نمودار سیستم کنترل پله‌ای.



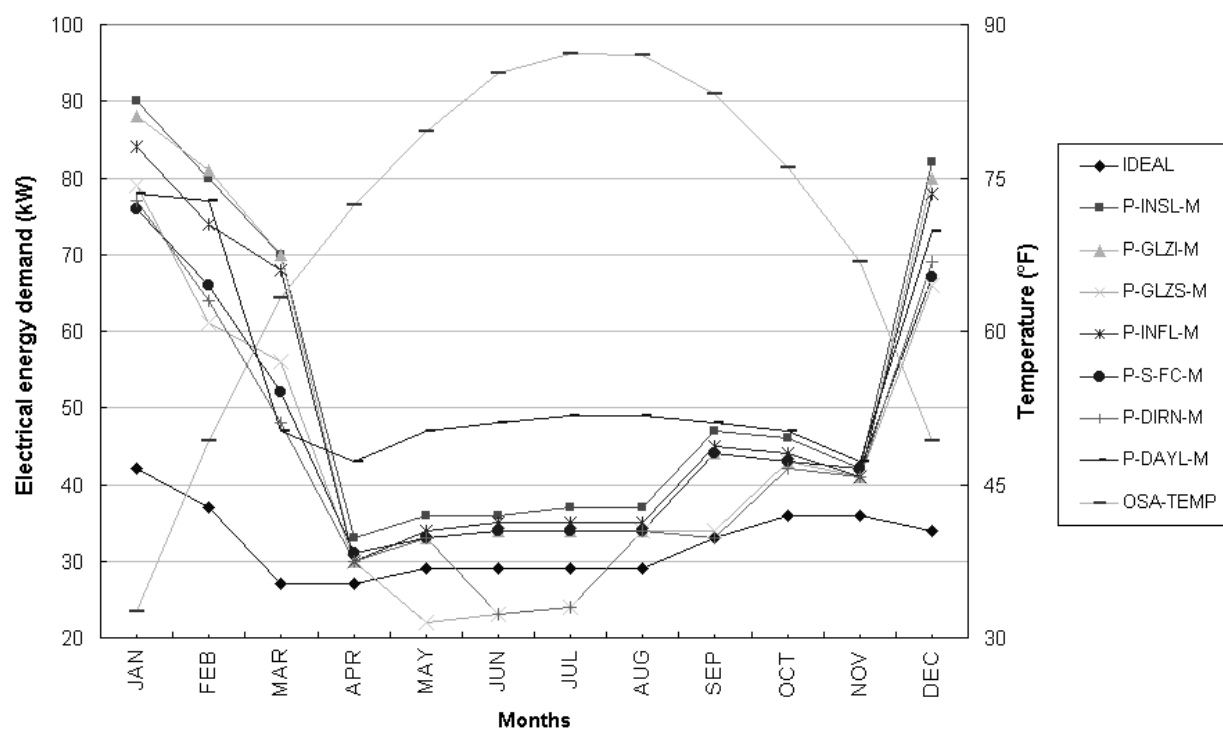
شکل (۴): تغییرات در مصرف انرژی ماهیانه در حالیکه یک پارامتر ضعیف و سایر پارامترها در شرایط ایده‌آل هستند.



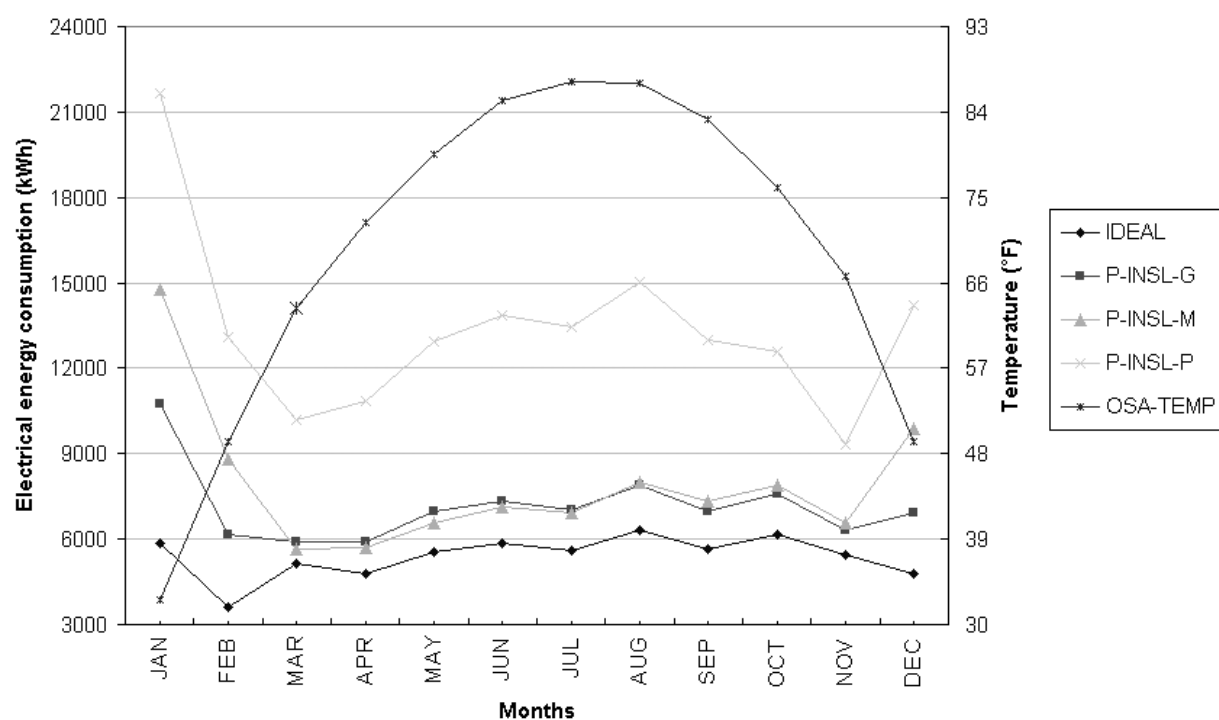
شکل (۵): تغییرات در تقاضای انرژی ماهیانه در حالیکه یک پارامتر ضعیف و سایر پارامترها در شرایط ایده‌آل هستند.



