نشریه علمی سازمان انرژی اتمی ایران
شماره ۱۴، صفحات ۵۱-۳۹، ۱۳۷۶.

ساختمان نمونه خورشیدی
تامین انرژی موردنیاز یک ساختمان بوسیله انرژی خورشیدی

مرتضی خلجی اسدی، بتول صفایی، ماندانا دانش
مرکز تحقیقات و کاربرد انرژیهای نو
سازمان انرژی اتمی ایران

چکیده

امکان استفاده از انرژی خورشیدی جهت تامین درصدی از انرژی موردنیاز یک ساختمان معمولی پیش ساخته شده در مرکز تحقیقات وکاربرد انرژیهای نو به صورت یک طرح تحقیقی مورد توجه قرارگرفته است. ساختمان معمولی بدین منظور انتخاب شده است که تغییراتی در آن برای رسیدن به هدف ذخیره سازی و تامین انرژی از جمله: نصب هواگرمکن‌های خورشیدی در دو زاویه مختلف ، دوجداره کردن پنجره ها، سیاه کردن سقف شیروانی و پوشاندن آن با ورقه های فایبر گلاس، حفر کانال زیرزمینی، ایجاد محفظه‌های سنگی ذخیره گرما بعمل آید.

آزمایشهایی برای بررسی عملکرد تغییرات داده شده بطور پیوسته در مدت یکسال انجام گرفته است. پس از محاسبات برودتی و حرارتی نتیجه‌گیری شد که در صورت استفاده از عایق حرارتی یونولیت در سقف، توان کمکی لازم جهت سرمایش ساختمان در تابستان، بدون در نظرگیری خنکی حاصل از کانال زیرزمینی، حدود ۱۸/۸ کیلووات و برای گرمایش آن در زمستان حدود ۲۲۸/۰ کیلووات است، در صورتیکه بدون استفاده از عایق یونولیت در سقف بترتیب به ۲۶/۵ و ۱۳/۵۸ کیلووات توان کمکی جهت سرمایش و گرمایش ساختمان نیاز است.

بنابراین با استفاده از ساختمان خورشیدی به ترتیب ۲۹٪ و ۹۸٪ در مصرف انرژی جهت سرمایش و گرمایش آن صرفه جویی می شود.

مقدمه

میزان مصرف انرژی در ساختمانها جهت گرمایش و سرمایش آنها درصد بالایی از کل مصرف انرژی در هر جامعه را تشکیل می دهد. با توجه به اینکه معمولا" از سوختهای فسیلی برای این منظور استفاده می شود که علاوه بر فناپذیر بودن باعث آلودگی محیط زیست نیز می شوند، لذا تامین بخشی از انرژی به وسیله منابع غیر فسیلی مانند انرژی خورشیدی از اهمیت خاصی برخوردار است. بدلایل فوق مصمم شدیم که گرمایش و سرمایش یک ساختمان قدیمی را با ایجاد تغییرات مناسبی در آن، بوسیله انرژی خورشیدی تامین کنیم.

توصیف سیستم

ساختمان موردنظر شمالی-جنوبی و دارای

ابعاد ۶/۶×۲۴/۴×۳۲ متر است. دیوار شمالی این ساختمان فاقد پنجره است و برروی دیوار جنوبی آن هواگرم‌کن های عمودی نصب شده اند. دیوار ضلع غربی دارای چهار پنجره به ابعاد ۱/۶×۳ متر و ضلع شرقی دارای چهار پنجره به ابعاد ۱/۶×۳ متر به اضافه سه پنجره کوچک به ابعاد ۰/۵۳×۱/۱ متر و یک پنجرهٔ ۰/۴۵×۰/۶۵ مترمربعی می باشد. ضخامت دیوارها ۳۵ سانتیمتر و از آجر ساخته شده اند سطح داخلی آنها به ضخامت ۵ سانتیمتر از گچ پوشیده شده است. در ضلع غربی ساختمان دو در به ابعاد ۱/۶۵×۲/۶۱ متر و ۱/۷۴×۲/۶۱ متر نصب شده که اولی دارای شیشه دوجداره و دومی دارای شیشه یک جداره است.

روش کار

برای تامین قسمتی از انرژی موردنیاز گرمایش و سرمایش این ساختمان اقدامات زیر صورت گرفته است:

۱- طراحی، ساخت و نصب هواگرم‌کنها

برروی دیوار جنوبی ساختمان هواگرم‌کنهایی به سطح مفید ۱۴/۵ مترمربع نصب شد. صفحه جاذب این هواگرم‌کنها به رنگ سیاه و پوشش شیشه ای آن دوجداره است. طبق محاسبات انجام گرفته، توان حرارتی این مجموعه حدود ۱/۱ کیلووات * می باشد، همچنین تعداد ۱۰ هواگرم‌کن به ابعاد ۱×۲ متر طراحی و ساخته شده اند که با شیب ۴۵ درجه نسبت به افق در روی زمین مقابل دیوار جنوبی نصب شده‌اند (شکل ۱). صفحات جاذب این هواگرم‌کنها آلومینیوم آندایز شده به رنگ سیاه و پوشش شیشه ای آن یک جداره است. طبق محاسبات انجام گرفته، هر یک از این هواگرم‌کنها دارای توان حرارتی ۰/۲۱ کیلووات** می باشد.

