

بِسْمِ اللّٰهِ الرَّحْمٰنِ الرَّحِیْمِ

مهندسی خورشیدی فرآیندهای حرارتی (۲)  
(کاربردها و روشهای طراحی)

فصول ۱۲ تا ۲۴

مؤلفین

J.A.Duffie

W.A.Beckman

مترجمان

دکتر مرتضی خلجی اسدی

مهندس سید مهدی مرتضوی

مهندس ژوان رشیدی



تلفن: ۲-۶۶۴۸۲۱۹۱

سرشناسه	دافی، جان ا، ۱۹۲۵ - م. Duffie, John A
عنوان و نام پدیدآور	مهندسی خورشیدی فرآیندهای حرارتی (۲) کاربردها و روش‌های طراحی فصول ۱۲ تا ۲۴ / اجان دافی، ویلیام بکمن؛ ترجمه مرتضی خلجی اسدی، سیدمهدی مرتضوی، ژوان رشیدی.
مشخصات نشر	تهران: نوآور، ۱۳۹۲.
مشخصات ظاهری	۴۱۶ ص: مصور، جدول، نمودار.
شابک	۹۷۸-۶۰۰-۱۶۸-۱۱۱-۰
وضعیت فهرست نویسی	فیبا
یادداشت	کتاب حاضر ترجمه فصول ۱۲ - ۲۴ کتاب "Solar engineering of thermal processes." 3rd ed,c2006 است.
موضوع	انرژی خورشیدی
شناسه افزوده	بکمن، ویلیام ا، ۱۹۳۵ - م.
شناسه افزوده	Beckman, William A
شناسه افزوده	خلجی اسدی، مرتضی، ۱۳۳۳ - مترجم
شناسه افزوده	مرتضوی، سید مهدی، ۱۳۶۵ - مترجم
شناسه افزوده	رشیدی، ژوان، ۱۳۶۴ - مترجم
رده بندی کنگره	۱۳۹۲ م ۸۱۰/د۲ TJ
رده بندی دیویی	۴۷/۶۲۱
شماره کتابشناسی ملی	۳۱۷۰۴۸۳

## مهندسی خورشیدی فرآیندهای حرارتی (۲) - کاربردها و روش‌های طراحی

مترجمان: دکتر مرتضی خلجی اسدی، مهندس سید مهدی مرتضوی، مهندس ژوان رشیدی

نوآور

۵۰۰ نسخه

محمد رضا نصیرنیا

-

۹۷۸-۶۰۰-۱۶۸-۱۱۱-۰

ناشر:

شمارگان:

ناظر چاپ:

نوبت چاپ:

شابک:



نشر نوآور

### نمایشگاه دائمی و مرکز فروش:

نوآور: تهران - خ انقلاب، خ فخررازی، خ شهدای ژاندارمری  
نرسیده به خ دانشگاه ساختمان ایرانیان، پلاک ۵۸، طبقه دوم، واحد ۶  
۹۲-۹۱۹۱۴۱۹۱-۶۶۴۸۴۱۹۱-۰۹۱۲۶۰۶۲۳۸۳

www.noavarpub.com

فروشگاه ۱: تهران خ انقلاب، نیش خ ۱۲ فروردین پلاک ۱۳۱۰، کتابفروشی الیاس تلفن: ۶۶۹۵۵۸۷۸ - ۶۶۴۰۵۰۸۴

فروشگاه ۲: تهران خ انقلاب، بین خ ۱۲ فروردین و اردیبهشت، پلاک ۱۳۱۲، کتابفروشی صانعی تلفن: ۶۶۴۰۹۹۲۴ - ۶۶۴۰۵۳۸۵

فروشگاه ۳: تهران خ انقلاب، مقابل دانشگاه تهران، جنب بانک ملت، پلاک ۱۲۱۲، کتابفروشی گوتنبرگ تلفن: ۶۶۴۱۳۹۹۸ - ۶۶۴۰۲۵۷۹

فروشگاه ۴: اصفهان، م انقلاب، خ چهار باغ عباسی ابتدای خ سید علی خان، کتابفروشی مهرگان تلفن: ۳۱۱۱۲۱۳۷۵۱

حق چاپ و نشر برای ناشر محفوظ است.