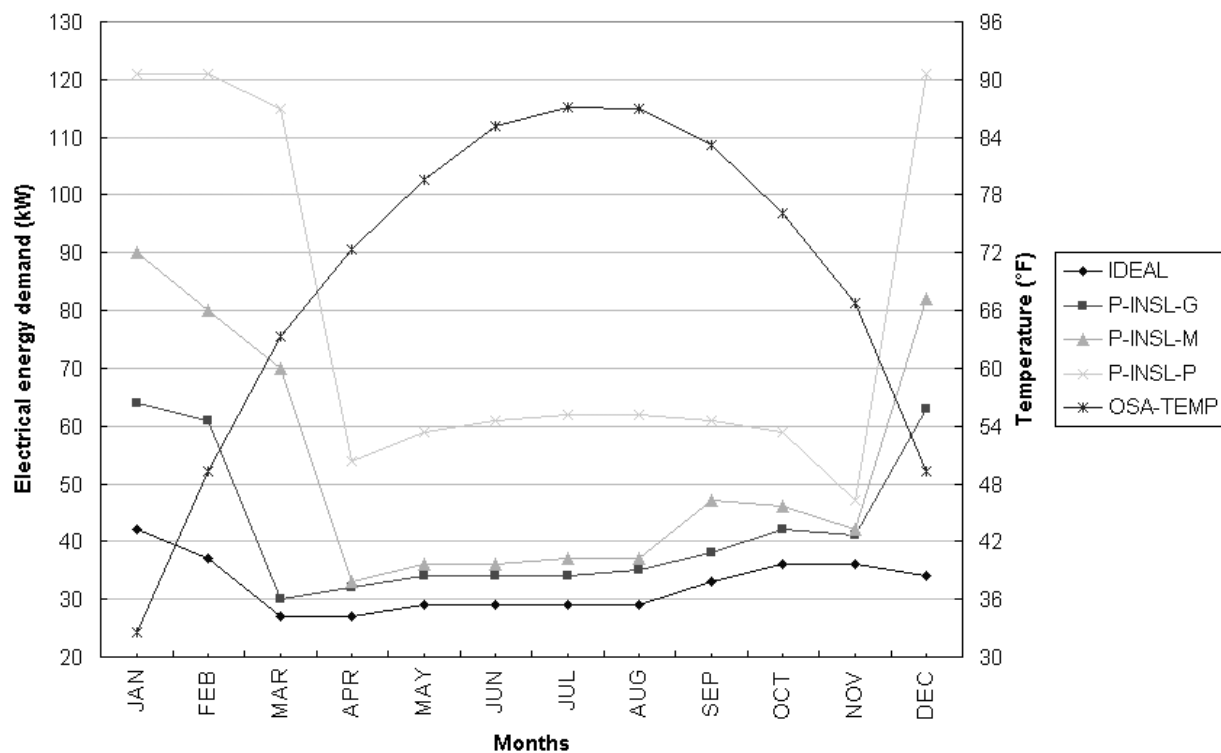
شکل (۶): تغییرات در مصرف انرژی ماهیانه در حالیکه یک پارامتر ضعیف و سایر پارامترها در شرایط متوسط هستند.



