

بهینه سازی مصرف انرژی در یک ساختمان آموزشی با کمک سناریوهای فیزیکی

محمد حسین جهانگیر^۱

ریحانه رسیدی^۲

چکیده

صرف انرژی در ساختمان‌ها همیشه از موضوعات مورد توجه مردم و تمامی نهادهای دنیا بوده است. ضرورت توجه به این موضوع به دلیل مصرف انرژی بالا و همچنین تلفات انرژی قابل توجه در آن‌ها می‌باشد. هدف از انجام این مطالعه، محاسبه انرژی مصرفی یک ساختمان آموزشی و به دست آوردن میزان تلفات انرژی آن و درنهایت ارائه راهکار برای بهبود مصرف انرژی و کاهش آن است. در راستای این هدف از ممیزی انرژی استفاده می‌شود. به این معنی که ساختمان موردنظر برای محاسبات ساختمان، دقیق معاینه شده و هزینه‌های آن برآورد شده و درآخر پیشنهادات کاهش مصرف انرژی با توجه به نقاطی که تلفات در آنها اتفاق می‌گردد. برای شبیه سازی ساختمان از نرم افزار دیزاین بیلدر و برای محاسبات ممیزی انرژی آن از روابط موجود در دستورالعمل تعیین مصرف انرژی و برچسب انرژی سازمان ملی استاندارد استفاده می‌شود. نتایج مطالعه نشان می‌دهد که بیشترین تلفات از در و پنجره و پل‌های حرارتی اتفاق می‌افتد و با تعریف سه سناریو و اجرای آنها در ساختمان بهبود مصرف انرژی و کاهش تلفات مشاهده می‌شود. در نهایت میتوان مشاهده کرد که میزان تلفات حدود ۴۰ درصد کاهش داشته و دمای آسایش ساختمان به ۲۰ درجه سانتی‌گراد تغییر می‌یابد.

واژگان کلیدی: بهینه سازی مصرف انرژی، ساختمان آموزشی، ممیزی انرژی، دیزاین بیلدر

مقدمه

صنعت هم قابل توجهی در مصرف انرژی دارد اما امروزه سهم انرژی مصرفی مرتبط با بهره برداری از ساختمان‌ها نیز رو به افزایش است. تفاوت مصرف در روز و شب، ساعت‌های مختلف شبانه روز و با توجه به تعداد افراد و متراژ ساختمان وجود دارد. البته باید به این نکته اشاره کرد که در شب مصرف مبتنی بر وجود انسان‌ها کم می‌باشد. باید به این موضوع اشاره کرد که ساختمان‌های مدارس جدید نسبت به مدارس قدیمی تر از نظر مصرف انرژی بهبود یافته‌اند زیرا بسیاری از کارها مانند تهویه در ساعت‌های مشخص و بهینه‌ای انجام می‌شود.

با توجه به وابسته بودن مصرف انرژی اختمنان‌ها به قیمت انواع انرژی، کنترل و بررسی وضعیت ساختمان‌ها برای بهره‌وری هوشمند انرژی ضروری است [۱]. طراح سیستم‌ها از کمترین مقیاس مانند نانو با تا حتی بزرگترین مقیاس‌ها در بهینه کردن مصرف انرژی ساختمان بسیار موثر است [۲]. در مجلاتی مانند Nature مقالات زیادی در زمینه مصرف انرژی ساختمان‌ها ارائه شده است. طبق گزارشات ارائه شده مصرف انرژی در ساختمان در بخش‌هایی مانند سرمایش، گرمایش و روشنایی، سهم ۴۱ درصدی از مصرف کل انرژی در ساختمان‌ها در ایالات متحده است [۳]. از اقداماتی که میتوان در راستای بهینه کردن مصرف انرژی در ساختمان‌ها انجام داد ارائه فناوری‌های پیشرفته و به روز مانند استفاده از پنجره‌های ترموکرومیک می‌باشد [۵]. استفاده از اینگونه روش‌ها منجر به احداث ساختمان‌های سبز و همچنین ایجاد اشتغال برای طیف وسیعی از مردم می‌شود [۴]. اتحادیه اروپا با تصویب قانون خود در ژوئن ۲۰۱۲

^۱. دانشیار دانشکده علوم و فنون نوین دانشگاه تهران (نویسنده مسئول)

Email : mh.jahangir@ut.ac.ir – Tel: 09124221035

^۲. دانشجوی کارشناسی ارشد، انرژی‌های نو و محیط زیست دانشگاه تهران

کاهش مصرف انرژی در ساختمان را تا ۱۵ درصد تا سال ۲۰۲۰ تضمین کرد که البته رسیدن به این کاهش نیازمند استفاده و به کاربردن ممیزی انرژی در ساختمان است [۶].

بررسی ها و مطالعات انجام شده در زمینه انرژی در ساختمان ها و روشهای بهره وری آن ها، با پیشرفت تکنولوژی جدیدتر و به روزتر می شود. پاچکو و همکاران عواملی مانند شکل ساختمان، جهت آن، سایه، نوع سیستم پوشش و جهت ساختمان از موارد تاثیرگذار بر تقاضای انرژی برای گرمایش و سرمایش می باشد [۷]. همچنین می توان عواملی مانند پوشش ساختمان، تجهیزات آن، شرایط محیطی و روانی داخل ساختمان، آب و هوا، تعمیر و نگهداری و رفتار اهالی ساختمان را از موارد تاثیرگذار بر عملکرد و مصرف انرژی در ساختمان برشمرد [۸]. که رفتار اهالی ساختمان و تعمیر و نگهداری تاثیر زیادی در میزان صرفه جویی انرژی دارد. ژئو و ماگولس تحولات به وجود آمده در مشکلاتی که برای تخیین مصرف انرژی پیش می آید را بررسی کردند [۹]. همچنین در دانشگاه کالج کورک ایرلند یک بهینه سازی چندمتغیره براساس تکنیک های شبیه سازی در روز و یک روش بهینه سازی براساس الگوریتم ژنتیک برای بهبود بهینه سازی ارائه شده است [۱۰]. اولین هدف برای بهینه سازی چند متغیره بررسی بهینه بودن هزینه های عملکردی ساختمان و آسایش حرارتی آن می باشد [۱۱]. به عنوان دومین هدف می توان به ارزیابی رابطه ای ویژگی های اصلی و پایه ساختمان و ارائه راه حل های مقاوم سازی بهینه اشاره کرد [۱۲]. هدف آخر دسته بندی و مرتب سازی اقدامات بهینه سازی مصرف انرژی براساس الوبت انجام آن ها و با استفاده از بررسی میزان انرژی مورد نیاز و سرمایه گذاری در دسترس می باشد [۱۳].

از آنجایی که بهینه سازی مصرف انرژی برکیفیت هوای مصرفی داخل ساختمان و همچنین آسایش دانش آموzan در مدرسه تاثیر میگذارد، نمیتوان از تاثیر آن بر هزینه ها نیز دریغ کرد. پس می توان گفت بررسی مصرف انرژی بهترین، راحت ترین و تاثیرگذارترین روش برای صرفه جویی و بهینه سازی مصرف انرژی است [۱۴]. به همین دلیل کمپنی های ممیزی انرژی مختلفی برای انجام این فرایند و رسیدن به هدف مورد نظر در جنوب اروپا تشکیل شده است [۱۵]. در مونیخ آلمان ارزیابی بازده انرژی مدرسه در ساختمان های مدارس غیرفعال به وسیله ای کنترل HVAC بررسی شده است [۱۶]. اما می توان به بررسی دیگری که در نیومکریکو، ایالات متحده انجام شده است اشاره کرد که نتیجه ای این بررسی بیان می کند که در مدارس قدیمی تر میزان مصرف انرژی برق کمتر است. از جمله موادر مؤثر در این بررسی می توان به سن ساخت، زمان استفاده و نوع سیستم HVAC اشاره کرد [۱۷].

