بررسی اثرات عایقکاری ساختمان بر روی بار حرارتی و مطالعه سیستم گرمایش خورشیدی برای یک خانه مسکونی نمونه در تهران

مهندس محمد ساتکین، مهندس یوسف آرمودلی، دکتر عبدالرزاق کعبی نژادیان
وزارت نیرو، سازمان انرژی های نو ایران

چکیده

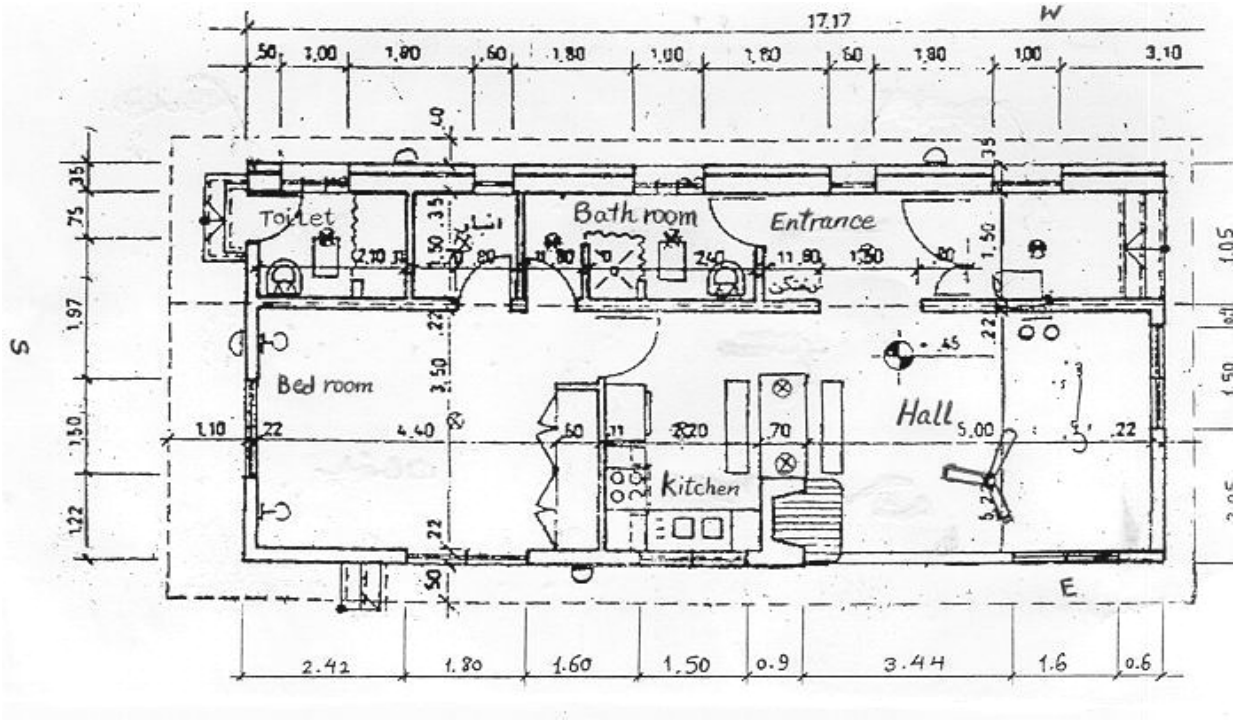
در مقاله ارائه شده، ابتدا بین بارهای حرارتی یک خانه مسکونی نمونه در تهران در شرایط عایقکاری شده و بدون عایق مقایسه ای انجام شده و نمودار هائی جهت مقایسه بارها در شرایط مذکور ارائه شده است. در گام بعدی محاسبه گردیده است که با استفاده از گردآورنده های تخت خورشیدی چه میزان از انرژی مورد نیاز ساختمان قابل تأمین بوده و در این راستا اثر استقرار گردآورنده های خورشیدی در شرایط افقی و شیب دار(با شیب نزدیک به عرض جغرافیائی محل) در مقابل پرتوهای خورشیدی نیز با یکدیگر مقایسه و نتایج ارائه گردیده است . سپس مطابق با نیاز انرژی ساختمان ، تعداد گردآورنده های تخت خورشیدی محاسبه شده و با توجه به محدودیت فضای پشت بام ، یک سیستم هیبرید (خورشیدی– فسیلی) پیشنهاد گردیده است. درصد انرژی خورشیدی قابل بهره برداری در دو وضعیت ساختمان با عایق و بدون عایق محاسبه شده و مقایسه گردیده اند..نتایج حاصل از این مقاله بمنظور بررسی اقتصادی موضوع و تعیین اثرات زیست محیطی طرح طی مقاله ای دیگر در دست مطالعه می باشد.

