

# مقایسه عملکرد مجموعه مجهز به تمهیدات فعال و غیر فعال خورشیدی

شاهین حیدری<sup>۱</sup>، شهلا غفاری جباری<sup>۲\*</sup>

تاریخ دریافت مقاله:

۱۳۸۹/۵/۳

تاریخ پذیرش مقاله:

۱۳۸۹/۸/۱۰

چکیده:

هدف از ارائه این مقاله بررسی عملکرد سیستم‌های خورشیدی فعال در ساختمان می باشد. دلیل انتخاب این موضوع، در طی مطالعه سه ساله، به دنبال نبود تشکلی منسجم که معرف معماری همساز با اقلیم باشد، حاصل شد. پرسش اصلی مقاله این است که مجموعه طراحی شده، چقدر جوابگوی نیاز حرارتی استفاده کنندگانش است و اگر این بناها تنها با اتکا به شرایط اقلیمی منطقه طراحی شود، در مقایسه با مجموعه مجهز به سیستم های خورشیدی، چقدر بر کاهش مصرف انرژی اثر می گذارد.

برای پاسخگویی به این موضوع، در ابتدا مجموعه ای بدون سیستم خورشیدی در نظر گرفته شد و محاسبات بار گرمایی آن انجام گرفت. سپس سیستم‌های خورشیدی به طرح اضافه گردید و میزان تاثیر سیستم های خورشیدی در بهبود شرایط حرارتی به دست آمد. نتایج به دست آمده نشان می دهد که میزان گرمایش مورد نیاز در این مجموعه با استفاده از سیستم های خورشیدی در حدود ۶۵٪ کاهش می یابد.

کلمات کلیدی:

اقلیم سرد، تکنیک غیر فعال، تکنیک فعال، بار گرمایی، انرژی گرمایی، محاسبات گرمایشی ایستا

(۱) استادیار دانشکده معماری، پردیس هنرهای زیبا، دانشگاه تهران

(۲) کارشناس ارشد معماری - انرژی، دانشکده معماری، پردیس هنرهای زیبا، دانشگاه تهران

\* نویسنده مسئول، E-mail: shahla.ghafari@yahoo.com

## مقدمه

در گذشته، معمار یک ساختمان، بر همه جوانب طراحی و اجرا بنا، شامل پلان و سازه و گرمایش و سرمایش و ... تسلط کامل داشت. اما امروزه با تخصصی شدن رشته های مهندسی و ابعاد گسترده آن، مهندسان قادر به آشنایی کامل با تخصصهای دیگر نیستند. این امر باعث ایجاد نا هماهنگی بین مهندسان ساختمان شده است. در بسیاری از کتابها و مقاله های چاپ شده نیز، کمتر این هماهنگی به چشم می خورد. با توجه به اینکه امروزه دست یابی به توسعه پایدار هدف بسیاری از کشورهای جهان است و این امر نیازمند ایجاد هماهنگی و یکپارچگی در عملکرد همه مهندسان است تا بتوانیم ساختمانی پایدار داشته باشیم. در این مقاله سعی شده با نگاهی جدید به این موضوع، سعی به برقراری دوباره این ارتباط گردد و روشهای محاسباتی ساده و قابل درک برای معماران ارائه شود تا به توانند در کنار توجه به دیگر مسائل ساختمانی به مبحث تامین انرژی در ساختمان توجه کنند. از جمله راهکارهایی که به بهبود شرایط محیطی در کنار کاهش مصرف انرژی کمک می کند، سیستمهای خورشیدی است. اما اینکه استفاده از این سیستم ها تا چه میزان باعث بهبود عملکرد ساختمان می شود نیاز به بررسی بیشتر دارد. در این زمینه در کشورهای مختلف تحقیقاتی انجام شده است، از جمله می توان به مقاله "اندازه گیری عملکرد ۱۲ ساختمان با مصرف انرژی کم" تالیف دکتر تامسون و شولتز و پل اشاره کرد. این مقاله به طور اختصار میزان ذخیره انرژی در ساختمان های مجهز به سیستم های خورشیدی را نیز ارائه می دهد و مقایسه ای بین میزان مصرف انرژی و شرایط اقلیمی مناطق و روشهای ارزیابی عملکرد این سیستم ها می کند. نتایج به دست آمده در این تحقیق نشان می دهد که با استفاده از سیستم های خورشیدی میزان مصرف بسیار کاهش می یابد البته این میزان بیشتر از میزان به دست آمده از محاسبات است. اما همچنان تا ۶۰٪ ذخیره انرژی در مقایسه با یک خانه معمولی به دست می آید [۱۲].

در مقاله تحقیقی دیگری با نام "تاثیر طراحی معماری بر میزان مصرف انرژی ساختمان در اقلیم سرد (تبریز)" تالیف دکتر فرشید نصراللهی در دانشگاه برلین، پژوهشی مشابه با موضوع این مقاله انجام شده است. در این مقاله با استفاده از نرم افزار "دیزاین بیلدر" تاثیر طراحی مناسب با اقلیم بررسی شده است [۱۱].

