بسم الله الرحمن الرحيم

دانشکده فنی و مهندسی

بخش مهندسی مکانیک

پایان نامه تحصیلی برای دریافت درجه کارشناسی ارشد رشته مهندسی مکانیک

گرایش تبدیل انرژی

طراحی، ساخت و آزمایش کلکتور مشبک خورشیدی مرکب با پانل فتوولتاییک

مؤلف:

مصطفی شیخ سامانی

استاد راهنمای اول:

دکتر مهران عامری

استاد راهنمای دوم:

دکتر مسعود ایرانمنش

استاد مشاور:

دکتر سید عبدالرضا گنجعلیخان نسب

سال تحصیلی :

۹۳

این پایان نامه به عنوان یکی از شرایط درجه کارشناسی ارشد به

بخش مهندسی مکانیک

دانشکده فنی و مهندسی

دانشگاه شهید باهنر کرمان

تسلیم شده است و هیچ گونه مدرکی به عنوان فراغت از تحصیل دوره مزبور شناخته نمی‌شود.

دانشجو: مصطفی شیخ سامانی

استاد راهنمای اول : آقای دکتر مهران عامری

استاد راهنمای دوم : آقای دکتر مسعود ایرانمنش

استاد مشاور : آقای دکتر سید عبدالرضا گنجعلی خان نسب

داور ۱ :آقای دکتر محمد حسن صفاری پور

داور۲ :آقای دکتر مازیار سلمان زاده

معاونت پژوهشی و تحصیلات تکمیلی دانشکده : آقای دکتر محمد رضا ماهری

حق چاپ محفوظ و مخصوص به دانشگاه شهید باهنر کرمان است.

تقدیم به

آغازین سپاس خود را از همسر و مادر مهربانم دارم که همواره تکیه‌گاه من در زندگی بوده‌اند و دعای خیرشان بدرقه‌ی راه زندگیم بوده است. همچنین از خواهر و برادران عزیزم از صمیم قلب سپاسگزارم.

و مراتب سپاس خود را تقدیم می‌دارم خدمت:

- اساتید راهنمای گرامیم جناب آقایان دکتر مهران عامری و دکتر مسعود ایرانمنش که با صبر و حوصله نهایت همکاری و محبت را در انجام کلیه مراحل این پایان نامه داشتند و از زحمات ارزشمندشان بی‌نهایت قدردانی می‌کنم؛
- جناب آقای دکتر سید عبدالرضا گنجعلیخان نسب که با راهنمایی‌های خود راهگشای اینجانب بوده‌اند؛
- اساتید بزرگوار آقایان دکترمحمد حسن صفاری و دکترمازیار سلمانزاده که داوری این پایان نامه را بر عهده داشتند و از حسن دقت و رهنمودهای سودمندشان در تصحیح این پایان نامه کمال تشکر را دارم؛
- دوستان عزیزم و کلیه کسانی که در دوران تحصیل همواره مشوق و پشتیبان اینجانب بوده‌اند.

