



موسسه آموزش عالی انرژی

دانشکده فنی مهندسی

پایان نامه دوره کارشناسی ارشد

مهندسی مکانیک - تبدیل انرژی

عنوان

بررسی عددی اثرات پارامترهای فیزیکی طراحی بر روی عملکرد دودکش خورشیدی

اساتید راهنما:

دکتر مسعود جلیلیان

دکتر حیدر مداح

پژوهشگر:

جواد چهارمحالی

۱۳۹۸/۰۷

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

تقدیم به :

همسر عزیزم که سایه مهربانیش سایه ساز زندگیم ، او که اسوه صبر و تحمل بوده ، مشکلات مسیر را برایم آسان نموده تا در سایه همیاری و همدلی او به این منظور نائل شوم . همچنین به پدر و مادر عزیزم که بذر دانش و عشق به اهل بیت (علیهم السلام) را در وجودم کاشتند و آن را پرورش دادند و همواره مشوق و راهنمای من در زندگی بوده اند.

تقدیر و تشکر:

از اساتید راهنمای ارجمند و گرامی جناب آقای دکتر مسعود جلیلیان و جناب آقای دکتر حیدر مداح و از استاد ارجمند و گرامی جناب آقای دکتر یوسف یاسی که با محبت و بزرگواری بنده را یاری نمودند ، تشکر می نمایم . و از تمام کسانی که بنده را مورد لطف و عنایت قرار داده اند کمال تشکر و قدردانی و سپاس دارم و از باب " من لم یشکر المخلوق لم یشکر الخالق " صمیمانه ترین درودها و خالصانه ترین دعاهای خیر را نثار این بزرگواران می نمایم .

چکیده :

برج مکشی خورشیدی یا دودکش خورشیدی روشی برای تولید انرژی الکتریکی از نور خورشید است. در این روش با استفاده از یک کلکتور گلخانه‌ای که در اطراف یک برج تو خالی بلند قرار دارد، هوا گرم می‌شود. هوای گرم به دلیل جریان همرفت به بالای برج حرکت می‌کند و در مسیر خود توربین را به حرکت در آورده و تولید انرژی الکتریکی می‌کند. فناوری دودکش خورشیدی در واقع از سه عنصر اصلی تشکیل شده است: ۱ - کلکتور خورشیدی ۲ - دودکش ۳ - توربین

توان تولید برق یک دودکش خورشیدی متناسب با حجم حاصل از ارتفاع برج و سطح کلکتور است. دودکش خورشیدی فناوری است که از ویژگی‌های مهمی در بین نیروگاه‌هایی که از انرژی‌های تجدیدپذیر استفاده می‌کنند برخوردار است تا آنجا که یک تکنولوژی امیدوارکننده برای تولید توان در مقیاس بزرگ محسوب می‌شود. انرژی خورشیدی منحصر به فردترین منبع انرژی تجدیدپذیر در جهان و منبع اصلی تمامی انرژی‌های موجود در زمین است. با توجه به اینکه انرژی‌های تجدیدپذیر در جوامع امروزی جایگاه ویژه‌ای دارند. تولید برق بدون مصرف سوخت فسیلی، حفظ محیط زیست، عدم احتیاج به آب زیاد، استهلاک کم و عمر کارکرد زیاد، سیستم ذخیره سازی انرژی توسط کلکتور خورشیدی؛ عدم احتیاج به مراقبت‌های دائمی و هزینه پایین از مهمترین ویژگی‌های بارز دودکش خورشیدی است. در تیر ماه سال ۱۳۹۸ یک نمونه تحقیقاتی دودکش خورشیدی توسط دانشجوی ارشد جواد چهارمحالی؛ اساتید راهنما دکتر مسعود جلیلیان و دکتر حیدر مداح در محوطه‌ی دانشگاه ساوه راه اندازی شد. کلکتور این دودکش خورشیدی با شیشه‌های ۴ میلی متری سفید پوشیده شده بود. ارتفاع دودکش این سیستم ۱۲/۸۵ متر / قطر آن ۶ اینچ و قطر کلکتور آن ۳ متر می‌باشد.

واژگان کلیدی : انرژی‌های تجدیدپذیر؛ نیروگاه دودکش خورشیدی؛ کلکتور خورشیدی؛ توربین؛

دودکش

فهرست مطالب

فصل اول: کلیات تحقیق	۱
ضرورت کاربرد انرژی های تجدید پذیر	۲
وضعیت انرژی های تجدید پذیر در ایران	۵
پتانسیل انرژی خورشیدی در کشور ایران	۶
انرژی خورشید	۶
تاریخچه انرژی خورشیدی	۷
جایگاه ایران	۹
پتانسیل تابش و نقشه تابش خورشید در ایران	۱۰
انرژی خورشیدی و کاربردهای آن	۱۱
۱. آبگرمکن ها و حمام های خورشیدی (solar water heater)	۱۲
۲. گرمایش و سرمایش ساختمان و تهویه مطبوع	۱۳
۳. آب شیرین کن خورشیدی (solar humidification-dehumidification method)	۱۳
۴. خشک کن خورشیدی (solar dryer)	۱۳
۵. اجاق های خورشیدی (Solar cooker)	۱۴
۶. کوره خورشیدی (solar furnace)	۱۵
انرژی الکتریکی خورشیدی	۱۶
الف) نیروگاه حرارتی خورشیدی	۱۶
ب) تولید برق خورشیدی فتو ولتایک	۱۷
معرفی نیروگاه های خورشیدی	۱۸
۱. نیروگاه های خورشیدی با سیستم دریافت کننده سهموی	۱۸
۲. نیروگاه های خورشیدی با سیستم دریافت کننده خطی فرسnel	۲۰
۳. نیروگاه های حرارتی خورشیدی با سیستم دریافت کننده مرکزی	۲۱
۴. نیروگاه های خورشیدی با سیستم دریافت کننده بشقاب-استرلینگ	۲۵
۵. دودکش خورشیدی (solar chimney power plants)	۲۷

فصل دوم: مروری بر ادبیات..... ۳۱

دودکش خورشیدی ۳۲

اجزاء نیروگاه دودکش خورشیدی : ۳۳

مزایای نیروگاه دودکش خورشیدی : ۳۴

معایب نیروگاه دودکش خورشیدی : ۳۷

کلکتور خورشیدی : ۳۸

دودکش خورشیدی : ۴۱

توربین ۴۵

عوامل محیطی موثر بر بازده نیروگاه دودکش خورشیدی ۴۶

روابط حاکم بر نیروگاه دودکش خورشیدی ۴۷

معادلات یک بعدی حاکم بر جریان سیال ۴۸

روابط کلی نیروگاه دودکش خورشیدی ۴۸

میدان سرعت جریان هوای کلکتور ۴۹

معادله بقای انرژی جریان هوای کلکتور ۵۰

انتقال حرارت تشعشی کلکتور ۵۴

انتقال حرارت جابجایی کلکتور ۵۵

مدل تخمینی بهینه سازی اقتصادی نیروگاه دودکش خورشیدی ۵۶

فعالیت های انجام شده در زمینه دودکش خورشیدی در خارج از کشور: ۵۷

فعالیت های انجام شده در زمینه دودکش خورشیدی در داخل کشور: ۶۵

جمع بندی مطالعات و تعیین خلاء تحقیقاتی ۷۱

فصل سوم: فرضیات؛ معادلات و مدل سازی..... ۷۲

مقدمه ۷۳

فرضیات ۷۳

معادلات حاکم ۷۳

معادلات پایداری ۷۳

خواص مواد ۷۹

خواص ترمودینامیکی هوا ۷۹

۷۹.....	چگالی
۸۰.....	سایر خواص ترمودینامیکی هوا
۸۱.....	مدل سازی
۸۱.....	ساختار شبکه
۸۳.....	ابعاد، جنس، شرایط مرزی و شرایط اولیه مدل شبیه سازی شده
۸۶.....	گسسته سازی معادلات و همگرایی و ضرایب تاثیر
۸۹.....	فصل چهارم: بحث و بررسی نتایج
۹۰.....	مقدمه
۹۰.....	استقلال از مش
۹۲.....	اعتبارسنجی
۹۵.....	نتایج
۱۱۲.....	فصل پنجم: ساخت دودکش خورشیدی
۱۱۳.....	ساخت تجربی دودکش خورشیدی موسسه آموزش عالی انرژی ساوه
۱۱۳.....	اقلیم و توپوگرافی
۱۱۷.....	ساخت سازه فلزی : (اسکلت کلکتور)
۱۱۹.....	پروفیل درب و پنجره [سپری]
۱۲۰.....	میلگرد آجدار ۱۲
۱۲۱.....	نصب اسکلت کلکتور
۱۲۲.....	ضد زنگ و رنگ کاری اسکلت کلکتور
۱۲۳.....	ساخت و نصب دودکش
۱۲۶.....	ساخت توربین
۱۲۸.....	نصب توربین
۱۲۹.....	رنگ کاری مجدد کلکتور و نصب شیشه های سکوریت
۱۳۰.....	نصب شیشه های کلکتور
۱۳۲.....	منابع
۱۳۵.....	ABSTRACT

فهرست اشکال

- شکل (۱-۱) نقشه پتانسیل خورشیدی در ایران..... ۱۱
- شکل (۲-۱) آبگرمکن خورشیدی ۱۲
- شکل (۳-۱) خشک کن خورشیدی ۱۴
- شکل (۴-۱) اجاق خورشیدی ۱۵
- شکل (۵-۱) کوره خورشیدی ۱۶
- شکل (۶-۱) سیستم فتوولتاییک ۱۸
- شکل (۷-۱) شماتیک نیروگاه خورشیدی با دریافت کننده سهموی ۱۹
- شکل (۸-۱) کلکتور سهموی ۲۰
- شکل (۹-۱) نیروگاه خورشیدی با سیستم دریافت کننده خطی فرسnel ۲۱
- شکل (۱۰-۱) شمای کلی یک نیروگاه حرارتی خورشیدی با سیستم دریافت کننده مرکزی ۲۲
- شکل (۱۱-۱) نیروگاه با دریافت کننده مرکزی ۲۳
- شکل (۱۲-۱) یک سیستم دریافت کننده بشقاب - استرلینگ ۲۶
- شکل (۱۳-۱) دریافت کننده بشقابی ۲۶
- شکل (۱۴-۱) دودکش خورشیدی ۲۸
- شکل (۱۵-۱) طرح شماتیک نیروگاه دودکش خورشیدی ۲۹
- شکل (۱-۲) شماتیک یک نیروگاه دودکش خورشیدی ۳۶
- شکل (۲-۲) کلکتور خورشیدی نیروگاه مانزانارس اسپانیا ۳۸

- شکل (۳-۲) دودکش بکار رفته در نیروگاه استرالیا..... ۴۴
- شکل (۴-۲) توربین نیروگاه مانزانارس اسپانیا ۴۵
- شکل (۵-۲) حجم کنترل در داخل کلکتور ۵۱
- شکل (۶-۲) شبکه گرمایی کلکتور نیروگاه دودکش خورشیدی ۵۲
- شکل (۷-۲) نمایی از نیروگاه مانزانارس اسپانیا..... ۶۴
- شکل (۸-۲) نمونه ساخته شده نیروگاه دودکش خورشیدی زنجان..... ۶۶
- شکل (۹-۲) نیروگاه دودکش خورشیدی کرمان ۶۷
- شکل (۱۰-۲) دودکش های دانشگاه تفرش ۷۰
- شکل (۱-۳) شبکه ایجاد شده برای دودکش خورشیدی ۸۲
- شکل (۲-۳) مدل دودکش خورشیدی ۸۳
- شکل (۱-۴) (الف) نمونه ساخته شده دودکش خورشیدی (ب) مدل بررسی شده برای اعتبار سنجی ۹۳
- شکل (۲-۴) کانتور دمای دودکش خورشیدی ۹۶
- شکل (۳-۴) کانتور سرعت دودکش خورشیدی ۹۷
- شکل (۴-۴) بردار سرعت دودکش خورشیدی ۹۹
- شکل (۵-۴) کانتور فشار دودکش خورشیدی ۱۰۰
- شکل (۶-۴) کانتور انتالپی دودکش خورشیدی ۱۰۱
- شکل (۷-۴) کانتور تولید انترپی دودکش خورشیدی ۱۰۲
- شکل (۸-۴) کانتور شدت توربولانسی دودکش خورشیدی ۱۰۲
- شکل (۱-۵) نیروگاه دودکش خورشیدی ساخته شده ۱۱۴
- شکل (۲-۵) اسکلت کلکتور ۱۱۸
- شکل (۳-۵) قوطی ۴۰*۴۰ ۱۱۹
- شکل (۴-۵) سپری ۵۰۷ ۱۲۰
- شکل (۵-۵) مهارکش و میلگرد ۱۲۱

شکل (۵-۶) نصب و رنگ شده اسکلت کلکتور	۱۲۲
شکل (۵-۷) مونتاژ دود کش	۱۲۳
شکل (۵-۸) مهار کش	۱۲۴
شکل (۵-۹) جرثقیل	۱۲۵
شکل (۵-۱۰) نصب شده دودکش روی اسکلت کلکتور	۱۲۶
شکل (۵-۱۱) توربین ساخته شده	۱۲۷
شکل (۵-۱۲) DC موتور نصب شده توربین	۱۲۸
شکل (۵-۱۳) توربین نصب شده	۱۲۹
شکل (۵-۱۴) نصب شده شیشه های سکوریت	۱۳۰

فهرست نمودار

نمودار (۱-۱) میزان مصرف انرژی جهان ۲۰۱۵	۴
نمودار (۱-۲) توزیع دما در عمق های متفاوت زمین در ساعات مختلف شبانه روز	۳۹
نمودار (۱-۳) پسماندها در دودکش خورشیدی	۸۷
نمودار (۱-۴) استقلال از مش	۹۱
نمودار (۲-۴) نمودار مقایسه های توزیع سرعت و دما در کلکتورالف) توزیع دما ب) توزیع سرعت	۹۴
نمودار (۳-۴) سرعت ماکزیمم و دمای متوسط سطح زمین نسبت به تغییرات تشعشع خورشید	۱۰۳
نمودار (۴-۴) سرعت ماکزیمم و دمای متوسط سطح زمین نسبت به تغییرات دمای محیط	۱۰۴
نمودار (۵-۴) سرعت ماکزیمم و دمای متوسط سطح زمین نسبت به تغییرات ارتفاع ورودی	۱۰۵
نمودار (۶-۴) سرعت ماکزیمم و دمای متوسط سطح زمین نسبت به تغییرات ارتفاع ورودی	۱۰۶
نمودار (۷-۴) سرعت ماکزیمم و دمای متوسط سطح زمین نسبت به تغییرات شعاع دودکش	۱۰۷
نمودار (۸-۴) سرعت ماکزیمم و دمای متوسط سطح زمین نسبت به تغییرات ارتفاع دودکش	۱۰۸
نمودار (۹-۴) سرعت ماکزیمم و دمای متوسط سطح زمین نسبت به تغییرات اضلاع کلکتور	۱۰۹

فهرست جداول

جدول (۱-۱)	مقایسه نیروگاه های خورشیدی	۳۰
جدول (۱-۳)	خواص ترمودینامیکی هوا	۸۰
جدول (۲-۳)	ابعاد، جنس، و شرایط مرزی مدل شبیهسازی شده	۸۴
جدول (۳-۳)	خواص فیزیکی مواد	۸۵
جدول (۴-۳)	نحوه گسسته سازی معادلات در شبیه سازی انجام شده	۸۶
جدول (۵-۳)	تنظیمات مقادیر پسماند برای همگرایی معادلات	۸۸
جدول (۶-۳)	ضرایب تاثیر به کار رفته	۸۸
جدول (۱-۴)	المان و سرعت لازم برای بررسی استقلال از مش	۹۱
جدول (۲-۴)	هندسه دودکش خورشیدی	۹۲
جدول (۱-۵)	ابعاد مورد استفاده برای نیروگاه دودکش خورشیدی ساخته شده در ساوه	۱۱۵
جدول (۲-۵)	لیست مصالح مصرفی در ساخت دودکش	۱۱۵
جدول (۳-۵)	مقایسه پوشش های مختلف	۱۳۱

فصل اول :

کلیات تحقیق

ضرورت کاربرد انرژی های تجدید پذیر

افزایش تولید گازهای گلخانه ای نظیر متان، دی اکسیدکربن، بخار آب و اکسید نیتروژن در جو زمین، در حال افزایش دمای کره زمین میباشد که این امر سبب ایجاد تغییرات ناخوشایند در محیط زیست شده است. منابع انرژی همانند انرژیهای برق آبی، گاز، ذغال سنگ و نفت با گسترش پیوسته صنایع در حال کاهش است، همچنین با پیشرفت تکنولوژی تقاضا برای انرژی الکتریکی رو به افزایش است. افزایش پیوسته در مصرف انرژی در اثر افزایش جمعیت و رو به اتمام بودن سوخت های فسیلی ، اهمیت منابع انرژی های تجدیدپذیر را بیش از پیش نمایان می سازد.

با در نظر گرفتن این خطر که تولید الکتریسیته با استفاده از سوخت های فسیلی موجب انتشار آلاینده های در اتمسفر و اثرات گلخانه ای میشود، جایگزینی انرژیهای تجدیدپذیر میتواند راه حل مناسبی جهت کاهش این اثرات مخرب باشد. یکی از در دسترس ترین این نوع انرژیها، انرژی خورشیدی می باشد . طی سالهای اخیر با افزایش گازهای گلخانه ای نظیر متان ، دی اکسیدکربن، بخار آب و اکسید نیتروژن در جو زمین دمای کره زمین رو به افزایش بوده است. از این رو در سال ۱۹۹۷ طی پیمانی معروف به کیوتو کشورهای صنعتی متعهد شدند که ظرف ده سال آینده میزان انتشار گازهای گلخانه ای خود را ۵٪ کاهش دهند و به کشورهای در حال توسعه کمکهای مالی برای افزایش ضریب نفوذ استفاده از انرژیهای تجدیدپذیر نظیر انرژی خورشیدی و بادی، اعطا نمایند.[۱]

اصولا اگر کاربرد وسیع انرژی های تجدیدپذیر به عنوان هدف مورد نظر قرار گیرد، لازم است تکنولوژی های ارائه شده به صورت ساده و قابل اعتماد و مقرون به صرفه از لحاظ اقتصادی باشند. همچنین برای کشورهای کمتر توسعه یافته مشکلات فنی و عملیاتی به همراه نداشته باشند و برای استفاده از یک انرژی بایستی توانایی استفاده از منابع موجود در مناطق عملیاتی وجود داشته و سیستم مورد نظر نیازمند آب زیادی نباشد. مهم ترین عاملی که موجب استفاده از یک نیروگاه خورشیدی می گردد، پتانسیل آن منطقه برای دسترسی به نور خورشید است. برای مثال کشور ایران یکی از کشورهایی است که از پتانسیل بالایی در این زمینه بهره مند است.

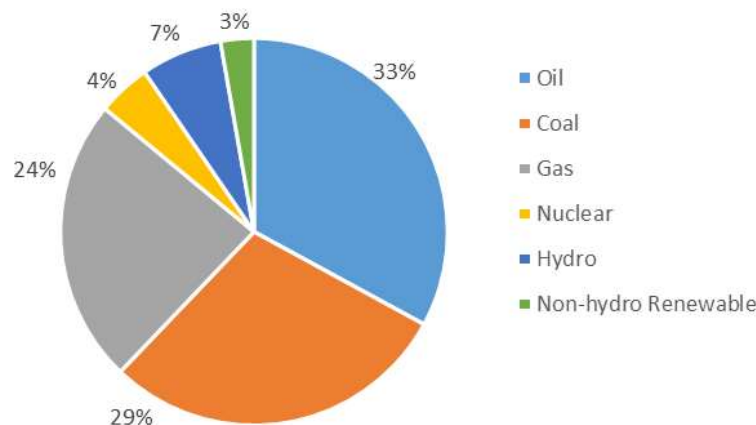
در چند دهه گذشته از میان منابع انرژی تجدیدپذیر، انرژی خورشیدی مورد توجه بیشتری قرار گرفته است. انرژی خورشیدی به عنوان یک منبع دردسترس و پایان ناپذیر، برای کاهش استفاده از منابع فسیلی و سوخت های هسته ای به منظور دستیابی به محیط زیست پاک تر مطرح شده است.

یکی از محدودیت های عمده در استفاده از انرژی خورشیدی، عدم کارایی اقتصادی سیستم های خورشیدی اولیه در برابر سیستم های تکامل یافته با سوخت فسیلی است. با توجه به افزایش قیمت سوخت های معمولی می توان با اقتصادی تر کردن دستگاه های خورشیدی با حجم تولید بیشتر، گرایش به استفاده از اینگونه انرژی را شتاب بخشید. در این راستا حجم قابل توجهی اطلاعات در مورد فناوری و کاربردهای انرژی خورشیدی به دست آمده است. بنابراین استفاده از انرژی خورشیدی به عنوان یک راه حل مناسب برای کاهش استفاده از منابع فسیلی و سوخت های هسته ای به منظور دستیابی به محیط زیست پاک تر مطرح شده است. انرژی خورشیدی دارای پتانسیلی می باشد که برای تولید انواع انرژی مانند انرژی الکتریکی، انرژی حرارتی، انرژی شیمیایی و هر سوخت قابل حمل و نقل می توان از آن بهره برد. همچنین این نوع انرژی قابلیت گسترش و بازیابی دارد. برای استفاده از انرژی خورشیدی به سیستم ها و قطعاتی نیاز است که بتوانند انرژی خورشیدی را به یکی از انواع انرژی تبدیل کنند. با این حال تجارب چند سال اخیر نشان داده که انرژی خورشیدی می تواند

جای خود را در بین سایر حامل های انرژی، با توجه به شرایط ایران بازکند. با ساختن نیروگاه های خورشیدی بزرگ در مناطقی که روزهای طولانی و آفتابی دارند، می توان برق مورد نیاز این مناطق را تولید کرد. فناوری ساده، کاهش آلودگی محیط زیست و از همه مهم تر ذخیره شدن سوخت های فسیلی برای آینده و همچنین تبدیل سوخت های فسیلی به مواد با کاربرد صنعتی در داخل کشور با استفاده از پتروشیمی ها، از دلایل لزوم استفاده از نیروگاه خورشیدی در کشور می باشند.

براساس اطلاعات اداره مصرف انرژی امریکا که در سال ۲۰۱۵ منتشر کرد، مصرف جهانی انرژی، به ویژه انرژی های وابسته به نفت خام به صورت صعودی در حال افزایش است. به علاوه بیش از ۸۶٪ از مصرف انرژی جهان به صورت مستقیم از سوخت های فسیلی، حدود ۱۱٪ از انرژی هسته ای و هیدروالکتریک و تنها ۳٪ از این نیاز به وسیله انرژی های تجدیدپذیر تامین می گردد.[۲]

World Energy Consumption By Source, 2015



نمودار (۱-۱) میزان مصرف انرژی جهان ۲۰۱۵ [۲]

وضعیت انرژی های تجدید پذیر در ایران

دسترسی کشورهای در حال توسعه به منابع جدید انرژی از نظر توسعه ی اقتصادی این کشورها حایز اهمیت است . پژوهش های جدید نشان می دهد که بین سطح توسعه یک کشور و میزان مصرف انرژی آن کشور، رابطه مستقیمی وجود دارد . با توجه به ذخایر محدود انرژی فسیلی و افزایش سطح مصرف انرژی در دنیا ، دیگر نمی توان تنها به منابع موجود انرژی متکی بود . [۳]

توسعه و پیشرفت به سیستم های مکانیزه و انرژی نیاز دارد . با مصرف انرژی تولید ناخالص ملی رشد می کند و همزمان با این نرخ رشد جمعیت نیز به صورت یک تابع نمایی کاهش می یابد . بسیاری از کشورهای در حال توسعه مصرف انرژی بالایی داشته و جمعیت آنها نیز هر ۱۵ تا ۳۰ سال دو برابر می شود . اگر این کشورها تنها از انرژی های قدیمی استفاده کنند، مینیمم مصرف انرژی به طور قابل توجهی افزایش می یابد . بسیاری از کشورهای در حال توسعه تشعشع خورشیدی زیادی در مناطق بیابانی خود دارند که می توانند از این منبع انرژی مطمئن استفاده کنند. [۴]

در کشور ما ایران نیز با توجه به نیاز روزافزون به منابع انرژی و کم شدن منابع انرژی فسیلی و توجه به سالم نگه داشتن محیط زیست ، کاهش آلودگی هوا ، محدودیت های برق رسانی و تامین سوخت برای نقاط دور افتاده استفاده از انرژی های نو مانند انرژی خورشیدی ، انرژی بادو... از جایگاه ویژه ای برخوردار است . در یک دسته بندی کلی انرژی هایی را که اکنون مورد استفاده قرار می گیرند می توان به چهارگروه تقسیم کرد:

(۱) انرژی های آلوده کننده و تجدید ناپذیر

(۲) انرژی های آلوده کننده و تجدید پذیر

(۳) انرژی های بدون آلودگی و تجدید ناپذیر

۴) انرژی های بدون آلودگی و تجدید پذیر

انرژی خورشیدی جزو گروه چهارم از دسته بندی فوق می باشد، زیرا این انرژی هیچ گونه آلودگی در پی نخواهد داشت و به علاوه چون منبع تامین این نوع از انرژی خورشید می باشد از نوع انرژی های تجدید پذیر است . [۵]

پتانسیل انرژی خورشیدی در کشور ایران

انرژی خورشید

خورشید نه تنها 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 آتشتین می گذرد و در هر ثانیه $2/4$ 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 $610 * 39/1$ کیلومتر است و از گازهایی نظیر هیدروژن $8/86$ درصد و هلیوم ۳ درصد و ۶۳ عنصر دیگر که مهمترین آنها اکسیژن، کربن، نئون و نیتروژن است تشکیل شده است. میزان دما در مرکز خورشید حدود ۱۰ تا ۱۴ میلیون درجه سانتی گراد می باشد که از سطح آن با حرارتی نزدیک به ۵۶۰۰ درجه و به صورت امواج الکترو مغناطیسی 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. سوخت های فسیلی ذخیره شده در

اعماق زمین، انرژی های باد، آبشار و امواج دریاها و بسیاری موارد دیگر از جمله نتایج همین مقدار انرژی دریافتی زمین از خورشید می باشد. [۶]

بهره برداری از انرژی خورشیدی در بسیاری از نقاط دنیا و کشورها، خصوصا کشورهایی با آفتاب زیاد رایج و در حال پیشرفت است، انرژی خورشیدی می تواند برای تولید الکتریسیته مورد استفاده قرار گیرد. با توجه به گستردگی دسترسی به این انرژی به نظر می رسد در آینده، انرژی خورشیدی به عنوان یکی از منابع ارزان انرژی در کنار سایر حامل های انرژی مورد استفاده فراوان قرار بگیرد. زمین انرژی خورشیدی را بصورت تابش مستقیم دریافت میکند که مقدار این تابش در بعضی از نقاط بسیار بیشتر از نیاز است که می توان با بهره گیری از این تابش و تبدیل آن به انرژی الکتریکی از آن استفاده نمود. [۷]

تاریخچه انرژی خورشیدی

شناخت انرژی خورشیدی و استفاده از آن برای منظوره های مختلف به زمان ماقبل تاریخ باز می گردد . شاید به دوران سفالگری، در آن هنگام روحانیون معبد به کمک جام های بزرگ طلایی 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 درب 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 رم 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 رومیان متمرکز ساخته و به این ترتیب آن ها را به آتش کشیده است.

در ایران نیز معماری سنتی ایرانیان باستان نشان دهنده توجه خاص آنان در استفاده صحیح و مؤثر از انرژی خورشید در زمان های قدیم بوده است.

با وجود آنکه انرژی خورشید و مزایای آن در قرون گذشته به خوبی شناخته شده بود ولی بالا بودن هزینه اولیه چنین سیستم هایی (که از انرژی خورشیدی استفاده می کنند)، از یک طرف و عرضه نفت و گاز ارزان از طرف 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 مساله تولید انرژی از راه های دیگر (غیر از استفاده سوخت های فسیلی) توجه جدی تری نمایند. [۸]

نخستین مباحثی که در مورد تولید برق از انرژی خورشیدی مطرح شد به سال ۱۹۳۱ بر می گردد. زمانی که گونه و همکارانش در مورد تبدیل این نوع از انرژی مباحثی را مطرح کردند، سپس در سال ۱۹۸۳ در کشور اسپانیا آزمایش هایی ذادر این مورد صورت گرفت، در سال ۱۹۹۰ شلایش و همکارانش در مورد صنعتی کردن این قضیه تلاش هایی را انجام دادند، در سال ۱۹۹۷ کرتیز به ادامه تحقیقات تیم شلایش و همکارانش پرداخت و سپس در سال های ۲۰۰۰ و ۲۰۰۱ مطالعاتی بر روی توربین های خورشیدی انجام گرفت. [۹]

جایگاه ایران

ایران یکی از کشورهای وسیع جهان است که در محدوده ۲۵ درجه و ۳ دقیقه الی ۳۹ درجه و ۴۷ دقیقه ارز شمالی و ۴۴ درجه و ۵ دقیقه الی ۶۳ درجه و ۱۸ دقیقه طول شرقی واقع شده است. [۱۰]

با توجه به موقعیت جغرافیایی ایران در نیمکره شمالی و قرار گرفتن کشورمان بر روی کمربند خورشیدی جهان و با توجه به این نکته که ایران یکی از کشورهایی است که از تابش نور خورشید با قدرت و توان مطلوب برخوردار می باشد، از مناطق بسیار مستعد برای بهره گیری از انرژی خورشیدی است. به گونه ای که میزان تابش متوسط روزانه آفتاب ۴ کیلو وات ساعت بر متر مربع و متوسط تعداد ساعات آفتابی بیشتر از ۲۸۰۰ ساعت در سال می باشد که این اعداد در شهرهای کویری کشورمان مانند یزد بیشتر بوده و به ۳۲۰۰ میرسد و نیز ارتفاع بالای اکثر شهرهای ایران از سطح دریا که این خود دلیلی برای استفاده بیشتر از تابش نور خورشید است توجه به طراحی و راه اندازی نیروگاه های خورشیدی از اهمیت بالایی برخوردار خواهد بود. [۱۱]

استان یزد در مرکز ایران در قلمرو سلسله جبال مرکزی ایران بین عرض های جغرافیایی ۲۹ درجه و ۴۸ دقیقه تا ۳۳ درجه و ۳۰ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۲ درجه و ۴۵ دقیقه تا ۵۶ درجه و ۳۰ دقیقه شرقی در نصف النهار مبدا قرار گرفته است. [۱۲]

در ایران به طور متوسط روزانه ۵/۵ کیلووات ساعت انرژی خورشیدی بر هر مترمربع از سطح زمین می تابد و ۹۰ درصد مناطق، بیشتر از ۳۰۰ روز از تابش موثر آفتاب بهره مند هستند. با احتساب مساحت تقریباً ۱۶۰۰ میلیارد مترمربعی ایران و با محاسبه برای کل مساحت ایران میزان تابش روزانه انرژی خورشیدی تقریباً برابر ۸۸۰۰ میلیارد کیلووات ساعت می باشد. [۱۳]

اگر تنها از ۱ درصد از مساحت ایران انرژی خورشیدی را جذب کنیم و راندمان سیستم دریافت انرژی تنها ۱۰ درصد باشد، بازهم میتوانیم روزانه ۹ میلیون مگاوات ساعت انرژی از خورشید دریافت کنیم. پتانسیل انرژی

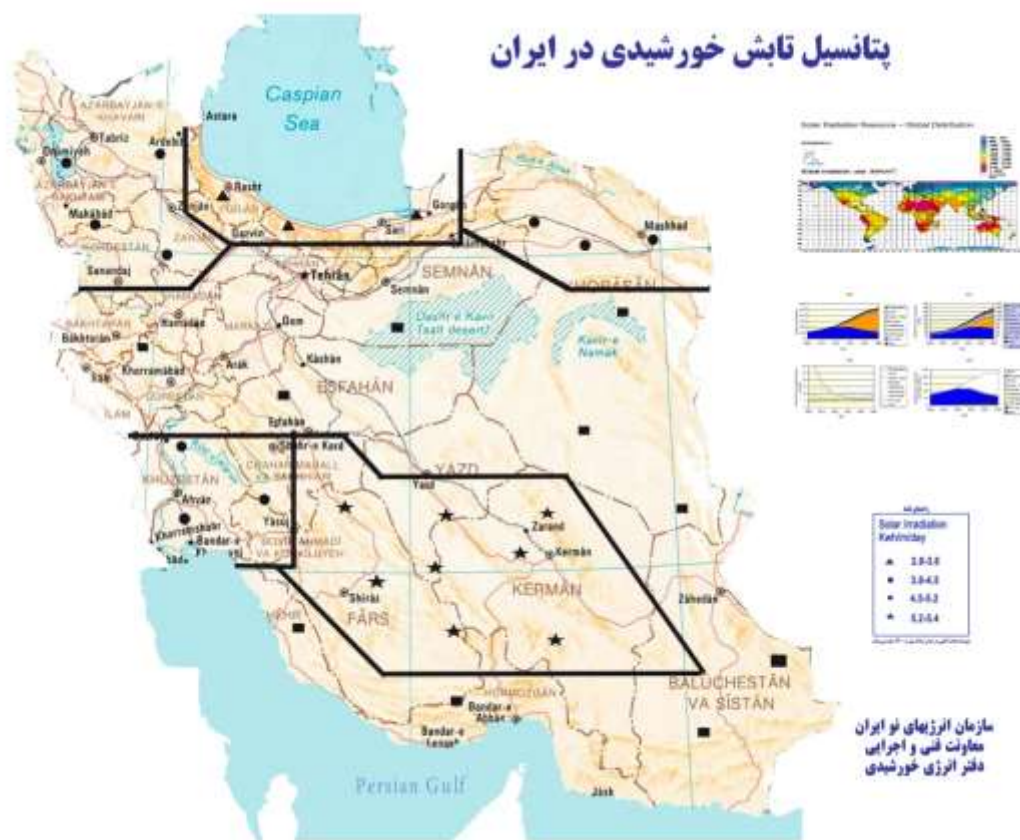
خورشیدی در ایران در مقابل متوسط جهانی رقم قابل توجهی است. این پتانسیل تابش خورشیدی در بسیاری از نقاط کشور، زمینه مناسبی برای استفاده از تجهیزات خورشیدی فراهم نموده است. [۱۴]

پتانسیل تابش و نقشه تابش خورشید در ایران

انرژی خورشیدی یکی از منابع انرژی های تجدیدپذیر و از مهمترین آنها می باشد. میزان تابش انرژی خورشیدی در نقاط مختلف جهان متغیر بوده و در کمربند خورشیدی زمین بیشترین مقدار را داراست. کشور ایران نیز در نواحی پرتابش واقع است و مطالعات نشان می دهد که استفاده از تجهیزات خورشیدی در ایران مناسب بوده و میتواند بخشی از انرژی مورد نیاز کشور را تأمین نماید. [۱۵]