## روش تحقیق

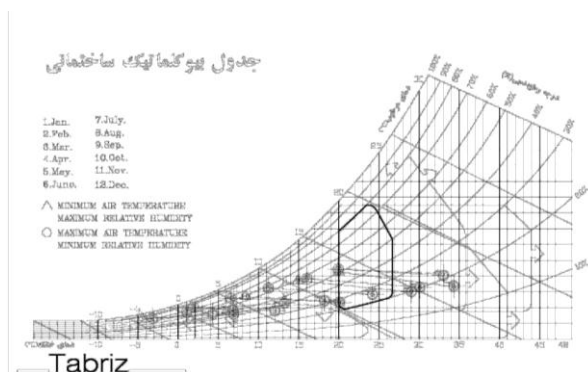
روش تحقیق با توجه به روش ارائه شده توسط وزارت انرژی ایالات متحده (DOE) در ۱۹۷۹ برای بررسی پتانسیل ساختمان های کارآمد از لحاظ انرژی انتخاب شده است. هدف از این برنامه، ساختن پیکره ای از اطلاعات عملی در زمینه طراحی، اجرا و عملکرد ساختمان های کارآمد از لحاظ انرژی و بررسی پتانسیل های فن آوری های خورشیدی ایستا بود [۹].

روش تحقیق به این صورت است که در مرحله اول یک ساختمان غیر خورشیدی به عنوان نمونه مطالعاتی با در نظر گرفتن شرایط محیطی و اقلیمی طراحی گردید. در انتخاب سایت مجموعه، با توجه به اقلیم های متنوع کشور ایران، سعی شد اقلیمی که دارای شرایط حرارتی بحرانی است انتخاب گردد. اقلیم سرد با توجه به اینکه فصل تابستان بسیار کوتاه دارد و در اکثر اوقات دمای محیط در زیر محدوده آسایش قرار است، دارای شرایط بحرانی است. از این رو در این مقاله میدان مطالعاتی، اقلیم سرد و خشک انتخاب شده است. در مرحله دوم، انرژی لازم در ساختمان برای گرمایش و سرمایش (با در نظر گرفتن بارهای داخلی سکونت در ساختمان) محاسبه گردید. سپس برای این طرح، روش های خورشیدی ایستا برای گرمایش سرمایش و روشنایی ساختمان پیشنهاد گردید و عملکرد حرارتی طرح مجهز به سیستم های خورشیدی، با استفاده از شیوه محاسباتی LCR (نسبت بار به جمع کننده) محاسبه گردید و در انتها مقایسه ای انجام شد بین عملکرد حرارتی این دو طرح و نتایج به صورت گرافها و جداول ارائه گردیده است [۷]. البته باید توجه داشت که این روش محاسباتی قابل اجرا برای اقلیم های مختلف می باشد و می توان با دادن داده های هر منطقه به فرمولهای محاسباتی، نتایج را برای آن مناطق نیز به دست آورد. اما با توجه به اینکه هر اقلیمی، طراحی خاص خود را

می‌طلبد و طرح داده شده باید مطابق با شرایط آب و هوایی آن منطقه باشد. در این مقاله، مجال طراحی برای اقلیم‌های متنوع ایران نیست. بطور مثال، اقلیم گرم و مرطوب نیاز به تهویه بیشتر دارد اما در اقلیم سرد، این موضوع اهمیت کمتری دارد و طراحی در این دو اقلیم متفاوت می‌باشد. بنابراین در اینجا یک اقلیم انتخاب و طراحی اولیه برای آن اقلیم انجام می‌گردد.

### شناخت سایت و امکانات طرح

اولین مرحله در شروع طراحی، شناخت سایت و پتانسیل‌های موجود منطقه ای است. تهیه نمودارهای خورشیدی و جدول بیوکلماتیک و محدوده آسایش اولین قدم در شناخت محیط می‌باشند. به کمک این اطلاعات و با بررسی عوامل تاثیر گذار دیگر همانند، نحوه استقرار مناسب ساختمان، میزان تابش و سایه موجود در سایت، موقعیت پنجره و ... می‌توان اولین قدم‌ها را در راستای طراحی همساز با اقلیم برداشت. شکل (۱) نمودار بیوکلماتیک است و به کمک آن می‌توان استراتژی‌های سرمایش و گرمایش غیر فعال را متناسب با اقلیم ساختمان تشخیص داد. همانگونه که این شکل نشان می‌دهد، در اکثر ماه‌های سال، نیازمند تابش هستیم و به عکس در ماه‌های خرداد، تیر و مرداد در اکثر ساعات روز وجود سایه ضروری است [۲۶].