ساختمان هایی که مصارف عمومی دارند عمدتاً مصرف انرژی بیشتری نسبت به ساختمان های مصارف خانگی دارند و البته بهای انرژی که به ادارات مربوطه برای مصرف هرنوع انرژی می پردازند نیز متفاوت است. در میان همه این ساختمان های عمومی، مدارس مقدار چشم گیری از مصرف کل انرژی هر کشور و به طبع آن هزینه های پرداخت شده توسط بودجه ملی را شامل می شوند [۱۸]. توجه به حقوق و مزایای معلمان و کارمندان مهمترین هزینه ای مدارس است اما بعد از می توان هزینه های انرژی را در رتبه دوم با اهمیت ترین هزینه ها قرار داد [۱۹].

نسبت های مصرف انرژی در کشورهای جهان متفاوت است و مطالعات مختلف چندین نوع مصرف انرژی با واحدهای مختلف ارائه می دهند. مشخصات تعدادی از آنها در جدول ۱ آمده است.



جدول ۱ مقایسه ویژگی های داده های مورد استفاده در تحلیل ادبیات مصرف انرژی [۲۰]

مکان	نوع انرژی	واحد (در سال)	ارزش مرجع
انرژی	kWh/m ²		معمولی: متوسط
قبس	kWh/m ²	انرژی صورتحساب شده	میانگین
جمهوری چک	kWh/m ²	تحویل داده شده	میانگین
دانمارک	kWh/m ²	اولیه	میانگین
فنلاند	kWh/m ²	-	میانگین
فلاندر	kWh/m ²	-	عملکرد متوسط، معمولی و خوب
فرانسه	kWh/m ²	اولیه	عملکرد معمولی و خوب
آلمان	kWh/m ²	اولیه	منظور داشتن
بیونان	kWh/m ²		عملکرد معمولی و خوب
مجارستان	kWh/m ²		میانه
ایتالیا	kWh/m ²	اولیه	عملکرد خوب: میانه
ایرلند شمالی	kWh/m ²	انرژی مصرف شده	متوسط ۱/۴ میانگین
لهستان	kWh/m ²		میانه
کشور پرتغال	kWh/m ²	انرژی مصرف شده	عملکرد خوب: میانه
اسلواکی	kWh/m ²		بهترین عملکرد
اسلوونی	kWh/m ²	انرژی صورتحساب شده	میانگین
اسپانیا	kWh/m ²		میانگین
سوئد	kWh/m ²	اولیه	میانگین
بریتانیا (بریتانیا)	kWh/m ²	انرژی مصرف شده	بهترین عملکرد
آرژانتین	kWh/m ²	انرژی مصرف شده	میانه
کانادا	kWh/m ²	انرژی صورتحساب شده	میانگین
ایالات متحده آمریکا	kBtu/ft ²		میانگین
هنگ کنگ	MJ/m ²		بهترین عملکرد
ژاپن	GJ/m ²		میانگین
مالزی	kWh/m ²	انرژی صورتحساب شده	میانگین
کره جنوبی	MJ/m ²	انرژی مصرف شده	میانگین
	MJ/student		

هنگام محاسبه و تخمين مصرف انرژی ساختمان با این مشکل روبرو می شویم که مقادیر محاسبه شده در طراحی با مقادیر مصرف واقعی آن ساختمان متفاوت است. به بیان ساده تر مقدار محاسبه شده و اندازه گیری شده با یکدیگر برابر نیست [۲۱]. از دلایل بروز این مشکل می توان به این نکته اشاره کرد که در حالت واقعی محاسبات طبق مصرف و رفتار ساکنین ساختمان و یا دانش آموزان مدرسه محاسبه می شود اما در حالت طراحی با توجه به پروفیل بار و همچنین شغل از پیش تعیین شده و تخمين ها محاسبه صورت می گیرد [۲۲]. دلیل دیگر این عدم برابری ساده سازی برخی از فرضیه ها در شبیه سازی های انجام شده و یا مشکلات تصادفی آب و هوایی نیز می تواند باشد [۲۳].

در بین تمامی ساختمان های اجتماعی مدارس به دلیل مسئولیت اجتماعی که بر عهده دارند که همان هدف آموزشی است، از اهمیت بسیاری برخوردار هستند. در اروپا MS گواهی های عملکرد انرژی مختلف (EPC) را ارائه میکند که هر کدام اطلاعات مختلفی را در اختیار مردم قرار می دهد. طبق مطالعات انجام شده نمی توان رابطه مستقیمی بین برچسب انرژی ساختمان ها و ارزیابی آن ها به دست آورد. EPC های مختلف می توانند براساس انواع ساختمان مرجع که دارای مقدار مصرف انرژی متفاوت مانند متوسط و یا عملکرد خوب و البته با توجه به معبار مصرف انرژی برای نیازهای مختلف گرمایش و یا برق به کار برد شوند [۲۴]. برای مثال از طریق معیار سنجی مدیران مدارس می توانند مدارس خودرا از نظر صرف انرژی با یک مدرسه در یک منطقه چهارگانه ای دیگر و با شرایط آب و هوایی مشخص و همچنین شرایط آب و هوایی داخلی (ICC) معلوم مقایسه کنند و صرفه جویی خود را طراحی و تخمين بزنند و مقدار قبل توجهی در هزینه ها و همچنین مصرف انرژی کاهش داشته باشند.

صرف انرژی در ساختمان‌ها باید با انرژی اولیه ورودی به ساختمان مطابقت داشته باشد. یعنی در بهترین حالت مقدار کل انرژی مصرفی ساختمان بر اساس مصرف نهایی تفکیک می‌شود و این تفکیک باعث داشتن آگاه مبنی بر مصرف انرژی در قسمت‌های مختلف ساختمان می‌شود که خود باعث شناسایی پرمصرف‌ترین قسمت ساختمان و تلاش برای بهینه کردن مصرف انرژی در آن قسمت می‌شود [۲۰].

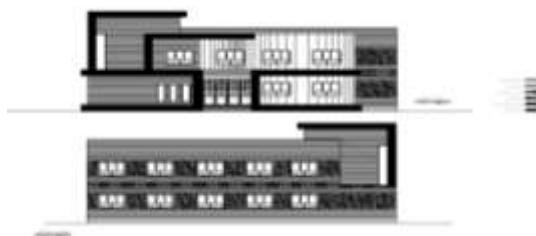
در حال حاضر ساختمان‌ها ۴۰ تا ۲۰ درصد مصرف انرژی جهان را شامل می‌شوند که شناسایی عملکرد و نحوه‌ی مصرف انرژی در آن‌ها برای بهینه سازی مصرف ضروری است. نتایج نشان می‌دهد سن ساخت مدرسه تاثیر بسیار زیادی بر مصرف انرژی آن دارد. یعنی می‌توان گفت مدارس جدیدتر که تازه ساخته شده اند نسبت به مدارس قدیمی، مصرف گاز کمتر اما مصرف برق بیشتری دارند. نکته قابل توجه این است که مدارس میانسال بیشترین مصرف انرژی را دارا هستند [۲۵].

در این مطالعه سعی شده است مصرف انرژی در یک مدرسه در استان خراسان کشور ایران محاسبه شود و برای کاهش مصرف انرژی و بهبود شرایط مدرسه و کاهش هرینه‌ها سناریوهای ارائه و به کار برده شود و درنتیجه برای بهبود عملکرد انرژی در مدرسه و بهبود آسایش حرارتی دانش آموزان در بهترین حالت با کمترین مصرف انرژی و هزینه تلاش شود.

