کاربرد سیستم ذخیره انرژی جهت تامین گرمایش ساختمان به کمک انرژی خورشیدی

عبدالله خالصی دوست

عضو هیات علمی- دانشگاه آزاد اسلامی واحد سمنان

a.khalesi@semnaniau.ac.ir

بهنام بیگانه طلب

دانشجوی رشته مهندسی مکانیک حرارت و سیالات- دانشگاه آزاد اسلامی واحد سمنان

behnambiganehTalab@yahoo.com

* *دریافت:* آبان ماه ۹۰ .* *اصلاح:* اسفند ماه ۹۰. * *تایید:* تیر ماه ۹۱

صفحه های: ۳۷تا ۴۵

چکیده

با توجه به محدود بودن منابع سوختی و لزوم صرفه جویی در مصرف انرژی، استفاده از انرژی خورشیدی به عنوان یک راهکار استراتژیک از اهمیت بسیار زیادی برخوردار است. لذا در این مقاله به کمک استفاده از سیستم ذخیره خورشیدی برای گرمایش ساختمان آزمایشگاهی دانشگاه آزاد اسلامی واحد سمنان سعی در استفاده از انرژی خورشیدی بصورت بهینه شده است در این سیستم ابتدا انرژی مورد نیاز ساختمان مذکور با استفاده از نرم افزار «*Carrier*» در طول روز محاسبه شده و سپس انرژی موجود (انرژی خورشیدی) با استفاده از روابط ریاضی محاسبه گردیده است و برنامه‌ای با زبان برنامه نویسی «*MATLAB*» برای بهینه سازی مصرف انرژی خورشیدی تهیه شده که میزان بار حرارتی سیستم ذخیره و میزان بار حرارتی سیستم کمکی (بویلر) را در طول روز محاسبه می نمایدونتایج حاصل از برنامه بصورت منحنی هایی که سطح مقطع کلکتور مورد نیاز رادرحالات مختلف برحسب بار حرارتی مورد نیاز نمایش می دهد،ارائه گردیده است.

واژه‌های کلیدی: برنامه «*MATLAB*» -نرم افزار«*Carrier*»- بهینه سازی انرژی - سیستم ذخیره انرژی-انرژی خورشیدی

۱-مقدمه:

محدودیت منابع فسیلی، غیرقابل تجدید پذیر بودن این منابع و پیش‌بینی افزایش قیمت‌ها موجب گردیده است تا سیاست گذاران و برنامه‌ریزان انرژی با انجام مطالعات ساختاری، استفاده از انرژی خورشیدی را در رئوس برنامه‌های کاری خود قرار دهند که تحقیقات جامع ومقالات متعددی در زمینه کاربرد سیستم خورشیدی در ساختمان انجام گرفته در یک نمونه از تحقیقات انجام شده در این زمینه بارحرارتی یک خانه مسکونی در شهرتهران درشرایط عایقکاری شده وبدون عایق با استفاده از روابط تئوری محاسبه شده ودر مرحله بعدی مطابق با انرژی مورد نیاز ساختمان ،تعداد گرد آورنده های تخت خورشیدی محاسبه شده البته در سیستم طراحی شده هیچ گونه منبع ذخیره برای ساعات غیرآفتابی ودرطول شب در نظرگرفته نشده است[۱].دریکی دیگر از تحقیقات انجام شده یک سیستم مرکب

جهت گرمایش وسرمایش وتهیه آبگرم مصرفی ساختمان مسکونی به کمک انرژی خورشیدی درنظر گرفته البته از معایب طرح فوق میتوان به این اشاره کرد که روابط وپارامترهای مورد استفاده کاملا تئوری وهیچ گونه نرم افزار خاصی برای طراحی لحاظ نشده است [۲].

در زمینه نرم افزارهای بهینه سازی مصرف انرژی درساختمان نرم افزارهای متعددی طراحی شدهه یک نمونه از آنها نرم افزاری به زبان ویژوال بیسیک است که به بهینه سازی مصرف عایق در ساختمان پرداخته البته درمقاله مذکور فقط بحث عایقکاری ساختمان درنظرگرفته شده وبحث گرمایش ساختمان به کمک سیستم خورشیدی لحاظ نشده است[۳]. با این تفاسیرآیا می‌توان از انرژی خورشیدی در تمام فصول بهره برداری لازم را نمود؟ پس سیستم خورشیدی نیز دارای معایبی است که یکی از مشکلات عمده سیستم خورشیدی این است که شدت تابش مقدار لحظه‌ای است و با زمان تغییر می‌کند و لذا نمی‌توان از انرژی خورشیدی در تمام ساعات روز و یا در موقعیت‌های مکانی و جغرافیایی دلخواه حداکثر استفاده لازم را بُرد پس با توجه به مشکلات ذکر شده استفاده از انرژی خورشیدی به پارامترهایی از قبیل زمان، شرایط آب و هوایی ، موقعیت جغرافیایی منطقه و میزان ساعات آفتابی در طول روز بستگی دارد. پس یک طراح سیستم خورشیدی باید تسلط کافی بر پارامترهای ذکر شده داشته باشد تا بتواند از سیستم خورشیدی برای گرمایش مکان مورد نظر حداکثر استفاده لازم را ببرد.لذا در این مقاله با توجه به مطالب ذکر شده به طراحی برنامه کامپیوتری به زبان برنامه نویسی «*MATLAB*» پرداخته شده قابل ذکر است که برنامه مذکور بسیار انعطاف پذیر و دارای کاربری آسان و قابلیتهای بالایی بوده ازویژگیهای بارزآن این است که با توجه به طول وعرض جغرافیایی وشرایط آب وهوایی هر منطقه میتوان ظرفیت سیستم ذخیره انرژی روزانه را بدست آورد واز معایب برنامه مذکور این است که طراحی براساس شش ماهه دوم سال صورت گرفته است.