۲- دوجداره کردن پنجره ها

با توجه به سطح نسبتا" بزرگ پنجره ها به منظور کاستن اتلاف حرارتی اقدام به دوجداره کردن این پنجره ها شد، بدین طریق که با نصب کردن قاب چوبی اضافی به اسکلت فلزی پنجره های از پیش کار گذاشته، یک جدار شیشه ای دیگر به پنجره ها افزوده شد.

۳- پوشش شفاف فایبرگلاس برروی سقف

برروی سقف شیروانی که رنگ سیاه زده شده بود، با حفظ حدود یک سانتیمتر فاصله، روپوش شفاف فایبر گلاس نصب شد تا با جلوگیری نسبی از

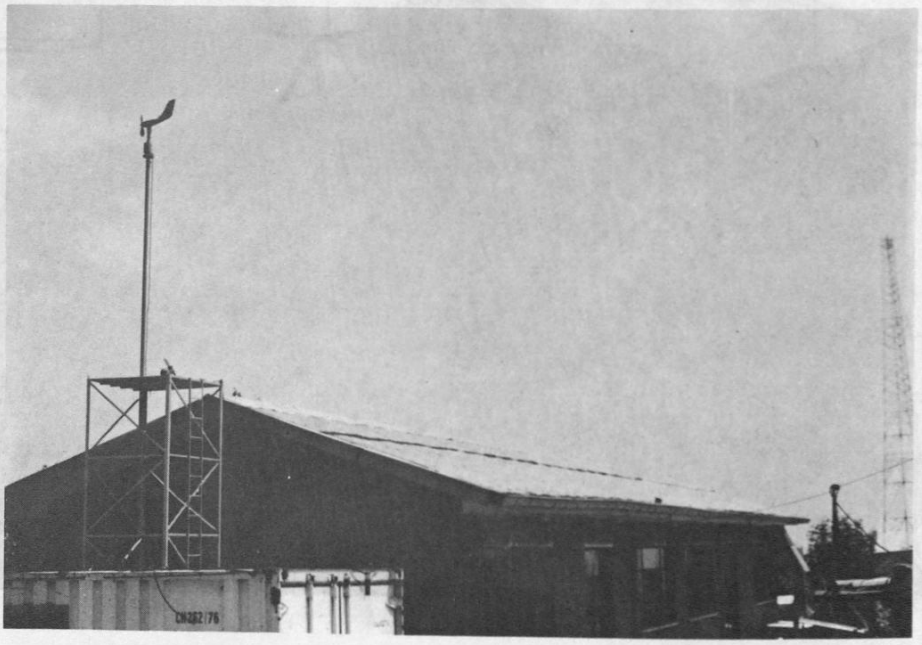
---

* – با در نظرگرفتن شدت تابش ۲۹۲ وات‌برمترمربع (که کمترین مقدار ممکن در نظر گرفته شده برروی سطحی موازی سطح هواگرمکن می باشد) و بازدهی ۲۶ درصد، توان حرارتی این مجموعه حدود ۱۱۰۰ وات خواهد بود.

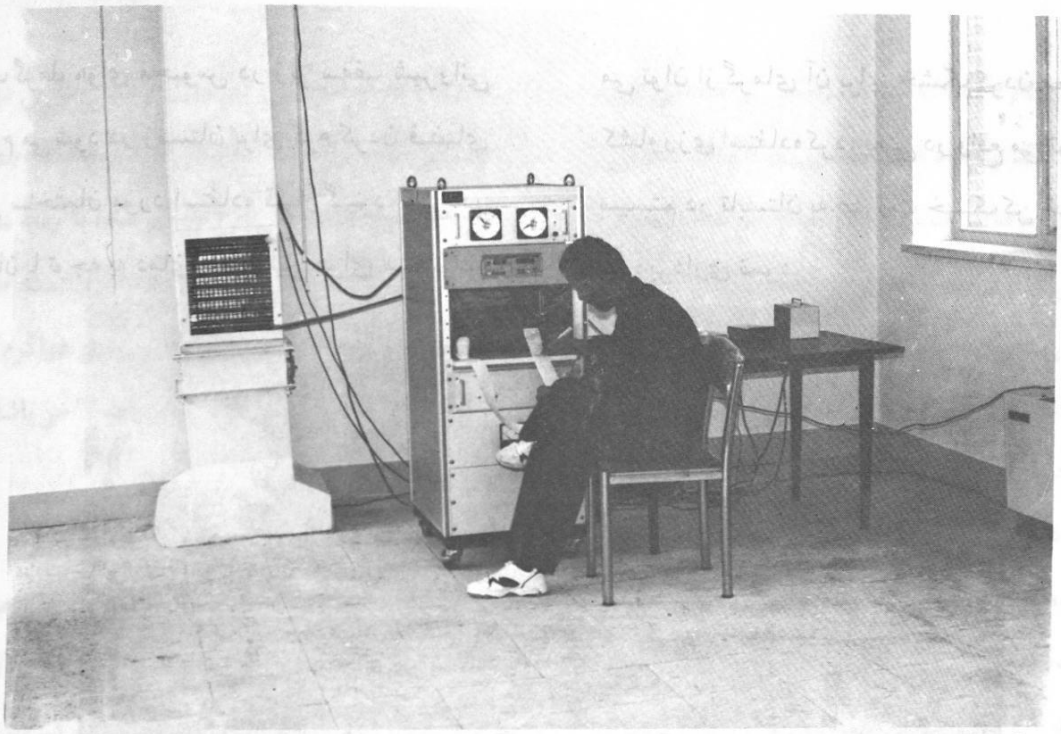
** – با در نظرگرفتن شدت تابش ۳۷۵ وات‌برمترمربع (که کمترین مقدار ممکن در نظر گرفته شده برروی سطحی موازی سطح هواگرمکن می باشد) و بازدهی ۲۸ درصد، به طور متوسط هر هواگرمکن ۱×۲ مترمربعی دارای توانی حدود ۲۱۰ وات است.