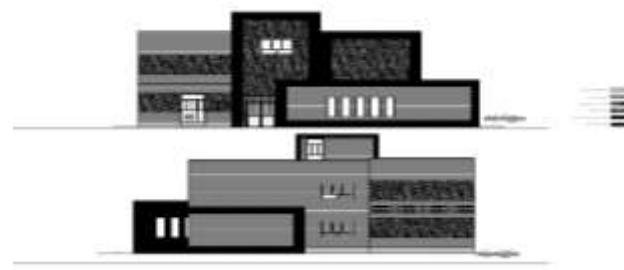
مبانی نظری، داده‌ها و روش‌ها

برای شبیه سازی انرژی در این مجموعه از نرم افزار دیزاین بیلدر، نرم افزار تخصصی شبیه سازی انرژی، از پرکاربرد ترین، به روزترین و دقیق ترین نرم افزارهای موجود در زمینه انرژی در تمامی دنیا می‌باشد که امروزه در سطح وسیع در دانشگاه‌ها و کمپانی‌های کشورهای توسعه یافته استفاده می‌گردد. از خصوصیات مهم این نرم افزار، استفاده از موتور مدلسازی EnergyPlus است که توسط دپارتمان انرژی آمریکا توسعه یافته و به عنوان یکی از معتبرترین نرم‌افزارهای مدلسازی انرژی می‌باشد. در نرم افزار دیزاین بیلدر، می‌توان ساختمان را از جنبه‌های مختلفی مثل فیزیک ساختمان، معماری، مصالح، پوسته، سیستم‌های سرمایشی و گرمایشی، سیستم روشنایی، تهویه طبیعی و مکانیکی و سایر جوانب مدلسازی کرد. همچنین امکان مدلسازی بار گرمایشی و سرمایشی ساختمان، مصارف مختلف انرژی از قبیل انرژی گرمایشی، سرمایشی، روشنایی، لوازم خانگی، آب گرم مصرفی و غیره به صورت دینامیک در این نرم افزار وجود دارد. از دیگر قابلیت‌های نرم افزار دیزاین بیلدر می‌توان به محاسبه میزان روشنایی روز، مدل سازی CFD، مدل سازی سیستم انرژی‌های نو، محاسبه آسایش حرارتی در فضاهای داخلی ساختمان، میزان اتلاف و دریافت انرژی از عناصر مختلف ساختمانی و نیز تحلیل اقتصادی پژوهه‌های انرژی اشاره کرد.

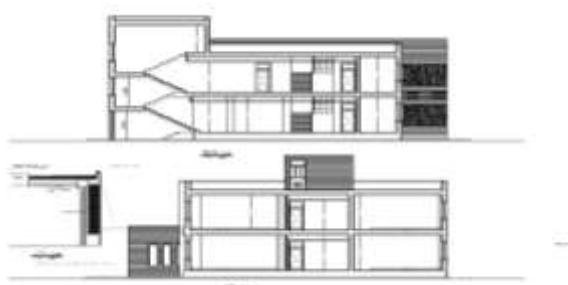
ساختمان مورد نظر، یک مدرسه دوطبقه می‌باشد که متراظر هردو طبقه برابر بوده و هر کام دارای تعدادی کلاس است. عبور و مرور بین دوطبقه توسط پله انجام شده و فاقد آسانسور است. نقشه ساختمان در دسترس بوده و تصاویر نمای شمالی جنوبی آن در شکل ۱ و نمای شرقی غربی آن در شکل ۲ نشان داده شده است. همچنین در شکل ۳ می‌توان بررسی ساختمان را مشاهده نمود.



شکل ۱- نمای شمالی جنوبی

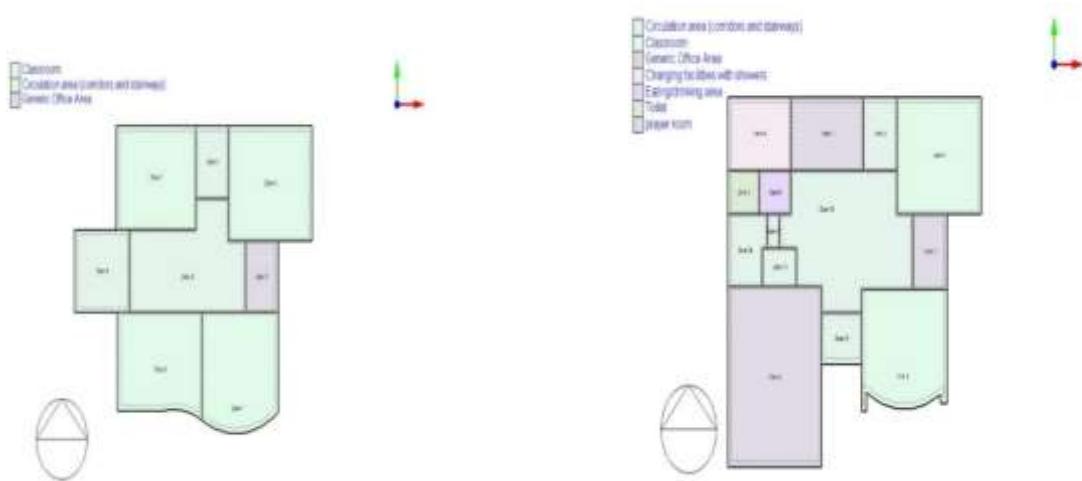


شکل ۲-نمای شرقی غربی



شکل ۳-بوش ساختمان

با در دسترس داشتن نقشه ساختمان، کل ساختمان در نرم افزار دیزاین بیلدر شبیه سازی شد، قسمت های مختلف تفکیک شده و زون های مختلف در هر طبقه مشخص شده است. طبقه اول دارای قسمت های بیشتری نسبت به طبقه دوم می باشد. شکل ۴ پلان طبقه اول و شکل ۵ پلان طبقه دوم رسم شده در نرم افزار را نشان می دهد.



شکل ۵-پلان طبقه دوم

شکل ۴-پلان طبقه اول

برای پیش بردن مطالعات و انجام محاسبات موردنیاز برای بهینه سازی نیاز به اطلاعات مختلفی در مورد ساختمان مورد نظر است. از جمله این اطلاعات، آگاهی از لایه های دیوارها، سقف و کف می باشد. این ساختمان دارای دیوار خارجی، دیوار داخلی، سقف و کف بوده که هر کدام دارای لایه های مختلف و مصالح تشكیل دهنده مخصوص به خود هستند. پس از بررسی لایه ها، ضخامت آن ها یادداشت شده و مقاومت حرارتی هر کدام محاسبه شده است. در انتهای برای هر دیوار، سقف و یا کف مقاومت حرارتی کل و همچنین ضریب انتقال حرارت کل به دست آمد. جدول ۲ مشخصات دیوار خارجی، جدول ۳ مشخصات دیوار داخلی، جدول ۴ مشخصات سقف و جدول ۵ مشخصات کف ساختمان را نمایش می دهد.