شکل ۱: جدول بیوکلماتیک تبریز

با کمک این داده‌ها و راهکارهای طراحی اقلیمی، طرح اولیه آماده می‌گردد. از جمله این راهکارهای عبارتند از:

استقرار طرح در راستای محور شرقی و غربی تا وسیع‌ترین جبهه به سمت جنوب باشد ۲- پوشاندن دیوارهای شمالی و بخشی از دیوارهای خارجی شرقی و غربی با خاک (استفاده از ظرفیت حرارتی خاک) ۳- استفاده از شیشه‌های دو جداره و سه جداره ۴- استفاده از آتیریم و ایجاد شکستگی در سقف ۵- استفاده از شبکه‌های متحرک در پشت پنجره برای کنترل تابش خورشید ۶- پیش‌بینی نرده‌های مشبک در مقابل نماهای رو به باد برای جلوگیری از نفوذ برف به پنجره‌ها و ورودیها ۷- استفاده از درهای یکپارچه و عایق شده در نماهای رو به باد ۸- مصالح با ظرفیت حرارتی زیاد و تیره رنگ در بخشهای آفتابگیر فضاهای داخلی [۳ و ۴].

شکل ۲ و ۳ سایت طراحی و ماکت اتود طرح را نشان می‌دهد [۵]. بعد از این مراحل، برای محاسبه بار گرمایشی طرح، نوع مصالح مورد استفاده در مجموعه باید مشخص می‌شوند. این مصالح با توجه به میزان ظرفیت حرارتی مصالح، بومی بودن، زیبایی و میزان تاخیر زمانی انتخاب گردیدند [۳ و ۶]. در جدول ۱ مصالح انتخاب شده، آمده است.

جدول ۱: مصالح و جداره‌های ساختمان

U-value (w/m <sup>2</sup> k)	مصالح انتخابی	عناصر ساختمان
۰.۳	ورمیکولیت+آجر توخالی ۰.۶ فوت+ فوت ۰.۴ عایق +آجر تو خالی ۰.۲۶ فوت + خاک	دیوار خارجی شمالی و غربی و شرقی در تماس با خاک
۰.۲	ورمیکولیت+آجر توخالی ۰.۶ فوت+ فوت ۰.۴ عایق + هوا ۰.۱۳ فوت +سرامیک Argeton	دیوار خارجی شرقی و غربی و شمالی در تماس با هوا
۰.۵	شیشه دوجداره ۰.۰۴ فوت + هوا ۰.۱۶ فوت + عایق ۰.۳۲ فوت + هوا ۰.۰۳ فوت + آجر ۰.۷۲ فوت	دیوار جنوبی
۱.۱	دو لایه شیشه ۰.۱۶ فوت + لایه آرگون ۰.۰۲ فوت	جداره های شیشه ای
۰.۲	موزاییک سقف ۰.۱ فوت + ملات ۰.۱ فوت + عایق رطوبتی + ملات + عایق حرارتی ۰.۲۶ فوت + بتن ۰.۲۲ فوت + بتن سازه ای ۰.۶ فوت + هوا ۰.۰۴ فوت + پشم شیشه ۰.۰۴ فوت + رابیتس	سقف
۰.۴۳	سرامیک ۰.۱ فوت + عایق حرارتی ۰.۲۶ فوت + عایق رطوبتی + بتن + مخلوط رودخانه ای	کف در تماس با خاک

### بار گرمایشی مورد نیاز برای ساختمان بدون سیستم خورشیدی

برای بدست آوردن میزان گرمایش مورد نیاز بدون تمهیدات خورشیدی در ابتدا باید میزان انتقال حرارت ساختمان محاسبه گردد. به کمک مقررات ۱۹ می توان مقدار مقاومت حرارتی و مساحت جداره ها را محاسبه کرد و میزان **UA** که همان میزان انتقال حرارت کل است را به دست آورد. مقاومت حرارتی از تقسیم ضخامت مصالح بر ضریب هدایت حرارتی آن به دست می آید. سپس ضریب بار گرمایشی (**TLC**)، محاسبه می گردد. ضریب بار مجموع شامل تمامی بارهای حرارتی ساختمانی می شود. این ضریب در تعریف دقیق تر خود به عنوان بار (یا دفع حرارت) یک ساختمان در حالت پایدار خود و در هر درجه اختلاف دمای خارج و داخل در یک روز تعریف می شود؛ با توجه به اینکه روز درجه گرمایش، میزان نیاز به گرمایش سالانه را تعیین می کند، با ضرب این مقدار به ضریب بار مجموع می توان مقدار گرمایشی که باید توسط سیستم مکانیکی تامین گردد را محاسبه کرد. در جدول (۲) نتایج به دست آمده از این محاسبه آمده است [۴].

$$R = d/\lambda \quad (۱)$$

که در آن **R** مقاومت حرارتی، **d** ضخامت مصالح و  $\lambda$  ضریب هدایت حرارتی می باشد.

$$U = 1/R \quad (۲)$$

که در آن **U** میزان انتقال حرارتی از واحد سطح و **R** مقاومت حرارتی می باشد. برای محاسبه میزان انتقال حرارتی سطح از فرمول (۳) استفاده می شود.