ایران کشوری است که به گفته متخصصان این فن با وجود ۳۰۰ روز آفتابی در بیش از دو سوم آن و متوسط تابش ۵.۵ – ۴.۵ کیلووات ساعت بر متر مربع در روز یکی از کشورهای با پتانسیل بالا در زمینه انرژی خورشیدی معرفی شده است. برخی از کارشناسان انرژی خورشیدی گام را فراتر نهاده و در حالتی آرمانی ادعا می کنند که ایران در صورت تجهیز مساحت بیابانی خود به سامانه های دریافت انرژی تابشی می تواند انرژی مورد نیاز بخش های گسترده ای از منطقه را نیز تأمین و در زمینه صدور انرژی برق فعال شود. [۱۶]

با مطالعات انجام شده توسط DLR آلمان، در مساحتی بیش از ۲۰۰۰ کیلومترمربع، امکان نصب بیش از MW ۶۰۰۰۰ نیروگاه حرارتی خورشیدی وجود دارد. اگر مساحتی معادل ۱۰۰×۱۰۰ کیلومترمربع زمین را به ساخت نیروگاه خورشیدی فتوولتائیک اختصاص دهیم، برق تولیدی آن معادل کل تولید برق کشور در سال ۱۳۸۹ خواهد بود. [۱۷]



شکل (۱-۱) نقشه پتانسیل خورشیدی در ایران [۱۷]

انرژی خورشیدی و کاربردهای آن

انرژی خورشیدی منحصر به فردترین منبع انرژی تجدیدپذیر در جهان و منبع اصلی تمامی انرژی‌های موجود در زمین است. با وجود آنکه انرژی خورشید و مزایای آن از قرون گذشته به خوبی شناخته شده ولی بالا

بودن هزینه اولیه سیستم‌های خورشیدی از یک طرف و عرضه نفت خام و گاز طبیعی ارزان از طرف دیگر سد راه پیشرفت این سیستم‌ها شده اند. انرژی خورشیدی به صورت مستقیم و غیرمستقیم می‌تواند به اشکال دیگر انرژی تبدیل گردد. برخی کاربردهای انرژی خورشیدی عبارتند از:

1. آبگرمکن‌ها و حمام‌های خورشیدی (solar water heater)

از انرژی خورشیدی می‌توان برای تولید آب گرم تهیه آب گرم بهداشتی در منازل و اماکن عمومی به خصوص در مکان‌هایی که مشکل سوخت رسانی وجود دارد استفاده کرد. چنانچه ظرفیت این سیستم‌ها افزایش یابد می‌توان از آنها در حمام‌های خورشیدی نیز استفاده نمود. [۱۸]



شکل (۱-۲) آبگرمکن خورشیدی [۱۸]

۲. گرمایش و سرمایش ساختمان و تهویه مطبوع

اولین خانه خورشیدی در سال ۱۹۳۹ ساخته شد که در آن از مخزن گرمای فصلی برای بکارگیری گرمای آن در طول سال استفاده شده است. گرمایش و سرمایش ساختمان‌ها با استفاده از انرژی خورشید، ایده تازه‌ای بود که در دهه ۱۹۳۰ مطرح شد و در کمتر از یک دهه به پیشرفتهای قابل توجهی رسید. با افزودن سیستمی معروف به سیستم تبرید جذبی به سیستم‌های خورشیدی می‌توان علاوه بر آب گرم مصرفی و گرمایش از این سیستم‌ها در فصول گرما برای سرمایش ساختمان نیز استفاده کرد. [۱۸]

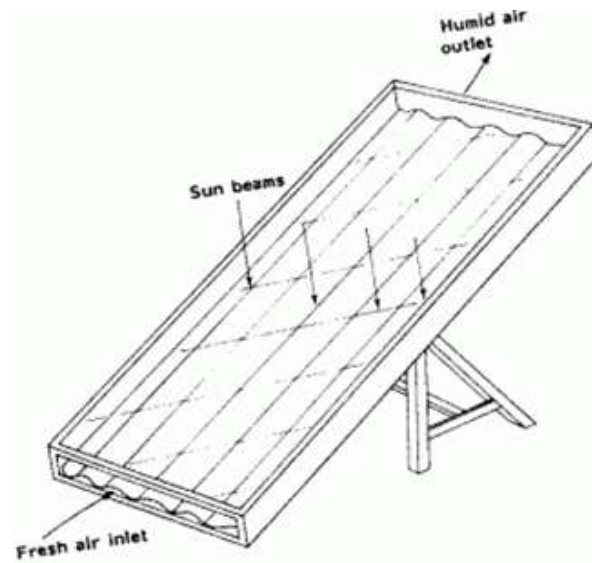
3. آب شیرین کن خورشیدی (solar humidification–dehumidification method)

هنگامی که حرارت دریافت شده از خورشید با دمای کم روی آب شور اثر کند آب تبخیر می‌شود و املاح باقی می‌ماند. سپس با استفاده از روش‌های مختلف می‌توان آب تبخیر شده را تقطیر کرد و به این ترتیب آب شیرین تهیه نمود. با این روش می‌توان آب بهداشتی مورد نیاز در نقاطی که دسترسی به آب شیرین ندارند مانند برخی جزایر را نیز تأمین کرد. آب شیرین کن های خورشیدی در دو اندازه خانگی و صنعتی ساخته می‌شوند. در نوع صنعتی با حجم بالا می‌توان برای استفاده شهرها آب شیرین تولید کرد. [۱۸]

4. خشک کن خورشیدی (solar dryer)

خشک کردن عبارت است از گرفتن قسمتی از آب موجود در مواد غذایی و سایر محصولات که باعث افزایش عمر انباری محصول و جلوگیری از رشد باکتری‌ها است. در خشک کن‌های خورشیدی بطور مستقیم یا غیر مستقیم از انرژی خورشیدی جهت خشک نمودن مواد استفاده می‌شود و هوا نیز به صورت طبیعی یا

اجباری جریان یافته و باعث تسریع عمل خشک شدن محصول می گردد. خشک کن های خورشیدی در اندازه ها و طرح های مختلف و برای محصولات و مصارف گوناگون طراحی و ساخته می شوند. [۱۸]



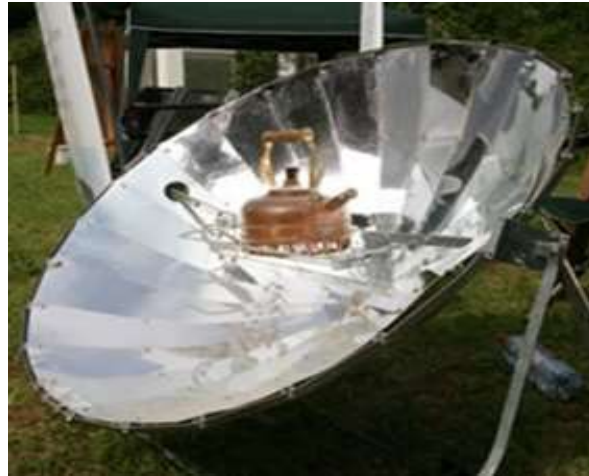
شکل (۳-۱) خشک کن خورشیدی [۱۸]

۵. اجاق های خورشیدی (Solar cooker)

دستگاه های خوراک پز خورشیدی اولین بار بوسیله شخصی بنام نیکلاس ساخته شدند. اجاق او شامل یک جعبه عایق بندی شده با صفحه سیاه رنگی بود که قطعات شیشه ای درپوش آن را تشکیل می داد. پرتو خورشید با عبور از میان این شیشه ها وارد جعبه شده و بوسیله سطح سیاه جذب می شد سپس درجه حرارت داخل جعبه را به ۸۸ درجه افزایش می داد. اصول کار اجاق خورشیدی جمع آوری پرتوهای مستقیم خورشید در یک نقطه کانونی و افزایش دما در آن نقطه است. امروزه طرح های متنوعی از این سیستم ها وجود دارد که این

طرح‌ها در مکان‌های مختلفی از جمله آفریقای جنوبی آزمایش شده و به نتایج خوبی نیز رسیده‌اند. استفاده از این اجاق‌ها به ویژه در مناطق شرقی ایران که با مشکل کمبود سوخت مواجه می‌باشند بسیار مفید خواهد بود.

[۱۸]

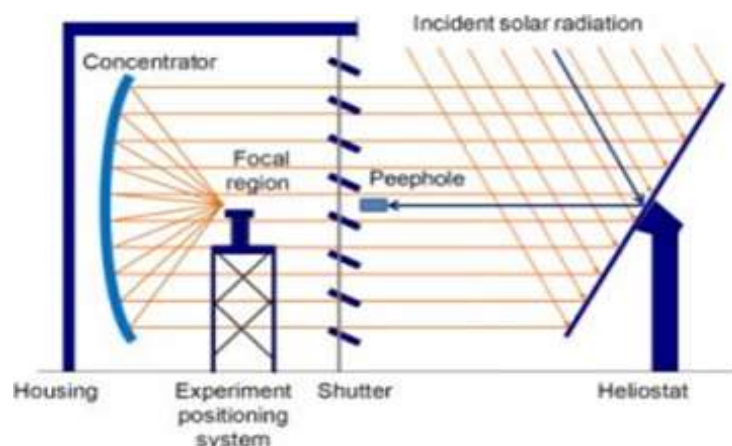


شکل (۱-۴) اجاق خورشیدی [۱۸]

6. کوره خورشیدی (solar furnace)

نوتورا در اوایل قرن ۱۸، اولین کوره خورشیدی را در فرانسه ساخت و بوسیله آن یک تل چوب را در فاصله ۶۰ متری آتش زد. بسمر، پدر فولاد جهان نیز حرارت مورد نیاز در کوره خود را از انرژی خورشیدی تأمین می‌کرد. متداولترین سیستم یک کوره خورشیدی، متشکل از دو آینه، یکی تخت و دیگری کروی می‌باشد. نور خورشید به آینه تخت رسیده و توسط این آینه به آینه کروی بازتابیده می‌شود. طبق قوانین اپتیک، هرگاه دسته پرتوی موازی محور آینه با آن برخورد نماید، در محل کانون، متمرکز می‌شوند و به این ترتیب انرژی

حرارتی گسترده خورشید در یک نقطه جمع می شود، که این نقطه به دماهای بالایی می رسد. امروزه پروژه های متعددی در زمینه کوره های خورشیدی در سراسر جهان در حال طراحی و اجراء می باشد. [۱۸]



شکل (۱-۵) کوره خورشیدی [۱۸]

انرژی الکتریکی خورشیدی

می توان انرژی خورشیدی را به الکتریسیته تبدیل کرد برای این کار دو روش اصلی وجود دارد. یک روش استفاده از حرارت خورشیدی و روش دیگر استفاده از صفحات خورشیدی فتوولتاییک است. [۱۹]

الف) نیروگاه حرارتی خورشیدی

تأسیساتی که با استفاده از آنها انرژی جذب شده حرارتی خورشید به الکتریسیته تبدیل می شود، نیروگاه حرارتی خورشیدی نامیده می شود. در نیروگاه های حرارتی خورشیدی وظیفه اصلی بخش های خورشیدی

تولید بخار مورد نیاز برای تغذیه توربین‌ها است یا به عبارت دیگر می‌توان گفت که این نوع نیروگاه‌ها شامل دو قسمت هستند: [۱۹]

- سیستم خورشیدی که پرتوهای خورشید را جذب کرده و با استفاده از حرارت جذب شده تولید بخار می‌نماید.
- سیستمی موسوم به سیستم سنتی که همانند دیگر نیروگاه‌های حرارتی بخار تولید شده را توسط توربین و ژنراتور به الکتریسیته تبدیل می‌کند.

ب) تولید برق خورشیدی فتوولتائیک

به پدیده ای که در اثر تابش نور بدون استفاده از مکانیسم‌های محرک، الکتریسیته تولید کند، پدیده فتوولتائیک و به هر سیستمی که از این پدیده‌ها استفاده کند سیستم فتوولتائیک گویند. الکتریسیته می‌تواند به‌طور مستقیم از انرژی خورشید تولید شود. فتوولتائیک یا به اختصار PV، یکی از انواع سامانه‌های تولید الکتریسیته از نور خورشید است. در این روش با بکارگیری سلول خورشیدی، تولید مستقیم الکتریسیته از تابش خورشید امکان‌پذیر می‌شود. سیستم‌های فتوولتائیک یکی از پر مصرف‌ترین کاربردهای انرژی‌های تجدیدپذیر می‌باشند. از سری و موازی کردن سلول‌های آفتابی می‌توان به جریان و ولتاژ قابل قبولی دست یافت. در نتیجه به یک مجموعه از سلول‌های سری و موازی شده پنل (Panel) فتوولتائیک می‌گویند. پنل‌های خورشیدی از نظر جنس گونه‌های مختلفی دارند و از دیدگاه حرکتی ممکن است ثابت یا گردان باشند. نوع گردان روی پایه ای ثابت نصب است و با مجهز بودن به ردیاب خورشیدی می‌تواند مسیر خورشید در آسمان را دنبال کند. [۱۹]



شکل (۱-۶) سیستم فتوولتائیک [۱۹]

معرفی نیروگاههای خورشیدی

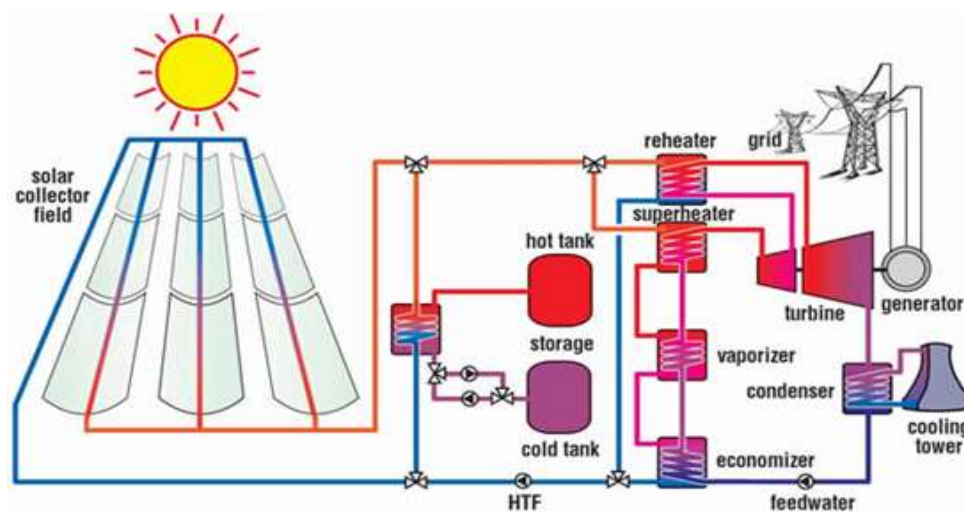
۱. نیروگاه های خورشیدی با سیستم دریافت کننده سهموی

سیستم دریافت کننده سهموی اولین نیروگاه حرارتی خورشیدی است که جهت تولید برق به صورت تجاری مورد بهره برداری قرار گرفت. این موفقیت به علت انطباق مناسب طرح فنی آن با شرایط اقتصادی است. این نیروگاهها شامل دو قسمت گردآورنده و واحد تبدیل کننده قدرت می باشند. [۲۰]

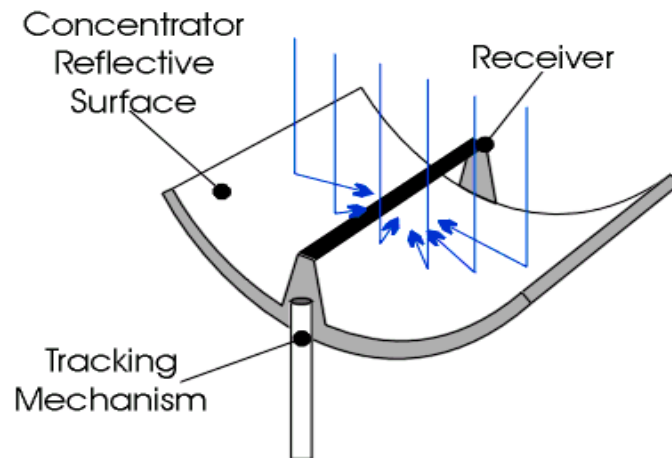
سیستم گردآورنده وظیفه متمرکز کردن ، دریافت انرژی تابشی خورشید و انتقال انرژی حرارتی جذب شده به واحد تبدیل کننده قدرت را بر عهده دارد. واحد تبدیل کننده قدرت نیز انرژی حرارتی را دریافت و در طی یک سیکل ترمودینامیکی به انرژی مکانیکی و سپس توسط یک ژنراتور به انرژی الکتریکی تبدیل میکند. [۲۰]

در سیستم دریافت کننده سهموی ، آینه های متمرکز کننده سهموی که قابلیت ردیابی تشعشعات خورشیدی را در یک محور دارند، در ردیف های طولانی کنار یکدیگر قرار می گیرند. آینه ها تشعشعات خورشیدی را روی لوله دریافت کننده خطی متمرکز می کنند. لوله دریافت کننده در خط کانونی آینه ها قرار گرفته است و درون آن سیال حامل انرژی جریان دارد. بین لوله دریافت کننده و محفظه شیشه ای خلاء می باشد. در ابتدا از روغن

های مصنوعی با دمای انجماد پایین (۱۴ درجه سانتیگراد) و خواص حرارتی مناسب، به عنوان سیال حامل انرژی درون لوله دریافت کننده استفاده می شود. از معایب روغن های مصنوعی می توان به هزینه زیاد و حداکثر دمای قابل تحمل آنها (۴۰ درجه سانتیگراد) اشاره کرد. در نیروگاه هایی که از روغن های مصنوعی به عنوان سیال حامل انرژی استفاده می کنند، معمولاً یک چرخه مجزا برای ذخیره انرژی گرمایی با استفاده از نمک های مذاب وجود دارد. مبادله کننده های حرارتی که برای انتقال انرژی گرمایی اضافی روغن های مصنوعی به نمک های مذاب بکار می روند، هزینه نیروگاه خورشیدی را افزایش می دهند. به منظور کاهش هزینه ها، امروزه از نمک مذاب درون لوله دریافت کننده استفاده می شود. نمک مذاب پس از دریافت انرژی گرمایی در لوله، مستقیماً وارد مخزن ذخیره گرمایی می شود. ذخیره انرژی گرمایی، امکان تولید انرژی الکتریکی در طی زمان هایی که تابش خورشیدی وجود ندارد را فراهم می کند. [۲۰]



شکل (۷-۱) شماتیک نیروگاه خورشیدی با دریافت کننده سهموی [۲۰]



شکل (۸-۱) کلکتور سهموی [۲۰]

۲. نیروگاههای خورشیدی با سیستم دریافت کننده خطی فرسnel

همانند سیستم دریافت کننده سهموی، سیستم دریافت کننده خطی فرسnel لوله دریافت کننده خطی را که درون آن سیال حامل انرژی در حالت مایع یا گاز (معمولاً آب یا بخار آب) است، گرم می کند. به جای آینه های سهموی ، در این سیستم مجموعه ای از آینه های تخت بلند که در ردیف- های موازی قرار گرفته اند، تشعشعات خورشیدی را روی یک لوله دریافت کننده خطی که در بالای آینه ها قرار دارد، متمرکز می کنند .

[۲۰]

مطالعات نشان می دهد که بازده حرارتی سیستم دریافت کننده خطی فرسnel تقریباً ۳۰ درصد کمتر از بازده حرارتی سیستم دریافت کننده سهموی است. تجهیزات مورد استفاده در این سیستم، هندسه و مکانیزم ساده ای دارند، بنابراین از نظر هزینه های تجاری نسبت به سیستم دریافت کننده سهموی ارزان تر می باشند . [۲۰]

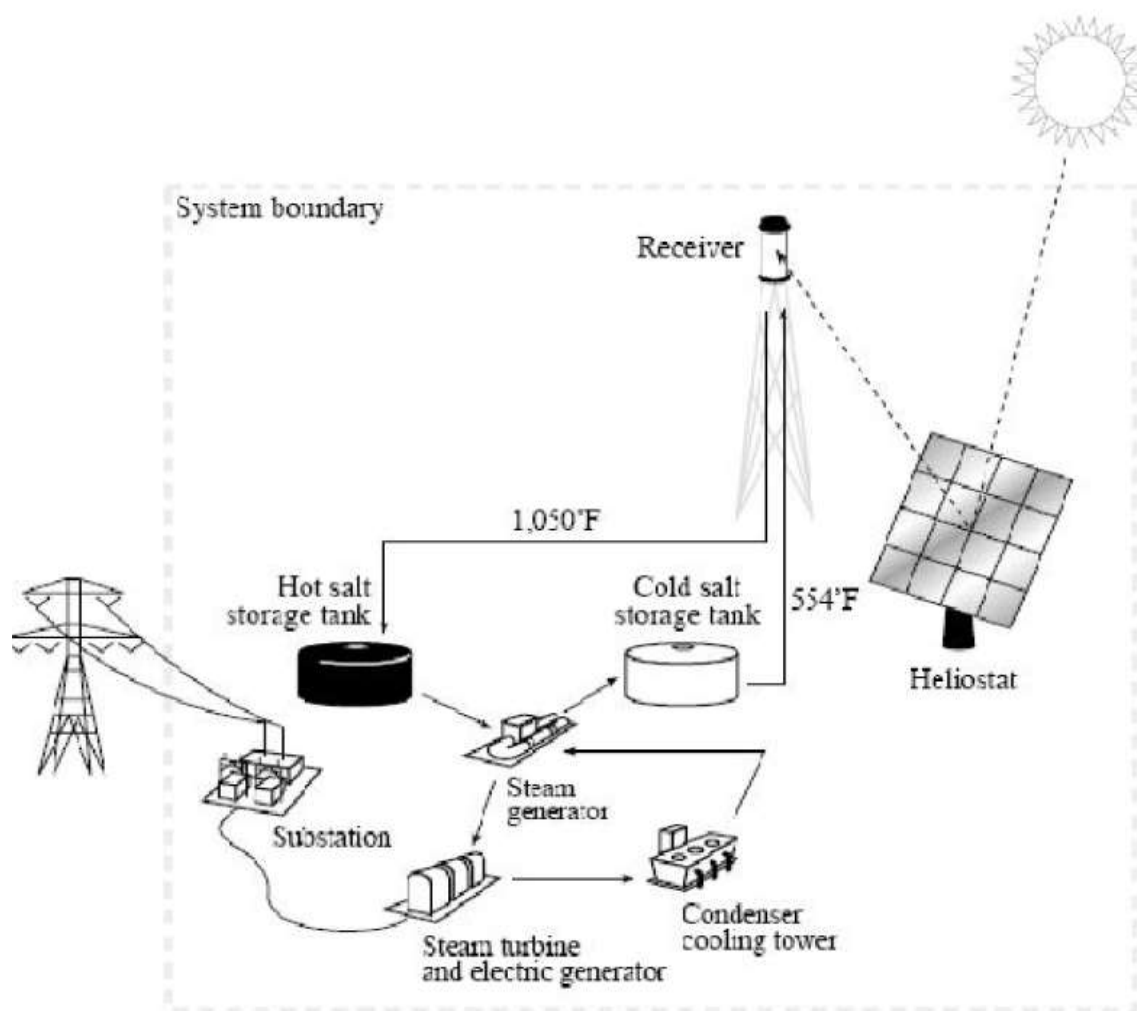


شکل (۹-۱) نیروگاه خورشیدی با سیستم دریافت کننده خطی فرسنگ [۲۰]

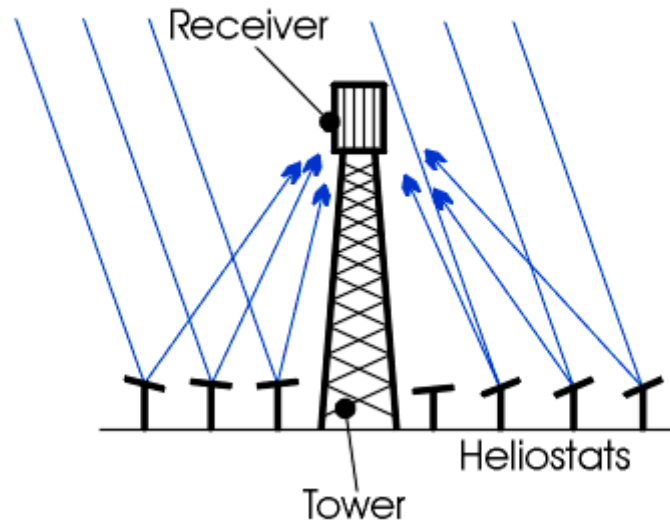
۳. نیروگاه های حرارتی خورشیدی با سیستم دریافت کننده مرکزی

شکل (۱۰-۱) شمای کلی یک نیروگاه حرارتی خورشیدی با سیستم دریافت کننده مرکزی را نشان می

دهد.



شکل (۱-۱) شمای کلی یک نیروگاه حرارتی خورشیدی با سیستم دریافت کننده مرکزی



شکل (۱-۱۱) نیروگاه با دریافت کننده مرکزی

همانطور که در این شکل دیده می شود، این نیروگاه از سه بخش اصلی تشکیل می شود :

- مجموعه آینه های هلیوستات
- دریافت کننده مرکزی، سیستم های انتقال حرارت و ذخیره سازی
- سیستم تولید انرژی الکتریکی

در این نوع نیروگاه ها از تعداد زیادی آینه منعکس کننده که اصطلاحاً به آنها « هلیوستات » می گویند استفاده می شود. در واقع این آینه ها پرتوهای خورشیدی دریافتی را بر بالای یک دریافت کننده مرکزی متمرکز می کنند. برای دسترسی به انرژی حرارتی بیشتر، تعداد زیادی از این آینه ها در کنار یکدیگر قرار گرفته و مزرعه ای از هلیوستات ها را بوجود می آورند. در این مزرعه هر یک از هلیوستات ها به تنهایی قابل کنترل بوده و لذا قادرند که انرژی خورشیدی دریافتی را در ساعات مختلف روز بر روی دریافت کننده مرکزی متمرکز نمایند.

در نیروگاه های خورشیدی با سیستم دریافت کننده مرکزی، برج دریافت کننده بلندی در کانون اصلی آینه های هلیوستات قرار گرفته است. تشعشعات خورشیدی به سطح خارجی دریافت کننده ای که در بالای برج واقع است، تابیده می شوند. لوله های دریافت کننده مجزا در سطح خارجی دریافت کننده مرکزی، قرار دارند. مقدار زیادی از انرژی خورشیدی متمرکز شده به وسیله لوله های دریافت کننده جذب شده و به سیال حامل انرژی درون آنها منتقل می شود. سیال حامل انرژی با دمای زیاد، انرژی مورد نیاز چرخه توان نیروگاه را تأمین می نماید. برای کارکرد مداوم این نیروگاه ها، در زمانی که تابش خورشیدی وجود ندارد مانند ساعات ابری یا هنگام شب، از سیستم های ذخیره کننده گرمایی و در برخی موارد از دیگ های بخار با سوخت فسیلی برای تولید بخار آب استفاده می شود. دریافت کننده مرکزی و مخازن ذخیره گرمایی از نمک های مذاب یا بخار آب به عنوان سیال حامل انرژی استفاده می کنند. نمک های مذاب نیترات در محدوده دمایی ۲۹۰ تا ۵۶۰ درجه سانتیگراد در حالت مایع قرار دارند. به دلیل این که دمای نقطه انجماد نمک مذاب پایین است، بنابراین در مواقعی که شار حرارتی خیلی کم می شود، باید دقت کرد که نمک مذاب درون دریافت کننده منجمد نشود. نمک مذاب گرم شده مستقیماً به مخزن ذخیره گرمایی هدایت می شود تا انرژی مازاد بر نیاز مبادله کننده های حرارتی، در آن ذخیره گردد. جهت ذخیره انرژی گرمایی یکسان، سیستم های ذخیره گرمایی که از نمک مذاب به عنوان ماده ذخیره کننده انرژی گرمایی استفاده می کنند نسبت به سیستم هایی که از بخار آب به عنوان ماده ذخیره کننده انرژی گرمایی استفاده می کنند، اندازه، حجم و هزینه کمتری دارند. در سیستم دریافت کننده مرکزی شار حرارتی زیادی توسط هلیوستات ها در سطح خارجی دریافت کننده متمرکز می شود، بنابراین فناوری سیستم دریافت کننده مرکزی نسبت به سایر فناوری های متمرکز کننده انرژی خورشیدی از بازده حرارتی بالاتری برخوردار است. در صورتی که شار حرارتی متمرکز شده روی سطح خارجی دریافت کننده مرکزی افزایش یابد، دمای سیال عامل چرخه توان نیروگاه افزایش می یابد که این امر افزایش بازده حرارتی نیروگاه خورشیدی را در پی دارد ولی باید توجه داشت که افزایش شار حرارتی، دمای سیال حامل انرژی درون لوله دریافت کننده را نیز

افزایش می دهد، در این صورت دمای سطح خارجی دریافت کننده مرکزی زیاد شده و در نتیجه اتلافات حرارتی افزایش می یابد. بنابراین انتخاب شار حرارتی بهینه برای طراحی میدان جمع کننده از اهمیت زیادی برخوردار است. همچنین حداکثر شار حرارتی مجازی که دریافت کننده مرکزی می تواند تحمل کند، بایستی با توجه به جنس ماده بکار رفته در ساخت لوله دریافت کننده تعیین شود. [۲۰]

۴. نیروگاه های خورشیدی با سیستم دریافت کننده بشقاب-استرلینگ

سیستم بشقاب - استرلینگ، یک فناوری کوچک جهت متمرکز کردن انرژی خورشیدی است.

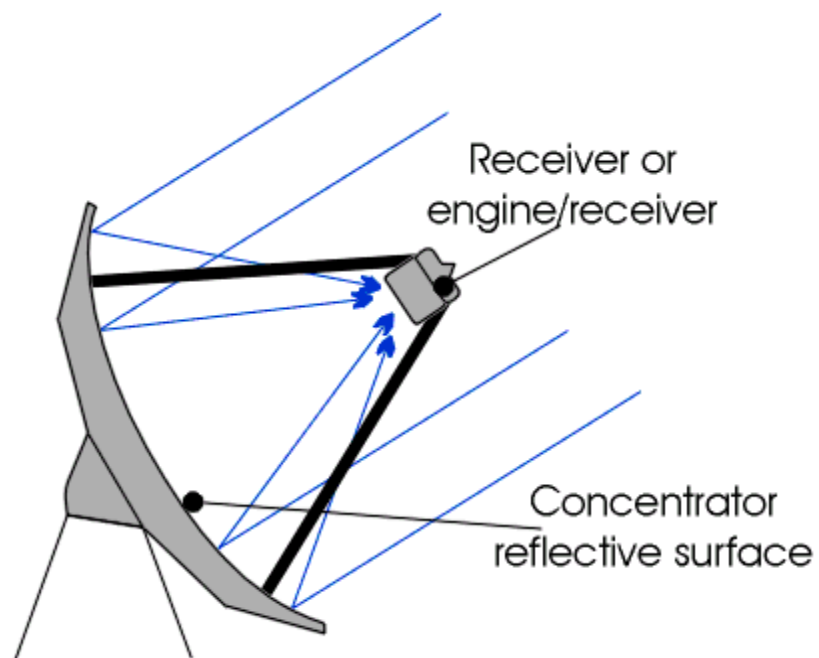
هر واحد این نیروگاه خورشیدی از قسمتهای زیر تشکیل یافته است .

بشقاب سهموی که وظیفه متمرکز کردن پرتوهای خورشیدی را بر روی دریافت کننده بر عهده داشته و قابلیت ردیابی خورشید را حول دو محور داراست.

- دریافت کننده که رابط بین متمرکز کننده و موتور حرارتی است و انرژی تابش را به حرارتی تبدیل میکند.
- موتور حرارتی استرلینگ که انرژی حرارتی را به الکتریکی تبدیل می نماید.
- دینام یا ژنراتور کوپل شده به موتور استرلینگ که انرژی مکانیکی را به الکتریکی تبدیل می کند. [۲۰]



شکل (۱-۱۲) یک سیستم دریافت کننده بشقاب - استرلینگ [۲۰]



شکل (۱-۱۳) دریافت کننده بشقابی [۲۰]

سطح منعکس کننده این سیستم، شبیه بشقابی است که از دوران یک خط سهموی ایجاد شده باشد. انرژی خورشیدی روی دریافت کننده کوچکی که در نقطه ی کانونی آینه بشقابی واقع شده، متمرکز می شود. دریافت کننده انرژی گرمایی را به یک ماشین حرارتی به نام موتور استرلینگ منتقل می کند. موتور استرلینگ انرژی گرمایی را به انرژی الکتریکی تبدیل می کند. تعداد سیستم های بشقاب - استرلینگ مورد نیاز با توجه به مقدار انرژی الکتریکی مصرفی تعیین می شود. در صورتی که انرژی الکتریکی مصرفی زیاد باشد، از سیستم بشقاب - استرلینگ نمی توان برای تولید توان الکتریکی در مقیاس زیاد استفاده کرد، زیرا هر سیستم بشقاب - استرلینگ به یک موتور استرلینگ مجزا نیاز دارد. با توجه به هزینه بالای ساخت موتورهای استرلینگ، بکارگیری تعداد زیادی سیستم بشقاب - استرلینگ از نظر اقتصادی مقرون به صرفه نخواهد بود. از معایب دیگر این فناوری می توان به عدم وجود مخزن ذخیره انرژی گرمایی اشاره کرد. معمولاً از هیدروژن به عنوان سیال عامل درون موتور استرلینگ استفاده می شود. مهم ترین مزیت سیستم بشقاب - استرلینگ نسبت به سایر فناوری های متمرکز کننده خورشیدی عدم نیاز به آب در چرخه تبدیل انرژی گرمایی به انرژی الکتریکی است. بازده حرارتی سیستم بشقاب - استرلینگ به صورت نسبت انرژی الکتریکی تولید شده به انرژی خورشیدی تابیده شده به سطح آینه ی بشقابی، تعریف می شود. [۲۰]

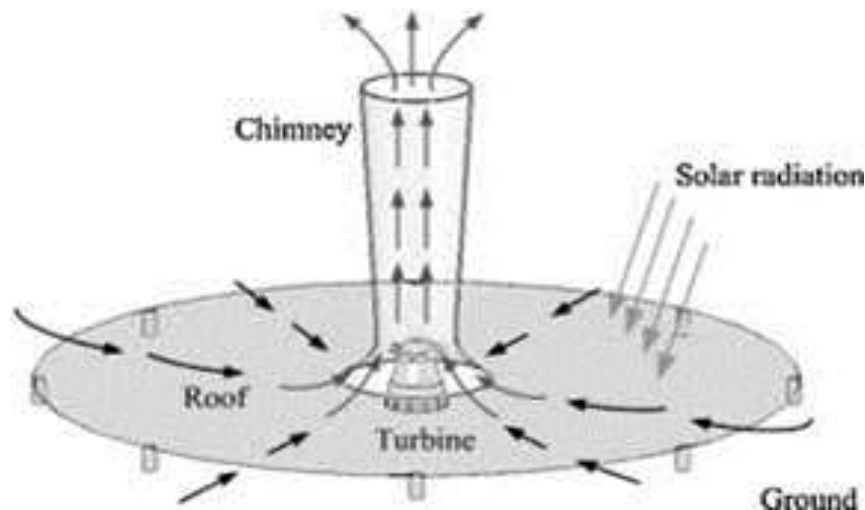
۵. دودکش خورشیدی (solar chimney power plants)

برج مکشی خورشیدی یا دودکش خورشیدی (Solar updraft tower) روشی برای تولید انرژی الکتریکی از نور خورشید است. در این روش با استفاده از یک کلکتور گلخانه ای که در اطراف یک برج تو خالی بلند قرار دارد، هوا گرم می شود. هوای گرم به دلیل جریان همرفت به بالای برج حرکت می کند و در مسیر خود توربین ها را به حرکت در آورده و تولید انرژی الکتریکی می کند.

