

## سیستم های ترکیبی خورشیدی راه حلی نوین برای گرمایش در ساختمان ها

مرنضی خلجی اسدی<sup>۱</sup>

زهرا عابدی<sup>۲</sup>

نیما شرعی<sup>۳\*</sup>

تاریخ دریافت: ۸۶/۶/۱۰

تاریخ پذیرش: ۸۶/۹/۱۰

از میان کاربردهای حرارتی انرژی خورشیدی، سیستم های ترکیبی خورشیدی، به لحاظ فن آوری و اقتصادی در مقایسه با سایر کاربردهای حرارتی انرژی خورشیدی در جهان بیشتر مورد توجه قرار گرفته است. دلیل ارجحیت این سیستم ها در تامین آب گرم و گرمایش خورشیدی نیاز به سطح دمای متوسط بوده که این دما با استفاده از کلکتور صفحه تخت و با هزینه کمتر نسبت به سایر کلکتورها تامین می شود. در این مقاله، ابتدا بارهای حرارتی یک آپارتمان مسکونی (در دو حالت با مصالح متداول و با رعایت مبحث ۱۹ مقررات ملی ساختمان) در دو شهر همدان و کرج محاسبه شده است. در مرحله بعدی میزان انرژی حرارتی که با استفاده از سیستم ترکیبی خورشیدی و پنجره ها قابل تامین می باشد محاسبه گردیده است. سپس مطابق با نیاز انرژی ساختمان و بررسی منحنی هزینه- بازده سیستم ترکیبی خورشیدی، تعداد گردآورنده های تخت خورشیدی محاسبه شده و با توجه به تاثیر سایه ردیف کلکتورها بر یکدیگر و محدودیت فضای پشت بام، یک سیستم هیبرید (خورشیدی - فسیلی) پیشنهاد شده است. با توجه به نتایج به دست آمده میزان متوسط انرژی خورشیدی قابل بهره برداری در حالت های مختلف از ۱۵ تا ۴۵٪ در ماه های سرد سال تغییر می کند. با توجه به صرفه جویی سالیانه در مصرف سوخت و نیز کاهش هزینه های اجتماعی در منطقه سردسیر با استفاده از سیستم ترکیبی خورشیدی و با در نظر گرفتن قیمت جهانی سوخت، سالانه حدود ۴۳ میلیون ریال در هزینه سوخت صرفه جویی می شود که رقم قابل توجهی است و موجب می شود تا هزینه سرمایه گذاری اولیه نسبتاً زیاد این سیستم در مدت زمان کمتر از دو سال جابگزين گردد. به همین ترتیب در منطقه معتدل سالانه حدود ۱۰ میلیون ریال در هزینه سوخت صرفه جویی می شود که موجب بازگشت هزینه سرمایه گذاری اولیه این سیستم در مدت زمان چهار سال می گردد.

**واژه های کلیدی:** کلکتور، سیستم های ترکیبی خورشیدی، بار حرارتی، روز- درجه، زمان بازگشت سرمایه، هزینه های اجتماعی.

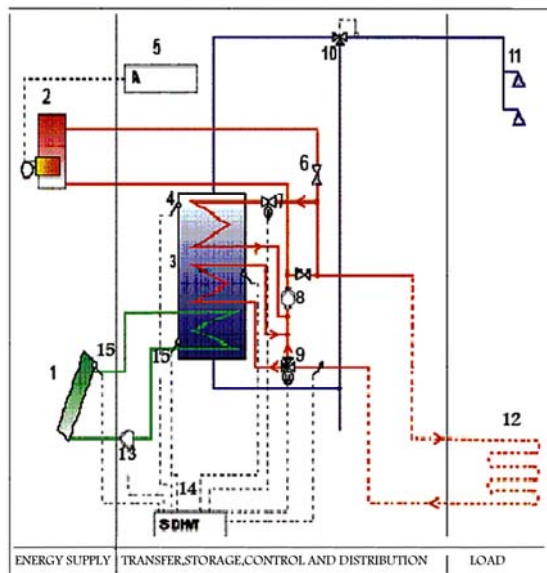
۱- دانشیار دانشکده محیط زیست و انرژی ، واحد علوم و تحقیقات دانشگاه آزاد اسلامی

۲- استادیار دانشکده محیط زیست و انرژی ، واحد علوم و تحقیقات دانشگاه آزاد اسلامی

۳- کارشناس ارشد مهندسی انرژی ، واحد علوم و تحقیقات دانشگاه آزاد اسلامی \* (مسئول مکاتبات)

## مقدمه

بالاترین نقطه منبع برای خروجی آب گرم مصرفی و دمای میانه منبع برای گرم کردن سیال در سیستم گرمایش محیط مورد استفاده قرار می گیرد. در این سیستم ها برای افزایش بازدهی باید طبقه بندی حرارتی آب در منبع ذخیره افزایش یابد. در این تحقیق، برای حل این مساله بیست و یک طرح مورد بررسی قرار گرفته که در این طرح ها عمدتاً با افزایش تعداد مبدل های حرارتی داخلی در منبع ذخیره، استفاده از دو منبع به شکل های سری، موازی و دو جداره و نیز استفاده از یونیت های طبقه بندی کننده و مبدل های حرارتی داخلی طبقه بندی حرارتی آب در منبع ذخیره افزایش یافته است. در این سیستم ها برای جلوگیری از یخ زدگی کلکتور در زمستان معمولاً از یک منبع تخلیه استفاده می شود. امروزه انواع مختلفی از این سیستم ها ارایه شده است، با بررسی طرح های مختلف و با توجه به امکانات موجود در کشور طرح زیر (شکل ۱) انتخاب گردید



شکل ۱ - دیاگرام سیستم ترکیبی خورشیدی و اجزای آن

با توجه به وضعیت آب و هوایی ایران و بالا بودن میزان تابش اشعه خورشید در واحد سطح، می توان انرژی خورشیدی را به عنوان جایگزینی مناسب برای سوخت های فسیلی در نظر گرفت. طبق بررسی های انجام یافته تغییرات شدت تابش در سطح کشور در کمترین حد خود از  $\frac{Mj}{m^2} 11/5 - 6$  متفاوت می باشد (۱). پس می توان از این منبع به منظور تامین انرژی کشور استفاده نمود. با توجه به این که مصارف خانگی در حدود ۴۰٪ از نیازهای انرژی کشور را به خود اختصاص داده است و نیز سهم انرژی مورد نیاز برای تامین آب گرم مصرفی و گرمایش در واحدهای مسکونی ایران که حدود ۵۴٪ می باشد (۲)، با توجه به صرفه جویی بالای این سیستم های خورشیدی ترکیبی در مصرف سوخت کاربرد این سیستم ها را بیشتر از آب گرم کن های خورشیدی می توان مورد توجه قرار داد.

### ۱. کاربرد انرژی حرارتی خورشیدی در ساختمان

امروزه کاربردهای حرارتی از انرژی خورشیدی در ساختمان جایگاه ویژه ای را به خود اختصاص داده است. دلیل آن نیاز این سیستم ها به سطح دمای متوسط بوده که توسط سیستم خورشیدی قابل تامین است و باعث افزایش بازدهی می گردد. پیشتر سیستم های خورشیدی فقط برای تامین آب گرم مصرفی در ساختمان ها به کار می رفتند اما با توسعه سیستم های گرمایش دما پایین مانند سیستم گرمایش از کف استفاده از سیستم های خورشیدی جهت تامین بخشی از گرمایش محیط توسعه یافت.