$$U * A \quad (۳)$$

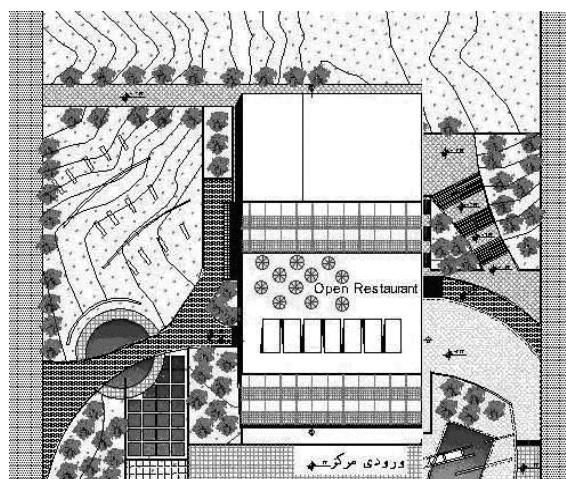
A مساحت سطح مورد نظر می باشد

$$TLC = U * A * 24 \quad (۴)$$

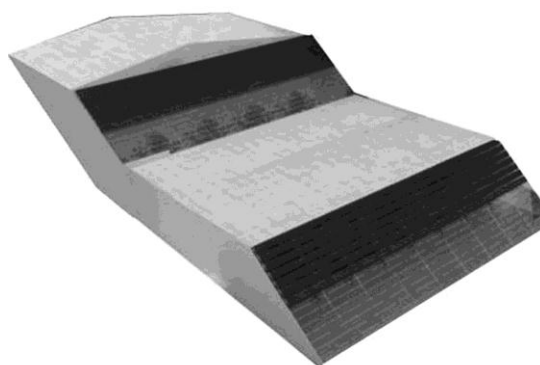
TLC ضریب با مجموع می باشد،

$$Q_{heating} = TLC * DD \quad (۵)$$

Qheating گرمایی تولیدی سیستم مکانیکی و DD روز درجه گرمایش است.



شکل ۲: سایت طرح اولیه



شکل ۳: ماکت اتود طرح مقدماتی

جدول ۲: بار گرمایشی مجموعه بدون سیستمهای خورشیدی

U*A	مقاومت حرارتی	مساحت	
w	k.m <sup>2</sup> /w	m <sup>2</sup>	
۲۷۹	۳.۲	۹۳۰	دیوارها
۷۱۷.۶	۴.۶۹	۳۵۸۸	سقف
۳۹.۵	۱.۹۵	۹۱.۹	دال
۵۹	۱.۷	۱۱۸	دیوار جنوبی
۱۷۵۵.۳	۰.۹	۱۵۹۵	شیشه
۳۲۳۶۶			مجموع
۷۷۶۸۰ W/DD		UA* ۲۴	ضریب بار مجموع TLC
۱۹۱.۲۶ MWh	Qheating=TLC*DD		گرمایی تولیدی سیستم مکانیکی

### گرمایش مورد نیاز برای ساختمان با سیستم گرمایشی ایستا

برای محاسبات این مرحله، سیستمهای خورشیدی غیرفعال به طرح اضافه می گردد و میزان تاثیر آنها محاسبه می شود. روش محاسبه بر اساس فرمولهای ارائه شده توسط لابراتوار ملی لوس آلاموس با حمایت مالی وزارت انرژی آمریکا توسط گروه خورشیدی ایستا انتخاب شده است. گروه لوس آلاموس در مطالعات خود دریافت که فاکتور اولیه ای که عملکرد یک ساختمان خورشیدی را در اقلیمی خاص تعیین می کند نسبت بار افت حرارتی ساختمان به مساحت منافذ خورشیدی - نسبت بار به جمع کننده - می باشد. به عبارت دقیق تر نسبت بار جمع کننده (LCR) طبق تعریف نسبت ضریب بار خالص (NLC) به مساحت تصویر شده جمع کننده (A<sub>p</sub>) می باشد.

این سازمان روشی برای تخمین ضریب صرفه جویی خورشیدی در ساختمان های گرم شده به شیوه ایستا (روش LCR نسبت به بار جمع کننده) را پیشنهاد کرده است [A]. در این روش، میزان انتقال حرارت جداره ها (UA) و سپس میزان ضریب بار خالص (NLC) محاسبه می گردد. این ضریب برابر است با ضریب بار مجموع منهای ضریب بار دیوار خورشیدی. باید توجه داشت که در محاسبات خورشیدی در ابتدا نباید میزان UA عناصر خورشیدی را منظور کرد. این مقادیر در انتها به صورت UAcollector (میزان انتقال حرارتی سیستم ها) محاسبه می گردند. سپس سیستم خورشیدی متناسب با اقلیم منطقه انتخاب می گردد. در این مقاله سیستم های منتخب عبارتند از:

سیستم جذب مستقیم (DGC) با توانایی ذخیره حرارتی  $322.8 \text{ w/m}^2\text{k}$  با ضخامت ۱۰ سانتیمتر است که نسبت مساحت جرم به شیشه ۶ می باشد و دارای عایق شبانه با  $U_{collector} = 1.4 \text{ w/m}^2\text{k}$  است.