واژه های کلیدی : انرژی خورشیدی،عایق،گردآورنده خورشیدی،بار حرارتی،شدت تابش،هیبرید

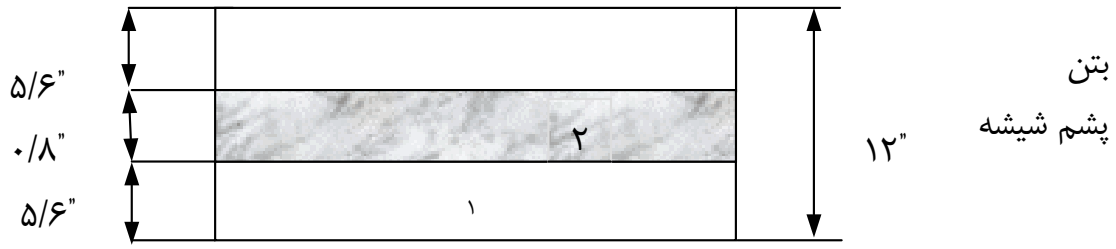
مقدمه

ساختمان خورشیدی نمونه ای که این مقاله درباره آن بحث می کند خانه ای به مساحت ۶۰متر مربع است که ۴۵ متر مربع آن مجهز به تجهیزات گرمایشی است . طرح این خانه در شکل ۱ ارائه گردیده

است. در یک خانه خورشیدی بارحرارتی بصورت ساعت به ساعت درطی روز محاسبه میگردد ، و با توجه به مجموع بارهای روزانه وانرژی استحصالی از واحد سطح گردآورنده ، تعداد گردآورنده های مورد نیاز تعیین میشود ، دماهای ساعت به ساعت روز ۲۱ ژانویه که از سازمان هواشناسی کل کشور دریافت شده است درجدول ۱ درج شده است .یکی دیگر از اطلاعاتی که برای محاسبه بارحرارتی لازم است ضریب کلی هدایت گرمائی (U-Value) است . این عدد را برای مصالح بکار گرفته شده در ساختمان تعیین مینمائیم . طرح و برش مقطع دیوار در شکل ۲ نمایش داده شده است .



شکل ۱- پلان ساختمان



شکل ۲. مقطع هر واحد از مصالح دیوار

جدول ۱. دماهای ساعت به ساعت در روز ۲۱ ژانویه در تهران.

hour	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
C	-0.93	-1.01	-1.11	-1.20	0.22	1.18	2.12	3.83	4.30	5.00	5.30	4.75
F	30.32	30.19	30.00	29.84	32.40	34.12	35.82	38.89	39.74	41.00	41.54	40.55
hour	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
C	4.40	3.13	2.65	2.24	1.89	1.60	1.35	1.22	1.10	0.99	-0.80	-0.86
F	39.92	37.63	36.77	36.03	35.41	34.88	34.43	34.19	33.97	33.77	30.56	30.44

۱ – محاسبه ضریب کلی هدایت گرمائی (U- Value) [1]

این ضریب از فرمول زیر محاسبه می گردد

$$U=1/(1/fo+R1+R2+\ldots+1/fi) \qquad (۱)$$

$1/f_o$= ضریب فیلم هوا روی جدار خارج بر حسب (ft^2.h.F/BTU).

