

پیش‌بینی مصرف انرژی یک ساختمان مسکونی با استفاده از رگرسیون خطی چندمتغیره در اقلیم گرم و خشک کشور ایران

امین اله چائیده^{۱*}، علیرضا باهری^۲

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد گروه مهندسی مکانیک، دانشکده فنی و مهندسی، واحد دزفول، دانشگاه آزاد اسلامی، دزفول، ایران

^۲ دانشیار گروه مهندسی مکانیک، دانشکده فنی و مهندسی، واحد دزفول، دانشگاه آزاد اسلامی، دزفول، ایران

دریافت: پاییز ۹۶ پذیرش: زمستان ۹۶

چکیده

طبق آمار رسمی منتشره ساختمان‌های مسکونی در ایران و جهان بطور متوسط ۴۰٪ از مجموع انرژی را مصرف می‌کنند که بطور قطع موجب کاهش بی‌رویه ذخایر سوخت‌های فسیلی، آلودگی هوا و گرم شدن کره زمین می‌شود. لذا تحقیق حاضر در همین راستا و به منظور کسب اهداف ذیل انجام گرفت: ۱- ممیزی انرژی جهت یافتن پارامترهای اساسی (موثرترین پارامترها) در مصرف انرژی ساختمان ۲- محاسبه میزان تاثیر (وزن) پارامترهای اساسی در مصرف انرژی ساختمان ۳- پیش‌بینی میزان تغییرات در مصرف انرژی ساختمان با تغییر در هریک از پارامترهای اساسی ساختمان. برای این کار در ابتدا یک ساختمان مسکونی سه طبقه از قبل ساخته شده در اقلیم گرم و خشک ایران و بطور اختصاصی در شهرستان دزفول انتخاب و توسط نرم‌افزار تحلیل انرژی eQUEST شبیه‌سازی شد که در گام اول ۱۹ پارامتر اساسی و قابل تغییر توسط این نرم‌افزار شناسایی شد. در گام بعد با تغییر هر یک از این پارامترها در محدوده قابل قبول توسط eQUEST، مقادیر انرژی مصرفی متناظر با آنها بدست آمد. سپس با وارد کردن این مقادیر در نرم‌افزار تحلیل آماری SPSS و انجام تحلیل رگرسیون خطی چندمتغیره، دو رابطه خطی جهت پیش‌بینی مصرف انرژی بطور جداگانه برای هر یک از انرژی‌های مصرفی برق و گاز بدست آمد که ضرایب این روابط بیانگر میزان تاثیر (وزن) هر یک از پارامترها در انرژی مصرفی ساختمان می‌باشد. علاوه بر آن این روابط نشان دادند که در اقلیم گرم و خشک موثرترین پارامتر در مصرف برق «چگالی توان تجهیزات» و موثرترین پارامتر در مصرف گاز «بازده سیستم گرمایشی» است. اعتبارسنجی داده‌های حاصل از نرم‌افزار نیز از دو طریق یکی با استفاده از قبوض برق و گاز مصرفی ساختمان و دیگری با استفاده از روابط و محاسبات دستی انجام شد. خطای حاصل به ترتیب ۱۷/۳۸٪ و ۹/۷٪ بدست آمد که بدلالی از جمله ساده‌سازی ساختمان شبیه‌سازی شده و نیز یکسان نبودن زمان کاربری و حضور ساکنین در مقایسه با حالت واقعی، کاملاً قابل قبول و منطقی بود.