۲- روش محاسبه انرژی مورد نیاز:

در این سیستم انرژی مورد نیاز ساختمان آزمایشگاهی دانشگاه آزاد اسلامی واحد سمنان با استفاده از نرم افزار «*Carrier*» محاسبه شده البته برای بهینه سازی بار گرمایشی ساختمان مذکور در نرم افزار «*Carrier*» از پنجره‌های دو جداره و عایق کردن دیوارهای خارجی استفاده شده واز قابلیت‌های بارز این نرم افزار نسبت به دیگر نرم افزارهای تاسیساتی ،آنالیز ساعتی

$$\delta = \sin^{-1}\left[0/39795\cos[0/98563(N-173)]\right]$$

Archive of SID

www.SID.ir

اطلاعات مربوط به فضای ساختمان مورد نظر ازقبیل جنس در وپنجره ودیوارها ودرادامه اطلاعات مربوط به نوع سیستم انتخابی برای ساختمان مذکور وارد شده است.[۴]و[۵]

۳- محاسبات بار حرارتی خورشیدی (انرژی موجود):

اساسی‌ترین قسمت یک سیستم مکانیکی خورشیدی، کلکتور خورشیدی است پس یک طراح سیستم خورشیدی باید آشنایی کامل با انواع کلکتور وروابط آنها داشته باشد. در این بخش روابطی را که برای محاسبه بار حرارتی کلکتور های تخت در این سیستم از آن استفاده شده، ارائه گردیده است.[۶]و[۷]

رابطه (۲-۱)بار حرارتی کلکتورخورشیدی :

$$q_{collector} = \left([F_R\tau\alpha I_{t,a} - F_R U_L\left(T_{in}-T_a\right)]A\right)*60$$

رابطه (۲-۲)شدت تابش به دهانه ورودی کلکتور:

$$I_{t,a} = I_{bn}\cos\theta_z + \left[I_{dh}\left(\frac{1+\cos\beta}{2}\right) + \rho I_{th}\left(\frac{1-\cos\beta}{2}\right)\right]$$

رابطه (۲-۳) شدت تابش مستقیم:

$$I_{bn} = I_{\circ}\left[a_{\circ} + a_1 \quad e^{\frac{-k}{\cos\theta_z}}\right]$$

رابطه (۲-۴) شدت تابش پراکنده:

$$= I_{\circ} + \cos\theta_z\left[0/2710 - 0/2959\left(a_{\circ} + a_1 \quad e^{\frac{-k}{\cos\theta_z}}\right)\right]$$

رابطه (۲-۵) شدت تابش در افق:

$$I_{th} = I_{bn} + \cos\theta_z + I_{dh}$$

رابطه (۲-۶) زاویه فراز خورشید:

رابطه (۲-۷) زاویه انحراف:

$$\alpha = \sin^{-1}\left[\sin\delta\sin\phi + \cos\delta\cos w\cos\phi\right]$$

رابطه (۲-۸) زاویه سمت خورشید (A):

$$A' = \sin^{-1}\left[\frac{-\cos\delta\sin w}{\cos\alpha}\right]$$

که در روابط۴و۳ضرایب $k, a_{\circ}, a_1$ به موقعیت شهر مورد نظر بستگی دارد و در قسمت سوم برنامه تعداد کلکتور از کاربر سوال شده که در اینجا کاربر می-تواند تعداد کلکتور را در برنامه وارد کند.

با ارتفاع از سطح دریا رابطه مستقیم دارند که این ضرایب از رابطه زیر محاسبه شده. که A_3 ارتفاع محل مورد نظر برحسب km است.

و ماهانه بار حرارتی و برودتی ساختمان بوده. دراین نرم افزار ابتدا داده های اقلیمی شهرسمنان وسپس ا

رابطه (۲-۹)

$$a_{\circ} = 0.4237 - 0.00821(6 - A3)^2$$

$$a_1 = 0.5055 + 0.00595(6/5 - A3)^2$$

$$k = 0.2711 + 0/01858(2/5 - A3)^2$$

۴- معرفی الگوریتم برنامه بهینه سازی مصرف انرژی:

همانطور که درپیوست نشان داده شده است در الگوریتم این برنامه یک سری اطلاعات به عنوان ورودی وارد شده که عبارتند از شهر مورد نظر، اطلاعات مربوط به کلکتور خورشیدی و همچنین اطلاعات مربوط به آبگرم مصرفی و انرژی مورد نیاز ساختمان مورد نظر می‌باشد.در مرحله بعدی الگوریتم به ۲ بخش تقسیم می‌شود.بخش اول الگوریتم مربوط به زمانی است که سیستم گرمایش خورشیدی فعال بوده وانرژی مورد نیاز از طریق سیستم خورشیدی تامین می گردد و بخش دوم الگوریتم مربوط به زمانی است که هوا آبری و سیستم خورشیدی غیر فعال بوده وانرژی مورد نیاز از طریق سیستم ذخیره انرژی یا سیستم گرمایش کمکی تامین می گردد.

۴-۱- مراحل ***RUN*** کردن برنامه:

در قسمت اول برنامه کاربر می‌تواند شهر مورد نظر خود را انتخاب کرده و آنرا به عنوان ورودی در برنامه وارد کند.

- Enter the name of city: ……

بعد از وارد کردن نام شهر مورد نظر، برنامه این امکان را دارد که بتواند عرض جغرافیایی و ارتفاع از سطح دریا را برای شهر مورد نظر به کاربر نشان دهد. در قسمت دوم این برنامه نوع کلکتور خورشیدی از کاربر سوال شده که کاربر می‌تواند از بین دو گزینه تخت۲۷ و یا سهموی۲۸ یکی را انتخاب کند و چون روابط و فرمولها برای کلکتورهای تخت طراحی شده پس کاربر باید گزینه «*Flat*» تخت را انتخاب کند در غیر اینصورت برنامه پیغام خطا میدهد.

