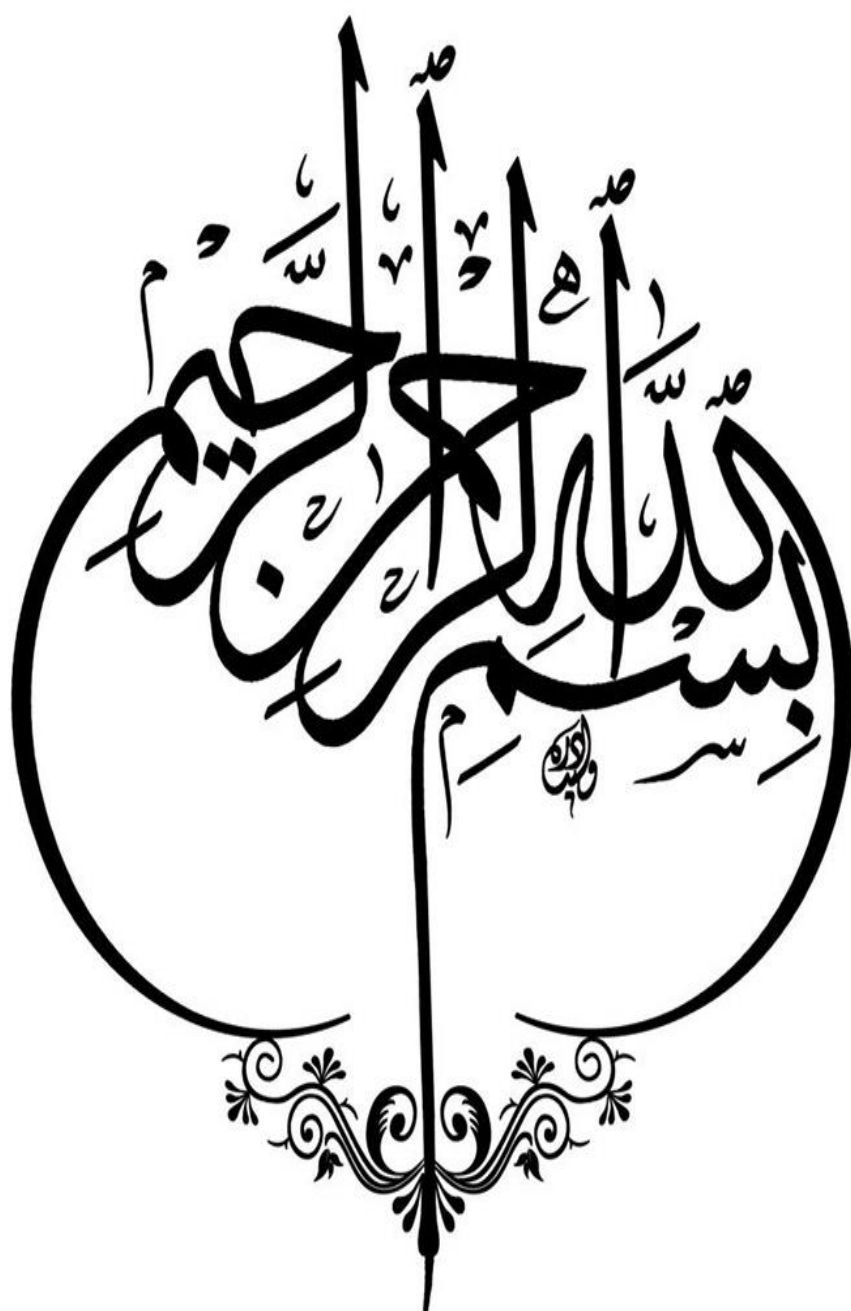


بررسی اگزرژی و اگزرواکنومیک نیروگاه دودکش خورشیدی در اقلیم های مختلف ایران





حوزه معاونت آموزشی و تحصیلات تکمیلی

موسسه آموزش عالی انرژی

تعهدنامه اصالت پایان نامه

اینجانب پوریا الهیاری دانش‌آموخته مقطع کارشناسی ارشد ناپیوسته در رشته مهندسی سیستمهای انرژی که در تاریخ ۹۷/۱۱/۵ از پایان نامه خود با عنوان تحلیل انرژی و انرژی‌اقتصاد یک نیروگاه دودکش خورشیدی برای اقلیم های

مختلف ایران

با کسب نمره و درجه دفاع نموده ام بدین وسیله اعتراف می کنم:

۱) این پایان نامه حاصل تحقیق و پژوهش اینجانب بوده و در مواردی که از دستاوردهای علمی و پژوهشی دیگران (اعم از پایان نامه، کتاب، مقاله و) استفاده کرده ام، مطابق ضوابط موجود، نام منبع مورد استفاده و سایر مشخصات آن را در فهرست منابع ذکر و درج نموده ام.

۲) این پایان نامه قبلاً برای دریافت هیچ مدرک تحصیلی (هم سطح، پایین تر یا بالاتر) در سایر دانشگاه ها و مؤسسات آموزش عالی داخلی و خارجی ارائه نشده است.

ضمناً متعهد می شوم:

۳) چنانچه بعد از فراغت از تحصیل، قصد استفاده و هر گونه بهره برداری اعم از چاپ مقاله، کتاب، ثبت اختراع و ... از این پایان نامه را داشته باشم، از استاد محترم راهنما و گروه آموزشی مربوطه مجوزهای لازم را اخذ نمایم.

۴) چنانچه در هر مقطع زمانی خلاف موارد فوق ثابت شود، عواقب ناشی از آن را بپذیرم و موسسه آموزش عالی انرژی مجاز است با اینجانب مطابق ضوابط و مقررات رفتار نموده و در صورت ابطال مدرک تحصیلی ام، هیچگونه ادعایی نخواهم داشت.

نام و نام خانوادگی:

تاریخ و امضاء:

تقدیم به:

پدر، مادر و خواهر عزیزم که در طول مدت تحصیل، همواره با کمک های بی دریغ مادی و معنوی خود، مسیر پیشرفت را برایم فراهم نموده اند و بهترین مشوق و پشتیبانم بوده اند.

تشکر و قدردانی:

در به ثمر رساندن این پایاننامه از راهنمایی های ارزنده، مساعدت های علمی و زحمات بی دریغ استادان راهنمای ارجمند جناب آقای دکتر محمد حسین احمدی و جناب آقای دکتر یوسف یاسی بهره مند بوده ام که صمیمانه از آنها تشکر می نمایم و از خداوند متعال سعادت روزافزون را برای آنها خواستارم.

فهرست مطالب

صفحه

عنوان

۱	چکیده
---	-------------

فصل اول مقدمه و کلیات

۳	۱-۱-مقدمه
۵	۲-۱-بیان مسئله
۶	۳-۱-ضرورت تحقیق
۸	۴-۱-کاربردهای انرژی خورشید
۸	۱-۴-۱-کاربردهای نیروگاهی
۹	۲-۴-۱-نیروگاههای حرارتی خورشید از نوع سهموی خطی
۱۰	۳-۴-۱-نیروگاههای حرارتی از نوع دریافت کننده مرکزی
۱۱	۴-۴-۱-نیروگاههای حرارتی از نوع بشتابی
۱۱	۵-۴-۱-دودکش خورشیدی
۱۸	۶-۴-۱-کاربردهای غیر نیروگاهی
۲۱	۵-۱-موقعیت کشور ایران از نظر میزان دریافت انرژی خورشیدی
۲۲	۱-۵-۱-ذخیرهسازی گرما

فصل دوم مروری بر کارهای انجام شده

۲۴	۱-۲-تاریخچه
۲۴	۲-۲-نیروگاه دودکش خورشیدی
۲۴	۱-۲-۲-کاوش در پایان نامه ها
۲۵	۲-۲-۲-کاوش در مقالات
۲۷	۳-۲-۲-کاوش در همایش ها و کنفرانس ها

فصل سوم مدل سازی و روش انجام

۲۹	۱-۳-مبانی نظری و فرضیات
۳۰	۲-۳-تحلیل انرژی
۳۱	۱-۲-۳-انرژی حرارتی، کار و جریان
۳۲	۲-۲-۳-معادلات حالت

۳-۳- تحلیل اقتصادی ۳۶

۳-۴- بهینه سازی ۳۸

فصل چهارم نتایج و بحث

۴-۱- مقدمه ۴۲

۴-۲- اعتبار سنجی مدل ۴۲

۴-۳- انتخاب مکان نیروگاه ۴۶

۴-۴- بررسی اثر فشار محیط ۴۹

۴-۵- بهینه سازی نیروگاه ۵۳

۴-۶- بررسی عملکرد اگزیرژاکنومیک نیروگاه در شرایط بهینه ۵۸

فصل پنجم نتایج حاصل از مدلسازی

۵-۱- مقدمه ۶۸

۵-۲- نتایج تحقیق ۶۸

۵-۳- پیشنهادات ۷۱

فهرست جداول

صفحه	عنوان
۳۷.....	جدول ۳-۱- هزینه سرمایه گذاری نیروگاه در ظرفیت های گوناگون
۴۳.....	جدول ۴-۱- مقایسه نتایج تجربی با نتایج مدل ارائه شده (۴۵)
۴۴.....	جدول ۴-۲- مقایسه نتایج مطالعات پیشین با نتایج مدل ارائه شده (۴۸)
۴۵.....	جدول ۴-۳- اعتبار سنجی بهینه سازی و اقتصادی مدل ارائه شده (۴۹)
۴۶.....	جدول ۴-۴- مقادیر میانگین دما، فشار و شدت تابش در طول روز ۱۵ مرداد سال ۱۳۹۶ (۵۰)
۵۲.....	جدول ۴-۵- طراحی های تعریف شده برای مقایسه عملکرد نیروگاه
۵۲.....	جدول ۴-۶- توان تولیدی نیروگاه خورشیدی در طراحی های مختلف برای سه شهر بندرعباس، سمنان و تهران
۵۳.....	جدول ۴-۷- تخریب آگزرژی نیروگاه خورشیدی در طراحی های مختلف برای سه شهر بندرعباس، سمنان و تهران ...
۵۴.....	جدول ۴-۸- طراحی بهینه برای شهر تهران و عملکرد سیستم بهینه
۵۶.....	جدول ۴-۹- طراحی بهینه برای شهر سمنان و عملکرد سیستم بهینه
۵۷.....	جدول ۴-۱۰- طراحی بهینه برای شهر بندر عباس و عملکرد سیستم بهینه
۵۹.....	جدول ۴-۱۱- مقادیر دما در ورودی و خروجی نیروگاه های بهینه برای شهرهای مورد مطالعه