فهرست مطالب

چکیده ۱

فصل اول : مقدمه ۲

۱-۱ تاریخچه انرژی خورشیدی ۳

۱-۲ انرژی های تجدید ناپذیر ۵

۱-۲-۱ انرژی خورشیدی ۷

۱-۲-۱-۱ کاربردهای انرژی خورشیدی ۷

۱-۲-۱-۱-۱ کاربردهای نیروگاهی ۸

۱-۲-۱کاربردهای غیر نیروگاهی ۱۴

۱-۲-۲سیستم های فتوولتائیک ۱۷

۱-۲-۳ انرژی بادی ۲۰

۱-۲-۴ انرژی زمین گرمایی ۲۰

۱-۲-۵ انواع کلکتورهای خورشیدی ۲۲

۱-۲-۶کلکتورهای لوله خلأ ۲۴

۱-۲-۷کلکتورهای صفحه تخت ۲۵

۱-۲-۸ کلکتور مشبک خورشیدی مرکب با پانل فتوولتاییک ۲۸

۱-۳ تاریخچه تحقیقات قبلی ۳۰

۱-۴ اهداف تحقیق ۳۳

فصل دوم : سیستم های فتوولتائیک ۳۵

۲-۱ مقدمه ۳۶

۲-۲ ساختار سیستم های فتوولتاییک ۳۷

۲-۲-۱ پانل های فتوولتاییک ۳۸

۲-۳ مدل سازی پانل های فتوولتاییک ۴۳

۲-۳-۱ مدل سازی پانل با استفاده از پارامترهای مشخصه ۴۳

۲-۳-۲ پارامترهای مشخصه در دماهای مختلف ۴۶

۲-۳-۲-۱ مدل پیش بینی دمای پانل ۴۸

۲-۳-۳ پارامترهای مشخصه در دما و تابش سطح مختلف ۴۹
۲-۳-۴ پارامترهای مشخصه در دما، تابش سطح و شرایط آب هوایی مختلف ۵۰
۲-۴ خلاصه فصل ۵۳
فصل سوم : کلکتور مشبک خورشیدی ۵۴
۳-۱مقدمه ۵۵
۳-۲ طراحی و ساخت کلکتور مشبک خورشیدی، مرکب با پانل فتوولتاییک ۵۵
۳-۳ ابزار دقیق و اندازه گیری پارامترها ۶۰
فصل چهارم : آزمایش ها ۶۴
۴-۱ مقدمه ۶۵
۴-۲روش آزمایش ۶۵
۴-۳ آزمایش ها ۶۶
۴-۴روند آزمایش ها ۶۸
۴-۴-۱آزمایش با دبی مکش ۰,۰۰۹ در حالتی که یک پانل روی کلکتور و یک پانل کنار کلکتور ۷۰
۴-۴-۲آزمایش با دبی مکش ۰,۰۰۹ در حالتی که کلکتور بدون پانل کار میکند..... ۷۴
۴-۴-۳آزمایش با دبی مکش ۰,۰۰۹kg/s در حالتی که دو پانل روی کلکتور باشد..... ۷۷
۴-۴-۴آزمایش با دبی مکش ۰,۰۲ در حالتی که کلکتور بدون پانل کار میکند..... ۸۱
۴-۴-۵آزمایش با دبی مکش ۰,۰۲ در حالتی که یک پانل روی کلکتور و یک پانل کنار کلکتور..... ۸۳
۴-۴-۶آزمایش با دبی مکش ۰,۰۲ در حالتی که دو پانل روی کلکتور باشد..... ۸۷
۴-۴-۷آزمایش که پانل در روی کلکتور و انرژی تولیدی خود را مستقیما به فن ها و مقاومت میدهد..... ۹۱
۴-۴-۸آزمایش که پانل کنار کلکتور قرار دارد و انرژی تولیدی خود را مستقیما به فن ها و مقاومت میدهد..... ۹۵
فصل پنجم : ارزیابی نتایج ۹۹
۵-۱مقدمه..... ۱۰۰
۵-۲راندمان حرارتی کلکتور مشبک خورشیدی ۱۰۰
۵-۳راندمان الکتریکی کلکتور مشبک خورشیدی مرکب با پانل فتوولتاییک ۱۰۲

۵-۴راندمان کل (مجموع الکتریکی و حرارتی) ۱۰۳
فصل ششم : جمع بندی و نتیجه گیری ۱۰۵
۶-۱جمع‌بندی نتایج ۱۰۶
۶-۲-پیشنهادات ۱۰۷
منابع و ماخذ ۱۰۸

فهرست اشکال

شکل ۱-۱: یک فروند هواپیمای آزمایشی خورشیدی ناسا ۸

شکل ۱-۲: یک نیروگاه در نیو مکزیکو ۱۱

شکل ۱-۳: سیستم انعکاس استرلینگ اداره برق ایالاتآریزونا آمریکا ۱۲

شکل ۱-۴: نیروگاه زمین گرمایی در مشکین شهر ۲۲

شکل ۱-۵: مجموعه‌ای از کلکتورهای متمرکزکننده[۳] ۲۲

شکل ۱-۶: کلکتور خورشیدی لوله خلأ[۳] ۲۴

شکل ۱-۷:طرح شماتیک کلکتور هوا گرمکن پوشش‌دار[۶] ۲۶

شکل ۱-۸: کلکتور خورشیدی مشبک بدون شیشه [۷] ۲۷

شکل ۱-۹: نحوه عملکرد کلکتور مشبک خورشیدی ۲۸

شکل ۱-۱۰: کلکتور مشبک خورشیدی مرکب با یک پانل فتوولتاییک ۲۹

شکل ۲-۱: پتانسیل خورشیدی با استفاده از فن آوری فتوولتائیک ۳۷

شکل ۲-۲: اجزاء سیستم فتوولتاییک ۳۸

شکل ۲-۳: ساختار پانل خورشیدی ۳۹

شکل ۲-۴: تاثیر افزایش دما بر روی توان تولیدی یک پانل پلی کریستالی ۴۵ واتی در تشعشع ۵۰۰ و ۱۰۰۰ وات بر مترمربع ۴۲