سیستم دیوار ترمب بی منفذ (TW) با توانایی ذخیره حرارتی  $161.4 \text{ w/m}^2\text{k}$  که ضخامت دیوار آن ۳۰ سانتی متر با دو لایه شیشه با سطح انتخاب گر بدون عایق شبانه و  $U_{collector} = 1.10 \text{ w/m}^2\text{k}$  می باشد.

دو سیستم دیوار ترومب و جذب مستقیم در جبهه جنوبی ساختمان به سمت آفتاب زمستان جهت گیری می شوند. با در نظر گرفتن مساحت هر سیستم و با استفاده از فرمول (۶) میزان LCR هر سیستم به دست می آید.

$$LCR = NLC / A_p \quad (۶)$$

LCR نسبت بار به جمع کننده، NLC ضریب بار بدون سیستم خورشیدی و  $A_p$  مساحت سیستم ها است

جدول (۳) درصد صرفه جویی سیستمها را نشان می دهد. در این مجموعه سیستم مرکبی از دیوار ترمب و جذب مستقیم استفاده شده است بنابراین میزان صرفه جویی کل بستگی به میزان سطوح خورشیدی دارد. در جدول (۴) محاسبات LCR طرح پیشنهادی آمده است. در مرحله بعد، مقدار  $U_{collector}$  هر کدام از جمع کننده ها بر مساحت آنها ضرب شده و کل  $UA_{collector}$  محاسبه می گردد تا به کمک آن ضریب بار مجموع (مجموع ضریب بار خالص و ضریب بار خورشیدی) و مقدار گرمایش مورد نیاز به دست آید (جدول ۵). فرمول (۷) و (۸) نحوه محاسبه را نشان می دهد.

$$TLC = NLC + [24 * UA_{col}] \quad (۷)$$

TLC ضریب بار مجموع، NLC ضریب بار بدون سیستم خورشیدی و  $UA_{col}$  انتقال حرارتی سیستم خورشیدی است.

جدول ۳: میزان صرفه جویی خورشیدی [A]

	SSF (%; DD base = 55°F)							
LCR	100	70	50	40	30	25	20	15
DGC	16	27	35	44	50	59	65	72
TW	22	37	46	57	64	72	78	84

جدول ۴: محاسبات LCR طرح پیشنهادی

۱۰۳۶.۱					UA کل
۲۴۸۶.۴					NLC
جزء صحیح SSF*	جزء صحیح Ap	درصد صرفه جویی SSF	LCR	Ap m <sup>2</sup>	سیستم
٪۳۰	۰.۷	٪۴۴	۴۰	۶۲۱	DGC
٪۶	۰.۳	٪۲۲	۱۰۰	۲۴۸۶	TW
٪۳۶	صرفه جویی کل				

جدول ۵: میزان ضریب انتقال حرارت سیستمها

سیستم	Ucollector (w/m <sup>2</sup> k)	UAclector
DGC	۱.۴	۸۶۹.۴
TW	۱.۱	۲۷۳.۴
مجموع	۱۱۴۲.۸	
TLC	۵۲۳۹۳.۶	
Q(MW.h)	۸۲.۴	

$$Q = TLC * DD (1 - SSF) \quad (۸)$$

Q مقدار گرمایش مورد نیاز، DD روز درجه گرمایش می باشد

### خازن حرارتی

عامل موثر دیگر در صرفه جویی انرژی، استفاده از حرارت‌های موجود در حول و حواشی ساختمانهایی است که نیاز فراوان به مصرف انرژی در زمستانها داشته و در تابستان با فراوانی انرژی روبرو هستند. بنابراین برای بهبود بیشتر عملکرد ساختمان خورشیدی راهکار دیگری که مد نظر قرار گرفت خازن حرارتی است. برای محاسبه تاثیر خازن حرارتی با داشتن اطلاعات اولیه نظیر ارتفاع فضا، سطح فضای مورد نظر، ابعاد خازن و ... حجم هوای لازم در یک ثانیه سپس سرعت هوا در خازن بر اساس فرمول (۹) و (۱۰) محاسبه می گردد.

$$V = W \times N / 3600 \quad (۹)$$

که در آن W حجم هوای مورد نیاز، N دفعات تعویض هوا است.

$$F = V / A \quad (۱۰)$$

که در آن F سرعت هوا در خازن، V حجم هوای لازم در یک ثانیه و A سطح مقطع خازن است.

$$T = P / 1350 \times 1.2 \times F \quad (۱۱)$$

که در آن T توان حرارتی زمین در طول کانال، P توان حرارتی زمین، و F سرعت هوا در خازن می باشد.

با استفاده از توان حرارتی زمین، درصد استهلاک اختلاف حرارت و باقیمانده اختلاف درجه حرارت پس از عبور از کانال محاسبه و بر اساس فرمول (۱۲) درجه حرارتی که از زمین گرفته می شود به دست می آید.