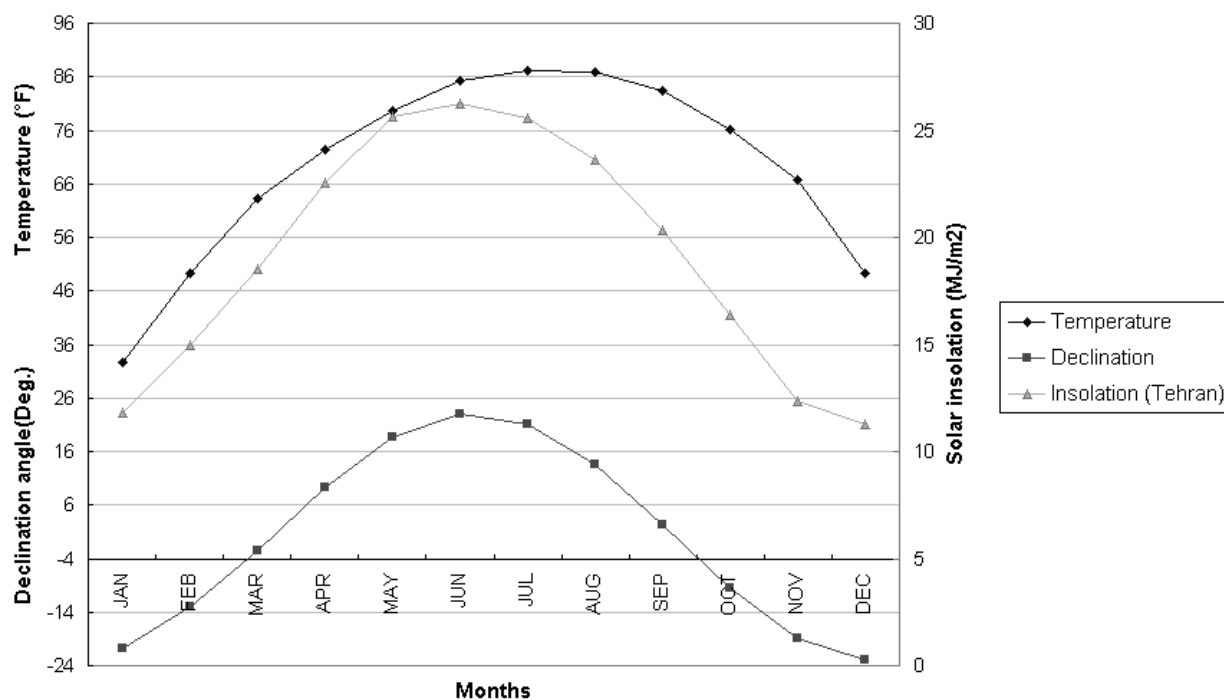
شکل (۷): تغییرات در تقاضای انرژی ماهیانه در حالیکه یک پارامتر ضعیف و سایر پارامترها در شرایط متوسط هستند.



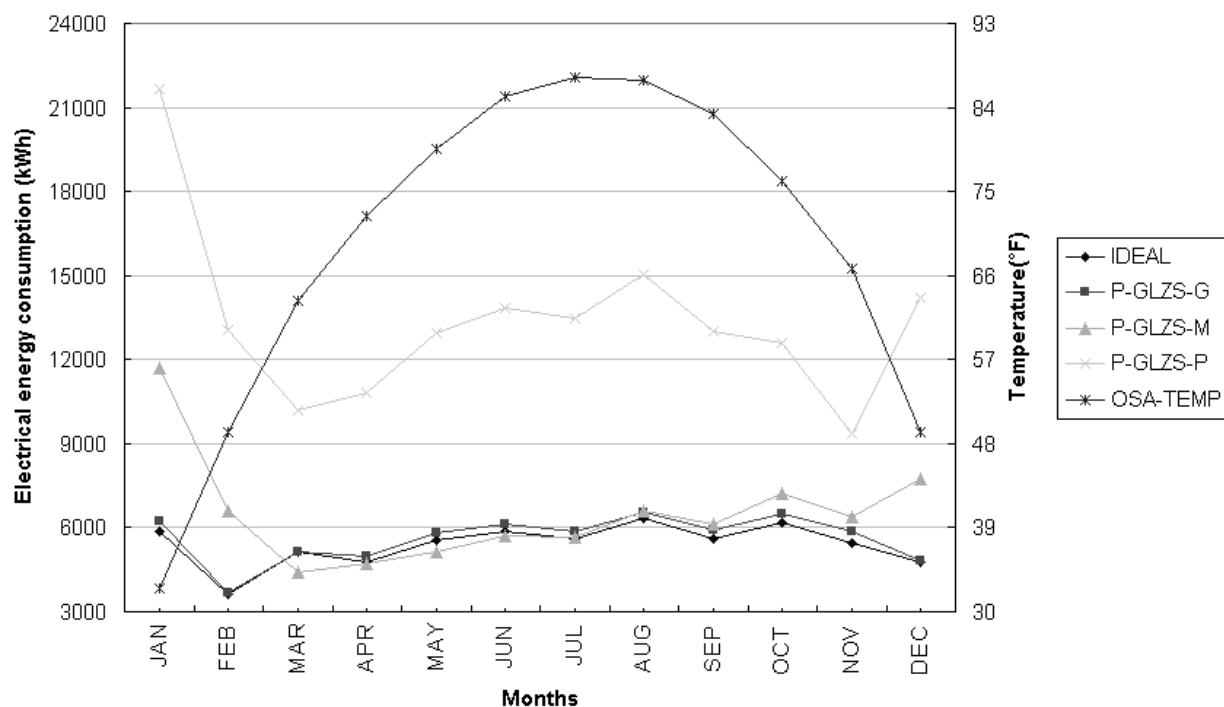
شکل (۸): تغییرات در مصرف انرژی ماهیانه در حالیکه عایقکاری جداره ضعیف و سایر پارامترها در شرایط ایده‌آل، متوسط و ضعیف باشند.