اتلاف گرما، هوای محبوس در زیر سقف شیروانی که گرم می شود در زمستان برای گرم کردن فضای داخل ساختمان مورد استفاده قرار گیرد، ولی در تابستان با توجه به دمای بالای این هوای محبوس می توان از گرمای آن برای خشک کردن محصولات کشاورزی استفاده کرد، یعنی در واقع می توان از این سیستم در تابستان به صورت خشک‌کن خورشیدی بهره برداری نمود.

شکل ۱- نمای ضلع جنوبی ساختمان خورشیدی و منظره هواگرم‌کن‌ها



شکل ۲- قسمتی از نمای خارج ساختمان و دستگاههای اندازه‌گیری نصب شده



شکل ۳- دستگاه ثبت اطلاعات مربوط به سیستم

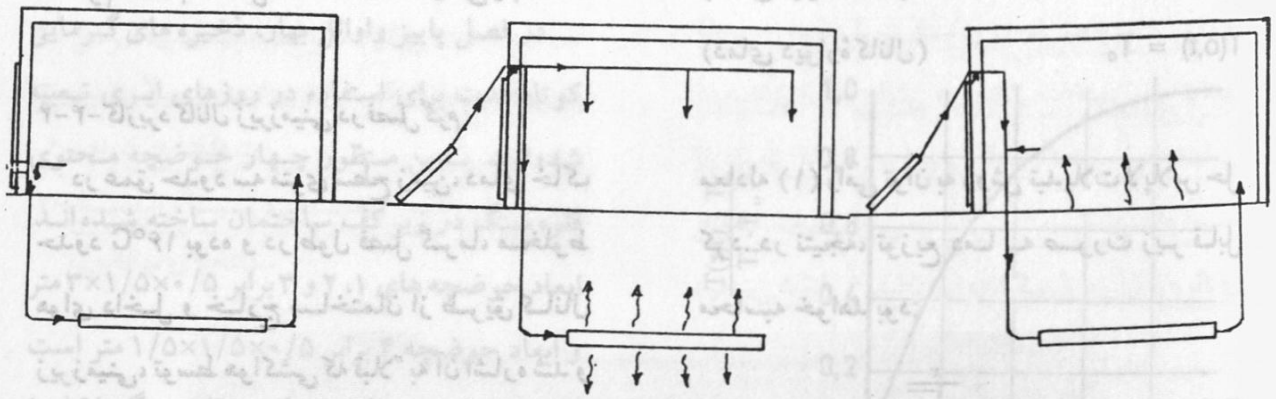
شکل ۴- دماسنج برای اندازه‌گیری دما در تمام سیستم

۴- *حفر کانال زیرزمینی*

جهت تامین درصدی از انرژی گرمایی موردنیاز ساختمان در فصول گرم و سرد کانالی در زیر کف ساختمان به طول ۴۰ متر و به عرض ۰/۸ متر و ارتفاع یک متر مطابق شکل ۵ حفر شد. مقداری از انرژی گرمایی حاصل از هوای گرم شده از طریق کانال زیرزمینی در زیر کف ساختمان ذخیره شده و سیستم ذخیره فصلی یا طولانی مدت را تشکیل می دهد. همچنین از خنکی خاک در عمق حدود سه متر توسط این کانال جهت تامین درصدی از انرژی سرمایش موردنیاز ساختمان در تابستان استفاده کردیم.

۱-۴- *کاربرد کانال زیرزمینی در فصل سرد*

در این روش در دوره مشخصی از فصل گرم، پس از گرم شدن در هواگرم‌کنها و زیرشیروانی به طرف کانال زیرزمینی هدایت شده و در آنجا گرمای خود را به زمین می دهد و مقداری گرما در زمین ذخیره می شود.