### ۲. سیستم های ترکیبی خورشیدی و انواع آن

**تعریف:** سیستم های خورشیدی که هم برای تامین آب گرم مصرفی و هم گرمایش محیط به کار می رود سیستم های ترکیبی خورشیدی نامیده می شود. این سیستم ها در واقع از ترکیب سیستم های حرارتی متداول با کلکتور خورشیدی حاصل می شود. در این سیستم ها از دمای قسمت های مختلف منبع ذخیره استفاده می شود، به گونه ای که معمولاً دمای

## جدول ۱- مشخصات فنی کلکتور ها در سیستم

## مورد بررسی

طول	۱۰۱۵ mm
عرض	۲۰۱۵ mm
ارتفاع	۱۰۲ mm
مساحت کلکتور	$۲ m^2$
حجم لوله های کلکتور	۳ L
حداکثر فشار عملکرد	۲/۵ Bar
فشار آزمایش	۶ Bar
ضخامت قاب	۴ mm
عایقکاری	شامل پشم شیشه و فویل آلومینیوم
متوسط بازده کلکتور در ایران(%)	۴۸
ماده واسطه انتقال حرارت	محلول ۵۰٪ اتیلن گلیکول
بیشترین دمای ثابت	$۱۹۰^{\circ} C$
اتصالات	$\frac{3}{4}$ "
دبی سیال در کلکتور	$۴۰ \frac{lit}{h.m^2}$

## اجزای سیستم ترکیبی خورشیدی :

الف- کلکتور و تانک ذخیره : بخش خورشیدی این سیستم از مجموعه کلکتورها و منبع ذخیره تشکیل شده است، مشخصات فنی کلکتور در جدول ۱ آمده است.

ب- سیستم گرمایش : سیستم گرمایش مناسب برای ترکیب با سیستم خورشیدی سیستمی است که علاوه بر کاهش مصرف انرژی، دمای آسایش را با سطح دمای کمتر تامین کند. بدین منظور از سیستم گرمایش از کف استفاده می شود. تحقیقات انجام یافته نشان داده است که این سیستم علاوه بر تامین آسایش بیشتر نسبت به سیستم رادیاتوری به دلیل کاهش در دما و نیز انتقال حرارت به روش تشعشعی باعث کاهش ۳۰ درصدی در مصرف انرژی می شود(۳).

ج- سیستم کمکی: در این طرح سیستم های ترکیبی خورشیدی به صورت مجزا برای هر واحد در نظر گرفته می شود، به همین علت سیستم گرمایش کمکی آن ها نیز باید

شماره	نام اجزای
۱	کلکتور خورشیدی
۲	پکیج حرارتی
۳	مخزن ذخیره حرارتی
۴	سنسور حرارتی جداری
	سیستم کنترل پکیج
۶	شیر دروازه ای
۷	شیر موتوری دو راهه
۸	پمپ مدار گرمایش محیط
۹	شیر موتوری سه راهه
۱۰	شیر برقی و ترموستات ( شیر ترموستاتیک)
۱۱	سیستم توزیع آب گرم مصرفی
۱۲	سیستم گرمایش از کف
۱۳	پمپ مدار محلول ضدیخ
۱۴	سیستم کنترل مرکزی
۱۵	سنسور حرارتی دیفرانسیلی

در این سیستم محلول ضدیخ وارد کلکتورها شده و حرارت را از خورشید جذب می کند، سپس وارد منبع ذخیره می گردد و آب ورودی را توسط یک مبدل حرارتی داخلی پیش گرم می کند. در مرحله بعد آب برگشتی حلقه گرمایش محیط (درحالتی که دمای آن پایین باشد) وارد منبع شده و توسط کویل میانی تاحدی گرمای مورد نیاز را از حرارتی که توسط خورشید تامین شده به دست می آورد. سپس وارد سیستم کمکی (پکیج) شده در خروج از آن با حرارت اضافی وارد منبع ذخیره شده، آب گرم مصرفی را در مرحله دوم گرم می کند. بدین ترتیب آب گرم مصرفی مورد نیاز از بالاترین نقطه منبع (که بیشترین دما را دارد) تامین می شود، آب در خروج از مبدل بالای منبع وارد حلقه گرمایش محیط می گردد.

#### ۴. محاسبه بار حرارتی :

با توجه به گزارش دریافتی از سازمان هواشناسی کل کشور در مورد میانگین کمترین دما در ماه های مختلف، دمای طرح  $3/28^{\circ}C$  و  $12^{\circ}C$  - به ترتیب برای شهرهای کرج و همدان انتخاب می شود. (این دما، دمایی است که ۹۵٪ اوقات سال دما از این حد بیشتر باشد). در حالت اول بر اساس رعایت مبحث نوزدهم مقررات ملی ساختمان در ساختمان مورد نظر، گروه بندی ساختمان با توجه به عوامل مختلف تعیین می گردد:

۱- کاربری ساختمان : ساختمان مسکونی بوده و در

گروه الف قرار می گیرد.

۲- نیاز انرژی گرمایی سالانه شهر همدان در حد زیاد و

کرج در حد متوسط برآورد می گردد.

۳- شهر همدان در رده بندی شهرهای کوچک و شهر

کرج در رده بندی شهرهای بزرگ قرار می گیرد.

۴- کل زیربنای مورد نظر کمتر از ۱۰۰۰ متر مربع می

باشد . بر اساس عوامل فوق ساختمان مورد نظر در

گروه ۲ (ساختمان های با صرفه جویی در مصرف

انرژی متوسط) قرار می گیرد. ساختمان در کرج نیز

در گروه ۲ قرار می گیرد. بنابراین شرایط در این

قسمت مشابه است. با توجه به روش های موجود از

میان روش های کارکردی و تجویزی، روش تجویزی

برگزیده می شود. حداقل مقاومت حرارتی جدارها،

سقف، کف و نوع پنجره ها از جداول مربوطه تعیین

می گردد. سپس ضریب کلی هدایت گرمایی (U) با

توجه به جنس مصالح مختلف به کار رفته از رابطه

(۱) تعیین می شود :

$$U = \frac{1}{\frac{1}{f_o} + R_1 + R_2 + \dots + \frac{1}{f_i}} \quad (1)$$

R: مقاومت حرارتی مصالح  $\left(\frac{h.Ft^2 \cdot ^{\circ}F}{Btu}\right)$

جدا باشد، بنابراین از یک پکیج حرارتی استفاده می شود.

توجه به بار حرارتی محاسبه شده از پکیج مدل 23A با

ظرفیت حرارتی  $23000kcal/hr$  استفاده می شود.