$1/f_i$= ضریب فیلم هوا روی جدار داخلی بر حسب (ft^2.h.F/BTU).

R= مقاومت حرارتی مصالح .(ft^2.h.F/BTU)

بمنظور محاسبه ضریب هدایت گرمائی ، ابتدا مقادیر لازم را از جداول استاندارد استخراج می کنیم .

Rبتن = ۰/۸۶ (بازای هر اینچ ضخامت) $1/f_o$(زمستان) = ۰/۶۱ $1/f_o$(تابستان) = ۰/۹۲

Rپشم شیشه = ۴ (بازای هر اینچ ضخامت) $1/f_i$(زمستان) = ۰/۲۵ $1/f_i$(تابستان) = ۰/۱۷

Rگچ = ۰/۳۲

برای محاسبهR مربوط به بخش بتنی طبق مندرجات جداول استاندارد، به ازای هر اینچ ضخامت ۰/۸۶ مقاومت داریم پس برای بخش ۵/۶ اینچی ، R= ۴/۸۱۶ میباشد و ضخامت لایه گچ نیز ۰/۳۷۵ اینچ در نظر گرفته می شود با توجه به اعداد فوق برای مقدار U بترتیب زیر خواهیم داشت.

زمستان U= 1/(0.25+4.816+3+4.816+0.32+0.61) = 0.0724

۲ – محاسبه بارهای حرارتی در وضعیتهای عایقکاری و معمولی :

حال با در دست داشتن ضریب هدایت گرمائی مصالح ساختمانی و شیشه سه جداره و همچنین اختلاف دماهای داخل و خارج بصورت ساعت به ساعت بکمک جدول ۱ و دمای طرح خارج که ۷۸ درجه فارنهایت در نظرگرفته شده است ، می توانیم جدولی حاوی کلیه اطلاعات لازم برای محاسبه بار حرارتی ساختمان برای دو وضعیت عایقکاری شده و معمولی ایجاد نمائیم. قابل ذکر است که در شرایط معمولی ، دیوار ها ، سقف و کف از جنس آجر معمولی با لایه ای از گچ بوده و شیشه ها نیز تک جداره اند و ضریب هدایت گرمائی آنها بر اساس جداول استاندارد بترتیب ۰/۲۶ و ۱/۱۳میباشند[۱].مساحت کف و سقف و همچنین مساحت در و دیوار و پنجره های هر فضا نیز بر اساس نقشه خانه در این جداول گنجانده شده اند.

اکنون می توان بکمک فرمولهای تعادل گرمائی، بار حرارتی ساختمان را در طی یک روز، محاسبه نمود. نتایج این محاسبات درجدول ۷ درج گردیده اند. همانطور که ملاحظه میشود بار حرارتی، درشرایطی که از مصالح عایقکاری شده استفاده شده باشد برابر۲۱۲۷۵۰ BTU/day و در شرایط معمولی برابر ۱۲۴۸۹۵۲ BTU/day بوده و به این ترتیب فقط بواسطه عایقکاری و بکارگیری شیشه سه لایه در زمستان ۱۰۳۶۲۰۲ BTU/day در طی یک روزصرفه جوئی انرژی خواهیم داشت.

۳- محاسبه بار آبگرم مصرفی .[۱]

برای محاسبه بار آبگرم مصرفی ، ابتدا باید عوامل مصرف کننده آبگرم را مشخص نمود که در این پروژه عبارتند از ، دو دستگاه دوش ، سه واحد دستشوئی و توالت و دو عدد سینک ظرفشوئی .میزان مصرف آبگرم هرکدام از این موارد در جدول زیر نشان داده شده است .