فهرست اشکال

صفحه

عنوان

- شکل ۱-۱: الگوی کلاسیک تولید انتقال و توزیع انرژی الکتریکی ۴
- شکل ۱-۳- شماتیک نیروگاه دودکش خورشیدی ۳۰
- شکل ۲-۳- نواحی چهارگانه در مدل سازی نیروگاه دودکش خورشیدی ۳۱
- شکل ۳-۳- نمودار هزینه نیروگاه نسبت به ظرفیت تولیدی ۳۷
- شکل ۱-۴- تحلیل انرژی دودکش خورشیدی مورد مطالعه توسط مایا و همکاران [۴۵] ۴۳
- شکل ۲-۴- نقشه میانگین سالانه تابش خورشیدی کشور ایران ۴۷
- شکل ۳-۴- نمودار شدت تابش خورشیدی در سه شهر تهران، سمنان و بندرعباس در طول مرداد ماه سال ۱۳۹۶ ۴۸
- شکل ۴-۴- نمودار دمای محیط در سه شهر تهران، سمنان و بندرعباس در طول مرداد ماه سال ۱۳۹۶ ۴۸
- شکل ۵-۴- نمودار فشار محیط در سه شهر تهران، سمنان و بندرعباس در طول مرداد ماه سال ۱۳۹۶ ۴۸
- شکل ۶-۴- مقدار میانگین شدت تابش در طول روز در سه شهر تهران، سمنان و بندرعباس در طول مرداد ماه سال ۱۳۹۶ ۴۹
- شکل ۷-۴- مقدار میانگین دمای محیط در طول روز در سه شهر تهران، سمنان و بندرعباس در طول مرداد ماه سال ۱۳۹۶ ۵۰
- شکل ۸-۴- مقدار میانگین فشار محیط در طول روز در سه شهر تهران، سمنان و بندرعباس در طول مرداد ماه سال ۱۳۹۶ ۵۰
- شکل ۹-۴- نمودارهای Pareto Front و نحوه توزیع پاسخ ها برای شهر تهران ۵۴
- شکل ۱۰-۴- نمودارهای Pareto Front و نحوه توزیع پاسخ ها برای شهر سمنان ۵۵
- شکل ۱۱-۴- نمودارهای Pareto Front و نحوه توزیع پاسخ ها برای شهر بندر عباس ۵۶
- شکل ۱۲-۴- مقایسه میزان اختلاف انرژی جریان نیروگاه در ورودی و خروجی ۵۹
- شکل ۱۳-۴- مقایسه میزان انرژی حرارتی ورودی به نیروگاه ۶۰
- شکل ۱۴-۴- مقایسه میزان انرژی کار خروجی از نیروگاه ۶۱
- شکل ۱۵-۴- مقایسه میزان تخریب انرژی نیروگاه ها ۶۲
- شکل ۱۶-۴- مقدار ارزش خالص فعلی در طول ۲۵ سال برای نیروگاه دودکش خورشیدی تهران ۶۳
- شکل ۱۷-۴- مقدار ارزش خالص فعلی در طول ۲۵ سال برای نیروگاه دودکش خورشیدی سمنان ۶۴
- شکل ۱۸-۴- مقدار ارزش خالص فعلی در طول ۲۵ سال برای نیروگاه دودکش خورشیدی بندر عباس ۶۵
- شکل ۱۹-۴- مقدار ارزش خالص فعلی در طول ۲۵ سال برای نیروگاه دودکش خورشیدی بندر عباس، سمنان و تهران ۶۶

چکیده

در پژوهش حاضر بهینه سازی چند هدفه اگزورژواکونومیک نیروگاه دودکش خورشیدی در سه شهر تهران، سمنان و بندر عباس مورد بحث و بررسی قرار گرفته است. دو هدف برای بهینه سازی نیروگاه تعریف گردیده که شامل توان تولیدی (اگزورژی کار) بالا و همچنین میزان ارزش خالص نیروگاه هستند. همچنین دو پارامتر قطر کلکتور و ارتفاع دودکش که مؤثرترین پارامترها در طراحی و همچنین عملکرد یک نیروگاه دودکش خورشیدی هستند در فرآیند بهینه سازی مورد مطالعه قرار گرفتند. با در نظر گرفتن معادلات ترمودینامیکی و اقتصادی حاکم و با بهره گرفتن از ابزار الگوریتم ژنتیک چند هدفه نرم افزار MATLAB برای هر شهر یک حالت بهینه طراحی نیروگاه دودکش خورشیدی تعیین گردید. طراحی بهینه نیروگاه دودکش خورشیدی برای شهر تهران: قطر کلکتور ۱۰۷۰,۷۴۰ متر و ارتفاع دودکش: ۷۳۳,۲۴۲ متر می باشد. و برای شهر سمنان قطر کلکتور: ۱۲۸۱,۱۹۶ متر و ارتفاع دودکش ۸۰۷,۳۴۳ متر و برای شهر بندر عباس قطر کلکتور ۱۵۴۴,۸۲۳ متر و ارتفاع دودکش ۸۲۳,۳۵۳ متر می باشد. بیشترین میزان تخریب اگزورژی مربوط به طراحی بهینه شهر بندر عباس است که به دلیل ابعاد بزرگتر نیروگاه و همچنین فشار محیطی بیشتر نسبت به دو شهر دیگر می باشد. شهر سمنان از نظر عملکرد در جایگاه ما بین دو شهر بندر عباس و تهران قرار دارد اما بیشترین میزان ارزش خالص فعلی در تمام مدت ۲۵ سال عمر مفید نیروگاه مربوط به این شهر است.

کلمات کلیدی: اگزورژی، قطر کلکتور، ارتفاع دودکش

فصل اول

مقدمه و کلیات

۱-۱- مقدمه

فناوری بهره‌جویی از نیروی خورشید، آتش، آب و باد تا اولین سال‌های انقلاب صنعتی ادامه داشت اما پس از آن مزایای زغال سنگ که اولین و فراوان‌ترین سوخت فسیلی بود آشکار شد. تا قبل از سال‌های ۱۹۷۰ که افزایش قیمت نفت با شیب تند به نام بحران نفتی و همچنین جنبش‌های تازه درباره‌ی محیط زیست را داشتیم، بشر به طور جدی احتمال پایان‌پذیری منابع سوخت فسیلی و این که استفاده‌ی پیوسته از این منابع به ناپایداری اکوسیستم طبیعی و آب و هوای سیاره‌ی ما می‌انجامد را در نظر نگرفته بود.

عامل پایداری سوخت‌های فسیلی و هسته‌ای به عنوان یک عامل مهم در منابع انرژی‌های نو در دهه‌های اخیر مورد توجه بوده، از دیدگاه نظری چشمه‌ی انرژی پایدار، چشمه‌ای است که با استفاده‌ی پیوسته تمام شدنی نباشد، الزاماً دارای آلودگی زیاد و مؤثر و یا سایر مسائل زیست محیطی نبوده و همچنین دارای خطرات و لطماتی برای سلامتی و یا بی‌عدالتی‌های اجتماعی نشود. چشمه‌های انرژی‌های نو از سوخت‌های فسیلی یا هسته‌ای پایدارترند: آنها اساساً پایان ناپذیر بوده و استفاده از آنها همراه با گازهای گلخانه‌ای سایر آلودگی‌های زیست محیطی و یا خطرات ایمنی بسیار کمتری خواهد بود.