شکل ۵-

الف) زمستان (روزهای ابری) در این فصل از گرمای ذخیره شده استفاده می شود.

ب) پاییز در این فصل علاوه بر گرمادهی مستقیم، عمل ذخیره سازی در داخل زمین نیز صورت می گیرد.

ج) اواخر فصل تابستان در این زمان گرما در زمین در حال ذخیره شدن است ولی هنوز به کف ساختمان نرسیده است.

در فصل سرد (روزهای ابری) از گرمای ذخیره شده به صورت های ذیل استفاده می گردد:

۱- به علت اختلاف دما مقداری از گرمای ذخیره شده از طریق رسانش به کف ساختمان انتقال یافته و از کف به ساختمان منتقل می شود.

۲- مخلوط هوای داخل و خارج ساختمان توسط یک هواکش گریز از مرکز (سانتریفوژ)، به توان $\frac{1}{3}$ کیلووات و باز وبسته کردن دریچه های مناسب، به داخل کانال رانده شده و گرمای ذخیره شده در خاک را دریافت می کند و پس از گرم شدن به داخل ساختمان انتقال می یابد.

۲-۴- کاربرد کانال زیرزمینی در فصل گرم

در عمق حدود سه متری سطح زمین، دمای خاک حدود ۱۶°C بوده و در طول فصل گرما، مخلوط هوای داخل و خارج ساختمان از طریق کانال زیرزمینی، توسط هواکشی که قبلا" به آن اشاره شد و باز و بسته کردن دریچه های مناسب، به این عمق رانده شده و پس از خنک شدن به داخل ساختمان انتقال می یابد. شایان ذکر است که در تعیین عمق سه‌متر زمان گرمادهی، میزان ذخیرهٔ گرمایی موردنیاز و مقدار هدایت گرمایی ساختار زمین موردنظر بوده است.

۵- محاسبات حرارتی کانال زیرزمینی

با بکارگیری اصول هدایت حرارتی گذرا، می توانیم دما و گرمای ذخیره شده در لایه های مختلف زمین زیر ساختمان را حساب کنیم.

با فرض آنکه خواص خاک در فاصله های مختلف از دیوارهٔ کانال ثابت باشد، معادله دیفرانسیل توزیع دمای T(x,t) به صورت زیر است:

$$\frac{\partial^2 T}{\partial X^2} = \frac{1}{\alpha}.\frac{\partial T}{\partial t} \qquad (۱)$$

شرایط مرزی و اولیه عبارتند از:

$T(x.o) = T_i$ (دمای اولیهٔ خاک)

$T(o,t) = T_o$ (دمای دیوارهٔ کانال)

معادله (۱) رامی توان به روش تبدیلات لاپلاس حل کرد. در نتیجه، توزیع دما به صورت زیر قابل محاسبه خواهد بود:

$$\frac{T(x,t) - T_o}{T_i - T_o} = \frac{۲}{\sqrt{\pi}} \int_{.}^{\frac{x}{۲\sqrt{\alpha t}}} e^{-\eta^۲} d\eta \qquad (۲)$$

با توجه به منحنی توزیع دما در شکل (۶)، می توانیم دمای لایه های خاک را در زمان t و به فاصلهٔ x از دیوارهٔ کانال به دست آوریم.

با در نظر گرفتن $\alpha = \frac{K}{\rho C_p}$ مقدار $\frac{x}{2\sqrt{\alpha t}}$ به دست می آید که با بردن آن در منحنی توزیع دما، و منظور کردن شرایط اولیه، دمای لایهٔ خاک در فاصلهٔ x از دیوارهٔ کانال و در زمان t به دست خواهد آمد.