#### ۳. مشخصات ساختمان نمونه مورد بررسی

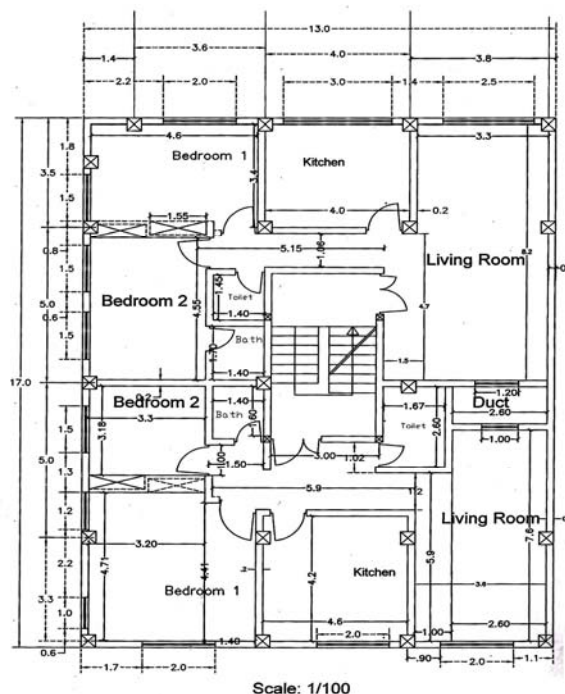
برای بررسی این طرح در کشور ابتدا نقشه میزان شدت

تابش خورشید در کشور مورد بررسی قرار گرفت(۱)، سپس

شهرهایی انتخاب شدند که علاوه بر برخورداری از میزان شدت

تابش زیاد، به انرژی حرارتی زیادی نیز در طول سال احتیاج

دارند .



شکل ۲ - پلان ساختمان مورد مطالعه

بدین ترتیب شهر همدان در منطقه آب و هوایی سردسیر و شهر

کرج در منطقه آب و هوایی معتدل انتخاب می شوند.

ساختمان نمونه ای که در این تحقیق مورد بررسی

قرار گرفته است، ساختمانی سه طبقه مجموعاً ۶ واحدی است

که زیربنای هر واحد آن در حدود ۹۰ متر مربع می باشد

(شکل ۲) .

$$v = 4 \times 10 \times 0.6 = 24 \quad (\text{GPH}) \quad (5)$$

حجم منبع آب گرم:

$$V = 24 \times 1.4 = 33.6 \quad (\text{Gallon}) \quad (6)$$

بار حرارتی آب گرم مصرفی:

$$Q_3 = V \times 8.33 \times \Delta T \quad (7)$$

بار حرارتی آب گرم مصرفی تمام واحدها مشابه است. در مرحله بعد با توجه به حجم منبع، میزان انرژی ماهانه مورد نیاز از رابطه (۸) محاسبه می شود.

$$Q(\text{monthly}) = V \times (60 - 15) \times n \times 1.1 \quad (8)$$

بدین ترتیب براساس محاسبات انجام یافته کل انرژی حرارتی سالانه مورد نیاز برای تامین آب گرم مصرفی برابر ۱۱/۵ گیگاژول به ازای هر واحد می باشد.

#### ۵. محاسبه انرژی گرمایی سالانه مورد نیاز

انرژی گرمایی ماهانه و سالانه مورد نیاز جهت تامین بار حرارتی به روش روز - درجه (Degree Day) که کمیته است برای ارزیابی اختلاف درجه حرارت پایه،  $T_b$  و متوسط دمای روزانه خارج ( $T_a$ )، در دراز مدت به ترتیب زیر بیان می گردد:

$$DD = \sum (T_b - T_a) \quad (9)$$

این کمیت بستگی به منطقه مورد نظر و درجه حرارت متوسط روزانه داشته و واحد آن  $Day - ^\circ F$  یا  $Day - ^\circ C$  می باشد.

انرژی مورد نیاز برای یک Degree Day عبارت است از:

$$\frac{Q}{DD} = UA \quad (10)$$

که واحد آن در سیستم SI  $\left(\frac{Mj}{C - Day}\right)$  و در سیستم

انگلیسی  $\left(\frac{Btu}{F - Day}\right)$  می باشد. مقادیر محاسبه شده DD

باید برای درجه حرارت داخلی  $18^\circ C$  یا  $65^\circ F$  و نیز منابع حرارتی داخل ساختمان تصحیح شوند.

$$\frac{1}{f_o} : \text{ضریب فیلم هوا روی جدار خارج} \left(\frac{h.Ft^2 . ^\circ F}{Btu}\right)$$

$$\frac{1}{f_i} : \text{ضریب فیلم هوا روی جدار داخل} \left(\frac{h.Ft^2 . ^\circ F}{Btu}\right)$$

سپس جهت محاسبه بار حرارتی به منظور محاسبات ضریب هدایت گرمایی ابتدا مقادیر لازم با توجه به اجزای مختلف به کار رفته در ساخت، از جداول استاندارد بر اساس جدول ۲ استخراج می شود.

#### جدول ۲- ضرایب مقاومت حرارتی برای قسمت های

مختلف ساختمان، با رعایت مبحث نوزدهم مقررات ملی

ساختمان (۱) و مصالح متداول (۲)

بخش	$U_1 \left(\frac{Btu}{h.Ft^2 . ^\circ F}\right)$	$U_2 \left(\frac{Btu}{h.Ft^2 . ^\circ F}\right)$
دیوار	۰/۱۲۶	۰/۳
بام	۰/۰۵۸	۰/۱۸
کف	۰/۰۹۷	۰/۲۶
پنجره	۰/۳	۱/۱۳

در مرحله بعد با مشخص شدن ضرایب هدایت گرمایی، بار حرارتی ناشی از دیوارها، پنجره ها و سقف از رابطه  $Q = UA\Delta T$  (۲) و بار ناشی از هوای نفوذی نیز از رابطه (۳) (روش حجمی) محاسبه می گردد.

$$Q = V \times 0.0749 \times 0.241 \times \Delta T \quad (3)$$

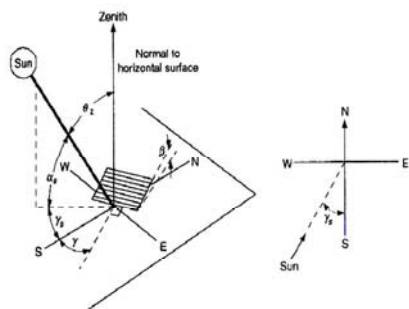
$$V = v \times n \quad (4)$$

بدین ترتیب بار حرارتی مورد نیاز هر واحد مشخص می گردد. سپس بار حرارتی آب گرم مصرفی از روش زیر تعیین می گردد:

در این مرحله دمای آب ورودی  $60^\circ F$  و دمای آب خروجی  $140^\circ F$  فرض می گردد. ابتدا  $v$  (مقدار واقعی آب گرم مصرفی) با توجه به عواملی نظیر تعداد سکنه، ضریب تقاضا در آپارتمان های مسکونی و حداکثر آب گرم لازم برای هر نفر بر حسب گالن محاسبه می شود:

با توجه به فرض ۴ نفره بودن واحدها:

زاویه کلکتورها با سطح افق ( $\beta$ ) براساس عرض جغرافیایی از رابطه  $\phi + 15^\circ$  برابر  $50^\circ$  و رو به جنوب در نظر گرفته می شود. در این قسمت میزان متوسط تابش بر سطح تخت در روز متوسط هر ماه (H)، محاسبه می گردد.