*عهده‌دار مکاتبات: Amin.chaeedeh@yahoo.com

کلمات کلیدی: ممیزی انرژی ساختمان، پیش‌بینی مصرف انرژی، رگرسیون خطی چندمتغیره، نرم‌افزار eQUEST، نرم‌افزار SPSS

Abstract

By the published official statistics, The residential buildings in Iran and rest of the world, They spend almost 40% of the energies that surely leads to some disadvantages. For example an unlimited decreases of fossil fuel resources, weather pollution and global warming. This research also has been done for the purposes in following: energy audit in building, found coefficient of basic parameter in energy consumption and predict it. For this project, firstly a building model in Dezful county has been simulated by the analytical energy eQUEST software wch on the first step, 19 main parameters that are contributed in consumption of energy got recognized. On the second step with the change of each of these parameters and further simulation of the building for energy position, we got different model of buildings. Then with the inserting the result that are related to electrical & gas consumption of the models to the statistics analysis software SPSS got two linear regression from the data. So that one of them for electrical consumption and the other for gas consumption been acquired that it showed in the case of electrical consumption "Equipment power density" and in the case of gas consumption "Heating system efficiency" are the most effective factors in building energy consumption for the hot and dry climate of Iran. Also at the end authority deliberation of the purchased data from eQUEST can be done in 2 ways. First from the gas and the electrical consumption bills of the building and second from the relations and manual calculation. The errors were found 17.38% and 9.7% respectively and because of some reasons like simplification of the simulated building and unequal exist duration of inhabitants at model in compare to actual.

مقدمه

ذخایر سوخت‌های فسیلی، جلوگیری از گرم شدن کره زمین و کاهش آلودگی زیست محیطی ناشی از سوختن این سوخت‌ها که همگی بصورت زنجیره‌وار به یکدیگر مرتبط‌اند بطور قطع یکی از مهمترین چالش‌های مهم جهان امروز است. راه حل اصلی مواجهه با این چالش و جلوگیری از مشکلات و عوارض ناشی از آن، صرفه‌جویی در مصرف انرژی و یا به زبان عامیانه «درست مصرف کردن» می‌باشد. لذا اولین گام جهت نیل به این هدف شناسایی بزرگترین مصرف‌کننده انرژی و در کنار آن بزرگترین اتلاف‌کننده‌های انرژی در ایران و جهان است.

نگاهی به آمار مصرف انرژی در ایران و جهان

طبق آمار منتشر شده از سوی سازمان بهینه‌سازی مصرف سوخت کشور، ۴۰٪ انرژی مصرفی در ایران مربوط به بخش ساختمان می‌باشد که در حدود ۲۶/۴ درصد از انتشار دی‌اکسید کربن را نیز به خود اختصاص می‌دهد [۱]. این در حالی است که میانگین مصرف انرژی ساختمانها در ایران بیش از ۲/۵ برابر متوسط مصرف جهانی است (اژانس بین‌المللی انرژی [۱]). [۲]. بخش صنعت و بخش حمل و نقل نیز به ترتیب ۲۵٪ و ۳۰٪ انرژی-های کشور را مصرف می‌کنند. همچنین طبق برآوردهای بعمل آمده توسط سازمان بهره‌وری انرژی کشور (سابا)، با بکارگیری صنعت اتوماسیون ساختمان می‌توان حداقل ۳۰٪ در مصرف انرژی ساختمان‌های مسکونی صرفه‌جویی کرد، که این یعنی ۱۲٪ (۱۲٪ = ۴۰٪ × ۳۰٪) صرفه‌جویی در مصرف انرژی سالانه کشور [۳].

