بسم الله الرحمن الرحيم

کلیه حقوق مادی مترتب بر نتایج مطالعات، ابتکارات و

نوآوری‌های ناشی از تحقیق موضوع این پایان نامه

متعلق به دانشگاه رازی است.

دانشکده فنی مهندسی

گروه برق- الکترونیک

پایان نامه جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد رشته‌ی مهندسی برق گرایش الکترونیک

عنوان پایان نامه

بررسی و پیش‌بینی تأثیر استفاده از نانو سیال بر کارایی کلکتورهای صفحه تخت خورشیدی با استفاده از شبکه‌های عصبی

استاد راهنما:

دکتر محسن حیاتی

استاد مشاور :

دکتر فرزاد ویسی

نگارش:

نسترن آقایی

دی ۱۳۹۰

سپاسگزاری

من در طول دوران تحصیلی و تهیه این پایان‌نامه از راهنمایی‌ها و مساعدت‌های اساتید ارجمند و دوستان عزیزی بهره برده‌ام، که در اینجا لازم می‌دانم از کلیه ایشان تشکر و قدردانی خالصانه داشته باشم، به ویژه از اساتید فرهیخته جناب آقای دکتر محسن حیاتی و جناب آقای دکتر فرزاد ویسی کمال سپاسگزاری را دارم.

تقدیم به

به پدر و مادر عزیز و بزرگوارم که همواره یاریم نموده‌اند و برادران مهربانم ناصر و کامیار که با صبر و حوصله مرا در تهیه و تنظیم این پایان‌نامه یاری دادند. باشد که قطره‌ای از دریای بیکران محبت‌هایشان را سپاس گفته باشم.

چکیده

در این پایان‌نامه با استفاده از شبکه عصبی مدلی برای پیش بینی راندمان کلکتورهای خورشیدی صفحه تخت و تأثیر استفاده از نانوسیال اضافه شده در سیال پایه (آب) بر راندمان، هم‌چنین پیش‌بینی دمای سیال خروجی، ارائه گردیده است. استفاده از نانو سیال باعث افزایش راندمان کلکتور می‌شود که با استفاده از شبکه عصبی این روند مدل‌سازی شده و راندمان سیستم قابل پیش‌بینی خواهد بود.

داده‌های ورودی و خروجی از تست‌هایی که بر روی یک نوع کلکتور خورشیدی صفحه تخت انجام شده، بدست آمده و با استفاده از شبکه عصبی آموزش داده شده‌اند. این شبکه قادر است روابطی را که بین ورودی و خروجی برقرار است تحلیل کرده و مدلی جهت پیش بینی راندمان و دمای خروجی سیال پیدا کند.

با توجه به دشواری انجام عملی آزمایش‌های زیاد در شرایط محیطی، زمانی و مکانی متفاوت، ارائه چنین مدلی بسیار مفید و کم‌هزینه خواهد بود.

مزیت دیگر مدل ارائه شده اینست که اعمال تغییرات در هر شرایطی را به خوبی و با کم‌ترین درصد خطا به ما نشان دهد.

مدل پیشنهادی دارای هفت ورودی و دو خروجی است که ورودی‌های آن شامل میزان تشعشع خورشید، دمای محیط، دمای سیال ورودی، درصد وزنی Al_2O_3 افزوده شده به سیال، دبی سیال ورودی (آب) و حضور یا عدم حضور پایدارکننده و ضریب هدایت گرمایی می‌باشد و خروجی‌های آن شامل دمای سیال خروجی و راندمان سیستم می‌باشد. روابط متفاوتی برای محاسبه خطای سیستم استفاده شده است.

با توجه به نتایج به دست آمده از شبکه‌های متعدد تست شده شبکه پرسپترون چند لایه با کم‌ترین درصد خطا انتخاب، و صحت روابط بین پارامترها در سیستم‌های کلکتورهای خورشیدی صفحه تخت با استفاده از خروجی‌های شبکه نشان داده شد.