جدول ۲- مشخصات دیوار خارجی			
$R \left(\frac{m^2 K}{W} \right)$	$\lambda \left(\frac{W}{mK} \right)$	$d \left(m \right)$	لایه
۱/۰۱۹	۱/۳	۰/۰۲۵	سنگ
۰/۰۲۵	۱/۰۰	۰/۰۲۵	ملات سیمان
۰/۵	۰/۲۰	۰/۱۰	سفال
۱/۲۱۹۵	۰/۰۴۱	۰/۰۵	عایق حرارتی (پشم شیشه)
۰/۵	۰/۲۰	۰/۱۰	سفال
۰/۰۲۵	۱/۰۰	۰/۰۲۵	سیمان
۰/۰۶۲۵	۰/۴۰	۰/۰۲۵	گچ
۰/۱۷	-	-	لایه هوا
$R_t = 2.521$			
$U_t = 0.3966$			

جدول ۳- مشخصات دیوار داخلی			
$R \left(\frac{m^2 K}{W} \right)$	$\lambda \left(\frac{W}{mK} \right)$	$d \left(m \right)$	صالح/ استفاده شده
۰/۰۶۲۵	۰/۴۰	۰/۰۲۵	گچ
۰/۰۲۵	۱/۰۰	۰/۰۲۵	سیمان
۰/۰۴	۰/۲۰	۰/۲	سفال
۰/۰۲۵	۱/۰۰	۰/۰۲۵	سیمان
۰/۰۶۲۵	۰/۴۰	۰/۰۲۵	گچ
$R_t = 0.215$			
$U_t = 4.6512$			

جدول ۴- مشخصات سقف ساختمان			
$R \left(\frac{m^2 K}{W} \right)$	$\lambda \left(\frac{W}{mK} \right)$	$d \left(m \right)$	صالح/ استفاده شده
۰/۰۲۶۱	۱/۱۵	۰/۰۳	عایق رطوبتی (اسفالت یا مشابه)
۰/۰۲۸	۰/۵۲	۰/۰۱۵	بن سیک
۰/۱۷۴	۱/۱۵	۰/۲۰	بن سیمانی متخلخل
۰/۰۵	۰/۴۰	۰/۰۲	گچ
$R_t = 0.2789$			
$U_t = 3.5855$			



جدول ۵- مشخصات کف ساختمان			
$R \left(\frac{m^2 K}{W} \right)$	$\lambda \left(\frac{W}{mK} \right)$	$d \left(m \right)$	صالح استفاده شده
۰/۰۱۴۸	۱/۳۵	۰/۰۲	موزاییک
۰/۰۱۵	۱/۰۰	۰/۰۱۵	سیمان
۰/۰۴۱	۰/۳		عایق حرارتی
۰/۲۵۷	۰/۷	۰/۱۸	عایق رطوبتی
۰/۰۲۸۱	۰/۵۲	۰/۰۱۵	بتن سبک
۰/۰۲۷	۱/۱	۰/۲۵	خاک کوبیده
$R_t = 0.5426$			
$U_t = 1.8430$			

هدف از انجام تمامی محاسبات کاهش مصرف انرژی ساختمان است، پس از اطلاعات مورد نیاز برای محاسبه مصرف انرژی سالانه، میزان تلفات و مصرف انرژی کل، در دسترس داشتن اطلاعات مربوط به مصرف برق و گاز طبیعی می باشد. مصرف برق از طریق بررسی قبوض صادر شده جمع آوری و در شکل ۶ بیان شده است. همچنین اطلاعات گاز طبیعی مصرفی ساختمان نیز از کتور گاز به دست آمد.



شکل ۶- میزان برق مصرفی

برای انجام محاسبات مورد نظر، نیاز به روابط ریاضی است که آن هارا از دستورالعمل تعیین مصرف انرژی و برچسب انرژی سازمان ملی استاندارد استخراج شده و به تفکیک بیان شده است.

$$E_{actual} = \frac{(\sum_i (Q_{Fi} \times HV_i \times 0.278) + Q_E \times F_C)}{A_F} \quad (1)$$

رابطه ۱ میزان مصرف انرژی سالانه ساختمان را بیان میکند که در آن E_{actual} میزان مصرف انرژی سالانه موجود بر حسب واحد زیربنای مفید (Q_{Fi} , $kWh/m^2/year$)، مجموع مصرف انرژی حامل آم، HV_i ارزش حرارتی حامل انرژی آم (گاز طبیعی ۳۷/۶۸ Q_E)، مجموع مصرف برق، F_C ضریب تبدیل برق به انرژی اولیه ($3/7$) و A_F مساحت زیربنای مفید (m^2) می باشد.

$$Q_{Ht} = Q_{tr} + Q_{ve} \quad (MJ) \quad (2)$$

رابطه ۲ نشان دهنده تلفات کل ساختمان بر حسب مگاژول می باشد که خود از دو جزء Q_{tr} تلفات حرارتی از جدارهای ساختمان و Q_{ve} تلفات حرارتی ناشی از تهویه (MJ) تشکیل شده است.

$$Q_{tr} = H_{tr,adj} (\theta_{int,sett,H} - \theta_e) t \quad (MJ) \quad (3)$$

رابطه ۳ تلفات حرارتی ناشی از جدارهای ساختمان را بیان کرده که برای محاسبه آن باید $H_{tr,adj}$ ضریب کلی انتقال حرارت پوسته ناحیه (W/K)، $\theta_{int,adj}$ دمای نقطه تنظیم در حالت گرمایش ($^{\circ}\text{C}$)، θ_e متوسط دمای فضای خارجی در هرماه ($^{\circ}\text{C}$) و t مدت زمان ماه موردنظر که برابر است با تعداد روزهای ماه * (Msec) را در اختیار داشت.

$$H_{tr,adj} = H_D + H_g + H_u \quad (4)$$

برای محاسبه ضریب انتقال حرارت پوسته ساختمان از رابطه ۴ استفاده می شود که شامل H_D ضریب انتقال حرارت جدار(شامل دیوار، سقف و کف) و پنجره و درهای در تماس با فضای خارج (W/K)، H_g ضریب انتقال حرارت کف در تماس با خاک (W/K) و H_u ضریب انتقال حرارت جدار(شامل دیوار، سقف و کف) و پنجره و درهای در تماس با فضای کنترل نشده (W/K) می باشد.

$$Q_v = H_{vs,adj} (\theta_{int,adj} - \theta_e) t \quad (5)$$

رابطه ۵ برای به دست آوردن تلفات حرارتی ناشی از تهویه به کار میروند که برای محاسبه آن به $H_{vs,adj}$ ضریب کلی انتقال حرارت تهویه ناحیه (W/K)، $\theta_{int,adj}$ دمای نقطه تنظیم در حالت گرمایش ($^{\circ}\text{C}$)، θ_e متوسط دمای فضای خارجی در هرماه ($^{\circ}\text{C}$) و t مدت زمان ماه موردنظر که برابر است با تعداد روزهای ماه * (Msec) نیاز است.

$$H_{vs,adj} = \rho_a c_a \left(\sum_k h_{vs,k} q_{vs,k,mn} \right) \quad (6)$$

محاسبه ضریب انتقال حرارت تهویه از طریق رابطه ۶ انجام می شود که شامل اطلاعات ρ_a چگالی هوا، c_a ظرفیت گرمایی هوا (1200 J/m3k) و $q_{vs,k,mn}$ متوسط دبی هوا ورودی به ساختمان (m3/sec) می باشد.

$$q_{vs} = \frac{ACH * V}{3600} \quad (7)$$

برای آگاهی از میزان هوا ورودی به ساختمان، رابطه ۷ به کار می شود که در آن ACH مقدار آن تابعی از نوع کاربری ساختمان، شرایط آب و هوایی و سیستم تهویه است و مقدار آن به طورپیش فرض تعیین می شود و V حجم فضای ناحیه یا ساختمان برحسب m3 می باشد.