α : ضریب پخش

K : ضریب هدایت حرارتی

ρ : جرم مخصوص خاک

C_p: گرمای ویژه خاک

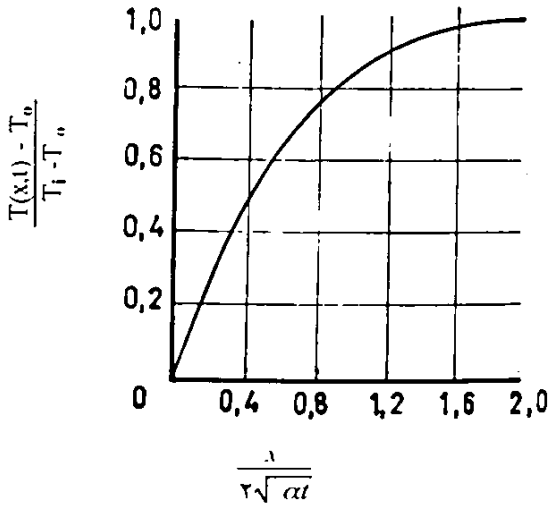
T_o دمای دیوارهٔ کانال

T_i : دمای اولیه خاک

t : زمان

T(x,t): دمای لایه های خاک در زمان t و به فاصله x از دیوارهٔ کانال

x : فاصلهٔ لایه های خاک ذخیره کنندهٔ گرما تا دیوارهٔ کانال زیرزمینی



شکل ۶- منحنی توزیع دما در لایه های خاک

حال اگر لایه های خاک آنقدر باریک فرض شوند که دمای هر لایه در طول لایه ثابت فرض شود، می توان مقدار گرمای ذخیره شده در خاک را از مجموع گرماهای ذخیره شده در لایه های مختلف بدست آورد. پس با در نظرگرفتن ابعاد کانال، جرم منبع ذخیره گرمایی (خاک زیر سطح ساختمان) و زمان موردنیاز جهت گرمادهی، گرمای ذخیره شده در حدود ۳۳×۱۰^۶ کیلوژول برآورد می شود و به فرض اینکه حداقل $\frac{۱}{۳}$ آن قابل بازیافت باشد، میزان گرماگیری در فصل زمستان ممکن است به ۱۱×۱۰^۶ کیلوژول برسد.

۶- ذخیره گرما با بکارگیری قلوه‌سنگها (ذخیره گرمایی کوتاه مدت)

در فصل پاییز واوائل بهار، ذخیره های گرمایی کوتاه مدت برای استفاده در روزهای ابری تعبیه شده اند. بدین منظور چهار حوضچه محتوی قلوه سنگ در زیر کف ساختمان ساخته شده اند. ابعاد حوضچه های ۱، ۲ و ۳ برابر ۵/۰×۱/۵×۳ متر و ابعاد حوضچه ۴ برابر ۵/۰×۱/۵×۱/۵ متر است و جمعاً" محتوی ۲/۶ مترمکعب قلوه سنگ با قطر ۵ تا ۸ سانتیمترند. گرما به وسیله هوای گرم شده در هواگرم‌کنهای خورشیدی در طول روز به قلوه‌سنگها داده می شود و در طول شب و یا روز ابری، این گرمای ذخیره شده به محیط پس داده می شود.

مقدار گرمای ذخیره شده از این رابطه بدست می آید:

$Q = mC_p \Delta T$

جرم: $m = \rho.V = ۶۰۰۰kg$

گرمای ویژه: $C_p = ۰/۹kj/kg^\circ C$

تغییر دما: $\Delta T = ۲۰^\circ C$

$Q=۶۰۰۰\times ۰/۹\times ۲۰=۱۰۸۰۰۰Kj$

نتایج تجربی آزمایشها و بحث دربارهٔ آنها

جهت بررسی عملکرد سیستم های بکار گرفته شده آزمایشهای روزانه زیر در ساختهای مختلف انجام شده است.