## فهرست مطالب

پیشگفتار  
مقدمه

۲-۹ انرژی خورشیدی و سیستم‌های الکتریکی در  
مواقع غیر اوج بار

۲-۱۰ گرمایش بیش از حد سیستم خورشیدی

۲-۱۱ اقتصاد گرمایش خورشیدی

۲-۱۲ ملاحظات معماری

### بخش اول / کاربردها

#### فصل ۱: گرم کردن آب با استفاده از

##### خورشید

۱-۱ سیستم‌های گرمایش آب

۱-۲ یخ زدگی، جوشش و پوسته پوسته شدن

۱-۳ انرژی کمکی

۱-۴ سیستم‌های گردش اجباری

۱-۵ سیستم‌های پمپی با جریان کم

۱-۶ سیستم‌های گردش طبیعی

۱-۷ سیستم‌های یکپارچه کلکتور ذخیره

۱-۸ آب گرمکن‌های تجهیززی

۱-۹ گرمایش آب در سیستم‌های گرمایش و

سرمایش فضا

۱-۱۰ آزمایش آب گرمکن‌های خورشیدی

۱-۱۱ اقتصاد گرمایش خورشیدی آب

۱-۱۲ گرمایش استخر شنا

۱-۱۲ خلاصه

#### فصل ۳: گرمایش ساختمان - روش‌های غیر

##### فعال و ترکیبی (فعال و غیرفعال)

۳-۱ مفاهیم گرمایش غیرفعال

۳-۲ معیارهای آسایش و بارهای گرمایشی

۳-۳ کنترلرها و عایق‌های قابل حرکت

۳-۴ سایه: جلوآمدگی افقی و عمودی

(سایه‌بان‌های افقی و عمودی)

۳-۵ سیستم‌های دریافت مستقیم

۳-۶ دیوارها و بام‌های کلکتور - ذخیره

۳-۷ فضاهای خورشیدی

۳-۸ سیستم‌های ترکیبی با گرد آوری فعال و

ذخیره غیرفعال

۳-۹ سیستم‌های ترکیبی دیگر

۳-۱۰ کاربردهای غیرفعال

۳-۱۱ توزیع حرارت در ساختمان‌های غیرفعال

۳-۱۲ هزینه‌ها و اقتصاد گرمایش غیرفعال

#### فصل ۲: گرمایش ساختمان: فعال

۲-۱ تاریخچه

۲-۲ سیستم‌های گرمایش خورشیدی

۲-۳ سیستم مایع صفحه تخت خانه CSU II

۲-۴ سیستم هوایی خانه CSU II

۲-۵ مطالعه پارامترهای سیستم گرمایش

۲-۶ سیستم‌های انرژی خورشیدی - پمپ

حرارتی

۲-۷ سیستم‌های ذخیره تغییر فاز

۲-۸ سیستم‌های ذخیره فصلی انرژی

#### فصل ۴: سرمایش خورشیدی

۴-۱ سرمایش جذبی خورشیدی

۴-۲ تئوری سرمایش جذبی

۴-۳ گرمایش و سرمایش ترکیبی خورشیدی

۴-۴ مطالعه شبیه سازی تهویه مطبوع خورشیدی

۴-۵ تجربه کارکرد با سرمایش خورشیدی

۴-۶ کاربردهای تهویه مطبوع جذبی خورشیدی

۴-۷ سرمایش خورشیدی با جذب رطوبت

۶-۷ خشک کردن مستقیم خورشیدی  
۷-۷ خلاصه

۸-۴ تهویه و سیکل‌های گردش مجدد جاذب  
رطوبت

۱۰-۴ تهویه مطبوع مربوط به انرژی خورشیدی  
۱۱-۴ سرمایش غیرف

### بخش دوم / روش‌های طراحی

#### فصل ۸: شبیه‌سازی در طراحی فرآیند

#### فصل ۵: حرارت انرژی خورشیدی برای

##### خورشیدی

##### فرآیندهای صنعتی

- ۱-۸ برنامه شبیه‌سازی
- ۲-۸ برنامه (نرم افزار) شبیه‌سازی
- ۳-۸ اطلاعات حاصل از شبیه‌سازی‌ها
- ۴-۸ TRNSYS: برنامه شبیه‌سازی فرآیند حرارتی
- ۵-۸ شبیه‌سازی‌ها و آزمایشات
- ۶-۸ داده‌های هواشناسی
- ۷-۸ محدودیت‌های شبیه‌سازی

- ۱-۵ تلفیق با فرآیندهای صنعتی
- ۲-۵ ملاحظات طراحی مکانیکی
- ۳-۵ اقتصاد حرارت فرآیند صنعتی
- ۴-۵ کاربردهای گرمایشی هوا با مدار باز
- ۵-۵ کاربردهای سیستم گردش مجدد هوا
- ۶-۵ گرمایش آب برای مصارف صنعتی به صورت تک عبوره
- ۷-۵ گرمایش آب برای مصارف صنعتی به صورت گردش مجدد
- ۸-۵ آب‌گرمکن‌های حوضچه‌ای کم عمق
- ۹-۵ خلاصه