کلید واژه: شبکه عصبی مصنوعی، شبکه پرسپترون چند لایه، کلکتور صفحه تخت خورشیدی، کارایی، نانوسیال

مخففها

Artificial Neural Network	ANN
Multi-Layer Perceptron	MLP
Back Propagation	BP
Mean Absolute Percentage Error	MAPE
Root Mean Square Error	RMSE
Mean Relative Error	MRE
Correlation Coefficient	R^2
Coefficient Of Variance	COV

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل اول: کلکتورهای صفحه تخت خورشیدی

مقدمه ۲
۱-۱- کاربرد انرژی خورشیدی در جهان ۲
۱-۲- کلکتورهای صفحه تخت خورشیدی ۴
۱-۳- اجزای کلکتور صفحه تخت خورشیدی ۶
۱-۳-۱- صفحه جاذب ۶
۱-۳-۲- سیال انتقال‌دهنده گرما (سیال عامل) ۷
۱-۳-۳- صفحات پوششی ۸
۱-۳-۴- قاب گردآورنده ۹
۱-۳-۵- مخزن ذخیره ۹
۱-۳-۶- مبدل گرمایی ۹
۱-۳-۷- عایق‌بندی حرارتی ۱۰
۱-۴- روش تست کلکتورهای خورشیدی و روابط تئوری آن ۱۱
۱-۴-۱- آزمون کارایی کلکتورهای خورشیدی ۱۱
۱-۴-۲- شرح مراحل آزمایش ۱۳

فصل دوم : شبکه عصبی مصنوعی

مقدمه ۱۵
۲-۱- ساختار مغز ۱۵
۲-۲- مدل ریاضی نرون ۱۹
۲-۲-۱- مدل تک ورودی ۱۹
۲-۲-۲- مدل چند ورودی ۲۰
۲-۳- توابع محرک ۲۱
۲-۳-۱- تابع محرک خطی ۲۱
۲-۳-۲- تابع محرک آستانه‌ای دو مقداره حدی ۲۲
۲-۳-۳- تابع محرک زیگموئید ۲۳
۲-۳-۴- تابع محرک هیپربولیکی ۲۴
۲-۴- ساختار شبکه‌های عصبی ۲۵
۲-۴-۱- شبکه تک لایه ۲۵
۲-۴-۲- شبکه‌های چند لایه ۲۶
۲-۵- یادگیری شبکه ۲۹
۲-۵-۱- انواع یادگیری ۲۹
۲-۶- پرسپترون ۳۰
۲-۷- آموزش پرسپترون ۳۲

۲-۸- شبکه‌های پرسپترون چند لایه ۳۲
۲-۹- الگوریتم پس انتشار ۳۴
۲-۱۰- کاربرد شبکه‌های عصبی ۳۶
۲-۱۱- مروری بر کاربردهای شبکه عصبی مصنوعی در بدست آوردن پارامترهای خروجی سیستم‌های گرمکن خورشیدی ۴۰

فصل سوم: پیاده‌سازی روش‌ها و نتایج

مقدمه ۴۴
۳-۱- مدل شبکه ۴۴
۳-۱- ۱- نرمالیزه کردن داده‌های ورودی و خروجی ۴۹
۳-۲- نتایج به دست آمده از آموزش شبکه عصبی ۵۰
۳-۲-۱- طراحی شبکه بهینه ۵۰
۳-۲-۲ نتایج شبکه پرسپترون چند لایه ۵۳
۳-۳- نتیجه‌گیری ۶۸
۳-۴- پیشنهادات ۶۸
پیوست ۱ ..... ۷۰
پیوست ۲ ..... ۷۵
پیوست ۳ ..... ۸۰
منابع و مآخذ ۸۷
چکیده انگلیسی ۹۱

فهرست جداول

عنوان **صفحه**

جدول (۱-۱): مشخصات کلکتور ۱۰
جدول (۲-۱): توابع محرک با علائم قراردادی ۲۴
جدول (۳-۱): مقادیر محاسبه شده توسط شبکه، مربوط به قسمت آموزش اطلاعات در شبکه ۵۴
جدول (۳-۲): مقادیر محاسبه شده توسط شبکه، مربوط به قسمت آزمایش شبکه ۵۵
جدول (۳-۳): ساختار بهینه شبکه ۵۶
جدول (۳-۴): نتایج پیش‌بینی شبکه برای بررسی اثر افزایش نانوسیال ۶۳
جدول (۳-۵): نتایج پیش‌بینی شبکه برای بررسی اثر افزایش دبی سیال ۶۶