کشور ایران به دلیل برخورداری فراوان از انرژی خورشیدی پتانسیل بالایی برای تولید انرژی با استفاده از این منبع ارزشمند تجدیدپذیر را دارد. میزان تابش متوسط روزانه آفتاب در ایران به ۴ کیلووات ساعت بر مترمربع می‌رسد و متوسط تعداد ساعات آفتابی، از ۲۸۰۰ ساعت در سال بیشتر است. البته، مقادیر ذکر شده به طور متوسط بیان شده‌اند و در شهرهای کویری، ساعات آفتابی به ۳۲۰۰ ساعت در سال نیز می‌رسد. تولید انرژی از طریق انرژی خورشیدی کاملاً پاک و بدون تولید آلاینده‌ی بوده و می‌تواند جایگزین مناسبی برای سوخت‌های فسیلی باشد که هم باعث آلودگی محیط زیست شده و هم رو به اتمام می‌باشد. دودکش خورشیدی گزینه مناسبی برای استفاده از انرژی خورشیدی جهت تولید توان الکتریکی می‌باشد. ز مزایای دودکش خورشیدی می‌توان به طراحی آسان، تولید انرژی پایدار و قابل اطمینان، قطعات متحرک کم و

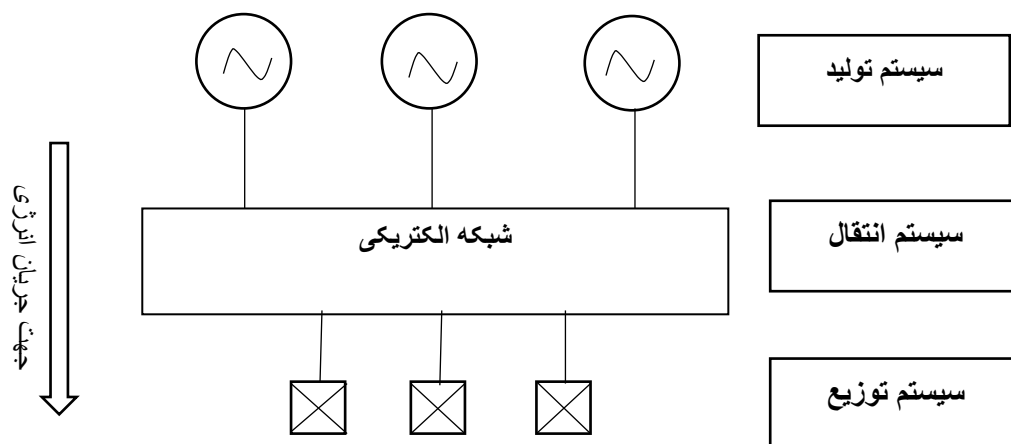
در نتیجه هزینه نگهداری و تعمیرات پایین اشاره کرد. مهمترین مزیت آن تولید انرژی الکتریکی بدون آلودگی زیست محیطی می باشد (۱).

منابع انرژی تجدیدپذیر بنا به تعریف عبارت است از "انرژی به دست آمده از جریانهای انرژی پیوسته یا متناوب قابل بازگشت به محیط زیست" یا این تعریف "جریانات انرژی جایگزین شونده به همان میزان که مصرف شوند."

در یک دسته بندی اساسی اشکال مختلف انرژی را می توان به چهار بخش جنبشی، گرانشی، الکتریکی و هسته ای تقسیم کرد.

انرژی که پایه ی انقلاب صنعتی بود با پیدایش صنعت برق در انتهای قرن نوزدهم دچار رشدی نمایی شده است. این رشد منجر به عمومیت یافتن استفاده از انرژی برق در کاربردهای خانگی و همه ی بخش های صنعت شد.

تولید انتقال و توزیع انرژی الکتریکی برای بسیاری از کشورها بسیار استراتژیک است چنانکه غالباً تصمیم به تأسیس شرکت های انحصاری جهت کنترل توسعه ی این صنعت گرفتند. این تصمیمات و طبیعت سرمایه بر سیستم تولید و انتقال انرژی منجر به افزایش تأسیسات الکتریکی به دلایل اقتصادی شد. این الگوی کلاسیک برای بیش از یک قرن اجازه ی ایجاد یک صنعت با بیشینه ی توان در یک حرکت آرام اما همراه با افزایش دائمی قابلیت اطمینان تأسیسات را فراهم آورد. مهمترین موضوع در این الگو اطمینان از تأمین برق برای مشتریان خانگی و صنعتی متصل به شبکه بود. شکل ۱-۱ نمای شماتیک این سیستم ها را نشان می دهد. (۲).



شکل ۱-۱: الگوی کلاسیک تولید انتقال و توزیع انرژی الکتریکی. (۲)

تمامی سیستم‌های برق قدرت براساس این الگو از ابتدا و برای بیشتر قرن بیستم ساخته و بهره‌برداری می‌شده‌اند. سازماندهی و انجام عملیات از تولید تا مصرف به صورت کاملاً هماهنگ و درون یک شرکت بزرگ انحصاری خصوصی یا دولتی صورت می‌پذیرفت. امروزه روش‌های متعددی برای تولید برق مورد استفاده قرار می‌گیرد. از مهمترین عوامل انتخاب نوع روش تولید، شرایط جغرافیایی و اقلیمی منطقه، عوامل اقتصادی و فنی و مسائل زیست محیطی مربوط می‌شود (۳).

۱-۲- بیان مسئله

در چند دهه انرژی خورشیدی از میان منابع انرژی تجدیدپذیر، انرژی خورشیدی مورد توجه بیشتری قرار گرفته است. انرژی خورشیدی به عنوان یک منبع در دسترس و پایان‌ناپذیر، برای کاهش استفاده از منابع فسیلی و سوخت‌های هسته‌ای به منظور دستیابی به محیط زیست پاک-تر مطرح شده است. یکی از محدودیت‌های عمده در استفاده از انرژی خورشیدی، عدم کارایی اقتصادی سیستم‌های خورشیدی اولیه در برابر سیستم‌های تکامل یافته با سوخت فسیلی است. با توجه به افزایش قیمت سوخت‌های معمولی می‌توان با اقتصادی‌تر کردن دستگاه‌های 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 راه‌حل مناسب برای کاهش استفاده از منابع فسیلی و سوخت‌های هسته‌ای به منظور دستیابی به محیط زیست پاک‌تر مطرح شده است. انرژی خورشیدی دارای پتانسیلی می‌باشد که برای تولید انواع انرژی مانند انرژی الکتریکی، انرژی حرارتی، انرژی شیمیایی و هر سوخت قابل حمل و نقل می‌توان از آن بهره برد. همچنین این نوع انرژی قابلیت گسترش و بازیابی دارد. برای استفاده از انرژی خورشیدی به سیستم‌ها 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 می‌تواند جای خود را در بین سایر حامل‌های انرژی، با توجه به شرایط ایران باز کند. با ساختن نیروگاه‌های خورشیدی بزرگ در مناطقی که روزهای طولانی و آفتابی دارند، می‌توان برق

مورد نیاز این مناطق را تولید کرد. فناوری ساده، کاهش آلودگی محیط زیست و از همه مهم‌تر ذخیره‌شدن سوخت‌های فسیلی برای آینده و همچنین تبدیل سوخت‌های فسیلی به مواد با کاربرد صنعتی در داخل کشور با استفاده از پتروشیمی‌ها، از دلایل لزوم استفاده از نیروگاه خورشیدی در کشور می‌باشند (۴).

۱-۳- ضرورت تحقیق

ذخایر اثبات شده‌ی جهانی زغال سنگ حدود ۲۰۰ سال، نفت حدود ۴۰ سال و گاز طبیعی حدود ۶۰ سال دیگر تمام می‌شوند. به هر حال به نظر می‌رسد که تولید جهانی سوخت‌های مایع شامل منابع سنتی و غیرسنتی در سال‌های ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۵ به اوج برسد و نقطه‌ی اوج تولید گاز طبیعی نیز شاید حوالی سال ۲۰۳۰ باشد، از آن پس اگرچه هنوز مقادیر زیادی از ذخایر نفت و گاز باقی است، اما ذخایر کلی رو به کاهش خواهند رفت.

مسائل اقتصادی ناشی از مقررات جدید سبب تحریک مصرف کنندگان بزرگ به خرید واحدهای تولید داخلی به منظور حذف نوسانات قیمت ناشی از آزادسازی قیمت‌ها است. البته واحدهای تولیدی کوچک با قدرت محدود به طور کلی به شبکه توزیع متصل می‌شود. این واحدها توانایی کنترل توان وارد شده توسط مصرف کننده‌ای که قادر به فروش انرژی تولیدی خود در بازار است را با تزریق آن به شبکه در صورت شرایط مطلوب قیمتی، دارا خواهند بود. توسعه تعداد زیادی از واحدهای تولیدی کوچک از انرژی خورشیدی، باد، سیستم‌های آبی کوچک و یا حرارتی، با ترکیبی حرارت و برق (CHP)، در کنار ماشین‌های کلاسیک تولید بزرگ، بر یک پدیده جدید در عملکرد عادی شبکه‌های: جریان انرژی دو طرفه، تناوب تصادفی بر اساس وضعیت تولید ناشی از باد و خورشید توزیع قرار گرفته است. ایران با داشتن حدود ۳۰۰ روز آفتابی در سال جزو بهترین کشورهای دنیا در زمینه پتانسیل انرژی خورشیدی در جهان می‌باشد. با توجه به موقعیت جغرافیای ایران و پراکندگی روستای در کشور، استفاده از انرژی خورشیدی یکی از مهمترین عواملی است که باید مورد توجه قرار گیرد. استفاده از انرژی خورشیدی یکی از بهترین راه‌های برق‌رسانی و تولید انرژی در مقایسه

با دیگر مدل‌های انتقال انرژی به روستاها و نقاط دور افتاده در کشور از نظر هزینه، حمل نقل، نگهداری و عوامل مشابه می‌باشد.