-Enter the type of collector (Quadratic or Flat): ……

از سطوح ۱تا ۲ متر مربع هیچگونه بار حرارتی در منبع ذخیره نشده وحداقل سطح مورد نیاز در این ماه سطح ۳ متر مربع بوده وهمچنین شکل(۱-ج) نشان میدهد که در آذر ماه حداقل سطح مورد نیاز سطح ۴ متر مربع است وبا استفاده از سطح ۱تا۳مترمربع هیچگونه بارحرارتی در سیستم ذخیره نشده وباتوجه به شکل(۲-الف) در دیماه حداقل سطح مورد نیاز ۵متر مربع بوده وبا استفاده از سطوح ۱تا ۴ مترمربع هیچگونه بار حرارتی در منبع ذخیره نشده وحتما با استفاده از این سطوح نیاز به سیستم کمکی در این ماه

1- *Flat*

2- *Quadratic*

Archive of SID
www.SID.ir

-Enter Number of collector: ……

در قسمت چهارم برنامه از کاربر سوال شده که سطح هر کلکتور چقدر است در اینجا کاربر می‌تواند به دلخواه خود سطح هر کلکتور را در برنامه وارد کند.

-Enter the Area each of collector (m^2): ……

در قسمت پنجم برنامه، مقدار ضریب انعکاس از کاربر سئوال شده که در این مرحله اگر کاربر مقداری غیر از این مقدار یعنی($0 < \rho < 1$)وارد کند و برنامه پیغام خطا میدهد.

-Enter Reflection coefficient ($0 < \rho < 1$): ……

در قسمت ششم برنامه ، نوع سیال عامل جذب کننده حرارت در کلکتور تخت از کاربر سئوال شده.

- Enter Absorber Fluid of Collector (water or Air): ……

در قسمت هفتم برنامه، تعداد پوشش کلکتور خورشیدی از کاربر سئوال شده.

-Enter Number of covers of collectors (0-1-2): ……

در قسمت هشتم این برنامه مربوط به وارد کردن اطلاعات‌اندودسطح جذب کننده کلکتور تخت است. که کاربر باید یکی از موارد زیر را انتخاب کند.

- Enter coating of Absorb of collector: (Black color-Black chromium- Vacuum pipe)

کاربر میتواند در این مرحله یکی از موارد بالارا انتخاب کند و در نهایت با اجرای مرحله به مرحله برنامه مقدار پارامترهای $F_R\eta_{opt}$, $F_R U_L$ را برای محاسبه بار حرارتی کلکتور خورشیدی به عنوان خروجی برنامه مشاهده کند در قسمت نهم اجرای برنامه تعداد نفرات در منزل مسکونی یا اماکن اداری از کاربر سئوال شده و کاربر می‌تواند تعداد نفرات را در این بخش وارد کند.

-Enter Number of persons: ……

پس از اجرای این قسمت، برنامه این توانایی را دارد که بتواند بار حرارتی ناشی از آبگرم مصرفی ساختمان مورد نظر رامحاسبه کند و مقدار آن را به عنوان خروجی به کاربر نشان دهد.در قسمت انتهایی این برنامه، کاربر می‌تواند یکی از حالتهای پایه یا بهینه که قبلاً توسط نرم افزار «Carrier» محاسبه شده انتخاب کند و در خروجی مقدار انرژی مورد نیاز را برای هر روز را مشاهده کند.[۸]و[۹]

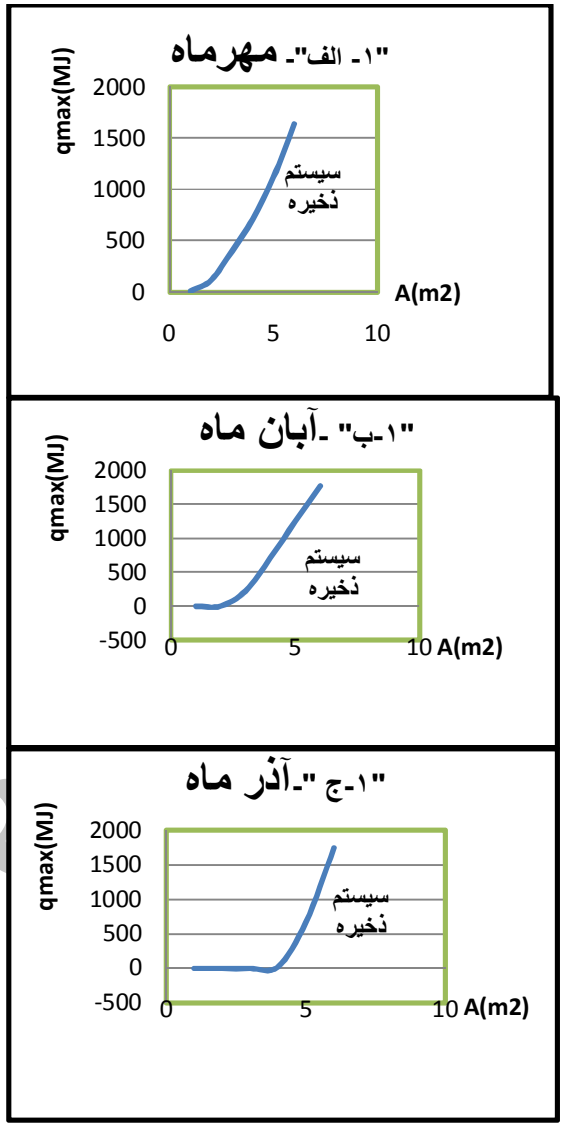
- Enter the Number of $Q_{building}$(0-1-2-3-4) :…

۵-نمودارها وتحلیل داده ها:

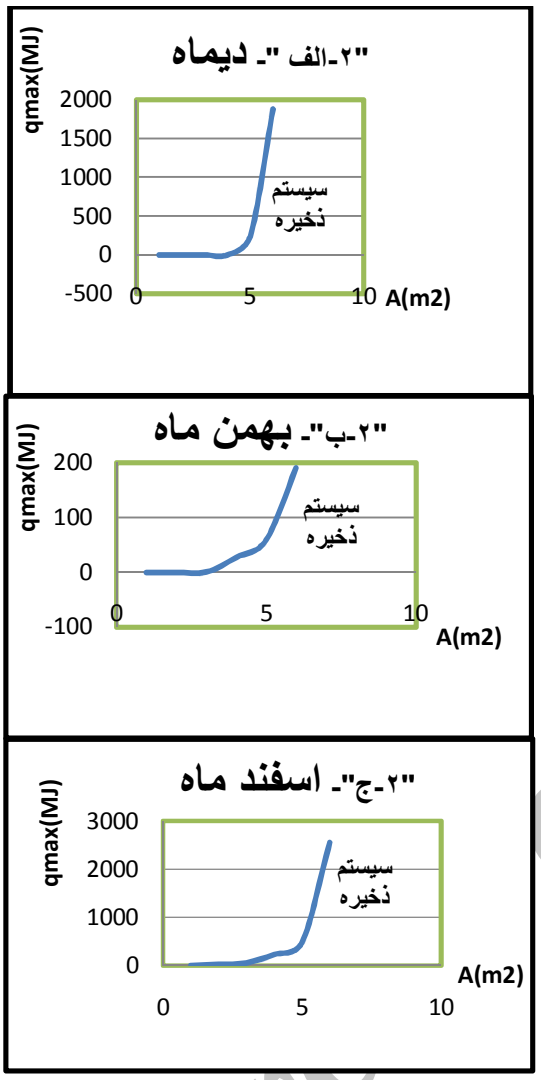
باتوجه به داده های ورودی برنامه ، مقادیر بار حرارتی برحسب سطح مقطع مورد نیاز کلکتور در ماههای نیمه دوم سال برای شهرسمنان بررسی ومحاسبه شده وسپس شکلهای ۱ تا ۹ ترسیم گردیده است با توجه به شکل (۱-الف) در مهر ماه با استفاده از کمترین سطوح کلکتور میتوان بارحرارتی در سیستم ذخیره نمودوشکل (۱–ب) نشان میدهد که در ماه آبان به دلیل اینکه درجه حرارت هوا پایین آمده وتعداد ساعات آفتا بی نسبت به ماه مهر کاهش یافته پس با استفاده احساس شده است شکل (۲–ب) نشان میدهد که در بهمن ماه حداقل سطح مورد نیاز سطح ۴ مترمربع است وبا توجه به شکل (۲–ج) در اسفند ماه به دلیل اینکه درجه حرارت هوا روبه افزایش است وهمچنین تعداد ساعات آفتابی نسبت به ماههای سرد (آذر ودیماه وبهمن ماه)زیادتر شده حداقل سطح مورد نیاز سطح ۳مترمربع میباشدالبته در این نمودار مناسب ترین سطح را میتوان سطحی در نظر گرفت که بیشترین بار حرارتی در منبع ذخیره شود ولی باید هزینه های اقتصادی سیستم خورشیدی را در نظر گرفت ومناسبترین سطح را انتخاب نمودشکل(۳- الف) نشان میدهد که در مهرماه با سطوح مختلف کلکتور نیاز به سیستم کمکی برای گرمایش ساختمان مذکور نداشته ومیتوان از بار حرارتی سیستم ذخیره روز قبل برای گرمایش در ساعات غیر آفتابی ودر طول شب استفاده نمودوشکل (۳-ب)نشان میدهد که در آبان ماه با افزایش سطح میزان بار حرارتی سیتم کمکی کاهش می یابد ولی در این ماه با استفاده از سطوح ۱تا ۲مترمربع نیاز به سیستم کمکی با بار حرارتی ۳۰تا۱۰ مگاژول داشته ولی با استفاده از سطوح ۳و۴ مترمربع این مقدار کاهش یافته است .شکل(۳–ج) نشان میدهد که در آذر ماه نیزمانند آبان ماه با استفاده از سطح۵ متر مربع نیاز به سیستم کمکی نداشته واز سیستم ذخیره روز قبل برای گرمایش استفاده نمود وبا توجه به شکلهای (۴-الف)و(۴–ب)در دیماه وبهمن ماه با استفاده ازسطح ۶مترمربع نیاز به سیستم کمکی برای گرمایش فضای مورد نظر نداشته.شکل (۴–ج) نشان میدهدکه در اسفندماه بااستفاده از سطوح۴ تا۶ مترمربع میتوان ازسیستم ذخیره روز قبل جهت گرمایش ساختمان استفاده نمود . با توجه به منحنیهای شکل ۵و۶ محل تلاقی دو منحنی به عنوان سطح بهینه در نظر گرفته شده ودرشکل (۵–ج) برای ماه آذر سطح ۴متر مربع به عنوان سطح بهینه در نظرگرفته شده ودر شکلهای (۶-الف)و(۶–ب)برای ماههای سرد زمستان به علت پایین بودن درجه حرارت هوا وکم بودن ساعات آفتابی مقدارشدت تابش رسیده از طرف خورشید به دهانه ورودی کلکتور کاهش می یابد ونیاز به سطوح بزرگتر برای کلکتور بوده پس سطح ۵مترمربع برای ماه بهمن ودی مناسب است و با توجه به شکل(۶–ج) سطح ۳مترمربع دراسفندماه بعنوان سطح ایده ال درنظرگرفته شده است.