۱- اندازه‌گیری شدت تابش خورشید

۲- اندازه‌گیری میزان ساعات آفتابی

۳- اندازه‌گیری دمای زیر سقف شیروانی در سه‌ارتفاع متفاوت

۴- اندازه‌گیری دمای کانال زیرزمین درمکانهای مختلف

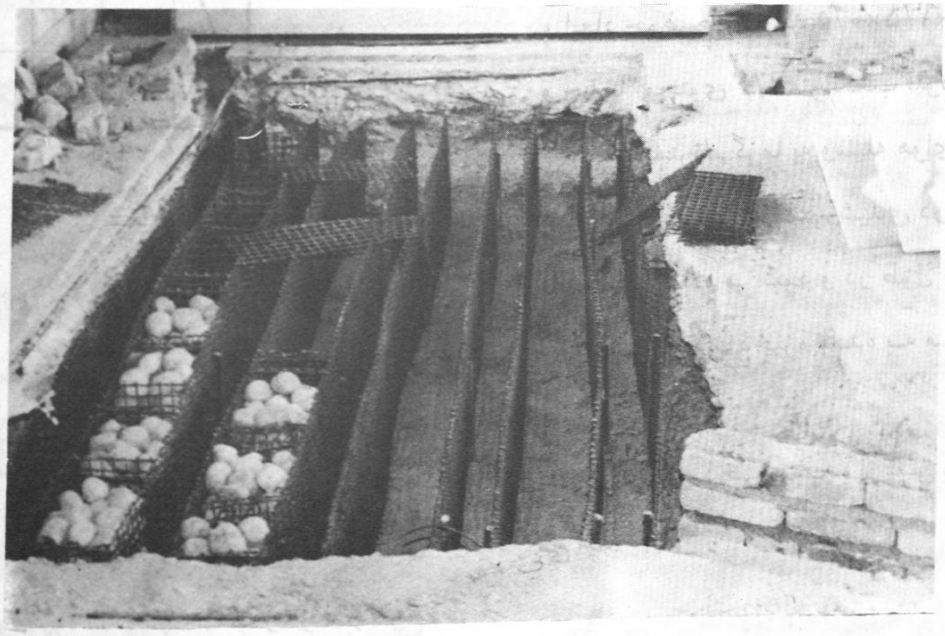
۵- اندازه‌گیری دمای محیط

۶- اندازه‌گیری دمای کانال کولر

۷- اندازه‌گیری میزان رطوبت هوا

۸- اندازه‌گیری سرعت و جهت باد

منحنی های دو شکل ۸ و ۹ نتایج دو رشته اندازه‌گیری را به عنوان نمونه نشان می دهند. منحنی شکل ۸ نشان می دهد که در یک روز موردنظر در فصل تابستان دمای هوای کانال زیرزمینی کمتر از دمای یک کولر معمولی می باشد. برای سایر روزها نیز نتایج مشابه به دست آمده است. بنابراین با هوای خنک کانال زیرزمینی بهتر قادر به خنک کردن فضای داخل ساختمان بوده و درصدی از سرمایش موردنیاز ساختمان می تواند از طریق کانال زیرزمینی تامین گردد. آزمایشهایی جهت تعیین این مقدار در دست اقدام است. منحنی شکل ۹ نشان می دهد که از هوای گرم بالای



شکل ۷- نمونهٔ حوضچه محتوی قلوه‌سنگ

سقف کاذب (زیر سقف شیروانی) می توان برای خشک کردن سبزیجات استفاده کرد. در واقع با اندکی تغییرات می توان از سیستم بالای سقف به عنوان خشک‌کن خورشیدی استفاده نمود.