شکل ۳- زاویه های مختلف برای یک صفحه

در مرحله بعد نسبت میزان تابش ساعتی بر سطح تخت به میزان متوسط روزانه ( $r_t$ ) از رابطه زیر محاسبه می گردد (زوایا بر حسب شکل):

$$r_t = \frac{I}{H} = \frac{\pi}{24} (a + b \cos \omega) \frac{\cos \omega - \cos \omega_s}{\sin \omega_s - \left(\frac{2\pi \omega_s}{360}\right) \cos \omega_s} \quad (14)$$

$$\begin{cases} a = 0.409 + 0.5016 \sin(\omega_s - 60) \\ b = 0.6609 - 0.4767 \sin(\omega_s - 60) \\ \left[ \omega = (12 - M) \times 15, \omega_s = \omega \text{ Of SunSet} \right] \end{cases} \quad (15)$$

با محاسبه  $r_t$  میزان تابش ساعتی (I) حاصل می شود. در مرحله بعد میزان تابش پراکنده و مستقیم محاسبه شده و نسبت بین تابش مستقیم و پراکنده بر روی صفحه شیبدار و افقی ( $R_b, R_d$ ) از رابطه (۱۶) محاسبه می گردد.

$$R_b = \frac{G_{bT}}{G_b} = \frac{\cos \theta}{\cos \theta_z} \quad (16)$$

(۱۷)

$$\begin{cases} \cos \theta = \sin \delta \sin \phi \cos \beta - \sin \delta \cos \phi \sin \beta \cos \gamma \\ + \cos \delta \sin \phi \sin \beta \cos \gamma \sin \omega + \cos \delta \sin \beta \sin \gamma \sin \omega \\ \cos \theta_z = \cos \delta \cos \phi \cos \omega + \sin \delta \sin \phi \end{cases}$$

G : ثابت خورشیدی برابر  $1353 \frac{W}{m^2}$

$$DD = [1 - K_d (65 - T_i + \frac{q}{UA})] DD_{65F} \quad (11)$$

$$K_d = 6.398 DD_{65F}^{-0.577} \quad (12)$$

و  $DD_{65}$  Degree Year ، سالیانه می باشد که بر مبنای  $65^\circ F$  محاسبه می گردد.

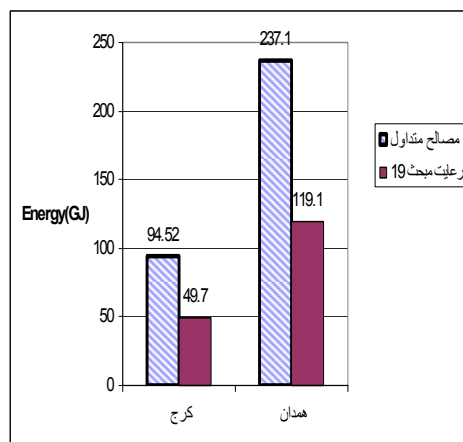
q برابر انرژی حاصل از منابع داخلی ساختمان است که طبق

$$3213 \frac{Btu}{hr} \text{ محاسبات انجام گرفته برای هر واحد برابر } \text{می باشد.}$$

مقادیر DD برای ماه های مختلف سال به تفکیک محاسبه می گردد و نهایتاً میزان انرژی ماهانه:

$$\text{Energy}(Btu) = UA \times DD_{Mon} \times 24 \quad (13)$$

بدین ترتیب کل انرژی حرارتی سالانه برای هر واحد از ساختمان محاسبه می شود که این مقادیر در نمودار (۱) آمده است.



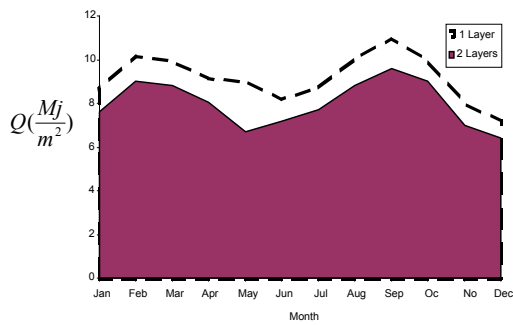
نمودار ۱- مقایسه متوسط انرژی حرارتی سالانه مورد نیاز هر واحد از ساختمان مورد نظر جهت تامین حرارت در دو حالت برای شهرهای کرج و همدان

۶- طراحی سیستم ترکیبی خورشیدی ساختمان

انرژی قابل استحصال از خورشید

انرژی خورشیدی از سه طریق حاصل می شود:

الف- انرژی حاصل از کلکتورها :

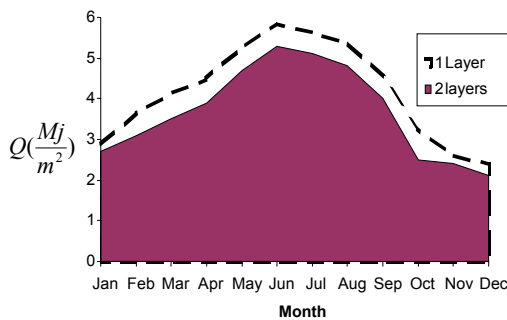


نمودار ۳- انرژی حاصل از هر متر مربع پنجره

جنوبی در همدان

ج- انرژی حاصل از پنجره های غربی :

در پنجره های غربی  $\beta = \gamma = 90^\circ$  و میزان عبور نور از پنجره ها با توجه به زاویه برخورد و نوع پنجره (یک جداره و یا دو جداره) متفاوت است. نمودار (۴) انرژی حرارتی حاصل از پنجره های غربی در همدان را نشان می دهد.



نمودار ۴- انرژی حاصل از هر متر مربع

پنجره غربی در همدان

تعیین ابعاد سیستم ترکیبی خورشیدی، بازده و درصد

هیبرید

الف- کلکتورها و تانک ذخیره

برای تامین کل بار حرارتی محاسبه شده از انرژی خورشیدی با توجه به بار حرارتی محاسبه شده در قسمت اول و مقایسه بیشترین بار حرارتی (در ماه ژانویه) با انرژی گرمایی کلکتورها و پنجره ها، مساحت کلکتور مورد نیاز جهت تامین انرژی حرارتی حاصل می شود.

 $\varphi$  : زاویه عرض جغرافیایی $\delta$  : زاویه انحراف خورشید، موقعیت زاویه ای خورشید در

ظهر خورشیدی نسبت به صفحه استوا

در کلکتور رو به جنوب : ( $\gamma = 0$ )

$$R_b = \frac{\cos(\phi - \beta)\cos\delta \cos\omega + \sin(\phi - \beta)\sin\delta}{\cos\delta \cos\phi \cos\omega + \sin\delta \sin\phi} \quad (18)$$

$$R_d = 0.25$$

در نهایت R (نسبت شدت تابش ساعتی بر سطح شیبدار به

شدت تابش ساعتی بر سطح تخت) حاصل می شود :

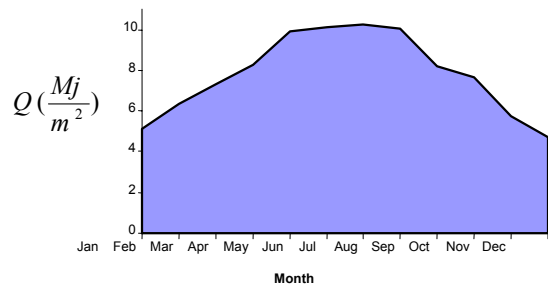
$$R = \frac{I_T}{I} = \frac{I_b}{I} \times R_b + \quad (19)$$

$$\frac{I_d}{I} \times \left(\frac{1 + \cos\beta}{2}\right) + \rho \left(\frac{1 - \cos\beta}{2}\right)$$

 $\rho$  : ضریب بازتاب پخش زمین

نمودار ۲ انرژی حاصل از هر متر مربع کلکتور را در طول سال در

شهر همدان نشان می دهد.