پیشینه تحقیق

M.Mottahedi و همکاران [4] در تحقیقی به مطالعه توسعه یک مدل رگرسیون خطی چندمتغیره جهت پیش‌بینی تاثیر شکل (پاکت) ساختمان بر روی مجموع مصرف انرژی در دو اقلیم آب و هوایی مختلف ایالات متحده پرداختند. در این مطالعه ۷ شکل مختلف ساختمان (شامل اشکال: T-، H-، مستطیل- و ...) مورد بررسی قرار گرفت و از نرم‌افزارهای eQUEST و DOE2 جهت شبیه‌سازی استفاده شد. در ادامه یک تحلیل آماری با استفاده از برنامه آنالیز آماری R به جهت توسعه مجموعه‌ای از معادلات رگرسیون خطی چندمتغیره با هدف پیش‌بینی مصرف انرژی برای هر یک از پروژه‌ها انجام گرفت. در نهایت اختلاف بین مقادیر مصرف انرژی سالانه پیش‌بینی شده توسط رگرسیون و مقادیر شبیه‌سازی شده توسط DOE2 به بزرگی ۵٪ بدست آمد (که تقریب بسیار خوب و قابل قبولی در طراحی محسوب می‌شود). بنابراین نتیجه شد که مدل‌های رگرسیون توسعه یافته می‌توانند جهت تخمین مجموع مصرف انرژی در مراحل اولیه طراحی با در نظر گرفتن پارامترهای مختلف ساختمان (از جمله پاکت و سایر پارامترهای دخیل در طراحی) مورد استفاده قرار بگیرند.

Keywords: Energy audit building, Predicting building energy consumption, Multiple linear regression, eQUEST softwar, SPSS softwar

(Tsun Ke و همکاران، ۲۰۱۵) [5] به بررسی‌هایی در ارتباط با ممیزی انرژی در ساختمان‌های اداری پرداختند و برای این کار با انتخاب یک نرم-افزار شبیه‌ساز مناسب با نام eQUEST اطلاعات و مشخصات یک ساختمان واقعی را مانند فایل هواشناسی، نوع سیستم تهویه مطبوع، جنس عایق، دیوارها و ... وارد نرم‌افزار کرده و ساختمان را شبیه‌سازی کردند. در این تحقیق تاثیر متغیرهای مختلف بر روی مصرف برق ساختمان بررسی شد و نتیجه شد که در ماه جان بار ساختمان با افزایش دمای هوای بیرون افزایش خواهد یافت، بنابراین مصرف برق ایرکندیشن به حداکثر خواهد رسید و در تابستان با افزایش جمعیت، بار ایرکندیشن افزایش می‌یابد که نتیجه آن افزایش در مصرف انرژی می‌باشد. در حالی که در زمستان نتیجه کاملاً برعکس است. دمای طرح داخل تابستانی نیز بر روی بار سرمایشی ساختمان تاثیرگذار است. دمای طرح داخل تابستانی بیشتر موجب بار سرمایشی کمتر برای ساختمان می‌باشد. بیشترین مصرف انرژی در ساختمان مذکور به ترتیب مربوط به مصرف انرژی سیستم ایرکندیشن معادل ۴۹٪، سیستم روشنایی معادل ۳۵٪ و مصرف برق سایر تجهیزات معادل ۱۵٪ از انرژی کل مصرفی ساختمان بود.

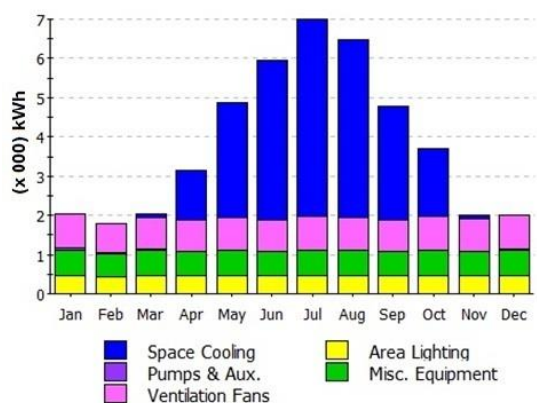
A.Alaiddroos و همکاران [6] در تحقیقی به بررسی نحوه ارتقاء عملکرد انرژی ساختمان‌های مسکونی در کشور عربستان سعودی از طریق بهینه-سازی پارامترهای طراحی پاکت ساختمان پرداختند. این پارامترها شامل عایق دیوارها، عایق سقف، نسبت پنجره به دیوار، میزان شفافیت پنجره و نوع سایبان نصب شده بر روی پنجره بود. بهینه‌سازی انجام شده بر مبنای کاهش هزینه‌های لازم در کنار بیشترین صرفه جویی در انرژی مصرفی و برای پنج اقلیم آب و هوایی مختلف کشور عربستان (در ۵ شهر این کشور) انجام شد. در این تحقیق نتایج نشان داد که عایق دیوارهای خارجی بطور متوسط برای هر پنج اقلیم تاثیر بیش‌تری در مقایسه با سایر پارامترها دارد.

