

* مطالعه تجربی بر روی استخر کم عمق خورشیدی در ایران

محمد اخلاقی
مرکز تحقیقات هسته‌ای
سازمان انرژی اتمی ایران

چکیده

نتایج نظری و عملی نشان می‌دهند که ماکزیم دمای ایجاد شده در آب استخر کم عمق خورشیدی نسبت به ماکزیم دمای محیط که در آن شدت تابش خورشید به بالاترین مقدار خود می‌رسد حدود ۳ ساعت در تاخیر است. این مشاهدات مؤید آنست که استخر کم عمق خورشیدی (عمق ۱۰ سانتیمتر) نمی‌تواند به عنوان یک منبع حرارتی مناسب در زمستان مورد استفاده واقع شود، ولی در تابستان یک منبع آب گرم بسیار خوب محسوب می‌شود. استخر کم عمق خورشیدی (با عمق ۵ سانتیمتر) دارای کارآیی گرمایی متوسط در زمستان است ولی در تابستان از کارآیی بالا، یعنی حصول دما تا حدود 95°C برخوردار می‌باشد. بر این اساس چندین استخر کم عمق خورشیدی در نقاط مختلف کشور احداث گردیده است. در این مقاله طراحی و بررسیهای نظری و عملی اینگونه استخرهای خورشیدی مورد بررسی قرار گرفته است.

چوبی و یا بتونی قرار گرفته تا کف و اطراف آن کاملاً "عایق شده بطوریکه از اتلاف حرارت به خارج جلوگیری گردد. بر روی این محفظه پلاستیک پلی اتیلن کاملاً شفاف قرار می‌گیرد. این تشک از دو لایه پلاستیک از جنس پی وی سی (PVC) که لایه بالائی شفاف و لایه زیرین سیاه رنگ است و بهم جوش خورده تشکیل شده است. برای مقاوم بودن پلاستیک پی وی سی در مقابل پرتوهای تابشی ماورا، بنفش مواد روغنی مخصوص در کارخانه به آن اضافه می‌کنند. استخرهای کم عمق خورشیدی

مقدمه

یکی از ساده‌ترین و ارزانه‌ترین روشهای گرم کردن آب استفاده از انرژی خورشیدی، استخر (حوضچه) کم عمق خورشیدی است. این سیستم را می‌توان یک جمع‌کننده مسطح خورشیدی دانست که قادر است انرژی خورشیدی قابل ملاحظه‌ای را به آب انتقال داده و آب گرم لازم را جهت مصارف مختلف صنعتی، کشاورزی، دامداری، خانگی، روستائی و نظامی تولید نماید. حوضچه کم عمق خورشیدی از یک تشک پلاستیکی تشکیل شده است که در داخل محفظه‌ای

* تئوری این مقاله نیز توسط اینجانب و آقای ه. م. علی در نشریه شماره ۴ تکنولوژی با دو خورشید سال ۱۹۸۷ بچاپ رسیده است.

A ne
rutheni
reproce
fission
be used
industr
Chem
forms d
of 21 sl
The
can be
and char
of extr
rutheni
of paper
with dou
these co
spectros
Under
of the f
quantita
of IR sp

از اوایل قرن بیستم شناخته شده است . شومان (Shuman) در اوایل قرن بیستم برای به حرکت درآوردن ماشین بخار از استخر کم عمق خورشیدی استفاده کرد (۱) . ژاپنی‌ها از سال ۱۹۳۰ از این روش برای گرم کردن آب منازل استفاده نمودند . کودیش و ولف (Kudish and Wolf) برای مصرف آب گرم اردوگاه‌های نظامی و تفریحی استفاده از حوضچه‌های کم عمق خورشیدی را پیشنهاد نمودند (۲) . گارف (Garf) نیز مطالعه زیادی بر روی انواع آب گرم‌کن‌های پلاستیکی خورشیدی انجام داده است (۳) . طرح عظیم ۶ هکتاری استخر کم عمق خورشیدی در آزمایشگاه لورنس لیورمور توسط کلارک و دیکینسون (Clark and Dickinson) طراحی و ساخته شده (۴) که ۵۰٪ از ۱۰ گیگاژول مصرف سالیانه آب 60°C آن جهت شستشوی اسیدی اورانیم مورد استفاده قرار گرفته است . حوضچه خورشیدی برای اولین بار در ایران در مرکز تحقیقات و کاربرد انرژی‌های نو سازمان انرژی اتمی ایران طراحی و ساخته شده است . آزمایش‌های متعدد انجام شده بر روی این سیستم و سیستم‌های دیگر نشان می‌دهند که حوضچه کم عمق خورشیدی قادر است در مدت ۶ ساعت در هر متر مربع دمای آب 10°C را به 85°C در فصل تابستان و به دمای $37-45$ درجه سانتیگراد در فصل زمستان برساند . این سیستم در مقایسه با جمع‌کننده‌های مسطح و متداول از بازدهی حرارتی خوبی برخوردار است و از نظر سادگی ساخت و نصب و کاربرد مزیت‌های زیادی نسبت به سایر جمع‌کننده‌های متداول دارد . آب - گرم‌کن‌های خورشیدی که بجای حوضچه خورشیدی استفاده می‌شوند به سرمایه اولیه زیادی نیازمند است و هزینه نگهداری آنها هم زیاد است . در صورتیکه سرمایه اولیه و خرج نگهداری حوضچه خورشیدی بسیار پائین است و این امتیاز از خصوصیات اصلی