نمودار ۲- انرژی حاصل از هر متر مربع کلکتور در همدان

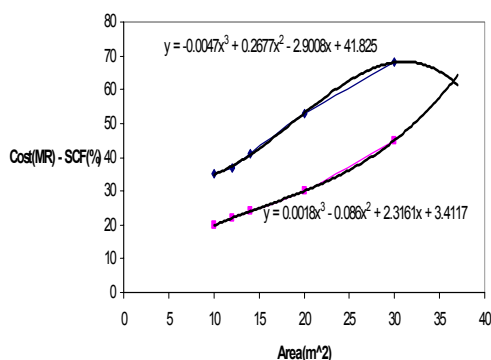
ب- انرژی حاصل از پنجره های جنوبی

در پنجره های جنوبی  $\beta = 90^\circ$  و میزان عبور نور در

پنجره های یک جداره و دو جداره به ترتیب برابر ۰/۸۵ و

۰/۷۵ می باشد. نمودار (۳) انرژی حرارتی حاصل از پنجره های

جنوبی در همدان را نشان می دهد.



### نمودار ۵ - برآورد مساحت بهینه کلکتور برای ساختمان با مصالح متداول در شهر همدان

بدین ترتیب به عنوان نمونه در ساختمان با مصالح متداول مساحتی حدود ۳۸ مترمربع برای همدان (نمودار ۵) و ۱۹ متر مربع برای کرج بهینه می باشد، اما با توجه به فضای موجود پشت بام و مسأله سایه ردیف های کلکتور بریکدیگر، بحث لزوم رعایت فاصله بین ردیف های کلکتور پیش می آید که این موضوع بدین ترتیب بررسی می گردد:

$$X = L \times \sin \beta \operatorname{tg}(\varphi + 30) \quad (22)$$

$X$ : فاصله بین ردیف های کلکتور

$L$ : طول پنل کلکتور (۲/۱۵ متر)

$\varphi$ : زاویه عرض جغرافیایی محل

$\beta$ : زاویه کلکتور با سطح افق

بدین ترتیب با جانمایی کلکتورها در سطح بام مساحتی در حدود ۱۰ متر مربع کلکتور برای هر واحد تعیین می گردد. حجم منبع ذخیره نیز با توجه به مجموع میزان آب گرم مصرفی و حجم حدودی لازم برای گرمایش آب در سیستم گرمایش محیط برابر ۳۰۰ لیتر تعیین می گردد.

(ب) انتخاب پمپ سیرکوله ضد یخ:

دبی و هد پمپ در ابتدا تعیین می گردد. برای محاسبه هد باید افت فشار ناشی از اصطکاک جریان با جدار لوله ها، افت فشار در شیرها، زانویی ها، و سه راهه ها (طول معادل وصاله ها معمولاً ۵۰٪ طول مسیر رفت و برگشت می باشد).

(طولانی ترین مسیر حدود ۲۸/۵ متر می باشد)

$$A_c = \frac{((Q_{th} + Q_{DHW}) - Q_{Win})}{q_c \times 31} \quad (20)$$

$A_c$ : مساحت کلکتور مورد نیاز

$Q_{th}$ : انرژی مورد نیاز برای گرمایش محیط

$Q_{DHW}$ : انرژی مورد نیاز جهت تامین آب گرم مصرفی

$Q_{Win}$ : حرارت تامین شده از پنجره ها

$q_c$ : حرارت تامین شده از هر متر مربع کلکتور

31: تعداد روزهای ماه ژانویه

سطح بهینه کلکتور به عواملی نظیر شدت تابش، نوع سیستم کمکی، نرخ مصرف و نرخ افزایش هزینه ها وابسته است. حالت بهینه، زمانی حاصل می شود که دو منحنی مساحت- هزینه سرمایه گذاری اضافی و مساحت - سهم انرژی خورشیدی یکدیگر را قطع کنند.

با توجه به بار حرارتی محاسبه شده و میزان انرژی حاصل از کلکتورها و پنجره ها، انرژی حاصل از خورشید (SCF) در هر حالت برابر است با:

$$SCF = \frac{E_{Co} + E_{Win}}{Q_H + Q_{DHW}} \quad (21)$$

$E_{Co}$ : انرژی حاصل از کلکتورها

$E_{Win}$ : انرژی حاصل از پنجره ها

$Q_H$ : انرژی حرارتی مورد نیاز برای گرمایش محیط

$Q_H$ : انرژی حرارتی مورد نیاز جهت آب گرم مصرفی

بدین ترتیب منحنی مساحت- سهم انرژی خورشیدی حاصل می شود. هزینه سرمایه گذاری اضافی سیستم ترکیبی خورشیدی در هر حالت با توجه به تفاضل هزینه سیستم ترکیبی و سیستم فسیلی حاصل می شود. بدین ترتیب دو منحنی مورد نظر حاصل شده و مساحت بهینه برای کلکتور در هر حالت به دست می آید.



## ۷- برآورد هزینه و تحلیل اقتصادی طرح

اصولاً سیستم های خورشیدی در کشور ما از توجیه اقتصادی مناسبی برخوردار نیست، چرا که از یک طرف قیمت بسیار پایین حامل های انرژی در مقایسه با کشورهای دیگر و به طور کلی نرخ جهانی آن و از طرف دیگر در نظر نگرفتن هزینه های زیست محیطی مصرف سوخت توجیه اقتصادی انرژی حاصل از به کار بردن سیستم های خورشیدی را بسیار کم رنگ نموده است. لذا برای این که بتوان تحلیل اقتصادی جامع و کاملی ارائه نمود، باید قیمت های جهانی انرژی و هزینه های زیست محیطی را نیز در نظر گرفت.

برای تشخیص بهترین طرح از لحاظ سود آوری روش های مختلفی وجود دارد که یکی از آن ها تعیین ارزش خالص کنونی (Net Present Worth) سیستم و درآمدهای مورد انتظار است.