M.Zhao و همکاران [7] در تحقیقی پارامترهای اساسی در طراحی ساختمان‌های بلند و تاثیر آنها بر مصرف انرژی سرمایشی و گرمایشی را در تمام اقلیم‌های آب و هوایی موجود در کشور چین بررسی کردند. این کار با شبیه‌سازی ساختمان (با استفاده از نرم‌افزار آلمانی wufi plus) و بررسی تغییرات پارامترهای دخیل در مصرف انرژی با حفظ کیفیت شرایط آسایش حرارتی داخلی ساختمان انجام شد. نتایج بدست آمده از این شبیه‌سازی نشان داد که بیشترین مصرف انرژی سرمایشی و گرمایشی به میزان ۷۵ kwh برای هر متر مربع و برای هر شخص در اقلیم سرد، ۴۰ kwh در اقلیم زمستانی سرد و تابستانی گرم، ۵۰ kwh در اقلیم زمستانی گرم و تابستانی داغ و ۳۵ kwh در اقلیم معتدل کشور چین می‌باشد.

ممیزی انرژی

اختلاف بین میزان انرژی مصرفی و انرژی مورد نیاز در یک ساختمان برابر با میزان اتلاف انرژی در آن ساختمان می‌باشد. ممیزی انرژی ساختمان در واقع بررسی اجزا و قسمت‌های مختلف آن ساختمان از منظر انرژی و یافتن اتلافات است. و به بیان ساده‌تر هدف از ممیزی انرژی ساختمان، کاهش میزان اتلافات انرژی تا حد ممکن است که این کاهش انرژی، کاهش هزینه‌های پرداختی را نیز به همراه دارد. ممیزی انرژی در

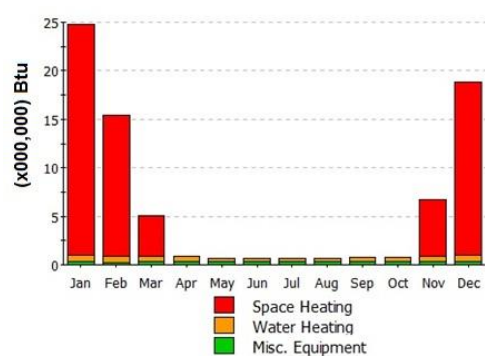
حسب $10^3 kWh$ در نمودار (۱) و جدول (۱) و نتایج مربوط به مصرف گاز سالانه برحسب $10^6 Btu$ در نمودار (۲) و جدول (۲) ارائه شده است (قابل ذکر است که نتایج و خروجی‌های نرم‌افزار eQUEST تنها در سیستم انگلیسی قابل ارائه می‌باشد).



نمودار ۱: انرژی مصرفی برق سالانه به تفکیک ماه‌های سال و نیز تجهیزات مصرف کننده

جدول ۱: انرژی مصرفی برق سالانه به تفکیک ماه‌های سال و نیز تجهیزات مصرف کننده

Month	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Total
Area Lighting	0.48	0.43	0.48	0.48	0.48	0.48	0.48	0.48	0.48	0.48	0.48	0.48	5.76
Pumps & Aux.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Misc. Equipment	0.04	0.28	0.04	0.05	0.04	0.05	0.04	0.04	0.05	0.04	0.05	0.04	0.28
Ventilation Fans	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Space Cooling	0.02	0.05	0.01	-	-	-	-	-	-	-	0.01	0.05	0.11
Area Heating	0.08	0.38	0.01	0.00	0.03	0.38	0.02	0.01	0.00	0.02	0.03	0.02	0.88
Hot Water	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Hot Space	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Space Heat	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Refrigeration	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Hot Water	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Space Cool	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Electric Consumption (x 1000) kWh	0.50	0.71	0.53	0.53	0.53	0.53	0.53	0.53	0.53	0.53	0.53	0.53	6.76