فناوری دودکش خورشیدی در واقع از سه عنصر اصلی تشکیل شده است: جمع کننده هوا یا همان کلکتور ، برج یا همان دودکش و توربین ها.

هوای گرم مورد نیاز برای دودکش خورشیدی توسط پدیده گلخانه ای در یک محوطه ای که با پلاستیک یا شیشه پوشانده شده و چند متری از زمین فاصله دارد، ایجاد می شود. البته با نزدیک شدن به پایه برج، ارتفاع ناحیه پوشانده شده نیز افزایش می یابد تا تغییر مسیر حرکت جریان هوا به صورت عمودی با کمترین اصطکاک انجام پذیرد. در وسط این سقف شفاف یک دودکش یا برج عمودی وجود دارد، هوای گرم چون سبک است به سمت بالای برج حرکت می کند (ایجاد مکش در پان برج). تشعشع خورشید در آن برج باعث ایجاد مکش به سمت بالا می شود که انرژی حاصل از این مکش توسط چند مرحله توربین تعبیه شده در برج به انرژی مکانیکی تبدیل شده و سپس به برق تبدیل می شود.

توان تولید برق یک دودکش خورشیدی متناسب با حجم حاصل از ارتفاع برج و سطح کلکتور است یعنی می توان با یک برج بلند و سطح کم یا یک برج کوتاه با سطح وسیع به یک میزان برق تولید کرد.

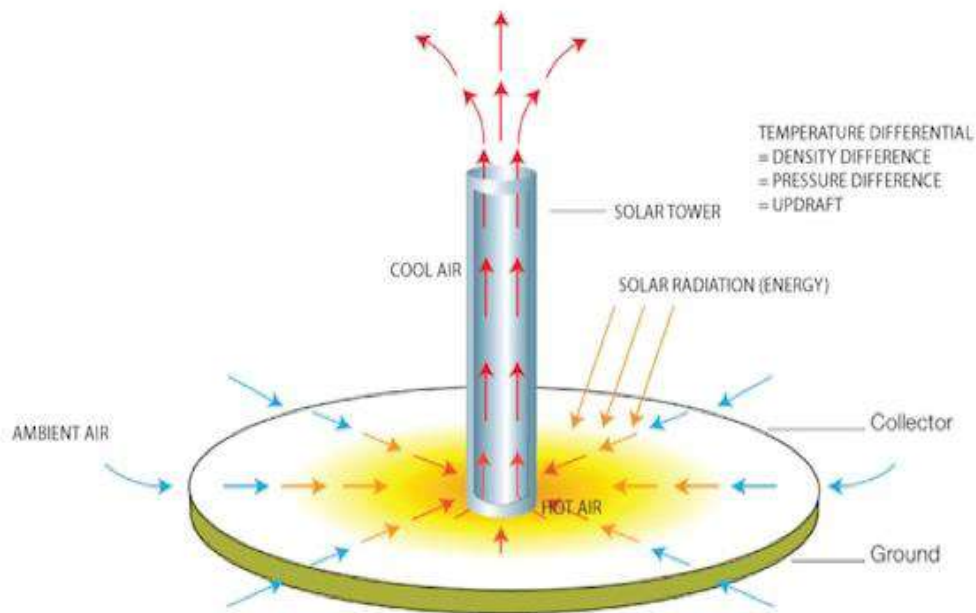


شکل (۱-۱۴) دودکش خورشیدی

نیروگاه دودکش خورشیدی به اختصار SCPP نیز نامیده می شود. این نیروگاه ها از سه بخش اصلی تشکیل شده اند.

۱ - کلکتور خورشیدی ۲ - دودکش ۳ - توربین

کلکتور خورشیدی در حقیقت همان سطح زمین است که روی آن یک جسم شفاف مانند شیشه یا پلاستیک در ارتفاع معینی قرار دارد. دودکش یک سازه سیلندری شکل و بلند است که در مرکز این کلکتور واقع شده است و در نهایت توربین در مقطع آن قرار گرفته است. مقطع شماتیک یک نیروگاه دودکش خورشیدی در شکل زیر نشان داده شده است.



شکل (۱-۱۵) طرح شماتیک نیروگاه دودکش خورشیدی

جدول (۱-۱) مقایسه نیروگاه های خورشیدی

بشقابی	برج مرکزی	سهمی گون	دودکش خورشیدی	*
۳۰ تا ۱۰۰	۰/۰۱ تا ۱	۳۰ تا ۲۰۰	۳۰ تا ۲۰۰	توان Mw
۱۵ تا ۱۷	۱۵ تا ۲۰	۱۳ تا ۱۵	۴ تا ۱۱	بازدهی سالانه %
۱۷	۲۰	۲۵	۷۶	مساحت لازم Mm^2

فصل دوم :

مروری بر ادبیات

دودکش خورشیدی

برج مکشی خورشیدی یا دودکش خورشیدی (Solar updraft tower) روشی برای تولید انرژی الکتریکی از نور خورشید است. در این روش با استفاده از یک کلکتور گلخانه‌ای که در اطراف یک برج تو خالی بلند قرار دارد، هوا گرم می‌شود. هوای گرم به دلیل جریان همرفت به بالای برج حرکت می‌کند و در مسیر خود توربین‌ها را به حرکت در آورده و تولید انرژی الکتریکی می‌کند.

فناوری دودکش خورشیدی در واقع از سه عنصر اصلی تشکیل شده است: جمع‌کننده هوا، برج یا همان دودکش و توربین‌ها.

هوای گرم مورد نیاز برای دودکش خورشیدی توسط پدیده گلخانه‌ای در یک محوطه‌ای که با پلاستیک یا شیشه پوشانده شده و چند متری از زمین فاصله دارد، ایجاد می‌شود. البته با نزدیک شدن به پایه برج، ارتفاع ناحیه پوشانده شده نیز افزایش می‌یابد تا تغییر مسیر حرکت جریان هوا به صورت عمودی با کمترین اصطکاک انجام پذیرد.

در وسط این سقف شفاف یک دودکش یا برج عمودی وجود دارد، هوای گرم چون سبک است به سمت بالای برج حرکت می‌کند (ایجاد مکش در پان برج). تشعشع خورشید در آن برج باعث ایجاد مکش به سمت بالا می‌شود که انرژی حاصل از این مکش توسط چند مرحله توربین تعبیه شده در برج به انرژی مکانیکی تبدیل شده و سپس به برق تبدیل می‌شود.

توان تولید برق یک دودکش خورشیدی متناسب با حجم حاصل از ارتفاع برج و سطح کلکتور است یعنی می‌توان با یک برج بلند و سطح کم یا یک برج کوتاه با سطح وسیع به یک میزان برق تولید کرد.

اجزاء نیروگاه دودکش خورشیدی :

تکنولوژی دودکش خورشیدی در واقع از سه قسمت اصلی زیر تشکیل شده است :

۱- کلکتور خورشیدی

۲- برج یا دودکش خورشیدی

۳- توربین

مزایای نیروگاه دودکش خورشیدی :

- استهلاک کم و عمر کارکرد زیاد :

عمر مفید نیروگاه های دودکش خورشیدی بیش از ۷۵ سال پیش بینی می شود، لذا هزینه استهلاک سالانه این نیروگاه ها ناچیز خواهد بود. درحالی که حداکثر عمر نیروگاه های سوخت فسیلی بین ۱۵ تا ۳۰ سال می باشد.

- سیستم ذخیره سازی انرژی توسط کلکتور خورشیدی :

در این نوع نیروگاه به سیستم اضافی جهت ذخیره کردن انرژی نیاز نمی باشد زیرا زمین وظیفه ذخیره کردن انرژی را انجام می دهد و در موقع کمبود یا فقدان تابش خورشید سبب ادامه جریان می گردد و در عین حال به عنوان یک تعدیل کننده و یکنواخت کننده جریان عمل می نماید.

- تکنولوژی های بکاررفته در نیروگاه های دودکش خورشیدی نسبتا ساده و قابل

اطمینان است :

تکنولوژی همه قسمت های نیروگاه های دودکش خورشیدی برای قرنهای آینده است که بصورت شناخته شده درآمده اند و ترکیب این قسمت ها نیز ساده و قابل اعتماد بوده و برای کشورهای کمتر توسعه یافته، مشکلات فنی به همراه ندارد. همچنین مواد اولیه ساخت این نیروگاه در کشور موجود می باشد.

- تولید توان نیروگاه های دودکش خورشیدی در شرایط جوی ابری و عدم تابش

موقت نور مستقیم خورشید :

اختلاف اساسی که بین نیروگاه های دودکش خورشیدی و دیگر نیروگاه های خورشیدی که با استفاده از سیستم های متمرکزکننده عمل می کنند وجود دارد، این است که نیروگاه- های دودکش خورشیدی نیازی به دریافت تشعشع مستقیم ندارد و در مواقعی که لکه های ابر در آسمان بوده و یا تشعشعات خورشیدی پراکندگی پیدا کرده باشند نیز جریان در داخل برج وجود خواهد داشت، زیرا پرتوهای مادون قرمز در تعادل کلی انرژی در نیروگاه های دودکش خورشیدی نقش اساسی را ایفا می کنند و این در حالی است که تابش این اشعه در متمرکزکننده های خورشیدی و یا مولدهای فتوولتایک تاثیر اندکی دارند.

• عدم احتیاج به آب زیاد :

نیروگاه های دودکش خورشیدی احتیاج به آب زیادی ندارند. این مزیت برای مناطق کم آب مانند مناطق کویری ایران بسیار حائز اهمیت می باشد. نیروگاه های حرارتی با سوخت های فسیلی، هنگام فعالیت نیاز به آب مصرفی زیادی دارند.

• عدم احتیاج به مراقبت های دائمی :

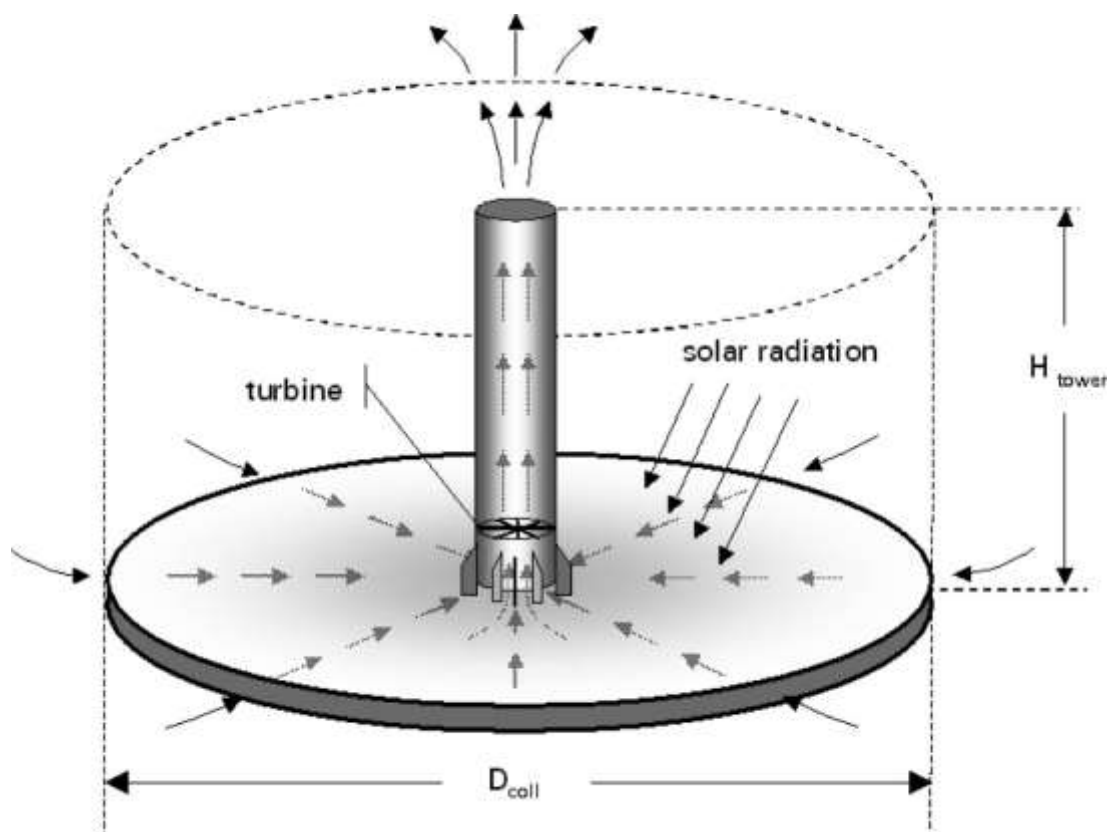
نیروگاه های دودکش خورشیدی را می توان به طور خودکار به راه انداخت، در صورتی که در نیروگاه های اتمی وجود متخصصین ضروری بوده و این دستگاه ها احتیاج به مراقبت های دائمی و ویژه دارند.

• تولید برق بدون مصرف سوخت :

نیروگاه های دودکش خورشیدی نیاز به سوخت فسیلی ندارند. برخلاف نیروگاه های فسیلی که قیمت برق تولیدی آنها، تابع قیمت نفت بوده و همیشه در حال تغییر می باشد، در نیروگاه های خورشیدی این نوسان وجود نداشته و می توان بهای برق مصرفی را برای مدت طولانی ثابت نگه داشت.

• حفظ محیط زیست :

نیروگاه های دودکش خورشیدی ضمن تولید برق، هیچ گونه آلودگی ندارند و مواد سمی و مضر تولید نمی کنند. در صورتی که نیروگاه های سوخت فسیلی، هوا و محیط زیست اطراف خود را با مصرف نفت، گاز یا زغال سنگ آلوده کرده و نیروگاه های اتمی با تولید زباله های هسته ای که بسیار خطرناک و رادیواکتیو هستند، محیط زندگی را آلوده و مشکلات عظیمی را برای حیات موجودات زنده به وجود می آورند.



شکل (۱-۲) شماتیک یک نیروگاه دودکش خورشیدی [۲۰]

اساس کار این نیروگاه بدین صورت است که تشعشع خورشیدی باعث ایجاد مکش جریان هوای کلکتور به سمت بالای دودکش می شود. انرژی حاصل از این مکش توسط توربین تعبیه شده در دودکش به انرژی مکانیکی دورانی تبدیل شده و سپس به برق تبدیل می گردد. در این بخش نحوه عملکرد قسمت های مختلف این نیروگاه مورد بررسی قرار می گیرد. [۲۰]

معایب نیروگاه های دودکش خورشیدی:

- سرمایه گذاری اولیه بالا
- مساحت زمین مورد نیاز بالا
- نوسان در تولید نیرو
- در مکان های زلزله خیز هزینه ساخت بالایی دارد
- در مناطقی که دارای طوفان شن دائمی هستند قابل استفاده نمی باشد

کلکتور خورشیدی :

سقف شیشه ای که به وسیله قاب بندی و ستون های مناسب در ارتفاع مناسب از سطح زمین نصب می گردد، همراه با زمین یک کلکتور خورشیدی را تشکیل می دهند. نمایی از کلکتور خورشیدی نیروگاه مانزانارس اسپانیا در شکل (۲-۲) نشان داده شده است.

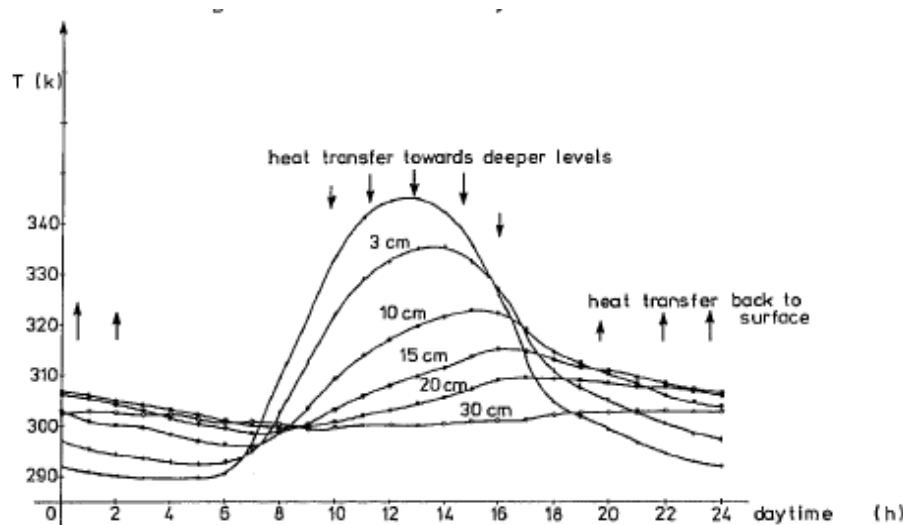


شکل (۲-۲) کلکتور خورشیدی نیروگاه مانزانارس اسپانیا

پوشش نیمه شفاف این کلکتور باعث می شود که امواج تشعشع خورشید وارد آن شده و تشعشع های با طول موج بالا را مجدداً از زمین گرم بازتاب کند. بنابراین در این کلکتور خورشیدی زمین نقش سطح جذب کننده انرژی خورشیدی و سقف، اثر گلخانه ای را در جلوگیری از تلفات تشعشعی زمین ایفا می کند. در نتیجه سطح زمین زیر سقف به دمای بالاتری می رسد و بخشی از انرژی خود را به هوای موجود بین سقف و زمین منتقل

می کند و بخش دیگر انرژی در عمق نزدیکی از سطح زمین ذخیره می گردد. روشن است که هوای گرم شده درون کلکتور چون سبک تر از هوای سرد است به سمت بالای دودکش عمودی که در وسط این سقف نیمه شفاف وجود دارد حرکت می کند. این حرکت باعث ایجاد مکش در پایین دودکش می شود تا هوای گرم بیشتری به درون دودکش وارد شود و هوای سرد پیرامونی به داخل کلکتور خورشیدی وارد شود. به لحاظ درجه حرارت، دودکش خورشیدی یک تکنولوژی دمای پایین است و دمای هوا حداکثر حدود ۳۵ درجه سانتیگراد بیش از دمای محیط می گردد.

در نمودار (۱-۲) توزیع دما در عمق های متفاوت زمین در ساعات مختلف شبانه روز نشان داده شده است.



نمودار (۱-۲) توزیع دما در عمق های متفاوت زمین در ساعات مختلف شبانه روز

همانطور که مشاهده می شود در ساعات میانی روز (ظهر خورشیدی) درجه حرارت سطح زمین بیشتر از عمق آن خواهد بود و با انتقال حرارت از سطح به طرف عمق، مقدار ماکزیمم درجه حرارت برای لایه های زیرین در ساعات بعد از ظهر بدست می آید. به همین علت در ساعات پایانی روز و به هنگام شب که تابش خورشیدی

کاهش یافته و یا وجود ندارد انتقال حرارت از لایه های زیرین به سطح زمین انجام می گیرد و کلکتور وظیفه خود را که حرارت دادن به هوا می باشد ادامه خواهد داد.

باید توجه داشت که با نزدیک شدن به پایه دودکش، ارتفاع ناحیه پوشانده شده نیز افزایش می یابد تا تغییر مسیر حرکت جریان هوا بصورت عمودی با کمترین اصطکاک انجام پذیرد. همچنین افزایش ارتفاع کلکتور نیز (فاصله بین پوشش نیمه شفاف کلکتور تا سطح زمین) با کاهش افت های اصطکاکی بر بازده کل کلکتور موثر است. از طرف دیگر انتقال حرارت به مقدار زیادی به سرعت عبور هوا در داخل کلکتور مربوط می باشد. با افزایش ارتفاع کلکتور، سرعت عبور هوا و مقدار انتقال حرارت کاهش خواهد یافت. در یک دودکش خورشیدی چند مگاواتی، کلکتور باعث می شود که دمای هوا بین ۳۰ تا ۳۵ درجه سانتیگراد افزایش یابد و این به معنی سرعتی معادل ۱۵ متر بر ثانیه است. این سرعت باعث حرکت شتابدار هوا نخواهد شد و بنابراین برای انجام عملیات تعمیر و نگهداری می توان براحتی وارد آن شد و ریسک سرعت بالای هوا وجود ندارد. همچنین باید محل اتصال سقف نیمه شفاف و دودکش بصورتی باشد که منفذی نداشته باشد و اصطلاحاً هوا بند شده باشد.

[۲۰]

دودکش خورشیدی :

دودکش خورشیدی به خودی خود نقش موتور حرارتی یک نیروگاه دودکش خورشیدی را دارد و همانند یک لوله تحت فشار است که به دلیل دارا بودن نسبت مناسب حجم به سطح از اتلاف اصطکاکی کمی برخوردار است. هوای دریافت کننده انرژی حرارتی، گرم و سبک شده و نهایتاً به علت اختلاف فشار دو ستون هوای گرم و سرد موجود در دودکش و بیرون، جریان هوا به سمت بالای دودکش حرکت می کند. در دودکش، این سرعت مکشی به سمت بالا با افزایش دمای جریان هوای درون کلکتور و ارتفاع دودکش افزایش می یابد. در داخل دودکش جریان گرمایی بوجودآمده توسط کلکتور به انرژی جنبشی و انرژی پتانسیل (افت فشار در توربین) تبدیل می شود. بنابراین متوجه می شویم که اختلاف دانسیته هوا که ناشی از افزایش دما در کلکتور است، بعنوان یک نیروی محرکه عمل می کند. هوای سبک تر موجود در دودکش در قسمت تحتانی و در قسمت فوقانی دودکش به هوای اطراف متصل است و از این رو باعث ایجاد یک حرکت روبه بالا می شود. در یک چنین حالتی یک اختلاف فشار کل بین قسمت پایین دودکش (خروجی کلکتور) و محیط اطراف ایجاد می شود که از رابطه زیر قابل محاسبه است: [۲۰]

$$\Delta p = g \int_0^{H_c} (\rho_a - \rho_c) \cdot dH$$

۱-۲

براین اساس با افزایش ارتفاع دودکش، اختلاف فشار کل افزایش خواهد یافت. این اختلاف فشار را می توان (با

صرف نظرکردن از اتلاف های اصطکاکی) به دو قسمت اختلاف فشار استاتیک ΔP_s و دینامیک ΔP_d تقسیم کرد:

$$\Delta P = \Delta P_s + \Delta P_d$$

۲-۲

قابل ذکر است که افت فشار استاتیک در توربین رخ می دهد و اختلاف فشار دینامیک بیانگر انرژی جنبشی جریان هوا است. می توان توان موجود در جریان هوا را به وسیله اختلاف فشار کل و دبی حجمی هوا وقتی که افت فشار استاتیک وجود ندارد، از رابطه زیر بدست آورد:

$$p_{tot} = \Delta p \cdot V_{c,max} \cdot A_c \quad 3-2$$

با این فرض که پروفیل های دما در دودکش و محیط بصورت موازی حرکت می کنند حداکثر سرعت قابل دسترسی برای جریان جابجایی آزاد با استفاده از رابطه تصحیح شده

$$V_{c,max} = \sqrt{2g \cdot H_c \frac{\Delta T}{T_0}} \quad \text{توریچلی بصورت زیر به دست می آید:} \quad 4-2$$

که در این فرمول ΔT همان افزایش دما بین محیط و خروجی کلکتور (ورودی دودکش) است. با فرض حالت دائم و فرآیند همفشار، تغییر آنتالپی جریان هوای کلکتور از رابطه زیر به دست می آید:

$$\Delta H = \dot{m} C_p \Delta T \quad 5-2$$

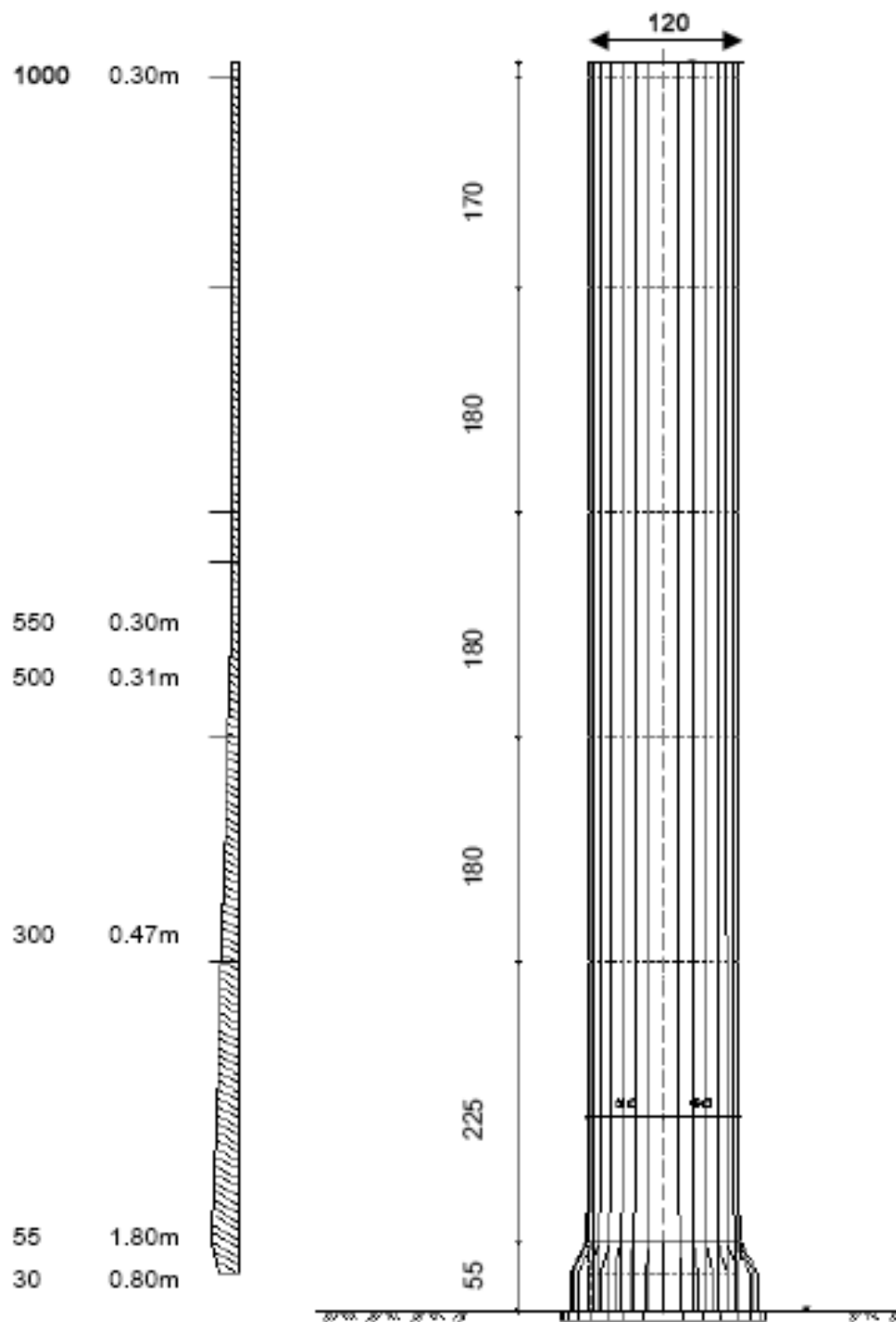
بازده دودکش خورشیدی را میتوان بصورت زیر بیان کرد:

$$\eta_c = \frac{P_{tot}}{\Delta H} \quad 6-2$$

بااستفاده از معادلات در حالت آدیاباتیک، بازده دودکش به شکل زیر به دست می آید:

$$\eta_t = \frac{g.H}{C_p T_0} \quad ۷-۲$$

براساس این مدل، مهم ترین عامل در بازده دودکش، ارتفاع آن است. رابطه بازده دودکش با ارتفاع آن، یک رابطه تقریباً خطی است. با افزایش ارتفاع دودکش، بازده آن نیز افزایش خواهد یافت زیرا جریان بوجود آمده در داخل برج بر اثر اختلاف چگالی هوای داخل برج و فضای بیرون می باشد ومقدار این جریان نیز با ارتفاع برج رابطه مستقیم دارد. بنابراین توان تولید برق یک دودکش خورشیدی متناسب با حجم حاصل از ارتفاع دودکش و سطح کلکتور است یعنی می توان با یک دودکش بلند و سطح کم و یا یک دودکش کوتاه با سطح وسیع به یک میزان برق تولید کرد. البته اگر اتلاف اصطکاکی وارد معادلات شود دیگر این موضوع صادق نیست. با این وجود تا زمانی که قطر کلکتور بیش از حد زیاد نشود می توان از قاعده فوق استفاده کرد. به همین دلایل باید بتوان با بکارگیری روش های مختلف مانند استفاده از کلکتور ارزان قیمت با دوام بیشتر، بالا بردن ظرفیت ذخیره سازی انرژی حرارتی در داخل زمین و کوچک کردن فضاهای بکارگرفته شده، بازده این نیروگاه ها را افزایش داد. [۲۰]

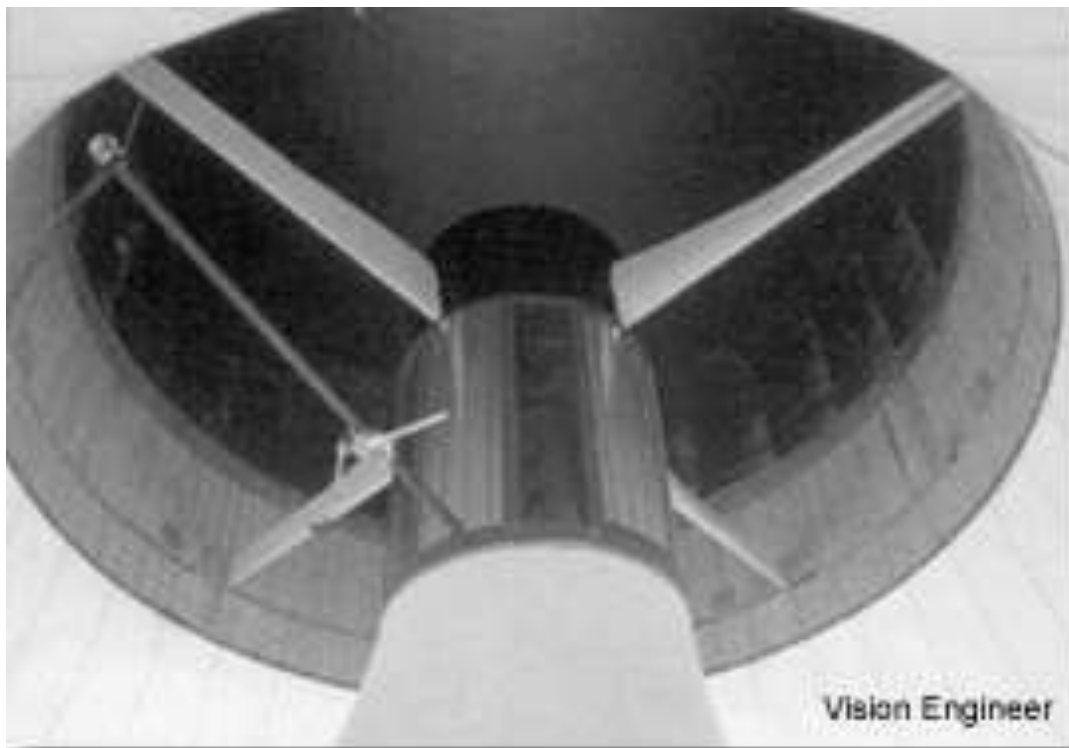


شکل (۳-۲) دودکش بکار رفته در نیروگاه استرالیا

توربین :

با بکارگیری توربین، انرژی موجود در جریان هوای دودکش به انرژی مکانیکی دورانی تبدیل می شود.

در شکل (۴-۲) توربین بکاررفته در نیروگاه مانزانارس اسپانیا نشان داده شده است .