فهرست اشکال

عنوان **صفحه**

شکل (۱-۱): نمایش کاربردهای مختلف انرژی خورشیدی ۳
شکل (۱-۲): کلکتور های صفحه تخت خورشیدی و اجزای آن‌ها ۵
شکل (۱-۳): نمایش دوره‌های داده برداری برای تست‌های کارایی ۱۳
شکل (۲-۱): نرون بیولوژیکی ۱۶
شکل (۲-۲): مدل نرون تک ورودی ۲۰
شکل (۲-۳): مدل چند ورودی یک نرون ۲۱
شکل (۲-۴): تابع محرک خطی ۲۲
شکل (۲-۵): تابع محرک آستانه‌ای دو مقداره حدی ۲۳
شکل (۲-۶): تابع محرک زیگموئیدی ۲۳
شکل (۲-۷): تابع محرک هیپربولیکی ۲۴
شکل (۲-۸): فرم فشرده یا ماتریسی شبکه تک لایه با S نرون ۲۶
شکل (۲-۹): شبکه پیش خور سه لایه ۲۷
شکل (۲-۱۰): شبکه پس خور گسسته در حوزه زمان ۲۹
شکل (۲-۱۱): یادگیری با ناظر ۳۰
شکل (۲-۱۲): یادگیری بدون ناظر ۳۰
شکل (۲-۱۳): یک شبکه پرسپترون ۳۱
شکل (۲-۱۴): جداسازی خطی پرسپترون ۳۲
شکل (۲-۱۵): نمای شبکه پرسپترون سه لایه ۳۳
شکل (۳-۱): نمایش دیتاهای ورودی ۴۵
شکل (۳-۲): نمای بلوکی شبکه ۴۷
شکل (۳-۳): نمایش اجزای شبکه ۴۸
شکل (۳-۴): فلوچارت نحوه آموزش شبکه عصبی ۵۲
شکل (۳-۵): نمودار مقایسه اطلاعات حاصل از پیش بینی شبکه با نتایج تجربی برای راندمان و دمای سیال خروجی (شبکه چهار لایه) ۵۶
شکل (۳-۶): نمودار مقایسه اطلاعات حاصل از پیش بینی شبکه با نتایج تجربی برای راندمان و دمای سیال خروجی (شبکه سه لایه) ۵۷
شکل (۳-۷): نمایش تطابق خط پیش بینی شبکه با مقادیر تجربی با در نظر گرفتن آب خالص به عنوان سیال عامل ۶۰
شکل (۳-۸): نمایش تطابق خط پیش بینی شبکه با مقادیر تجربی با در نظر گرفتن نانو سیال۰/۲٪ به عنوان سیال عامل ۶۱

شکل (۳-۹): نمایش تطابق خط پیش بینی شبکه با مقادیر تجربی با در نظر گرفتن نانو سیال۰/۴٪ به عنوان سیال عامل.....۶۲
شکل (۳-۱۰): نمایش مقایسه نتایج شبکه در هر سه حالت.....۶۳
شکل (۳-۱۱): نمایش تطابق خط پیش بینی شبکه با مقادیر تجربی در حالت دبی سیال عامل (LIT/MIN) ۱.....۶۴
شکل (۳-۱۲): نمایش تطابق خط پیش بینی شبکه با مقادیر تجربی در حالت دبی سیال عامل (LIT/MIN) ۲.....۶۵
شکل (۳-۱۳): نمایش تطابق خط پیش بینی شبکه با مقادیر تجربی در حالت دبی سیال عامل (LIT/MIN) ۳.....۶۶
شکل (۳-۱۴): نمایش مقایسه نتایج شبکه در هر سه حالت.....۶۷

فصل اول

کارایی کلکتورهای خورشیدی صفحه تخت

مقدمه

انرژی حاصله از خورشید در هر ثانیه ۱۳ میلیون برابر انرژی برق تولیدی ایالات‌متحده در مدت یک سال است. اگر چه تنها یک میلیونیوم انرژی خورشید به زمین می‌رسد ولی با این وجود این مقدار انرژی به قدری زیاد است که نیاز به انرژی را در کل سیاره زمین فراهم می‌کند. انرژی خورشید در مقایسه با سایر انرژی‌ها کارکرد مؤثرش را در تولید برق و گرما ثابت کرده است و به طور وسیعی برای گرمایش آب و فضا، سیستم‌های سرمایشی و خشک کردن محصولات کشاورزی استفاده می‌شود. استفاده از انرژی خورشیدی در تولید برق نیز به طرق مختلف امکان پذیر است.

استفاده از انرژی خورشیدی[1] امروزه به عنوان یکی از مهم‌ترین عوامل توسعه در زیرساخت‌های تکنولوژی و اقتصادی در نظر گرفته شده و کاهش مصرف انرژی فسیلی و کاهش آلودگی زیست محیطی را به همراه دارد و با توجه به این که انرژی خورشیدی به طور معمول برای تولید الکتریسیته از طریق تکنولوژی PV[2] و گرم کردن آب (سیال) از طریق تکنولوژی کلکتورهای صفحه تخت، به کار می‌رود و بدست آوردن پارامترهای خروجی تحت شرایط تست‌های متفاوت کاری بس پیچیده، پرهزینه و زمان‌بر می‌باشد. لذا به‌کارگیری شبکه عصبی جهت هوشمند سازی سیستم‌های خورشیدی و پیش‌بینی پارامتر خروجی مورد نظر، بسیار مفید خواهد بود.