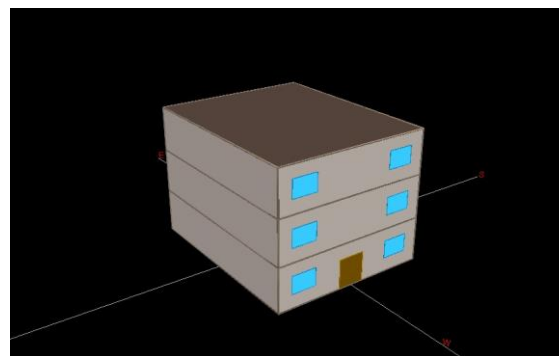
نمودار ۲: انرژی مصرفی گاز سالانه به تفکیک ماه‌های سال و نیز تجهیزات مصرف کننده

جدول ۲: انرژی مصرفی گاز سالانه به تفکیک ماه‌های سال و نیز تجهیزات مصرف کننده

سطوح مختلف شامل ممیزی ساده و اولیه که شامل مشاهده و بررسی مصرف انرژی در بخشهای مختلف ساختمان و در سطوح بالاتر، مدلسازی و تجزیه و تحلیل عملکرد ساختمان با استفاده از شبیه‌سازی های کامپیوتری می‌باشد که موجب افزایش دقت و سرعت عمل در روند ممیزی نیز خواهند شد که از جمله بهترین آنها، نرم‌افزار eQUEST می‌باشد که در این تحقیق از آن استفاده شده است. این نرم افزار از موتور محاسباتی نرم افزار DOE2.2 بهره می‌برد که اولین بار در سال ۱۹۷۹ توسط گروه تحقیقاتی شبیه‌سازی لابراتوار لورنس^۱ برکلی توسعه داده شد و هم اکنون در اختیار تیم جیمز هرش^۲ و همکارانش می‌باشد[۸].

نمونه مطالعاتی

بر اساس آمار ذکر شده در بالا و همچنین اهمیت انجام ممیزی در یک ساختمان، تمرکز تحقیق حاضر بر روی میزان مصرف انرژی ساختمان های مسکونی و مؤثرترین عوامل دخیل بر آنها می‌باشد. برای این کار یک ساختمان سه طبقه مسکونی واقع در اقلیم گرم و خشک ایران و بطور اختصاصی در شهرستان دزفول انتخاب و توسط نرم‌افزار eQUEST شبیه سازی شد. برای این کار تمامی اطلاعات مورد نیاز ساختمان از جمله ابعاد و جنس دیوارها، سقف، کف، در و پنجره‌ها و همچنین جهت جغرافیایی قرارگیری پنجره‌های ساختمان نسبت به خورشید، نوع سیستم سرمایش و گرمایش، دمای طرح داخل و ... به نرم‌افزار داده شد. دمای طرح خارج نیز توسط یک فایل اقلیمی^۳ تهیه شده توسط سازمان هواشناسی کشور به نرم‌افزار داده شد. شکل (۱) نمای شبیه‌سازی شده ساختمان را نشان می‌دهد.