ارزش خالص کنونی سیستم عبارت است از ارزش سرمایه گذاری با احتساب نرخ تنزیل سرمایه و ارزش حاصل از صرفه جویی در مصرف سوخت که در دوره عمر سیستم ذخیره می شود. (بر حسب ارزش پول جاری) (۲)

بدین ترتیب:

$$NPW = P - C_0 - C_{OP} \quad (25)$$

$$\frac{P}{I} = f(i, d, n) = \frac{i}{i-d} \left[ \left( \frac{i+1}{d+1} \right)^n - 1 \right] \quad (26)$$

P: ارزش معادل تمام سوخت ذخیره شده

$$P = I \times f(i, d, n) \quad (27)$$

I: ارزش سوخت ذخیره شده در سال مبنا

i: نرخ تورم

d: نرخ تنزیل

$C_0$ : هزینه سرمایه گذاری اضافی جهت بهینه سازی

$C_{OP}$ : هزینه تعمیر و نگه داری

برای محاسبه هزینه عملیاتی سیستم و باز گرداندن آن به زمان حال سرمایه گذاری به روش زیر عمل می شود

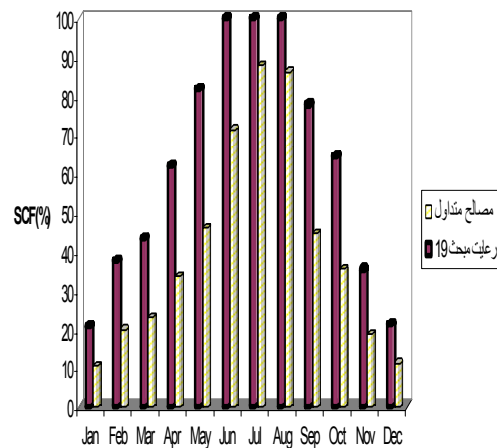
$$NPW = I \times f(i, d, n) - C_0 - C_{OP} \frac{(1+d)^n - 1}{d(1+d)^n}$$

$$H = 3L \times \frac{2.5}{100} = 7.05 \text{ Ft} \quad (23)$$

$$\text{Flow rate} = 400 \frac{\text{lit}}{h} = 1.5 \text{ GPM} \quad (24) \text{ دبی:}$$

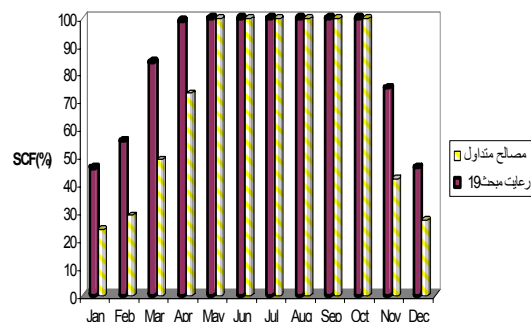
بدین ترتیب پمپ  $UPS15-60$  گرانیوس با هد ۱۱ فوت، دبی 10 GPM و قدرتی برابر ۹۰ وات انتخاب می گردد. این پمپ به صورت متناوب با دریافت فرمان از حسگرهای سیستم کنترل کار می کند.

با توجه به بار حرارتی محاسبه شده و مساحت کلکتورها و سهم انرژی خورشیدی همان گونه که بیان شد از رابطه (۲۱) در هر حالت محاسبه می شود. (نمودار های ۶ و ۷)



نمودار ۶- میانگین سهم انرژی خورشیدی در دو نوع

ساختمان در همدان



نمودار ۷- میانگین سهم انرژی خورشیدی در دو نوع

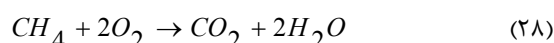
ساختمان در کرکج

هرچه بهتر هزینه های اجتماعی، نرخ آن بر اساس ضرایب EPA آمریکا در نظر گرفته می شود.

#### محاسبه میزان دی اکسید کربن

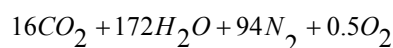
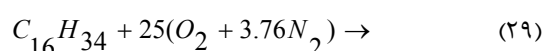
میزان دی اکسید کربن برای هر سوخت از واکنش آن با اکسیژن حاصل می شود .

گاز طبیعی :



$$16 + 64 \rightarrow 44 + 36 \text{ (kg)}$$

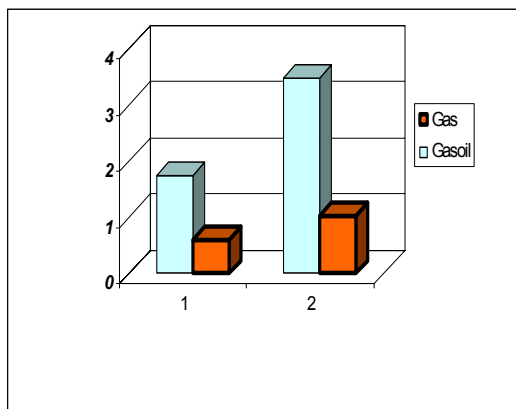
گازوییل :



$$226 + 800 + 2632 \rightarrow 704 + 306 + 2632 + 16 \text{ (kg)}$$

بر اساس روابط فوق به ازای هر کیلوگرم گاز طبیعی ۲/۷۵ کیلوگرم  $CO_2$  و به ازای هر کیلوگرم گازوییل ۳/۱ کیلوگرم  $CO_2$  تولید می شود اما مصرف سوخت گازوییل در سیستم به مراتب بیشتر از سوخت گاز است .

بدین ترتیب با کاهش مصرف سوخت هزینه های اجتماعی ناشی از آلاینده های آن نیز کاهش می یابد. نمودار ۸ میزان کاهش هزینه های اجتماعی در ساختمان خورشیدی در دو حالت را در شهر همدان نشان می دهد.



#### نمودار ۸- مقایسه کاهش هزینه اجتماعی در همدان

بدین ترتیب تحلیل اقتصادی سیستم خورشیدی به روش ارزش خالص کنونی با سه سناریو انجام می گیرد.

(۲۷)

برای محاسبه زمان باز گشت سرمایه، کافی است معادله  $NPW = 0$  بر حسب مجهول  $n$  حل شود که این امر به روش سعی و خطا انجام می گیرد.

#### هزینه های اجتماعی ( Social Costs )

تولید حرارت همراه با هزینه های اجتماعی است که عمدتاً این نوع هزینه، بر افرادی تحمیل می گردد که نقشی در تولید آن ندارند(۴).

این هزینه ها زمانی شکل می گیرد که فعالیت های اقتصادی یک یا چند گروه، با ایجاد اثراتی چون آثار سوءزیست محیطی مستقیم ( نظیر انتشار آلاینده ها)، تخریب اکوسیستم ها و گروه های دیگر اثر منفی بگذارد. به عبارت دیگر در علم محیط زیست برای کمی نمودن اثرات سوءزیست محیطی و بهداشتی از این واژه استفاده می شود. برای محاسبه دقیق هزینه های اجتماعی باید ارزش واحدهای زیست محیطی شناخته شود و میزان تاثیر انواع آلاینده ها بر واحدهای زیست محیطی برآورد گردد.

هزینه های اجتماعی ناشی از مصرف حامل های انرژی فسیلی در کشور برای آلاینده های مختلف در ترازنامه انرژی سالانه بیان می گردد. این هزینه ها بر اساس مطالعات انجام شده توسط بانک جهانی و سازمان حفاظت محیط زیست ایران و نیز بر اساس ضرایب EPA<sup>۱</sup> آمریکا محاسبه شده است. بدین ترتیب:

بر اساس پیوست (۱) از ترازنامه انرژی سال ۱۳۸۳ هزینه اجتماعی انتشار هرتن  $CO_2$  بر اساس مطالعه بانک جهانی و سازمان حفاظت محیط زیست ۲۴/۰۰۴ ریال و بر اساس ضرایب EPA آمریکا ۱۶۰/۰۰۰ ریال می باشد، از آن جا که در بررسی بانک جهانی تنها هزینه مهار آلودگی در نظر گرفته شده و هزینه خدمات اکوسیستم ها شامل فرسایش خاک، گرده افشانی، تنظیم گازها، تنظیم شرایط اقلیمی و بسیاری موارد دیگر در نظر گرفته نشده است، برای بررسی

سناریوی اول: قیمت حامل های انرژی یارانه ای بوده و هزینه های زیست محیطی در نظر گرفته نمی شود.