شکل (۴-۲) توربین نیروگاه مانزانارس اسپانیا

توربین های بکاررفته در دودکش خورشیدی با توربین های بادی جریان آزاد متفاوت بوده و به صورت یک توربین داخل محفظه است که بر مبنای اختلاف فشار عمل می نماید. توان چنین توربین هایی در مقایسه با توربین های بادی جریان آزاد با همان ابعاد می تواند تا هشت برابر بیشتر باشد . این توربین از نوع محوری بوده و سرعت هوا در قبل و بعد از توربین تقریباً یکسان است. توان قابل حصول در این سیستم متناسب با حاصل

ضرب دبی حجمی هوا و افت فشار بوجود آمده در توربین است. از نقطه نظر بهره وری بیشتر از انرژی، هدف سیستم کنترل توربین، بیشینه کردن این حاصلضرب تحت تمام شرایط عملکرد است. برای رسیدن به این هدف گام پره در زمان عملکرد توربین برای کنترل توان خروجی براساس تعدیل سرعت و جریان هوا قابل تنظیم است. اگر قسمت مسطح پره ها عمود بر جریان هوا باشد توربین نمی چرخد و اگر به موازات جریان باشد تاثیری بر جریان هوا ندارد بنابراین افت فشاری در توربین رخ نمی دهد و الکتریسیته تولید نمی شود. بین این دو حالت بحرانی یک حالت بهینه برای پره ها وجود دارد. در این حالت در صورتی توان خروجی بیشینه می شود که افت فشار توربین حدود ۸۰ درصد اختلاف فشار کل قابل دسترس باشد. با توجه به نوع طراحی نیروگاه، تکنولوژی موجود و مسایل اقتصادی از یک یا چند توربین عمودی یا افقی استفاده می شود. توربینهای با محور عمودی مستحکم تر بوده و صدای کمتری ایجاد می کنند. از آنجایی که توربین های بادی این سیستم در معرض بارهای بحرانی ناشی از نوسانات شدید جریان قرار ندارد، لذا ساختمان اجزا آن ساده تر بوده و ارزانتر تمام می شوند و از عمر طولانی تری نیز برخوردار خواهند بود. [۲۰]

عوامل محیطی موثر بر بازده نیروگاه دودکش خورشیدی

محل احداث نیروگاه از لحاظ شرایط اقلیمی و جغرافیایی بر روی بازده کلکتور و کل سیستم تاثیر قابل ملاحظه ای خواهد داشت. هر چه دمای هوای آزاد ورودی به کلکتور (بیرون برج) کمتر باشد، بازده سیستم بیشتر خواهد بود. خواص و مشخصات خاک و یا بستر کلکتور از لحاظ جذب تشعشع، نوع دانه بندی و درجه زبری، هدایت حرارتی، حرارت مخصوص و غیره نیز بر روی بازده سیستم بسیار تاثیر خواهد داشت. این خصوصیات تعیین کننده میزان انرژی انتقال یافته به جریان هوا و همچنین مقدار انرژی ذخیره شده در داخل بستر می باشد. جهت و شدت وزش باد به عنوان یک عامل مهم در مقدار انتقال حرارت جابجایی بین پوشش کلکتور و محیط می باشد که یکی از مهمترین عوامل اتلاف انرژی حرارتی در سیستم است. همچنین شکل گیری طبقات حرارتی در اتمسفر نیز بر شرایط هوای خروجی از برج بسیار موثر خواهد بود که می تواند با توجه به فشار کاری

برج، اثر مطلوب و یا نامطلوبی بر عملکرد سیستم داشته باشد. عامل موثر دیگر بر عملکرد سیستم، حجم گرد و خاک موجود در هوای اطراف نیروگاه است که بر مقدار تشعشع رسیده به کلکتور موثر می‌باشد. افزایش مقدار گرد و غبار موجب کاهش ضریب عبور پوشش کلکتور خواهد شد و به این ترتیب کارایی نیروگاه کاهش می‌یابد. با این وجود تاثیر مقدار گرد و خاک بر این سیستم در مقایسه با سایر نیروگاه های خورشیدی مجهز به آینه کمتر است. [۲۰]

روابط حاکم بر نیروگاه دودکش خورشیدی

تحقیق در مورد پدیده های فیزیکی از سه طریق مطالعه تجربی، مطالعه نظری و شبیه سازی عددی انجام می پذیرد. در سال های اخیر توسعه کامپیوترهای پیشرفته، علم محاسبات عددی و دینامیک سیالات محاسباتی و هزینه کمتر، باعث برتری روش مطالعه عددی پدیده های فیزیکی نسبت به سایر روش ها شده است. با مطالعه روش های عددی درمی یابیم که برای هر پدیده خاص، یک روش عددی مناسب می باشد. برای پیشبینی عملکرد یک نیروگاه دودکش خورشیدی، می توان از روشهای مدل سازی مختلفی استفاده نمود. در این تحقیق، ابتدا در بخش بعدی برای بررسی بهینه سازی عملکرد نیروگاه دودکش خورشیدی، یک مدل یک بعدی ارائه شده است. با استفاده از این مدل می توان نحوه تاثیر ابعاد اصلی نیروگاه را بر پارامترهای مختلف آن بررسی کرد. همچنین با استفاده از یک مدل اقتصادی تخمینی، ابعاد بهینه از میان پیکربندی های مختلف شبیه سازی شده مشخص می شود. سپس نیروگاه ، با استفاده از نرم افزار دینامیک سیالات محاسباتی (فلوئنت) به صورت سه بعدی شبیه سازی شده است. [۲۰]

معادلات یک بعدی حاکم بر جریان سیال

روابط کلی نیروگاه دودکش خورشیدی

ابعاد برج از لحاظ ارتفاع و قطر آن، وسعت کلکتور، نوع پوشش سقف و بستر آن با توجه به قدرت خروجی مورد نیاز نیروگاه دودکش خورشیدی برای یک منطقه خاص، باید به گونه ای انتخاب گردند تا ابعاد نسبت به قدرت خروجی بهینه شود. بطورکلی بازده نیروگاه دودکش خورشیدی بصورت حاصل ضرب بازده کلکتور، بازده برج، بازده توربین و بازده ژنراتور بیان می شود : [۲۰]

$$\eta_{scpp} = \eta_c \cdot \eta_{coll} \cdot \eta_t \cdot \eta_{ge} \quad ۸-۲$$

در اثر حرکت هوا در داخل کلکتور، درجه حرارت و در نتیجه آنتالپی هوا به صورت پیوسته از نقطه ورودی کلکتور تا برج افزایش می یابد و مقدار افزایش درجه حرارت تابع دبی جرمی جریان هوا خواهد بود. بازده کلکتور تابعی از تغییر درجه حرارت جریان هوا، شدت تشعشع خورشید، ظرفیت گرمایی ویژه هوا در فشار ثابت، دبی جرمی جریان هوا و شعاع کلکتور است. بازده کلکتور نیروگاه در معادله بیان شده است: [۲۰]

$$\eta_{coll} = \frac{\dot{m} c_p \Delta T}{G A_{coll}} \quad ۹-۲$$

بازده برج نیروگاه نیز به وسیله معادله بیان شده است:

$$\eta_c = \frac{g \cdot H}{c_p T_a} \quad ۱۰-۲$$

همچنین بازده توربین از رابطه محاسبه شده است:

$$\eta_t = 1 - \frac{V_c^2}{2c_p \Delta T \eta_c} \quad 11-2$$

با توجه به روابط بالا، بازده کلی نیروگاه دودکش خورشیدی به صورت رابطه زیر می باشد :

درنهایت توان یک نیروگاه دودکش خورشیدی از حاصل ضرب انرژی خورشیدی ورودی به کلکتور در بازده کلی نیروگاه به دست آمده است :

$$\eta_{scpp} = \left[\frac{g.H}{c_p T_a} \right] \cdot \left[\frac{\dot{m} c_p \Delta T}{G A_{coll}} \right] \cdot \left[1 - \frac{V_c^2}{2c_p \Delta T \eta_c} \right] \cdot \eta_{ge} \quad 12-2$$

میدان سرعت جریان هوای کلکتور

همانطور که در معادله ۵ نشان داده شده است، سرعت جریان هوای ورودی دودکش، یک پارامتر مهم

در بازده کلی نیروگاه دودکش خورشیدی می باشد. به منظور محاسبه سرعت جریان هوای کلکتور، سرعت بهینه

جریان هوای ورودی دودکش را می توان با استفاده از رابطه زیر محاسبه نمود : [۲۰]

$$\frac{d(\eta_{scpp})}{d V_c} = 0 \quad 13-2$$

بنابراین سرعت بهینه جریان هوای ورودی دودکش در بازده بیشینه نیروگاه، از رابطه زیر بدست می آید :

$$V_{c_{opt}} = \sqrt{\frac{2}{3} g H_c \frac{\Delta T}{T_a}} \quad ۱۴-۲$$

که در رابطه بالا ΔT همان افزایش دما بین محیط و خروجی کلکتور است.

بنابراین با این فرض که پروفیل دمای جریان هوا در برج و کلکتور بصورت موازی حرکت کند و سرعت هوای خروجی کلکتور و ورودی برج یکسان در نظر گرفته شود، دبی جرمی جریان هوای نیروگاه از رابطه زیر محاسبه می شود :

$$\dot{m} = \rho V_{c_{opt}} A_c \quad ۱۵-۲$$

تخمین خطی تغییرات چگالی هوای کرمان بر حسب دما در محدوده ۳۰۰ تا ۳۵۰ کلوین با استفاده از نرم افزار EES محاسبه شده است :

$$\rho = 0.9461 - 0.0031 (T_{air} - 300) \quad ۱۶-۲$$

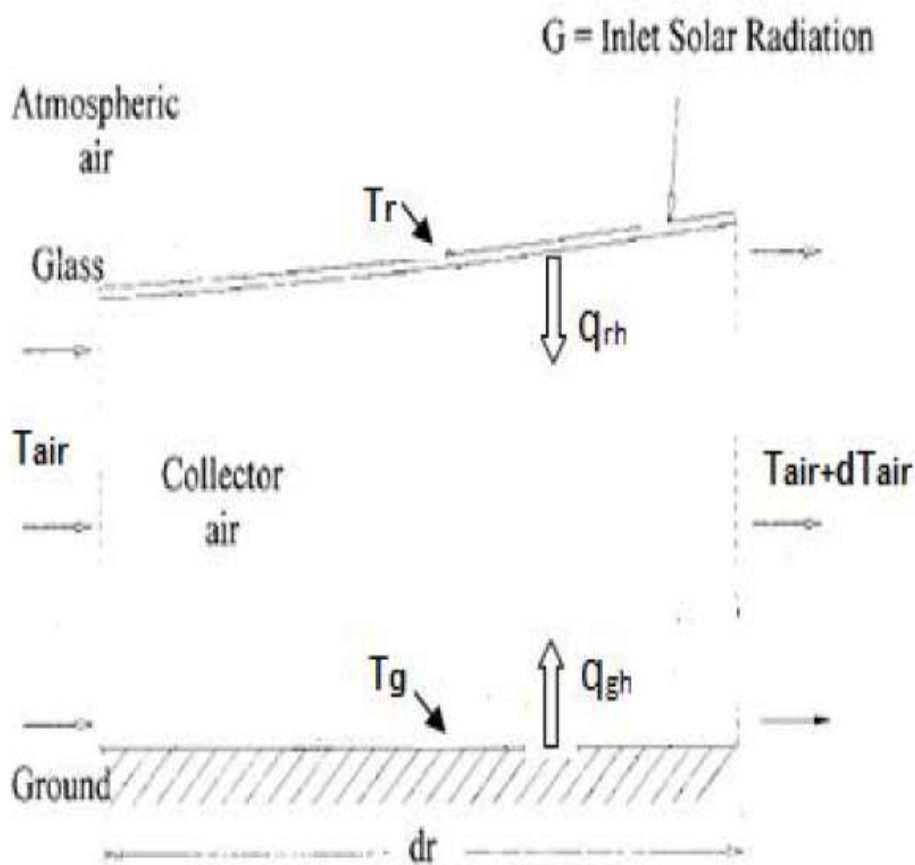
در نهایت با استفاده از قانون بقای جرم، می توان میدان سرعت جریان هوای درون کلکتور را محاسبه کرد.

معادله بقای انرژی جریان هوای کلکتور

واضح است که مقدار انرژی که به سطح کلکتور برخورد می کند و همچنین حرارت قابل دسترسی به طور مستقیم به شعاع محوطه تشکیل دهنده کلکتور بستگی خواهد داشت. بنابراین بررسی تعادل انرژی در کلکتور مورد توجه قرار می گیرد. معادله بقای انرژی را می توان با انتخاب یک حجم کنترل مناسب در داخل کلکتور به دست آورد.

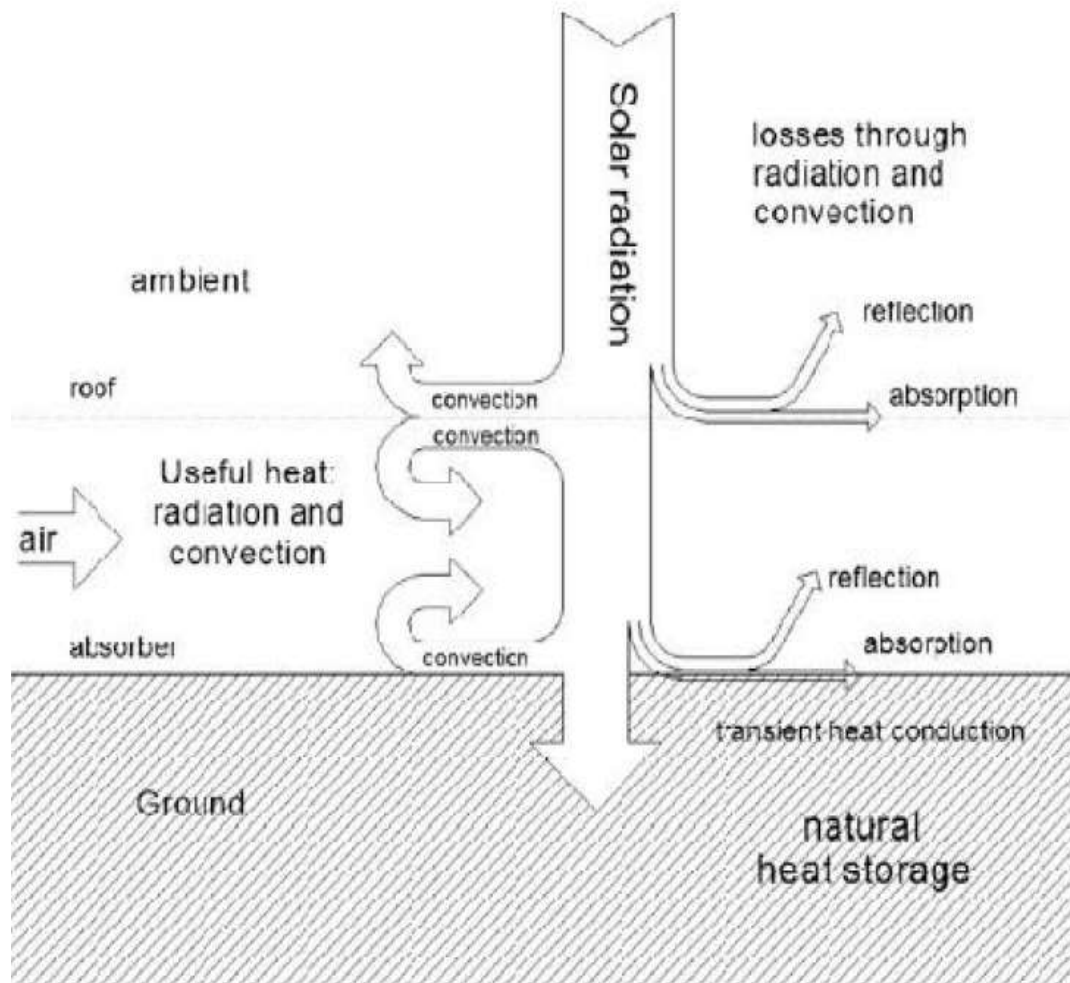
شکل زیرجزییات این حجم کنترل را به صورت شماتیک نشان می دهد. با توجه به اینکه تغییرات دینامیکی جریان هوا بطور نسبی کند است، از جملات گذرا در معادلات بقای انرژی می توان چشم پوشی کرد. بنابراین معادله بقای انرژی جریان هوای کلکتور به صورت زیر به دست آمده است : [۲۰]

$$\dot{m} c_p T_{air} + 2\pi r (q_{rh} + q_{gh}) = \dot{m} c_p (T_{air} + \frac{\partial T_{air}}{\partial r}) \quad ۱۷-۲$$



شکل (۲-۵) حجم کنترل در داخل کلکتور [۲۰]

در شکل (۶-۲) شبکه گرمایی کلکتور نیروگاه دودکش خورشیدی نشان داده شده است. باتوجه به این شبکه گرمایی می توان معادلات تعادل انرژی را در سطوح مرزی نوشت.



شکل (۶-۲) شبکه گرمایی کلکتور نیروگاه دودکش خورشیدی

تعداد انرژی شیشه :

$$\alpha_r G + q_{gr} + q_{gh} = q_{ra} + q_{rs} + q_{rh} \quad 18-2$$

تعداد انرژی سطح زمین :

$$\tau_r \alpha_g G = q_{gr} - k_g \left. \frac{\partial T_g}{\partial z} \right|_{z=0} + q_{gh} \quad 19-2$$

معادله انرژی زیر سطح زمین :

$$-k_g \frac{\partial^2 T_g}{\partial z^2} + \rho_g c_{pg} \frac{\partial T_g}{\partial t} = 0 \quad 20-2$$

برای شرط مرزی رابطه بالا، در یک عمق مناسب زمین از شرط مرزی آدیاباتیک

استفاده می شود

$$\frac{\partial T_g}{\partial z} = 0 \quad 21-2$$

انتقال حرارت تشعشی کلکتور

انتقال حرارت تشعشی بین سطح زمین و شیشه کلکتور به وسیله رابطه زیر محاسبه می شود :

$$q_{gr} = \left(\frac{1}{\frac{1}{e_g} + \frac{1}{e_r} - 1} \right) \sigma (T_g^4 - T_r^4) \quad ۲۲-۲$$

که در رابطه بالا e_g و e_r به ترتیب ضریب صدور زمین و شیشه است. انتقال حرارت تشعشی از شیشه به آسمان نیز از رابطه زیر محاسبه می شود :

$$q_{rs} = e_r \sigma (T_r^4 - T_{sky}^4) \quad ۲۳-۲$$

در رابطه T_{sky} برای هوای صاف روز از رابطه زیر

بدست می آید :

$$T_{sky} = T_a (0.727 + 0.006 T_{dp})^{1/4}$$

۲۴-۲

که در این رابطه T_{dp} دمای نقطه شبنم بر حسب درجه سانتیگراد است.

انتقال حرارت جابجایی کلکتور

در خلال زمان هایی که دمای شیشه کلکتور از دمای هوای محیط بیشتر است، ضریب انتقال حرارت

جابجایی بین شیشه و جریان هوای محیط از رابطه زیر

بدست می آید: (۲۰)

$$h = 3.87 + 0.0022 \left(\frac{v_w \rho c_p}{pr^{2/3}} \right)$$

۲۵-۲

با فرض جریان بین دو صفحه موازی، ضریب انتقال حرارت جابجایی بین شیشه و جریان هوای درون کلکتور از

رابطه زیر بدست می آید:

$$h = \frac{\left(\frac{f}{8}\right) (Re - 1000) pr}{1 + 12.7 \left(\frac{f}{8}\right)^{1/2} (pr^{2/3} - 1)} \left(\frac{k_{air}}{d_h}\right)$$

۲۶-۲

در رابطه بالا، ضریب اصطکاک داری برای سطوح

صاف بصورت زیر محاسبه شده است :

$$f = (1.82 \log Re - 1.64)^{-2}$$

۲۷-۲

همچنین ضریب انتقال حرارت جابجایی بین زمین و جریان هوای درون کلکتور از رابطه زیر بدست می آید:

$$h = 3.87 + 0.0022 \left(\frac{v \rho c_p}{pr^{2/3}} \right)$$

۲۸-۲

مدل تخمینی بهینه سازی اقتصادی نیروگاه دودکش خورشیدی

برای مشخص کردن ابعادی که در آن نیروگاه دودکش خورشیدی از نظر اقتصادی بهینه می شود، از یک مدل اقتصادی تخمینی استفاده شده است. در این مدل همه هزینه ها تابعی از واحد پول عمومی C می باشند. هزینه ویژه دودکش شامل مواد اولیه و ایجاد ساختمان آن (C_{sc}) برای هر متر مکعب دودکش به صورت واحد تعیین شده است

$$(C_{sc} = \frac{C}{m^3}) \quad 29-2$$

در این مدل میانگین ضخامت دودکش به ازای هر یک متر ارتفاع آن، یک میلیمتر فرض شده است. بنابراین هزینه کل دودکش از رابطه زیر بدست می آید :

$$C_c = \frac{\pi}{4} [(D + 0.001H)^2 - D^2] \times H_c \quad 30-2$$

علاوه برآن، هزینه هر متر مکعب کلکتور به صورت مجموع ضریبی از هزینه ویژه دودکش و افزایش هزینه ناشی از افزایش هر متر ارتفاع نسبت به ارتفاع ورودی کلکتور در نظر گرفته شده است. بنابراین هزینه کل کلکتور به

$$C_{coll} = A_{coll}(pt)_{coll} C_{sc} (1 + (pt)_{H_{coll}} H_{coll}) \quad \text{صورت زیر می باشد :}$$

$$31-2$$

همچنین هزینه توربوژنراتور نیروگاه برابر با ۱۰ درصد هزینه کل نیروگاه فرض شده است.

در نهایت هزینه کل نیروگاه از رابطه زیر محاسبه می گردد :

$$C_{scpp} = 1.1(C_c + C_{coll}) \quad 32-2$$

فعالیت های انجام شده در زمینه دودکش خورشیدی در خارج از کشور:

دودکش خورشیدی یکی از مکانیزم های تولید توان از خورشید است که این توان می تواند به صورت الکتریسیته و یا حرارت ایجاد شود. دودکش خورشیدی شامل سه عضو اصلی کلکتور، دودکش و توربین می باشد. با تابش خورشید هوای داخل سیستم گرم شده و به دلیل اختلاف چگالی ایجاد شده و نیروی شناوری، هوا جریان پیدا میکند و توربین حاضر در مسیر حرکت خود را به حرکت در می آورد که نهایتا تولید توان را نتیجه می دهد. در ادامه مهم ترین پژوهش های صورت گرفته را پیرامون دودکش های خورشیدی بررسی می کنیم.

ایده اولیه استفاده از بالا رفتن هوای گرم را به لئوناردو داوینچی مهندس و هنرمند بزرگی که در جنوب اروپا زندگی می کرد، منتسب می دانند. او به بررسی و مطالعه دقیق سیالات و جریان های عبوری از میان سیالات می پرداخت. در ادامه شکل مکانیزم سیستم او برای استفاده از هوای گرم بالا رونده از سیخ کباب طراحی شده نشان داده شده است که شباهت زیادی به اساس کار دودکش خورشیدی دارد. [۲۱]

در سال ۱۹۰۳ کابانیوس سرهنگ ارتش اسپانیایی در مجله ای دودکش خورشیدی را معرفی کرد. [۲۲]

در ادامه تکنولوژی دودکش خورشیدی در سال ۱۹۳۱ میلادی توسط یک محقق آلمانی به نام هاتز گانترگسترش یافت. [۲۳]

سپس توسط پروفیسور اشلاش از دانشگاه اشتوتگارت آلمان در سال ۱۹۷۰ ایده های جامعتر از نیروگاه دودکش خورشیدی مطرح شد.

هشت سال بعد در سال ۱۹۷۸ ساخت این نیروگاه در مانزانارس اسپانیا آغاز و برای مدت هفت سال تحقیق بر روی عملکرد این نیروگاه آزمایشی ادامه داشت. بررسی نتایج، از بازده خوب و قابل اطمینان بودن این ایده حکایت داشت. در ساخت این مدل تجربی، از آزمایشات تونل باد وسیعی بهره گرفته شده است. هدف از این

پژوهش، اندازه گیری و مقایسه پارامترهای تئوری و عملی، بررسی تاثیر اجزای مختلف دودکش خورشیدی بر راندمان و نیز توان تولیدی این فناوری تحت شرایط واقعی و شرایط خاص آب و هوایی بوده است. [۲۴]

به منظور بهره مندی از توان و مزایای این نیروگاهها پژوهش های بسیاری جهت ارتقاء دانش دودکش های خورشیدی صورت گرفت. برای مثال کشور استرالیا تصمیم به ساخت دودکشی خورشیدی با ظرفیت ۲۰۰ مگاوات به ارتفاع دودکش ۱۰۰۰ متر و کلکتوری به قطر ۷۰۰۰ متر در میدورا گرفت. از نخستین دانشمندانی که مطالعات بر روی کارکرد سیستم دودکش خورشیدی را ارائه دادند می توان به هاف و اشلاش اشاره کرد. همچنین ایشان نتایج به دست آمده را با داده های حاصل از نیروگاه مانزارانس مقایسه کردند. اولین نمونه ی آزمایشگاهی دودکش خورشیدی با توان ۵۰ کیلو وات را یک شرکت مهندسی آلمانی توسط اشلاش در مانزارانس اسپانیا در سال ۱۹۸۲ ساخت. ارتفاع دودکش این نیروگاه ۱۹۴٫۶ متر، قطر دودکش آن ۵۰٫۸ متر، قطر کلکتور ۱۲۲ متر و متوسط ارتفاع ورودی کلکتور ۱٫۸ متر در نظر گرفته شده بود. این نیروگاه دارای یک توربین تک محوره عمودی به همراه چهار پره بوده است. [۲۵]

در سال ۲۰۰۲ یک واحد آزمایشگاهی با توان ۵ وات در چین توسط ژوو همکارانش ساخته شد. این دودکش خورشیدی ارتفاعی به اندازه ی ۸ متر و قطر کلکتور ۱۰ متر داشت. نیروگاه های آزمایشی کوچک زیادی نیز تا به حال در نقاط مختلف دنیا ساخته شده است و تحقیقات عملی به همراه آرایه تکنیک های نوین در آن پیاده سازی شده است. اکبرزاده و همکارانش در نمونه ی ساخته شده در دانشگاه استرالیا امکان شیرین سازی آب را توسط دودکش خورشیدی بررسی کرده اند. مدل آنها شامل یک استخر کوچک آب شور و دودکش بود که در ادامه با بسط دادن مطالعه خود یک نیروگاه بزرگ را تحلیل کرده اند.

به منظور بهبود عملکرد نیروگاه دودکش خورشیدی و ارائه یک طرح اقتصادی برای آن، شبیه سازی عددی همواره مورد توجه محققان و پژوهشگران بوده است.

ایده نیروگاه دودکش خورشیدی اولین بار توسط دکتر اشلاش از دانشگاه اشتوتگارت آلمان مطرح شد. نتایج این تحقیقات بیانگر بازده خوب و قابل اطمینان این ایده بود.

سپس نتایج تجربی مربوط به نیروگاه دودکش خورشیدی ساخته شده در مانزانارس اسپانیا، اولین بار توسط هاف در سال ۱۹۸۴ ارائه شد.

در سال ۱۹۸۷ مولت روشی برای محاسبه بازده کلی دودکش خورشیدی ارائه داد. در این تحلیل، دودکش با قطر ثابت در نظر گرفته شده است و از تغییرات معمول دما و فشار در اتمسفر به همراه تغییرات دمای داخل دودکش و افتهای آن صرف نظر شده است. سرعت هوا در بالای دودکش نیز، با مساوی قراردادن کار انجام شده در بالا آمدن هوا در هر مقطع برشی با انرژی ناشی از ستون هوا بدست آمده است. وی با یک بررسی اقتصادی نشان داد که دودکشی با ارتفاع ۱۰۰۰ متر از نظر اقتصادی مقرون به صرفه می باشد.

در سال ۱۹۸۹ پادکی و شریف براساس داده های تجربی نیروگاه مانزانارس مدل های مختلفی برای نیروگاه هایی با توان تولیدی متوسط و بزرگ توصیف کردند.

همچنین در سال ۱۹۹۲ پادکی و شریف یک مدل ریاضی برای دودکش خورشیدی ارائه و اثرات یک سری پارامترها در وضعیت های مختلف همانند ارتفاع دودکش، نسبت سطح ورودی به خروجی دودکش و همچنین شماتیک دودکش را برای یک قدرت و بازدهی در دسترس بررسی کردند. آنها نشان دادند که بازدهی دودکش تابع ضعیفی از دمای زیر سقف کلکتور است بطوریکه دودکش بازدهی تقریباً یکسانی در طول روز دارد. در نهایت اثر سطح ورودی به خروجی در بازدهی و قدرت دستیابی دودکش را بررسی کرده اند.

در سال ۱۹۹۵ اشلاش به بررسی جامعی از قوانین حاکم بر نیروگاه دودکش خورشیدی و نتایج تجربی نیروگاه مانزانارس پرداخت.

در یک بررسی که توسط پاسومارتی و شریف در سال ۱۹۹۸ در خصوص عملکرد تئوری و تجربی یک نمونه مدل آزمایشی دودکش خورشیدی در دانشگاه فلوریدا انجام شده است، ابتدا یک مدل ریاضی برای مطالعه اثر پارامترهای مختلف از قبیل درجه حرارت هوا، سرعت هوا و توان خروجی ارائه شده است. همچنین آزمایشهایی روی نمونه آزمایشگاهی انجام گرفته و نتایج محاسبات با نتایج تجربی محاسبه شده است که تطابق خوبی بدست آمده است. این آزمایشات برای مدلی که به همین منظور ساخته شده بود انجام شد و نتایج حاصل از مدل ریاضی را با نتایج تجربی مقایسه کرده‌اند. پس از آن از این مدل جهت ساخت لوله های خورشیدی با ابعاد بزرگتر استفاده نمودند. [۲۶]

اولین تلاش برای حل جریان به وسیله دینامیک سیالات محاسباتی در نیروگاه دودکش خورشیدی در سال ۱۹۹۹ توسط برناردس و همکارانش انجام شد. در این مدل معادلات ناویر-استوکس و انرژی در جابجایی آزاد برای جریان آرام در حالت پایا حل شدند.

در سال ۱۹۹۹ کروگر و بایس روابط تحلیلی برای مشخصکردن افت فشار ناشی از اثرات اصطکاک و همچنین ضرایب انتقال حرارت برای جریان شعاعی توسعه یافته درون کلکتور ارائه دادند. [۲۷]

در سال ۲۰۰۰ گانون و باکستورم یک تحلیل سیکل استاندارد هوای ایده‌آل و ارتباط بین متغیرهای اصلی را انجام دادند. تحلیل بکار برده شده شباهت زیادی به توربین گاز دارد به طوری که میزان کاهش فشار و دما در اثر زیادشدن ارتفاع را با کمپرسور، کلکتور خورشیدی را با محفظه احتراق، و توربین را با توربین در سیکل توربین گاز شبیه سازی میکند که هدف آنها از این تحلیل پیدا کردن ارتباط بین عملکرد نیروگاه و متغیرهای مربوط به آن از جمله ارتفاع دودکش و دمای افزایش یافته در سطح زیر کلکتور بوده است. این مدل به وسیله مقایسه بین یک نیروگاه شبیه‌سازی شده با مقیاس کوچک با داده‌های تجربی تایید شده است. همچنین در یک بررسی دیگر که در سال ۲۰۰۰ توسط باکستورم و گانون انجام شد به معرفی یک جریان یکبعدی تراکم پذیر برای محاسبه متغیرهای ترمودینامیکی که به طول دودکش، اصطکاک دیواره، افت‌های کلی،

دراگ داخلی و تغییرات سطح وابسته هستند، پرداخته شد و با ارائه یک مدل با دودکش به طول ۱۵۰۰ متر، این متغیرها و نحوه انتقال حرارت بررسی شدند. نتایج این محاسبه نشان داد که انتقال حرارت ناشی از دیواره دودکش قابل نظر است و یک معادله دیفرانسیل که اثرات مربوط به متغیرهای تغییر سطح اصطکاک و دراگ وزن سیال دمای سکون و عدد ماخ را در دودکش عمودی به صورت یک بعدی دربرمیگرفت را بدست آوردند. ، پس از آن روشهای مختلفی در زمینه تحلیل این نوع نیروگاه مطرح گردید. [۲۸]

در سال ۲۰۰۳ برناردس و وینر به یک مدل تحلیلی و عددی برای محاسبه توان خروجی نیروگاه ارائه دادند در این مدل اثر ابعاد مختلف بر توان خروجی نیروگاه مشخص می شود. [۲۹]

در سال ۲۰۰۳، اشلاش و همکارانش ضمن بررسی قوانین حاکم بر دودکش خورشیدی، تعدادی از نتایج مربوط به طراحی و عملکرد نیروگاه مانزائارس را ارائه دادند. [۳۰]

مهلا و همکارانش در سال ۲۰۱۱ در هند دودکشی با ارتفاع ۸۰ سانتی متر و قطر کلکتور ۱.۴ متر ساختند. آنها به این نتیجه رسیدند که با نسبت قطر به ارتفاع دودکش ۱.۰ ، ماکزیمم سرعت در قطر ۸ سانتی متر حاصل می شود. [۳۱]

لیو، مینگ و همکاران در سال ۲۰۱۶ ، مدلی ریاضی برای یک جریان یک بعدی تراکم پذیر و انتقال حرارت در دودکش خورشیدی به دست آمد. تاثیر ساختار مهندسی این مدل با بارش طبیعی در نه شهر چین مقایسه شد. در نتیجه آن به علت مناسب بودن ارتفاع دودکش و چرخه جو، باران شکل گرفته است. همچنین تحت شرایط و ارتفاع مناسب از اصابت رعد و برق به دودکش جلوگیری به عمل آمده است. [۳۲]

ژو و همکارانش در چین با بنا کردن سیستم دودکش خورشیدی در کنار دریا مطالعاتی انجام دادند و تولید همزمان توان و شیرین سازی آب دریا را مورد بررسی قرار دادند. در مشاهدات صورت گرفته دما و سرعت هوا در سیستم اشاره شده کمتر از سیستم های کلاسیک دودکش خورشیدی بود. همچنین توان خروجی به دست آمده

از این سیستم کمتر از توان خروجی سیستم های معمولی بود. بررسی های آنان نشان داد برای اینکه این سیستم ها از سیستم های کلاسیک اقتصادی تر باشند لازم است که ارتفاع دودکش از ۴۴۵ متر و قطر کلکتور از ۳۰۰۰ متر اکم تر نباشد. [۳۳]

کریست و همکارانش در سال ۱۹۸۳ در هاتفورد یک پایلوت برای تحلیل دودکش خورشیدی ساختند. در این سیستم طول دودکش ۱۰ متر، قطر کلکتور ۶ متر و توان خروجی ۱۰ وات در نظر گرفته شده است. [۳۴]

در بررسی ژنگو و همکاران تاثیر ذخیره سازهای انرژی در جذب انرژی خورشیدی و تاثیرشان روی توان خروجی مورد مطالعه قرار گرفت. در نتایج مشاهده شد که در بین مواد استفاده شده، شن و ماسه مقدار بیشتری حرارت را در خودشان ذخیره کردند. [۳۵]

در سال ۱۹۸۳ میلادی دودکش خورشیدی توسط هاف بر اساس مفهوم ارائه شده توسط داوینچی توسعه و پیشرفت داده شد و در همین سال یک پایلوت نیروگاه دودکش خورشیدی با توان ۱۰ وات به مرحله ساخت رسید که کلکتوری به قطر ۶ متر و دودکشی به ارتفاع ۱۰ متر را شامل می شد. در سال ۱۹۸۵ میلادی یک مدل کوچک با ارتفاع دودکش ۲ متر و قطر دودکش ۷ متر به همراه کلکتوری به سطح مقطع ۹ مترمربع در ایزمیت ترکیه توسط کولونگ ساخته شد. در سال ۱۹۹۰ میلادی اشلايش و همکارانش در مورد قابل تعمیم بودن نتایج به دست آمده از این نمونه ها بحثی را ارائه کردند . [۳۶]

همچنین سیستم های تجاری براساس دادههای اقتصادی بررسی شد. در سال ۲۰۰۶ ، پریتریوس و کروگر نیز، مدل یک- بعدی دیگری برای معادلات بقای انرژی و روابط جدیدی برای ضریب انتقال حرارت جابجایی درون کلکتور ارائه دادند.

اثر تابش بر جریان نیروگاه در سال ۲۰۰۷ توسط هانگ و همکارانش بررسی شد. در این مدل از تخمین بوزینسک و مدل تشعشعی جهت های مجزا دوبعدی استفاده شده است. در سال ۲۰۰۷ مینگ و همکارانش مدل‌های مختلفی برای جریان و انتقال حرارت بکار بردند.

در سال ۲۰۰۸ پیرتریوس و کروگر برای مشخصکردن ابعادی که در آن نیروگاه دودکش خورشیدی از نظر اقتصادی بهینه میشود، از یک مدل اقتصادی تخمینی استفاده کردند.

در سال ۲۰۰۹ برناردس و همکارانش مقایسه‌های میان روشهای بکاربرده شده برای محاسبه شارهای حرارتی درون کلکتور و اثرات آنها بر عملکرد نیروگاه دودکش خورشیدی انجام دادند.

در سال ۲۰۱۰ نیز تیک وکلارین سرعت بهینه جریان هوا در ورودی برج را برای حداکثر بازده نیروگاه، با توجه به افزایش درجه حرارت جریان هوای کلکتور بدست آوردند.