شکل ۲-۵: تاثیر افزایش دما بر روی میزان ولتاژ و آمپر تولیدی یک پانل پلی کریستالی ۴۵ واتی در تشعشع ۵۰۰ و ۱۰۰۰ وات بر مترمربع ۴۲

شکل ۲-۶: نمودار مشخصه یک پانل ۶۴ واتی با مشخصات استاندارد SRC ۴۵

شکل ۲-۷: نمودار مشخصه I-V پانل پلی کریستال سیلیکونی ۶۴ واتی در $T_{cell} = 38^{\circ o}c$ ..۴۵

شکل ۲-۸: نمودار مشخصه I-V پانل آمرف سیلیکونی ۶۴ واتی ۴۶

شکل ۲-۹: مقایسه نتایج مدل تئوری و آزمایشگاهی دمای پانل در تشعشع مرجع ۱۰۰۰ وات بر مترمربع ۴۹

شکل ۲-۱۰: نمودار مشخصه *I-V* پانل پلی کریستالی سیلیکونی ۶۴ واتی در $T_{cell} = 30^{0}c$ و $E_t = 986W/m^2$ ۵۲

شکل ۲-۱۱: نمودار مشخصه P-V پانل پلی کریستالی سیلیکونی ۶۴ واتی در $T_{cell} = 38^0c$ و $E_t = 986W/m^2$ ۵۳
شکل ۲-۱۲: نمودار مشخصه P-V پانل تک کریستالی سیلیکونی ۴۰ واتی در $T_{cell} = 73^0c$ و $E_t = 982W/m^2$ ۵۳
شکل ۳-۱: عکس از بدنه اصلی کلکتور مشبک خورشیدی ۵۶
شکل ۳-۲: نمای داخلی کلکتور مشبک شده ۵۷
شکل ۳-۳: نوار آبندی و عایق کاری حرارتی کلکتور ۵۷
شکل ۳-۴: محل قرار گرفتن فن ها ۵۸
شکل ۳-۵: فن ها ۵۹
شکل ۳-۶: کلکتور مشبک خورشیدی در حالت آزمایش ۵۹
شکل ۳-۷: دیتا لاگر با ۷ ورودی ترموکوپل ۶۰
شکل ۳-۸: سرعت سنج دیجیتال ۶۱
شکل ۳-۹: محل قرار گرفتن ترموکوپل ها در داخل کلکتور مشبک خورشیدی ۶۱
شکل ۳-۱۰: ترموکوپل داخل کانال ۶۲
شکل ۳-۱۱: مولتی متر ۶۲
شکل ۳-۱۲: تشعشع سنج ۶۳
شکل ۴-۱: مدار الکتریکی پانل و کلکتور، در حالتی که فن ها به برق شهر متصلند..... ۶۵
شکل۴-۲: کلکتور مشبک خورشیدی، بدون پانل فتوولتاییک در حال آزمایش ۶۶
شکل ۴-۳: کلکتور مشبک خورشیدی با یک پانل روی آن ۶۷
شکل ۴-۴: کلکتور مشبک خورشیدی و دو پانل روی آن ۶۹
شکل۴-۵: دیاگرام تغیرات تشعشع خورشید در طول مدت آزمایش (آزمایش با دبی مکش ۰,۰۰۹ در حالتی که یک پنل روی کلکتور و یک پنل کنار کلکتور است.) ۷۱
شکل۴-۶: دیاگرام تغیرات دماها در طول مدت آزمایش (آزمایش با دبی مکش ۰,۰۰۹ در حالتی که یک پنل روی کلکتور و یک پنل کنار کلکتور است.)(۱۱ شهریور یا ۲ سپتامبر) ۷۱
شکل۴-۷: دیاگرام تغیرات جریان ها در طول مدت آزمایش (آزمایش با دبی مکش ۰,۰۰۹ در حالتی که یک پنل روی کلکتور و یک پنل کنار کلکتور است. (۱۱ شهریور یا ۲ سپتامبر) ۷۲