با توجه به استانداردهای بین المللی اگر میانگین انرژی تابشی خورشید در روز بالاتر از ۳/۵ کیلووات ساعت در مترمربع باشد استفاده از مدل‌های انرژی خورشیدی نظیر کلکتورهای خورشیدی یا سیستم‌های فتوولتائیک بسیار اقتصادی و مقرون به صرفه است. در بسیاری از قسمت‌های ایران انرژی تابشی خورشید بسیار بالاتر از این میانگین بین المللی می‌باشد و در برخی از نقاط حتی بالاتر از ۷ تا ۸ کیلووات ساعت بر متر مربع اندازه‌گیری شده است ولی بطور متوسط انرژی تابشی خورشید بر سطح سرزمین ایران حدود ۴/۵ کیلووات ساعت بر متر مربع است (۱). آمار منتشر شده از سوی وزارت نیرو نشان می‌دهد که در سال ۱۳۷۳، ۳۸/۵ درصد از کل انرژی الکتریکی مصرف شده در بخش کشاورزی و صنعت در ایران توسط موتورهای الکتریکی بوده است. قسمت اعظم برق مصرفی در بخش کشاورزی در الکتروپمپ‌های مورد استفاده جهت پمپاژ آب در چاه‌های آب به مصرف رسیده است و این در حالی است که پمپ‌های مورد استفاده با راندمان بسیار پایین و حتی در حد ۲۸٪ کار می‌کنند. از طرفی هزینه انرژی مصرفی یک الکتروموتور در طول عمر مفید آن ۱۰ تا ۲۰ برابر قیمت موتور، یعنی سرمایه گذاری اولیه است (۵). از سال ۱۳۷۷ لغایت ۱۳۸۵ مصرف کل انرژی در بخش کشاورزی با نرخ رشدی معادل ۱/۳ درصد، از ۳۳/۱ به ۳۶/۸ میلیون بشکه معادل نفت خام رسیده است. همچنین در سال‌های مذکور مصرف برق در بخش کشاورزی از ۸/۱ درصد به ۱۱/۹ درصد رسیده است (۶). در حال حاضر بیش از ۵۰۰۰۰ حلقه چاه کشاورزی برقرار در سطح کشور موجود و در حال بهره برداری می‌باشد. مجموع مصرف انرژی الکتریکی سالانه چاه‌های برقرار حدود ۸ میلیارد کیلووات ساعت می‌باشد. همچنین مقدار تقریبی ۲۳۰۰۰۰ حلقه چاه بدون برق در سطح کشور وجود دارد که توسط دیزل بهره برداری می‌شوند و سالانه معادل ۴ میلیارد لیتر گازوئیل به ارزش تقریبی ۸۰۰ میلیون دلار مصرف می‌نمایند و عمدتاً در نوبت برقرار شدن قرار دارند (۷). مصرف انرژی در کشورهای درحال توسعه در سی سال گذشته رشدی بیش از چهار برابر داشته است و انتظار می‌رود این روند افزایشی در آینده نیز ادامه یابد (۸). رشد و موقعیت کشورهای درحال توسعه وابستگی شدیدی به انرژی قابل

دسترس و قیمت آن دارد. این نکته نه تنها در کشورهای رو به توسعه بلکه در مورد کشورهای توسعه یافته نیز صادق است. با تمام این احوال دسترسی کشورهای در حال توسعه به انواع منابع جدید انرژی برای توسعه اقتصادی آنها اهمیت اساسی دارد و شکی نیست که دیگر نمی‌توان به سیستمهای موجود انرژی متکی بود و در نتیجه استفاده از انرژیهای تجدیدپذیر ضرورتی اجتناب ناپذیر است.

۴-۱- کاربردهای انرژی خورشید

در عصر حاضر از انرژی خورشیدی توسط سیستمهای مختلف و برای مقاصد متفاوت استفاده و بهره‌گیری می‌شود که عبارت‌اند از:

- ۱- استفاده از انرژی حرارتی خورشید برای مصارف خانگی، صنعتی و نیروگاهی
 - ۲- تبدیل مستقیم پرتوهای خورشید به الکتریسیته به وسیله تجهیزاتی به نام فتوولتائیک
- این بخش از کاربردهای انرژی خورشید شامل دو گروه نیروگاهی و غیر نیروگاهی می‌باشد.

۴-۱-۱ کاربردهای نیروگاهی

تأسیساتی که با استفاده از آنها انرژی جذب شده حرارتی خورشید به الکتریسیته تبدیل می‌شود نیروگاه حرارتی خورشیدی نامیده می‌شود این تأسیسات بر اساس انواع متمرکز کننده‌های موجود و بر حسب اشکال هندسی متمرکز کننده‌ها به سه دسته تقسیم می‌شوند:

- نیروگاه‌هایی که گیرنده آنها آینه‌های سهموی ناودانی هستند.
- نیروگاه‌هایی که گیرنده آنها در یک برج قرار دارد و نور خورشید توسط آینه‌های بزرگی به نام هلیوستات به آن منعکس می‌شود.
- نیروگاه‌هایی که گیرنده آنها بشقابی سهموی (دیش) می‌باشد.

قبل از توضیح در خصوص نیروگاه خورشیدی بهتر است شرح مختصری از نحوه کارکرد نیروگاه‌های تولید الکتریسیته داده شود. بهتر است بدانیم در هر نیروگاهی اعم از نیروگاه‌های آبی، نیروگاه‌های بخاری و نیروگاه‌های گازی برای تولید برق از ژنراتورهای الکتریکی استفاده می‌شود که با چرخیدن این ژنراتورها برق تولید می‌شود. این ژنراتورهای الکتریکی انرژی دورانی خود را از دستگاهی بنام توربین تأمین می‌کنند. بدین ترتیب می‌توان گفت که ژنراتورها

انرژی جنبشی را به انرژی الکتریکی تبدیل می‌کنند. تأمین کننده انرژی جنبشی ژنراتورها، توربین‌ها هستند توربین‌ها انواع مختلف دارند در نیروگاه‌های بخاری توربین‌هایی وجود دارند که بخار با فشار و دمای بسیار بالا وارد آنها شده و موجب به گردش در آمدن پره‌های توربین می‌گردد. در نیروگاه‌های آبی که روی سدها نصب می‌شوند انرژی پتانسیل موجود در آب موجب به گردش در آمدن پره‌های توربین می‌شود.

بدین ترتیب می‌توان گفت در نیروگاه‌های آبی انرژی پتانسیل آب به انرژی جنبشی و سپس به الکتریکی تبدیل می‌شود، در نیروگاه‌های حرارتی بر اثر سوختن سوخت‌های فسیلی مانند مازوت، آب موجود در سیستم بسته نیروگاه داخل دیگ بخار (بویلر) به بخار تبدیل می‌شود و بدین ترتیب انرژی حرارتی به جنبشی و سپس به الکتریکی تبدیل می‌شود در نیروگاه‌های گازی توربین‌هایی وجود دارد که به طور مستقیم بر اثر سوختن گاز به حرکت درآمده و ژنراتور را می‌گرداند و انرژی حرارتی به جنبشی و سپس به الکتریکی تبدیل می‌شود و اما در نیروگاه‌های حرارتی خورشیدی وظیفه اصلی بخش‌های خورشیدی تولید بخار مورد نیاز برای تغذیه توربین‌ها است یا به عبارت دیگر می‌توان گفت که این نوع نیروگاه‌ها شامل دو قسمت هستند:

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

۱-۴-۲- نیروگاه‌های حرارتی خورشید از نوع سهموی خطی

در این نیروگاه‌ها، از منعکس کننده‌هایی که به صورت سهموی خطی می‌باشند جهت تمرکز پرتوهای خورشید در خط کانونی آنها استفاده می‌شود و گیرنده به صورت لوله‌ای در خط کانونی منعکس کننده‌ها قرار دارد. در داخل این لوله روغن مخصوصی در جریان است که بر اثر حرارت پرتوهای خورشید گرم و داغ می‌گردد.

روغن داغ از مبدل حرارتی عبور کرده و آب را به بخار به مدارهای مرسوم در نیروگاه‌های حرارتی انتقال داده می‌شود تا به کمک توربین بخار و ژنراتور به توان الکتریکی تبدیل گردد. برای بهره‌گیری بیشتر و افزایش بازدهی لوله دریافت کننده سطح آن را با اکسید فلزی که ضریب بالایی دارد پوشش می‌دهند و همچنین در محیط اطراف آن لوله شیشه‌ای به صورت لفاف پوشیده می‌شود تا از تلفات گرمایی و افت تشعشعی جلوگیری گردد و نیز از لوله دریافت کننده محافظت به عمل آید. ضمناً بین این دو لوله خلاء بوجود می‌آوردند برای آنکه پرتوهای تابشی خورشید در تمام طول روز به صورت مستقیم به لوله دریافت کننده برسد. در این نیروگاه‌ها یک سیستم ردیاب خورشید نیز وجود دارد که به وسیله آن آینه‌های شلجمی دائماً خورشید را دنبال می‌کنند و پرتوهای آن را روی لوله دریافت کننده متمرکز می‌نمایند. تغییرات تابش خورشید در این نیروگاه‌ها توسط منبع ذخیره و گرمکن سوخت فسیلی جبران می‌شوند. در چند کشور نظیر ایالات متحده آمریکا - اسپانیا - مصر - مکزیک - هند و مراکش از نیروگاه‌های سهموی خطی استفاده شده‌است که این نیروگاه‌ها یا در مرحله ساخت و یا در مرحله بهره‌برداری قرار دارند. در ایران نیز تحقیقات و مطالعاتی در زمینه این نیروگاه‌ها انجام شده و پروژه یک نیروگاه تحقیقاتی با ظرفیت ۳۵۰ کیلووات توسط سازمان انرژی‌های نو ایران در شیراز در حال انجام می‌باشد و انتظار می‌رود تا پایان سال ۸۳ به بهره‌برداری برسد. کلیه مراحل مطالعاتی، طراحی و ساخت این نیروگاه به طور کامل توسط متخصصین و مهندسان ایرانی انجام می‌پذیرد. بدیهی است که با افزایش ظرفیت فنی و علمی که در اثر اجرای پروژه نیروگاه خورشیدی شیراز عابد محققین مجرب ایرانی می‌شود ایران در زمره محدود کشورهای سازنده نیروگاه‌های خورشید از نوع متمرکز کننده‌های سهموی خطی قرار خواهند گرفت.

۱-۴-۳- نیروگاه‌های حرارتی از نوع دریافت کننده مرکزی

در این نیروگاه‌ها پرتوهای خورشیدی توسط مزرعه‌ای متشکل از تعداد زیادی آینه منعکس کننده به نام هلیوستات بر روی یک دریافت کننده که در بالای برج نسبتاً بلندی استقرار یافته است متمرکز می‌گردد. در نتیجه روی محل تمرکز پرتوها انرژی گرمایی زیادی به دست می‌آید

که این انرژی به وسیله سیال عامل که داخل دریافت کننده در حرکت است، جذب می‌شود و به وسیله مبدل حرارتی به سیستم آب و بخار مرسوم در نیروگاه‌های سنتی منتقل شده و بخار فوق گرم در فشار و دمای طراحی شده برای استفاده در توربین ژنراتور تولید می‌گردد.