قابل ذکر است که بیشتر تحقیقاتی که در مورد دودکش خورشیدی صورت گرفته است به صورت یک بعدی و دوبعدی تحلیل شده اند. در بین مطالعاتی که بر روی دودکش خورشیدی موجود میباشد هیچکدام به صورت سه بعدی به تحلیل جریان و انتقال حرارت نیروگاه نپرداخته اند.

اساساً اگر بخواهیم انرژیهای تجدید پذیر از کاربرد وسیعی برخوردار شوند باید تکنولوژی های ارائه شده، ساده و قابل اعتماد بوده و برای کشورهای کمتر توسعه یافته، مشکلات فنی به همراه نداشته باشد. در مرحله بعدی باید به آب زیاد نیاز نداشته باشد. میتوان گفت که تکنولوژی دودکش خورشیدی دارای این شرایط است. بررسی های اقتصادی نشان داده است که اگر این نوع نیروگاهها در مقیاس بزرگ (بزرگتر از ۱۰۰ مگاوات) ساخته شوند، قیمت برق تولیدی آنها قابل مقایسه با برق نیروگاههای متداول است. این موضوع کافی است که بتوان انرژی خورشیدی را در مقیاسهای بزرگ نیز به خدمت گرفت.



شکل (۷-۲) نمایی از نیروگاه مانزانارس اسپانیا [۳۷]

برای ساخت یک مدل آزمایشی، تحقیقات تئوریک مفصلی انجام شده که آزمایشات تونل باد وسیعی را به همراه داشت و نهایتاً در سال ۱۹۸۱ منجر به ساخت واحدی با توان خروجی ۵۰ کیلووات برق در منطقه مانزانارس در ۱۵۰ کیلومتری جنوب مادرید در کشور اسپانیا شد. شکل فوق نمایی از این نیروگاه را نشان می دهد . (۳۷) این واحد از کمک مالی وزارت تحقیق و فناوری آلمان برخوردار بود. هدف از این طرح تحقیقاتی تطبیق، اندازه گیری محلی، مقایسه پارامترهای تئوریک و عملی و بررسی تاثیر اجزاء مختلف دودکش خورشیدی بر بازده و نیز توان تولیدی این فناوری تحت شرایط واقعی و نیز شرایط خاص آب و هوایی بود.

فعالیت های انجام شده در زمینه دودکش خورشیدی در داخل کشور:

در سال ۲۰۱۶ توسط کسائیان و همکاران جهت بررسی اثرات دما و سایر متغیرها یک نمونه تجربی از دودکش خورشیدی ساخته شد. سقف کلکتور این نمونه از شیشه با ضخامت ۴ میلیمتر و صفحه آلومینیومی ساخته شد. در این بررسی مشاهده شد، کاهش مقطع ورودی در عملکرد دودکش خورشیدی تاثیر مثبتی خواهد داشت ولی این کاهش یک محدوده مناسب دارد و برای این مدل ۶ سانتی متر به دست آمده است. همچنین قطر دودکش بیشترین تاثیر در میان پارامترهای هندسی در عملکرد دودکش را به دنبال داشته است. ارتفاع دودکش دارای محدودهای است که کاهش یا افزایش این محدوده سبب اثرات منفی بر روی عملکرد و توان خروجی دودکش می شود. [۳۸]

در سال ۲۰۱۱ یک پایلوت دودکش خورشیدی توسط کسائیان و همکارانش در محوطه ی دانشگاه زنجان راه اندازی شد. کلکتور این دودکش خورشیدی با دو لایه ورق پلی کربنات پوشیده شده بود. ارتفاع دودکش این سیستم ۱۲ متر و قطر آن ۲۵ سانتی متر و قطر کلکتور آن ۱۰ متر بود. دما و سرعت در مکان های مختلف دودکش خورشیدی متفاوت به دست آمد، مشاهدات نشان داد بین ساعات ۱:۳۰ تا ۲:۳۰ بعد از ظهر بالاترین دما و سرعت جریان هوا در دمای محیط ۳۴ درجه سانتی گراد به ترتیب ۶۰ درجه سانتی گراد و ۹.۲ متر بر ثانیه بوده است. [۳۹]



شکل (۲-۸) نمونه ساخته شده نیروگاه دودکش خورشیدی زنجان [۳۹]

براساس برآوردهای اولیه، یک نمونه کوچک نیروگاه دودکش خورشیدی در اطراف شهر کرمان ساخته شده است. [۴۰]-شکل (۲-۹) برج این نیروگاه دارای ارتفاع ۶۰ متر و قطر ۳ متر و شعاع کلکتور نیروگاه ۲۰ متر می باشد. به منظور بهبود عملکرد این نیروگاه، تاثیر ابعاد اصلی بر توان خروجی نیروگاه بررسی شده است.



شکل (۲-۹) نیروگاه دودکش خورشیدی کرمان [۴۰]

استان کرمان در جنوب شرقی ایران واقع شده است . متوسط شدت تابش خورشید در کرمان است . حدود ۲۰۰۰ کیلو وات ساعت در متر مربع با ساعت های آفتابی ۲۸۰۰ ساعت در یک سال، نیروگاه خورشیدی دودکش برای شرایط آب و هوایی شهر کرمان انجام شده است . عملکرد نیروگاه دودکش خورشیدی در کرمان طراحی شده است که نتایج مدل های عددی ،از جمله دمای هوا ،سرعت و خروجی برق ،با مقایسه داده های آزمایشگاهی نیروگاه پیش ساخته منزنار ،مورد تایید قرار گرفت . توانمندی های نیروگاه های دودکش خورشیدی ارایه شده و در نتیجه،ضریب افزایش بهره وری ارتفاع با استفاده از پارامترهای هندسی نمونه های منزنارس در ارتفاع های مختلف سایت تعریف شد.مدل توسعه یافته برای بهبود عملکرد یک نیروگاه دودکش خورشیدی ساخته شده در کرمان،مورد استفاده قرار گرفت . بر اساس یک مدل هزینه تقریبی،تنظیمات مطلوب ترمواقصدی نیروگاه خلبان

نشان داده شده است و همچنین مشخص شد که قطر شومینه مهم ترین ابعاد ساختاری برای بهبود عملکرد این نیروگاه است .

دستیابی دانشگاه تفرش به یک هندسه جدید با بازده بالا برای نیروگاه های دودکش خورشیدی دودکش خورشیدی فناوری است که از ویژگی های مهمی در بین نیروگاه هایی که از انرژی های تجدیدپذیر استفاده می کنند برخوردار است تا جایی که یک تکنولوژی امیدوارکننده برای تولید توان در مقیاس بزرگ محسوب می شود. با توجه به اهمیت جایگاه انرژی های تجدیدپذیر در جوامع صنعتی امروزی، تحقیقات در زمینه استفاده از انرژی های نو در آزمایشگاه تحقیقاتی انرژی های نو دانشگاه تفرش با هدف تحقیق در رابطه با سیستم های جدید خورشیدی آغاز گردید.

تولید توان بدون مصرف سوخت فسیلی، عدم آلودگی محیط زیست، استهلاک کم، عمر زیاد و هزینه پایین از مهمترین ویژگی های بارز دودکش خورشیدی است.

این فناوری نه تنها در بخش تولید توان بلکه در تهویه و جلوگیری از آلودگی هوا، شیرین سازی آب، پرورش محصولات کشاورزی و صنعت مواد غذایی کاربردهای مهمی دارد.

ساخت یک نیروگاه بزرگ آن هم با استفاده از انرژی های نو نیازمند تحقیقات ابتدایی در این مورد می باشد به گونه ای که بتوان هزینه های ابتدایی ساخت را کاهش و بازده خروجی را افزایش داد که در این راستا بخش تحقیقات در زمینه نیروگاه دودکش خورشیدی از سال ۱۳۹۳ با هدف بهبود و افزایش عملکرد دودکش خورشیدی در دانشگاه تفرش آغاز گردید.

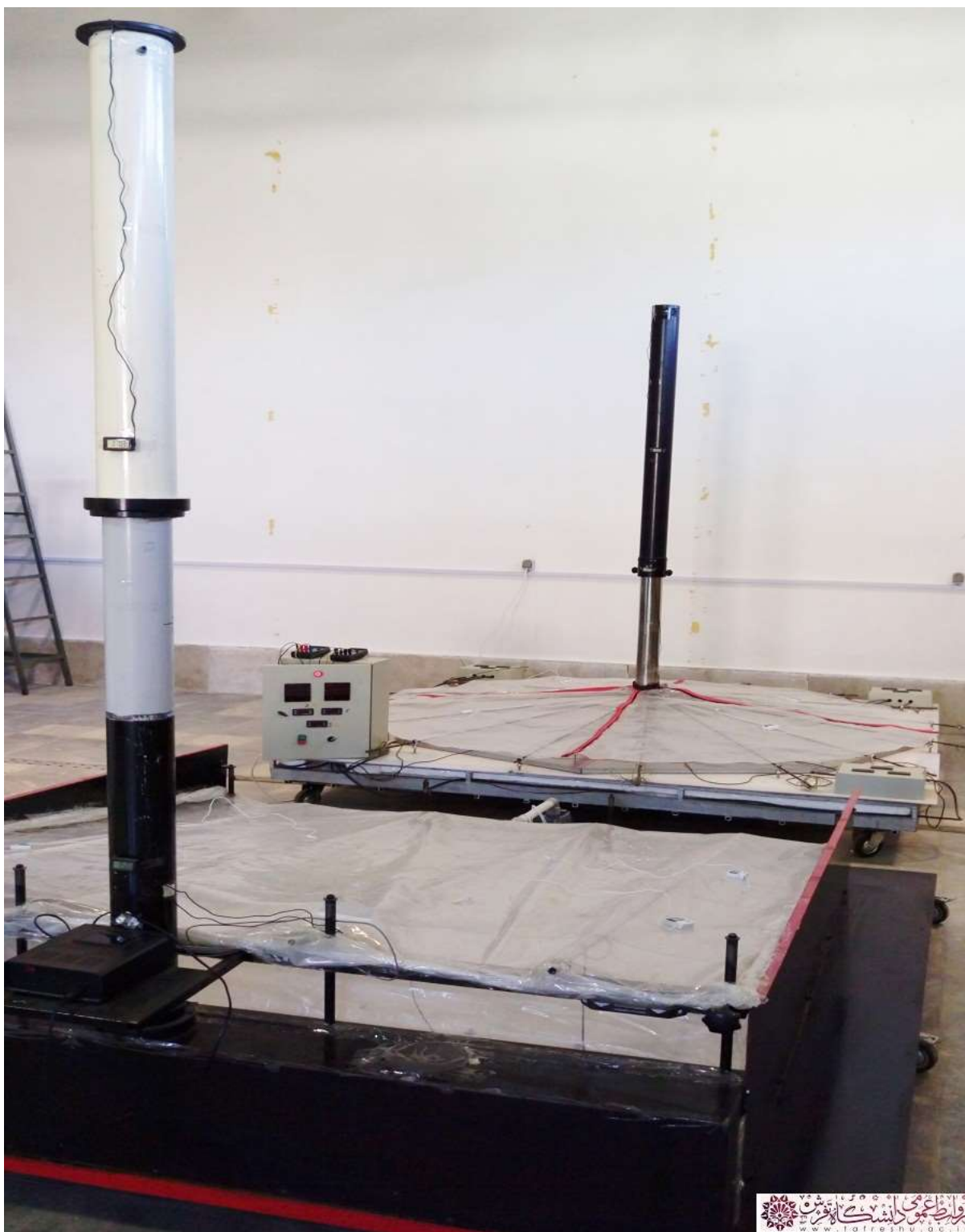
در سال ۹۵ بررسی عملکرد کلکتور دودکش خورشیدی توسط پژوهشگر این حوزه به همراه تعدادی از دانشجویان کارشناسی ارشد دانشگاه تفرش در این دانشگاه آغاز گردید.

در این آزمایشگاه در رابطه با ۳ طرح جدید دودکش خورشیدی تحقیقات می گردد یکی از دستگاههای تست ایجاد شده در رابطه بادودکش خورشیدی با هندسه ای متداول در آزمایشگاه انرژی های نو دانشگاه تفرش در مقیاس آزمایشگاهی ۱ به ۱۰۰ نمونه واقعی در مانزانارس اسپانیا، طراحی و ساخته شد.

آنچه که از نتایج به دست آمد حاکی از آن بود که طرح جدید دودکش خورشیدی دانشگاه تفرش از برتری قابل توجهی نسبت به دیگر هندسه های متداول برخوردار است به نحوی که انرژی جنبشی خروجی آن در حدود ۱۰ برابر هندسه متداول بود.

این نتیجه می تواند گامی موثر برای افزایش بازده دودکش خورشیدی در جهان محسوب شود. علاوه بر این در جهت تحقیق در رابطه با این فناوری نمونه های آزمایشگاهی این قابلیت را دارند که بتوان در هندسه های مختلف آنها را مورد آزمایش قرار داد و در این راستا مطالعه ای کامل از فناوری دودکش خورشیدی انجام داد.

یک سیستم جدید دیگر از دودکش خورشیدی با قابلیت های خاص ساخته شده است که در زمینه انتقال حرارت و جریان هم اکنون در حال آزمایش و بررسی است. [۴۱]



شکل (۲-۱۰) دودکش های دانشگاه تفرش [۴۱]

جمع بندی مطالعات و تعیین خلاء تحقیقاتی

مطالعات انجام شده نشان می‌دهد که پروژه ساخت دودکش خورشیدی و طراحی توربین وژنراتور در کشور ایران کمتر دیده شده است؛ به همین منظور ما ساخت تجربی یک دودکش خورشیدی را هدف قرار دادیم.

فصل سوم :

فرضیات؛ معادلات و مدل سازی

مقدمه

در این فصل ابتدا به بیان فرضیات پرداخته می‌شود. سپس معادلات حاکم به مسئله به تفصیل شرح داده می‌شود. و در انتها مشخصه‌های مدل از قبیل ابعاد و خواص مواد بررسی می‌شوند.

فرضیات

برای کاهش هزینه‌های شبیه‌سازی و در عین حال حفظ دقت حل، فرضیات زیر در نظر گرفته شده‌است:

۱. برای تقریب جمله شناوری از تقریب بوزینسک استفاده شده است.

۲. جریان تراکم ناپذیر و پایدار فرض می‌شود.

۳. سیال نسبت به تابش شفاف است.

معادلات حاکم

در این بخش به معادلات لازم برای شبیه‌سازی پرداخته شده است.

معادلات پایستگی

معادله بقا جرم با رابطه (۱-۳) بیان می‌شود:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \vec{v}) = 0 \quad 1-3$$

در مختصات کارتزین رابطه (۱-۳) به صورت رابطه (۲-۳) نوشته می‌شود:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(\rho v_x) + \frac{\partial}{\partial y}(\rho v_y) + \frac{\partial}{\partial z}(\rho v_z) = 0 \quad 2-3$$

معادله بقا ممنتوم برای محیط غیر متخلخل در رابطه (۳-۳) آمده است:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \vec{v}) + \nabla \cdot (\rho \vec{v} \vec{v}) = -\nabla p + \nabla \cdot (\tau) + \rho \vec{g} \quad ۳-۳$$

که در آن τ تانسور تنش می باشد که توسط رابطه (۳-۴) محاسبه می شود.

$$\tau = \mu \left[(\nabla \vec{v} + \nabla \vec{v}^T) - \frac{2}{3} \nabla \cdot \vec{v} I \right] \quad ۴-۳$$

معادله ممنتوم برای سه جهت در مختصات به صورت زیر نوشته می شود:

$$\rho \left(\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + \omega \frac{\partial u}{\partial z} \right) = -\frac{\partial P}{\partial x} + \mu \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right) + X \quad ۵-۳$$

$$\rho \left(\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + \omega \frac{\partial v}{\partial z} \right) = -\frac{\partial P}{\partial y} + \mu \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} \right) + Y \quad ۶-۳$$

$$\rho \left(\frac{\partial \omega}{\partial t} + u \frac{\partial \omega}{\partial x} + v \frac{\partial \omega}{\partial y} + \omega \frac{\partial \omega}{\partial z} \right) = -\frac{\partial P}{\partial z} + \mu \left(\frac{\partial^2 \omega}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \omega}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \omega}{\partial z^2} \right) + Z \quad ۷-۳$$

معادله انرژی برای محیط غیر متخلخل با رابطه (۸-۳) بیان می شود:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho E) + \nabla \cdot (\vec{v}(\rho E + p)) = \nabla \cdot (k_{eff} \nabla T + (\tau \cdot \vec{v})) \quad ۸-۳$$

که در آن عبارات E ، h و k_{eff} با روابط (۸-۳) و (۹-۳) و (۱۰-۳) بیان می شوند:

$$E = h - \frac{p}{\rho} + \frac{v^2}{2} \quad ۹-۳$$

$$h = \int_{T_{ref}}^T c_p dT \quad ۱۰-۳$$

$$k_{eff} = k + k_t \quad ۱۱-۳$$

که در رابطه (۱۱-۳) k_t نشانگر هدایت حرارتی توربولانس می باشد [۴۲]. لازم بذکر است که در این شبیه سازی از مدل توربولانسی *Standard k-ε* به دلیل آشفته بودن جریان استفاده شده است. مدل های تلاطم دو معادله ای، اجازه تعیین طول آشفتگی و مقیاس زمانی با حل دو معادله انتقال جداگانه را می دهند. مدل *k-ε* استاندارد یکی از این مدل ها است. این مدل تبدیل به یک مدل قابل اعتماد در اکثر محاسبات مهندسی شده است. استحکام، اقتصادی بودن و دقت مناسب برای طیف گسترده ای از جریان آشفته محبوبیت آن را در شبیه سازی جریان و انتقال حرارت آشفته در صنعت توضیح می دهد. این مدل یک مدل نیمه تجربی است. مدل *k-ε* استاندارد یک مدل بر اساس مدل معادلات انتقال برای انرژی جنبشی آشفته (k) و نرخ اتلاف آن (ϵ) است. معادله انتقال برای انرژی جنبشی آشفته از معادله دقیق مشتق شده است، در حالی که معادله انتقال برای نرخ اتلاف (ϵ) با استفاده از استدلال فیزیکی و شباهتی به همتای ریاضی دقیق آن به دست آمد. در بدست آوردن مدل *k-ε* استاندارد، فرض بر این است که جریان کاملاً آشفته است و اثرات لزجت مولکولی قابل اغماض است. در زیر دو معادله مرتبط با این مدل آورده شده است:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho k) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho k v_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + G_k + G_b - \rho \epsilon - Y_m + S_k \quad ۱۲-۳$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \epsilon) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho \epsilon v_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\epsilon} \right) \frac{\partial \epsilon}{\partial x_j} \right] + C_1 \frac{\epsilon}{k} (G_k + G_{3\epsilon} G_b) - C_{2\epsilon} \rho \frac{\epsilon^2}{k} + S_\epsilon \quad ۱۳-۳$$

در ادامه به بررسی انتقال حرارت تشعشع پرداخته می‌شود. یکی از راه‌های انتقال گرما تشعشع است. انتقال حرارت از طریق تشعشع بر خلاف انتقال حرارت از طریق هدایت یا جابجایی احتیاج به محیط مادی ندارد و انتقال حرارت با سرعت نور انجام می‌شود. همچنین انتقال حرارت در صورت وجود سطح سردتر جداکننده دو سطح مورد نظر اتفاق می‌افتد. با توجه به قانون مکسول، در تشعشع گرما عمدتاً از طریق موج الکترومغناطیس انتقال می‌یابد. تشعشع، انرژی منتشرشده به وسیله ماده با موج الکترومغناطیسی است، که شامل همه موادی که دارای دمای بالاتر از صفر مطلق هستند، می‌باشد. تابش گرمایی بدون حضور ماده، از میان فضای خالی منتشر می‌شود و نتیجه حرکات تصادفی اتم‌ها و مولکول‌ها در ماده است. از آنجا که این اتم‌ها و مولکول‌ها از ذرات باردار تشکیل شده‌اند (پروتون‌ها و الکترون‌ها) حرکات آن‌ها باعث انتشار امواج الکترومغناطیسی، که حامل انرژی هستند می‌باشد. بر اساس تئوری انیشتین، تشعشع الکترو مغناطیسی انتشار بسته هایی از انرژی میباشد که فوتون نام دارند و انرژی آنها از قانون زیر پیروی می‌کند:

$$e = h\nu \quad ۱۴-۳$$

که در آن ν فرکانس موج و h ثابت پلانک می‌باشد. انتقال حرارت تشعشع از جسم با دمای بالاتر به جسم با دمای پایین تر در جریان است تا زمانی که دو جسم هم دما گردند. لازم به ذکر است انتقال حرارت تشعشعی یک پدیده حجمی است و برای اجسامی که فقط تشعشع از سطح صادر شده است می‌باشد زیرا تشعشع داخل جسم هیچگاه به سطح جسم نرسیده و از آن خارج نمی‌شود [۴۳، ۴۴].

اجسام در جذب انرژی توانایی‌های مختلفی دارند اما به جسمی که بیشترین میزان جذب و دفع انرژی را دارا می‌باشد، «جسم سیاه»^۱ گفته می‌شود. بنابراین جسم سیاه به عنوان مرجع در انتقال حرارت تشعشعی در نظر گرفته می‌شود زیرا هیچ جسمی قادر به جذب یا دفع بیش از این تشعشع نخواهد بود. از نظر تئوری یک جسم سیاه در حال تشعشع ایزنتروپیک بوده یعنی تشعشع را بطور یکنواخت پراکنده می‌سازد اما جذب انرژی با توجه به زاویه دریافت و طول موج می‌تواند متفاوت باشد. میزان انرژی ساطع شده از یک جسم سیاه، در واحد زمان و در واحد سطح را می‌توان با استفاده از قانون استفان-بولتزمن^۲ محاسبه کرد [۴۴]:

$$E_b = \sigma T^4, \sigma = 5.67 * 10^{-8} \frac{W}{m^2 K^4} \quad ۱۵-۳$$

^۱ Black Body
^۲ Stefan-Boltzmann

که در آن T دمای مطلق سطح جسم سیاه بوده که بر حسب کلوین بیان می‌شود و E_b را توان تابش جسم سیاه می‌نامند. یک محفظه بزرگ که دارای تعدادی حفره ریز است را میتوان مثال خوبی برای جسم سیاه نامید. توان تشعشعی جسم سیاه برابر با میزان انرژی ساطع شده در واحد زمان، سطح و طول موج است. این کمیت را با نماد $E_{b\lambda}$ نشان می‌دهند. قانون توزیع پلانک رابطه $E_{b\lambda}$ با دما و طول موج را نشان می‌دهد:

$$E_{b\lambda}(T) = \frac{C_1}{\lambda^5 e^{\left(\frac{C_2}{\lambda T}\right)-1}} \left(\frac{W}{m^2 \cdot \mu m}\right) \quad ۱۶-۳$$

که C_1 و C_2 ثابت‌های معادله می‌باشند. انتشار انرژی از جسم سیاه بر حسب دمای سطح را میتوان از انتگرال آن در تمامی طول موج‌ها بدست آورد. در معادله بالا راندمان جسم سیاه صد درصد فرض شده است یعنی در دمای ثابت و تمام طول موج‌ها انرژی ساطع شده است اما در واقع یک جسم سیاه در بازه خاصی از طول موج‌ها قادر به گسیل انرژی می‌باشد. برای سادگی و حل نکردن معادله توزیع پلانک، مقداری بی‌بعد به نام تابع تابش جسم سیاه تعریف می‌شود که با نماد f_λ بیان می‌گردد. این کمیت تابعی از دما است و بصورت زیر محاسبه می‌گردد:

$$f_\lambda(T) = \frac{\int_0^\lambda E_{b\lambda}(T) d\lambda}{\sigma T^4} \quad ۱۷-۳$$

f_λ نسبت انرژی در طول موج ۰ تا λ به کل انرژی‌ای که از جسم سیاهی در دمای T گسیل شده است. پس می‌توان روابط زیر را برای f_λ نوشت:

$$f_{\lambda_1-\lambda_2}(T) = f_{\lambda_2}(T) - f_{\lambda_1}(T) \quad ۱۸-۳$$

$$f_{\lambda-\infty}(T) = 1 - f_\lambda(T) \quad ۱۹-۳$$

انرژی گسیل شده توسط یک سطح به انرژی گسیل شده توسط جسم سیاه در همان دما را قابلیت انتشار^۳ می‌گویند که با نماد ε بیان می‌شود [۴۴]:

$$\varepsilon(T) = \frac{E(T)}{E_b(T)} \quad ۲۰-۳$$

^۳ Emissivity

و برای گسیل در یک طول موج می توان از رابطه زیر استفاده کرد:

$$\varepsilon_{\lambda}(T) = \frac{E_{\lambda}(T)}{E_{\lambda b}(T)} \quad ۲۱-۳$$

سطوح در انتقال حرارت تشعشی بر اساس قابلیت تشعشع به دو قسمت پخش کننده و خاکستری تقسیم می-شوند:

سطح پخش کننده: سطحی است که خواص آن مستقل از جهت می باشد.

سطح خاکستری: سطحی است که خواص آن مستقل از طول موج می باشد.

بنابراین، قابلیت انتشار یک سطح خاکستری و پخش کننده برابر کل قابلیت تشعشی آن سطح است. برای قابلیت انتشار یک سطح خاکستری می توان نوشت:

$$\varepsilon(T) = \frac{\int_0^{\lambda} \varepsilon_{\lambda}(T) E_{b\lambda}(T) d\lambda}{\sigma T^4} \quad ۲۲-۳$$

لازم بذکر است برای هر سطح سه پارامتر زیر تعریف می شود:

جذب (α): نسبت انرژی جذب شده به کل انرژی تابیده شده

بازتاب (ρ): نسبت انرژی بازتاب شده به کل انرژی تابیده شده

عبور (τ): نسبت انرژی عبوری به کل انرژی تابیده شده

که مجموع این سه عدد برابر با یک می باشد.

در این شبیه سازی از معادله تشعشی جهات مجزا استفاده شده است. مدل جهات مجزا بر اساس یک تعداد محدودی از زوایای گسسته سازی شده به حل معادله تشعشی می پردازد که معادله میدان تشعشی در جهت \vec{s} بصورت زیر می باشد [۴۲].

$$\nabla \cdot (I(\vec{r}, \vec{s}) \vec{s}) + (a + \sigma_s) I(\vec{r}, \vec{s}) = an \frac{\sigma T^4}{\pi} + \frac{\sigma_s}{4\pi} \int_0^{4\pi} I(\vec{r}, \vec{s}') \Phi(\vec{s}, \vec{s}') d\Omega' \quad ۲۳-۳$$

$$I(\vec{r}, \vec{s}) = \sum_k I_{\lambda_k}(\vec{r}, \vec{s}) \Delta \lambda_k \quad ۲۴-۳$$

خواص مواد

در این قسمت در مورد خواص ترمودینامیکی مواد استفاده شده بحث می‌شود.

خواص ترمودینامیکی هوا

چگالی

برای محاسبه چگالی هوا از تقریب بوزینسک^۴ استفاده می‌شود. زمانی که سیال حرارت داده می‌شود چگالی آن با دما تغییر می‌کند. بر اثر وجود نیروی جاذبه و در نتیجه بوجود آمدن نیروی شناوری سیال شروع به حرکت می‌کند. این پدیده باعث ایجاد جابجایی طبیعی می‌شود. پس یک مساله جابجای طبیعی بسیار به دقت تخمین چگالی سیال وابسته است. تقریب بوزینسک یکی از بهترین روش‌ها برای پیدا کردن چگالی سیال در جابجایی طبیعی می‌باشد. بعلاوه استفاده از آن باعث افزایش سرعت حل نیز می‌شود [۴۲]. معادله توصیفی تقریب بوزینسک بصورت زیر است:

$$(\rho - \rho_0)g \approx -\rho_0\beta(T - T_0)g \quad ۲۵-۳$$

که ρ_0 چگالی ثابت جریان، T_0 دمای عملیاتی و β ضریب انبساط می‌باشند. تقریب بوزینسک فقط در حالتی برقرار است که معادله زیر را ارضا کند:

$$\beta(T - T_0) \ll 1 \quad ۲۶-۳$$

Boussinesq Approximation^۴

سایر خواص ترمودینامیکی هوا

برای پیدا کردن خواص ترمودینامیکی هوا ابتدا در جدولی خواص ترمودینامیکی هوا در دماهای مختلف آورده شده است. [۴۵]

Temp. <i>T</i> , °C	Density ρ , kg/m ³	Specific Heat c_p , J/kg·K	Thermal Conductivity k , W/m·K	Thermal Diffusivity α , m ² /s	Dynamic Viscosity μ , kg/m·s	Kinematic Viscosity ν , m ² /s	Prandtl Number Pr
-150	2.866	983	0.01171	4.158×10^{-6}	8.636×10^{-6}	3.013×10^{-6}	0.7246
-100	2.038	966	0.01582	8.036×10^{-6}	1.189×10^{-5}	5.837×10^{-6}	0.7263
-50	1.582	999	0.01979	1.252×10^{-5}	1.474×10^{-5}	9.319×10^{-6}	0.7440
-40	1.514	1002	0.02057	1.356×10^{-5}	1.527×10^{-5}	1.008×10^{-5}	0.7436
-30	1.451	1004	0.02134	1.465×10^{-5}	1.579×10^{-5}	1.087×10^{-5}	0.7425
-20	1.394	1005	0.02211	1.578×10^{-5}	1.630×10^{-5}	1.169×10^{-5}	0.7408
-10	1.341	1006	0.02288	1.696×10^{-5}	1.680×10^{-5}	1.252×10^{-5}	0.7387
0	1.292	1006	0.02364	1.818×10^{-5}	1.729×10^{-5}	1.338×10^{-5}	0.7362
5	1.269	1006	0.02401	1.880×10^{-5}	1.754×10^{-5}	1.382×10^{-5}	0.7350
10	1.246	1006	0.02439	1.944×10^{-5}	1.778×10^{-5}	1.426×10^{-5}	0.7336
15	1.225	1007	0.02476	2.009×10^{-5}	1.802×10^{-5}	1.470×10^{-5}	0.7323
20	1.204	1007	0.02514	2.074×10^{-5}	1.825×10^{-5}	1.516×10^{-5}	0.7309
25	1.184	1007	0.02551	2.141×10^{-5}	1.849×10^{-5}	1.562×10^{-5}	0.7296
30	1.164	1007	0.02588	2.208×10^{-5}	1.872×10^{-5}	1.608×10^{-5}	0.7282
35	1.145	1007	0.02625	2.277×10^{-5}	1.895×10^{-5}	1.655×10^{-5}	0.7268
40	1.127	1007	0.02662	2.346×10^{-5}	1.918×10^{-5}	1.702×10^{-5}	0.7255
45	1.109	1007	0.02699	2.416×10^{-5}	1.941×10^{-5}	1.750×10^{-5}	0.7241
50	1.092	1007	0.02735	2.487×10^{-5}	1.963×10^{-5}	1.798×10^{-5}	0.7228
60	1.059	1007	0.02808	2.632×10^{-5}	2.008×10^{-5}	1.896×10^{-5}	0.7202
70	1.028	1007	0.02881	2.780×10^{-5}	2.052×10^{-5}	1.995×10^{-5}	0.7177
80	0.9994	1008	0.02953	2.931×10^{-5}	2.096×10^{-5}	2.097×10^{-5}	0.7154
90	0.9718	1008	0.03024	3.086×10^{-5}	2.139×10^{-5}	2.201×10^{-5}	0.7132
100	0.9458	1009	0.03095	3.243×10^{-5}	2.181×10^{-5}	2.306×10^{-5}	0.7111
120	0.8977	1011	0.03235	3.565×10^{-5}	2.264×10^{-5}	2.522×10^{-5}	0.7073
140	0.8542	1013	0.03374	3.898×10^{-5}	2.345×10^{-5}	2.745×10^{-5}	0.7041
160	0.8148	1016	0.03511	4.241×10^{-5}	2.420×10^{-5}	2.975×10^{-5}	0.7014
180	0.7788	1019	0.03646	4.593×10^{-5}	2.504×10^{-5}	3.212×10^{-5}	0.6992
200	0.7459	1023	0.03779	4.954×10^{-5}	2.577×10^{-5}	3.455×10^{-5}	0.6974
250	0.6746	1033	0.04104	5.890×10^{-5}	2.760×10^{-5}	4.091×10^{-5}	0.6946
300	0.6158	1044	0.04418	6.871×10^{-5}	2.934×10^{-5}	4.765×10^{-5}	0.6935
350	0.5664	1056	0.04721	7.892×10^{-5}	3.101×10^{-5}	5.475×10^{-5}	0.6937
400	0.5243	1069	0.05015	8.951×10^{-5}	3.261×10^{-5}	6.219×10^{-5}	0.6948
450	0.4880	1081	0.05298	1.004×10^{-4}	3.415×10^{-5}	6.997×10^{-5}	0.6965
500	0.4565	1093	0.05572	1.117×10^{-4}	3.563×10^{-5}	7.806×10^{-5}	0.6986
600	0.4042	1115	0.06093	1.352×10^{-4}	3.846×10^{-5}	9.515×10^{-5}	0.7037
700	0.3627	1135	0.06581	1.598×10^{-4}	4.111×10^{-5}	1.133×10^{-4}	0.7092
800	0.3289	1153	0.07037	1.855×10^{-4}	4.362×10^{-5}	1.326×10^{-4}	0.7149
900	0.3008	1169	0.07465	2.122×10^{-4}	4.600×10^{-5}	1.529×10^{-4}	0.7206
1000	0.2772	1184	0.07868	2.398×10^{-4}	4.826×10^{-5}	1.741×10^{-4}	0.7260
1500	0.1990	1234	0.09599	3.908×10^{-4}	5.817×10^{-5}	2.922×10^{-4}	0.7478
2000	0.1553	1264	0.11113	5.664×10^{-4}	6.630×10^{-5}	4.270×10^{-4}	0.7539

جدول (۳-۱) خواص ترمودینامیکی هوا [۴۵]

مدل سازی

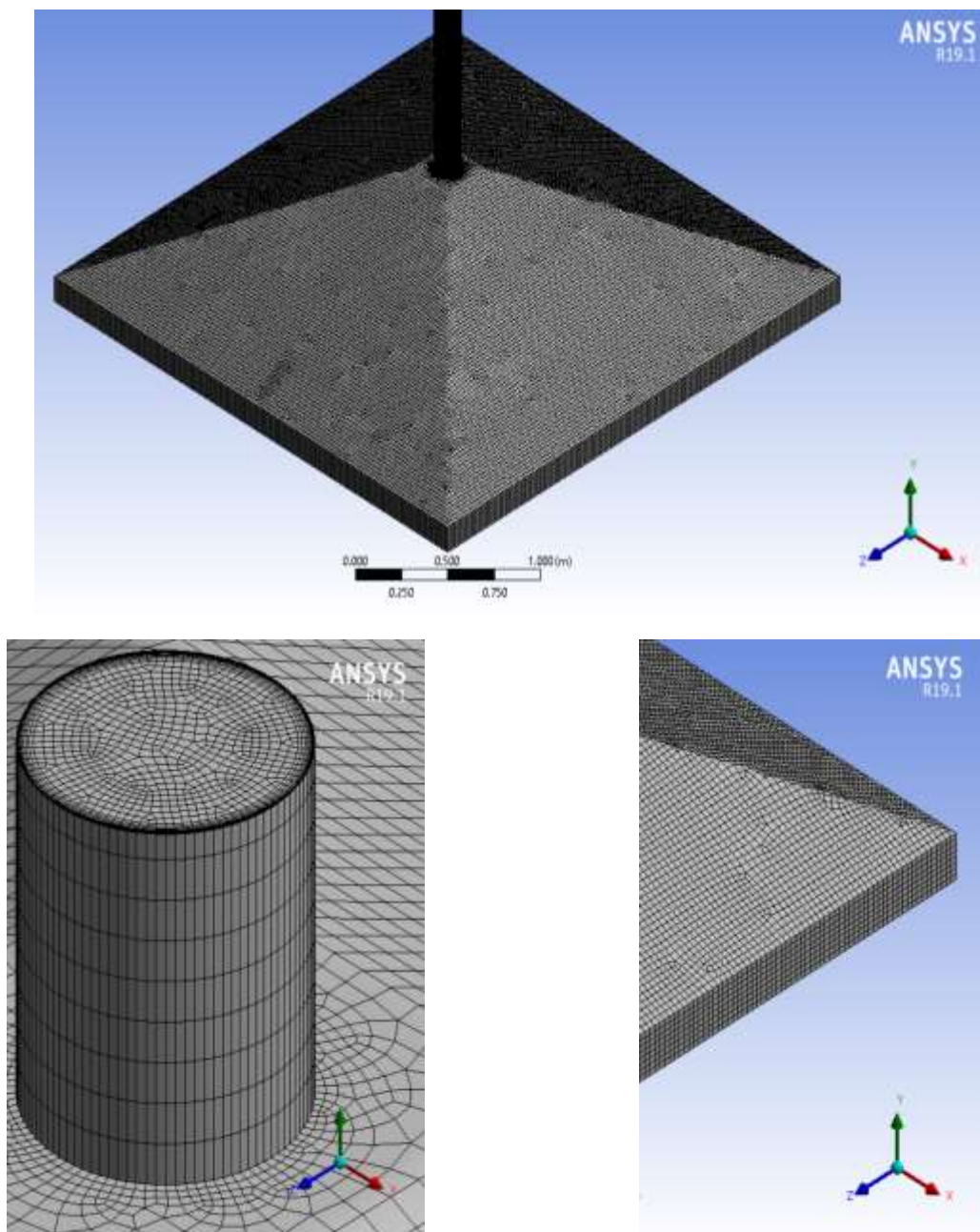
به منظور انجام مدل سازی انتقال حرارت جابجایی و تشعشع در محفظه متخلخل از نرم افزار انسیس فلوئنت^۵ استفاده شده است. ساخت هندسه و شبکه بندی برای انجام این شبیه سازی توسط نرم افزار انسیس ورکبنچ^۶ انجام شده است.