شکل۴-۸: دیاگرام تغیرات ولتاژها در طول مدت آزمایش (آزمایش با دبی مکش ۰,۰۰۹ در حالتی که یک پنل روی کلکتور و یک پنل کنار کلکتور است. (۱۱ شهریور یا ۲ سپتامبر) ۷۲
شکل۴-۹: دیاگرام تغیرات توان ها در طول مدت آزمایش (آزمایش با دبی مکش ۰,۰۰۹ در حالتی که یک پنل روی کلکتور و یک پنل کنار کلکتور است. (۱۱ شهریور یا ۲ سپتامبر) ۷۳
شکل۴-۱۰: دیاگرام تغیرات تشعشع خورشید در طول مدت آزمایش (آزمایش با دبی مکش ۰,۰۰۹ در حالتی که کلکتور بدون وجود پانل کار می کند. (۳ شهریور یا ۲۵ آگوست) ۷۵
شکل۴-۱۱: دیاگرام تغیرات دماها در طول مدت آزمایش (آزمایش با دبی خروجی ۰,۰۰۹ در حالتی که کلکتور بدون وجود پنل کار می کند.) (۳ شهریور یا ۲۵ آگوست) ۷۵
شکل۴-۱۲: دیاگرام دمایی روی کلکتور (آزمایش با دبی خروجی ۰,۰۰۹ در حالتی که کلکتور بدون وجود پانل کار می کند ۷۶
شکل۴-۱۳: دیاگرام تغیرات تشعشع خورشید در طول مدت آزمایش (آزمایش با دبی مکش ۰,۰۰۹ در حالتی که دو پنل روی کلکتور هستند. (۱۷ شهریور یا ۸ سپتامبر) ۷۸
شکل۴-۱۴: دیاگرام تغیرات دماها در طول مدت آزمایش (آزمایش با دبی مکش ۰,۰۰۹ در حالتی که دو پنل روی کلکتور هستند. (۱۷ شهریور یا ۸ سپتامبر) ۷۸
شکل۴-۱۵: جریان ها (آزمایش با دبی مکش ۰,۰۰۹ در حالتی که دو پنل روی کلکتور هستند.(۱۷ شهریور یا ۸ سپتامبر) ۷۹
شکل۴-۱۶: دیاگرام تغیرات ولتاژها در طول مدت آزمایش (آزمایش با دبی ۰,۰۰۹ در حالتی که دو پنل روی کلکتور هستند. (۱۷ شهریور یا ۸ سپتامبر) ۷۹
شکل۴-۱۷: دیاگرام تغیرات توان ها در طول مدت آزمایش (آزمایش با دبی ۰,۰۰۹ در حالتی که دو پنل روی کلکتور هستند. (۱۷ شهریور یا ۸ سپتامبر) ۸۰
شکل۴-۱۸: دیاگرام تغیرات تشعشع خورشید در طول مدت آزمایش (آزمایش با سرعت دبی ۰,۰۲ در حالتی که کلکتور بدون پانل کار می کند. (۴ شهریور یا ۲۶ آگوست) ۸۲
شکل۴-۱۹: دیاگرام تغیرات دماها در طول مدت آزمایش (آزمایش با دبی مکش ۰,۰۲ در حالتی که کلکتور بدون پانل کار می کند. (۴ شهریور یا ۲۶ آگوست) ۸۲
شکل۴-۲۰: دیاگرام تغیرات تشعشع خورشید در طول مدت آزمایش(آزمایش با دبی مکش ۰,۰۲ در حالتی که یک پانل روی کلکتور و یک پانل کنار کلکتور است.....۸۴