Archive of SID

www.SID.ir

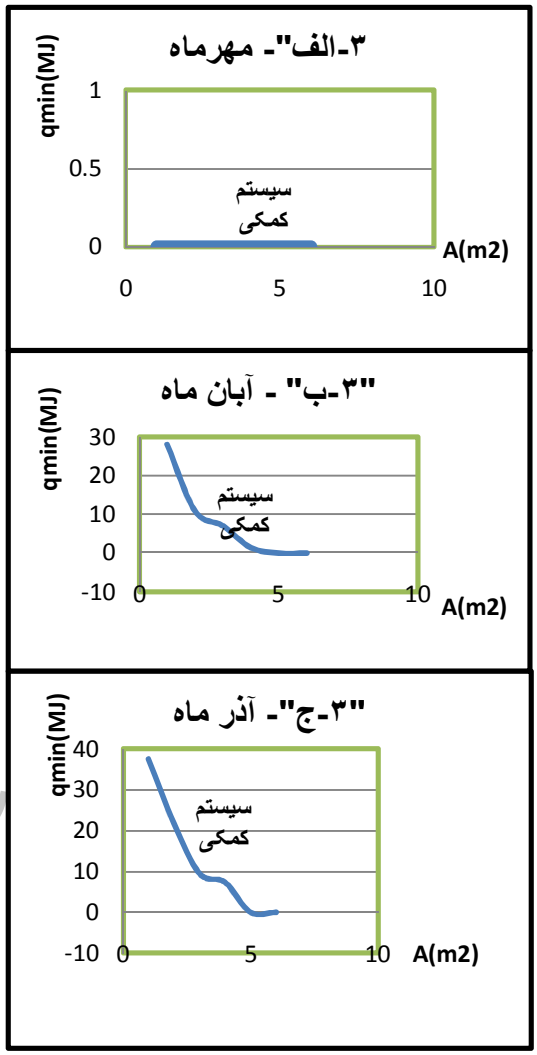


« شکل۱- منحنی سطح کلکتور با استفاده از سیستم ذخیره انرژی در فصل پاییز برای شهرسمنان »

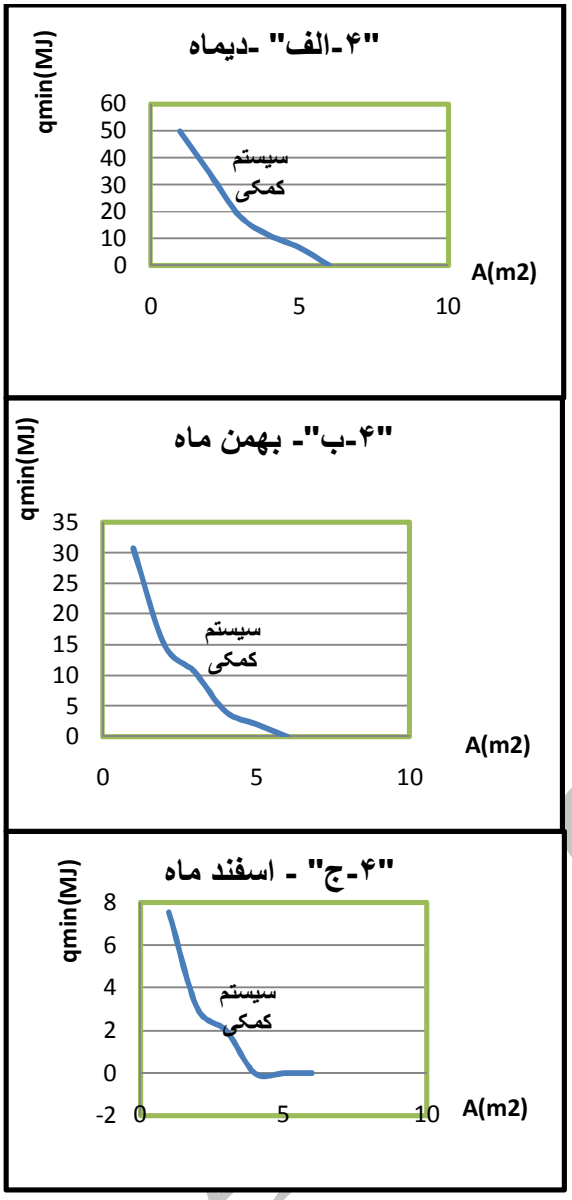


« شکل۲- منحنی سطح مقطع کلکتور با استفاده از سیستم ذخیره انرژی در فصل زمستان برای شهرسمنان »

www.SID.ir

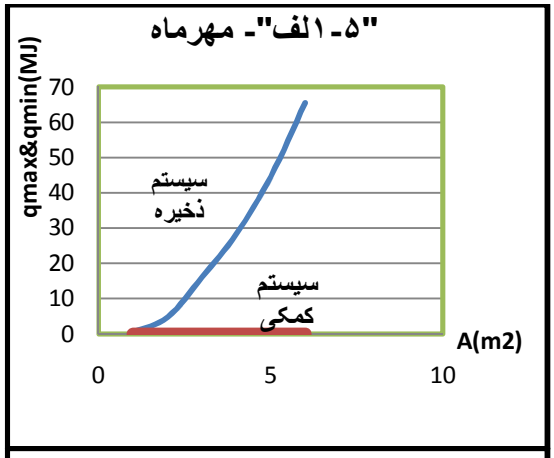


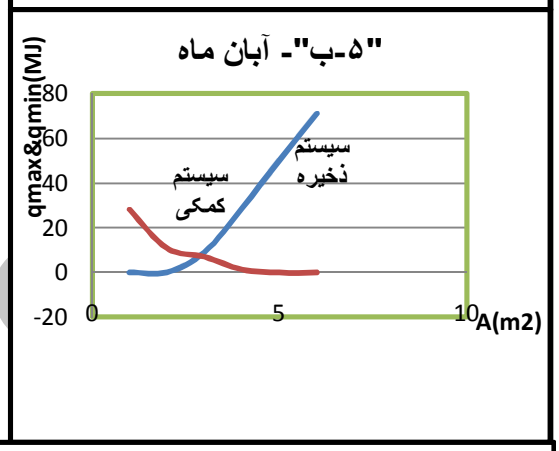
« شکل۳- منحنی های سطح مقطح مورد نیاز کلکتور با استفاده از سیستم کمکی در فصل پاییز برای شهرسمنان »