ساختار شبکه

به منظور ساخت شبکه داخل سیستم تا آنجایی که ممکن بوده است از شبکه بندی سازمان یافته استفاده شده است. شکل (۱-۳) نشان دهنده شبکه بندی مدل شبیه سازی شده است:

^۵ Ansys Fluent 19.0

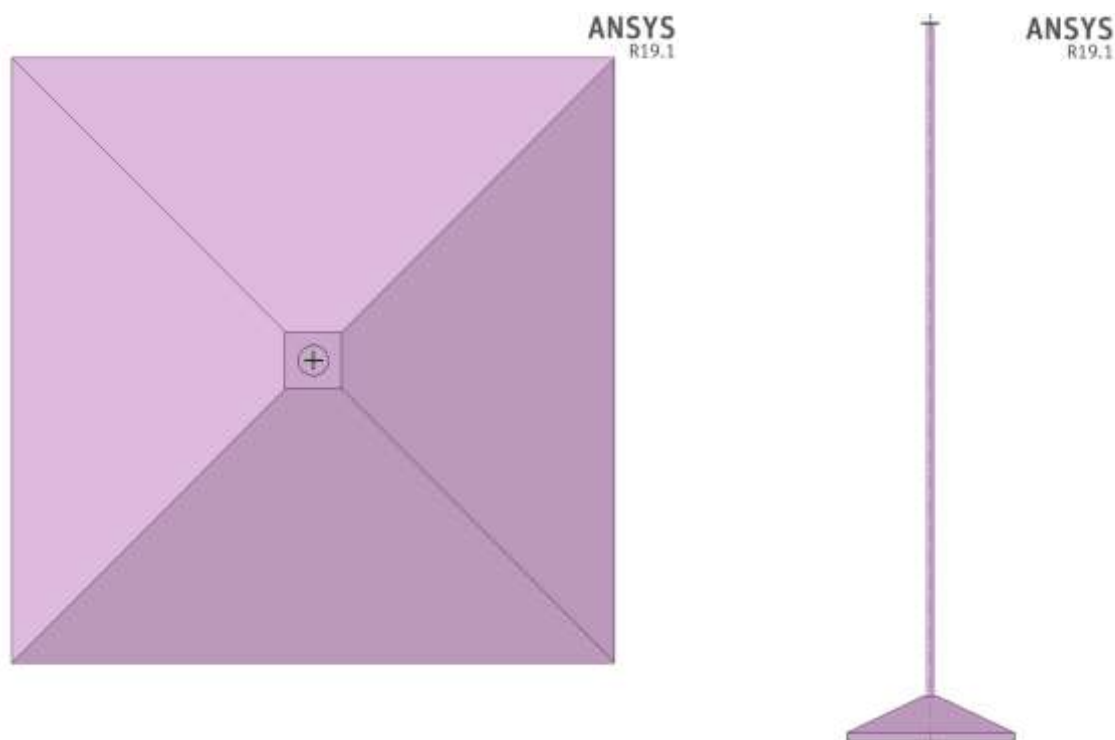
^۶ Ansys Workbench



شکل (۱-۳) شبکه ایجاد شده برای دودکش خورشیدی

ابعاد، جنس، شرایط مرزی و شرایط اولیه مدل شبیه‌سازی شده

مدل شبیه‌سازی شده در شکل (۲-۳) آمده است. در جدول (۲-۳) ابعاد، جنس، و شرایط مرزی نمایش داده شده است.



شکل (۲-۳) مدل دودکش خورشیدی

جدول (۲-۳) ابعاد، جنس، و شرایط مرزی مدل شبیه سازی شده

اجزا	جنس	طول (m)	شرایط مرزی
ضلع کلکتور	-	۳	فشار اتمسفریک
ارتفاع توربین	-	۰.۸	-
سطح فوقانی کلکتور	شیشه	-	انتقال حرارت جابجایی و تشعشع خارجی تثعشع خورشید: $800 \frac{W}{m^2}$ ضریب انتقال حرارت جابجایی: $9.5 \frac{W}{m^2 K}$ دمای محیط: ۳۰۶ کلوین
زمین	خاک	۳*۳	آدیاباتیک
دود کش	PVC	۱۲.۸۵ متر به قطر ۱۵ سانتی متر	آدیاباتیک
خروجی دودکش	-	-	فشار اتمسفریک

در جدول زیر خواص فیزیکی مواد فوق آورده شده است:

جدول (۳-۳) خواص فیزیکی مواد [۴۶]

نوع خاصیت	شیشه	شیشه	خاک
باند طول موج	مرئی	فرا بنفش	-
ضریب جذب	۰.۰۴	۰.۹۵	۰.۸
ضریب عبور	۰.۹۲	۰.۰۵	۰
چگالی ($\frac{kg}{m^3}$)	۲۷۰۰		۱۹۰۰
حرارت مخصوص ($\frac{J}{kg.K}$)	۸۴۰		۲۲۰۰
هدایت حرارتی ($\frac{W}{mK}$)	۰.۷۸		۱.۸۳
گسیلندگی	۰.۹		۰.۸۹

گسسته سازی معادلات و همگرایی و ضرایب تاثیر

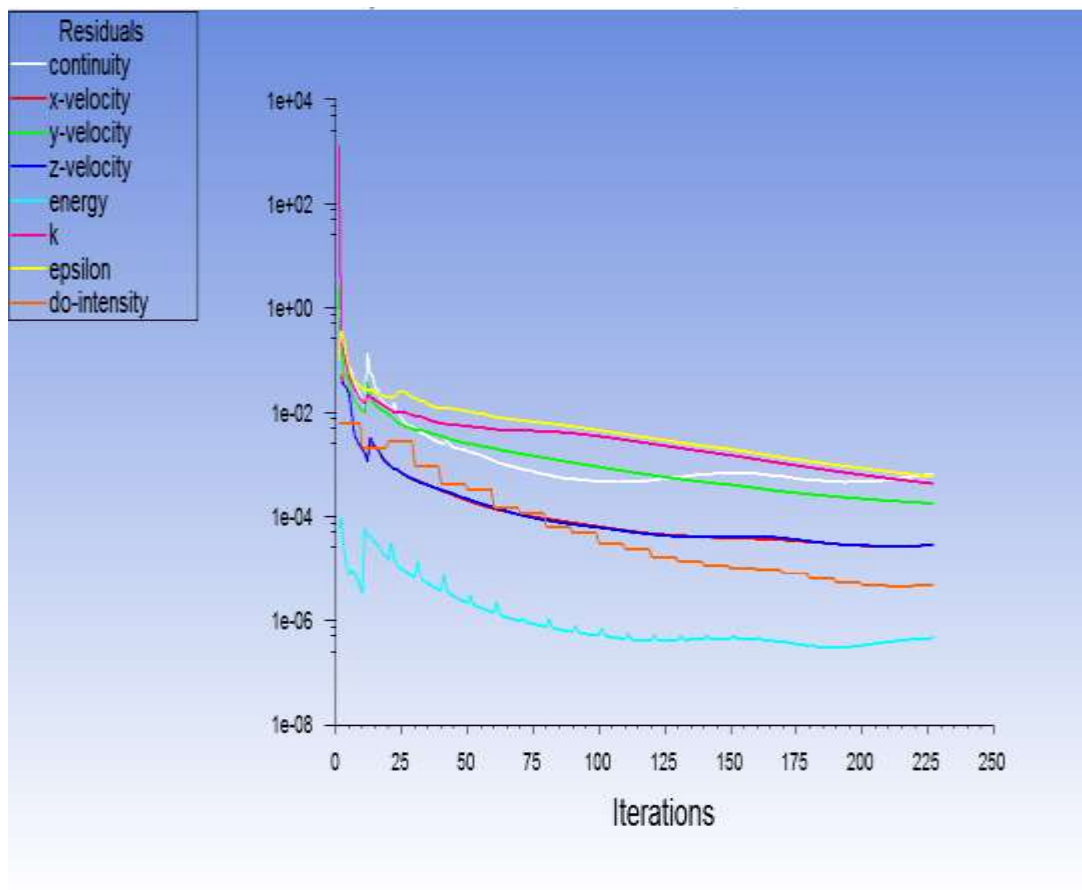
انتخاب درست نحوه حل معادلات بشدت بر روی پایداری و دقت و سرعت در حل عددی تأثیرگذار است. به همین منظور برای حل معادلات از تنظیمات بر اساس فشار^۷ به همراه روش سیمپل^۸ استفاده شده است. در جدول (۳-۴) نحوه گسسته سازی برای انجام حل عددی آورده شده است.

جدول (۳-۴) نحوه گسسته سازی معادلات در شبیه سازی انجام شده

گرادیان	گرین-گاوس بر اساس سلول
فشار	PRESTO!
چگالی	مرتبه دوم بادسو
ممنتوم	مرتبه دوم بادسو
انرژی جنبشی توربولانسی	مرتبه دوم بادسو
ضریب اتلاف توربولانسی	مرتبه دوم بادسو
انرژی	مرتبه دوم بادسو
تشعشع	مرتبه دوم بادسو

^۷ Pressure-based
SIMPLE ^۸

در شکل زیر نمونه ای از نمودار پسماندها آورده شده است:



نمودار (۱-۳) پسماندها در دودکش خورشیدی

در زیر جدول پسماندها و ضرایب تاثیر آورده شده است:

جدول (۳-۵) تنظیمات مقادیر پسماند برای همگرایی معادلات

معادله	مقدار مطلق پسماند	نسبی یا مطلق
پیوستگی	1×10^{-4}	مطلق
ممنتوم محوری (X)	1×10^{-4}	مطلق
ممنتوم محوری (Y)	1×10^{-4}	مطلق
ممنتوم محوری (Z)	1×10^{-4}	مطلق
k	1×10^{-4}	مطلق
ε	1×10^{-4}	مطلق
انرژی	1×10^{-6}	مطلق
تشعشع	1×10^{-6}	مطلق

جدول (۳-۶) ضرایب تاثیر به کار رفته

ضرایب تاثیر	
۰.۳	فشار
۱	چگالی
۰.۷	ممنتوم
۱	انرژی

فصل چهارم :

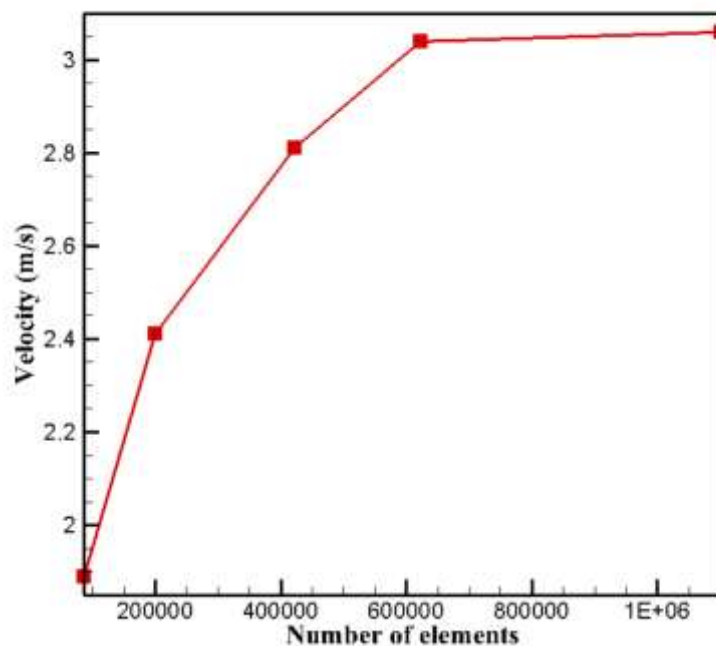
بحث و بررسی نتایج

مقدمه

در این فصل به بررسی نتایج شبیه‌سازی پرداخته می‌شود. ابتدا استقلال از مش مورد بررسی قرار گرفته سپس به اعتبارسنجی شبیه‌سازی پرداخته می‌شود. در ادامه نتایج شبیه‌سازی از قبیل کانتورهای دما، سرعت، فشار، و ... آورده می‌شود. بعلاوه به بررسی نقش پارامترهای هندسی دودکش خورشیدی و شرایط محیطی بر سرعت سیال در محفظه توربین پرداخته خواهد شد.

استقلال از مش

با توجه به اینکه کاهش هزینه محاسباتی نقش بسیار مهمی در شبیه‌سازی ایفا می‌کند استقلال از مش در ابتدای این فصل مورد بررسی قرار گرفته است.



نمودار (۱-۴) استقلال از مش

همانطور که در نمودار (۱-۴) دیده می‌شود با افزایش المان‌های مدل، سرعت بیشینه سیال در دودکش خورشیدی به یک عدد ثابت همگرا می‌شود. اطلاعات به دست آمده به شرح جدول (۱-۴) می‌باشد:

جدول (۱-۴) المان و سرعت لازم برای بررسی استقلال از مش

تعداد المان	سرعت (متر بر ثانیه)	مورد
۸۶۷۲۱	۱.۸۹	۱
۱۹۹۲۱۵	۲.۴۱	۲
۴۲۲۱۳۱	۲.۸۱	۳
۶۲۲۰۹۰	۳.۰۴	۴
۱۱۰۱۱۲۴	۳.۰۶	۵

با توجه به جدول (۴-۱)، اختلاف مورد ۴ و ۵ تقریباً ناچیز می‌باشد. بنابراین افزایش تعداد المان در مقایسه با افزایش هزینه محاسباتی آنچنان بصره به نظر نخواهد رسید و مورد ۴ به عنوان داده بهینه مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

اعتبارسنجی

برای اعتبارسنجی این پایان‌نامه از مقاله‌های آقای کسایان و همکاران [۴۷] استفاده شده است که در آن یک نمونه دودکش خورشیدی شبیه سازی شده و نمونه تجربی مورد بررسی قرار گرفته‌است. در شکل (۴-۲) شکل مدل تجربی مذکور و همچنین مدل شبکه‌بندی شده برای اعتبارسنجی آورده شده است. در جدول (۴-۲) هندسه دودکش خورشیدی مذکور آورده شده است:

جدول (۴-۲) هندسه دودکش خورشیدی [۴۷]

قطر کلکتور	۱.۶ متر
ارتفاع ورودی	۶ سانتی متر
ارتفاع دودکش	۲ متر
قطر دودکش	۲۰ سانتی متر

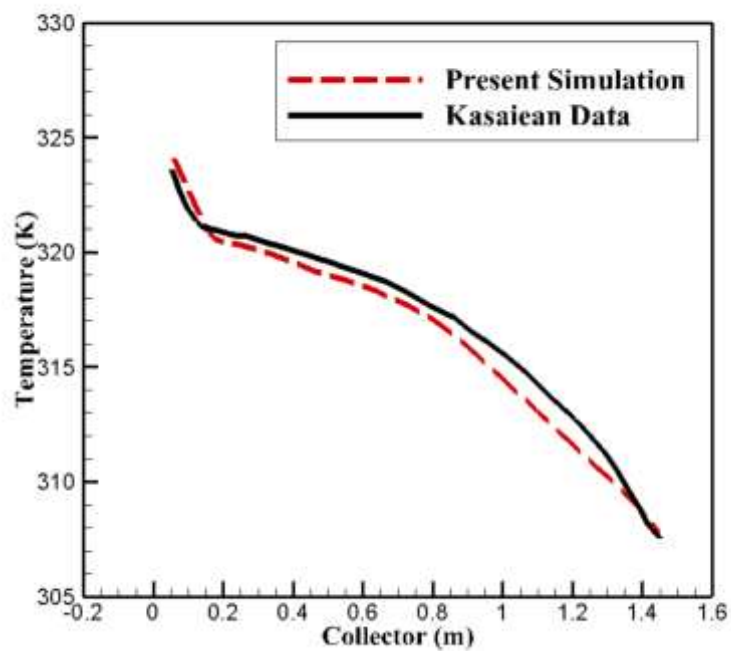


الف

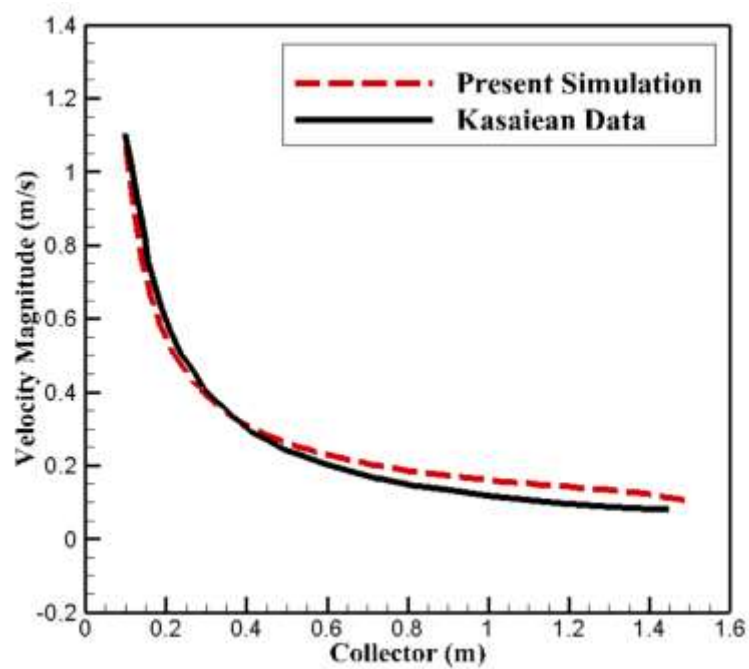


ب

شکل (۱-۴) الف) نمونه ساخته شده دودکش خورشیدی [۴۷] ب) مدل بررسی شده برای اعتبار سنجی



الف



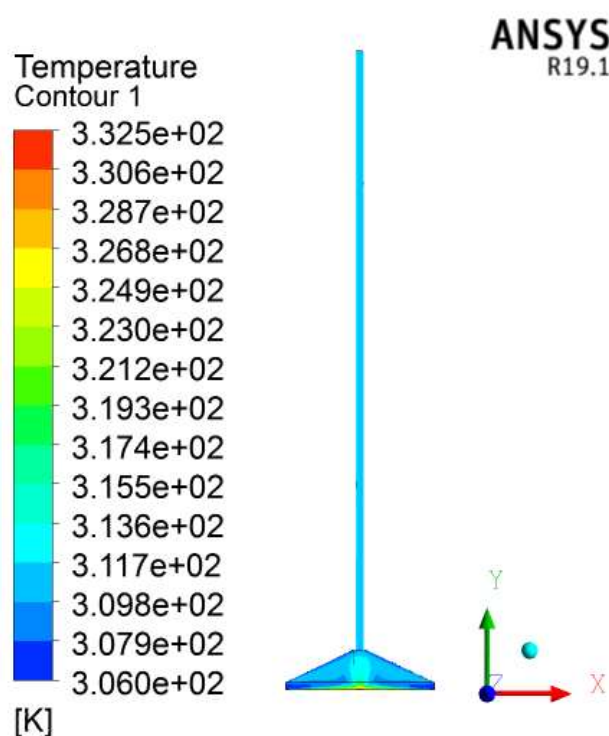
ب

نمودار (۲-۴) نمودار مقایسه‌ای توزیع سرعت و دما در کلکتور (الف) توزیع دما (ب) توزیع سرعت

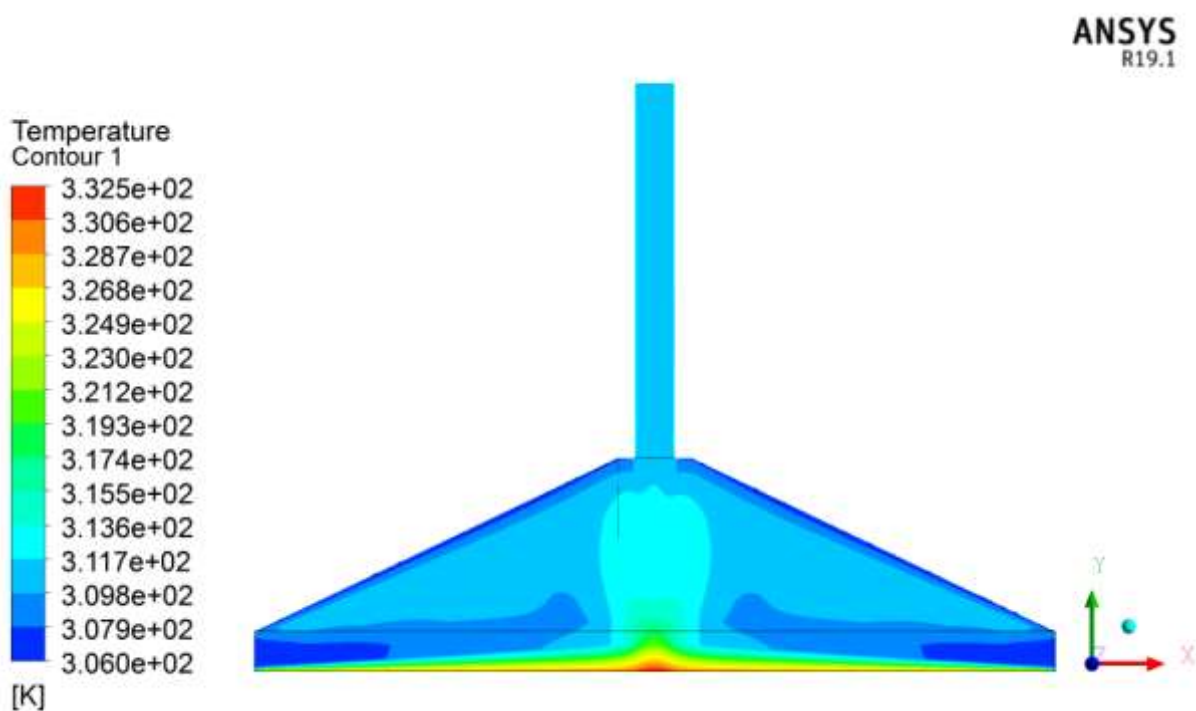
نمودار (۲-۴) نمودار توزیع سرعت و دما در کلکتور برای مقاله کسایان و این شبیه‌سازی را نشان می‌دهد. باتوجه به نمودار (۲-۴) می‌توان گفت که شبیه‌سازی انجام شده با دقت بسیار بالایی با نتایج مقاله کسایان همخوانی داشته است زیرا هم توزیع سرعت‌ها و هم توزیع دماها با دقت خوبی بر هم منطبق هستند و اعتبارسنجی به درستی انجام شده‌است.

نتایج

در این فصل نتایج حاصل از شبیه‌سازی دودکش خورشیدی مورد بررسی قرار می‌گیرد. ابتدا مدل ساخته شده شبیه‌سازی شده و کانتورهای از قبیل دما، سرعت، فشار، بردار سرعت، شدت توربولانسی و ... مورد بررسی قرار می‌گیرد. در ادامه به بررسی پارامترهای موثر بر مسئله از قبیل پارامترهای هندسی و پارامترهای محیطی، پرداخته می‌شود.



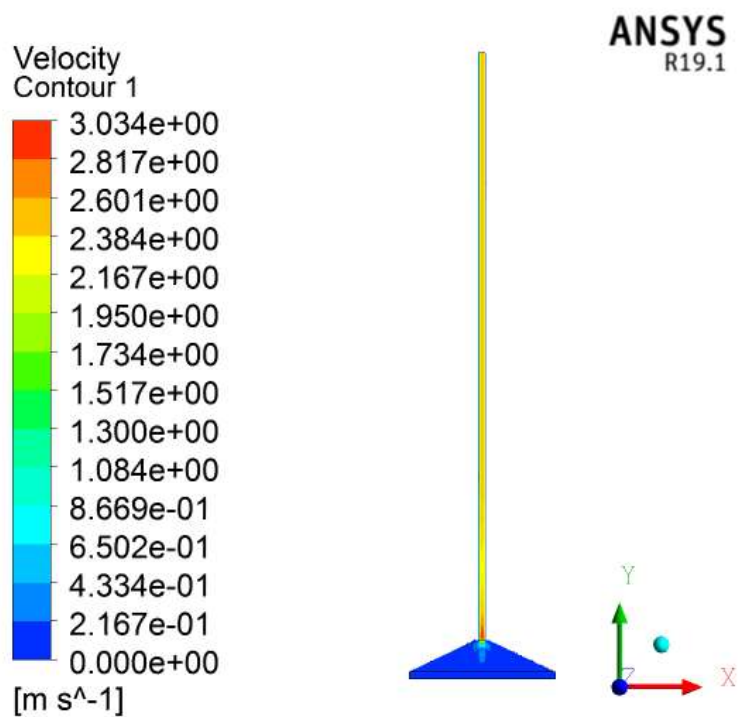
الف



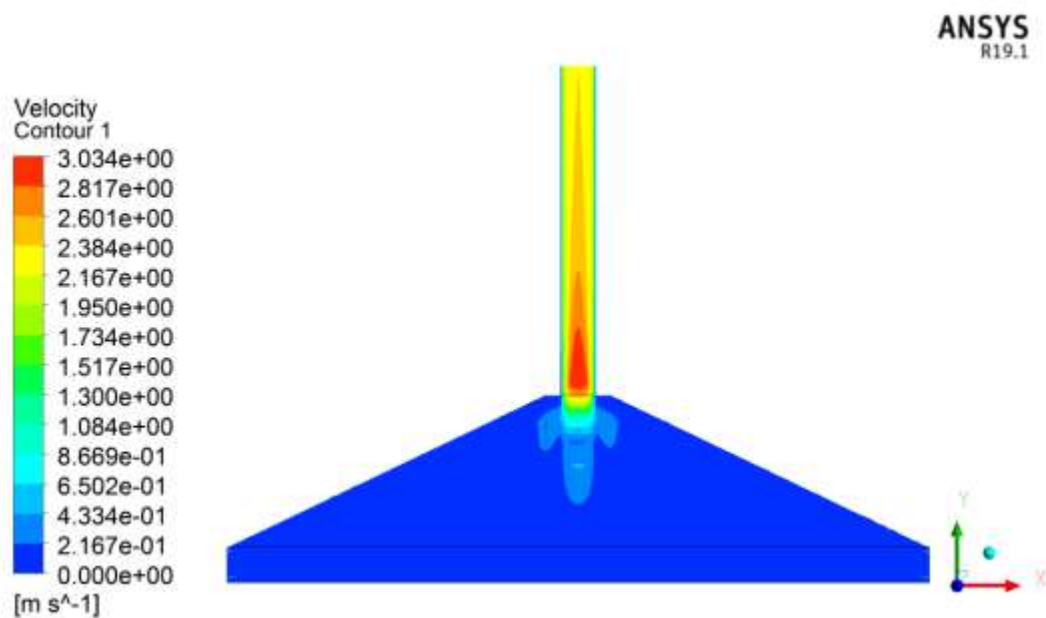
ب

شکل (۴-۲) کانتور دمای دودکش خورشیدی

شکل (۴-۲) کانتور دمای دودکش خورشیدی را نشان می‌دهد. همانطور که مشخص است میانگین دما در داخل کلکتور از دمای محیط یعنی ۳۰۶ کلوین بیشتر می‌باشد. دلیل این امر ایجاد اثر گلخانه‌ای می‌باشد یعنی تشعشع خورشید بعد از عبور از شیشه در داخل کلکتور بدام افتاده و بتدرج دما داخل محفظه بالا می‌رود. زمین در داخل کلکتور بیشتر دما را داشته که علت آن ضریب جذب بالا می‌باشد. بعلاوه به دلیل افزایش دمای زمین، هوای در مجاورت با زمین افزایش دما داده و بعلت کاهش چگالی شروع به بالارفتن می‌کند و در ادامه هوا از طرفین کلکتور وارد آن می‌شود. به همین علت در نزدیکی ورودی‌ها کانتور دما، دمای محیط را نشان می‌دهد.



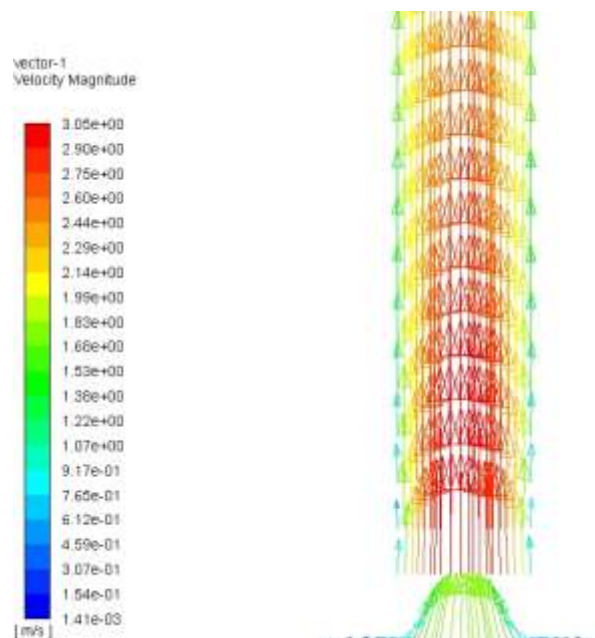
الف



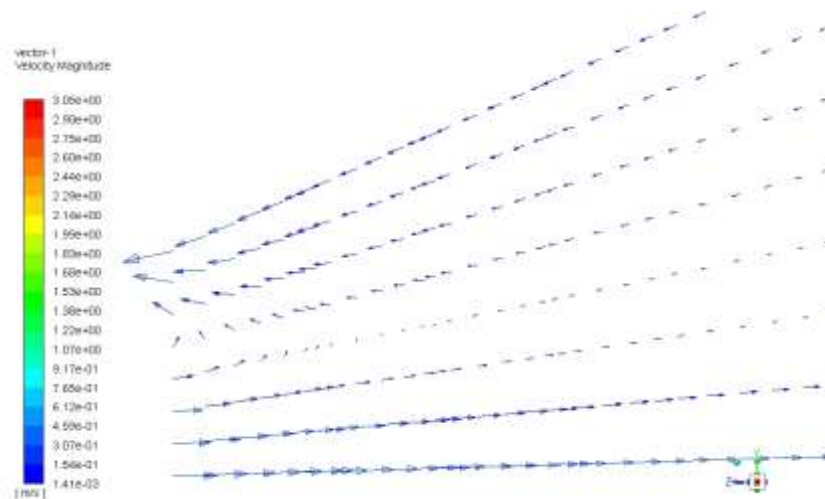
ب

شکل (۴-۳) کانتور سرعت دودکش خورشیدی

شکل (۳-۴) کانتور سرعت دودکش خورشیدی را نشان می‌دهد. همانطور که مشخص است سرعت سیال در قسمت پایینی دودکش خورشیدی کم می‌باشد و در دهانه دودکش تحت تاثیر اثر دودکش، سرعت سیال بشدت افزایش می‌یابد. بیشترین سرعت در مقطع قرار گرفتن توربین رخ می‌دهد. در شکل (۴-۴) نیز بردارهای سرعت را نشان می‌دهد. همانطور که مشخص است بردارهای سرعت در ابتدای دودکش بیشترین میزان خود را دارا می‌باشند. بعلاوه، همانطور که گفته شده، اختلاف دمای زیادی بین کف و شیشه وجود دارد یعنی در ابتدا یک جریان جابجایی طبیعی رخ می‌دهد. با بالا رفتن سیال، بدلیل تراکم ناپذیر بودن سیال، تمام سیال قادر به عبور از دودکش نبوده و مقدار از آن در قسمت بالایی کلکتور جمع می‌شود. در ادامه چون سیال با دمای بیشتر به شیشه با دمای کمتر برخورد می‌کند شروع به حرکت به سمت پایین می‌کند. در شکل بردار سرعت این جریان برگشتی قابل مشاهده می‌باشد.