این سیال عامل در مبدل‌های حرارتی در کنار آب قرار گرفته و موجب تبدیل آن به بخار با فشار و حرارت بالا می‌گردد. در برخی از سیستم‌ها سیال عامل آب است و مستقیماً در داخل دریافت کننده به بخار تبدیل می‌شود. برای استفاده دائمی از این نوع نیروگاه در زمانی که تابش خورشید وجود ندارد مثلاً ساعات ابری یا شبها از سیستم‌های ذخیره کننده حرارت و یا احیاناً از تجهیزات پشتیبانی که ممکن است از سوخت فسیلی استفاده کنند جهت ایجاد بخار برای تولید برق کمک گرفته می‌شود.

مطالعات و تحقیقات در زمینه فناوری و سیستم‌های این نیروگاه‌ها ادامه دارد و آزمایشگاه‌ها و مؤسسات متعددی در سراسر دنیا در این زمینه فعالیت می‌کنند. مطالعات ساخت اولین نیروگاه خورشیدی ایران از نوع دریافت کننده مرکزی توسط سازمان انرژی‌های نو ایران و با کمک شرکت‌های مشاور و سازنده داخلی با ظرفیت یک مگاوات و سیال عامل آب و بخار در طالقان جریان دارد. کلیه مطالعات اولیه و پتانسیل سنجی و طراحی نیروگاه به انجام رسیده و یک نمونه هلیوستات نیز ساخته شده است.

۱-۴-۴- نیروگاه‌های حرارتی از نوع بشقابی

در این نیروگاه‌ها از منعکس کننده‌هایی که به صورت شلجمی بشقابی می‌باشد جهت تمرکز نقطه‌ای پرتوهای خورشیدی استفاده می‌گردد و گیرنده‌هایی که در کانون شلجمی قرار می‌گیرند به کمک سیال جاری در آن انرژی گرمایی را جذب نموده و به کمک یک ماشین حرارتی و ژنراتور آن را به نوع مکانیکی و الکتریکی تبدیل می‌نماید.

۱-۴-۵- دودکش خورشیدی

روش دیگر برای تولید الکتریسیته از انرژی خورشید استفاده از برج نیرو یا دودکش‌های خورشیدی می‌باشد در این سیستم از خاصیت دودکش‌ها استفاده می‌شود به این صورت که با استفاده از یک برج بلند به ارتفاع حدود ۲۰۰ متر و تعداد زیادی گرم خانه‌های خورشیدی که

در اطراف آن است هوای گرمی که بوسیله انرژی خورشیدی در یک گرمخانه تولید می‌شود و به طرف دودکش یا برج که در مرکز گلخانه‌ها قرار دارد، هدایت می‌شود.

این هوای گرم باعث ارتفاع زیاد برج با سرعت زیاد صعود کرده و باعث چرخیدن پروانه و ژنراتوری که در پایین برج نصب شده است می‌گردد و بوسیله این ژنراتور برق تولید می‌شود هم اکنون یک نمونه از این سیستم در ۱۶۰ کیلومتری جنوب مادرید احداث گردیده که ارتفاع برج آن به ۲۰۰ متر می‌رسد.

اساساً اگر بخواهید انرژی‌های تجدیدپذیر از کاربرد وسیعی برخوردار شوند باید که تکنولوژی‌های ارائه شده ساده و قابل اعتماد بوده و برای کشورهای کمتر توسعه یافته نیز مشکلات فنی به همراه نداشته باشد و بتوان از منابع محدود مواد خام آنها نیز استفاده کرد. در مرحله بعدی نیز باید به آب زیاد نیاز نداشته باشد. در همینجا باید گفت که تکنولوژی دودکش دارای این شرایط است. بررسی‌های اقتصادی نشان داده است که اگر این نیروگاه‌ها در مقیاس بزرگ (بزرگتر یا مساوی 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. بر این اساس می‌توان انتظار داشت که دودکش‌های خورشیدی بتوانند در زمینه تولید برق برای مناطق پراختاب نقش مهمی را ایفا کنند. باید توجه داشت که تکنولوژی دودکش خورشیدی در واقع از سه عنصر اصلی تشکیل شده است که اولی جمع‌کننده هوا و عنصر بعدی برج یا همان دودکش و قسمت آخر نیز توربین‌های باد آن است و همه عناصر آن برای قرن‌ها است که به صورت شناخته شده درآمده‌اند و ترکیب آنها نیز برای تولید برق در سال ۱۹۳۱ توسط گونتر مورد بحث قرار گرفته است. در سال ۸۴- ۱۹۸۳ نیز نتایج آزمایشات و بحث‌های نمونه‌ای از دودکش خورشیدی که در منطقه مانزانارس در کشور اسپانیا ساخته شده بود، ارائه شد. در سال ۱۹۹۰ شلایش و همکاران در مورد قابل تعمیم بودن نتایج بدست آمده از این نمونه دودکش بحثی را ارائه کردند. در سال ۱۹۹۵ شلایش مجدداً این بحث را مورد بازبینی قرار داد. در ادامه در سال ۱۹۹۷ کریتز طرحی را برای قرار دادن کیسه‌های پر از آب در زیر سقف جمع‌آوری کننده حرارت ارائه کرد تا از این طریق انرژی حرارتی ذخیره‌سازی شود. گانون و همکاران در سال ۲۰۰۰ یک تجزیه و تحلیل

برای سیکل ترمودینامیکی ارایه کردند و به علاوه در سال ۲۰۰۳ نیز مشخصات توربین را مورد تجزیه و تحلیل قرار دادند. در همین سال روپریت و همکاران نتایج حاصل از محاسبات دینامیک سیالاتی و نیز طراحی توربین برای یک دوربین خورشیدی ۲۰۰ مگاواتی را منتشر ساختند. در سال ۲۰۰۳ دوز سانتوز و همکاران تحلیل‌های حرارتی و فنی حاصل از محاسبات حل شده به کمک کامپیوتر را ارائه کردند. در حال حاضر در استرالیا طرح نیروگاه دودکش خورشیدی با ظرفیت ۲۰۰ مگاوات در مرحله طراحی و اجرا است. باید گفت که استرالیا مکان مناسبی برای این فناوری است چون شدت تابش خورشید در این کشور زیاد است. در ثانی زمین‌های صاف و بدون پستی و بلندی در آن زیاد است و دیگر اینکه تقاضا برای برق از رشد بالایی برخوردار است و نهایتاً اینکه دولت این کشور خود را به افزایش استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر ملزم کرده است و از این رو به ۹۵۰۰ گیگاوات ساعت برق در سال از منابع تجدید پذیر جدید نیاز دارد.

اصول کار:

هوا در زیر یک سقف شفاف که تشعشع خورشیدی را عبور می‌دهد، گرم می‌شود. باید توجه داشت که وجود این سقف و زمین زیر آن به عنوان یک کلکتور یا جمع‌کننده خورشیدی عمل می‌کند. در وسط این سقف شفاف یک دودکش یا برج عمودی وجود دارد که هوای زیادی از پایین آن وارد می‌شود. باید محل اتصال سقف شفاف و این برج به صورتی باشد که منفذی نداشته باشد و اصطلاحاً «هوابند» شده باشد. بر همگان روشن است که هوای گرم چون سبکتر از هوای سرد است به سمت بالای برج حرکت می‌کند. این حرکت باعث ایجاد مکش در پایین برج می‌شود تا هوای گرم بیشتری را به درون بکشد و هوای سرد پیرامونی به زیر سقف شفاف وارد شود. برای اینکه بتوان این فناوری را به صورت ۲۴ ساعته مورد استفاده قرارداد می‌توان از لوله‌ها یا کیسه‌های پر شده از آب در زیر سقف استفاده کرد. این موضوع بسیار ساده انجام می‌شود یعنی در طول روز آب حرارت را جذب کرده و گرم می‌شود و در طول شب این حرارت را آزاد می‌کند. قابل ذکر است که باید این لوله‌ها را فقط برای یکبار با آب پر کرده و به آب اضافی نیازی نیست. بنابراین اساس کار بدین صورت است که تشعشع خورشیدی در این برج باعث ایجاد یک 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.

کلکتور:

هوای گرم مورد نیاز برای دودکش خورشیدی توسط پدیده گلخانه‌ای در یک محوطه‌ای که با پلاستیک یا شیشه پوشانده شده و حدوداً 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. این پوشش باعث می‌شود که امواج تشعشع خورشید وارد شده و تشعشع‌های با طول موج بالا مجدداً از زمین گرم بازتاب کند. زمین زیر این سقف شیشه‌ای یا پلاستیکی، گرم شده و حرارت خود را به هوایی که از بیرون وارد این ناحیه شده است و به سمت برج حرکت می‌کند، پس می‌دهد.