شکل۴-۲۱: دیاگرام تغیرات دماها در طول مدت آزمایش (آزمایش با دبی مکش ۰,۰۲ در حالتی که یک پانل روی کلکتور و یک پانل کنار کلکتور است. (۵ شهریور یا ۲۷ آگوست).....۸۴
شکل۴-۲۲: دیاگرام تغیرات جریان ها در طول مدت آزمایش (آزمایش با دبی مکش ۰,۰۲ در حالتی که پانل روی کلکتور و یک پانل کنار کلکتور است.(۵ شهریور یا ۲۷ آگوست).....۸۵
شکل۴-۲۳: دیاگرام تغیرات ولتاژها در طول مدت آزمایش (آزمایش با دبی مکش ۰,۰۲ در حالتی که یک پانل روی کلکتور و یک پانل کنار کلکتور است. (۵ شهریور یا ۲۷ آگوست).....۸۵
شکل۴-۲۴: دیاگرام تغیرات توان ها در طول مدت آزمایش (آزمایش با دبی مکش ۰,۰۲ در حالتی که یک پانل روی کلکتور و یک پانل کنار کلکتور است. (۵ شهریور یا ۲۷ آگوست)....۸۶
شکل۴-۲۵: دیاگرام تغیرات تشعشع خورشید در طول مدت آزمایش (آزمایش با دبی ۰,۰۲ در حالتی که دو پانل روی کلکتور باشند.(۱۹ شهریور یا ۱۱ سپتامبر)).....۸۸
شکل۴-۲۶: دیاگرام تغیرات دماها در طول مدت آزمایش (آزمایش با دبی ۰,۰۲ در حالتی که دو پانل روی کلکتور باشند. ۱۹(شهریور یا ۱۱ سپتامبر) ۸۸
شکل۴-۲۷: دیاگرام تغیرات جریان ها در طول مدت آزمایش (آزمایش با دبی ۰,۰۲ در حالتی که دو پانل روی کلکتور باشند. (۱۹ شهریور یا ۱۱ سپتامبر) ۸۹
شکل۴-۲۸: دیاگرام تغیرات ولتاژها در طول مدت آزمایش (آزمایش با دبی ۰,۰۲ در حالتی که دو پانل روی کلکتور باشند. (۱۹ شهریور یا ۱۱ سپتامبر) ۸۹
شکل۴-۲۹: دیاگرام تغیرات توان ها در طول مدت آزمایش (در آزمایش با دبی ۰,۰۲ در حالتی که دو پانل روی کلکتور باشند.(۱۹ شهریور یا ۱۱ سپتامبر)).....۹۰
شکل۴-۳۰: دیاگرام تغیرات تشعشع خورشید در طول مدت آزمایش (ازمایش که پانل در روی کلکتور و انرژی تولیدی خود را مستقیما به فن ها و مقاومت میدهد.....۹۲
شکل۴-۳۱: دیاگرام تغیرات حجم هوای خروجی از کلکتور (ازمایش که پانل در روی کلکتور و انرژی تولیدی خود را مستقیما به فن ها و مقاومت میدهد.(۲۵ مرداد یا ۱۶ آگوست)) ۹۲
شکل۴-۳۲: دیاگرام تغیرات جریان ها در طول مدت آزمایش (ازمایش که پانل در روی کلکتور و انرژی تولیدی خود را مستقیما به فن ها و مقاومت میدهد.(۲۵ مرداد یا ۱۶ آگوست)) ۹۳
شکل۴-۳۳: دیاگرام تغیرات ولتاژها در طول مدت آزمایش (ازمایش که پانل در روی کلکتور و انرژی تولیدی خود را مستقیما به فن ها و مقاومت میدهد.(۲۵ مرداد یا ۱۶ آگوست)) ۹۳
شکل ۴-۳۴: دیاگرام تغیرات دماها در طول مدت آزمایش (ازمایش که پانل در روی کلکتور و انرژی تولیدی خود را مستقیما به فن ها و مقاومت میدهد.(۲۵ مرداد یا ۱۶ آگوست)).....۹۴

شکل۴-۳۵: دیاگرام تغیرات توان ها در طول مدت آزمایش (ازمایش که پانل در روی کلکتور و انرژی تولیدی خود را مستقیما به فن ها و مقاومت میدهد.(۲۵ مرداد یا ۱۶ آگوست)) ۹۴
شکل۴-۳۶: دیاگرام تغیرات تشعشع خورشید در طول مدت آزمایش (آزمایش که پانل کنار کلکتور قرار دارد و انرژی تولیدی خود را مستقیماً به فن ها و مقاومت می دهد.) (۱۸ مرداد یا ۹ آگوست) ۹۶
شکل۴-۳۷: دیاگرام تغیرات حجم هوای خروجی (آزمایش که پانل کنار کلکتور قرار دارد و انرژی تولیدی خود را مستقیماً به فن ها و مقاومت می دهد.) (۱۸ مرداد یا ۹ آگوست) ۹۶
شکل۴-۳۸: دیاگرام تغیرات جریان ها در طول مدت آزمایش (آزمایش که پانل کنار کلکتور قرار دارد و انرژی تولیدی خود را مستقیماً به فن ها و مقاومت می دهد.....۹۷
شکل۴-۴۰: دیاگرام تغیرات دماها در طول مدت آزمایش (آزمایش که پانل کنار کلکتور قرار دارد و انرژی تولیدی خود را مستقیماً به فن ها و مقاومت می دهد.....۹۸
شکل۵-۱:راندمان حرارتی (سه آزمایش شامل دبی های 0.009 و 0.02Kg/s و اتصال مستقیم بر پانل به فن ها که هر کدام تحت شرایط، بدون پانل، یک پانل روی کلکتور و دو پانل روی کلکتور آزمایش شده اند) ۱۰۱
شکل۵-۲: راندمان الکتریکی (سه آزمایش شامل دبی های 0.009 ، 0.02 و اتصال مستقیم فن ها به پانل که هر کدام تحت شرایط، بدون پانل، یک پانل روی کلکتور، و دو پانل روی کلکتور آزمایش شده اند.) ۱۰۲
شکل ۵-۳: راندمان کل (سه آزمایش شامل دبی های 0.009 و $0.02kg/sm^2$ و اتصال مستقیم پانل به فن ها که هر کدام تحت شرایط بدون پانل، یک پانل روی کلکتور و دو پانل روی کلکتور آزمایش شده اند) ۱۰۳