این سیستم می‌باشد . ابعاد ساخت این سیستم بستگی به مقدار آب گرم مورد نیاز دارد و تاکنون تعدادی از این سیستم‌ها در مناطق مختلف شامل قصر شیرین ، سرپل ذهاب ، پنجوین و ارومیه ساخته شده است و تعداد ۲۰۰ تشک هم تاکنون به ارگانهای کشوری تحویل گردیده است .

طراحی و ساخت استخر کم عمق خورشیدی

مصرف متوسط آب گرم یک خانواده ۴ نفره در روز ۳۰۰ لیتر در نظر گرفته شده و ابعاد سیستم مطابق به آن مقدار آب مصرفی طراحی و ساخته شده است . تشک پلاستیک پی وی سی (PVC) که از دو لایه زیرین کاملاً سیاه و لایه بالائی شفاف بهم جوش داده شده‌اند به ابعاد $1/5 \times 2/3$ متر است . محفظه چوبی به ابعاد 3×2 متر به ارتفاع ۲۰ سانتیمتر که چندتسه فلزی قوسی که ۳۰ سانتیمتر از سطح تشک تساقوس فاصله دارد در دو طرف محفظه پیچ و مهره شده و این محفظه بر روی پایه‌ای که قبلاً آماده گردیده نصب گردیده است . کف و اطراف محفظه را کاملاً عایق بندی کرده‌ایم تا از اتلاف حرارت جلوگیری شود . تشک ساخته شده را بر روی کف محفظه پهن کرده و روی محفظه را توسط پلاستیک پلی اتیلن شفاف پوشانیده شده است ، بطوریکه هوا از محفظه وارد و یا خارج نشود . در ساعت ۹ بامداد آب را توسط لوله ورودی که همان لوله خروجی نیز می‌باشد وارد کرده و هر ساعت درجه حرارت آب داخل تشک و درجه حرارت محیط را اندازه گرفته‌ایم . آزمایش‌ها نشان می‌دهند که درجه حرارت آب سیستم در ساعت ۴ بعدازظهر به حداکثر خود می‌رسد ، در صورتیکه حداکثر درجه حرارت محیط و شدت تابش خورشید در ساعت ۱۴-۱۳ بعدازظهر می‌باشد . علت اینکه آب استخر کم عمق در ساعت ۴ بعدازظهر حداکثر دما را دارد بخاطر این است که از ساعت ۱۳ به بعد

و τ_α ضریب جذب انتقال تابش خورشید، $I(t)$ کل تابش خورشید در ساعت، U_a افت حرارتی سطح بالائی تشک به خارج، U_s افت حرارتی از اطراف حوضچه، U_1 کل افت حرارتی از سیستم و T_a درجه حرارت محیط در ساعت است.

از حل رابطه (۲) دمای آب در هر ساعت را می توان به دست آورد.

$$T(t) = T_a(t) + \frac{\tau_\alpha I_T}{U_1} - \left\{ \frac{\tau_\alpha I_T}{U_1} - [T_i - T_a(t)] \right\} \exp\left(-\frac{U_1 t}{\rho d c}\right) \quad (4)$$

همچنین ضریب جذب انتقال خورشید در هر ساعت از رابطه زیر بدست می آید.

$$T_\alpha = (\tau_\alpha)_n \left\{ 1 + B \left[1 + \frac{I_b}{I_T} \left(\frac{1}{\cos \theta} \right) - 2 \right] \right\} \quad (5)$$