۱-۱-کاربرد انرژی خورشیدی در جهان

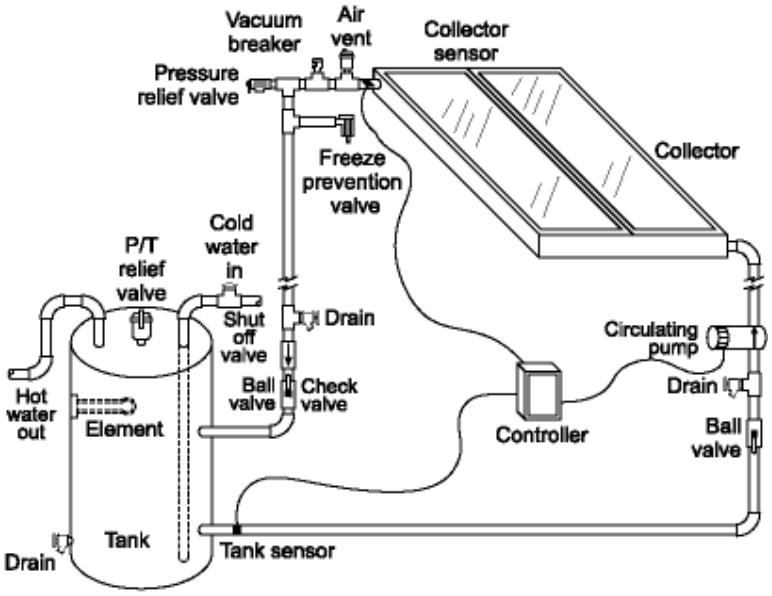
تا سال ۲۰۰۵ بیش از ۱۵۰ میلیون مترمربع معادل ۹۲/۷ گیگا وات‌ساعت، کلکتور گرمایشی نصب شده که مجموع کلکتورهای نصب شده در سال ۲۰۰۵ نسبت به سال ۲۰۰۳ در حدود ۱۳۰٪ افزایش یافته است. بزرگ‌ترین تولیدکنندگان کلکتورهای گرمایشی به ترتیب چین، آمریکا، ژاپن و ترکیه هستند. تقریباً بیش از ۹۰٪ رشد مصرف کلکتورهای گرمایشی در چین اتفاق می‌افتد. مجموع هزینه صرف تحقیقات در این زمینه در کشورهای عضو آژانس بین‌المللی انرژی تا سال ۲۰۰۵ بیش از ۳/۵ میلیارد دلار بوده است.

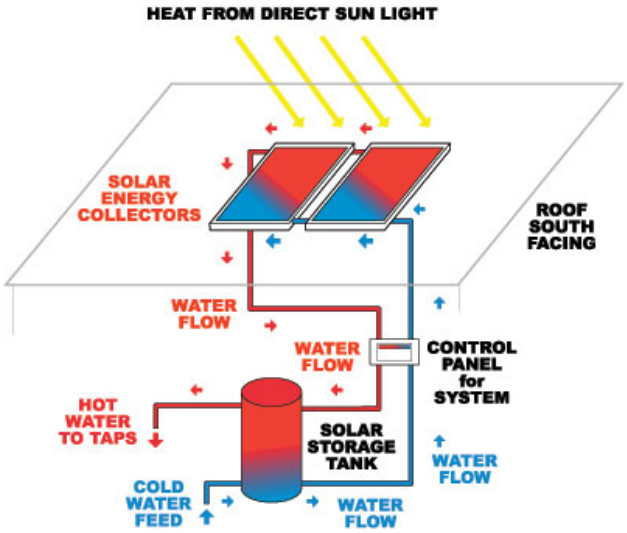
انرژی خورشیدی یکی از دو منبع مهم انرژی است که باید به آن روی آورد زیرا به فناوری‌های پیشرفته و پرهزینه نیاز نداشته و می‌تواند به عنوان یک منبع مفید و تأمین‌کننده انرژی در اکثر نقاط جهان بکار گرفته شود. به علاوه استفاده از آن برخلاف انرژی هسته‌ای خطرات و اثرات نامطلوبی از خود باقی نمی‌گذارد و برای کشورهایی که فاقد منابع انرژی زیرزمینی هستند، مناسب‌ترین راه برای دست‌یابی به نیرو و رشد و توسعه اقتصاد می‌باشد[۱].