فهرست جداول

جدول ۲-۱: پارامترهای اندازه گیری شده عملکرد الکتریکی مدل ۴۷
جدول ۲-۲: پارامترهای حرارتی مدل برای چند نوع پانل با چندین نوع مونتاژ ۴۸
جدول۳-۱: مشخصات فنی پانل های فتوولتاییک ۵۸
جدول۴-۱: مراحل آزمایش ۶۹
جدول ۴-۲:پارامترهای اندازه گیری شده ازمایش با دبی۰,۰۰۹ و یک پانل روی کلکتور و یک پنل کنار کلکتور ۷۰
جدول ۴-۳:پارامترهای اندازه گیری شده ازمایش با دبی۰,۰۰۹ بدون پانل (۳ شهریور یا ۲۵ آگوست) ۷۴
جدول ۴-۴: پارامترهای اندازه گیری شده ازمایش با دبی۰,۰۰۹Kg/S و هر دو پانل روی کلکتور باشد (۱۷ شهریور یا ۸ سپتامبر) ۷۷
جدول ۴-۵:پارامترهای اندازه گیری شده ازمایش با دبی ۰,۰۲ بدون پانل(۴ شهریور یا ۲۶ آگوست) ۸۱
جدول ۴-۵:پارامترهای اندازه گیری شده ازمایش با دبی ۰,۰۲ بدون پانل(۵ شهریور یا ۲۷ آگوست) ۸۳
جدول ۴-۷:پارامترهای اندازه گیری شده ازمایش با ۰,۰۲ و هر دو پانل روی کلکتور باشد.(۱۹ شهریور یا ۱۱ سپتامبر).....۸۷

جدول ۴-۸:پارامترهای اندازه گیری شده ازمایش که پانل در روی کلکتور و انرژی تولیدی خود را مستقیما به فن ها و مقاومت میدهد.(۲۵ مرداد یا ۱۶ آگوست) ۹۱

جدول ۴-۹: آزمایش که پانل کنار کلکتور قرار دارد و انرژی تولیدی خود را مستقیماً به فن ها و مقاومت می دهد. (۱۸ مرداد یا ۹ آگوست) ۹۵

فهرست علائم

مساحت ناحیه سوراخ، m^2	A_{hole}
مساحت صفحه جاذب، m^2	A_{plate}
ظرفیت گرمایی ویژه، $J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$	C_p
قطر هیدرولیکی، m	D_h
ضریب دید کلکتور به آسمان	F_{cs}
ضریب دید کلکتور به زمین	F_{cg}
شدت تابش خورشیدی، W / m^2	G
عدد گراشهف	Gr
ضریب انتقال حرارت هدایتی، $W.m^{-1}.K^{-1}$	k
دبی جرمی جریان، kg/s	η
فشار، Pa	P

گام روزنه‌ها، mm	P
حرارت، W	Q
شعاع هیدرولیکی، m	R_h
عدد رینولدز	Re
دما، K	T
دمای محیط، K	T_{amb}
دمای زمین، K	T_{gnd}
میانگین دمای هوای خروجی، K	$\overline{T}_{out}$
میانگین دمای صفحه جاذب، K	$\overline{T}_{plate}$
دمای آسمان، K	T_{sky}
سرعت مکش، m/s	U
سرعت، m/s	U
حرارت تولید شده توسط کلکتور w/ m^2	
تشعشع رسیده به سطح کلکتور w/ m^2	
دمای خروجی از سطح کلکتور °c	Tout
دمای ورودی به سطح کلکتور °c	Tin
توان الکتریکی	
جریان پانل (A)	
ولتاژ پانل(V)	

علائم یونانی

ضریب جذب	α
ضریب صدور	ε
ضریب کارآیی حرارتی	ε
بازده گرمایی کلکتور	η
لزجت، $kg/m.s$	μ
چگالی، kg/m^3	ρ
ضریب انعکاس تابشی	ρ
ثابت استفان بولتزمن، $5.67\times10^{-8}\ W.m^{-2}.K^{-4}$	σ
راندمان حرارتی	
رانمان الکتریکی	

فصل اول

مقدمه

۱-۱ تاریخچه ی انرژی خورشیدی

خورشید نه تنها خود منبع عظیم انرژی است، بلکه سرآغاز حیات و منشاء تمام انرژی های دیگر است. طبق برآوردهای علمی در حدود ۶۰۰۰ میلیون سال از تولد این گوی آتشین می گذرد و در هر ثانیه ۲/۴ میلیون تن از جرم خورشید به انرژی تبدیل می شود. با توجه به وزن خورشید که حدود ۳۳۳ هزار برابر وزن زمین است، این کره نورانی را می توان به عنوان منبع عظیم انرژی تا ۵ میلیارد سال آینده به حساب آورد.