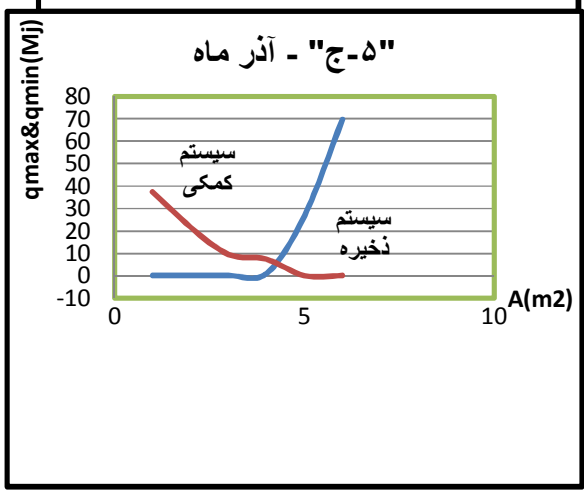


« شکل۴- منحنی های سطح مقطح مورد نیاز کلکتور با استفاده از سیستم کمکی در فصل زمستان برای شهرسمنان»

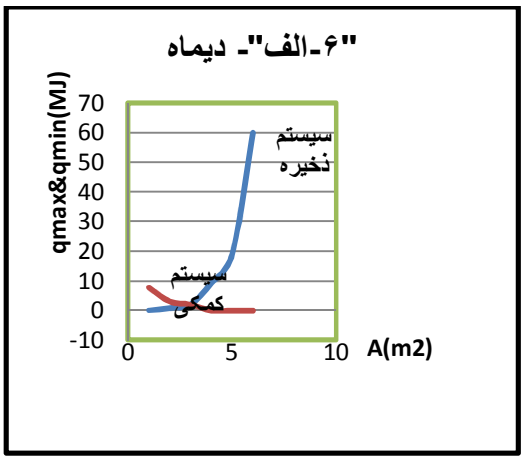
www.SID.ir

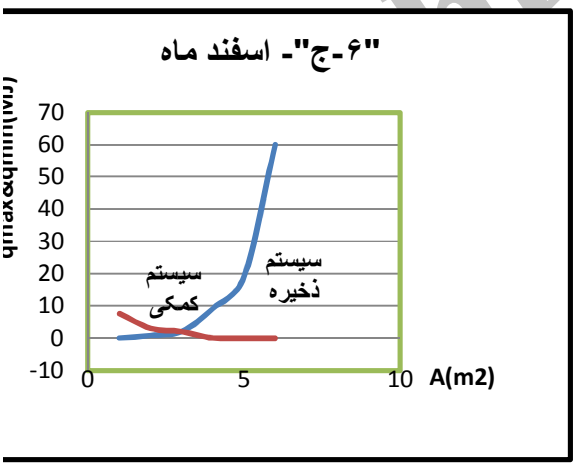






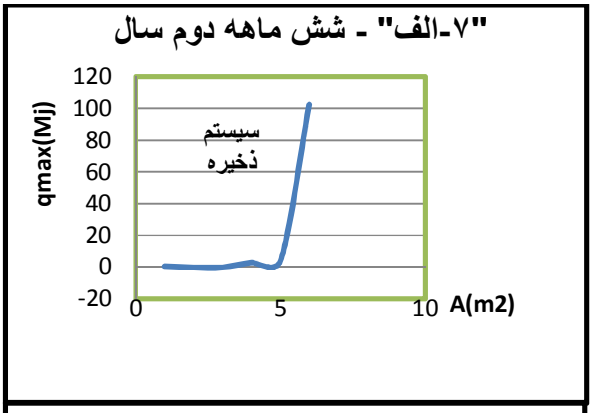
« شکل۵- منحنی های سطح مقطع بهینه کلکتور در فصل پاییز برای شهرسمنان »