#### فصل ۹: طراحی سیستم‌های فعال: نمودار

#### فصل ۶: سیستم‌های توان حرارتی

##### f

##### خورشیدی

- ۱-۹ مرور روش‌های طراحی
- ۲-۹ روش نمودار  $F$
- ۳-۹ نمودار  $F$  برای سیستم‌های مایع
- ۴-۹ نمودار  $F$  برای سیستم‌های هوا
- ۵-۹ سیستم‌های گرمایش آب سرویس
- ۶-۹ نتایج نمودار  $F$ .
- ۷-۹ سیستم‌های موازی انرژی خورشیدی-پمپ حرارتی
- ۸-۹ خلاصه

- ۱-۶ سیستم‌های تبدیل حرارتی
- ۲-۶ سیستم پمپاژ GILA BEND
- ۳-۶ سیستم‌های لوز (LUZ)
- ۴-۶ سیستم‌های گیرنده مرکزی
- ۵-۶ نیروگاه‌های خورشیدی یک و دو

#### فصل ۱۰: طراحی سیستم‌های فعال به

#### فصل ۷: حوضچه‌های خورشیدی:

##### وسیله روش‌های قابلیت بهره‌برداری

##### فرآیندهای تبخیری

- ۱-۱۰ قابلیت بهره‌برداری ساعتی
- ۲-۱۰ قابلیت بهره‌برداری روزانه
- ۳-۱۰ روش نمودار  $\bar{\phi}$  و  $F$
- ۴-۱۰ خلاصه

- ۱-۷ حوضچه‌های خورشیدی با گرادیان نمک
- ۲-۷ تئوری حوضچه
- ۳-۷ کاربردهای حوضچه‌ها
- ۴-۷ تقطیر خورشیدی
- ۵-۷ تبخیر

**پیوست‌ها**

پیوست الف

مسائل

فصل ۱

فصل ۳

فصل ۷

فصل ۸

فصل ۹

فصل ۱۰

فصل ۱۱

فصل ۱۲

فصل ۱۳

پیوست ب

ب-۱ علائم اختصاری

حروف یونانی

اندیسه‌ها

ب-۲ علائم اختصاری تابش

اندیسه‌ها

پیوست پ

واحدهای سیستم بین‌المللی

پیوست ت:

 $R b$  ماهیانه به صورت تابعی از  $\phi$  و $\phi - \beta$ 

پیوست ج

خواص مواد

پیوست ح

ضرایب ارزش حال

پیوست خ

داده‌های هواشناسی

پیوست د

نمودارهای موقعیت خورشید

پیوست ر

ضرایب سایه اندازی میانگین سایان‌ها

**فصل ۱۱: طراحی سیستم‌های غیر فعال و****سیستم‌های تلفیقی گرمایشی**

۱-۱۱ راه‌های طراحی غیر فعال

۲-۱۱ روش نسبت خورشیدی - بار

۳-۱۱ روش طراحی عدم قابلیت بهره برداری:

دریافت مستقیم

۴-۱۱ روش طراحی عدم قابلیت بهره

برداری: دیوارهای کلکتور ذخیره

۵-۱۱ سیستم‌های تلفیقی: گردآوری فعال با ذخیره

غیر فعال

۶-۱۱ سایر سیستم‌های تلفیقی

**فصل ۱۲: طراحی سیستم‌های فتوولتائیک**

۱-۱۲ مدل‌های فتوولتائیک

۲-۱۲ مشخصه‌ها و مدل‌های ژنراتور PV

۳-۱۲ دمای سلول

۴-۱۲ مشخصه‌های بار و سیستم‌های متصل

مستقیم

۵-۱۲ کنترل‌ها و ردیابی نقطه توان بیشینه

۶-۱۲ کاربردها

۷-۱۲ روندهای طراحی

۸-۱۲ ژنراتورهای PV با شار بالای انرژی

خورشیدی

۹-۱۲ خلاصه

**فصل ۱۳: انرژی باد**

۱-۱۳ مقدمه

۲-۱۳ منبع باد

۳-۱۳ مدل توربین بادی یک بعدی

۴-۱۳ برآورد میانگین توان توربین بادی و تولید

انرژی

۵-۱۳ خلاصه

## پیشگفتار

با توسعه سریع اقتصاد جهانی، نیازهای انرژی به طور قابل توجهی افزایش یافته‌اند، به خصوص در کشورهای در حال توسعه که در حال تجربه رشد اقتصادی خود می‌باشند. درک این مطلب که منابع سوخت فسیلی مورد نیاز برای تولید الکتریسیته در حال کاهش می‌باشند و این که تغییرات آب و هوا به صدور کربن به اتمسفر وابسته است، توجه به منابع پاک و تجدید شونده انرژی را افزایش داده است. امروزه تحقیقات گسترده‌ای توسط محققین و اندیشمندان در این زمینه صورت می‌گیرد و موضوع انرژی در برنامه‌ریزی استراتژیک در مقیاس جهانی، منطقه‌ای و ملی جایگاه ویژه‌ای دارد.