سناریوی دوم: قیمت حامل های انرژی جهانی بوده و هزینه های زیست محیطی در نظر گرفته نمی شود.

جدول ۳- نمونه محاسبات تحلیل اقتصادی سیستم ترکیبی خورشیدی در ساختمان معمولی در همدان

مقادیر	واحد	پارامترها
۳۷,۰۰۰,۰۰۰	ریال	هزینه سرمایه گذاری اضافی
۶۰۰,۰۰۰	ریال	هزینه تعمیر و نگه داری در سال مبنا
۸۰	ریال	قیمت یارانه ای گاز طبیعی (متر مکعب)
۱۶۵	ریال	قیمت یارانه ای گازوییل (لیتر)
۱۳۳	Cent	قیمت جهانی گاز طبیعی (متر مکعب)
۵۵	Cent	قیمت جهانی گازوییل (لیتر)
۱۵,۵	%	نرخ بهره <sup>۲</sup>
۲۰	%	نرخ تورم <sup>۳</sup>
۲۰	سال	طول عمر سیستم
۲۸۳,۶۸۴	ریال	صرفه جویی سالیانه در هزینه سوخت گاز (با نرخ یارانه ای)
۱,۵۲۵,۹۲۶	ریال	صرفه جویی سالیانه در هزینه سوخت در مقایسه با گازوییل (با نرخ یارانه ای)
۱۰,۸۸۶,۳۷۹	ریال	صرفه جویی سالیانه در هزینه سوخت گاز (با نرخ جهانی)
۴۲,۹۱۱,۹۳۰	ریال	صرفه جویی سالیانه در هزینه سوخت در مقایسه با گازوییل (با نرخ جهانی)

جدول ۴ - هزینه های اجتماعی ناشی از انتشار آلاینده ها در بخش خانگی ، تجاری و عمومی (میلیارد ریال)(۸)

SPM	CH	CO	SO <sub>3</sub>	CO <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	گاز سوخت
۱۳۹۰	۵۵۵	۵	۳۳۲	۴۱۳۹۷۱۸	۲۱۷۴۸	۱۳۹۰۱	نفت کوره
۳۰۳۶	۹۱۱	۶۰۷	۶۰۷	۸۰۳۹۳۲۸	۴۷۶۶۵	۱۵۱۸۰	نفت گاز
-	-	۵۹۶۸	-	۱۸۴۷۶۴۴۱	۱۸۳۶۲	۳۸۲۵	نفت سفید
۱۶۶	۸۴۰۴۵	۴۴۶۹۵	-	۲۹۶۶۴۷	۱۹۲	۱۷۲۴	بنزین
۶۳۴۶	۱۹۶۱	۸۹۰۴	-	۷۰۸۶۴۶۵۹	۲۶۶	۶۶۴۴۶	گاز طبیعی
-	۸۵۷	۱۲۶۸۰	-	۵۴۱۴۸۸۵	۲۷	۱۲۶۸	گاز مایع
۱۰۹۳۸	۱۲۳۲۹	۷۲۸۵۹	۹۳۹	۱۰۷۲۳۱۶۷۸	۸۸۲۶۰	۱۰۲۳۴۴	جمع

۱- قرارداد فروش گاز ایران به ترکیه

۲-۳- اطلاعات منتشر شده مرکز آمار ایران ، ۱۳۸۵

جدول ۵- میزان انتشار انواع آلاینده ها از بخش خانگی، تجاری و عمومی به تفکیک نوع سوخت (تن) (۸)

SPM	CH	CO	CO <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	هزینه های اجتماعی ناشی از انتشار آلاینده ها در بخش خانگی، تجاری و عمومی (میلیارد ریال)
۳۷۶	۶	۱۱۰	۲۵۷۴	۱۲۸۹	۴۹۱	بر اساس مطالعه بانک جهانی و سازمان حفاظت محیط زیست
*	*	*	۱۷۱۵۷	۶۲۱	۵۲۸۱	بر اساس ضرایب EPA امریکا

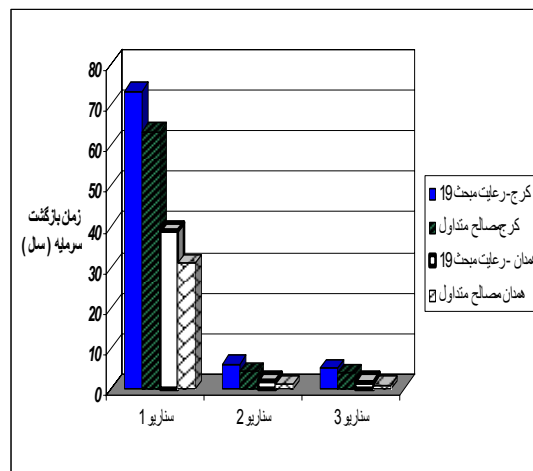
مجموع میزان گاز تولیدی در بخش خانگی / کل هزینه اجتماعی انتشار این گاز = هزینه اجتماعی انتشار هر تن دی اکسید کربن

مشاهده می شود که با قیمت یارانه ای سوخت استفاده از سیستم های ترکیبی خورشیدی چندان مقرون به صرفه نمی باشد؛ اما اگر از دیدگاه جهانی به این موضوع پرداخته شود و قیمت سوخت، اعم از گاز طبیعی و گازوییل برابر نرخ صادراتی آن ها در نظر گرفته شود، زمان بازگشت سرمایه آن در مناطق سردسیر کشور به کمتر از ۲ سال رسیده و از نظر اقتصادی توجیه پذیر خواهد بود.

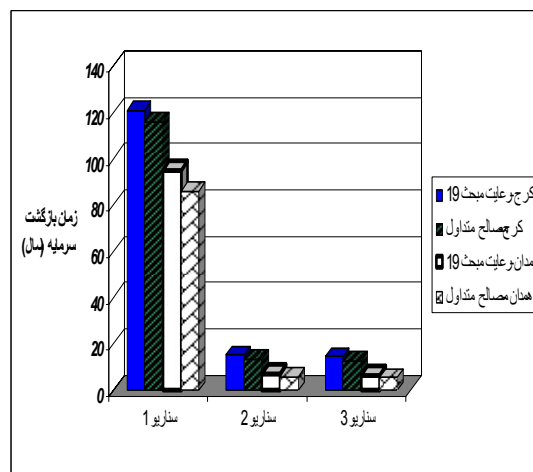
#### ۸. نتیجه گیری و پیشنهادها

سیستم ترکیبی خورشیدی برای ساختمان نمونه در دو منطقه کرج (معتدل) و همدان (سردسیر)، با توجه به فن آوری های ساخت موجود در کشور و نیز بازده سیستم های مختلف انتخاب شد.