شکل ۱: نمای سه بعدی از ساختمان مدل شده در نرم‌افزار eQUEST

نتایج

نتایج حاصل از شبیه‌سازی ساختمان توسط eQUEST مربوط به مصرف برق سالانه به تفکیک ماه‌های سال و تجهیزات مصرف کننده و بر

۱-Lorence

۲- James Hirsch

۳-TMY

پارامتر قابل تغییر (eQUEST) یکی برای مصرف برق، رابطه (۱)، و دیگری برای مصرف گاز، رابطه (۲)، بدست آمدند.

$$Y = 127.536 - 0.478X_1 - 0.083X_2 - 0.544X_3 - 0.693X_4 + 1.546X_6 - 0.243X_7 - 0.064X_8 + 0.011X_9 + 5.957X_{10} + 12.691X_{11} - 0.909X_{12} - 0.009X_{13} + 9.487X_{14} - 3.774X_{15} + 0.031X_{16} + 0.073X_{18} + 0.322X_{19}$$

(۱)

$$Y = -227.788 + 0.394X_1 - 0.001X_2 - 4.885X_3 - 9.896X_4 - 4.868X_6 + 0.5511X_7 + 0.571X_8 - 0.019X_9 - 3.877X_{10} - 7.673X_{11} + 0.052X_{12} + 7.043X_{13} - 10.674X_{14} - 0.186X_{15} - 115.089X_{16} + 0.125X_{17} - 0.217X_{18} + 3.954X_{19}$$

(۲)

در این روابط، قدرمطلق ضرایب روابط بدست آمده نشان دهنده میزان تاثیر (وزن) هر پارامتر در مصرف انرژی ساختمان می باشد. علامت مثبت ضرایب نیز نشان دهنده رابطه مستقیم و علامت منفی نشان دهنده رابطه معکوس آن پارامتر با انرژی مصرفی ساختمان است. با این توضیح، در رابطه (۱) X_{11} (چگالی توان تجهیزات) با علامت مثبت و در رابطه (۲) X_{16} (بازده سیستم گرمایشی) با علامت منفی موثرترین عوامل خواهند بود. علاوه بر این، با استفاده از روابط (۱) و (۲) می توان در حین دقت بالا، براحتی و بسرعت برای هر مقدار دلخواه (والیته قابل قبول) از پارامترها، مصرف انرژی برق و گاز ساختمان را بدست آورد.

اعتبارسنجی نتایج

اعتبارسنجی نتایج تحقیق حاضر از دو طریق یکی مقایسه با قبوض برق و گاز، جدول (۴)، و دیگری مقایسه با روابط انتقال حرارت در ساختمان بصورت محاسبات دستی [۱۰]، جدول (۵)، انجام شد. این مقایسه برای برق مصرفی در ماه های مهر و آبان و برای گاز مصرفی در ماه های آبان و آذر صورت گرفت. نتایج انرژی گاز مصرفی از سیستم انگلیسی (Btu) به سیستم (SI) تبدیل شده است. قابل ذکر است که انتخاب ماه ها برای مقایسه و اعتبارسنجی نتایج باتوجه به نرمال بود مصرف تمامی واحدهای ساختمان در مقایسه با سایر ماه ها انجام شد.

جدول ۴: مقایسه نتایج eQUEST و قبوض برای برق و گاز مصرفی

خطا	قبض	eQUEST	برق مصرفی بر حسب $\times 10^3 kWh$
۲۶/۱٪	۴۵۲۵	۵۷۱۰	
خطا	قبض	eQUEST	گاز مصرفی بر حسب $\times 10^6 KJ$
۱۷/۳۸٪	۲۳/۰۰	۲۶/۹۹	

مقدار	54.33	12.43	2.71	0.83	0.23	0.09	0.03	0.08	0.33	0.07	9.34	18.82	32.87
year fuel use	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
year electricity use	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
year gas use	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
year water use	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
year cooling use	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
year heating use	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
year total use	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
year electricity use	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
year gas use	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
year water use	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
year cooling use	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
year heating use	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
year total use	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