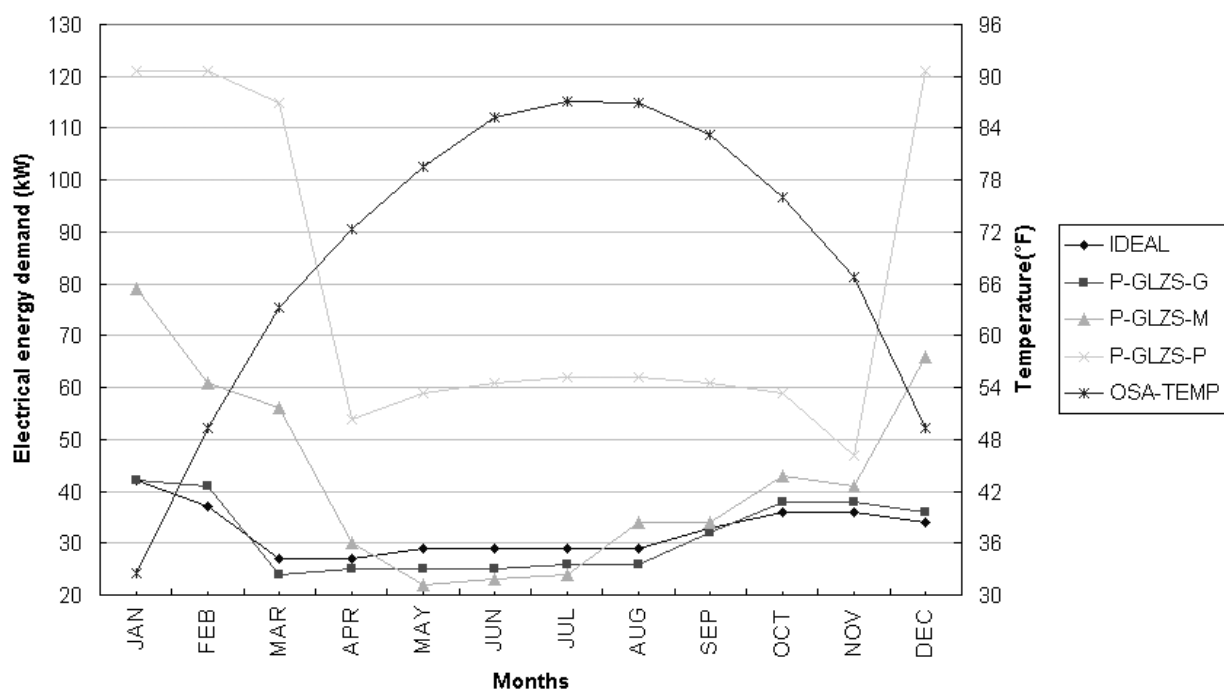
شکل (۹): تغییرات در تقاضای انرژی ماهیانه در حالیکه عایقکاری جداره ضعیف و سایر پارامترها در شرایط ایده‌ال، متوسط و ضعیف باشند.