---

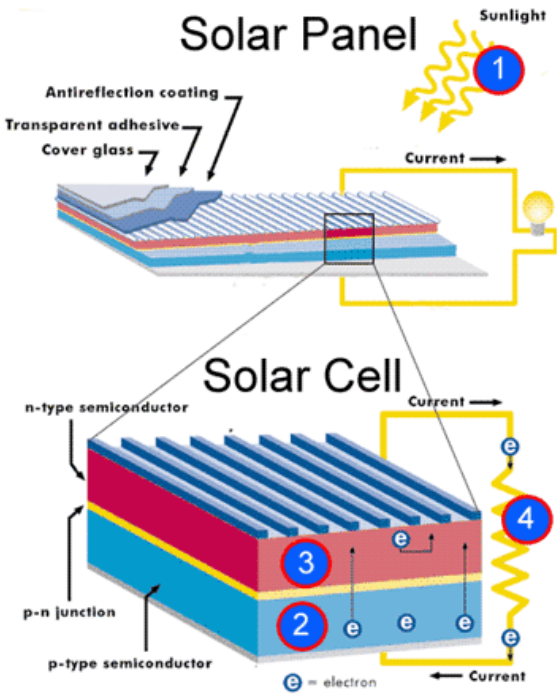
[1] . solar
[2] . Photovoltaic

شکل ۱-۱ روند استفاده از انرژی خورشیدی را در کاربردهای مختلف آن را نشان می‌دهد.





استفاده از کلکتورهای خورشیدی در آبگرمکن‌ها

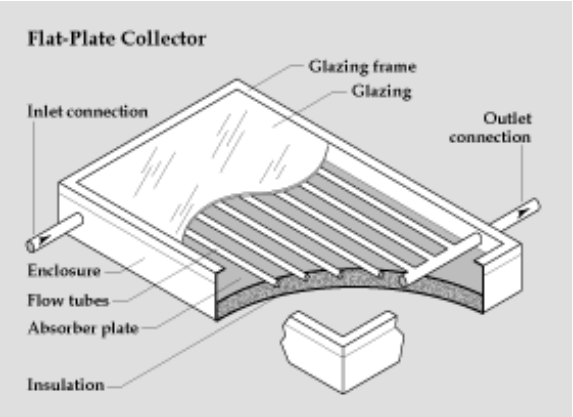


شکل ۱-۱ روند استفاده از انرژی خورشیدی در کاربردهای مختلف

۱-۲- کلکتورهای صفحه تخت خورشیدی

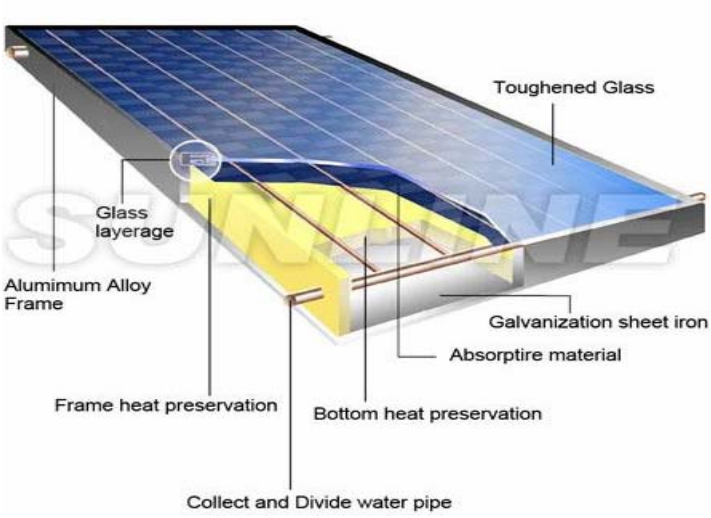
مهم‌ترین بخش هر آبگرمکن، کلکتور است که کار اصلی آن جذب تابش خورشیدی و تبدیل آن به گرما و انتقال آن به سیال جاری داخل لوله‌ها می‌باشد. در سیستم آبگرمکن خورشیدی معمولاً از کلکتورهای صفحه تخت استفاده می‌شود. این نوع کلکتور ساده‌ترین و متداول‌ترین وسیله برای تبدیل انرژی تابشی خورشید به گرمای مفید است. یک کلکتور خورشیدی را می‌توان به عنوان یک نمونه ویژه از مبدل گرمایی در نظر گرفت. البته کلکتورهای خورشیدی در مقایسه با سیستم‌های مبدل گرمایی دارای تفاوت‌هایی می‌باشند. در مبدل‌های گرمایی، گرما معمولاً از طریق جابجایی یا هدایت به سیال دیگر منتقل می‌شود و انتقال گرما از طریق تابش در آن‌ها بسیار ناچیز است. در حالی که در یک کلکتور خورشیدی، انتقال حرارت از طریق تابش نقش اساسی دارد. میزان تابش انرژی خورشیدی بدون متمرکز کردن آن در بهترین شرایط عملی حدود (w/m^2) ۱۱۰۰ است و با شرایط جوی تغییر می‌کند. با طراحی صحیح کلکتورهای تخت معمولی می‌توان دمای سیال خروجی از آن‌ها را بنا بر نیاز به حدود ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد بالاتر از دمای محیط رساند. متداول‌ترین کاربرد کلکتورهای تخت گرم کردن آب مصرفی و فضای منازل، استفاده از آن‌ها در تهویه مطبوع و بالاخره تهیه آب گرم یا هوای مورد نیاز در فرایندهای مصرفی می‌باشد.کلکتورهای تخت را معمولاً به صورت ثابت نصب می‌کنند و بنابراین نسبت به سیستم‌های دنبال کننده خورشید که در کلکتورهای متمرکز کننده بکار می‌روند مشکلات کمتری دارند[۱].