جدول ۲. میزان مصرف آبگرم مصرفی

مصرف کننده ها	تعداد	GPH	کل ماکزیمم مصرف
دوش	۱	۱۰۰	۱۰۰
دستشوئی و توالت	۲	۳	۶
سینک ظرفشوئی	۱	۱۵	۱۵

همانطور ملاحظه می شود مجموع این مصارف برابر**GPH** ۱۲۱ بوده و برای محاسبه بار، ابتدا باید این عدد را در ضریب تقاضا ضرب نمائیم و سپس توسط فرمول ۲ بار آبگرم مصرفی را محاسبه کنیم.

$$Q = V \times 8.33 \times (t_2 - t_1) \quad (۲)$$

که در آن :

بار آبگرم مصرفی **Q = (BTU/h)**

مقدار واقعی آبگرم مصرفی بر حسب گالن بر ساعت = **V**

وزن مخصوص آب بر حسب پاوند بر گالن= ۸/۳۳

دمای آب شهر ورودی به آبگرمکن(F 60)=t_1

دمای آبگرم مصرفی خروجی از آبگرمکن(F 140) =t_2

این محاسبات بترتیب زیر انجام می پذیرد :

۴۲/۳۵ =۱۲۱ × ۰/۳۵ : مقدار آبگرم مصرفی

۴۲/۳۵ × ۸/۳۳× (۱۴۰-۶۰)× ۱/۱ =۲۸۲۲۲ BTU/h ~ ۷۰۵۵/۵ Kcal/h : بار آبگرم مصرفی

که اگر تعداد ساعات کارکرد روزانه ۱۵ ساعت در نظرگرفته شود،کل بار آبگرم مصرفی روزانه برابر خواهد بود با

۲۸۲۲۲ × ۱۵ = ۴۲۳۳۳۰ BTU/day ~۱۰۵۸۳۲/۵ Kcal/day

۴- تشریح نمودار ۱.

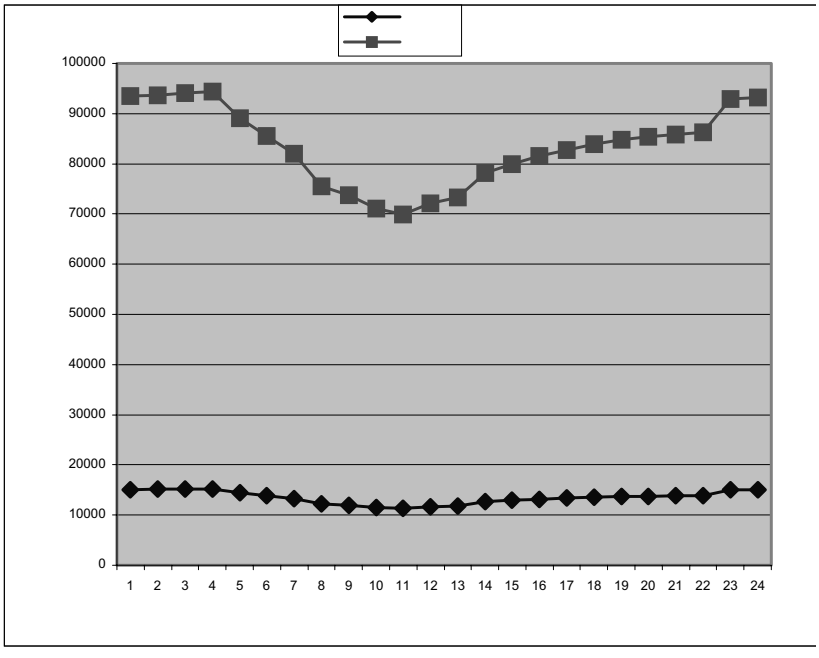
نمودار ۱ نشان می دهند که با عمل عایقکاری تا چه حد بار حرارتی ساختمان کاهش می یابد و همانطور که از این نمودار بر می آید بیشترین بار حرارتی ساختمان هنگام زمستان در ساعت ۴ صبح و کمترین آن در ساعت ۱۱ صبح می باشد. ضمناً با بررسی این نمودار روند تغییرات بار در کلیه ساعات روز قابل ملاحظه می باشد .