تجزیه تحلیل داده ها، بحث و بررسی

پس از جمع آوری اطلاعات مورد نیاز و با استفاده از روابط ارائه شده، محاسبات مصرف انرژی ساختمان انجام شده است. بعد از بررسی نتایج این محاسبات و بررسی اتلاف انرژی و مصالح به کار برده شده در ساختمان، می توان در مورد هدر رفت انرژی از قسمت های مختلف و ارائه راهکارهای کارآمد بحث کرد. جدول ۶ مصرف انرژی سالانه ساختمان، جدول ۷ تلفات حرارتی ناشی از جدار، جدول ۸ تلفات ناشی از تهویه و در انتهای جدول ۹ تلفات حرارتی کل را بیان می کند.

جدول ۶- مصرف انرژی سالانه ساختمان

میزان مصرف انرژی	مجموع مصرف	ارزش	مجموع مصرف	مساحت طبقه	مساحت
سالانه ساختمان	طبقه دوم	طبقه اول	برق	حرارتی گاز	گاز
۵۴۱/۴۱	۱۷۷/۰۸	۲۱۷/۱۷	۸۶۲۲	۳۶/۶۸	۲۰۷۰۰

مقادیر



جدول ۷- تلفات حرارتی ناشی از جدار

حرارت جدار	گرمایش و سرمایش	خارجی هر ماه	متوسط دمای	تعداد روز	تلفات حرارتی ناشی از جدار	خردادین
۵۴۷/۷۳۱	۱۴/۲	۲۳	۴۰/۰۲۲	۱۸	۵۴۷/۷۳۱	فروردین
۳۸۵/۹۰۲	۱۹/۴	۲۳	۴۰/۰۲۲	۳۱	-۳۸۵/۹۰۲	اردیبهشت
-۱۱۰/۶۵۳	۲۴/۶	۲۳	۴۰/۰۲۲	۲۰	-۱۱۰/۶۵۳	خرداد
-۲۰۲/۲۸۷	۲۶/۹	۲۳	۴۰/۰۲۲	۱۵	-۲۰۲/۲۸۷	تیر
-۱۳۱/۴۰۰	۲۴/۹	۲۳	۴۰/۰۲۲	۲۰	-۱۳۱/۴۰۰	مرداد
۳۰۰/۸۳۷	۲۰/۱	۲۳	۴۰/۰۲۲	۳۰	۳۰۰/۸۳۷	شهریور
۱۱۸۲/۶۰۲	۱۳/۶	۲۵	۴۰/۰۲۲	۳۰	۱۱۸۲/۶۰۲	مهر
۱۸۰۵/۰۲۴	۷/۶	۲۵	۴۰/۰۲۲	۳۰	۱۸۰۵/۰۲۴	آبان
۲۲۸۲/۲۱۵	۳	۲۵	۴۰/۰۲۲	۳۰	۲۲۸۲/۲۱۵	آذر
۲۵۱۰/۴۳۶	۰/۸	۲۵	۴۰/۰۲۲	۳۰	۲۵۱۰/۴۳۶	دی
۲۳۰۲/۹۶۲	۲/۸	۲۵	۴۰/۰۲۲	۳۰	۲۳۰۲/۹۶۲	بهمن
۱۷۵۴/۸۸۵	۷/۵	۲۵	۴۰/۰۲۲	۲۹	۱۷۵۴/۸۸۵	اسفند

جدول ۸- تلفات حرارتی ناشی از تهویه

حرارت تهویه	گرمایش و سرمایش	خارجی هر ماه	متوسط دمای	تعداد روز ماه	تلفات حرارتی ناشی از تهویه	خردادین
۵۵۱/۲۵	۲۳	۱۴/۲	۱۸	۷۵۴۴/۷۷	۷۵۴۴/۷۷	فروردین
۵۵۱/۲۵	۲۳	۱۹/۴	۳۱	۵۳۱۵/۲۵	-۵۳۱۵/۲۵	اردیبهشت
۵۵۱/۲۵	۲۳	۲۴/۶	۲۰	-۱۵۲۴/۱۰	-۱۵۲۴/۱۰	خرداد
۵۵۱/۲۵	۲۳	۲۶/۹	۱۵	-۲۷۶۸/۲۴	-۲۷۶۸/۲۴	تیر
۵۵۱/۲۵	۲۳	۲۴/۹	۲۰	-۱۸۰۹/۸۶	-۱۸۰۹/۸۶	مرداد
۵۵۱/۲۵	۲۳	۲۰/۱	۳۰	۴۱۴۳/۶۴	۴۱۴۳/۶۴	شهریور
۵۵۱/۲۵	۲۵	۱۳/۶	۳۰	۱۶۲۸۸/۷۸	۱۶۲۸۸/۷۸	مهر
۵۵۱/۲۵	۲۵	۷/۶	۳۰	۲۴۸۶۱/۸۲	۲۴۸۶۱/۸۲	آبان
۵۵۱/۲۵	۲۵	۳	۳۰	۳۱۴۳۴/۴۸	۳۱۴۳۴/۴۸	آذر
۵۵۱/۲۵	۲۵	۰/۸	۳۰	۳۴۵۷۷/۹۳	۳۴۵۷۷/۹۳	دی
۵۵۱/۲۵	۲۵	۲/۸	۳۰	۳۱۷۲۰/۲۵	۳۱۷۲۰/۲۵	بهمن
۵۵۱/۲۵	۲۵	۷/۵	۲۹	۲۴۱۷۱/۲۱	۲۴۱۷۱/۲۱	اسفند

جدول ۹- تلفات حرارتی کل

تلفات حرارتی کل	تلفات حرارتی ناشی از جدار	تلفات حرارتی ناشی از تهویه	تلفات حرارتی ناشی از جدار	خردادین
۸۰۹۲/۰۱	۷۵۴۴/۷۷	۵۴۷/۷۳۱	۵۴۷/۷۳۱	فروردین
۵۷۰۱/۱۹	۵۳۱۵/۲۵	۳۸۵/۹۰۲	-۳۸۵/۹۰۲	اردیبهشت
-۱۶۳۴/۷۵	-۱۵۲۴/۱۰	-۱۱۰/۶۵۳	-۱۱۰/۶۵۳	خرداد
-۲۹۸۸۵۳	-۲۷۶۸/۲۴	-۲۰۲/۲۸۷	-۲۰۲/۲۸۷	تیر
-۱۹۴۱/۲۶	-۱۸۰۹/۸۶	-۱۳۱/۴۰۰	-۱۳۱/۴۰۰	مرداد
۴۴۴۴/۴۷	۴۱۴۳/۶۴	۳۰۰/۸۳۷	۳۰۰/۸۳۷	شهریور
۱۷۴۷۱/۳۸	۱۶۲۸۸/۷۸	۱۱۸۲/۶۰۲	۱۱۸۲/۶۰۲	مهر
۲۶۶۶۶/۸۴	۲۴۸۶۱/۸۲	۱۸۰۵/۰۲۴	۱۸۰۵/۰۲۴	آبان
۳۳۷۱۶/۶۹	۳۱۴۳۴/۴۸	۲۲۸۲/۲۱۵	۲۲۸۲/۲۱۵	آذر
۳۷۰۸۸/۳۶	۳۴۵۷۷/۹۳	۲۵۱۰/۴۳۶	۲۵۱۰/۴۳۶	دی
۳۴۰۲۳/۲۱	۳۱۷۲۰/۲۵	۲۳۰۲/۹۶۲	۲۳۰۲/۹۶۲	بهمن
۲۵۹۲۶/۰۹	۲۴۱۷۱/۲۱	۱۷۵۴/۸۸۵	۱۷۵۴/۸۸۵	اسفند