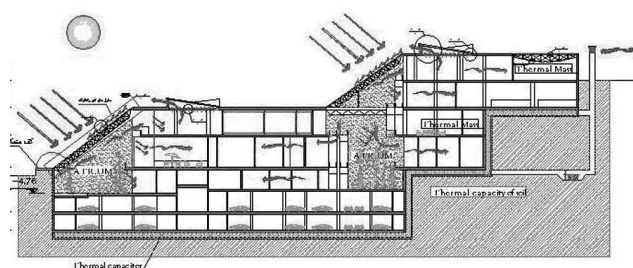
$$T_1 = T_0 \times b^l \quad (۱۲)$$

که در آن T<sub>0</sub> بیشترین اختلاف دما در زمستان، b باقیمانده اختلاف درجه حرارت پس از عبور از کانال و l طول کانال می باشد.

به این ترتیب درجه حرارت هوا پس از عبور از خازن برابر با  $۱۷.۵-۱۲.۴=۵.۱$  است و می توان میزان صرفه جویی را به دست آورد. در جدول (۶) فرمولها و نحوه محاسبات مربوط به تاثیر خازن حرارتی در زمستان ارائه شده است [۱]. شکل (۴) مقطعی از مجموعه طراحی شده را نشان می دهد. در این مقطع مکان خازن حرارتی را در زیر کف ساختمان و در تماس با کف نشان می دهد. به این ترتیب، علاوه بر اینکه اتلاف حرارتی بسیار کاهش می یابد، امکان استفاده بیشتر از حرارت خازن حرارتی فراهم می گردد.

جدول ۶: محاسبات خازن حرارتی برای فصل زمستان

$m^2$	۵۲۳.۴	سطح فضای مورد نظر	۱۵	ارتفاع فضای مورد نظر
$m^3$	۵۱۴۱	حجم هوای مورد نظر	$۹۷*۵۳*۱$	ابعاد خازن
$m^2$	۵۳	سطح مقطع خازن	۰.۷۵	هوا در ساعت دفعات تعویض
$w/m^2c$	۱.۷۸۶	ضریب انتقال حرارتی زمین با کف بتنی	۱۷.۵	$T_0$ بیشترین اختلاف دما در زمستان
$m^3/h$	۳۸۵۵.۷	حجم * دفعه تعویض		هوا لازم در یک ساعت
$m^3/sec$	۱.۰۷	حجم هوای لازم در یکساعت / ۳۶۰۰		حجم هوای لازم در یک ثانیه
$m/sec$	۰.۰۲	هوا لازم در ثانیه / سطح مقطع خازن		سرعت هوا در خازن
$W/m^2$	۳۱.۳	$P=U*T$		توان حرارتی زمین
	۰.۹۶	$T=P/1350*1.2*F$		توان حرارتی زمین در یک متر طول کانال
$a=T*100/T_0$	۰.۶۰۶	درصد استهلاک اختلاف حرارت در یک متر طول کانال	۰.۰۰۶۱	درصد الباقی اختلاف حرارت در بقیه طول کانال
۰.۹۹		$b=1-a$		باقیمانده اختلاف درجه حرارت پس از عبور از کانال
سانتیگراد	۱۲.۴	$T_1=T_0*b^L$		درجه حرارتی که از زمین گرفته می شود
۵.۱		درجه حرارت هوا پس از عبور از خازن		$\approx 29\%$ درصد صرفه جویی در زمستان



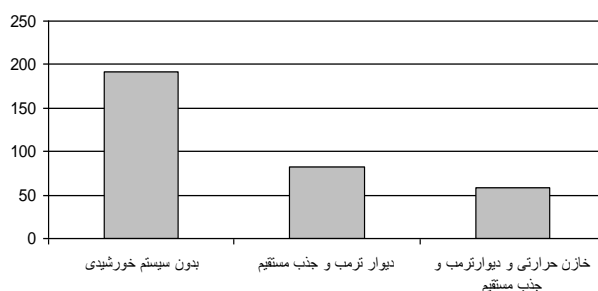
شکل ۴: مقطع از مجموعه طراحی شده

نتایج کلی

برای رسیدن به یک نتیجه کلی، تاثیر تک تک سیستم ها بر مصرف انرژی به صورت درصدی محاسبه شده است (جدول ۷). در شکل (۵) تاثیر سیستم ها بر انرژی گرمایی مورد نیاز Q، نشان داده شده است. همانگونه که از نمودار مشخص است، میزان گرمایش مورد نیاز در حدود ۱۹۱.۲۶ مگا وات ساعت است در حالیکه با اضافه کردن سیستم های خورشیدی این میزان به ۵۸.۵ مگا وات ساعت کاهش یافته است. به طور کل، همان گونه که مشاهده می شود میزان گرمایش سالانه در این مجموعه در مقایسه با مجموعه بدون تمهیدات خورشیدی بسیار کمتر و در حدود ۶۵٪ در مصرف انرژی صرفه جویی شده است.