همان طور که از جداول و نمودارهای بالا مشاهده می شود بیشترین مصرف برق در ماه جولای (تیرماه) و مربوط به سرمایش فضا می باشد. بیشترین مصرف گاز نیز در ماه جان (دی ماه) و مربوط به گرمایش فضا می باشد. علاوه بر نتایج بالا نرم افزار eQUEST مهم ترین پارامترهای قابل تغییر را در قسمتی با نام Energy Efficiency Measure Wizard یا همان «راهنمای سنجشگر انرژی» جهت انجام تغییر در پارامترها و اجزای ساختمان و مشاهده تغییر حاصل در انرژی مصرفی ساختمان، ارائه می دهد. این پارامترها برای مدل ساختمان تحقیق ما ۱۹ عدد بود که در جدول (۳) آورده شده است.

جدول ۳: پارامترهای قابل تغییر ارائه شده توسط eQUEST

x1	عایق بندی سقف
x2	عایق بندی کف
x3	عایق بندی دیوار خارجی
x4	ضخامت بتن دیوار خارجی
x5	ارتفاع پنجره
x6	نوع شیشه
x7	پیش آمدگی سایبان بالای پنجره
x8	پیش آمدگی تیغه کناری پنجره
x9	سنسور استفاده از نور روز
x10	چگالی توان نوری
x11	چگالی توان تجهیزات
x12	مدیریت دمای سرمایشی ترموستات
x13	مدیریت دمای گرمایشی ترموستات
x14	توان فن های سیستم تهویه مطبوع
x15	بازده سیستم سرمایشی
x16	بازده سیستم گرمایشی
x17	دمای آب گرم مصرفی با گاز
x18	دمای آب گرم مصرفی با برق
x19	تخلیه و تامین هوای تازه

با تغییر هر یک از این ۱۹ پارامتر به تعداد قابل قبول (برخی پارامترها ۵ بار و برخی دیگر ۱۰ بار) و شبیه سازی مجدد ساختمان نتایج جدیدی برای مصارف برق و گاز برای هر حالت به دست آمد و در مجموع ۱۵۵ مدل ساختمان مختلف شبیه سازی شد. برای تحلیل این نتایج از یک نرم افزار تحلیل آماری مناسب به نام SPSS استفاده کردیم. به این طریق که ابتدا داده ها را در SPSS وارد کرده و سپس با انجام آزمون تحلیل واریانس و آزمون شاخص های همبستگی چندمتغیره [۹] از داده ها رگرسیون گیری می کنیم. با این کار دو رابطه خطی معنادار شامل ۱۹ متغیر مستقل (۱۹)

استفاده و بهره‌گیری از نتایج این تحقیق در ساخت و یا بازسازی ساختمانهای مسکونی کشور گامی نه چندان دشوار ولی بسیار موثر در کاهش مصرف انرژی ساختمانهای مسکونی برداریم و در حفظ منابع ارزشمند انرژی جهت آسایش خود و آیندگان سهمی بسزا داشته باشیم.

فهرست علامتها

علائم انگلیسی	
A	مساحت، m^2
kwh	یکای فرعی انرژی در سیستم SI
Kj	یکای انرژی در سیستم SI
Btu	یکای انرژی در سیستم انگلیسی