در میان منابع انرژی تجدیدپذیر انرژی خورشیدی به عنوان یکی از موثرترین و در دسترس‌ترین منابع شناخته می‌شود. همچنین به دلیل پیشرفت‌های چند دهه اخیر در زمینه طراحی سیستم‌ها و به کارگیری انرژی خورشیدی، این انرژی دارای قابلیت رقابت اقتصادی با منابع متداول انرژی‌های فسیلی را داراست. کشور عزیزمان ایران نیز پتانسیلی قابل توجه را جهت بهره‌برداری از این منبع بی‌پایان انرژی را نشان می‌دهد.

نسخه لاتین این کتاب، Solar Engineering of Thermal Processes، جامع‌ترین کتاب در زمینه کتابهای دانشگاهی انرژی خورشیدی بوده و مولفین آن W.A.Beckman و J.A.Duffie از اساتید صاحب نام در این رشته هستند. کتاب مذکور عمدتاً در مقطع کارشناسی ارشد و در اکثر دانشگاه‌های مطرح جهان تدریس می‌شود. بنابراین مطالعه این کتاب به عموم محققین، دانشجویان و علاقه‌مندان به این زمینه کاری توصیه می‌شود.

امید است مجموعه حاضر بتواند نیازهای خوانندگان را تامین کرده و در زمینه تحقیق و توسعه برای کاربرد هر چه بیشتر انرژی خورشیدی در کشور موثر باشد. در خاتمه از کلیه عزیزان درخواست می‌شود موارد اصلاحات و نظرات خود را به آدرس ایمیل [mkhassadi@yahoo.com](mailto:mkhassadi@yahoo.com) ارسال فرمایند.

مرتضی خلجی اسدی

تلفن: ۰۲۱-۶۶۲۸۴۱۹۱

## مقدمه

مجموعه حاضر شامل دو قسمت عمده کاربردها (فصول ۱ تا ۷) و روشهای طراحی (فصول ۸ تا ۱۳) است. لازم به ذکر است که فصل ۱ این کتاب منطبق با فصل ۱۲ کتاب لاتین و همینطور به ترتیب تا فصل ۱۳ این کتاب که ترجمه فصل ۲۴ کتاب لاتین می‌باشد. قسمت کاربردها بیشتر به صورت توصیفی ارائه شده است، گرچه نتایج محاسبات عملکرد کمی، اندازه‌گیری آن و ارزیابی‌های اقتصادی نیز در بیشتر فصول وجود دارد. اهداف کلی این بخش را می‌توان شامل تعیین نوع کاربرد عملی و تعیین امکان‌پذیری کاربردها دانست. در قسمت روش‌های طراحی، روش‌های برآورد عملکرد طولانی مدت فرآیندهای انرژی خورشیدی در نظر گرفته می‌شوند، که قدمی ضروری در طراحی آنها می‌باشد.

فصل ۱ به سیستم‌های گرمایش فعال و غیر فعال آب می‌پردازد و بسیاری از جنبه‌های فرآیندهای خورشیدی را که بیشتر توسعه یافته پوشش می‌دهد، ترکیب بندی‌های مختلف اجزا این سیستم‌ها نیز در این فصل مورد بررسی قرار می‌گیرند. تعمیم عمل گرمایش آب به سیستم‌های بزرگتر برای گرمایش فعال فضا در فصل ۲ توضیح داده می‌شود، خانه‌های خورشیدی مبحث مورد توجه در آن فصل به شمار می‌روند. فصل ۳ با جنبه‌های حرارتی فرآیندهای گرمایش غیرفعال و مهندسی بخشی از مسائل ترکیبی مهندسی و معماری طراحی ساختمان‌ها برای استفاده از تابش خورشیدی سروکار دارد. برآورد عملکرد حرارتی طولانی مدت سیستم‌های انرژی خورشیدی غیر فعال در این فصل مورد توجه خواهد بود. سرمایش خورشیدی ساختمان‌ها، به ویژه برای کاربرد در مناطق آب و هوای ملایم، راهکار مناسبی به نظر می‌رسد، از این رو فصل ۴ به فرآیندهای سرمایشی که با تابش خورشیدی انجام می‌شوند مربوط است، این فرآیندها ابتدا دسته‌بندی شده سپس مورد ارزیابی قرار می‌گیرند.