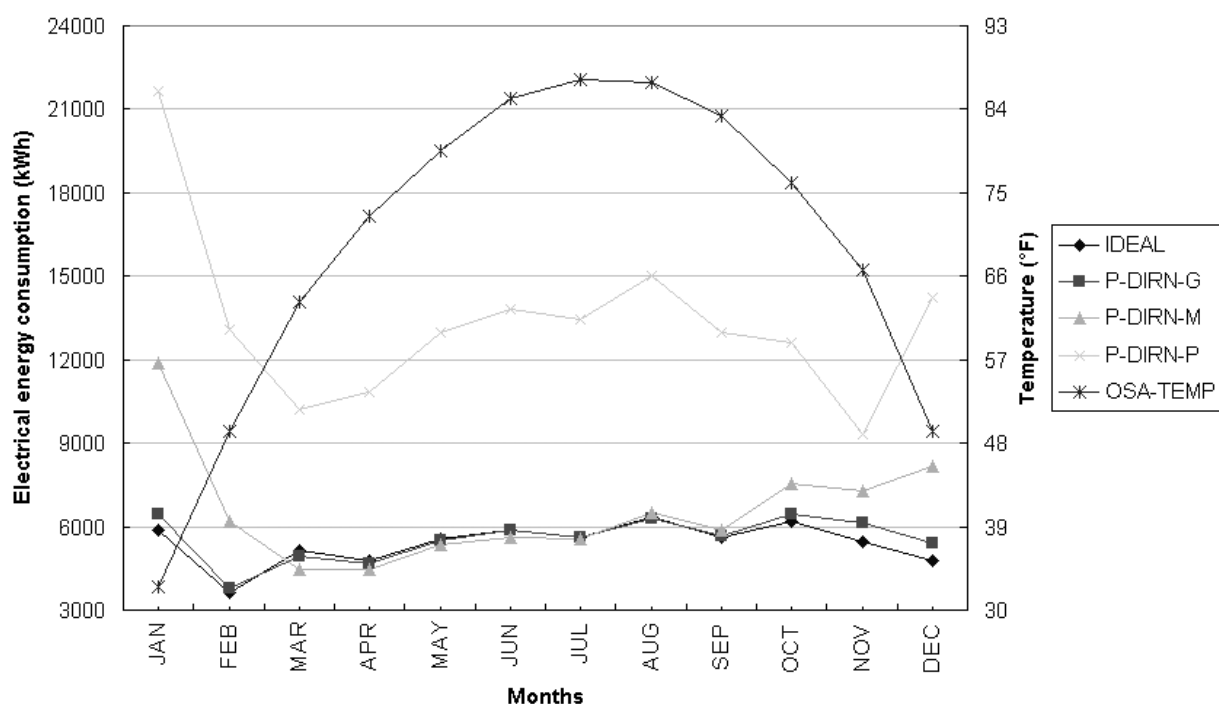
شکل (۱۰): تغییرات ماهیانه دما، انرژی تابشی و زاویه Declination خورشید برای شهر تهران.



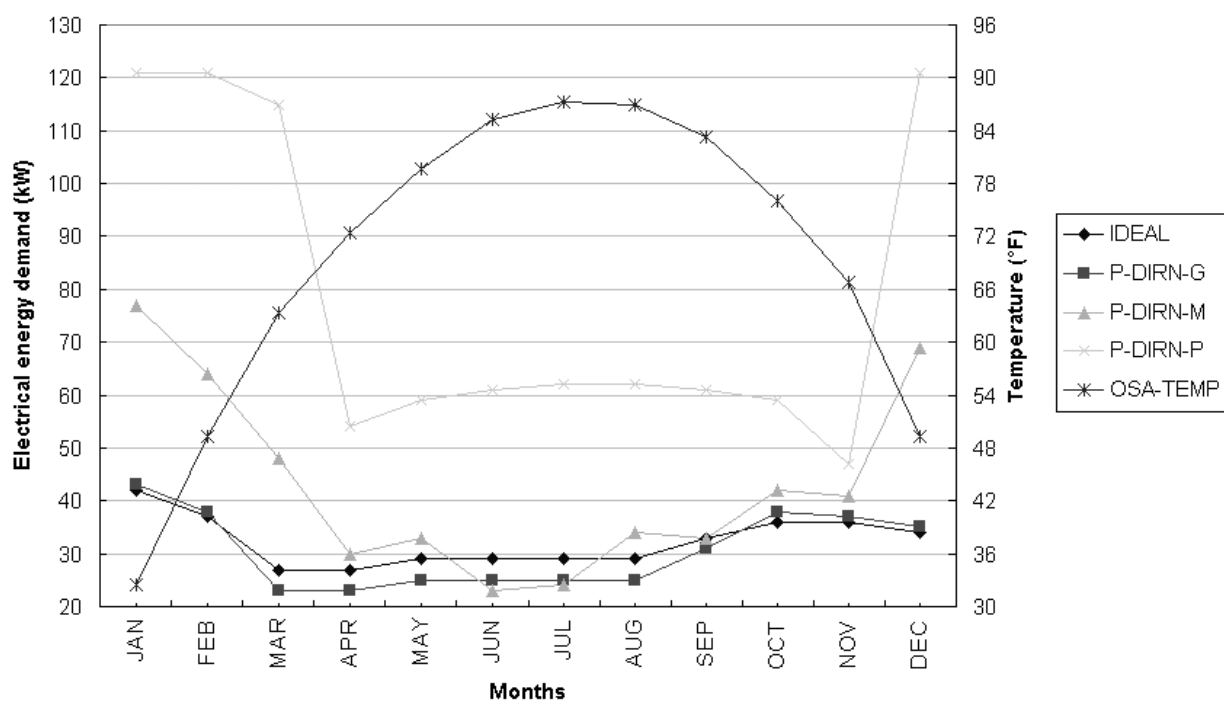
شکل (۱۱): تغییرات در مصرف انرژی ماهیانه در حالیکه اندازه پنجره در حالت ضعیف و سایر پارامترها در شرایط ایده‌ال، متوسط و ضعیف باشند.