الف



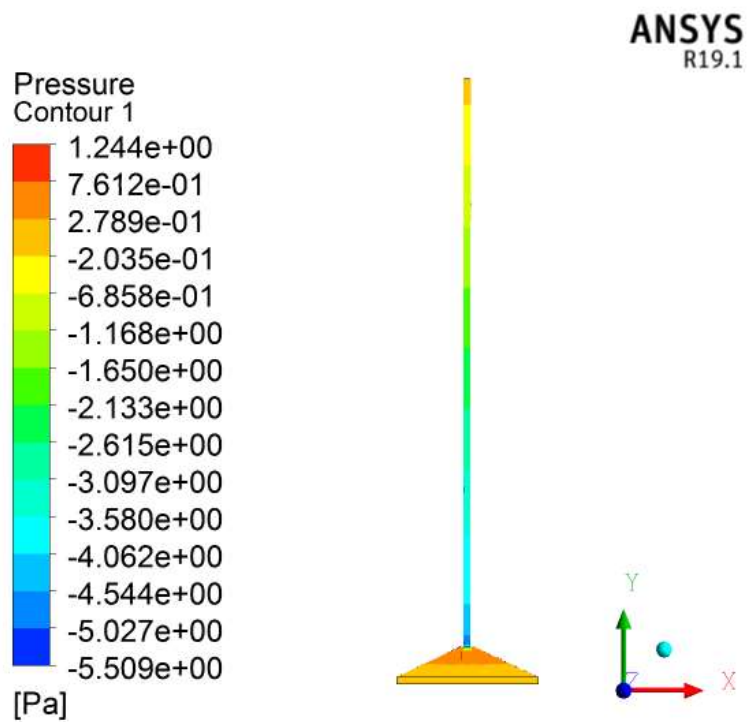
ب

شکل (۴-۴) بردار سرعت دودکش خورشیدی

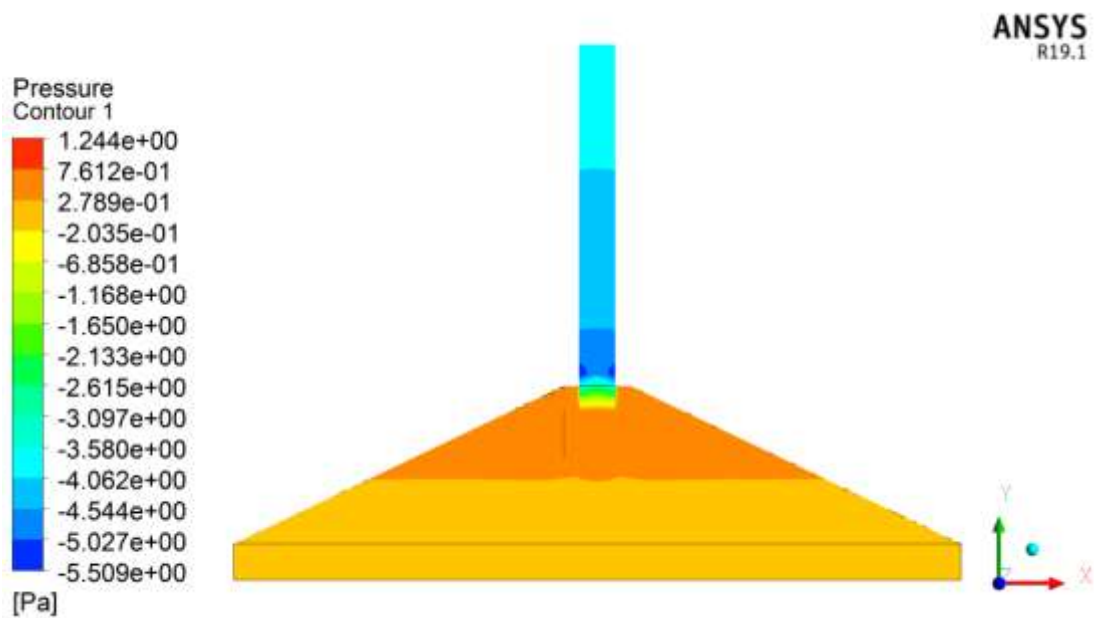
شکل (۴-۵) کانتور فشار دودکش خورشیدی را نشان می‌دهد. در نزدیکی ورودی و خروجی فشار نسبی برابر صفر بوده یعنی فشار یک اتمسفر است. کمترین میزان فشار در ناحیه قرار گیری توربین رخ می‌دهد. اختلاف فشاری به اندازه ۵.۶ پاسکال بین ورودی و ناحیه قرار گیری توربین وجود دارد. با نوشتن معادله برنولی داریم:

$$V = \sqrt{\frac{2\Delta p}{\rho}} \approx 3 \frac{m}{s} \quad ۱-۴$$

مقدار سرعت بدست آمده از رابطه برنولی بسیار به عدد بدست آمده در کانتور سرعت یعنی ۳.۰۴۸ متر بر ثانیه نزدیک است.



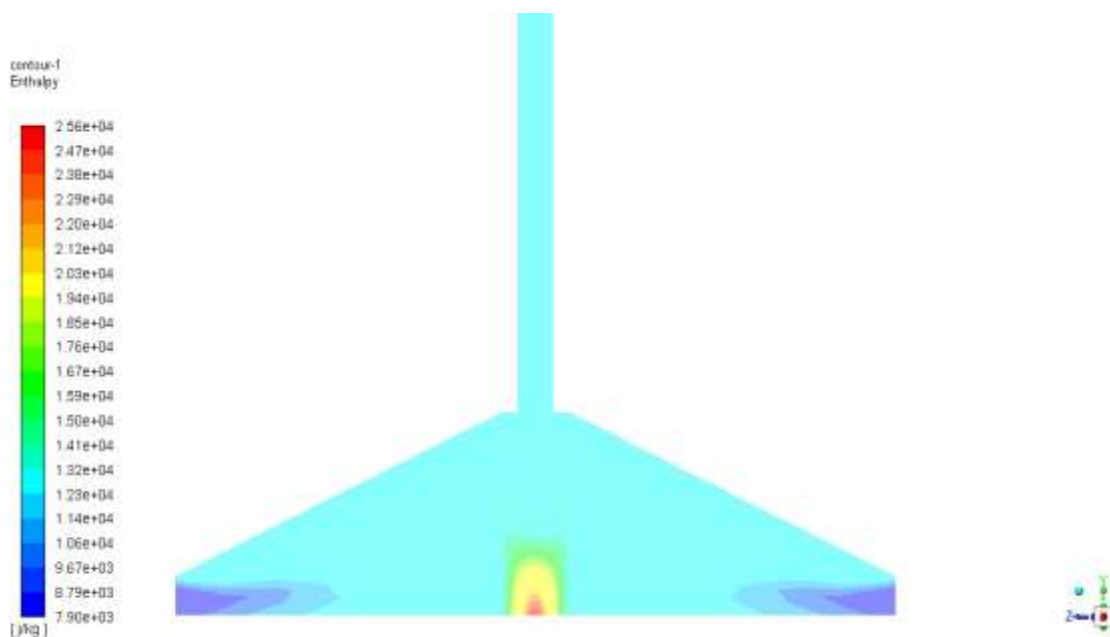
الف



ب

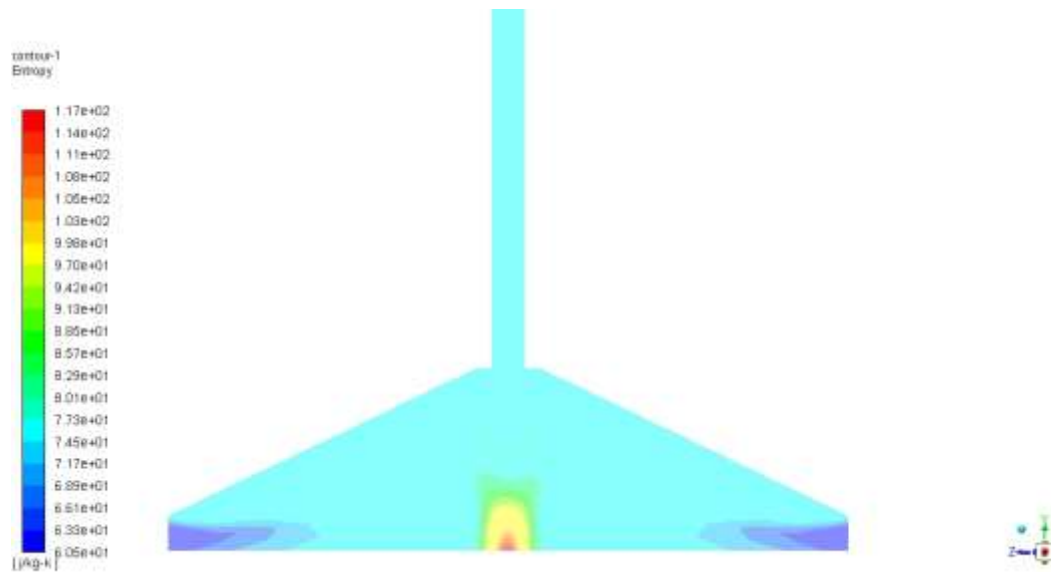
شکل (۴-۵) کانتور فشار دودکش خورشیدی

شکل (۴-۶) کانتور انتالپی دودکش خورشیدی را نشان می‌دهد. انتالپی سیال با دما رابطه مستقیم دارد. در مرکز کلکتور به علت افزایش دمای سیال این مقدار به بیشینه خود می‌رسد. در نزدیکی ورودی هوا این مقدار به کمینه مقدار خود رسیده و دلیل آن پایین بودن دمای سیال است زیرا هوای تازه از محیط بیرون وارد کلکتور می‌شود.



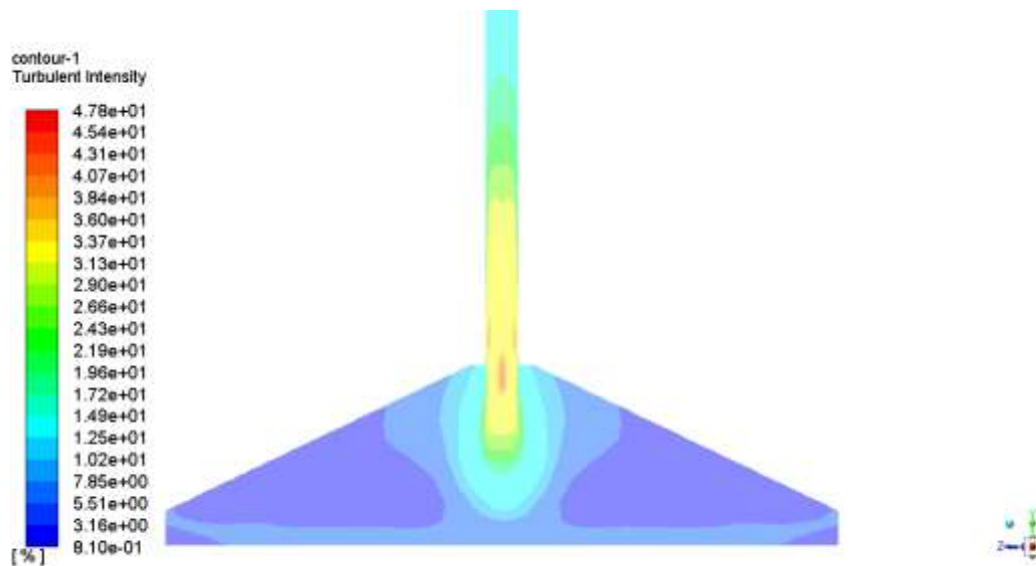
شکل (۴-۶) کانتور انتالپی دودکش خورشیدی

شکل (۴-۷) کانتور تولید انرژی دودکش خورشیدی را نشان می‌دهد. انرژی سیال با دما رابطه مستقیم دارد. در مرکز کلکتور به علت افزایش دمای سیال این مقدار به بیشینه خود می‌رسد. در نزدیکی ورودی هوا این مقدار به کمینه مقدار خود رسیده و دلیل آن پایین بودن دمای سیال است زیرا هوای تازه از محیط بیرون وارد کلکتور می‌شود.



شکل (۷-۴) کانتور تولید انتروپی دودکش خورشیدی

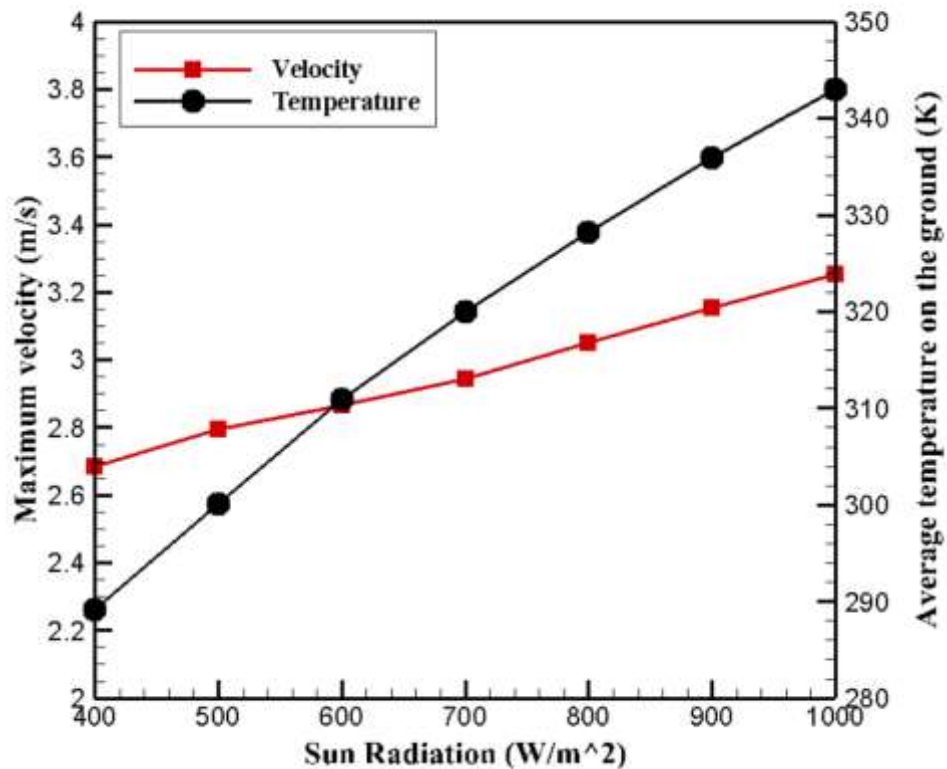
شکل (۸-۴) کانتور شدت توربولانسی دودکش خورشیدی را نشان می‌دهد. همانطور که مشخص است در ناحیه اطراف قرارگیری توربین این عدد به بیشینه مقدار خود میرسد.



شکل (۸-۴) کانتور شدت توربولانسی دودکش خورشیدی

نمودار (۳-۴) سرعت ماکزیمم و دمای متوسط سطح زمین نسبت به تغییرات تشعشع خورشید را نشان می‌دهد. واضح است که با افزایش تشعشع خورشید ماکزیمم سرعت سیال و دمای کف کلکتور افزایش می‌یابد. بعلاوه برای پیدا کردن سرعت ماکزیمم سیال فرمول زیر بر نمودار سرعت فیت شده‌است که با دادن مقادیر مختلف تشعشع، سرعت ماکزیمم محاسبه می‌شود:

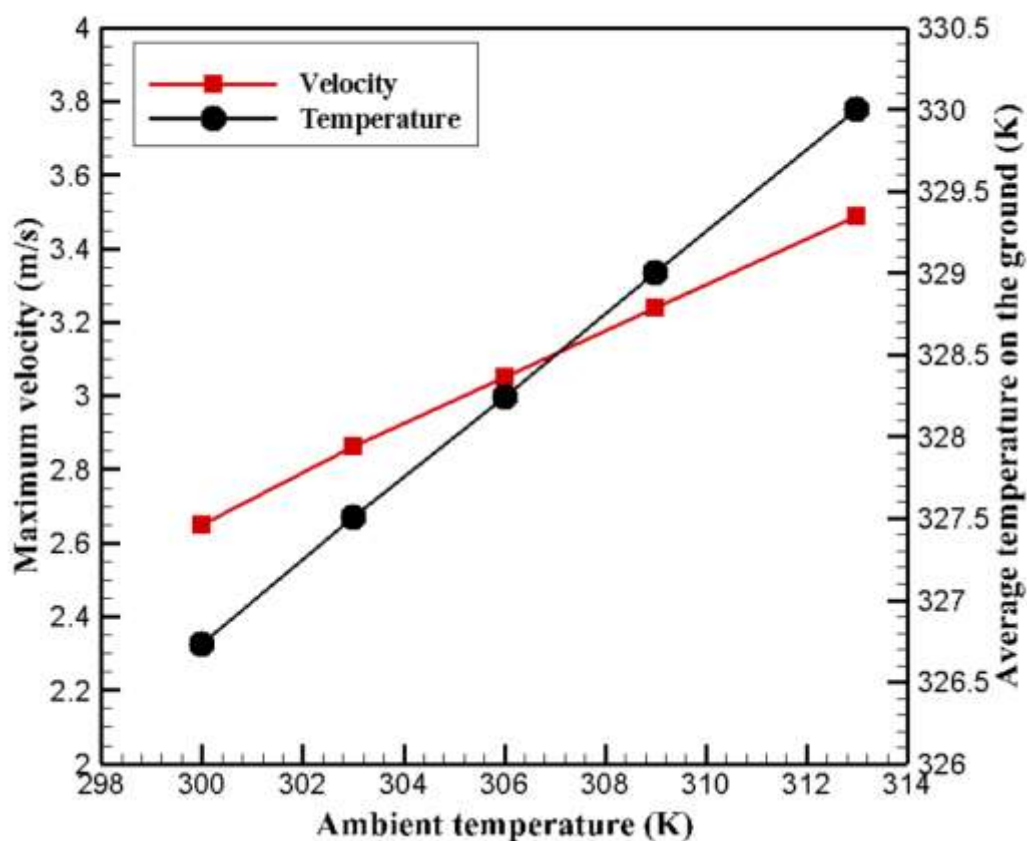
$$V_q(Q) = 0.0009 * Q + 2.3131 \quad (۲-۴)$$



نمودار (۳-۴) سرعت ماکزیمم و دمای متوسط سطح زمین نسبت به تغییرات تشعشع خورشید

نمودار (۴-۴) سرعت ماکزیمم و دمای متوسط سطح زمین نسبت به تغییرات دمای محیط را نشان می-دهد. واضح است که با افزایش دمای محیط ماکزیمم سرعت سیال و دمای کف کلکتور افزایش می-یابد. بعلاوه برای پیدا کردن سرعت ماکزیمم سیال فرمول زیر بر نمودار سرعت فیت شده است که با دادن مقادیر مختلف دمای محیط، سرعت ماکزیمم محاسبه می-شود:

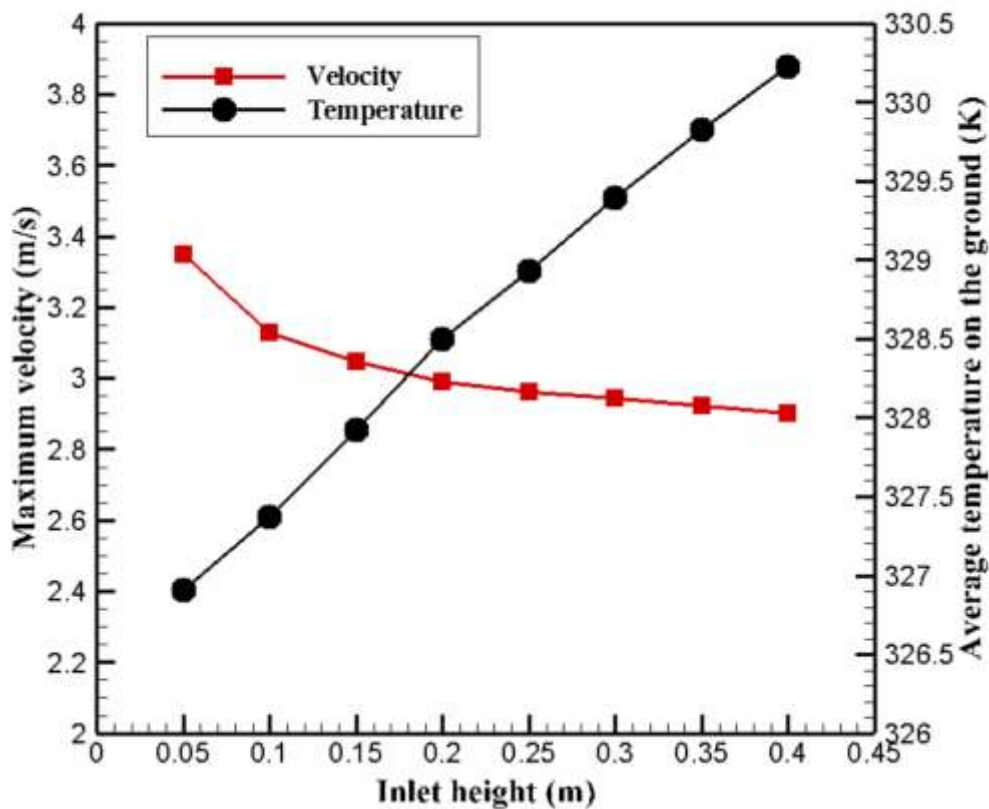
$$V_{ambient}(T_{amb}) = 0.0641 * T_{amb} - 16.575 \quad (۴-۳)$$



نمودار (۴-۴) سرعت ماکزیمم و دمای متوسط سطح زمین نسبت به تغییرات دمای محیط

نمودار (۴-۵) سرعت ماکزیمم و دمای متوسط سطح زمین نسبت به تغییرات ارتفاع ورودی کلکتور را نشان می‌دهد. همانطور که مشخص است با افزایش ارتفاع ورودی سرعت بیشینه سیال کاهش یافته و متوسط دما کف افزایش می‌یابد. علت کاهش سرعت سیال را می‌توان در کاهش اختلاف فشار بین ورودی و ناحیه قرار گیری توربین جستجو کرد. بعلاوه برای پیدا کردن سرعت ماکزیمم سیال فرمول زیر بر نمودار سرعت فیت شده‌است که با دادن مقادیر مختلف ارتفاع ورودی، سرعت ماکزیمم محاسبه می‌شود:

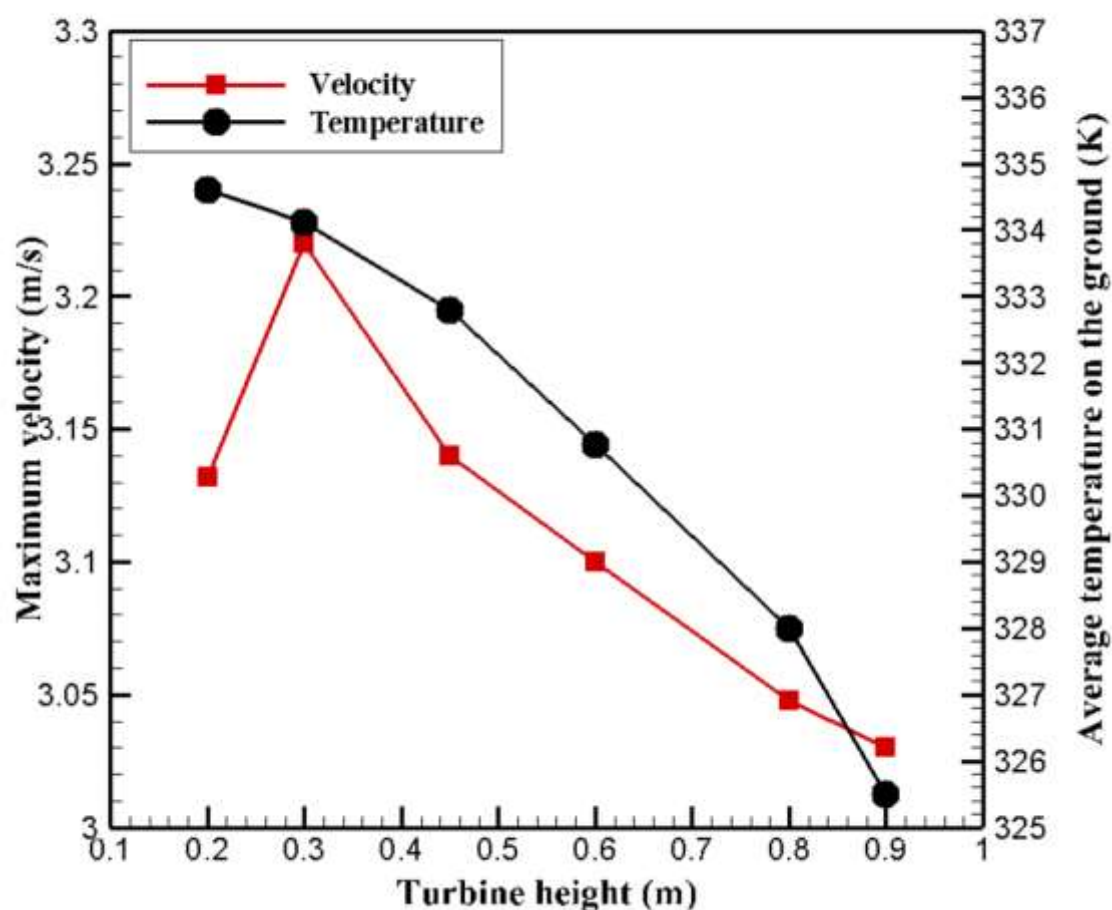
$$V_{inlet\ height}(H) = 2.7092 * H^{-0.067} \quad (4-4)$$



نمودار (۴-۵) سرعت ماکزیمم و دمای متوسط سطح زمین نسبت به تغییرات ارتفاع ورودی

نمودار (۴-۶) سرعت ماکزیمم و دمای متوسط سطح زمین نسبت به تغییرات ارتفاع قرارگیری توربین (شیب سطح فوقانی کلکتور) را نشان می‌دهد. همانطور که مشخص است با افزایش شیب کلکتور میزان متوسط دما کف پیوسته کاهش می‌یابد اما نمودار سرعت ماکزیمم دارای یه ماکزیمم بوده است که در ارتفاع ۰.۳ متر یعنی شیب ۵.۷ درجه رخ می‌دهد. بعلاوه برای پیدا کردن سرعت ماکزیمم سیال فرمول زیر بر نمودار سرعت فیت شده است که با دادن مقادیر مختلف ارتفاع قرار گیری توربین، سرعت ماکزیمم محاسبه می‌شود:

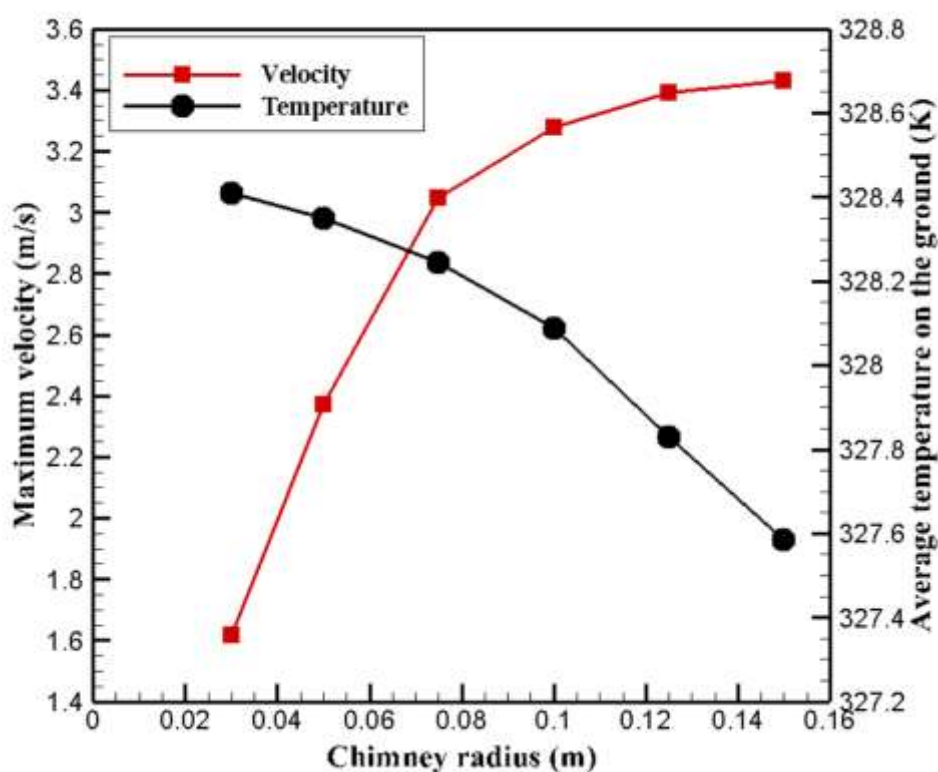
$$V_{turbine\ height}(H_t) = 47.654 * H_t^5 - 142.15H_t^4 + 162.94H_t^3 - 89H_t^2 + 22.66H_t + 1.069 \quad (۴-۵)$$



نمودار (۴-۶) سرعت ماکزیمم و دمای متوسط سطح زمین نسبت به تغییرات ارتفاع ورودی

نمودار (۷-۴) سرعت ماکزیمم و دمای متوسط سطح زمین نسبت به تغییرات شعاع دودکش را نشان می-دهد. همان طور که مشخص است با افزایش شعاع دودکش سرعت بیشینه سیال افزایش یافته و متوسط دما کف کاهش می یابد. علت افزایش سرعت سیال در افزایش فضا برای خروج سیال می باشد. بعلاوه برای پیدا کردن سرعت ماکزیمم سیال فرمول زیر بر نمودار سرعت فیت شده است که با دادن مقادیر مختلف شعاع دودکش، سرعت ماکزیمم محاسبه می شود:

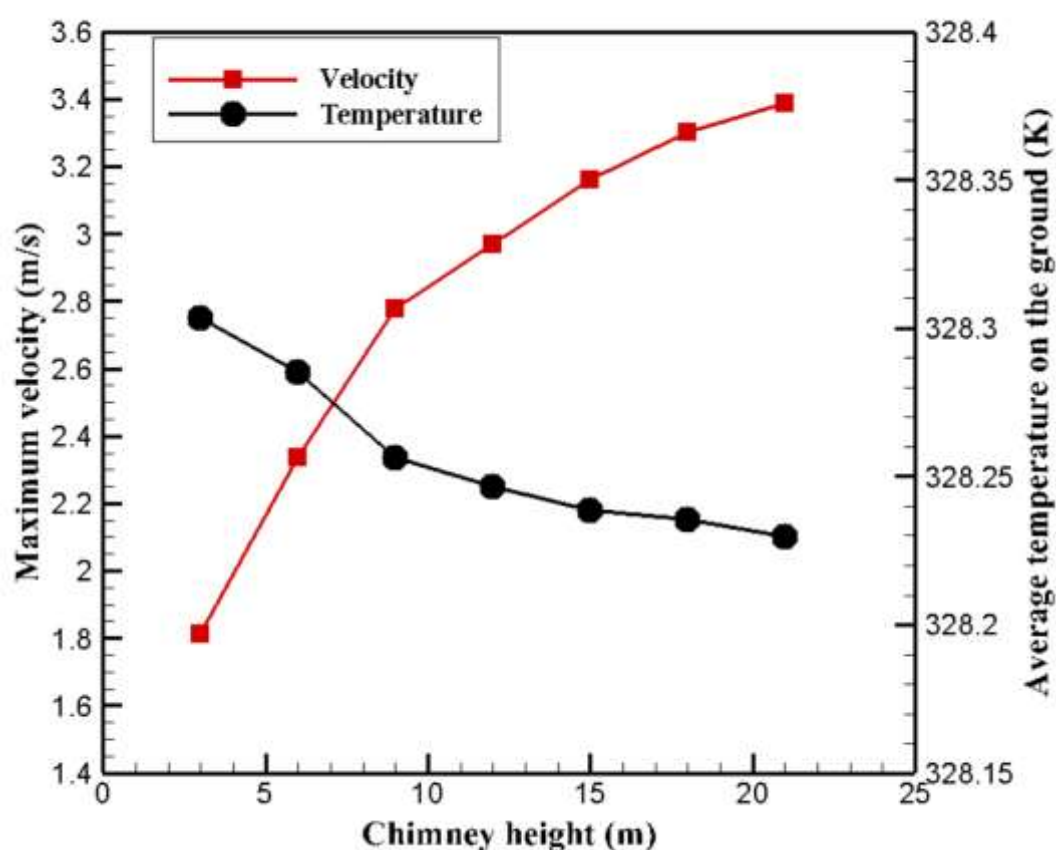
$$(V_{Chimney\ Radius}(R) = 1373.8 * R^3 - 563.76 * R^2 + 78.34 * R - 0.275 \quad (۴-۶)$$



نمودار (۷-۴) سرعت ماکزیمم و دمای متوسط سطح زمین نسبت به تغییرات شعاع دودکش

نمودار (۴-۸) سرعت ماکزیمم و دمای متوسط سطح زمین نسبت به تغییرات ارتفاع دودکش را نشان میدهد. همانطور که مشخص است با افزایش ارتفاع دودکش سرعت بیشینه سیال افزایش یافته و متوسط دما کف کاهش می‌یابد. علت افزایش سرعت سیال در افزایش فضا برای خروج سیال می‌باشد. علاوه برای پیدا کردن سرعت ماکزیمم سیال فرمول زیر بر نمودار سرعت فیت شده‌است که با دادن مقادیر مختلف ارتفاع دودکش، سرعت ماکزیمم محاسبه می‌شود:

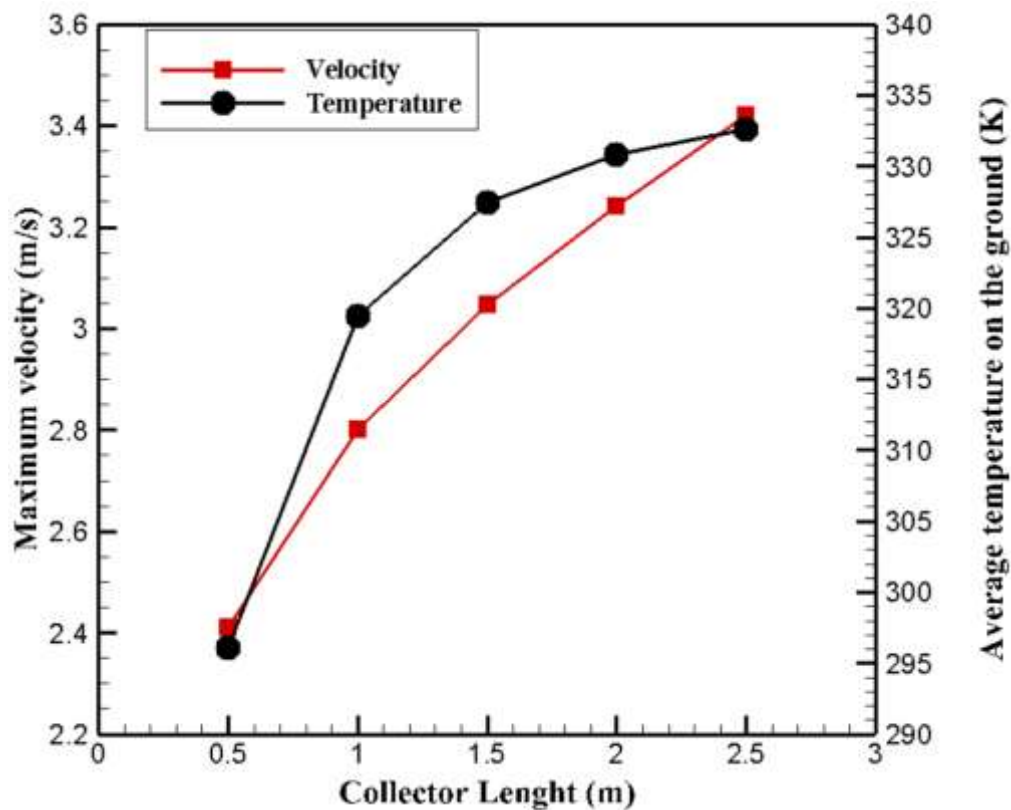
$$V_{Chimney\ height}(H_c) = 0.8299 \ln(H_c) + 0.8982 \quad (۴-۷)$$