سه فصل بعدی راجع به کاربردهایی هستند که معمولاً در اندازه‌های بزرگتر انجام می‌شوند. اولین فصل، فصل ۵ است؛ در فرآیند گرمایش صنعتی، کاربردهایی که به دلیل کاربرد بسیار زیاد انرژی در دماهای قابل مقایسه با عملکرد کلکتور در صنعت بسیار مورد توجه هستند، ولی به دلایل عملی و اقتصادی به طور گسترده‌ای استفاده نشده‌اند. فصل ۶ درباره فرآیندهای حرارتی برای تبدیل انرژی خورشیدی به انرژی مکانیکی بحث می‌کند و با آزمایش‌ها و کاربردهای صنعتی سروکار دارد که خیلی کم انجام شده‌اند. فصل ۷ در مورد حوضچه‌های خورشیدی و فرآیندهای تبخیری بحث می‌کند، این فصل هم چنین شامل فرآیندهای سنتی تبخیر و خشک کنی برای آب زدایی و نیز تقطیر جهت بازیافت آب می‌باشد. این فصل برخی

روش‌های محاسباتی و تئوریک را برای تقطیر خورشیدی در برمی‌گیرد. فصل ۸ در رابطه با شبیه‌سازی‌های مورد استفاده در روند طراحی طرح شده است. این شبیه‌سازی‌ها محاسبات عملکرد حرارتی گذرا به همراه جزئیات آن را پوشش می‌دهند. موازی‌سازی بین این نتایج عددی و آزمایشات فیزیکی که برای اطمینان از محاسبات ضروری می‌باشد، انجام می‌گیرد. یک شرح مختصر از برنامه شبیه‌سازی TRNSYS ارائه می‌شود که مثال‌های استفاده از آن را شامل می‌گردد. در این فصل اهمیت استفاده از شبیه‌سازی در طراحی سیستم‌هایی با ابعاد وسیع تر نشان داده می‌شود.

فصل‌های ۹ تا ۱۱ بحث‌هایی راجع به روش‌هایی برای جایگزینی محاسبات ماهانه با محاسبات دقیق شبیه‌سازی‌ها هستند. این روش‌های طراحی یا بر پایه روابط نتایج آزمایشات عددی (شبیه‌سازی) فراوان و یا بر پایه مفاهیم قابلیت بهره‌وری می‌باشند. محدوده‌ای از انواع سیستم‌های فعال و غیرفعال در این فصول مورد بررسی قرار می‌گیرند.

فرآیندی را که فصل ۱۲ مورد بررسی قرار می‌دهد عملاً حرارتی نیست، این فرآیندها، فرآیندهای فتوولتائیک (PV) هستند، اما بر اساس همان اطلاعات پیش‌زمینه‌ای و مشی سیستم‌هایی بنا می‌شود که برای فرآیندهای حرارتی از آنها استفاده می‌شود. یک شرح مختصر و با کیفیت از سلول‌های خورشیدی ارائه می‌شود که با بحث‌های ژنراتور و مدل‌های سیستم ادامه می‌یابد و سپس یک روند طراحی ارائه می‌گردد که برای تعیین خروجی طولانی مدت بسیاری از سیستم‌های PV قابل کاربرد است.

انرژی باد، یک شکل غیر مستقیم از انرژی خورشیدی می‌باشد. بنابراین فصل آخر از این کتاب اصول و مبانی این منبع انرژی را پوشش می‌دهد. در ادامه اصول حکم فرا بر توان باد و تبدیل توان باد به توان مکانیکی با عبور باد از یک ماشین بادی را ارائه می‌دهد. یک روند طراحی برای پیش‌بینی عملکرد طراحی طولانی مدت ماشین‌های بادی منفرد ارائه می‌شود.