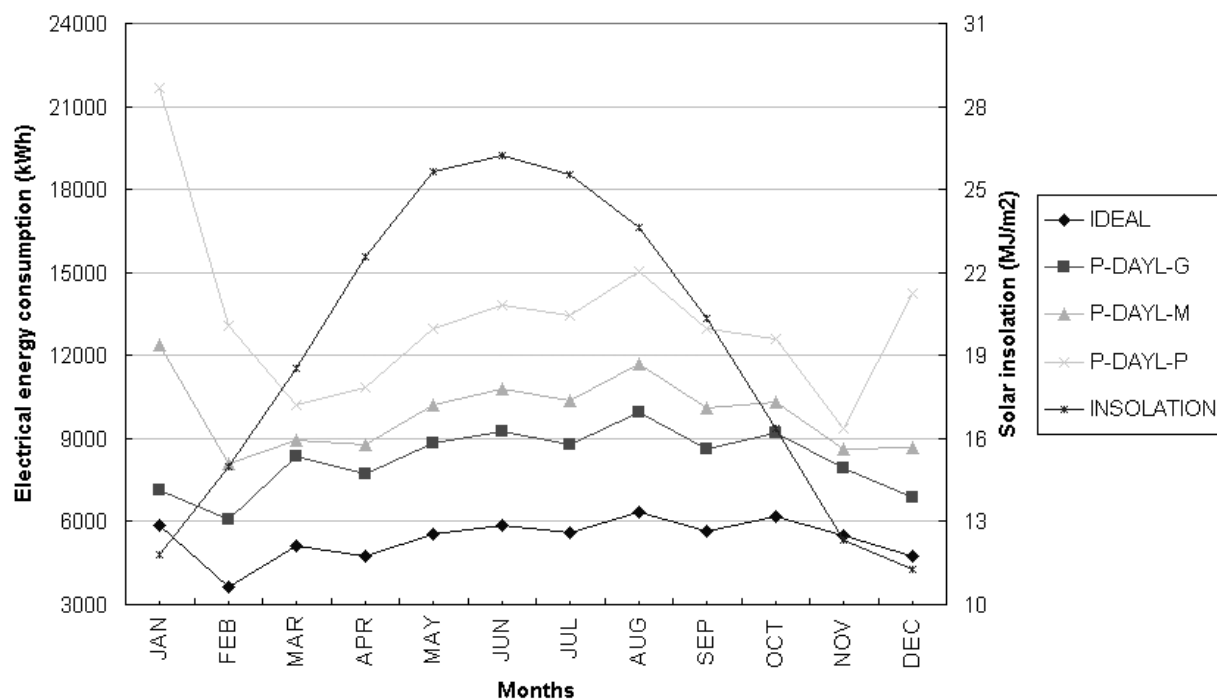
شکل (۱۲): تغییرات در تقاضای انرژی ماهیانه در حالیکه اندازه پنجره در حالت ضعیف و سایر پارامترها در شرایط ایده‌ال، متوسط و ضعیف باشند.