در شکل۱-۲ الف و ب(a , b) و ج(a , b) تصاویری از کلکتور صفحه تخت خورشیدی به همراه اجزای مختلف آن نشان داده شده است.

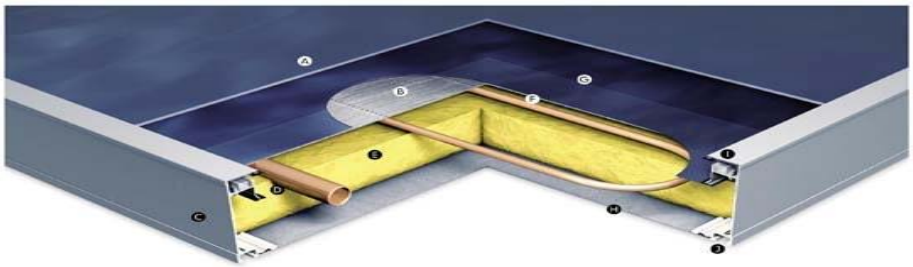


شکل ۱-۲-الف

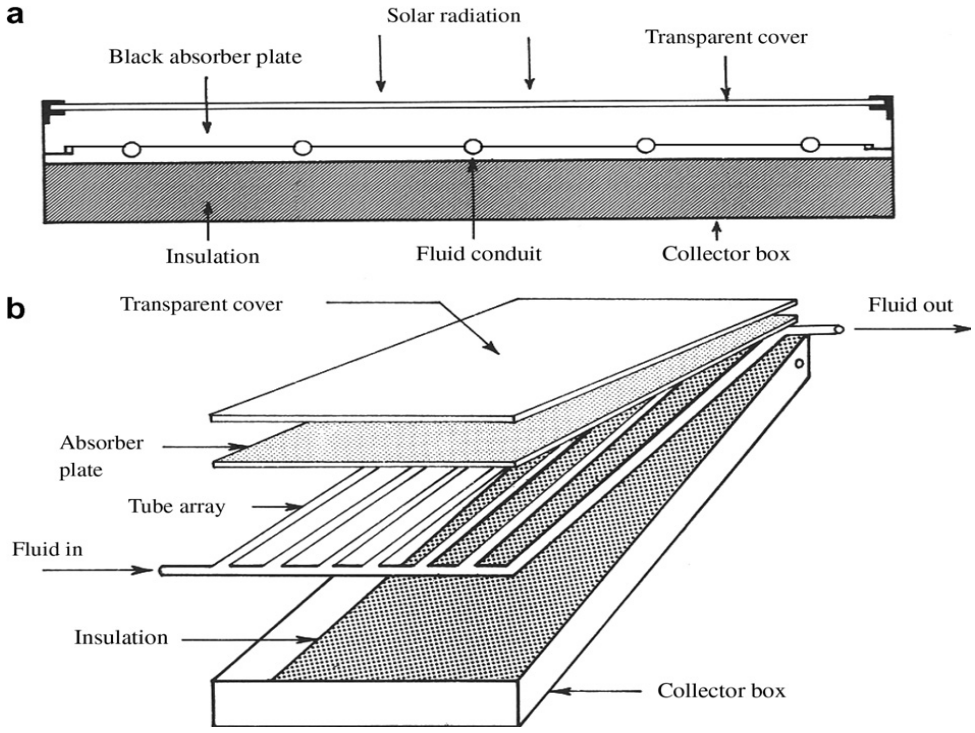
a



b



شکل۱-۲-ب



شکل ۱-۲-ج

شکل ۱-۲- تصاویری از کلکتورهای صفحه تخت خورشیدی و اجزای آن‌ها

۱-۳- اجزای کلکتور صفحه تخت

۱-۳-۱- صفحه جاذب

مهم‌ترین عنصر در یک کلکتور صفحه جاذب آن است ، زیرا عمل جذب تابش خورشیدی و انتقال گرما به سیال عامل، توسط این قسمت انجام می‌شود. انواع مختلفی از صفحات جاذب برای گرمایش سیال عامل وجود دارد. صفحه جاذب باید دارای خواص انتقال حرارت خوب، ضریب هدایت حرارتی و ضریب جذب بالا و ضریب صدور پایین بوده و در دماهای بالا پایدار باشد. هم‌چنین باید در مقابل خوردگی خارجی و داخلی نیز مقاوم باشد. خوردگی خارجی در نتیجه رطوبت موجود در محفظه گردآورنده به وجود می‌آید که این رطوبت از نشتی‌های اطراف محفظه، داخل شدن آب باران یا در نتیجه قطرات چگالیده شده از شیشه به وجود می‌آید. خوردگی داخلی در اثر تماس سیال عامل با لوله‌ها یا حضور مواد نامتشابه[1] در داخل لوله‌ها به وجود می‌آید. سیال عامل شامل مقدار زیادی اکسیژن می‌باشد و اگر سیستم کاملاً آب‌بندی نشده باشد، ممکن است باعث اکسیژن زایی موادی همانند فولاد شود که در مقابل خوردگی مقاومت کمی دارد[۲].

[1]. Dissimilar metal