نمودار (۴-۸) سرعت ماکزیمم و دمای متوسط سطح زمین نسبت به تغییرات ارتفاع دودکش

نمودار (۹-۴) سرعت ماکزیمم و دمای متوسط سطح زمین نسبت به تغییرات اضلاع را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشخص است با افزایش اضلاع کلکتور سرعت پیشینه سیال و همچنین دمای متوسط کف کلکتور افزایش می‌یابد. دلیل این امر مشخص است زیرا با افزایش ضلع کلکتور، میزان تشعشع دریافتی افزایش یافته و بعلاوه برای پیدا کردن سرعت ماکزیمم سیال فرمول زیر بر نمودار سرعت فیت شده‌است که با دادن مقادیر مختلف طول ضلع، سرعت ماکزیمم محاسبه می‌شود:

$$V_{Collector\ Length/2}(L) = 2.7976L^{0.2158} \quad (۸-۴)$$



نمودار (۹-۴) سرعت ماکزیمم و دمای متوسط سطح زمین نسبت به تغییرات اضلاع کلکتور

معادلات بدست آمده برای شرایط خاص بدست آمده است. برای تعمیم به شرایط کلی آنها باید اصلاح شوند

$$V1_q = (0.0009 * Q + 2.3131) * \left(\frac{V_{ambient}(T_{amb})}{V_{ambient}(306)} \right) \left(\frac{V_{inlet height}(H)}{V_{inlet height}(0.15)} \right) \left(\frac{V_{turbine height}(H_t)}{V_{turbine height}(0.8)} \right)$$

$$\left(\frac{V_{Chimney Radius}(R)}{V_{Chimney Radius}(0.075)} \right) \left(\frac{V_{Chimney height}(H_c)}{V_{Chimney height}(12.85)} \right) \left(\frac{V_{Collector \frac{Lenght}{2}}(L)}{V_{Collector \frac{Lenght}{2}}(1.5)} \right) \quad 9-4$$

$$V1_{ambient} = (0.0641 * T_{amb} - 16.575) \left(\frac{V_q(Q)}{V_q(800)} \right) \left(\frac{V_{inlet height}(H)}{V_{inlet height}(0.15)} \right) \left(\frac{V_{turbine height}(H_t)}{V_{turbine height}(0.8)} \right)$$

$$\left(\frac{V_{Chimney Radius}(R)}{V_{Chimney Radius}(0.075)} \right) \left(\frac{V_{Chimney height}(H_c)}{V_{Chimney height}(12.85)} \right) \left(\frac{V_{Collector \frac{Lenght}{2}}(L)}{V_{Collector \frac{Lenght}{2}}(1.5)} \right) \quad 10-4$$

$$V1_{inlet height} = (2.7092 * H^{-0.067}) * \left(\frac{V_q(Q)}{V_q(800)} \right) \left(\frac{V_{ambient}(T_{amb})}{V_{ambient}(306)} \right) \left(\frac{V_{turbine height}(H_t)}{V_{turbine height}(0.8)} \right)$$

$$\left(\frac{V_{Chimney Radius}(R)}{V_{Chimney Radius}(0.075)} \right) \left(\frac{V_{Chimney height}(H_c)}{V_{Chimney height}(12.85)} \right) \left(\frac{V_{Collector \frac{Lenght}{2}}(L)}{V_{Collector \frac{Lenght}{2}}(1.5)} \right) \quad 11-4$$

$$V1_{turbine height} = (47.654 * H_t^5 - 142.15H_t^4 + 162.94H_t^3 - 89H_t^2 + 22.66H_t + 1.069)$$

$$* \left(\frac{V_q(Q)}{V_q(800)} \right) \left(\frac{V_{ambient}(T_{amb})}{V_{ambient}(306)} \right) \left(\frac{V_{inlet height}(H)}{V_{inlet height}(0.15)} \right)$$

$$\left(\frac{V_{Chimney Radius}(R)}{V_{Chimney Radius}(0.075)} \right) \left(\frac{V_{Chimney height}(H_c)}{V_{Chimney height}(12.85)} \right) \left(\frac{V_{Collector \frac{Lenght}{2}}(L)}{V_{Collector \frac{Lenght}{2}}(1.5)} \right) \quad 12-4$$

$$V1_{Chimney Radius}$$

$$= (1373.8 * R^3 - 563.76 * R^2 + 78.34 * R - 0.275)$$

$$* \left(\frac{V_q(Q)}{V_q(800)} \right) \left(\frac{V_{ambient}(T_{amb})}{V_{ambient}(306)} \right) \left(\frac{V_{inlet height}(H)}{V_{inlet height}(0.15)} \right)$$

$$\left(\frac{V_{turbine height}(H_t)}{V_{turbine height}(0.8)} \right) \left(\frac{V_{Chimney height}(H_c)}{V_{Chimney height}(12.85)} \right) \left(\frac{V_{Collector \frac{Lenght}{2}}(L)}{V_{Collector \frac{Lenght}{2}}(1.5)} \right) \quad 13-4$$

$$\begin{aligned}
 V1_{Chimney\ height} &= (0.8299 \ln(H_c) + 0.8982) \\
 &\quad * \left(\frac{V_q(Q)}{V_q(800)} \right) \left(\frac{V_{ambient}(T_{amb})}{V_{ambient}(306)} \right) \left(\frac{V_{inlet\ height}(H)}{V_{inlet\ height}(0.15)} \right) \\
 &\quad \left(\frac{V_{turbine\ height}(H_t)}{V_{turbine\ height}(0.8)} \right) \left(\frac{V_{Chimney\ Radius}(R)}{V_{Chimney\ Radius}(0.075)} \right) \left(\frac{V_{Collector\ Lenght}(L)}{V_{Collector\ Lenght}(1.5)} \right)
 \end{aligned} \tag{۱۴-۴}$$

$$\begin{aligned}
 V1_{Collector\ Lenght/2} &= 2.7976 L^{0.2158} * \left(\frac{V_q(Q)}{V_q(800)} \right) \left(\frac{V_{ambient}(T_{amb})}{V_{ambient}(306)} \right) \left(\frac{V_{inlet\ height}(H)}{V_{inlet\ height}(0.15)} \right) \\
 &\quad \left(\frac{V_{turbine\ height}(H_t)}{V_{turbine\ height}(0.8)} \right) \left(\frac{V_{Chimney\ Radius}(R)}{V_{Chimney\ Radius}(0.075)} \right) \left(\frac{V_{Chimney\ height}(H_c)}{V_{Chimney\ height}(12.85)} \right)
 \end{aligned} \tag{۱۵-۴}$$

برای پیدا کردن سرعت می توان از معادله زیر استفاده کرد:

۱۶-۴

$$\begin{aligned}
 V_{total} &= \sqrt[7]{V1_q^7 + V1_{ambient}^7 + V1_{inlet\ height}^7 + V1_{turbine\ height}^7 + V1_{chimney\ radius}^7 + V1_{chimney\ height}^7 + V1_{Collector\ Lenght/2}^7}
 \end{aligned}$$

$$400 < Q < 1000$$

$$300 < T_{amb} < 313$$

$$0.05 < H < 0.4$$

$$0.03 < R < 0.15$$

$$3 < H_c < 21$$

$$0.5 < L < 2.5$$

$$0.2 < H_t < 0.9$$

فصل پنجم :

ساخت دودکش خورشیدی

ساخت تجربی دودکش خورشیدی موسسه آموزش عالی انرژی ساوه

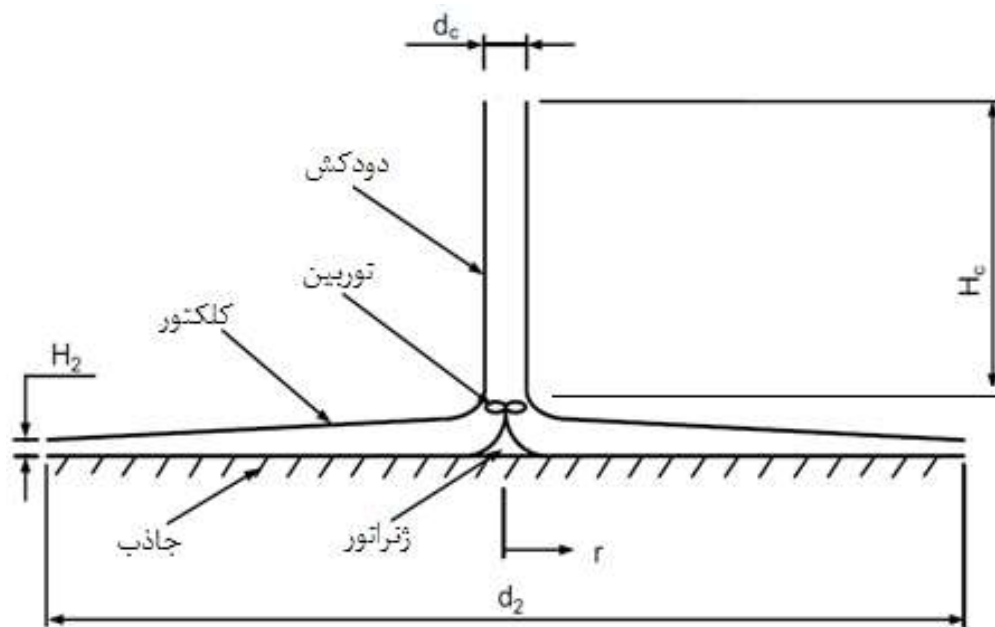
کار بر روی ساخت این دودکش در اردیبهشت ماه سال ۱۳۹۸ شروع شد و طی ۳ ماه نمونه در موسسه انرژی ساوه ساخته شد. دودکش این نیروگاه دارای طول ۱۲/۸۵ متر و قطر کلکتور آن ۳ متر است زاویه شیب کلکتور، مواد جاذب، سطح کلکتور، ارتفاع دودکش و قطر دودکش قابل تغییر هستند. اسکلت کلکتور از پروفیل آهن تشکیل گردیده است. برای استحکام بالای کلکتور در مقابل بادهای شدید و همچنین باران و برف سنگین از پروفیل ۴*۴ و سپری آهن استفاده شده است. شهرستان ساوه در شمال استان مرکزی بین عرض جغرافیایی ۳۴ درجه و ۴۵ دقیقه تا ۳۵ درجه ۳۴ دقیقه عرض شمالی و ۴۹ درجه و ۱۵ دقیقه تا ۵۰ درجه و ۵۶ دقیقه طول شرقی واقع شده است و از شمال به استان قزوین از جنوب به شهرستان تفرش و استان قم و از شرق به استان تهران و قم و از غرب به استان همدان محدود می گردد.

اقلیم و توپوگرافی

منطقه ساوه به خاطر مجاورت با کویر و ارتفاع کم در شرق، دارای آب و هوای گرم و نیمه خشک و در غرب در مناطق کوهستانی دارای آب و هوای سرد است بطوریکه میانگین دمای سالانه در ایستگاه ساوه ۱۸/۲، احمدآباد ۱۷/۶ درجه سانتی گراد بوده است. همچنین میانگین تابستان برای ایستگاه فوق به ترتیب ۲۹/۶، ۲۹/۴، درجه سانتی گراد بوده و حداکثر مطلق دما در احمدآباد ۴۸/۵ درجه نیز گزارش شده است. میزان بارندگی کم و حدود ۲۱۶ میلیمتر در سال می باشد و بیشتر بارش بصورت باران است.

شهرستان ساوه را بیشتر نقاط هموار و دشت تشکیل می دهد، این دشتها از جنوب شهر ساوه شروع و تا دشت بزرگ ساوه که گستره شهرهای غرق آباد ، ساوه و شهر صنعتی است و تا ارتفاع ۱۰۰۰ متری کشیده شده است ادامه دارد دشت های مرکزی ، و لائین از حاصلخیزی مناسبی برخوردارند. ارتفاعات منطقه در غرب شهرستان متمرکز بوده ، این ارتفاعات در شمال غرب شهرساوه و به حد اکثر ارتفاع خود یعنی ۲۹۳۰ متر می رسد. [۴۸]

خروجی کلکتور با ارتفاع ۸۰ سانتی متر ساخته می شود واندازه ورودی کلکتور دارای ارتفاع ۱۵ سانتی متر است.



شکل (۵-۱) نیروگاه دودکش خورشیدی ساخته شده

جدول (۱-۵) ابعاد مورد استفاده برای نیروگاه دودکش خورشیدی ساخته شده در ساوه

پارامتر مؤثر	نماد	اندازه (m)
ورودی کلکتور	H2	۰/۱۵
قطر دودکش	dc	۰/۱۵
قطر کلکتور	d2	۳
ارتفاع دودکش	hc	۱۲/۸۵

با توجه به مساحت اختصاص یافته جهت ساخت دودکش ؛ طراحی آن صورت گرفت ومصالح لازم طبق جدول (۲-۵)تهیه گردید.

جدول (۲-۵) لیست مصالح مصرفی در ساخت دودکش

شماره	نام کالا	تعداد
۱	قوطی آهن ۴۰*۴۰ ۶متری	۴شاخه
۲	پروفیل درب و پنجره [سپری] ۶متری	۴شاخه
۳	میل گرد ۱۲ آجدار ۶متری	۱ شاخه
۴	سیمان سیاه کیسه ۵۰ kg	۷کیسه

۵	شن و ماسه	۲ تن
۶	اسپری مشکی براق	۲۰ عدد
۷	ضد زنگ ۱ kg	۱ عدد
۸	رنگ سبز ۱ kg	۱ عدد
۹	لوله پلیکا نیمه قوی یکتا ۱۶۰ ۶ متری	۲ شاخه
۱۰	کمر بند پلی اتیلن ۱۶۰*۱/۲	۲ عدد
۱۱	چسب پلیکا پمادی بزرگ کاوه	۲ عدد
۱۲	فلنج پلیکا ۱۶۰	۱ عدد
۱۳	رینگ ۶ اینچ	۱ عدد
۱۴	پیچ و مهره گالوانیزه ۱۴	۸ عدد
۱۵	کمر بند طراحی شده برای سیم بکسل	۱ عدد
۱۶	DC موتور ۲۴ ولت	۱ عدد
۱۷	پره توربین با قطر ۲۰ cm گالوانیزه سبک	۱ عدد
۱۸	محفظه توربین گالوانیزه طراحی شده	۱ عدد
۱۹	شیشه نشکن سندبلاست شده ۱۰ mm	۴ عدد
۲۰	شیشه خام سفید فلوت ۴ mm	۱۲ عدد
۲۱	چسب آکواریوم	۱۲ عدد
۲۲	سیم بکسل نمره ۶	۴۵ متر
۲۳	بست سیم بکسل	۱۲ عدد

۲۴	سیم جمع کن سیم بکسل [مهارکش]	۳ عدد
۲۵	سیم ۲*۵/۰	۳ متر
۲۶	شبرنگ نوشته نیم برش	۱/۷۰

ساخت سازه فلزی : (اسکلت کلکتور)

سازه ای هرمی شکل که یک ستون $28\text{ cm} \times 28\text{ cm}$ به ارتفاع 85 cm از وسط آن به سمت بالا آمده است و دارای ۸ پایه به ارتفاع 50 cm می باشد ساخته شد؛ که جهت نصب شیشه 4 mm ساده به ۱۲ قسمت شیشه خور تقسیم گردید . شکل زیر نمایی از سازه طراحی و آماده شده می باشد. وزن نهایی سازه آماده شده 140 kg می باشد.



شکل (۵-۲) اسکلت کلکتور

در این سازه از قوطی 40×40 آهن استفاده شده است. قوطی پروفیلی است توخالی با سطح مقطع مربع که به واسطه نورد سرد تولید می شود. معمولاً ضخامت قوطی ۳ الی ۴ میلی متر است و طول آن ۱۲ یا ۶ متر می باشد. در تجهیزات پزشکی، صنعت خودرو سازی و حمل و نقل، لوازم خانگی، مبلمان شهری، صنعت ساختمان سازی، برای پل های هوایی و عابر پیاده، نمای ساختمان و... به کار برده می شود.

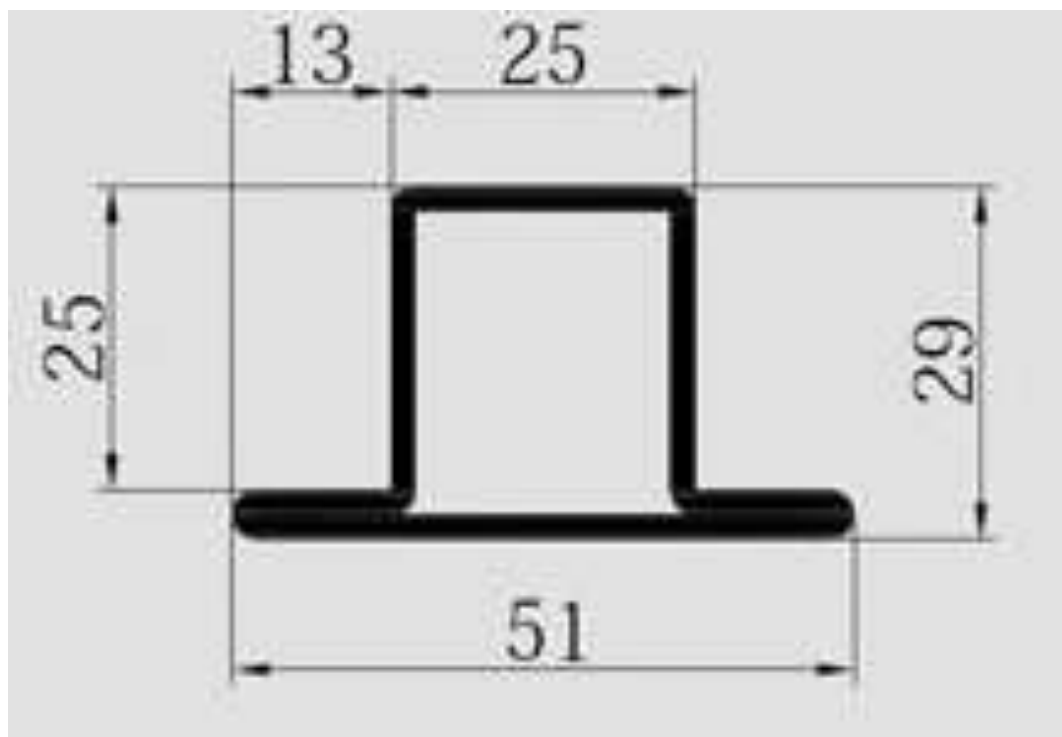
در این پروژه با توجه به ابعاد و وزن سازه و تعداد پایه های نگه دارنده ی طراحی شده از قوطی 40×40 میلی متری استفاده شده است.



شکل (۵-۳) قوطی ۴۰*۴۰

پروفیل درب و پنجره [سپری]

پروفیل (profile) درب برای قسمت چسبیده و اتصال پانل به یکدیگر بکار می رود . از لحاظ لغتی پروفیل به معنای ثابت بودن مقطع در طول معین است . این پروفیل ها در گروه های ۲ و ۷ تولید می شوند . گروه ۲ دارای کاربردهای عمومی و گروه ۷ جهت کاربرد امنیتی و دو جداره طراحی شده است . در این پروژه برای نصب شیشه های ۴ mm از پروفیل گروه ۲ سپری ۵۰۷ استفاده شده است . با توجه به ضخامت و ابعاد شیشه های مصرفی ، اندازه و ابعاد برای نصب شیشه ها تقسیم بندی شده است .



شکل (۴-۵) سپری ۵۰۷

میلگرد آجدار ۱۲

جهت اتصال سیم بکسل نمره ۶ از ارتفاع عمودی ۹ متری لوله به زمین از ۳ میلگرد ۲ متری که با زاویه ۱۲۰ درجه از مرکز سازه و اندازه ۶ متر از وسط سازه قرار گرفته استفاده شده است .

این میلگرد خم شده و در عمق ۱ متری زمین فرو رفته و با بتن محکم گردیده اند و برای نصب مهارکش به سیم بکسل مورد استفاده قرار گرفته اند .



شکل (۵-۵) مهارکش و میلگرد

نصب اسکلت کلکتور

سازه فلزی طراحی شده و ساخته شده پس از آماده شدن توسط جرثقیل و کارگران در محل از قبل تعیین شده قرار گرفت و پایه های آن ۳۵ سانتی متر در چاله های کنده شده در زمین قرار گرفت و بعد از تراز شدن کلی سازه و اندازه گیری های لازم بتن ریزی انجام شد و ثابت گردید. تقریباً ۲ تن بتن برای نصب اسکلت کلکتور و نصب میلگردها در زمین مصرف گردید.

ضد زنگ و رنگ کاری اسکلت کلکتور

بعد از چند روز که بتن سازه محکم شد به سازه ضد زنگ زده ایم و صفحه ۳*۳ متری کلکتور توسط ۱۰ عدد اسپری مشکی براق رنگ کاری اولیه شد . همچنین سازه فلزی نصب شده در زمین با رنگ سبز رنگ کاری شد .



شکل (۵-۶) نصب و رنگ شده اسکلت کلکتور

ساخت و نصب دودکش

برای ساخت دودکش از ۲ شاخه لوله پلیکا نیمه قوی ۶ اینچ استفاده شد . زیرا هم از لحاظ قیمت ارزانتر و هم از لحاظ مهار کردن و نصب راحت تر بود و خطر کم تری دارد . ابتدا رینگ فلزی بر روی مقطع ۲۸*۲۸ سازه (بالای سازه) جوش داده شد.

فلنچ با چسب پلیکا به یکی از لوله ها نصب شد سپس هر ۲ لوله توسط چسب به یکدیگر متصل شده اند و توسط یک کمر بند پلی اتیلن محکم شدند . کمر بند از قبل طراحی شده جهت اتصال سیم بکسل در ارتفاع ۹ متری از فلنچ نصب گردید و محکم شد . (در تمامی کمر بندها از چسب ۲ طرفه استفاده شد) . جهت اطمینان بیشتر یک کمر بند پلی اتیلن نیز زیر کمر بند طراحی شده برای سیم بکسل نصب گردید . در مرحله بعد تمامی لوله (۱۲ متر) رنگ سفید شد زیرا هم در برابر نور خورشید طول عمر لوله بالا می رود و هم از لحاظ ظاهری زیبا می شود .



شکل (۵-۷) مونتاژ دودکش

بعد از خشک شدن رنگ تمامی سیم بکسل ها به دقت نصب و توسط بست ها و مهارکش های مربوط محکم شدند. مهارکش ها برای تنظیم کشش سیم بکسل وسایر تجهیزات کشنده به کار می روند . جنس مهارکش ها از فولاد آهنگری شده می باشد . این وسیله زمانی کاربرد دارد که ارتعاش وجود دارد و این ارتعاشات باید برطرف گردد .



شکل (۵-۸) مهارکش

دودکش آماده شده توسط جرثقیل بسته و جابجا گردید و در محل بالای سازه روی رینگ با ۸ عدد پیچ نمره ۱۴ از قسمت فلنچ به رینگ متصل گردید و پیچ ها سفت شد . سیم بکسل ها نیز توسط مهارکش به میلگرد های ثابت شده در زمین متصل و تنظیم شدند . سپس جرثقیل ، دودکش ۱۲ متری را آزاد کرد .



شکل (۵-۹) جرثقیل



شکل (۵-۱۰) نصب شده دودکش روی اسکلت کلکتور

ساخت توربین

برای ساخت توربین مورد نیاز در این دودکش از پره های سبک وزن گالوانیزه با قطر کلی ۲۰ سانتی متر استفاده شده است که این توربین دارای ۵ پره می باشد. همچنین برای فیکس کردن آن قاب مخصوصی طراحی و ساخته شد که فاصله نوک پره ها تا بدنه داخلی قاب به کمتر از نیم سانتی متری می رسد. بعد از ساخت توربین تست هایی در سرعت های مختلف انجام شد و اطمینان حاصل گردید که پره ها با بدنه داخلی هیچ گونه برخوردی نخواهند داشت.



شکل (۵-۱۱) توربین ساخته شده

سپس کوپل DC موتور (ژنراتور) به پره ها انجام شد و مجدداً تست انجام شد. نکته مهم این است که هر چه DC موتور بزرگتر باشد نیروی زیادی برای چرخیدن پره های توربین لازم می باشد .

DC موتور (ژنراتور) استفاده شده در این دودکش خورشیدی ۲۴ ولت می باشد.

ژنراتور (Generator) که وظیفه آن تولید برق می باشد توسط یک شفت به پره های توربین کوپل شد و در نهایت کل مجموعه توسط یک بست طراحی و ساخته شده به قاب اصلی توربین نصب گردید.



شکل (۵-۱۲) DC موتور نصب شده توربین

نصب توربین

توربین در نقطه ی اوج هرم (خروجی کلکتور) نصب شد و اطراف آن با چسب مخصوص درزگیری شد تا هوای گرم فقط از داخل قاب توربین عبور نماید. سرعت سیال در دهانه دودکش تحت تاثیر اثر دودکش بشدت افزایش می یابد. بیشترین سرعت در مقطع قرار گرفتن توربین رخ می دهد. توربین که داخل دودکش قرار گرفته است انرژی میدان جریان را به انرژی چرخشی تبدیل می کند. سیم متصل شده به ژنراتور توربین از داخل سپری به پایین دستگاه جهت تست و آزمایشات ارسال گردید.



شکل (۵-۱۳) توربین نصب شده

رنگ کاری مجدد کلکتور و نصب شیشه های سکوریت

مجددا بالاست ها تنظیم و صفحه زیر دستگاه رنگ کاری شد . رنگ مشکی براق و ۱۰ عدد اسپری

مصرف گردید که جمعا ۲۰ عدد اسپری مصرف شد .

درزگیری نقاط مختلف صورت گرفت و شیشه های سکوریت ۱۰mm در جاهای از قبل تعیین شده نصب

شدند .



شکل (۵-۱۴) نصب شده شیشه های سکوریت

نصب شیشه های کلکتور

در انتها شیشه های ۴ mm فلوت ساده پس از برش نهایی در جای خود شان توسط چسب آکواریوم مخصوص نصب شدند .

همانطور که می دانید شیشه یکی از مواد مرسوم و متداول جهت پوشش می باشد و دارای عبور نور و پایداری بالا می باشد .

جدول (۵-۳) مقایسه پوشش های مختلف را نشان می دهد .

جدول (۳-۵) مقایسه پوشش های مختلف

میزان ریسک پذیری	طول عمر تخمینی (سال)	ماکزیمم عبور نور (%)	فاکتور اتلاف حرارت	مواد
بالا	۰-۳۰	۹۲	۱/۱	شیشه تک جداره
بالا	۰-۳	۸۷	۱/۱	پلی اتیلن یک لایه
متوسط	۲	۸۲	۰/۷	پلی اتیلن دو لایه
متوسط	۷	۸۰	۱	فایبر گلاس
پایین	۱۰ < ply	۸۷	۰/۶	پلی کربنات دو جداره
هر چه این فاکتور کم تر باشد انتقال حرارت کم تر می شود .				

- ورق های پلی کربنات در هنگام آتش سوزی دود را می باشند.
- ورق های پلی کربنات از مسئله خش پذیری برخوردار هستند که باعث کدر شدن سطح ورق و خدشه دار شدن می باشند .
- زاویه تابش در عبور نور خیلی تاثیر دارد به همین دلیل از شیشه در پروژه استفاده شده است .

- [1]- www.suna.org.ir
- [2] [statisticalreview .www.bp.com/](http://statisticalreview.www.bp.com/)
- [3] www.magiran.com
- [4] Bergermann And Partner, The Solar Chimney, Structural Consulting Engineers, 2002
- [5] www.magiran.com
- [6] [.www.Wikipedia.org](http://www.Wikipedia.org)
- [7] www.magiran.com
- [8] www.Wikipedia.org.
- [9] www.magiran.com
- [10] www.020.ir
- [11] Bergermann And Partner, The Solar Chimney, Structural Consulting Engineers, 2002
- [12] www.seller.ir
- [13] www.suna.org.ir
- [14] Patel S.K., Prasad D., Rafiuddin A.; “*Computational-effect-of-geometric-parameters-on-the-performance-of-a-solar-chimney-power-plant*”, Energy Conversion and Management, (2014); 77: 424–431.
- [15] www.satba.gov.ir
- [16] www.satba.gov.ir
- [17] www.satba.gov.ir
- [18] www.ieht-renew.ir
- [19] www.ieht-renew.ir
- [20] Analysis of a solar chimney power plant (Ehsan Gholamalizadeh)
- [21] Schlaich, J., 1995. The solar chimney: electricity from the sun
- [22] Cabanyes I., Proyecto de motor solar, Magazine La Energía Eléctrica (in Spanish) , 1903.

[23] www.magiran.com

[24]Ghalamchi M., Kasaeian A., Ghalamchi M., Hajiseyed Mirzahosseini A., “*experimental study on the thermal performance of a solar chimney with different dimensional parameters*”. Renewable Energy. 2016; 91, 477-483.
Zheng Y. etal., “*Unsteady numerical simulation of solar chimney power plant system with energy storage layer*”. J Energy Inst 2010; 83:86–92

[25] Zheng Y.etal.,Unsteady numerical simulation of solar chimney power plant system with energy storage layer, J Energy Inst 2010,83:86-92

[26]Pasumarthi, N., and S. A. Sherif (1998a), Experimental and theoretical performance of a demonstration solar chimney model - Part I: Mathematical model development, International Journal of Energy Research, 22, 277-288

[27] Kröger, D. G., and J. D. Buys (1999), Radial Flow Boundary Layer Development Analysis, South African Inst. of Mechanical Eng. R & D J., 15, 95-102.

[28]Gannon, A. J., and T. W. von Backström (2000), Solar chimney cycle analysis with system loss and solar collector performance, Journal of Solar Energy Engineering, Transactions of the ASME, 122, 133-137.

T. W. von Backström., and Gannon, A. J (2000), Compressible flow through solar power plant chimneys. J Solar Energy Eng; 122, 138–145.

[29] Bernardes, M. A. d. S., et al. (2003), Thermal and technical analyses of solar chimneys, Solar Energy, 75, 511-524.

[30]Schlaich, J., et al. (2003), Design of commercial solar tower systems - Utilization of solar induced convective flows for power generation, paper presented at International Solar Energy Conference, Kohala Coast, HI.

[31] Mehla N., Makade R., Thakur N.S., “Experimental analysis of a velocity field using variable chimney diameter for solar up draft tower”. Int J Eng Sci Technol2011; 3:3167–71.

[32] Ming T., Gong T., Renaud K. de Richter, Wei L., Koonsrisuk A., “*Freshwater generation from a solar chimney power plant. Energy Conversion and Management*”. 2016; 113, 189-200.

[33] Gholamalizadeh E., Kim v., “*CFD (computational fluid dynamics) analysis of a solar-chimney power plant with inclined collector roof*”; Energy ;107 (2016) 661-667

[34] Krisst R., Energy transfer system. “*Altern Sources Energy* “1983; 63:8–10.

[35] Schlaich J., “*The solar chimney: electricity from the sun*”: Edition Axel Menges; 1995.

[36] Haaf W., Friedrich K., Mayr G., Schlaich J., Solar chimneys (part I): “*principle and construction of the pilot plant in Manzanares*”. Int J Sol Energy 1983; 2:3–20.

[37] Schlaich, J. (1995), The Solar Chimney: Electricity from the Sun, Edition Axel Menges, Stuttgart

[38]Ghalamchi M., Kasaeian A., Ghalamchi M., Hajiseyed Mirzahosseini A., “*experimental study on the thermal performance of a solar chimney with different dimensional parameters*”. Renewable Energy. 2016; 91, 477-483.

[39] Kasaeian A.B., Heidari E., Vatan S.N., “*Experimental investigation of climatic effects on the efficiency of a solar chimney pilot power plant*”. Renewable & Sustainable Energy Rev 2011; 15:5202–6.

[40]Schlaich, J. (1995), The Solar Chimney: Electricity from the Sun, Edition Axel Menges, Stuttgart.

[41]www.isna.ir

[42] Fluent, A., *14.0 User's Manual*. ANSYS Inc., Canonsburg, PA, 2011

[43] Bergman, T.L., et al., *Fundamentals of heat and mass transfer*. 2011: John Wiley & Sons

[44] Bahrami, M., *Chapter 12: Radiation Heat Transfer*. 2005

[45] Bejan, A. and A.D. Kraus, *Heat transfer handbook*. Vol. 1. 2003: John Wiley & Sons

[46]Gholamalizadeh, E. and M.-H. Kim, *Three-dimensional CFD analysis for simulating the greenhouse effect in solar chimney power plants using a two-band radiation model*. Renewable Energy, 2014. **63**: p. 498-5

[47]Kasaeian, A., M. Ghalamchi, and M. Ghalamchi, *Simulation and optimization of geometric parameters of a solar chimney in Tehran*. Energy conversion and management, 2014. **83**: p. 28-34

[48]www.savehcity.ir

Abstract

Solar tower or solar chimney is a way to generate electricity from sunlight. The air is heated by using a greenhouse collector that is located around a loose tower. The hot air moves through the convection stream to the top of the turbine, moving its turbine along its path and producing electric energy. Solar chimneys are actually composed of three main elements:

1- Turbine 2- Chimney 3-Solar Collector

The power of a solar cell is proportional to the volume of the tower's height and collector's surface. The Solar Chimney is a technology that has important features among renewable energy plants, as far as it is a promising technology for large-scale power generation. Solar energy is the most unique source of renewable energy in the world and the main source of all available energy on Earth . Given the fact that renewable energies have a special place in today's societies. Power generation without fossil fuels, environmental protection, lack of high water demand; low depreciation and high operating hours; energy storage system by the solar collector; the need for constant maintenance and low cost is one of the most important features of the solar chimney. In the course of 1398 a solar cell sampler was commissioned by senior student of Javad Chahar mahali; Dr. Masuod Jalilian and Dr. Heydar Maddah, a consultant at the University of Saveh.

The collector of this solar chimney was covered with 4mm white glasses.

The height of the chimney is 12/85 meters / in diameter and 6 inches and its collector diameter is 3 meters.

Keywords:

Renewable Energy; Solar Chimney Power; Solar Collector; Turbine; Chimney



Energy Institute For Higher Education

Faculty Of Engineering

Department Of Mechanical Engineering – Energy Conversion

Thesis For

Degree Of Master Of Science (M. Sc)

Title:

**Numerical study of the effects of physical
design parameters on the performance of solar
chimney**

Supervisors:

Dr . masoud jalilian

Dr . heydar maddah

By:

Javad chaharmahali

2019/ Oct