با بررسی محاسبات انجام شده، بررسی میزان مصرف انرژی و همچنین تلفات انرژی، تصمیم بر این شد که چند سناپیو معرفی و انجام شود تا انرژی کمتری مصرف شود و تلفات کاهش یابد. لازم به ذکر برای بیان این سناپیو ها ساختمان ما بررسی شده و عوامل اتلاف حرارت شناسایی شده و تمامی پل های حرارتی موجود بین درو دیوار ها محاسبه شده و برای رفع این مشکل ها تفکر و بحث انجام شده است. سناپیوهای ارائه شده به شرح زیر است:

سناریو اول: استفاده از درزگیر در محل اتصال پنجره به دیوار

برای رفع پل های حرارتی به وجود آمده می توان از درزگیر استفاده کرد. انتخاب نوع درزگیر مورد استفاده با توجه به جنس در و پنجره، میزان اتلاف و ... متفاوت است. درزگیرها انواع مختلفی دارند که می توان برای مثال از درزگیر فومی، زینی، سیلیکونی و غیره نام برداز آنچایی که نوع پنجره استفاده شده ما UPVC می باشد. بهترین گزینه برای استفاده چسب های سیلیکونی هستند. این نوع درزگیرها ضدآب هستند و همچنین در برابر نور خورشید مقاومت بالایی دارند و به زودی از بین نمی روند. همچنین دارای خاصیت ارتقایی و انعطاف پذیری خوبی هستند. بنابراین استفاده از آن ها به کاهش اتلاف انرژی کمک بسیاری می کند.

سناریو دوم: استفاده از سایه بان افقی و عمودی

طبق بررسی هایی که در نقشه ساختمان انجام شد این نتیجه حاصل شد که هیچ کدام از پنجره های ساختمان دارای سایه بان نیستند و یکی از معایب عدم وجود سایه بان گرمایش زیاد فضای ساختمان ناشی از نور زیاد افتاد و درنتیجه افزایش انرژی برای سرمایش محیط می باشد. با توجه به منطقه موردنظر که ساختمان در آن قرار دارد، انتخاب استفاده از سایه بان های افقی الکتروکرمیک با بازتاب بالای نور خورشید ایده خوبی برای کاهش مصرف انرژی بود.

سناریو سوم: استفاده از پنجره دوجداره یا سه جداره با گاز آرگون یا کربیتون

پنجره های ساختمان UPVC و دوجداره بودند ولی گاز میان آنها آرگون نبود. گاز آرگون به دلیل رسانش حرارتی پایینی که دارد عایق بسیار خوبی برای فضای بین پنجره دوجداره می باشد. همچنین چون گازی بی رنگ و بی بو و مهمتر از آن بی خطر است، در صورت نشت سلامتی انسان را تهدید نمی کند. پس درنتیجه وجود این نوع گاز باعث کاهش مصرف انرژی می شود.

با انجام تمام سناپیوهای پیشنهادی و تغییرات لازم، پل های حرارتی به مقدار قابل توجهی کاهش یافت و درنتیجه تا حدودی بهینه سازی مصرف انرژی انجام شد. پس از وارد کردن تمام اطلاعات و شبیه سازی دوباره در نرم افزار دیزاین بیلدر، محاسبات هزینه های ساختار در جدول ۱۰، هزینه HVAC در جدول ۱۱، هزینه روشنایی در جدول ۱۲ و تمام هزینه های ساختاری و تجدیدپذیر در جدول ۱۳ بیان شده است، لازم به ذکر است تمامی هزینه های محاسبه شده توسط نرم افزار دیزاین بیلدر انجام شده است.

جدول ۱۰- هزینه ساختار

هزینه (GBP)	مساحت طبقه (مترمربع)	هزینه های ساختاری
۱۰۹۸۵۰/۸	۵۲۳/۱	مجموع

جدول ۱ - هزینه HVAC

هزینه (GBP)	مساحت طبقه (مترمربع)	هزینه های HVAC
۷۸۴۶۴/۹	۵۲۳/۱	مجموع

جدول ۲ - هزینه روشنایی

هزینه (GBP)	مساحت طبقه (مترمربع)	هزینه های روشنایی
۳۱۳۸۵/۹	۵۲۳/۱	مجموع



جدول ۱۳- کل هزینه های ساختاری و تجدیدپذیر

هزینه (GBP)	مساحت ساخت و ساز (مترمربع)	هزینه های ساختاری ویژه
۳۰۲/۳	۳/۸	پروژه طبقه خارجی
۲۴۶۶۲/۶	۳۲۸/۸	پروژه سقف مسطح
۱۸۹۵/۶	۴۷/۴	پروژه درب خارجی
۴۲۶۸۳/۰	۴۴۹/۳	عایق پلی بلوك سبک وزن و گچ تخته
۳۹۴۵/۸	۹۸/۶	پروژه درب داخلی
۲۵۲۰۵/۶	۳۹۳/۸	پارتبیشن پروژه
۵۳۱۸۵/۹	۲۵۳/۳	طبقه داخلی پروژه بر عکس
۱۱۰۱۸۸/۹	۳۲۵/۰	پروژه طبقه همکف
۲۶۲۰۶۹/۷	۱۹۰۰/۱	مجموع
هزینه (GBP)	مساحت (مترمربع)	هزینه های شیشه
۱۴۱۵۲/۵	۷۸/۶	DbI LoE (e2=.1) Clr 6mm/13mm Arg
۵۵۰۳/۸		سايه زني محلی
۴۷۱۷/۵		پرده ها و سايده های داخلی
۲۴۴۷۳/۸		مجموع
هزینه (GBP)	مساحت (مترمربع)	هزینه های تجدیدپذیر
۸۵۳۲۶/۸	۱۴۲/۲	پانل های PV
۶۰۰/۰		برق PV
۸۵۹۲۶/۸		مجموع
هزینه (GBP)	مساحت (مترمربع)	هزینه های پایان سطح
۴۹۲۰۴/۷	۱۲۳۰/۱	دیوارها
۲۶۱۹۳/۶	۵۸۲/۱	طبقه
۲۱۲۶۲/۰	۵۸۲/۱	سقف
۹۶۶۰۰/۳		مجموع
۷۲۴۴۸۶/۷		هزینه کل ساختمان (GBP)

یکی از مهمترین و قابل توجه ترین بخش محاسبات مصرف انرژی، محاسبات مربوط به کربن تولیدشده ناشی از مصرف انرژی در قسمت های مختلف ساختمان است. این محاسبات نیز توسط نرم افزار بعد از شبیه سازی انجام شده و به تفکیک بخش های مختلف در جدول ۱۴ و محاسبات مربوط به کربن مرتبط با شیشه در جدول ۱۵ بیان شده است.