۵ - انتخاب گردآورنده تخت مسطح (آبگرمکن خورشیدی) از کاتالوگ .

در این مرحله باید ابتدا گردآورنده(Flat plate Collector) مناسبی را از کاتالوگهای موجود انتخاب کرده و سپس بکمک مشخصات فنی موجود در این کاتالوگ و اطلاعات جمع آوری شده دیگر که متعاقبا بیان می گردد ، انرژی قابل استحصال در واحد سطح گردآورنده را محاسبه نمائیم .

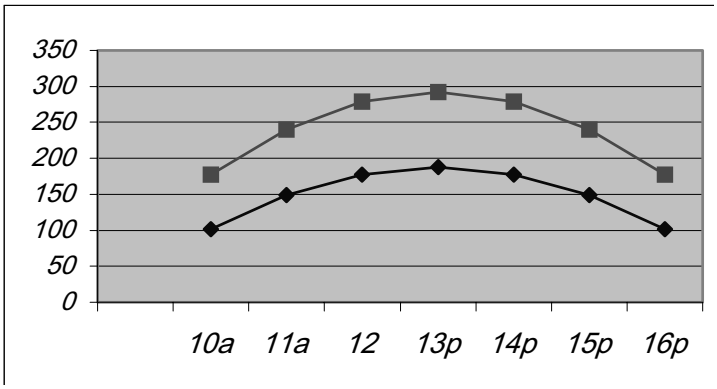
نمودار ۱. مقایسه بار حرارتی در زمستان برای دو وضعیت عایقکاری شده و بدون عایقکاری

1	*15085*	*93450*
2	*15129*	*93722*
3	*15193*	*94119*
4	*15247*	*94454*
5	*14383*	*89099*
6	*13802*	*85502*
7	*13228*	*81946*
8	*12192*	*75525*
9	*11905*	*73748*
10	*11479*	*71112*
11	*11297*	*69983*
12	*11631*	*72053*
13	*11844*	*73371*
14	*12620*	*78182*
15	*12907*	*79959*
16	*13157*	*81507*
17	*13367*	*82804*
18	*13546*	*83912*
19	*13697*	*84854*
20	*13778*	*85356*
21	*13853*	*85816*
22	*13920*	*86234*
23	*15004*	*92948*
24	*15045*	*93199*



نمودار۲- شدت تابش ساعت به ساعت در روز ۲۱ ژانویه برای عرض جغرافیائی ۳۵/۷ (تهران)بر حسب $BTU/h\ ft^2$

10a	101.8125	176.9
11a	148.5	240.18
12	177.65	279.275
13p	188.1875	292.368
14p	177.65	279.275
15p	148.5	240.183
16p	101.8125	176.9



طرح و کلیه مشخصات فنی مورد نیاز مطابق با جدول ۳ ارائه میگردد .

جدول ۳-مشخصات فنی گردآورنده

Width	907mm	Multi-layer insulaton consisting of:		Absorber	Aluminum,EVIDAL
Length	2207mm	60 mm FCKW-free PU-foam with aluminum foils			Rollbnd system
Height	102mm	on both sides,coated 15 mm glass wool mats		Cover frame	Aluminum,continuously
Modul area	2.00m^2	with long wave reflectingfoil			welded,silicon rubber
Absorber area	1.86m^2	Thermal conduction coefficient (at 50 C)	0.035 W/mK		seal between glass and
Aperture area	1.82m^2	Absorbtion coefficient of the selective coating (α)	0.93		frame over entire frame width
Absorber volume	1 L	Emission coefficient of the selective coating (ε)	0.18	Housing	Aluminum,stucco finish,
Max.operating pressure	2.5 bar	Cover			corners continuously
Test pressure	6 bar	Low-iron hardener safety glass,hail-proof			welded
Flow rate	60 l/h m^2	temperature resistant up to	300 C	connections	3/8 " O.D.
Max.standstill temp	190 C	Thickness of pane	4 mm	Heat transfer	
Weight when empty	46 kg	Surrounding continuous insulation	25 mm	medium	Glycol-water mixture

۶- محاسبه میزان انرژی قابل استحصال از خورشید توسط گردآورنده های تخت خورشیدی.