موادی مانند مس، آلومینیوم و فولاد ضد زنگ در ساخت صفحات جاذب مورد استفاده قرار می‌گیرند. از آنجایی که این مواد به تنهایی جذب‌کننده‌های خیلی خوبی نیستند، با استفاده از روکش می‌توان قابلیت جذب صفحه را افزایش داد. این روکش‌ها را روکش‌های انتخابی نامیده و با افزایش کیفیت جذب برای تابش خورشیدی و عبور زیاد برای تابش با طول موج بلند بر روی زمینه‌هایی با صدور کم بکار می‌روند. بنابراین، روکش جاذب انرژی خورشیدی بوده و زمینه دارای صدور کمی از تابش طول موج بلند می‌شود. بسیاری از مواد روکشی مورد مصرف به صورت اکسید فلزات بر روی زمینه‌های فلزی می‌باشند، مانند اکسید مس روی آلومینیوم و اکسید مس روی اکسید مس. روکش‌های انتخابی برای آبگرمکن خورشیدی از سال ۱۹۵۰در چند کشور مورد بهره‌برداری قرار گرفته‌اند.

از رنگ‌ها نیز به عنوان روکش صفحه جاذب استفاده می‌شود. هرگاه رنگ‌ها به صورت یک لایه خیلی نازک به ضخامت ۰/۰۵ تا ۰/۱ میلی‌متر بکار روند، پاره‌ای از مواد رنگی در حالی که قابلیت جذب زیاد خود را در برابر تابش خورشیدی حفظ می‌کنند، نسبت به تابش گرمایی با طول موج بلند شفاف می‌شوند.

۱-۳-۲- سیال انتقال‌دهنده گرما (سیال عامل)

سیال عامل، گرما را از کلکتور خورشیدی گرفته و آن را به طور مستقیم یا غیرمستقیم (از طریق مبدل گرمایی) به آب گرم تبدیل می‌کند. دمای سیال عامل در نتیجه اخذ گرما به تدریج افزایش می‌یابد. اگر دبی سیال عامل داخل کلکتور کم باشد دمای آن در اثر گرفتن مقدار معینی گرما افزایش می‌یابد. در چنین حالتی حتی اگر گرما به طور کامل به سیال عامل منتقل شود، دمای متوسط کلکتور افزایش خواهد یافت، در نتیجه اتلاف حرارتی به محیط افزایش یافته و کارایی کلکتور پایین می‌آید. از طرفی اگر دبی جریان سیال عامل زیاد شود، راندمان کلکتور افزایش می‌یابد ولی ممکن است افزایش دمای مورد نیاز حاصل نشود. بنابراین باید دبی بهینه سیال انتخاب شود.