نشر نوآور

تلفن: ۲-۶۶۴۸۴۱۹۱





بخش اول  
کاربردها

تلفن: ۲-۶۶۲۸۲۱۹۱

قسمت اول به مفاهیم پایه‌ای و قوانین تعیین کننده عملیات بخش‌ها و سیستم‌های تعیین کننده فرآیند خورشیدی، قاعده‌مهندسی معادلات کارا برای کلکتورها، اقتصاد و دیگر بخش‌ها مربوط می‌شد. با این پیش زمینه، به بحث راجع به کاربردهای انرژی خورشیدی جهت تأمین نیازهای مختلف انرژی می‌پردازیم. تأکید اساسی در این بخش بر روی کاربردها جهت گرمایش، آب داغ و سرمایه‌گذاری در ساختمان‌ها توسط فرآیندهای فعال و غیر فعال می‌باشد.

بیشتر قسمت دوم کیفی و توصیفی می‌باشد، گرچه بیشتر فصول شامل نتایج محاسبات عملکرد کمی، اندازه‌گیری آن و ارزیابی‌های اقتصادی می‌باشد. اهداف، شامل تعیین نوع کاربرد عملی، تعیین امکان پذیری کاربردها و قرار دادن آنها در قالبی است که بتواند امکان پذیر شوند. مسائل عملی برخاسته از این کاربردها ذکر شده‌اند.

فصل ۱ به سیستم‌های گرمایش فعال و غیر فعال آب می‌پردازد و بسیاری از جنبه‌های فرآیندهای خورشیدی را که بیشتر توسعه یافته پوشش می‌دهد. تعمیم عمل گرمایش آب به سیستم‌های بزرگتر برای گرمایش فعال فضا در فصل ۲ توضیح داده می‌شود. فصل ۵ به جنبه‌های حرارتی فرآیندهای گرمایش غیر فعال و مهندسی بخشی از مسائل ترکیبی مهندسی و معماری طراحی ساختمان‌ها برای استفاده از تابش خورشیدی سروکار دارد. فصل ۴ به فرآیندهای سرمایه‌گذاری که با تابش خورشیدی انجام می‌شوند مربوط است.

سه فصل بعدی راجع به کاربردهایی هستند که معمولاً در اندازه‌های بزرگتر انجام می‌شوند. اولی فصل ۵ است؛ در فرآیند گرمایش صنعتی، کاربردهایی که به دلیل کاربرد بسیار زیاد انرژی در دماهای قابل مقایسه با عملکرد کلکتور در صنعت بسیار مورد توجه هستند، ولی به دلایل عملی و اقتصادی به طور گسترده‌ای استفاده نشده‌اند. فصل ۶ درباره فرآیندهای حرارتی برای تبدیل انرژی خورشیدی به انرژی مکانیکی بحث می‌کند و با آزمایش‌ها و کاربردهای صنعتی سروکار دارد که خیلی کم انجام شده‌اند. هم چنین شامل بحثی راجع به نیروگاه‌های LUZ در کالیفرنیا است که ظرفیت انرژی الکتریکی مجموع چند صد مگاوات را دارا است. فصل ۲ در مورد حوضچه‌های خورشیدی و فرآیندهای تبخیری بحث می‌کند که شامل اطلاعاتی درباره نیروگاه‌ها برای اوج مصرف در اسرائیل است که بر پایه حوضچه‌های خورشیدی می‌باشد و هم چنین شامل فرآیندهای سنتی تبخیر و خشک کنی برای آب زدایی و نیز تقطیر جهت بازیافت آب می‌باشد. این فصل برخی روش‌های محاسباتی و تئوریک را برای تقطیر خورشیدی در برمی‌گیرد.

تلفن: ۲-۶۶۴۸۴۱۹۱

## فصل ۱

### گرم کردن آب با استفاده از خورشید

این فصل اولین بخش از فصول مربوط به کاربردهای حرارتی است. در این فصل، کاربرد گرمایش خورشیدی را به منظور مصارف آب داغ خانگی و صنعتی مورد بحث قرار می‌دهیم. شرح سیستم و اجزای آن و ملاحظات مهم طراحی به طور خلاصه بیان می‌شود. ملاحظاتی که در طراحی سیستم‌های گرمایش آب مهم هستند، در سرمایش و گرمایش خورشیدی نیز بنیادین هستند. این کاربردها در فصل‌های پیش‌رو تحت پوشش قرار می‌گیرند. بسیاری از اصولی که در اینجا برای آب داغ سرویس ساختمان‌ها مطرح هستند، در فرآیندهای صنعتی حرارتی نیز کاربرد دارند که در فصل ۵ مطرح می‌شوند.