بر اساس معادله (۳) مرسوم به Hottle-Whillier انرژی استحصالی از واحد سطح گردآورنده محاسبه میگردد [۲]

$$q = \tau\alpha I - U_L(T_c - T_a) \qquad (۳)$$

q = انرژی قابل استحصال از واحد سطح گردآورنده تخت خورشیدی .

τ = ضریب عبور دهی نور از سطح شفاف (Light transmittance).

α= ضریب جذب پوشش .

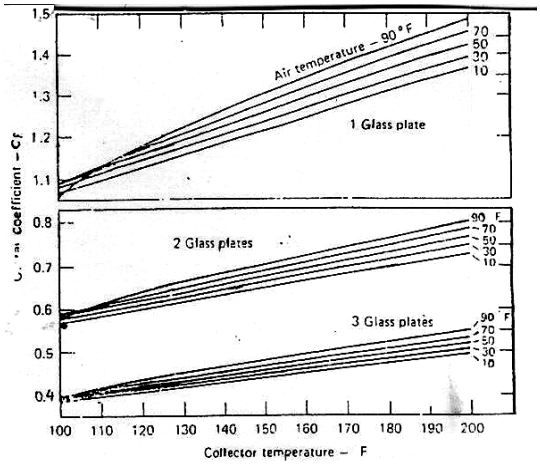
I = شدت تابش ($BTU/h\ ft^2$) .

U_L = ضریب تلفات حرارتی از گردآورنده .

T_C = دمای ایجاد شده در گردآورنده خورشیدی .

T_a = دمای محیط .

با توجه به اطلاعـات فنـی موجوددرکاتـالوگ، که درجدول ۳ ارائه گردیده است ، ضریب جذب پوشش گردآورنـده ،α، ۰/۹۳ و دمـای گردآورنـده ۵۰ درجه سـانتیگراد (حدودً ۱۲۰ فارنهایت) در نظر گرفـته میشود . ضـریب عبور دهی نور از سـطح شـفاف طبـق اطلاعـات جدول ۴، معـادل ۰/۹۱۶ و دمـاها و شـدت تابشـهای سـاعت به سـاعت محیط بترتیب از جـدول ۱، جدول نمودار ۲ تعیین میـگردند .طبق اطلاعات موجـود در جدول ۱، متوسـط دمای روزانه درسرد ترین روز زمستانF ۳۹/۶میباشد .با تـوجه به اعـداد مـذکور، دمای گردآورنده و نمودار (۳) ، U_L برای گردآورنده تک شـیشه در زمسـتان ۱/۱۵ ($BTU/hF.ft^2$) میباشد .



نمودار (۳) ضریب تلفات بر حسب دمای محیط و گردآورنده. [۲]

جدول ۴- خواص فیزیکی انواع شیشه

Property	Type of Glass: Ordinary Float	Sheet Lime	White White
Iron – oxide content , percent	0.12	0.05	0.01
Reflective index	1.52	1.50	1.50
Light transmittance(τ) , percent	84	89	91.6
Ireflective loss, percent	8.2-8	8.1-8	8.0
Absoption loss , percent	8-13	3-4	under

[۲]

۷- تعیین تعداد گردآورنده های خورشیدی نصب شده روی سقف ساختمان :

جهت تعیین تعداد گردآورنده های خورشیدی ابتدا باید محاسـبه شـود که از واحد سـطح گردآورنده های مذکور چه میـزان انرژی می تـوان دریافـت کـرد و با داشـتن نیاز حـرارتی و آبگرم مصـرفی و تقسیم این مقدار بر انرژی دریافتی از واحد سطح گردآورنـده تعداد گردآورنده های لازم جـهت رفع کـل نیاز

ساختمان تعیین می گردد که البته می توان با کاهش این تعداد ، قسمتی از نیاز را توسط سوخت فسیلی و حرارت مرکزی تامین نمود .