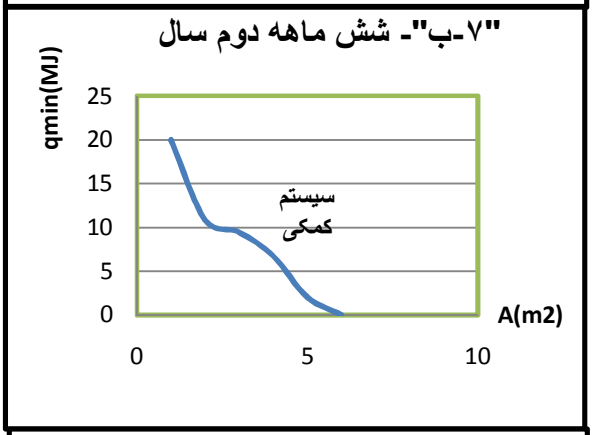


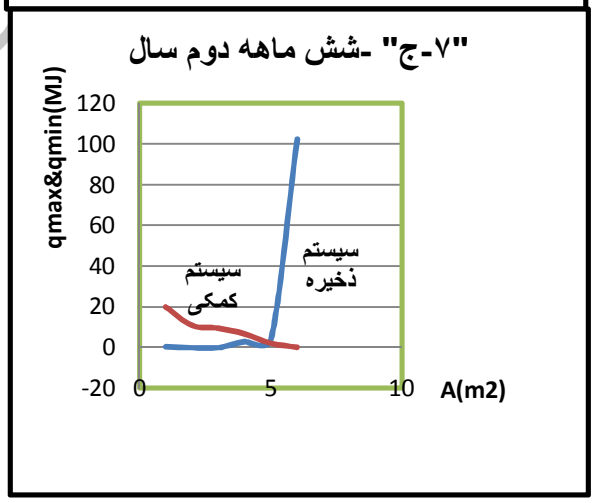


« شکل۶- منحنی های سطح مقطع بهینه کلکتور در فصل زمستان برای شهرسمنان

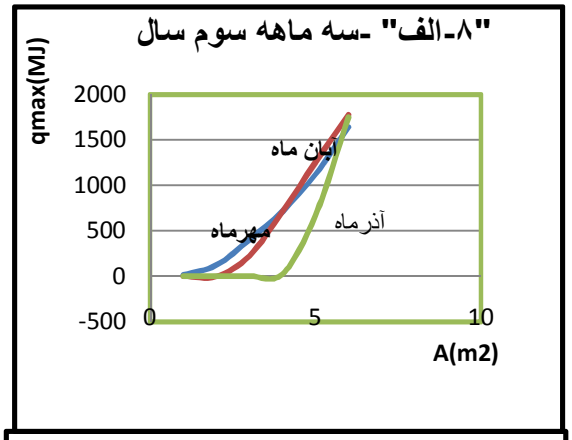
www.SID.ir

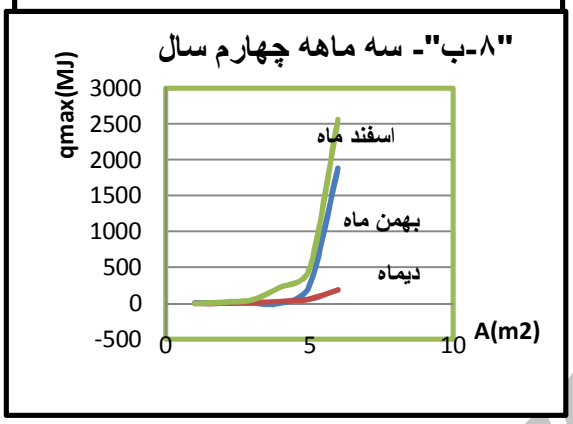




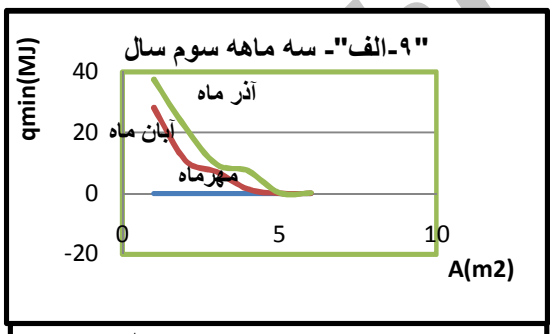


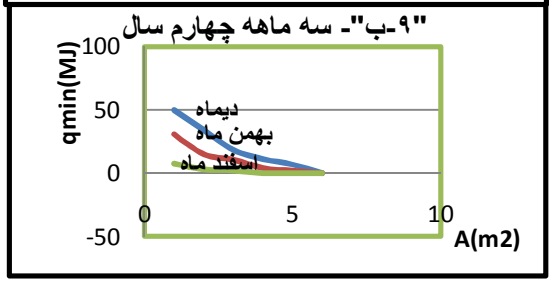
« شکل۷- منحنی های سطح مقطع مورد نیاز کلکتور در شش ماهه دوم سال برای شهرسمنان»





"شکل۸- منحنی های سطح مقطع مورد نیاز کلکتورها با استفاده از سیستم ذخیره انرژی در فصل پاییز وزمستان براي شهرسمنان»



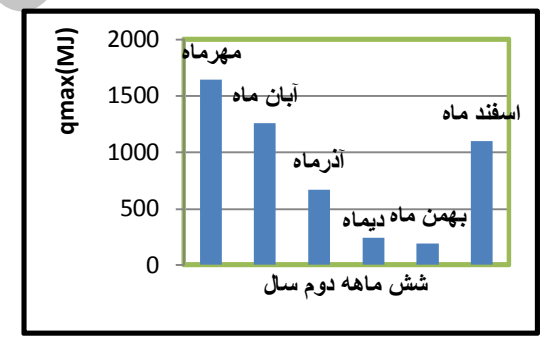


"شکل ۹- منحنی های سطح مقطع مورد نیاز کلکتورها با استفاده از سیستم کمکی در فصل پاییز و زمستان برای شهر سمنان"

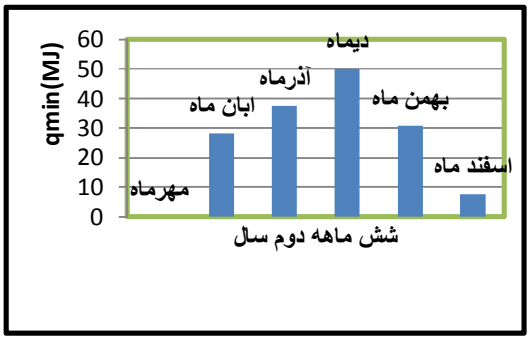
www.SID.ir

نتیجه گیری:

هدف اصلی طراحی سیستم ذخیره خورشیدی برای گرمایش ساختمان مذکور کاهش مصرف انرژی بوده. با توجه به نمودار ها میتوان نتیجه گرفت در شهر سمنان در شش ماه دوم سال چون در ماه مهر درجه حرارت هوا نسبت به ماههای آبان، آذر، دی، بهمن بیشتر است و همچنین تعداد ساعات آفتابی در این ماه طولانی تر از ماههای دیگر است. پس بار حرارتی که در سیستم ذخیره حاصل شده خیلی بیشتر از ماههای دیگر است .همانطور که در نمودارهای قسمت نتیجه‌گیری مشاهده شد هر چقدر سطح مقطع کلکتور افزایش یابد میزان بار حرارتی سیستم ذخیره افزایش یافته این نتیجه برای تمام ماهها ثابت بوده ولی در ماه آبان به دلیل اینکه درجه حرارت هوا رو به کاهش بوده و همچنین مدت ساعت آفتابی کاهش یافته نیاز به کلکتور با سطح بزرگتر بوده که بتواند این کمبود را جبران کند و همچنین در ماههای آذر، دی و بهمن نیاز به کلکتور با سطح مقطع بزرگتربوده و در اسفند ماه چون درجه حرارت هوا دوباره رو به افزایش بوده پس بار حرارتی از کلکتور خورشیدی حاصل شده افزایش می یابدوباعث میشود بار حرارتی سیستم ذخیره با کمترین سطوح کلکتور حاصل شده وبا عنایت به بررسی شکلهای ۱تا۹که درمتن مقاله ذکرشده است نتایج زیر قابل ارائه می باشدالبته قابل ذکر است که نتایج بدست آمده با تغییرات اعمال شده در طول وعرض جغرافیایی وشرایط آب وهوایی منطقه میتواند برای هرمنطقه ای بدست آید.