ذخیره‌سازی:

اگر به یک ظرفیت اضافی برای ذخیره‌سازی حرارت نیاز باشد، می‌توان از لوله‌های سیاه رنگ که با آب پر شده‌اند و بر روی زمین در داخل کلکتور قرار داده شده‌اند، بهره جست. این لوله‌ها را باید فقط یکبار با آب پر کرده و دو طرف آنها را بست و بنابراین تبخیر نیز رخ نخواهد داد. حجم آب درون لوله‌ها به نحوی انتخاب می‌شود که بسته به توان خروجی نیروگاه لایه‌ای با ضخامت ۲۰-۵ سانتیمتری تشکیل شود. در شب زمانی که هوای داخل کلکتور شروع به سرد شدن می‌کند، آب داخل لوله‌ها نیز حرارت ذخیره شده در طول روز را آزاد می‌کند. ذخیره حرارت به کمک آب بسیار موثرتر از ذخیره در خاک به تنهایی است چون همانطور که می‌دانید انتقال حرارت بین لوله و آب بسیار بیشتر از انتقال حرارت بین سطح خاک و لایه‌های زیرین است و این از آن بابت است که ظرفیت حرارتی آب پنج برابر ظرفیت حرارتی خاک است.

برج:

برج به خودی خود نقش موتور حرارتی نیروگاه را بازی می‌کند و همانند یک لوله تحت فشار است که به دلیل دارا بودن نسبت مناسب سطح به حجم از اتلاف اصطکاکی کمی برخوردار

است. در این برج سرعت مکش به سمت بالای هوا تقریباً متناسب با افزایش دمای هوا (ΔT) در کلکتور و ارتفاع برج است. در یک دودکش خورشیدی چند مگاواتی، کلکتور باعث می‌شود که دمای هوا بین ۳۵-۳۰ درجه سانتی گراد افزایش یابد و این به معنی سرعتی معادل ۱۵ دقیقه است که باعث حرکت شتابدار هوا نخواهد شد و بنابراین برای انجام عملیات تعمیر و نگهداری می‌توان براحتی وارد آن شد و ریسک سرعت بالای هوا وجود ندارد.

توربین‌ها:

با به کارگیری توربین‌ها، انرژی موجود در جریان هوا به انرژی مکانیکی دورانی تبدیل می‌شود. توربین‌های موجود در دودکش خورشیدی شبیه توربین‌های بادی نیستند و بیشتر شبیه توربین‌های نیروگاه‌های برقابی هستند که با استفاده از توربین‌های محفظه‌دار، فشار استاتیک را به انرژی دورانی تبدیل می‌کنند. سرعت هوا در قبل و بعد از توربین تقریباً یکسان است. توان قابل حصول در این سیستم متناسب با حاصلضرب جریان حجم هوا در واحد زمان و اختلاف فشار در توربین است. از نقطه نظر بهره‌وری بیشتر از انرژی، هدف سیستم کنترل توربین به حداکثر رساندن این حاصلضرب در تمام شرایط عملیاتی است.

مدل آزمایشی:

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 تولید ۵۰ کیلووات برق در منطقه مانزانارس^۱ در ۱۵۰ کیلومتری جنوب مادرید در کشور اسپانیا شد و این واحد از کمک مالی وزارت تحقیق و فناوری آلمان برخوردار بود.

هدف از این طرح تحقیقاتی، تطبیق، اندازه‌گیری محلی، مقایسه پارامترهای تئوریک و عملی و بررسی تاثیر اجزاء مختلف دودکش خورشیدی بر راندمان و نیز توان تولیدی این فناوری تحت شرایط واقعی و نیز شرایط خاص آب و هوایی بود. پوشش سقف قسمت کلکتور نه تنها باید شفاف یا حداقل نیمه شفاف باشد بلکه باید محکم بوده و از قیمت قابل قبولی برخوردار باشد. برای این پوشش نوعی از ورقه‌های پلاستیکی و نیز شیشه مورد توجه قرار گرفتند تا

¹ . Manzanares

مشخص شود در دراز مدت کدامیک از آنها بهتر بوده و صرفه اقتصادی دارد. باید توجه داشت که شیشه می‌تواند سالیان سال در مقابل طوفان و باد مقاومت کرده و آسیب نبیند و در مقابل باران‌های فصلی نیز نوعی خاصیت خود تمیز کنندگی بروز می‌دهد.

در عوض لایه‌های پلاستیکی را باید درون یک قاب قرار داد و وسط آنها نیز اصطلاحاً به سمت زمین شکم می‌دهد. هرچند هزینه اولیه سرمایه‌گذاری ورقه‌های پلاستیکی کمتر است ولی در مانزائارس با گذشت زمان این لایه‌ها شکننده شدند و آسیب دیدند. البته با پیشرفت در ساخت لایه‌های مقاوم در برابر دما و اشعه ماوراء بنفش می‌توان به استفاده از پلاستیک‌ها نیز امیدوار بود. مدل ساخته شده در اسپانیا در سال ۱۹۸۲ تکمیل گشت و هدف اصلی از ساخت آن نیز گردآوری اطلاعات بود. بین اواسط ۱۹۸۶ تا اوایل ۱۹۸۹ این واحد بطور مرتب هر روز مورد استفاده قرار گرفت و برق تولیدی آن نیز به شبکه برق سراسری متصل شد. طی این دوره ۳۲ ماهه این واحد به صورت کاملاً اتوماتیک راهبری شد. در سال ۱۹۸۷ در این منطقه حدود ۳۰۶۷ ساعت با شدت تابش ۱۵۰ وات بر مترمربع وجود داشته است. یکی از مطالب قابل توجه در راهبری این مدل آزمایشی آن بود که اسپانیایی‌ها در زیر قسمت کلکتور اقدام به کشاورزی کردند تا این امکان را نیز در طرح خود مورد بررسی قرار دهند و اصطلاحاً از زمین به صورت بهینه استفاده کنند. نتیجه این قسمت از تحقیق آن بود که توانستند گیاه مورد نظر خود را پرورش دهند و تاثیر آن را بر رطوبت هوای زیر سقف و دیگر پارامترهای مربوطه مورد ارزیابی قرار دهند.

تمامی نتایج بدست آمده بیانگر آن بوده است که این فناوری از قابلیت کافی جهت استفاده در مقیاس‌های بزرگتر را دارا است. بر پایه این نتایج یک سری تحقیقات توسط موسسات و دانشگاه‌های مختلف انجام شد تا وضعیت آن را شبیه‌سازی و مدلسازی کند تا بتوان نتایج این سیستم در مقیاس بزرگتر را پیشگویی کرده و قابل بررسی کرد.

مزایای نیروگاه‌های خورشیدی نیروگاه‌های خورشیدی که انرژی خورشید را به برق تبدیل می‌کنند امید است در آینده با مزایای قاطعی که در برابر نیروگاه‌های فسیلی و اتمی دارند به خصوص اینکه سازگار با محیط زیست می‌باشند، مشکل برق به خصوص در دوران انجام ذخائر نفت و گاز را حل نمایند. تأسیس و به کارگیری نیروگاه‌های خورشیدی آینده‌ای پر ثمر

و زمینه‌ای گسترده را برای کمک به خودکفایی و قطع وابستگی کشور به صادرات نفت فراهم خواهد کرد. اکنون شایسته است که به ذکر چند مورد از مزایای این نیروگاه‌ها پرداخته می‌شود.

الف) تولید برق بدون مصرف سوخت

نیروگاه‌های خورشیدی نیاز به سوخت ندارند و برخلاف نیروگاه‌های فسیلی که قیمت برق تولیدی آنها تابع قیمت نفت بوده و همیشه در حال تغییر می‌باشد. در نیروگاه‌های خورشیدی این نوسان وجود نداشته و می‌توان بهای برق مصرفی را برای مدت طولانی ثابت نگهداشت.

ب) عدم احتیاج به آب زیاد

نیروگاه‌های خورشیدی به خصوص دودکش‌های خورشیدی با هوای گرم احتیاج به آب ندارند لذا برای مناطق خشک مثل ایران بسیار حائز اهمیت می‌باشند. (نیروگاه‌های حرارتی سنتی هنگام فعالیت نیاز به آب مصرفی زیادی دارند).

پ) عدم آلودگی محیط زیست

نیروگاه‌های خورشیدی ضمن تولید برق هیچگونه آلودگی در هوا نداشته و مواد سمی و مضر تولید نمی‌کنند در صورتی که نیروگاه‌های فسیلی هوا و محیط اطراف خود را با مصرف نفت - گاز و یا ذغال سنگ آلوده کرده و نیروگاه‌های اتمی با تولید زباله‌های هسته‌ای خود که بسیار خطرناک و رادیواکتیو هستند محیط زندگی را آلوده و مشکلات عظیمی را برای ساکنین کره زمین به وجود می‌آورند.

ت) امکان تأمین شبکه‌های کوچک و ناحیه‌ای

نیروگاه‌های خورشیدی می‌توانند با تولید برق به شبکه سراسری برق نیرو برسانند و در عین امکان تأمین شبکه‌های کوچک ناحیه‌ای، احتیاج به تأسیس خطوط فشار قوی طولانی جهت انتقال برق ندارند و نیاز به هزینه زیاد احداث شبکه‌های انتقال نمی‌باشد.

ث) استهلاک کم و عمر زیاد

نیروگاه‌های خورشیدی به دلایل فنی و نداشتن استهلاک زیاد دارای عمر طولانی می‌باشند در حالی که عمر نیروگاه‌های فسیلی بین ۱۵ تا ۳۰ سال محاسبه شده‌است.

ج) عدم احتیاج به متخصص

نیروگاه‌های خورشیدی احتیاج به متخصص عالی ندارند و می‌توان آنها را به طور اتوماتیک به کار انداخت، در صورتی که در نیروگاه‌های اتمی وجود متخصصین در سطح عالی ضروری بوده و این دستگاه‌ها احتیاج به مراقبت‌های دائمی و ویژه دارند.

۱-۴-۶- کاربردهای غیر نیروگاهی

کاربردهای غیر نیروگاهی از انرژی حرارتی خورشید شامل موارد متعددی می‌باشد که اهم آنها عبارت‌اند از: آبگرمکن و حمام خورشیدی- سرمایش و گرمایش خورشیدی- آب شیرین کن خورشیدی- خشک کن خورشیدی- اجاق خورشیدی- کوره‌های خورشیدی و خانه‌های خورشیدی می‌باشد.