که در آن B شیب بین زاویه عمودی و قوس پوشش استخر است. میانگین روزانه در هر ماه را می توان محاسبه کرد. بدین منظور از رابطه زیر استفاده شده است:

$$\frac{\bar{I}_b}{\bar{I}_T} = 1 - \frac{\bar{I}_d}{\bar{I}_T} \quad (6)$$

که نسبت $\frac{\bar{I}_d}{\bar{I}_T}$ از رابطه زیر بدست می آید.

$$\frac{\bar{I}_d}{\bar{I}_T} = 1 - 1.015 \bar{C}_T \quad (7)$$

که در آن I_b میانگین تابش مستقیم خورشید، \bar{I}_d میانگین روزانه تابش خورشیدی در هر ماه، \bar{I}_T میانگین کل روزانه تابش خورشید در هر ماه و \bar{C}_T شاخص صافی هوا است.

دمای محیط و تابش خورشید روبه کاهش گذاشته و افت حرارتی سیستم کم می شود ولی حرارت جذب شده توسط سیستم افزایش می یابد. شدت تابش خورشید که در سطح افق در تهران برخورد می کند بطور متوسط در سال حدود 2847 W/m^2 برای مدت ۷ ساعت در روز می باشد که از این مقدار حدود ۷٪ آن مربوط به تابش پرتوهای ماوراء بنفش و ۴۷٪ مربوط به پرتوهای مرئی و ۴۶٪ آن مربوط به پرتوهای مادون قرمز است. مجموع کل انرژی جذب شده توسط سیستم به عنوان انرژی مفید به حساب نمی آید و آنهم بخاطر فاکتور و مکانیسم های متعددی می باشد.

روش کار استخر کم عمق

- روش کار این سیستم بر چند فرض استوار است.
- ۱- انتقال حرارت به زمین ناچیز در نظر گرفته شده است.
 - ۲- ظرفیت حرارتی لایه های پلاستیک پی وی سی (PVC) و پلی اتیلن ناچیز است.
 - ۳- درجه حرارت آب تشک و پلاستیک آن یکسان است.

لذا برای جذب انرژی حرارتی توسط آب می توان نوشت:

$$MC \frac{dT}{dt} = (\tau_\alpha) I(t) - U_a [T_f(t) - T_a(t)] - U_s [T(t) - T_a(t)] \quad (1)$$

رابطه (۱) را نیز می توان بصورت زیر نوشت:

$$MC \frac{dT}{dt} = (\tau_\alpha) I(t) - U_1 [T(t) - T_a(t)] \quad (2)$$

$$U_1 = U_a + U_s \quad (3)$$

م. اخلاقی. مطالعه تجربی بر روی استخر کم عمق خورشیدی در ایران.

شروع البته پس از محاسبه کردن میانگین روزانه درجه حرارت آب سیستم در ماه از رابطه زیر محاسبه می شود.

$$q_T = (\bar{\tau}_\alpha) I - U(T_f - T_a) \quad (14)$$

که q_T کل حرارت جذب شده در هر متر مربع توسط سیستم است.

$$q_T = mc(\bar{T}_f - \bar{T}_i) \quad (15)$$

در رابطه فوق m وزن مخصوص آب، c گرمای ویژه آب، \bar{T}_f میانگین ماکزیمم درجه حرارت آب در روز و \bar{T}_i میانگین درجه حرارت اولیه آب ورودی است. همچنین:

$$\bar{T} = \frac{\bar{T}_f + \bar{T}_i}{2} \quad (16)$$

$$m = \rho h \quad (17)$$

از قرار دادن رابطه (15) و (17) در رابطه (14) و پس از خلاصه کردن رابطه مورد نیاز زیر حاصل می شود.

$$\bar{T}_f = \frac{2 \rho h c^2 + U_1 t [\bar{\tau}_\alpha I_T + \bar{T}_i (2 \rho h c - U_1 t) + U_1 t \tau_a]}{2} \quad (18)$$

رابطه اخیر به عنوان میانگین روزانه بیشینه دمای آب در محاسبات نظری و عملی مورد استفاده واقع شده است.