قطر خورشید 1.39×10^6 کیلومتر است و از گازهایی نظیر هیدروژن (۸/۸۶ درصد)، هلیوم (۳ درصد) و ۶۳ عنصر دیگر که مهم ترین آنها اکسیژن، نئون و نیتروژن است تشکیل شده است. میزان دما در مرکز خورشید حدود ۱۰تا ۱۴ میلیون درجه سانتیگراد می باشد که از سطح آن با دمایی نزدیک به ۵۶۰۰ درجه و به صورت امواج الکترومغناطیسی در فضا منتشر می شود. زمین در فاصله ۱۵۰ میلیون کیلومتری خورشید واقع است و ۸ دقیقه و ۱۸ ثانیه طول می کشد تا نور خورشید به زمین برسد. جالب است بدانید که سوخت های فسیلی ذخیره شد در اعماق زمین، انرژی های باد و آبشار و امواج دریاها و بسیاری موارد دیگر از جمله نتایج همین مقدار انرژی دریافتی زمین از خورشید می باشد.

بهره گیری از انرژی خورشید در تاریخ تمدن انسانی سابقه ای کهن دارد. انرژی خورشیدی یکی از اولین منابعی بود که انسان برای تامین گرما به آن روی آورد. انسان اولیه از مزایای غار و ایجاد دریچه هایی در برابر نور خورشید با هدف بهره گیری از تشعشع خورشید برای گرمایش آگاه بود.

شناخت انرژی خورشیدی و استفاده از آن برای منظورهای مختلف به زمان ماقبل تاریخ باز می گردد. شاید به دوران سفالگری، در آن هنگام روحانیون معابد به کمک جام های بزرگ طلائی صیقل داده شده و اشعه خورشید، آتشدان های محراب ها را روشن می کردند. یکی از فراعنه مصر معبدی ساخته بود که با طلوع خورشید در آن باز و با غروب خورشید در بسته می شد.

ولی مهم ترین روایتی که درباره استفاده از خورشید بیان شده داستان ارشمیدس دانشمند و مخترع بزرگ یونان قدیم می باشد که ناوگان روم را با استفاده از انرژی حرارتی خورشید به آتش کشید گفته می شود که ارشمیدس با نصب تعداد زیادی آئینه های کوچک مربعی شکل در کنار یکدیگر

که روی یک پایه متحرک قرار داشته است، اشعه خورشید را از راه دور روی کشتی های دشمن متمرکز ساخته و به این ترتیب آنها را به آتش کشیده است.

با تکامل ابزارهای بهره گیری از انرژی خورشیدی، درک افسانه های اسطوره ایی انسان از خورشید دگرگون شد. باورهای خرافی و تفکر سنتی درباره خورشید تا سال ۱۶۰۰ میلادی به تدریج از بین رفت و با کنار رفتن هاله سحر و جادو و افسانه از قرن ۱۴ تا ۱۷ میلادی، ابزارهای گوناگونی برای بهره گیری از انرژی خورشیدی طراحی و ساخته شد.

در دوران رنسانس ساخت ابزارهای خورشیدی مانند بسیاری از ابداعات آن دوران غیر عملی و با کاربردی بسیار کم دامنه بود و صرفاً برای افزایش اطلاعات علمی و آزمایش های تجربی ساخته می شد. اما در قرن هیجدهم این روند تغییر کرد. در این قرن کوره خورشیدی که می توانست آهن، مس و سایر فلزات را ذوب کند ساخته شد. در ساخت کوره فوق از آهن صیقل شده، لنزهای شیشه ای و آئینه ها استفاده می شد.