الف - آبگرمکن‌های خورشیدی و حمام خورشیدی

تولید آب گرم مصرفی ساختمان‌ها اقتصادی‌ترین روش‌های استفاده از انرژی خورشیدی است می‌توان از انرژی حرارتی خورشید جهت 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. تاکنون با توجه به موقعیت جغرافیایی ایران تعداد زیادی آب گرمکن خورشیدی و چندین دستگاه حمام خورشیدی در نقاط مختلف کشور از جمله استان‌های خراسان- سیستان و بلوچستان و یزد نصب و راه اندازی شده‌است.

ب - گرمایش و سرمایش ساختمان و تهویه مطبوع خورشیدی

اولین خانه خورشیدی در سال ۱۹۳۹ ساخته شد که در آن از مخزن گرمای فصلی برای به کارگیری گرمای آن در طول سال استفاده شده است. گرمایش و سرمایش ساختمان‌ها با استفاده از انرژی خورشید، ایده تازه‌ای بود که در سال‌های 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.

پ - آب شیرین کن خورشیدی

هنگامی که حرارت دریافت شده از خورشید با درجه حرارت کم روی آب شور اثر کند تنها آب تبخیر شده و املاح باقی می ماند. سپس با استفاده از روش های مختلف می توان آب تبخیر شده را تنظیم کرده و به این ترتیب آب شیرین تهیه کرد. با این روش می توان آب بهداشتی مورد نیاز در نقاطی که دسترسی به آب شیرین ندارند مانند جزایر را تأمین کرد. آب شیرین خورشیدی در دو اندازه خانگی و صنعتی ساخته می شوند. در نوع صنعتی با حجم بالا می توان برای استفاده شهرها آب شیرین تولید کرد.

ت - خشک کن خورشیدی

خشک کردن مواد غذایی برای نگهداری آنها از زمان های بسیار قدیم مرسوم بوده و انسان های نخستین خشک کردن را یک هنر می دانستند. 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 باکتری ها می باشد. در خشک کن های خورشیدی به طور مستقیم و یا غیر مستقیم از انرژی خورشیدی جهت خشک نمودن مواد استفاده می شود 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.

ث - اجاق های خورشیدی

دستگاه های خوراک پز خورشیدی اولین بار به وسیله شخصی به نام نیکلاس ساخته شد. اجاق او شامل یک جعبه عایق بندی شده با صفحه سیاه رنگی بود که قطعات شیشه ای درپوش آن را تشکیل می داد اشعه 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 می باشد. امروزه طرح های متنوعی از این سیستم ها وجود دارد که این طرح ها در مکان های مختلفی از جمله آفریقای جنوبی آزمایش شده و به نتایج خوبی نیز رسیده اند. استفاده از

این اجاق‌ها به ویژه در مناطق شرقی کشور ایران که با مشکل کمبود سوخت مواجه می‌باشند بسیار مفید خواهد بود.

ج - کوره خورشیدی

در قرن هجدهم نوتورا اولین کوره خورشیدی را در فرانسه ساخت و به وسیله آن یک تل چوبی را در فاصله ۶۰ متری آتش زد. بسمر پدر فولاد جهان نیز حرارت مورد نیاز 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 هر گاه دسته پرتوی موازی محور آینه با آن برخورد نماید در محل کانون متمرکز می‌شوند به این ترتیب انرژی حرارتی گسترده خورشید در یک نقطه جمع می‌شود که این نقطه به دماهای بالایی می‌رسد. امروزه پروژه‌های متعددی در زمینه کوره‌های خورشید در سراسر جهان در حال طراحی و اجرا می‌باشد.

چ - خانه‌های خورشیدی

ایرانیان باستان از انرژی خورشیدی برای کاهش مصرف چوب در گرم کردن خانه‌های خود در زمستان استفاده می‌کردند. آنان ساختمان‌ها را به ترتیبی بنا می‌کردند که در زمستان نور خورشید به داخل اتاق‌های نشیمن می‌تابید ولی در روزهای گرم تابستان فضای اتاق در سایه قرار داشت. در اغلب فرهنگ‌های دیگر دنیا نیز می‌توان نمونه‌هایی از این قبیل طرح‌ها را مشاهده نمود. در سال‌های بین دو جنگ جهانی در اروپا و ایالات متحده طرح‌های فراوانی در زمینه خانه‌های خورشیدی مطرح و آزمایش شد. از آن زمان به بعد تحول خاصی در این زمینه صورت نگرفت. حدود چند سالی است که معماران به طور جدی ساخت خانه‌های خورشیدی را آغاز کرده‌اند و به دنبال تحول و پیشرفت این تکنولوژی به نتایج مفیدی نیز دست یافته‌اند مثلاً در ایالات متحده در سال ۱۸۹۰ به تنهایی حدود ۱۰ تا ۲۰ هزار خانه خورشیدی ساخته شده‌است. در این گونه خانه‌ها سعی می‌شود از انرژی خورشید برای روشنایی - تهیه آب گرم بهداشتی - سرمایش و گرمایش ساختمان استفاده شود و با بکار بردن مصالح ساختمانی مفید از اتلاف گرما و انرژی جلوگیری شود. در ایران نیز پروژه ساخت اولین ساختمان خورشیدی

واقع در ضلع شمالی دانشگاه علم و صنعت و به منظور مطالعه و پژوهش در خصوص بهینه- سازی مصرف انرژی و امکان بررسی روش‌های استفاده از انواع انرژی‌های تجدیدپذیر به ویژه انرژی خورشیدی اجرا گردیده‌است.

۱-۵- موقعیت کشور ایران از نظر میزان دریافت انرژی خورشیدی

کشور ایران در بین مدارهای ۲۵ تا ۴۰ درجه عرض شمالی قرار گرفته است و در منطقه‌ای واقع شده که به لحاظ دریافت انرژی خورشیدی در بین نقاط جهان در بالاترین رده‌ها قرار دارد. میزان تابش خورشیدی در ایران بین ۱۸۰۰ تا ۲۲۰۰ کیلووات ساعت بر مترمربع در سال تخمین زده شده است که البته بالاتر از میزان متوسط جهانی است. در ایران به طور متوسط سالیانه بیش از ۲۸۰ روز آفتابی گزارش شده است که بسیار قابل توجه است. آلمان که از نظر شرایط اقلیمی کلاً کشوری با آب و هوای ابری و بارانی است با سرمایه گذاری و تبلیغات وسیع رفته رفته دارد تبدیل می‌شود به بزرگترین حامی صنعتی و تولید کننده سلول‌های خورشیدی در جهان برای تولید انرژی. همین‌طور بر اساس تصمیمی که دولت آلمان آنرا از سال ۲۰۰۰ میلادی به اجرا گذشته تمام راکتورهای اتمی خودش را هم دارد بمرور زمان از فعالیت خارج می‌کند به طوری که هیچ راکتور هسته ای دیگر مجوز ساخته شدن یا نصب شدن در آلمان را ندارد. آن وقت کشوری مثل ایران که دو سوم آن بیابان است با آب و هوایی که شاید بی اغراق ۹۹ درصد سال آفتاب مطلق است دارد می‌رود دنبال انرژی پر دردرس و گران هسته ای که هم از نظر زیست محیطی کلی دردرس ساز هست و در دراز مدت آینده ای در جهان ندارد و هم از نظر سیاسی این همه دردرس ساز و پر هزینه هست. درسته که بازدهی نیروگاه‌های خورشیدی در حال حاضر به پای نیروگاه‌های اتمی نمی‌رسد ولی سرمایه‌گذاری بر روی انرژی هسته‌ای مثل این هست که کسی فقط نوک بینی خودش را ببیند غافل از اینکه در دو قدمی او یک دره قرار دارد. چرا کشوری مثل آلمان که ۵۰ سال انرژی هسته‌ای تولید کرده بعد از این همه تجربه و تحقیق بالاخره عطای آن را به لقایش بخشیده و رفته سراغ انرژیهای جایگزین؟

۱-۵-۱- ذخیره‌سازی گرما

در سیستم‌های گرم‌کننده با انرژی خورشیدی، صرف‌گیر اندازی گرمای خورشید کافی نیست – بلکه این گرما باید ذخیره شود. گرم کردن خانه در روز مفید است، اما خانه در شب نیز به گرما احتیاج دارد. گرمای جمع‌آوری شده در طول روز باید برای شب ذخیره شود. گرما چگونه ذخیره می‌شود؟

ذخیره‌سازی گرما با ذخیره‌سازی حجم قابل مقایسه است. اگر بشکه استوانه‌ای با آب پر شود، مقدار آبی که در بشکه جا می‌گیرد، یعنی حجمی که ذخیره می‌شود، به اندازه ارتفاع بشکه بستگی دارد. به همین نحو، گرمای ذخیره شده در جسم به اندازه آن بستگی دارد، گرمای ذخیره شده در آجر داغ بیشتر از آجر گرم است.

فصل دوم

مروری بر کارهای انجام شده

۲-۱- تاریخچه

شناخت انرژی خورشیدی و استفاده از آن برای منظوره‌های مختلف به زمان ماقبل تاریخ باز می‌گردد. شاید به دوران سفالگری، در آن هنگام روحانیون معابد به کمک جامه‌های بزرگ طلایی صیقل داده شده و اشعه‌ی خورشید، آتشدان‌های محراب‌ها را روشن می‌کردند. یکی از فراغنه‌ی مصر معبدی ساخته بود که با طلوع خورشید درب آن باز و با غروب خورشید درب بسته می‌شد.