بررسی یافته ها

نتایج تجربی نشان می دهد که بیشینه دمای آب و دمای محیط و شدت تابش خورشید به ترتیب در

شاخص صافی هوا از رابطه زیر بدست می آید.

$$\bar{C}_T = \frac{\bar{I}_T}{\bar{I}_{0T}} \quad (8)$$

که در آن \bar{I}_{0T} میانگین روزانه تابش بیرون زمینی خورشید در هر ماه است. میانگین \bar{I}_{0T} از رابطه زیر به دست می آید.

$$\bar{I}_{0T} = \frac{I_0 (\text{روزانه})}{\pi} [\cos \theta \cos \delta \sin \omega_s + (2\pi \omega_s / 360) \sin \theta \sin \delta] \quad (9)$$

که I_0 کل تابش مستقیم بیرون زمینی خورشید است و از رابطه زیر محاسبه می شود.

$$I_0 (\text{روزانه}) = 24 I_{sc} [1 + 0.033 \cos (\frac{360N}{370})] \quad (10)$$

که در آن N تعداد روز از اول سال میلادی است. δ زاویه میل خورشید است و از رابطه زیر به دست می آید.

$$\delta = 23.45 \sin [(\frac{N-80}{370}) \times 360] \quad (11)$$

که در آن ω_s زاویه زمانی در هنگام غروب و طلوع آفتاب است که برای محاسبه آن از رابطه زیر استفاده شده است.

$$\omega_s = \pm \frac{240}{360} [-\tan \phi \tan \delta] \quad (12)$$

زاویه برخورد است و از رابطه زیر به دست می آید.

$$\cos \theta = \cos \phi \cos \delta \cos \omega_s + \sin \phi \sin \delta \quad (13)$$

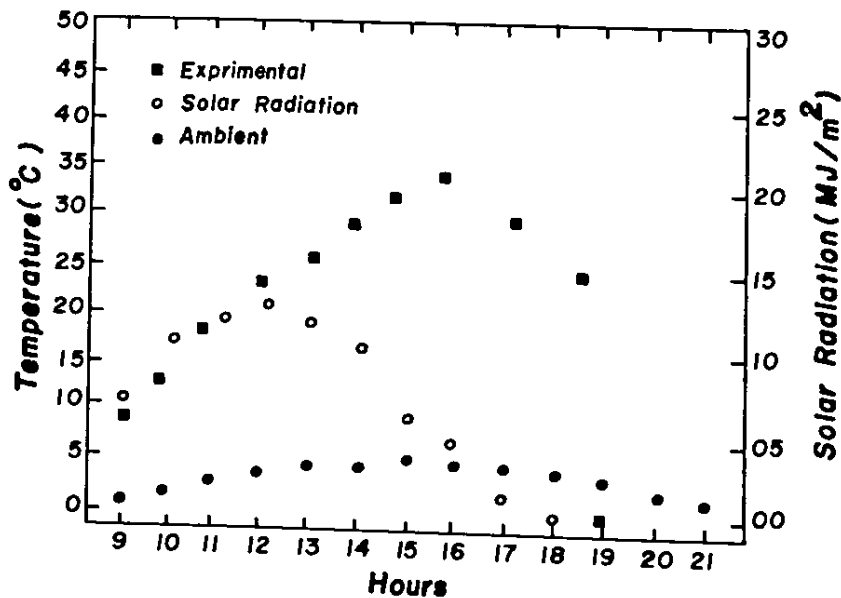
مقدار کل حرارت در هر مترمربع از سیستم از زمان

شده است (مناطق قصر شیرین و سرپل ذهاب). میانگین روزانه درجه حرارت آب در ماه در شکل ۳ نشان داده شده است. متوسط بازدهی حوضچه‌های کم عمق خورشیدی برای عمق ۵ سانتیمتر آب ۴۹٪ و برای عمق ۱۰ سانتیمتر آب ۵۸٪ است از اینرو استخرهای کم عمق خورشیدی قابل مقایسه با جمع‌کننده‌های سطح خورشیدی است و یا از بازدهی بهتر برخوردار می‌باشد که در شکل ۴ نشان داده شده است.

ضمناً می‌توان برای افزایش بازدهی استخر کم عمق خورشیدی با عمق ۵ سانتیمتر آب در زمستان یک منعکس‌کننده در کنار آن نصب کرد. بدین ترتیب بازدهی انرژی حرارتی جذب شده خورشید توسط سیستم نسبت مستقیم با عمق آب تشک دارد. همچنین افزایش درجه حرارت آب استخر کم عمق با عمق آب نسبت معکوس دارد. مجموع پرتوهائی که به پوشش پلاستیک سیستم برخورد می‌کند تماماً جذب نمی‌شود.