مراجع

- [۱] وب سایت رسمی سازمان بهینه‌سازی مصرف سوخت کشور به نشانی www.ifco.ir.
- [۲] وب سایت رسمی آژانس بین‌المللی انرژی به نشانی www.iea.org.
- [۳] وب سایت رسمی سازمان بهره‌وری انرژی ایران (سابا) به نشانی www.saba.ir.
- [4] M.Mottahedi, A.Mohammadpour, S.Shams Amiri, and D.Riley, 2015, Multi-linear Regression Models to Predict the Annual Energy Consumption of an Office Building with Different Shapes. *Procedia Engineering* 118 (2015) 622 – 629.
- [5] M.Tsun Ke, C.Hung yeh, J.Ting Jian, 2013, Analysis of building energy consumption parameters and energy savings measurement and verification by applying eQUEST software. *Energy and Buildings* 61 (2013) 100–107.
- [6] A. Alaidroos, M.Krarti, Optimal design of residential building envelope systems in the Kingdom of Saudi Arabia. *Energy and Buildings* 86 (2015) 104–117.
- [7] M.Zhao, H.M. Künnel, F.Antretter, Parameters influencing the energy performance of residential buildings in different Chinese climate zones. *Energy and Buildings* 96 (2015) 64–75.
- [8] محمد عباسپور و مجتبی رضائیان باجگیران، ۱۳۸۹، جایگاه تحلیل نرم-افزاری در ممیزی انرژی در بخش ساختمان، نشریه انسان و محیط زیست، دوره ۸، شماره ۳.
- [۹] نعمت الهی، نادر، ۱۳۹۲، آمار واحتمالات مهندسی، انتشارات سہادانش، تهران.
- [۱۰] طباطبایی، سید مجتبی، ۱۳۹۳، محاسبات تاسیسات ساختمان، انتشارات روزبهان، تهران.

دلایل خطای ایجاد شده جدول (۴) را می‌توان بصورت زیر برشمرد:

۱. سیستم گرمایشی ساختمان در حالت واقعی بخاری گازسوز دودکش‌دار می‌باشد. در حالیکه بدلیل نبود این نوع سیستم در نرم‌افزار، به ناچار سیستم گرمایشی کوره انتخاب و جایگزین شده است.
۲. ساده‌سازی ساختمان مدل شده (در مقایسه با حالت واقعی) جهت انجام شبیه‌سازی
۳. یکسان نبودن زمان استفاده و کاربری ساکنین ساختمان در حالت واقعی با مدل نرم‌افزاری
۴. یکسان نبودن پریود قبوض با پریود نتایج نرم‌افزار (زیرا قبوض صادر شده معمولاً از ابتدای برج صادر نمی‌شوند)

جدول ۵: مقایسه نتایج eQUEST و محاسبات دستی برای گاز

خطا	محاسبات دستی	eQUEST	گاز مصرفی برحسب $\times 10^6 \text{ Kj}$
۹/۷٪	۲۴/۶۰	۲۶/۹۹	

دلایل خطای ایجاد شده جدول (۵) را می‌توان بصورت زیر برشمرد:

۱. در نظر گرفتن یک دمای میانگین در طول شبانه روز برای انجام محاسبات دستی در حالیکه نرم‌افزار دمای لحظه به لحظه را از فایل اقلیمی تعریف شده برای آن (مربوط به شهرستان دزفول) دریافت می‌کند.
۲. در نظر نگرفتن انتقال حرارت و تبادل انرژی برخی تجهیزات برقی منزل مانند یخچال، تلویزیون، لامپ‌های روشنایی و همچنین انرژی حاصل از متابولیسم بدن انسان در محاسبات.

با توجه به موارد ذکر شده، خطای حاصل کاملاً منطقی و قابل قبول می‌باشد.

نتیجه‌گیری و پیشنهادات

مدل رگرسیون خطی چندمتغیره بدست آمده، اصلی‌ترین و موثرترین عوامل در میزان مصرف انرژی (گاز و برق) را ارائه می‌دهد که با استفاده از آن پی بردیم که در اقلیم گرم و خشک کشور و به طور اختصاصی شهرستان دزفول موثرترین عامل در مصرف برق چگالی توان تجهیزات و در مصرف گاز بازده سیستم گرمایشی می‌باشند. علاوه بر این، با استفاده از این روابط براحتی و بدون نیاز به تغییر در مصالح و تجهیزات یک ساختمان مسکونی می‌توان میزان تاثیر ناشی از تغییر هر پارامتر از ساختمان را بر روی مصرف برق و گاز آن دریافت و با در نظر گرفتن هزینه تغییرات، بهینه‌ترین حالت را جهت کاهش مصرف انرژی (برق و گاز) ساختمان برگزید. لذا امید است با