جدول ۱۴- محاسبات مربوط به کربن

محاسبات کربن مرتبط با ساخت و ساز	مساحت (مترمربع)	کربن تجسمی (kgCO ²)	کربن معادل (kgCO ²)
پروژه طبقه خارجی	۳/۸	۳۰/۲	۳۱/۱
پروژه سقف مسطح	۳۲۸/۸	۵۵۴۵/۷	۵۸۴۹/۱
پروژه درب خارجی	۴۷/۴	۰/۰	۰/۰
عایق پلی بلوك سبک وزن و گچ تخته	۴۴۹/۳	۵۹۷۷/۹	۶۰۱۸/۳
پروژه درب داخلی	۹۸/۶	۰/۰	۰/۰
پارتبیشن پروژه	۳۹۳/۸	۲۱۲۶/۷	۲۳۰۴/۰
طبقه داخلی پروژه بر عکس	۲۵۳/۳	۴۲۵۴/۹	۴۲۵۴/۹
پروژه طبقه همکف	۳۲۵/۰	۱۲۶۸۷/۳	۱۲۷۶۶/۶
مجموع	۱۹۰۰/۱	۳۰۶۲۲/۷	۳۱۲۲۴/۰

جدول ۱۵- محاسبات مربوط به کربن برای شیشه

محاسبات کربن مرتبط با شیشه	کربن معادل (kgCO ₂)	کربن تجسمی (kgCO ₂)	مساحت (مترمربع)	
Dbl LoE (e2=.1) Clr 6mm/13mm Arg	۷۸/۶	۲۸۸۵/۵	۲۸۸۵/۵	۲۸۸۵/۵
ساخه زنی محلی	۳۹۳۱/۳	۳۹۳۱/۳	۳۹۳۱/۳	۳۹۳۱/۳
ساخه زدن پنجره	۱۰۷۴۸/۱	۱۰۷۴۸/۱	۷۸/۶	۱۰۷۴۸/۱
مجموع	۷۵۷۸۶			۷۶۳۸۷/۲
کل ساختمان				

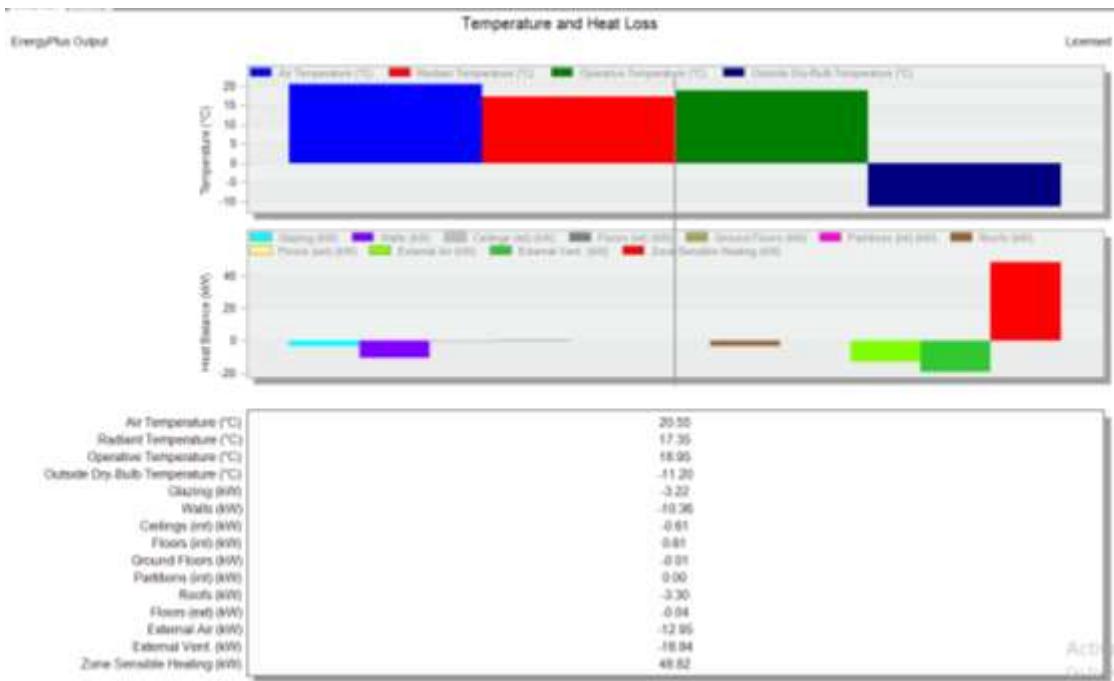
پس از انجام تمامی محاسبات، حال می توان نمودارهای مصرف انرژی در بخش های مختلف ساختمان و با هدف های متفاوت گرمایش، سرمایش، آب گرم مصرفی و ... را از نرم افزار استخراج کرد و به خوبی مقایسه و بررسی های لازم را تجام دهیم. شکل ۷ انرژی مصرفی ساختمان به تفکیک کاربردهای مختلف مصرفی آن، شکل ۸ دما و گرمای اتلافی ساختمان و شکل ۹ دما و افزایش گرمای ساختمان را نشان می دهد.

قبل از به کاربردن سناریوهای پیشنهادی مصرف انرژی، در بخش گرمایش مصرف انرژی قابل توجهی مشاهده میشود. در شکل ۷ کاهش مصرف انرژی در تمامی قسمت های مختلف ساختمان به ویژه گرمایش قابل درک است. البته باید به این نکته توجه کرد که همچنان مصرف انرژی در بخش گرمایش در فصول سرد سال نسبت به بقیه فصول بیشتر است اما به طور کلی مصرف آن کاهش یافته است. بخشی از تامین انرژی ساختمان نیز توسط سلول های خورشیدی تعبیه شده روی پشت بام این ساختمان، تامین شده است. همچنین با توجه به شکل ۷ می توان دریافت که مصرف انرژی در بخش روشنایی بعد از اعمال سناریوها کاهش یافته است.



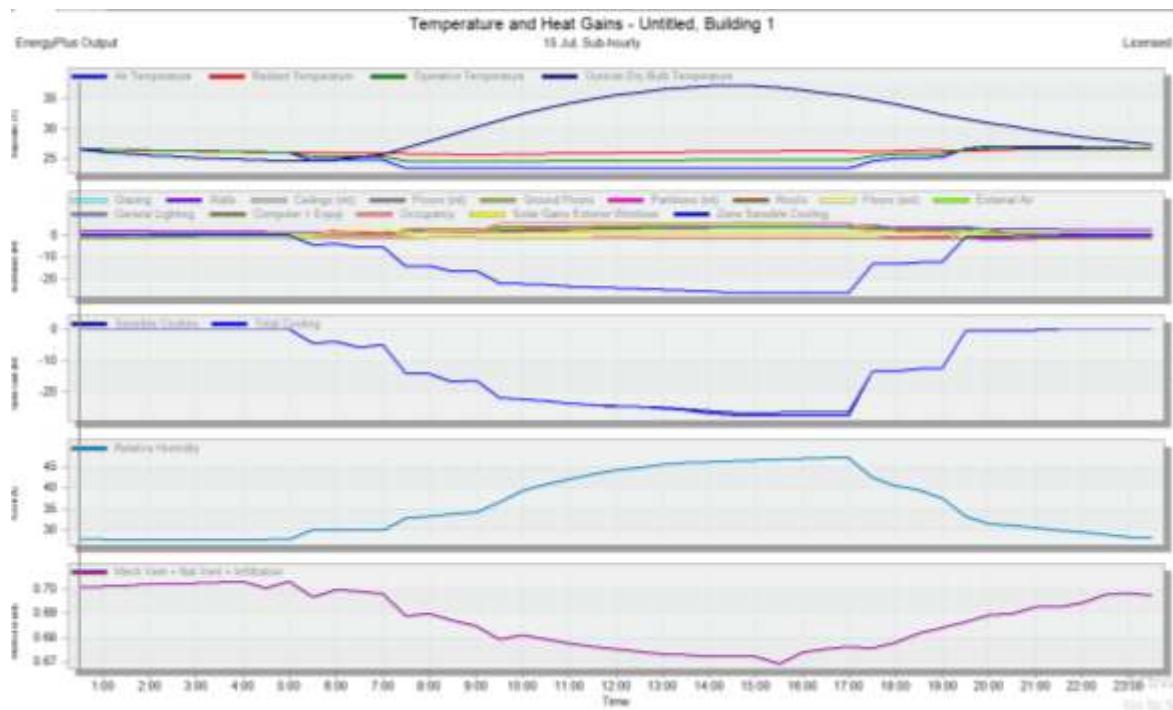
شکل ۷- انرژی مصرفی ساختمان

در شکل ۸ می توان با تمام جزئیات، تمامی دمایا و گرمای اتلافی ساختمان را مشاهده کرد. با توجه به نمودار، دمای هوا و دمای عملکردی ساختمان تقریبا نزدیک به هم و حدود ۱۹ تا ۲۰ درجه سانتی گراد است. گرمای اتلافی از شیشه ها به دلیل اعمال سناریوی تغییر گاز پنجره دوجداره مقدار قابل توجهی کاهش یافته است. همچنین اتلاف به دلیل پل های حرارتی از میان دیوارها نیز روند کاهشی داشته است.