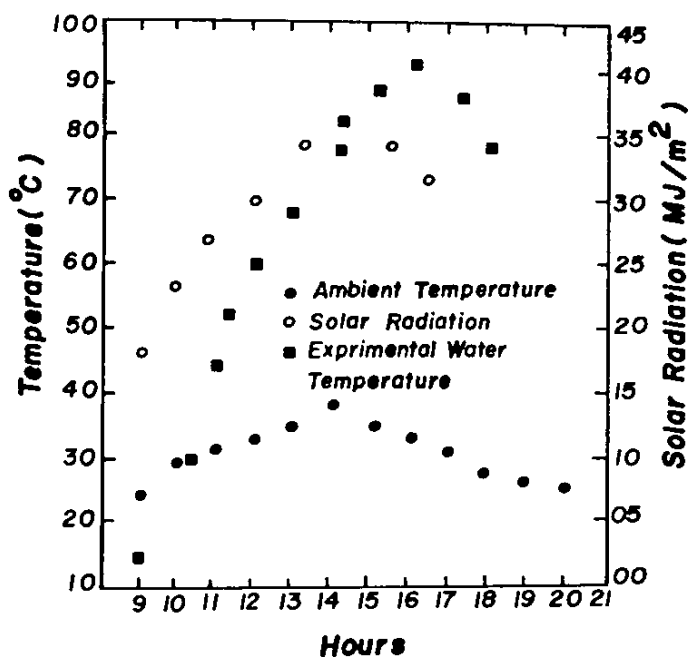
ساعات ۱۳، ۱۴ و ۱۶ بعد از ظهر است و از آن ساعت به بعد رو به کاهش می‌رود. در فصل زمستان با ضریب انتقال حرارت $6/2 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$ حداکثر درجه حرارت آب با عمق ۵ سانتیمتر به $37 \text{ } ^\circ\text{C}$ می‌رسد و با نصب منعکس‌کننده در کنار آن حداکثر درجه حرارت آب به $45 \text{ } ^\circ\text{C}$ می‌رسد که در شکل ۱ نشان داده شده است. ولی با عمق ۱۰ سانتیمتر حداکثر درجه حرارت آب به $32-28$ درجه سانتیگراد می‌رسد که این سیستم با چنین عمقی در زمستان منبع حرارتی خوبی نخواهد بود.

در فصل تابستان با ضریب انتقال حرارت $7/4 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$ حداکثر دمای آب سیستم با عمق ۱۰ سانتیمتر $90-85$ درجه سانتیگراد می‌باشد که این درجه حرارت منبع حرارتی خوبی است و در شکل ۲ نشان داده شده است. در بعضی از مناطق حتی سه بار در روز آب گرم $85 \text{ } ^\circ\text{C}$ از سیستم گرفته

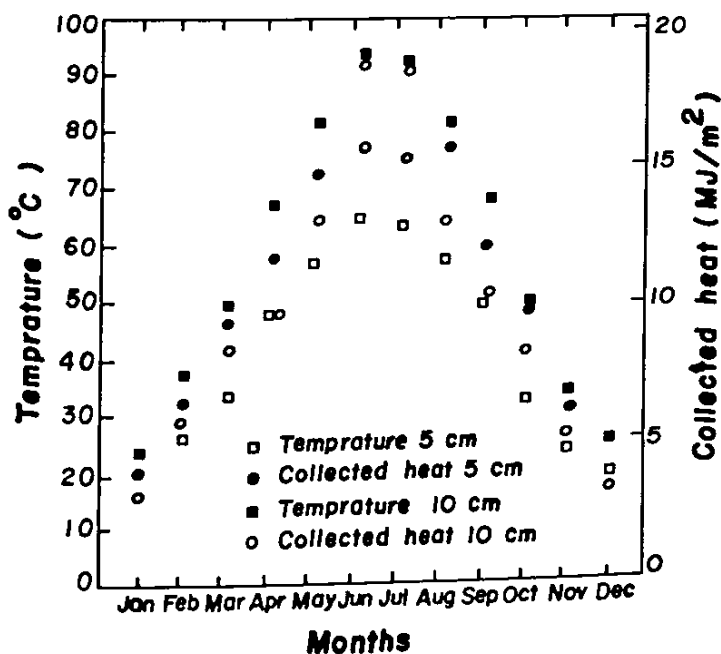


شکل ۱- درجه حرارت آب با عمق ۵ سانتیمتر، درجه حرارت محیط و شدت تابش خورشیدی در ساعات مختلف روز در زمستان.