سیال مورد استفاده در صورت امکان باید دارای ویژگی‌های زیر باشد:

۱- نقطه جوش بالا و نقطه ذوب پایین

۲- ضریب هدایت حرارتی و گرمای ویژه بالا

۳- ویسکوزیته و دانسیته پایین

۴- ضریب انبساط گرمایی پایین

۵- بدون اثر خوردگی در تماس با فلزاتی مانند مس، آلومینیوم و فولاد

۶- غیر سمی و بدون بو

۷- ارزان قیمت

معمولاً سیال عامل مورد استفاده آب می‌باشد. آب دارای ویژگی‌های بسیار خوبی است. ارزان قیمت بوده و به راحتی در دسترس است؛ غیر سمی بوده و گرمای ویژه نسبتاً زیادی دارد، اما در هوای سرد یخ می‌زند و در دمای نسبتاً پایینی به جوش می‌آید و می‌تواند باعث خوردگی شود. با تخلیه نمودن سیستم در فصول سرد یا پیش‌بینی مجاری مناسب که بتواند اضافه حجم ناشی از یخ زدن را تحمل کند، می‌توان مشکل یخ زدن را برطرف نمود. به علاوه با استفاده از مکانیزم‌های مناسب می‌توان مسأله جوش آمدن را به وسیله تحت فشار قرار دادن سیستم از بین برد. در اغلب موارد، مخلوطی از آب و گلیکول به عنوان ضد یخ مورد استفاده قرار می‌گیرد گلیکول در مقایسه با آب دارای گرمای ویژه پایین‌تر و ویسکوزیته بالاتر بوده که باعث افزایش یافتن انرژی مورد نیاز برای به حرکت در آوردن آن می‌باشد.

۱-۳-۳- صفحات پوششی

کاهش افت گرمای جابجایی در کلکتورها بر عهده صفحه پوششی می‌باشد، که این عمل را با محدود کردن جریان هوا انجام می‌دهد.پوشش همچنین افت گرمای تابشی از صفحه جاذب را با باز تاباندن تابش گرمای صادر شده از صفحه جاذب کاهش می‌دهد.در ضمن به عنوان یک محافظ برای صفحه جاذب عمل نموده و از ورود آب باران، گردو غبار و ... به داخل محفظه کلکتور جلوگیری می‌کند.

یک ماده باید دارای قابلیت عبور دهی زیادی در طول موج‌های کوتاه ناشی از تابش مرئی و مادون قرمز خورشید باشد، تا به عنوان یک پوشش مفید واقع شود. از این رو باید قابلیت جذب و بازتاب آن را به حداقل کاهش داد. پوشش‌هایی که برای کلکتورها استفاده می‌شوند ، نسبت به بازتابش رویه جذب‌کننده، سیاه هستند در نتیجه بجای عبور دادن، آن را جذب می‌کنند.این عمل پوشش را تا دمایی بالاتر از دمای محیط ولی پایین‌تر از دمای جذب‌کننده گرم می‌کند و آهنگ اتلاف گرمای تابشی ناشی از روکش جاذب کاهش می‌یابد، زیرا آهنگ اتلاف تابش به دمای رویه‌ای بستگی دارد که به آن می‌تابد.

برای کاهش دادن اتلافات ناشی از بازتاب در شیشه و سایر مواد، راه‌هایی وجود دارد. اگر رویه اول جسم به وسیله لایه نازکی از یک جسم دی‌الکتریک (عبور دهنده نور) به ضخامت چند میکرون یا بیشتر پوشانده شود قابلیت بازتاب کاهش می‌یابد. روش دیگر برای کاهش قابلیت بازتاب، استفاده از یک لایه نازک صافی داخل است. ضخامت این لایه باید یک چهارم طول موج بسامد اصلی نور عبور کننده باشد. با کمک عمل غوطه‌ور سازی در یک حمام اسید سولفوریک و سیلیسیک فوق اشباع از سیلیس می‌توان با سهولت نسبی یک لایه نازک مناسب بر روی شیشه قرار داد. اسید بر روی شیشه اثر می‌کند و یک لایه پیکر گونه و متخلخل از سیلیس از خود باقی می‌گذارد.شیشه‌هایی که به روش حکاکی روکش داده شده‌اند، هزینه کلکتور را تا حدی کاهش می‌دهند[۲].