۸- جدول محاسباتی میزان انرژی قابل استحصال خورشیدی در سردترین روز سال .

با جاگذاری اطلاعات ساعت به ساعت در فرمول ۱ ابتدا انرژی دریافتی از یک متر مربع گردآورنده را در هر ساعت محاسبه میکنیم و سپس با در نظر گرفتن کل مساحت گردآورنده ها، مجموع انرژی قابل دریافت در سردترین روز سال ، تعیین میگردد . کلیه مراحل این محاسبات در جدول ۵ ارائه گردیده است.

۹- محاسبه تعداد گردآورنده های مورد نیاز جهت تامین بار گرمایشی .

همانگونه که قبلاً محاسبه گردید میزان بار آبگرم مصرفی برابر ۴۲۳۳۳۰ BTU/day و بار حرارتی ساختمان درشرایط عایق دار ۲۱۲۷۵۰ BTU/dayودر شرایط بدون عایق برابر ۱۲۴۸۹۵۲ BTU/day برآورد گردیده است. بر این اساس کل بار حرارتی مورد نیاز در شرایط عایق دار ۶۳۶۰۸۰ BTU/day و در شرایط بدون عایق ۱۶۷۲۲۸۲ BTU/day می باشد.

از طرفی میزان انرژی قابل استحصال به ازاء هر متر مربع گردآورنده های خورشیدی برابر ۷۰۰/۶ BTU/ft^2.day بوده و در نتیجه خواهیم داشت:

۶۳۶۰۸۰ ÷ ۷۰۰/۶ =۹۰۸ ft^2 = ۸۴/۴ m^2

۱۶۷۲۲۸۲ ÷ ۷۰۰/۶ =۲۳۸۶ ft^2 = ۲۲۱/۷۶ m^2

که بدین ترتیب با توجه به سطح ۲ متر مربعی هر کدام از گردآورنده ها تعداد گردآورنده ها در شرایط عایق کاری ۴۲ عدد و در شرایط معمولی ۱۱۰ عدد خواهد تعیین می گردد.

۱۰- تعیین تعداد گردآورنده ها با توجه به سطح پشت بام و درصد هیبرید.

اگر ساختمان مورد بحث را دارای سقف شیب دار در نظر بگیریم و شیب پشت بام را نزدیک به عرض جغرافیائی منطقه انتخاب کنیم می توانیم گردآورنده های خورشیدی را بر روی پشت بام نصب نمائیم.بدین منظور ابتدا باید تعیین نمائیم که چه مساحتی از پشت بام را بدین منظور در اختیار داریم و سپس تعداد گردآورنده های متناسب با این مساحت را مشخص نمائیم. بدیهی است به هر نسبتی که نتوانیم از گردآورنده های خورشیدی برای تأمین انرژی مورد نیاز استفاده کنیم از سیستم فسیلی بصورت هیبرید استفاده خواهیم کرد. برای تعیین این نسبت به ترتیب زیر عمل می گردد:

۱۰-۱- مساحت پشت بام در صورتیکه کل آنرا شیب دهیم با عرض۴/۶۰ متر وطول ۱۳/۸۶ متر برابر ۷۵ /۶۳ مترمربع بوده و با توجه به اینکه عرض هر کدام از گردآورنده ها ۹۰/۷ سانتی متر و طول آنها ۲/۲۰

متر می باشد می توان ۲ ردیف ۱۴ تائی ازگردآورنده ها را بر روی پشت بام مستقر نمود . بدین ترتیب جمعاً ۲۸ گردآورنده قابل نصب بر روی پشت بام می باشد.