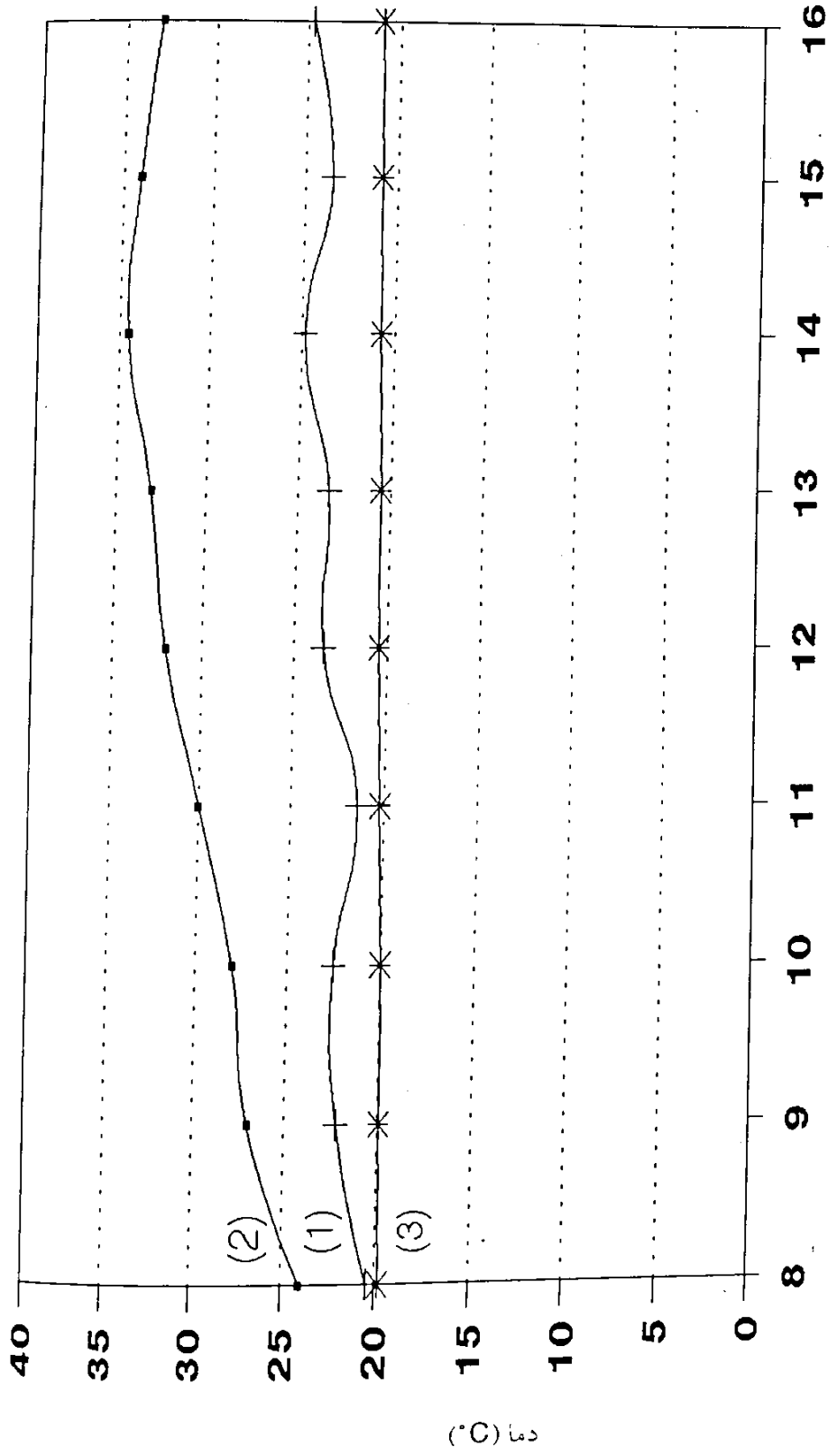
نتیجه گیری

بر طبق محاسبات انجام شده جهت سرمایش ساختمان خورشیدی در طول فصل گرما حدود ۱۳۲۰۰ کیلووات ساعت یعنی حدود ۱۱/۳۶ میلیون کیلوکالری و همچنین برای گرمایش این ساختمان در طول فصل سرما حدود ۴۰۰۰ کیلووات ساعت یعنی حدود ۳/۴ میلیون‌کیلوکالری انرژی کمکی موردنیاز است. در حالیکه ارقام محاسبه شده برای یک ساختمان معمولی مشابه با همان ابعاد به ترتیب حدود ۱۸۶۰۰ کیلووات‌ساعت (حدود ۱۶ میلیون‌کیلوکالری) و ۱۵۴۰۰ کیلووات‌ساعت (حدود ۱۳/۱ میلیون‌کیلوکالری) می باشد بنابراین، براساس محاسبات انجام شده مقدار کل انرژی سالیانه موردنیاز برای ساختمان خورشیدی موردنظر حدود ۱۵ میلیون‌کیلوکالری یا معادل ۳/۶ گیگاژول است، که با در نظر گرفتن مقدار کل انرژی سالیانه موردنیاز برای یک ساختمان معمولی مشابه (که حدود ۲۹ میلیون‌کیلوکالری یا معادل ۷ گیگاژول است) مقدار انرژی صرفه جویی شدهٔ سالیانه برای ساختمان خورشیدی فوق حدود ۱۴ میلیون‌کالری (حدود ۵۵/۶ میلیون Btu) یا ۴۸/۵ درصد می باشد.

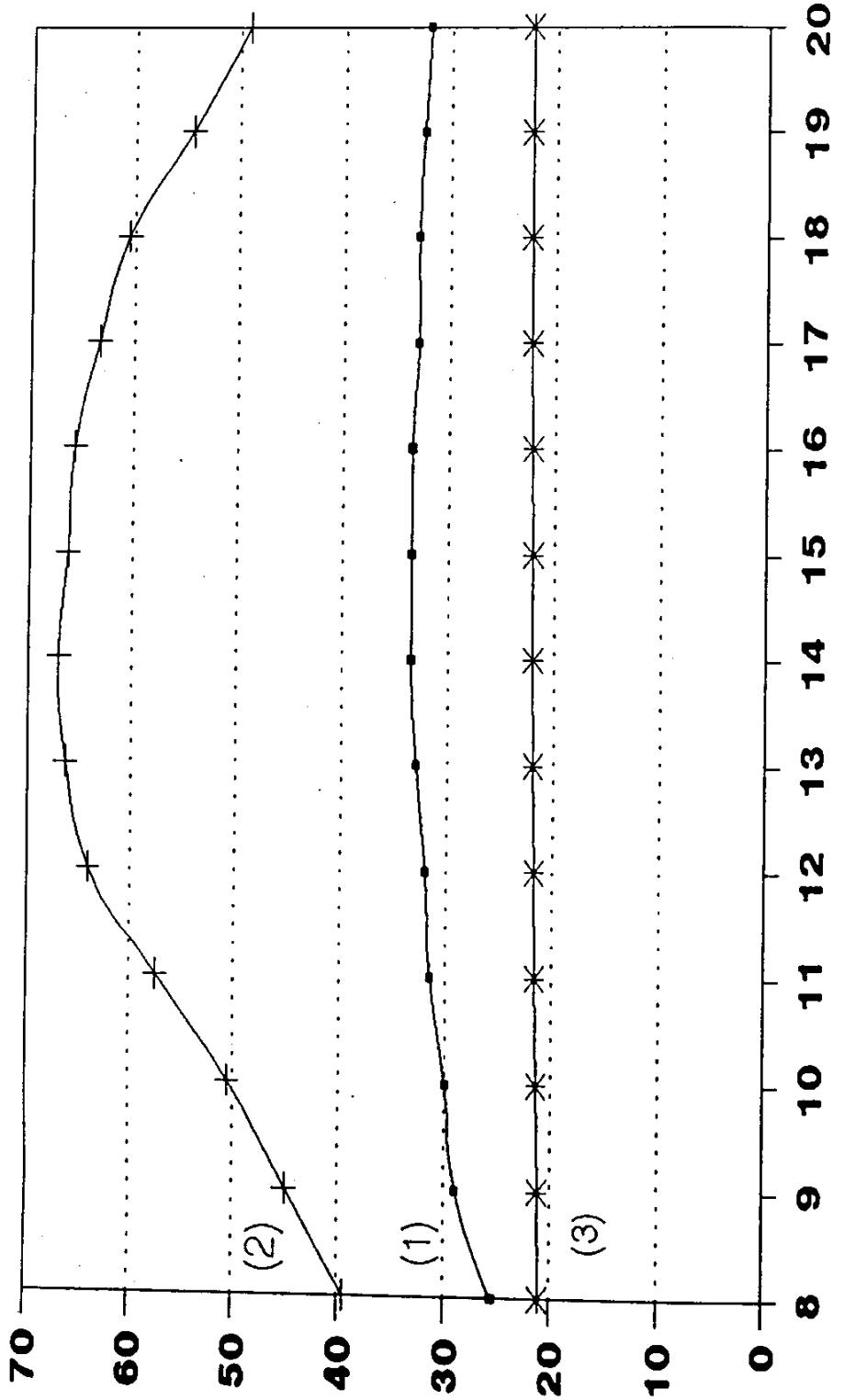
اگر ارزش حرارتی نفت را ۱۴۴۰۰۰ Btu/gal بگیریم و بازده وسیله ای را که سوخت مصرف می کند ۶۵ درصد فرض کنیم، در این صورت مقدار نفت صرفه جویی شده برای ساختمان خورشیدی مذکور حدود ۱۹۵۲ لیتر در سال خواهد بود. اگر بهای نفت را بشکه ای ۲۰ دلار و بهای هر دلار را ۳۰۰۰ ریال در نظر بگیریم، سالانه حدود ۷۴۱۷۶۰۰ ریال صرفه جویی خواهد شد. با در نظر گرفتن سرمایه‌گذاری انجام شده برای تغییر از ساختمان معمولی به ساختمان خورشیدی (حدود ۲۵،۰۰۰،۰۰۰ ریال) خواهیم دید که با فرض ۱۵ درصد نرخ بهره برای سرمایه‌گذاری، بعد از ۵ سال این سرمایه قابل بازگشت خواهد بود و این ساختمان از نظر اقتصادی مقرون به صرفه است.