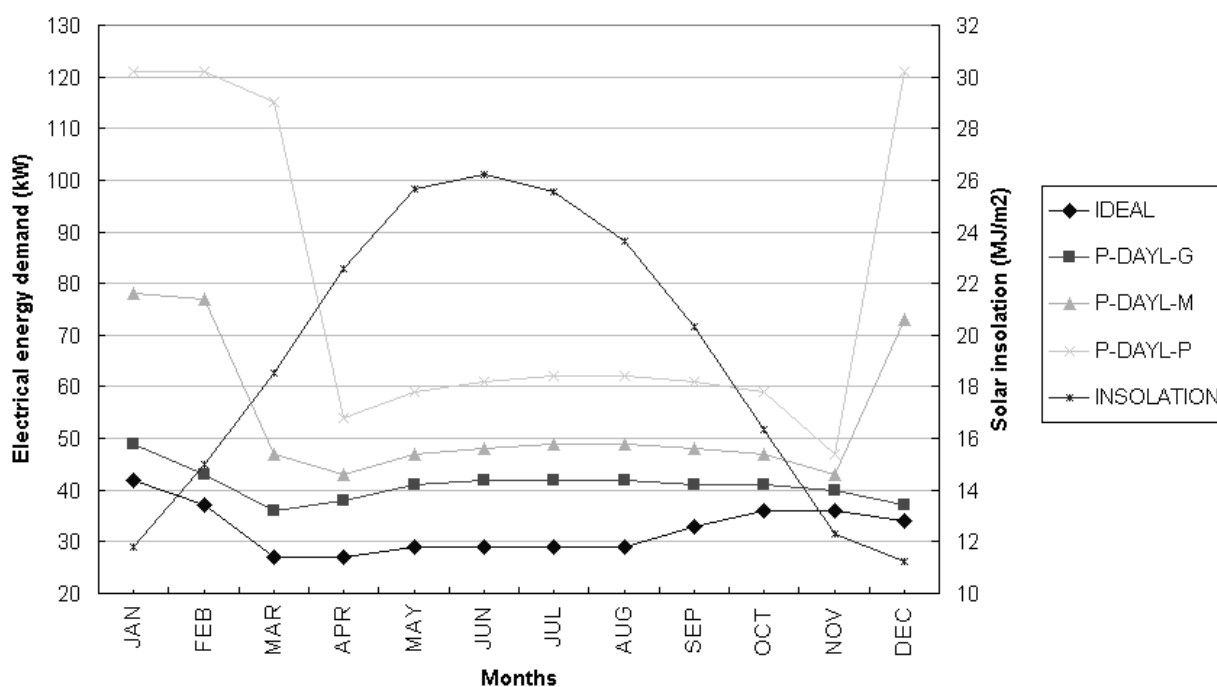
شکل (۱۳): تغییرات در مصرف انرژی ماهیانه در حالیکه جهت ساختمان در حالت ضعیف و سایر پارامترها در شرایط ایده‌ال، متوسط و ضعیف باشند.



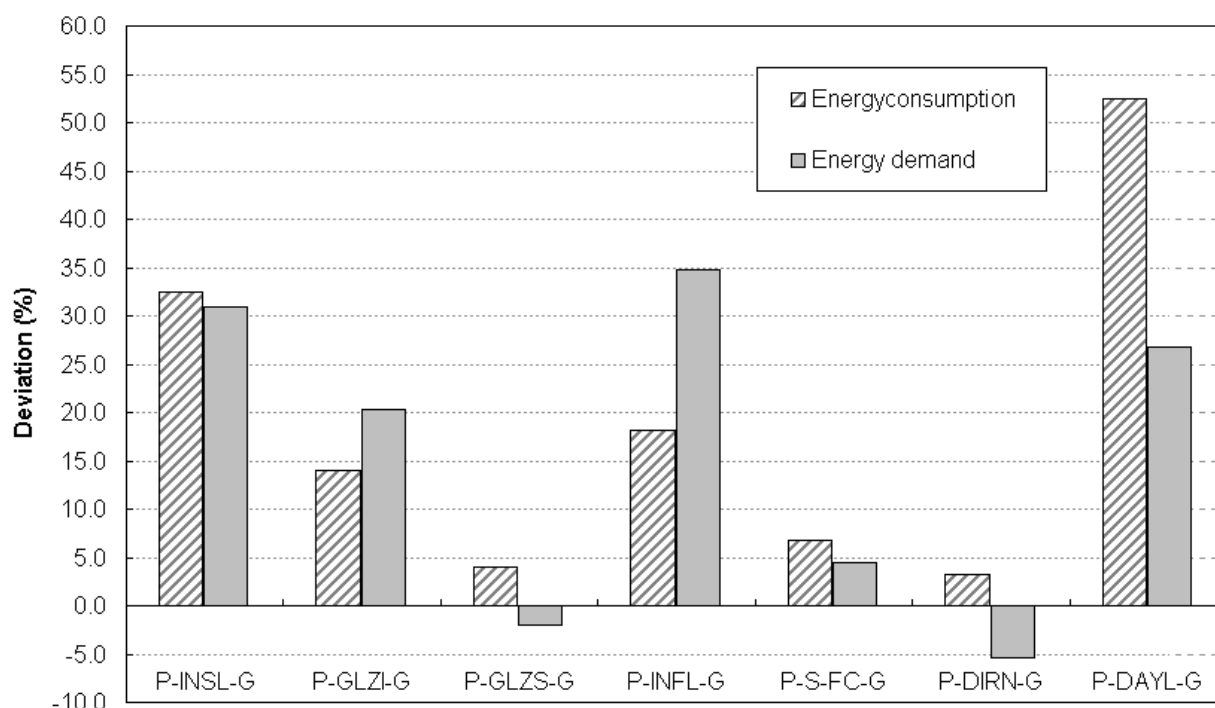
شکل (۱۴): تغییرات در تقاضای انرژی ماهیانه در حالیکه جهت ساختمان در حالت ضعیف و سایر پارامترها در شرایط ایده‌ال، متوسط و ضعیف باشند.