جدول ۷: درصد صرفه جویی هر سیستم

نام سیستم	میزان صرفه جویی خورشیدی
خازن حرارتی	۲۹٪
سیستم جذب مستقیم	۳۰٪
دیوار ترمب	۶٪
مجموع	۶۵٪



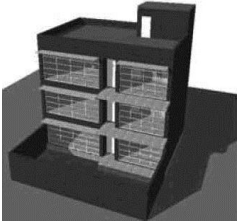
شکل ۵: نمودار گرمایش مورد نیاز مجموعه

## اعتبار سنجی

برای اطمینان از صحت نتایج به دست آمده، این داده ها با داده های به دست آمده از نرم افزار "دیزاین بیلدر" در پروژه تحقیقاتی "تاثیر طراحی معماری بر میزان تقاضای انرژی ساختمان" مقایسه گردید.

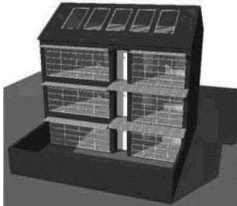
این نرم افزار شبیه نرم افزار انرژی پلاس است و قابلیت این را دارد که با دادن داده های هوایی ساعتی و شبیه سازی ساختمان موجود، میزان انرژی مورد نیاز ساختمان را ارائه دهد. در این پروژه، ۳۰ بنای مختلف در شهر تبریز شبیه سازی شده اند و تاثیر تک تک سیستمها بر میزان مصرف انرژی به دست آمده است. نمودارهای به دست آمده نشان می دهند

که در اقلیم سرد تبریز با استفاده از سقف شیبدار به سمت جنوب تا ۲۰ درصد در مصرف انرژی صرفه جویی کرد (شکل ۷). این میزان نزدیک به مقدار به دست آمده از محاسبات برای جذب مستقیم می باشد.



Energy Demand (kWh/m <sup>2</sup> a)		
Heating	Cooling	Total
22.59	14.50	37.09
<b>2 + Big South window</b>		
Big South window 1m Overhang Inside Blind		

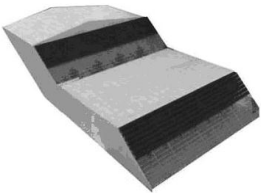
شکل ۶: انرژی مورد نیاز برای ساختمان با سقف تخت [۲]



Energy Demand (kWh/m <sup>2</sup> a)		
Heating	Cooling	Total
17.94	11.68	29.63
<b>7 (6 + external Blind)</b>		
On earth Pitched roof - Skylight 1m Overhang Outside Blind		

شکل ۷: انرژی مورد نیاز برای ساختمان با سقف شیبدار [۲]

آنالیز و شبیه سازی های انجام شده در این پژوهش همچنین نشان می دهد که با استفاده از عایق حرارتی نما و شیشه های چند جداره و تمهیدات خورشیدی غیر فعال می توان میزان مصرف انرژی را کاهش داد. این میزان بستگی به نوع عملکرد بنا و مصالح استفاده شده بنا دارد. در این پروژه با در نظر گرفتن تمهیدات مختلف غیر فعال خورشیدی و شبیه سازی آن میزان صرفه جویی انرژی ۶۰٪ به دست آمده است که به درصد صرفه جویی به دست آمده در این مقاله نزدیک است (شکل ۸).



Energy Demand (kWh/m <sup>2</sup> a)	
Heating	Heating
191.3	58.5
Uninsulated building	Insulated building

شکل ۸: انرژی مورد نیاز برای طرح پیشنهادی

در مورد تاثیر خازن حرارتی، درصد صرفه جویی بستگی به حجم ساختمان دارد. همچنین اگر سطح تماس کف ساختمان با خازن بیشتر باشد میزان گرمایش محیط بیشتر خواهد بود.

در یک نمونه عینی محاسبه میزان تاثیر خازن حرارتی ساختمان نقاهتگاه شهید انصاری لاهیجان، توسط دکتر پانس هاورز و محمد تقی رضایی حریری که در سمینار انرژی خورشیدی خرداد ماه سال ۱۳۷۴ ارائه گردیده میزان تاثیر خازن حرارتی به دست آمده نشان می دهد که خازن حرارتی تاثیر زیادی بر کاهش مصرف انرژی دارد. در این مقاله روش محاسبه برای تعیین میزان تاثیر خازن حرارتی همان روش محاسباتی پروژه نقاهتگاه شهید انصاری است و نتایج به دست آمده نشان می دهد که خازن حرارتی نسبت به دیگر تمهیدات غیر فعال تاثیر بیشتری داشته است.