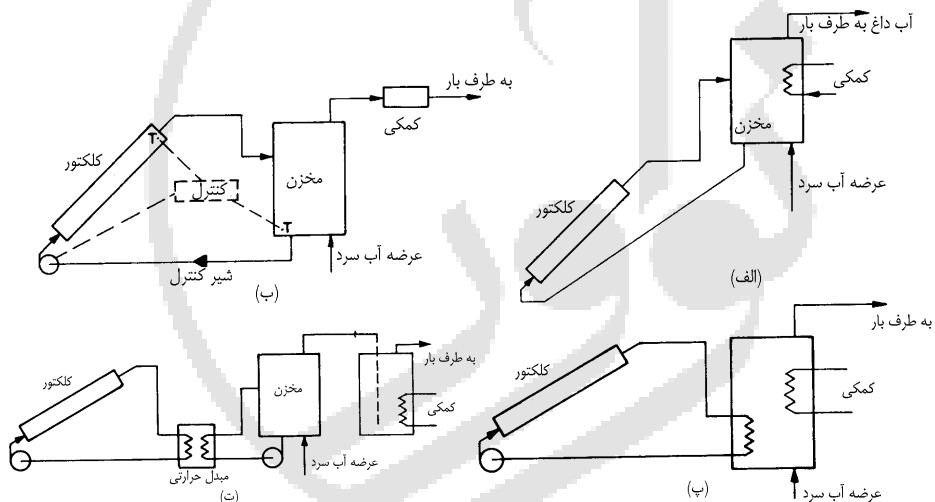
در سال‌های اخیر دانش قابل توجهی در زمینه سیستم‌های آب داغ با دبی جریان کم، توسعه یافته است. نرخ جریان کلکتوری این سیستم‌ها به میزان یک پنجم (یا کمی بیشتر از آن) نرخ جریان در کلکتورهایی است که به طور معمول در سیستم‌های گردش اجباری استفاده می‌شوند.  $F_R$  کلکتورهایی که به این شیوه کار می‌کنند، پایین‌تر از آن‌هایی است که به روش معمول کار می‌کنند، اما لایه بندی بالاتری در مخازن ذخیره، قابل دسترس است که منجر به دمای پایین‌تر ورودی به کلکتور و عملکرد بهتر می‌شود. این توسعه‌ها بسیار حائز اهمیت هستند و در بخش جداگانه‌ای به آنها پرداخته می‌شود.

#### ۱-۱ سیستم‌های گرمایش آب

اجزای اصلی آب‌گرمکن‌های خورشیدی در پیکربندی‌های بسیاری قرار می‌گیرند. رایج‌ترین این پیکربندی‌ها در شکل ۱-۱-۱ نشان داده شده است. در این شکل نشان داده شده است که انرژی کمکی به سه طریق مختلف می‌تواند به سیستم اضافه شود. این سه طریق در بین چهار روش انتقال حرارت از کلکتور به مخزن، قابل تعویض هستند. یک آب گرم‌کن غیر فعال (یک سیستم گردش طبیعی یا ترموسیفونی) در شکل ۱-۱-۱-الف نشان داده شده است. مخزن بالای کلکتور قرار می‌گیرد و هنگامی که انرژی خورشیدی در کلکتور به آب داخل کلکتور انرژی اضافه می‌کند، یک اختلاف چگالی را به وجود می‌آورد و آب از طریق جابجایی طبیعی به

گردش در می‌آید.

انرژی کمکی به آب موجود در مخزن اضافه می‌شود تا یک منبع آب داغ را برقرار سازد. شکل ۱-۱-۱-ب مثالی از یک سیستم گردش اجباری را نشان می‌دهد. در این سیستم یک پمپ مورد نیاز است. این پمپ معمولاً به وسیله یک ترموستات تفاضلی کنترل می‌شود که پمپ را هنگامی که دمای هدر بالایی از دمای آب موجود در کف مخزن به مقدار قابل توجهی بیشتر باشد، جهت تضمین ایستایی سیستم کنترل، روشن می‌کند. (همان طور که در بخش ۱۰-۴ بیان شد). یک شیر یک طرفه برای جلوگیری از گردش معکوس و افت‌های حرارتی از کلکتور در اثر گردش معکوس به هنگام شب، مورد نیاز است. انرژی کمکی به آب درون لوله‌ای که در حال ترک کردن مخزن به سمت بار است اضافه می‌شود.



شکل ۱-۱-۱-الف گوی ترکیب بندی آب گرمکن‌های رایج (الف) یک سیستم گردش طبیعی (ب) یک سیستم گردش اجباری با یک مخزن (پ) یک سیستم با مدار ضد یخ و مبدل حرارتی داخلی (ت) سیستم با مدار ضد یخ و مبدل حرارتی خارجی. حرارت کمکی به صورت اضافه شدن به مخزن، در یک گرمکن و یا در مخزن دوم نشان داده شده است. هر کدام از روش‌های حرارت کمکی می‌تواند در هر یک از ترکیب بندی‌های فوق قرار گیرد.