۱۰-۲- همانگونه که درجدول۶ملاحظه می شودمیزان انرژی قابل استحصال ازواحدسطح گردآورنده‌های خورشیدی برابر Btu/hft^2 ۷۰۰/۶ بوده و با توجه به مساحت ft^2 ۶۰۲/۵۶ (m^2 ۵۶) خواهیم داشت :

۶۰۲/۵۶ × ۷۰۰/۶ =۴۲۲۱۵۳/۵۳۶ BTU/h

۱۰-۳- با توجه به آنکه میزان کل انرژی مورد نیاز در شرایط عایقکاری شده BTU/day ۶۳۶۰۸۰ و بدون عایق۱۶۷۲۲۸۲ BTU/day بوده و میزان کل انرژی قابل استحصال از خورشید نیز BTU/day ۴۲۲۱۵۳ می باشد , می توا ن نتیجه گیری نمود در شرایط هیبرید می توان در شرایط عایقکاری شده ۶۶٪ و در شرایط معمولی (بدون عایق) ۲۵/۲۴ ٪ انرژی مورد نیاز را توسط خورشید تأمین نمود.

ضمناً پیرو این مقاله و با استناد به نتایج حاصل از آن ، مقاله ای بمنظور مقایسه سه وضعیت:تمام خورشیدی،تمام فسیلی و هیبرید از نظر اقتصادی و اثرات زیست محیطی هر یک از آنها تهیه و ارائه خواهد گردید.

نتایج :

با عمل عایقکاری در این مدل ، می توان تلفات انـرژی را در زمسـتان به حدود یک ششم کاهـش داد ، طـبق محاسبات انجام شده ، میزان انرژی صرفه جوئی شده در طی روز بواسطه عایقکاری برابر ۱۰۳۶۲۰۲ BTU/day می باشد .

با توجه به نمودار ۱ ، در صورت استفاده از مصالح عایقکاری شده و شیشه های سه جداره ، روند تغییرات بار حرارتی در ۲۴ ساعت یکنواخت تر بوده و تغییرات ساعت به ساعت آن نسبت به شرایط بدون عایق بسیار کمتر می باشد. ضمناً کاهش تلفات حرارتی ، بسیار قابل توجه خواهد بود.

با توجه به نمودار ۲ ، میزان شدت تابش دریافتی با شیب ۳۲ درجه نسبت به وضعیت افقی حدود ۱/۶ برابر بیشتر برآورد می گردد.

میزان انرژی قابل استحصال از واحد سطح گردآورنده های خورشیدی در سردترین روز سال برای شیب ۳۲ درجه $BTU/h.ft^2$ ۷۰۰/۶ یا W/m^2 ۲۲۰۸/۲۴ و برای شیب افقی $BTU/h.ft^2$ ۱۸۷/۹۳ یا W/m^2 ۵۹۱/۹۸ محاسبه گردیده است.

با توجه به محدودیت فضای پشت بام جهت استقرار کل گردآورنده های خورشیدی بمنظور تأمین انرژی مورد نیاز ساختمان توسط پرتوهای خورشیدی، تعداد گردآورنده های خورشیدی را از ۴۲ عدد در شرایط عایقکاری شده و ۱۱۰ عدد در شرایط معمولی به ۲۸ عدد تقلیل داده و بدین ترتیب در وضعیت اول ۶۶٪

ودر وضعیت دوم ۲۵/۲۴٪ از نیاز انرژی ساختمان را می توان از طریق خورشیدی و الباقی را بکمک سوخت فسیلی نأمین نمود.

منابع و مؤاخذ

[۱] مهندس سید مجتبی طبا طبائی ، محاسبات تاسیسات ساختمان، چاپ پنجم ، ۱۳۷۶.
[2] PETER J . LUNDE , Solar thermal Engineering, space heating & hot water systems,1980.
[۳] محمد ساتکین، مدل بهره برداری از سیستم گرمایش و سرمایش خورشیدی در ساختمان نمونه، پایان نامه کارشناسی ارشد، بهمن ۱۳۷۸.