تشکر و قدردانی

بدینوسیله از جناب آقای مهندس احمدی ریاست محترم مرکز تحقیقات و کاربرد انرژیهای نو که در اجرای طرح همواره مشوق ما بوده اند تشکر و قدردانی می کنیم. ضمناً از زحمات بیدریغ پرسنل کارگاه مرکز تحقیقات و کاربرد انرژیهای نو و آقایان مجیدثقفی، صفرحسین خواه و رضاچاکری و همچنین خانم مهنازمرادزاده بدلیل همکاریهای ارزنده ایشان در پروژه وتایپ مقاله تشکر می گردد.



شکل ۸- ۱) درجه حرارت محیط (●) ۲) درجه حرارت کانال کولر (+) ۳) درجه حرارت کانال زیرزمینی (*)



شکل ۹- ۱) درجه حرارت محیط (■) ۲) درجه حرارت زیرشیروانی (+) ۳) درجه حرارت کانال زیرزمینی (✱)

References

1. J. R. Mercier, Recherche D'une moule de gestion Ameliorée D'une chauffage solaire avec stockage dans le sol naturel, these (1983).
2. T. Muangnapoh, contribution á l' étude theorique experimentale de systemes de stockage de chaleur longue durée dans le sol, Thése (1984).
3. P. D. Lund and S. S. peltola, Solchips A fast predesign and optimization tool for solar heating with seasonal storage, Solar Energy Vol 48 No. 5 (1992).
4. J. Shelton,Underground storage of heat in solar heating systems, Vol 17 Pergamon press (1975).
5. J. P. Holman, Heat Transfer, MAC Graw Hill (1989).
6. J. F. Sacadura, Initiation aux transferts thermiques (1982).
7. Reports in the C.R.E.R.A (1980-1997).

AEOI Scientific Bulletin
No. 14, pp. 39-51, (1997)

PROTOTYPE SOLAR BUILDING

"PROVIDING THE REQUIRED ENERGY OF A BUILDING BY SOLAR ENERGY"

M. Khalagi Asadi, B. Safayi and M. Danesh
"Center for Renewable Energy Research and Application"

Abstract:

The possibility of utilizing the solar energy for providing some percent of energy required for an ordinary reconstructed building has attracted attention as a research project at the center for renewable energy research and application.

For this purpose, an ordinary building has been chosen to store and provide energy. Installation of air solar collectors with different tilt angles, making double layer windows, blacking the gable roof and covering it with fiberglass sheets, digging under ground channel and making some containers for storing the heat are changes that has been done to the prototype building.

Experiments have been carried out to evaluate the performance of these changes continuously for a period of 1 year. By evaluating the data we concluded that using unolit in the ceiling would decrease the required power for cooling of the building in the summer to 18.8 KW, and required power for heating of the building in winter to 0.228 KW. Whereas for the similar ordinary buildings without using the unolit 26.5 and 13.58 KW power is required for cooling and heating of the building respectively.

Therefore, by utilizing a solar building as such , respectively 29% and 98% in the use of energy for cooling and heating could be economized.