این نوع کوره ها در سرتاسر اروپا و خاورماینه به کار گرفته شد. لاوازیه دانشمند بزرگ قرن هیجدهم نیز کوره ای ساخت که تا ۱۷۵۰ درجه سانتی گراد حرارت تولید می کرد. در این کوره یک عدسی ۵۲ اینچی (۱۳۲ سانتی متری) و یک عدسی ۸ اینچی (۲۰ سانتی متری) به کار رفته بود. درجه حرارتی که این کوره تولید می کرد تا صد سال پس از لاوازیه نیز بالاترین درجه در اوایل قرن نوزدهم میلادی انواع گوناگون موتورهای هوایی ساخته شد. هر چند موتور هوای دو پیستونی معروف به استرلینگ برای استفاده از انرژی خورشیدی ساخته شد. این موتور برای بکار انداختن دستگاه های صنعت ماشین چاپ، لامپ های الکتریکی و حتی آب شیرین کن ها مورد استفاده قرار می گرفتند.

یکی از دستاوردهای مهم تر اواخر قرن هیجدهم و اوایل قرن نوزدهم استفاده ازگردآور مسطح بود. تا پیش از این تاریخ در کلیه سیستم های خورشیدی از گردآور متمرکز کننده نور استفاده می شد، اما در اوایل قرن هیجدهم و اوایل قرن نوزدهم بهره گیری از گردآور مسطح رایج بود در این نوع گردآورها، نور خورشید در یک نقطه متمرکز نمی شد و به طور یکنواخت بر یک سطح تابیده می شد. ساخت این نوع گردآور در مقایسه با گردآورهای متمرکز کننده ساده تر بوده، و به علاوه وجود هوای غیرابری برای کاربرد آنها ضروری نیست.

در سال ۱۹۰۷ یک مهندس مبتکر بنام فرانک شومان[1] با استفاده از گردآور سطح به مساحت ۲۰۰ فوت مربع موتوری به قدرت ۳/۵ اسب اختراع کرد. این گردآور مسطح برای گرم کردن آب به کار می رفت. آب گرم تولید شده با کمک یک مبدل حرارتی، اتر را به جوش می آورد و بخار اترموتور و در نتیجه پمپ متصل به آن را به حرکت در می آورد. هر چند این موتور خورشیدی قدرت پیش بینی شده یعنی ۱۰۰ اسب را تولید نکرد، ولی فن ساخت آن از اهمیت بسیاری برخوردار بود.

در ایران نیز معماری سنتی ایرانیان باستان نشان دهنده توجه خاص آنان در استفاده صحیح و موثر از انرژی خورشیسد رد زمان های قدیم بوده است. با وجود به آنکه انرژی خورشیدی و مزایای آن در قرون گذشته به خوبی شناخته شده بود ولی بالا بودن هزینه اولیه چنین سیستم هایی از یک طرفه و عرضه نفت و گاز ارزان از طرق دیگر سد راه پیشرفت این سیستم ها شده بود تا اینکه افزایش قیمت نفت در سال ۱۹۷۳ باعث شد که کشورهای پیشرفته صنعتی مجبور شدند به مسئله تولید انرژی از راه های دیگر (غیر از استفاده سوخت های فسیلی) توجه جدی تری نمایند. جالب است بدانید که امروزه در کشور ایران نیز پروژه های متعدد نیروگاهی خورشیدی ساخته و مورد بهره برداری می باشند که از آن دسته می توان به استان های سمنان، اصفهان، زنجان، آذربایجانغربی، کهگیلویه وبویراحمد و ... اشاره نمود.

۱-۲ انرژی های تجدید ناپذیر

افزایش جمعیت جهان و به تبع آن افزایش تقاضا و مصرف انرژی به ویژه در کشورهای پرجمعیت این سئوال جدی را پدید آورده است که آیا منابع انرژی فسیلی نیاز روزافزون جهان را تامین خواهند کرد؟ بر این اساس دورنمای نه چندان روشن از آینده تولید و مصرف منابع هیدروکربن نگرانی های فراوانی را در تامین امنیت انرژی فراهم ساخته است. طبق پیش بینی سازمان انرژی (IEA) با افزایش نیاز جهان به انرژی در سال ۲۰۳۰ به میزان ۶۰ درصد میزان ذخایر دچار کاهش خواهد شد. امروزه افزایش بهای نفت و گاز و محدودیت منابع و از طرف دیگر مشکلات زیست محیطی و تغییرات اقلیمی استفاده از انرژی های تجدیدناپذیر مورد توجه بیشتری قرار گرفته است و لزوم بهره بردن از انرژی های پاک را برای کاهش اثرات گازهای گلخانه ای و تاثیرات نامطلوب آن برآب و هوا را آشکار ساخته به همین دلیل کشورهای مختلف در بهره برداری از انرژی های جدید ترغیب شده و برنامه ریزی های وسیعی را در آن زمینه آغاز کرده اند. از این رو طبق آمار رسمی مصرف انرژی

[1]-Frank shuman