شکل ۸- دما و گرمایی اتلافی

با بررسی نمودارهای شکل ۹ به این نتیجه میتوان رسید که با کاهش و افزایش دما، دمای ساختمان حالتی میانگین و نسبتاً ساکنی دارد و زیاد دچار تغییرات و اتلاف نمیشود. به عبارت دیگر دارای دمای آسایش مشخصی می باشد. از طرفی در زمستان افزایش رطوبت و کاهش انرژی مصرفی دربخش سرمایش ساختمان داریم که موجب کاهش مصرف انرژی میشود.



شکل ۹- دما و افزایش گرما

نتیجه‌گیری

با مطالعه مقالات مربوط به این حوزه و بررسی نمونه مورد نظر، نتایج زیر در زمینه مصرف و بهینه سازی انرژی قابل درک است:

- ❖ اتلاف انرژی قابل توجه ساختمان های آموزشی در قسمت های پل حرارتی
- ❖ اتلاف انرژی از طریق پنجره های بدون درزگیر و دیوارها
- ❖ اتلاف انرژی ناشی از عدم وجود سایه بان روی پنجره ها و متعادل نبودن دما
- ❖ عدم بررسی دقیق ساختمان و مصالح مورد استفاده قبل از ساخت
- ❖ عدم استفاده از کم مصرف ترین مصالح در زمینه انرژی

با جمع بندی و بررسی ساختمان و ممیزی انرژی آن، سه ستاریو ارائه و به کار برده شد که موارد زیر نتایج آن می باشد:

- ✓ کاهش مصرف انرژی ناشی از اتلاف از پنجره هابا تعویض گاز داخل پنجره دوجداره و تغییر آن به آرگون
- ✓ استفاده از درگیر در محل اتصال پنجره با دیوارها و کاهش و یا حذف پل های حرارتی
- ✓ احداث سایه بان افقی بالای در و پنجره و بازتاب نور دریافتی از خورشید و بهبود دمای ساختمان

در آخر پیشنهاد می شود قبل از احداث ساختمان، نقشه آن به طور دقیق بررسی شده و بهترین مصالح در زمینه مصرف انرژی با کمترین هزینه، بیشترین بازده و بهترین نتیجه انتخاب و استفاده شود تا از تلفات انرژی جلوگیری و یا آن را کاهش دهد. همچنین لازم است ساختمان احداث شده ممیزی انرژی شده تا مصرف انرژی کل ساختمان شناسایی شده و در صورت وجود نقاط اتلاف، برای کاهش و یا رفع آنها با توجه به معماری ساختمان تدبیری اندیشه شود. بهتر است چندسالی یک بار این عمل تکرار شود.



منابع

- "Gershenfeld N, Samouhos S, Nordman B. Intelligent infrastructure for energy efficiency. *Science* 2010;372:1086–8 ."
- "Gutierrez MP, Lee LP. Multiscale design and integration of sustainable building functions. *Science* 2013;341:247–8 ."
- "Farese F. How to build a low-energy future. *Nature* 2012;488:275–577 ."
- "Nelson B. Green light. *Nature* 2015;518:565–6 ."
- "Long L, Ye H. How to be smart and energy efficient: a general discussion on thermochromic windows. *Sci Rep* 2014;4(6427):1–10 ."
- "Renssen SV. Legislating for energy efficiency. *Nat Clim Change* 2012;2:568–9 ."
- "Pacheco R, Ordóñez J, Martínez G. Energy efficient design of building: a review. *Renew Sustain Energy Rev* 2012;16(6):3559–73 ."
- "Li C, Hong T, Yan D. An insight into actual energy use and 1st drivers in high-performance buildings. *Appl Energy* 2014;113:394–410 ."
- "Zhao H-X, Magoulès F. A review on the prediction of building energy consumption. *Renew Sustain Energy Rev* 2012;16(6):3586–92 ."
- "Murray SN, Walsh BP, Kelliher D, O'Sullivan DTJ. Multi-variable optimization of thermal energy efficiency retrofitting of buildings using static modelling and genetic algorithms – a case study. *Build Environ* 2014;75:98–107 ."
- "Penna P, Prada A, Cappelletti F, Gasparella A. Multi-objectives optimization of Energy Efficiency Measures in existing buildings. *Energy Build* 2015;95:57–69 ."
- "Ascione F, Bianco N, de Stasio C, Mauro GM, Vanoli GP. A new methodology for cost-optimal analysis by means of the multi-objective optimization of building energy performance. *Energy Build* 2015;95:78–90 ."
- "Karmellos M, Kiprakis A, Mavrotas G. A multi-objective approach for optimal prioritization of energy efficiency measures in buildings: model, software and case studies. *Appl Energy* 2015;139:131–50 ."
- "Fiaschi D, Bandinelli R, Conti S. A case study for energy issues of public buildings and utilities in a small municipality: investigation of possible improvements and integration with renewables. *Appl Energy* 2012;97:101–14 ."
- "Dall'O' G, Sarto L. Potential and limits to improve energy efficiency in space heating in existing school buildings in northern Italy. *Energy Build* 2013;67:298–308 ."
- "Wang Y, Kuckelkorn J, Zhao F, Liu D, Kirschbaum A. Evaluation on classroom thermal comfort and energy performance of passive school building by optimizing HVAC control systems. *Build Environ* 2012;89:86–106 ."
- "Robertson D, Higgins M. Energy management at Albuquerque schools: lessons ."
- "Dimoudi A, Kostarela P. Energy monitoring and conservation potential in school buildings in the C' climatic zone of Greece. *Renew Energy* 2009;34 ."
- "Alliance to Save Energy. [Online]. Available from: <<https://www.ase.org/events/ee-noon-back-school-energy-efficiency>> ."
- "Luísa Dias Pereira,DanielaRaimondo,StefanoPaoloCognati,Manuel Gameiro da Silva, Energy consumption in schools – A review paper, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*,2014 ."

- "Fabi V, Andersen RV, Corgnati SP. Influence of occupant's heating set-point preferences on indoor environmental quality and heating demand in residential buildings. HVAC&R Res 2013;19(5):635–45 .".
- "Fabi V, Andersen RK, Corgnati S, Olesen BW. Occupants' window opening behaviour: a literature review of factors influencing occupant behaviour and models. Build Environ 2012;58:188–98 .".
- "Fabi V, D'Oca S, Buso T, Corgnati SP. The influence of occupants' behaviour in a high performing building In: Clima 2013; 2013, p. 1–9 ."
- "ENERGY CONSUMPTION GUIDE 73 – Saving energy in schools. Energy Efficiency Best Practice programme. [Online]. Available from: http://www.torbay.gov.uk/index/yourservices/education/schools/sustainableschools/ss-sa_vingenergy.pdf ."
- "Tiina Sekki, Mia Andelin , Miimu Airaksinen , Arto Saari, Consideration of energy consumption, energy costs, and space occupancy in Finnish daycare centres and school buildings, Energy and Buildings, 2016 ."