"شکل ۱۰- نمودارحداکثربارحرارتی سیستم ذخیره در ماههای مختلف سال برای شهر سمنان"



"شکل ۱۱- نمودارحداقل بارحرارتی سیستم کمکی در ماههای مختلف سال برای شهر سمنان"

« جدول۱- طراحی سطح مقطع بهینه کلکتور در ماههای مختلف برای شهر سمنان »

انواع طراحی کلکتور	سطح مقطع بهینه کلکتور
طراحی براساس مهرماه	$1m^2$
طراحی براساس آبان ماه	
طراحی براساس آذر ماه	
طراحی براساس دیماه	$4.5m^2$
طراحی بر اساس بهمن ماه	$5m^2$
طراحی بر اساس اسفند ماه	$3m^2$
طراحی براساس سه ماهه سوم سال(مهر- آبان –**آذر**)	
طراحی براساس سه ماهه چهارم سال(دی- بهمن- اسفند)	
طراحی براساس شش ماهه دوم سال	

فهرست علائم :

A	مساحت کلکتور ، m^2
F_R	ضریب دفع حرارت
I_a	شدت تابش به دهانه ورودی کلکتور ، $\frac{W}{m^2}$
I_{bh}	شدت تابش مستقیم ، $\frac{W}{m^2}$
I_{dh}	شدت تابش در افق ، $\frac{W}{m^2}$
I_{th}	شدت تابش پراکنده ، $\frac{W}{m^2}$
Tin	درجه حرارت سیال ورودی به کلکتور ، $^{\circ}C$
Ta	درجه حرارت محیط بیرون ، $^{\circ}C$
U_L	ضریب کلی انتقال حرارت

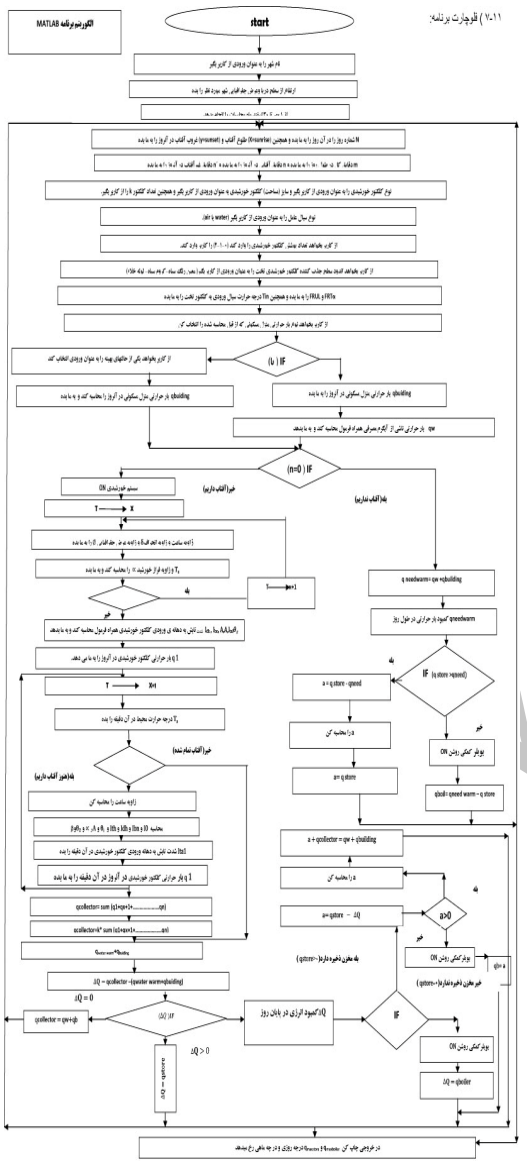
Archive of SID

www.SID.ir

علائم یونانی	
ضریب جذب	$\propto$
زاویه شیب کنکتور ، [deg]	β
زاویه قطبی ،[deg]	θ_z
ضریب عبورپذیری	τ
ضریب انعکاس	ρ

پیوست:

۷.۱۱) فلوچارت برنامه:



الگوریتم برنامه بهینه سازی مصرف انرژی ساختمان آزمایشگاه دانشگاه آزاد سمنان بکمک سیستم ذخیره انرژی خورشی

منابع:

[۱] - محمد ساتکین - یوسف آرمودلی - عیدالرزاق کعبی نژاد، " بررسی اثرات عایقکاری ساختمان برروی بار حرارتی و مطالعه سیستم گرمایش خورشیدی برای یک خانه مسکونی نمونه در تهران "، سازمان انرژی های نو ایران، سال ۱۳۸۵.

[۲] - رحیم حسن زاده – " طراحی یک سیستم مرکب جهت گرمایش، سرمایش و تهیه آبگرم مصرفی به کمک انرژی خورشیدی"، گروه مکانیک- دانشکده فنی دانشگاه ارومیه، سال ۱۳۸۶.

[۳] - مجید سلطانی و مهران فریامنش، طراحی نرم افزار بهینه سازی مصرف انرژی، کنفرانس بهینه سازی مصرف انرژی، سال ۱۳۸۵.

[۴] - وکیل الرعایا، طراحی سیستم‌های تهویه مطبوع با نرم افزار Carrier 2007، سال 1387.

[5]- ASHRAE Handbook of fundamentals, 1997.

[۶] - رئوفی راد، مجید : "طراحی سیستم‌های خورشیدی ساختمان در ایران"، شرکت بهینه سازی مصرف سوخت، اسفند ۸۵ .

[۷] - اصغر حاج سقطی، اصول و کاربرد انرژی خورشیدی، سازمان بهینه سازی مصرف سوخت کشور و دانشگاه علم و صنعت، سال ۱۳۸۰.

[۸] - نیما بهشتیان، برنامه نویسی با نرم افزار MATLAB ، ناقوس، 1386.

[۹] - www.semnan metthrology.com]

Archive of SID
www.SID.ir