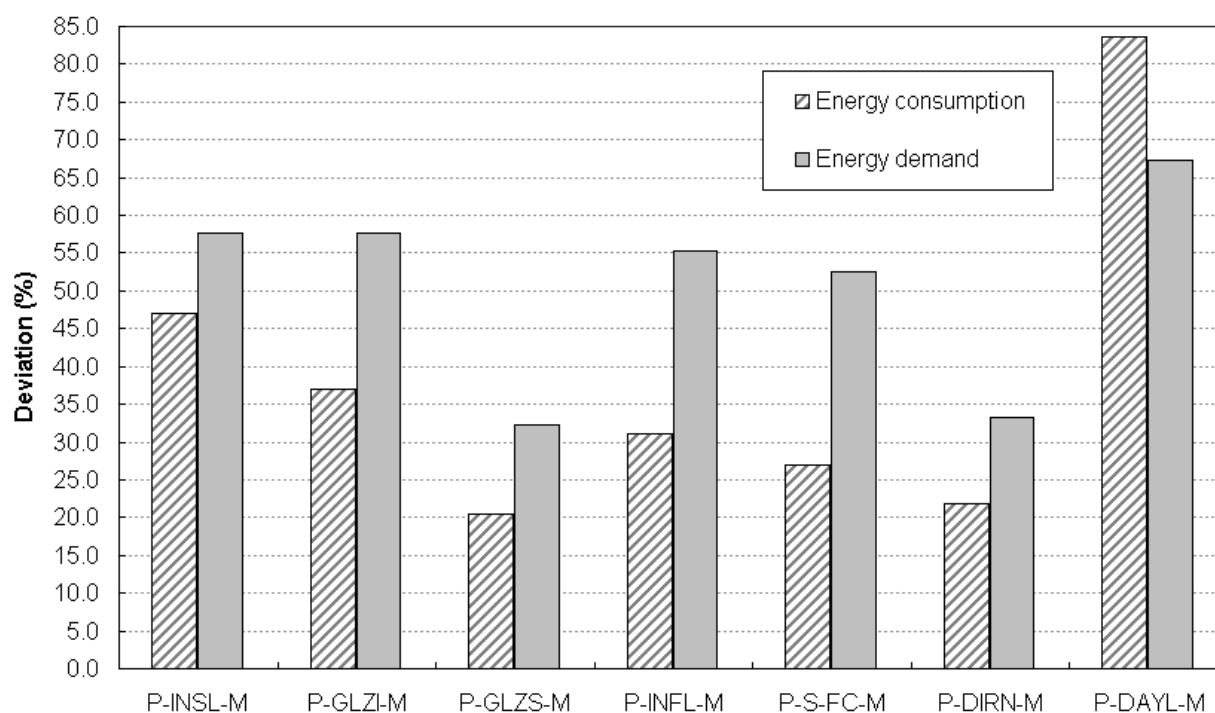
شکل (۱۵): تغییرات در مصرف انرژی ماهیانه در حالیکه سیستم کنترل روشنایی ضعیف و سایر پارامترها در شرایط ایده‌ال، متوسط و ضعیف باشند.



شکل (۱۶): تغییرات در تقاضای انرژی ماهیانه در حالیکه سیستم کنترل روشنایی ضعیف و سایر پارامترها در شرایط ایده‌ال، متوسط و ضعیف باشند.



شکل (۱۷): تغییرات در میانگین سالیانه انحرافات مصرف و تقاضای انرژی نسبت به حالت ایده‌ال در حالیکه یک پارامتر ضعیف و سایر پارامترها در شرایط ایده‌ال هستند.



شکل (۱۸): تغییرات در میانگین سالیانه انحرافات مصرف و تقاضای انرژی نسبت به حالت ایده‌ال در حالیکه یک پارامتر ضعیف و سایر پارامترها در شرایط متوسط هستند.

Analysis of Building Energy Consumption and Demand and a Simulation Study of Design Parameters

M. M. Ardehali, PhD, PE
Amirkabir University of Technology (Tehran Polytechnic)
Iowa Energy Center
Iowa State University, Iowa USA

M. Farmad
Department of Energy Systems Engineering
KN Toosi University of Technology, Iran

Abstract

The management of building energy consumption and demand is implemented effectively only when the influential technical and geographical parameters are analyzed thoroughly. The influential parameters are directly related to the ambient conditions, utilization schedule, controls, and other operational strategies. The objective of this study is to investigate the effects of design parameters such as envelope R-value, window R-value and sizing, infiltration, heating and cooling system, orientation, daylighting controls, and occupancy type on the energy demand and consumption of a typical commercial building. While accounting for geographical conditions and with respect to the ideal case where all efficiency measures are applied, during the cooling season, the results show that lack of applying daylighting control, envelope and window insulation, and infiltration control cause 52.4, 32.5, 14.0 and 18.2% increase in energy consumption and 26.8, 30.9, 20.3, and 34.8% in energy demand, respectively. It is also found that building orientation and window sizing have higher impact on energy demand.

Key words: Energy, Demand, Consumption, Control, and Efficiency