با بررسی میزان کاهش مصرف انرژی در دو حالت ساختمان نمونه (حالت اول با رعایت مبحث ۱۹ و حالت دوم با مصالح متداول) و با مقایسه با دو سوخت متفاوت (گاز و گازوییل) مشخص شد در مواردی که مصرف بیشتر می باشد به عنوان مثال، مناطق سردسیر، ساختمان معمولی و سوخت مصرفی گازوییل، به کار گیری این سیستم ها کاهش چشمگیری را در مصرف انرژی ساختمان به دنبال خواهد داشت؛ اما همان طور که اشاره شد این موضوع زمانی اهمیت بیشتری پیدا می کند که قیمت جهانی (صادرات) سوخت در نظر گرفته شود به گونه ای که با در نظر گرفتن قیمت جهانی سوخت، به عنوان نمونه در همدان سالانه حدود ۴۳ میلیون ریال در هزینه سوخت گازوییل و یا حدود ۱۰ میلیون ریال در هزینه سوخت گاز صرفه جویی می گردد که رقم قابل توجهی است.



نمودار ۹- مقایسه دوره بازگشت سرمایه برای سوخت گازوییل



نمودار ۱۰- مقایسه دوره بازگشت سرمایه برای سوخت گاز

بررسی مناطق مختلف کشور و آرایه الگوی به کارگیری سیستم های ترکیبی در این مناطق می تواند مکمل تحقیق انجام یافته، گردد.

#### منابع

- ۱- صفایی ب.، خلجی اسدی م.، طالقانی گ.، تابستان ۱۳۸۳، مقاله برآورد پتانسیل و شدت تابش خورشیدی در ایران و تهیه اطلس تابشی آن، مجله علوم و فنون هسته ای سازمان انرژی اتمی ایران، شماره ۳۳
- ۲- اسکونژاد، محمد، اقتصاد مهندسی، ارزیابی اقتصادی پروژه های صنعتی، مرکز نشر دانشگاه صنعتی امیرکبیر، ۱۳۷۸، صص ۲۰-۶۰
- ۳- اطلاعات جامع نیو پایپ، ۱۳۸۴، مرکز آموزش و پژوهش گروه صنایع گیتی پسند، صص ۲۰-۳۰
- ۴- سعیدی محسن، کرباسی عبدالرضا، (و دیگران)، ۱۳۸۴، مدیریت زیست محیطی نیروگاه ها، وزارت نیرو صص ۱۰۲-۱۱۶
- ۵- طباطبایی، سید مجتبی، ۱۳۸۱، محاسبات تاسیسات ساختمان، روزبهان، صص ۲۰-۱۱۰
- ۶- کرباسی عبدالرضا، شفیع زاده، (و دیگران)، ۱۳۸۴، مدیریت انرژی در ساختمان، وزارت نیرو، صص ۶-۲۰
- ۷- کریم زادگان، حسن، ۱۳۸۲، مبانی اقتصاد محیط زیست، نقش مهر، صص ۶۹-۷۷
- ۸- وزارت نیرو، تراز نامه انرژی، سال ۱۳۸۳، صص ۳۳۹-۳۴۱
- ۹- دفتر تدوین و ترویج مقررات ملی ساختمان، ۱۳۸۴، مبحث ۱۹ صرفه جویی در مصرف انرژی، توسعه ایران، صص ۲۰-۳۰

10- Werner Weiss, 2004, Solar Heating Systems for Houses: A Design Handbook for Solar

11- Combisystems, Earthscan Publications Ltd, Pages 100-136.

مساله دیگری که در این میان باید به آن اشاره شود هزینه های زیست محیطی ناشی از آلاینده ها می باشد. به کارگیری این سیستم با کاهش مصرف سوخت، کاهش هزینه های اجتماعی را در بر خواهد داشت که این مساله موجب می شود تا علاوه بر آن که زمان بازگشت سرمایه کاهش یابد، شرایط زیست محیطی و آسایش بیشتری برای ساکنان آن منطقه فراهم شود. (سناریوی سوم)

با در نظر گرفتن عوامل مطرح شده، زمان بازگشت سرمایه برای منطقه سردسیر (همدان) به کمتر از دو سال و برای منطقه معتدل (کرج) به کمتر از چهار سال می رسد.

مشکل عمده ای که باعث افزایش هزینه بیش از حد این سیستم ها در کشور می شود بومی نبودن فن آوری تولید تجهیزات آن ها و هزینه اولیه بالای آن ها استبرای حل این مشکل می توان انتقال فن آوری در مرحله اول و طراحی و ساخت نمونه های تولیدی داخلی در مرحله بعدی را در کشور مد نظر قرار داد.

عامل مهم دیگر جهت گیری ساختمان ها برای به کارگیری بهینه انرژی خورشیدی می باشد. به عنوان مثال در ساختمان هایی که رو به جنوب ساخته شود. ضمن آن که مصرف انرژی اعم از الکتریکی و حرارتی کاهش می یابد، مساحت پنجره های رو به جنوب و نیز سطح مفید بام برای بهره گیری و نصب کلکتورهای خورشیدی افزایش می یابد؛ در نتیجه انرژی خورشیدی بیشتری حاصل شده و در نهایت صرفه جویی انرژی بیشتر و زمان بازگشت سرمایه مطلوب تری خواهد داشت.

همچنین اشاعه فرهنگ استفاده از این سیستم ها از طریق رسانه های عمومی و تخصیص وام های طولانی مدت با بهره کم برای مصرف کنندگان و تولید کنندگان این سیستم ها و اعطای یارانه به مصرف کنندگان می تواند در افزایش به کارگیری این سیستم ها و همچنین کاهش هزینه تمام شده آن بسیار موثر باشد.

- 19- Werner Weiss, 2002, Solar combisystems task 26, industry workshop, Oslo, Norway on of, Pages 2-20.
- 20- H. Drück ,W.Heidemann,H. Müller-Steinhagen, 2004, Comparison Test Of Thermal Solar Syestems For Domestic Hot Water Preparation and Space Heating, EuroSun No. 46, pages 20 – 27
- 21- Ulei Frei, Peter VogelSanger, 2002, Solar Thermal Systems For Domestic Hot Water & Space Heating, SPF institute für Solartechnik Prüfung Forschung
- 22- Stefan Abrecht, ParadigmaHarald Drück, Elke Streicher, 2005 ,Theoretical Evaluation Of Promising System : Solar CombiSystem Concept With Water Filled Collector Loop, Universität Stuttgart,
- 12- Lars Andren, 2003, Solar Installations: Practical Applications for the Built Environment, Earthscan Publications Ltd. , Pages 5-20.
- 13- John A. Duffie, William A.Beckman, 2003, Solar Engineering of Thermal Processes, Wiley, Pages1-20, 35-75, 267.
- 14- Jager, F., 1981, Solar energy applications in houses, university press. Aberdeen, Pages 16-27.
- 15- 1990 , ASHRAE Handbook Of fundamentals, ASHRAE, Pages 333-375.
- 16- Keith J .Moss, 2006, Energy Management in Buildings,Taylor & Francis, Pages 122-139
- 17- Jerald. D. Parker, Jeffrey D .Spitler , 2000,Heating, Ventilating & air Conditioning, Wiley,Pages 191-212.
- 18- P.D. Lund, 2005, Sizing and applicability considerations of solar combisystems, Solar Energy No.78 , Pages 59-71.