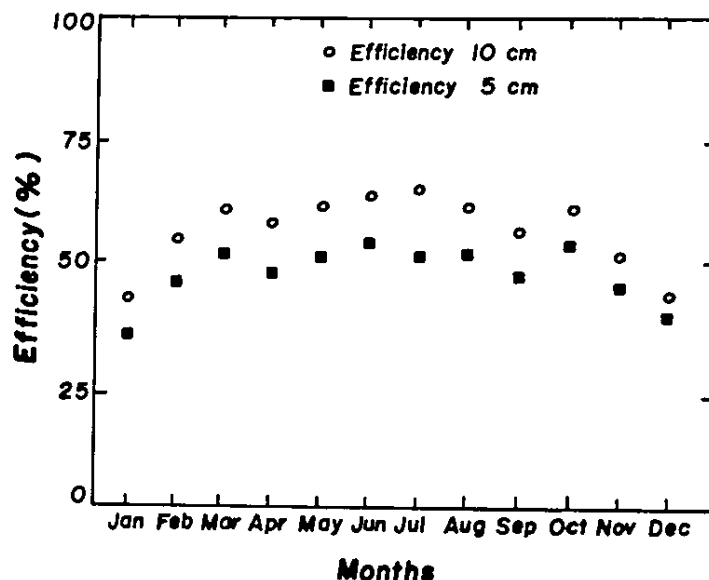
م. اخلاقی. مطالعه تجربی بر روی استخر کم عمق خورشیدی در ایران.



شکل ۲- درجه حرارت آب با عمق ۱۰ سانتیمتر، درجه حرارت محیط و شدت تابش خورشیدی در ساعات مختلف روز در تابستان.



شکل ۳- میانگین روزانه حرارت جذب شده توسط سیستم و حداکثر درجه حرارت آب با عمق ۵ و ۱۰ سانتیمتر در ماه‌های مختلف.



شکل ۴- میانگین روزانه راندمان سیستم با عمق ۱۰ و ۵ سانتیمتر در ماه‌های مختلف.

تشک دارد.

۳- پوشش خارجی استخر کم عمق تمام اشعه برخورد کرده به آن را از خود عبور نمی‌دهد.

۴- با عایق‌بندی کف و اطراف محفظه از افت حرارتی

سیستم کاسته می‌شود.

۵- افت حرارتی توسط سیستم از طریق هدایت - تابش و همرفت انجام می‌شود.

۶- حوضچه کم عمق خورشیدی با عمق ۱۰ سانتیمتر

آب، منبع حرارتی خوبی در زمستان نخواهد بود.

حدود ۲۵٪ آن توسط انعکاس و جابجایی از دست می‌رود و تقریباً " ۷۵٪ آن از پوشش پلاستیکی عبور می‌کند که از این مقدار هم تماماً " جذب سیستم نمی‌شود و آنهم به خاطر عوامل متعددی نظیر هدایت، تابش و هم رفت است.

نتیجه‌گیری

براساس بررسی‌های فوق‌الذکر نتایج زیر حاصل می‌گردد:

۱- بازدهی سیستم نسبت مستقیم به عمق آب دارد.

۲- افزایش درجه حرارت آب نسبت عکس با عمق آب

Reference

1. F. Shnman, Engineering News 61, 509 (1909).
2. A.I. Kudish and D. Wolf, Solar Energy 21, 317 (1978).
3. H.P. Garg B. Bandyopadhyay, U. Rani and D.S. Hrishikesan, Center of Energy Studies, Indian Institute of Technology, Hauz Khas. Energy Conservation and Management 22, 117 (1982).
4. A.F. Clark and W.C. Dickinson, Solar Energy Technology Handbook, Chapter 12, 377 (1980).
5. P.J. Lunde, Solar Thermal Engineering, John Wiley and Sons (1980).
6. H.E. Willsie, Engineering News 61, 511 (1909).

EXPERIMENTAL STUDY IN SHALLOW SOLAR PONDS IN IRAN

Mohammad Akhlaghi

Nuclear Research Centre
Atomic Energy Organization of Iran

Abstract

The experimental and theoretical results show that the maximum water temperature reached in a shallow solar pond in relation to the maximum ambient temperature in which the solar radiation reaches the highest amount has roughly 3 hours delay time. These observations show that the shallow solar pond with 10 cm depth can not be used as a suitable thermal source in winter, but it can be used as a good thermal source in summer. The shallow solar pond with 5 cm depth has a low heat application in winter, but it can be used as a high heat source (Temperature obtained up to 95°C). On this basis, several shallow solar ponds have been constructed in different parts of the country. In this article, the design characteristics as well as theoretical and experimental results of these ponds have been reviewed.