در مناطق آب و هوایی که دمای پایینی دارند و یخ زدگی رخ می‌دهد، طرح‌های (الف) و (ب) نیاز به اصلاح دارند. طرح (الف) می‌تواند شامل یک مبدل حرارتی در مخزن باشد و طرح (ب) می‌تواند مجهز به سیستم تخلیه باشد و هنگامی که پمپ کار نمی‌کند تمام آب کلکتور و لوله‌ها را دریافت می‌نماید. مثال‌هایی از سیستم‌هایی که از سیالات ضد یخ استفاده می‌کنند در شکل‌های ۱-۱-۱-پ و ۱-۱-۱-ت نشان داده شده‌اند. مبدل‌های حرارتی کلکتور می‌توانند داخل یا خارج از کلکتور قرار گیرند. در یک طرح اصلاحی از طرح (پ) مبدل حرارتی، پوششی را دور مخزن تشکیل می‌دهد (نودسن<sup>۱</sup> و فوربو<sup>۱</sup>، ۲۰۰۴) و (فوربو و همکاران، ۲۰۰۵). انرژی

۱. Knudsen

کمکی اضافه شده به آب مخزن، در شکل ۱-۱-۱-۱ پ نشان داده شده است. عرضه انرژی کمکی همچنین می تواند به وسیله آب گرمکن های برقی، نفتی یا گازی با ظرفیت ذخیره خود به سیستم انجام شود. در شکل ۱-۱-۱-۱ ت سیستمی با دو مخزن نشان داده شده است. هر کدام از این سیستم ها ممکن است با یک شیر مخلوط کن آب سرد منبع را با آب گرم شده مخلوط کند که یک حد بالا روی دمای آب گرم روانه شده به توزیع کننده، قرار می دهد. سایر تجهیزاتی که نشان داده نشده اند ممکن است شیرهای اطمینان فشار مخازن انبساط باشند.

آب گرمکن های خورشیدی در تمام دنیا ساخته می شوند. آنها در اوایل قرن گذشته در فلوریدا و کالیفرنیا رایج بودند، هنگامی که گاز طبیعی ارزان قیمت در دسترس قرار گرفت، ناپدید شدند و هنگامی که قیمت گاز و سایر سوخت ها افزایش یافت مجدداً نصب شدند. گرم کردن آب با خورشید این مزیت را دارد که بارهای حرارتی معمولاً در طول سال یکنواخت هستند و این مسأله منجر به استفاده بالای تجهیزات گرمایش خورشیدی می گردد. شکل ۱-۱-۲ آب گرمکن های خانگی و صنعتی را نشان می دهد. سیستم های گریفیت<sup>۲</sup> و پرت<sup>۱</sup> از جابجایی طبیعی استفاده می کنند و سایر سیستم ها، جابجایی اجباری را به خدمت می گیرند.

کلکتورهایی که در بسیاری از سیستم های آب گرمکن استفاده می شوند، شبیه کلکتور شکل ۶-۲۳-۳ هستند که ریزرهایی موازی آنها بین ۰/۱ تا ۰/۱۵ متر از یکدیگر فاصله دارند. جنس صفحات می توانند مس یا آهن باشند و طرح های دیگر صفحات نیز به کار برده شوند. برای مثال بعضی از آنها از دو جوش نقطه ای، جوش درزی یا صفحات متصل به هم توسط نورد، از فولاد ضدزنگ یا معمولی، مس و یا آلومینیوم ساخته می شوند. مسیرهای عبور سیال بین صفحات به وسیله انبساط هیدرولیک پس از جوش دادن شکل داده می شوند. همچنین از لوله های مارپیچ استفاده می شود که ممکن است برای سیستم های جریان میکرو رایج تر باشند و در بخش ۱-۵ مورد بررسی قرار می گیرند. صفحات جاذب در یک جعبه فلزی نصب می شوند، که ۵۰ تا ۱۰۰ میلیمتر عایق کاری پشت صفحه و یک پوشش شیشه ای روی صفحات قرار می گیرد. ابعاد یک کلکتور نمونه که در ایالات متحده ساخته شده ۱×۲ متر است. مدول های گرمکن های تولید شده در استرالیا و رژیم صهیونیستی به طور نمونه ۰/۶×۱/۲ متر، ۱×۲ متر یا ۱/۲×۱/۲ متر هستند.

۱. Furbo  
۲. Griffite  
۳. Perth  
۴. Raisers