روش محاسبه استفاده شده برای سیستم های جذب مستقیم و دیوار ترمب نیز برگرفته از روش محاسباتی مورد تایید توسط وزارت انرژی ایالات متحده بوده و توسط گروه مطالعاتی "لوس آلاموس" ارائه گردیده است و در چندین مجموعه اجرایی پاسخ صحیح داده است. البته باید توجه داشت که چون محاسبات در این مقاله بر روی یک طرح فرضی انجام شده است، نمی توان ثابت کرد که این طرح در عمل چقدر موفق خواهد بود. چرا که در حین اجرا خطاهای غیر قابل اجتناب پیش می آید و در عمل میزان تاثیر سیستمها، کمتر از درصد به دست آمده توسط محاسبات می شود. بنابراین باید ضریب خطایی نیز در نظر گرفته شود. این ضریب بستگی به دقت اجرا، استفاده از مصالح مرغوب و سیستمهای خورشیدی با بازدهی بالا و... دارد. البته در این مقاله هدف آشنایی اولیه با روشهای محاسباتی ساده در مراحل طراحی می باشد تا دیدی در مورد عملکرد حرارتی مجموعه طراحی شده به طراح دهد و در مراحل ساخت و اجرا نیاز به محاسبات پیشرفته تر میباشد.

## نتیجه گیری

در این مقاله سعی شد به کمک محاسبات ساده میزان تاثیر سیستمهای خورشیدی در مصرف انرژی تعیین گردد. تحقیق انجام شده نشان می دهد که یک طراحی همساز با اقلیم می تواند باعث بهبود شرایط حرارتی فضای مورد استفاده گردد. اما در شرایط بحرانی تنها با اتکا به پتانسیل های محیط نمی توان محدوده آسایش را کاملا ایجاد کرد و نیازمند استفاده از تاسیسات مکانیکی هستیم. همچنین همانگونه که محاسبات و نمودارها نشان دادند، استفاده از سیستم های خورشیدی می تواند تاثیر بسزایی در کاهش مصرف انرژی داشته باشد. این امر به نوبه خود میزان حجم نیاز به تاسیسات مکانیکی را کاهش و باعث کاهش هزینه های مربوط به سوخت و انرژی در مدت طول عمر ساختمان می گردد. باید به این امر توجه داشت که هرچند در ابتدای ساخت هزینه نصب سیستم های خورشیدی وجود دارد، اما این هزینه ها کمتر از هزینه های مربوط به نصب سیستم های حجیم تاسیساتی و به خصوص هزینه بالای مصرف انرژی می باشند.

## منابع

- [۱] پانس هاووزر، اریک. رضایی حریری، محمد تقی. (۱۳۷۴)، خازن حرارتی، دانشگاه فنی وین، ترجمه: دکتر محمد تقی رضایی حریری، مجموعه مقالات سمینارهای انرژی خورشیدی، دانشگاه تهران، دانشکده هنرهای زیبا.
- [۲] دکی، مارک. (۱۳۸۶)، خورشید، باد، نور، طراحی اقلیمی (استراتژی های طراحی در معماری)، سعید آقایی، ویرایش دوم، انتشارات گنج هنر، تهران.
- [۳] دفتر تدوین و ترویج مقررات ملی ساختمان، (۱۳۸۹)، صرفه جویی در مصرف انرژی، مقررات ملی ساختمان، مبحث ۱۹.
- [۴] طاهباز، منصوره. (۱۳۸۸)، روش تحلیل آمار هواشناسی برای طراحی معماری همساز با اقلیم، نشریه علمی- پژوهشی هنرهای زیبا، شماره ۳۸، دانشگاه تهران، صفحات ۶۱-۷۲.
- [۵] غفاری جباری، شهلا. (۱۳۸۸)، طراحی مجموعه تجاری با رویکرد جذب از طریق پوسته، پایان نامه کارشناسی ارشد معماری انرژی، دانشگاه تهران.
- [۶] موسوی نائینیان، سید مجتبی. (۱۳۸۶)، تاسیسات ساختمانی (۲)، انتشارات دانش و فن، تهران.

[۵] Fuller, Moore, *Environmental control systems: heating, cooling, lighting*, 2002

[۶] Johnson T., *Low-E Glazing Design Guide*, Reed Publishing, USA, 2000

[۷] Lewis, D., Kohler, J., and Reno, V., "Passive principles: rockbeds", Solar Age, March, 2001

[۸] Mazeria, Edward, *The Passive solar home, greenhouse and building design*, 2005

[۹] Kantowitz, M., "Occupant effects and interactions in passive solar commercial buildings: preliminary findings from the U.S. DOE passive solar commercial buildings

*program*,” Proceedings of the eighth National passive solar conference, Boulder, Colorado: American Solar Energy Society, 2001

[۱۰] McFarland, R., “*POSOLE: a general simulation program for passive solar energy*.” Los Alamos National Laboratory report LA-7433MS, Springfield, Virginia: National Technical Information Center

[۱۱] Nasrollahi, Farshad, *Effect of Architecture on Building Energy Demand in cold climates*, Berlin University of technology, Institute of Architecture, Germany, 2007

[۱۲] Thomsen K. E, Schultz, J. M. Poe. B., “*Measure*

*performance of 12 demonstration projects*—IEA Task 13 “advanced solar low energy buildings”, Energy and Buildings, volume 32, February 2005, pages 111-119