ولی مهمترین روایتی که درباره‌ی استفاده از خورشید بیان شده داستان ارشمیدس دانشمند و مخترع بزرگ یونان قدیم می‌باشد که ناوگان روم را با استفاده از انرژی خورشید آتش کشید گفته می‌شود که ارشمیدس با نصب تعداد زیادی آئینه‌های کوچک مربعی شکل در کنار یکدیگر که روی یک پایه‌ی متحرک قرار داشته است اشعه‌ی خورشید را از راه دور روی کشتی‌های رومیان متمرکز ساخته و به این ترتیب آنها را به آتش کشیده است. در ایران نیز معماری سنتی ایرانیان باستان نشان دهنده توجه خاص آنان در استفاده صحیح و موثر از انرژی خورشید در زمان‌های قدیم بوده است.

با وجود آنکه انرژی خورشید و مزایای آن در قرون گذشته به خوبی شناخته شده بوده ولی بالا بودن هزینه اولیه چنین سیستم‌هایی از یک طرف و عرضه نفت و گاز ارزان از طرف دیگر سد راه پیشرفت این سیستم‌ها شده بوده تا اینکه افزایش قیمت نفت در سال ۱۹۷۳ باعث شد که کشورهای پیشرفته صنعتی مجبور شدند به مسأله تولد انرژی از راه‌های دیگر (غیر از استفاده سوخت‌های فسیلی) توجه جدی تری نمایند.

۲-۲- نیروگاه دودکش خورشیدی

۲-۲-۱- کاوش در پایان نامه‌ها

منصوری و همکاران در سال ۱۳۹۰، به تحقیق عملکرد بهینه یک نمونه آزمایشی نیروگاه دودکش خورشیدی واقع در اطراف شهر کرمان بررسی شده است. با توجه به شدت بالای تابش خورشید در این منطقه و تکنولوژی ساده نیروگاه دودکش خورشیدی، این نیروگاه بر اساس برآوردهای اولیه ساخته شده است. در این نیروگاه، برج طراحی شده دارای ارتفاع ۶۰

متر و قطر ۳ متر و شعاع کلکتور نیروگاه ۲۰ متر می باشد. به منظور تحلیل عملکرد نیروگاه دودکش خورشیدی، یک تحلیل یک بعدی جامع شامل مدل های تحلیلی و عددی ارائه شده است. این مدل ریاضی ابتدا با مقایسه توان خروجی اندازه گیری شده نیروگاه مانزانارس اسپانیا اعتبارسنجی شده و سپس برای پیش بینی عملکرد نیروگاه کرمان بکار برده شده است. برای این منظور ابتدا تاثیر ابعاد دودکش و شعاع کلکتور بر توان خروجی نیروگاه بررسی شده است. سپس برای مشخص کردن ابعاد بهینه نیروگاه از یک روش اقتصادی تخمینی استفاده شده است. بر اساس نتایج، ابعاد بهینه برای بهبود عملکرد نیروگاه دودکش خورشیدی کرمان مشخص شده است. در نهایت با مقایسه تمامی نتایج شبیه سازی شده ابعاد نیروگاهی که دارای بیشترین بهره وری اقتصادی است محاسبه شده است (۴).

شهرتی و همکاران در سال ۱۳۹۰، در پایان نامه ی خود نیروگاه دودکش خورشیدی به عنوان یک منبع مناسب تولید انرژی پاک از خورشید معرفی کردند. با توجه به اطلس تابشی ایران ، یزد به عنوان مکان مورد نظر برای انجام محاسبات و به دست آوردن و میزان برق تولیدی این نیروگاه انتخاب گردید. یک نیروگاه دودکش خورشیدی با ارتفاع ۳۰۰ تا ۵۰۰ متر و با قطر کلکتور ۲۰۰۰ تا ۷۰۰۰ متر می تواند قدرتی بین ۵ تا ۲۱۴ مگاوات برق تولید نماید. با افزایش سایز نیروگاه میزان قدرت تولید شده افزایش یافته و در مقابل میزان قیمت تمام شده برق کاهش خواهد یافت. این بدین معنی می باشد که برای اقتصادی بودن کاربرد این نوع نیروگاه باید سایز بزرگ آن ساخته شود (۳).

۲-۲-۲- کاوش در مقالات

الهامی امیری و نجار احمدی در سال ۱۳۹۵، به ارزیابی عملکرد نیروگاه دودکش خورشیدی به منظور طراحی یک نیروگاه در مقیاس کوچک می باشد که پس از اعتبارسنجی مدل با نمونه تجربی نیروگاه دودکش خورشیدی در مانزانارس اسپانیا، اقدام به بررسی تاثیر ارتفاع دودکش بر عملکرد نیروگاه دودکش خورشیدی نمودند. نتایج نشان می دهد که تغییر ارتفاع دودکش تاثیر مستقیم بر پارامترهای جریان گذاشته و بدیهی است که همه این عوامل تاثیر محسوسی بر میزان تولیدی توسط نیروگاه خواهد داشت. پس از بررسی ۹ ارتفاع مختلف برای دودکش و

با ثابت فرض کردن سایر پارامترهای هندسی، معادله ای جهت به دست آمدن توان سیستم با طراحی پارامتر ارتفاع دودکش مشخص شد (۹).

لواسانی و همکاران در سال ۱۳۹۴، عملکرد سیستم دودکش خورشیدی در عدد رایلی 10^{11} شبیه سازی عددی شده است. نتایج حاصل به کمک نتایج آزمایشگاهی اعتبارسنجی شده است و در همه موارد خلای موجود کمتر از ۵ درصد بوده است (۱).

گانون و همکاران در سال ۲۰۰۰، تجزیه تحلیل برای سیکل ترمودینامیکی ارائه کردند و به علاوه در سال ۲۰۰۳ نیز مشخصات توربین مورد تجزیه و تحلیل قرار دادند (۱۰). در همین سال روپريت و همکارانش نتایج حاصل از محاسبات دینامیک سیالاتی و نیز طراحی توربین برای یک توربین خورشیدی ۲۰۰ مگاواتی را منتشر ساختند (۱۱). در سال ۲۰۰۳ دوز سانتوز و همکارانش تحلیل های حرارتی و فنی حاصل از محاسبات حل شده به کمک کامپیوتر ارائه نمودند (۱۲).

کلت و همکاران در سال ۱۳۹۳، با استفاده از انرژی خورشیدی عملکرد نیروگاه دودکش خورشیدی شیب دار و معمولی در اقلیم های مختلف ایران بررسی شد. به این منظور مدل ریاضی مناسب برای تابش خورشید، کلکتور خورشیدی و دودکش در نظر گرفته شده است. برای تحلیل بهتر، سه نوع کلکتور افقی، شیب دار ۳۰ درجه و ۶۰ درجه در نظر گرفته شد و تابش دریافت شده و توان تولید شده با هم مقایسه شد. نتایج نشان می دهد که کلکتور های افقی در تابستان توان بیشتری تولید می کند در حالی که هر چقدر شیب کلکتور بیشتر باشد در زمستان توان بیشتری تولید می شود (۱۳).

فلاح و ولی پور در سال ۱۳۹۵، یک مدل ریاضی برای بررسی عملکرد و تولید توان در یک نیروگاه دودکش خورشیدی در وضعیت آب و هوایی شهر سمنان توسعه داده شد. با استفاده از این مدل ریاضی، میزان توان تولیدی یک نیروگاه دودکش خورشیدی، برای وضعیت آب و هوایی سمنان بررسی شد. نتایج نشان می دهد که نیروگاه دودکش خورشیدی در وضعیت آب و هوایی سمنان عملکرد مناسبی دارد، توان ماکزیمم در سه مقطع زمانی برای شهر سمنان، از توان نیروگاه مانزاناراس کمتر است، اما این اختلاف کم می باشد (۱۴).

۲-۲-۳- کاوش در همایش ها و کنفرانس ها

صادقیان و همکاران در سال ۲۰۱۰، به بررسی عملکرد دودکش خورشیدی در کاهش آلودگی هوا پرداخته شده است، بدین ترتیب که دودکش خورشیدی نه تنها برای تولید برق هیچ نوع آلاینده‌گی ندارد بلکه از تولید و انتشار آلاینده های ناشی از سوخت های فسیلی نیروگاه های حرارتی نیز جلوگیری می کند و با توجه به عملکرد دودکش خورشیدی به عنوان یک دستگاه جهت جابجایی هوای کلانشهرها، تاثیر دودکش خورشیدی بر جابجایی هوای تهران و کاهش اثرات پدیده وارونگی هوا مورد بررسی قرار گرفته است (۱۵).

فصل سوم

مدل سازی و روش انجام

۳-۱- مبانی نظری و فرضیات

در این پژوهش از یک مدل ساده جهت توصیف کل نیروگاه شامل سه مولفه اصلی که شامل کلکتورهای خورشیدی، دودکش و توربین بادی می‌باشد، استفاده شده است. ابعاد فیزیکی مورد بررسی در این مدل روی ارتفاع دودکش، قطر دودکش و قطر کلکتورها تمرکز دارد. به منظور ساده سازی مساله، برخی از مفروضات معتبر به شرح زیر در نظر گرفته شده هستند:

(۱) از حرارت تشعشعی جذب شده به دودکش صرف نظر گردیده شده است. زیرا سطح کلکتورها بسیار بزرگتر از دودکش می‌باشد. بنابراین معادله انتقال حرارت تنها برای کلکتور بررسی می‌شود. همانطور که و کانسریسوک و چیتسومبون (۱۶)، ژو و همکاران (۱۷) و نیز حمدان (۱۸) گزارش کرده‌اند، تغییرات دمایی در دودکش بسیار کوچک است و از این رو خواهیم داشت: $T_3 = T_4$.

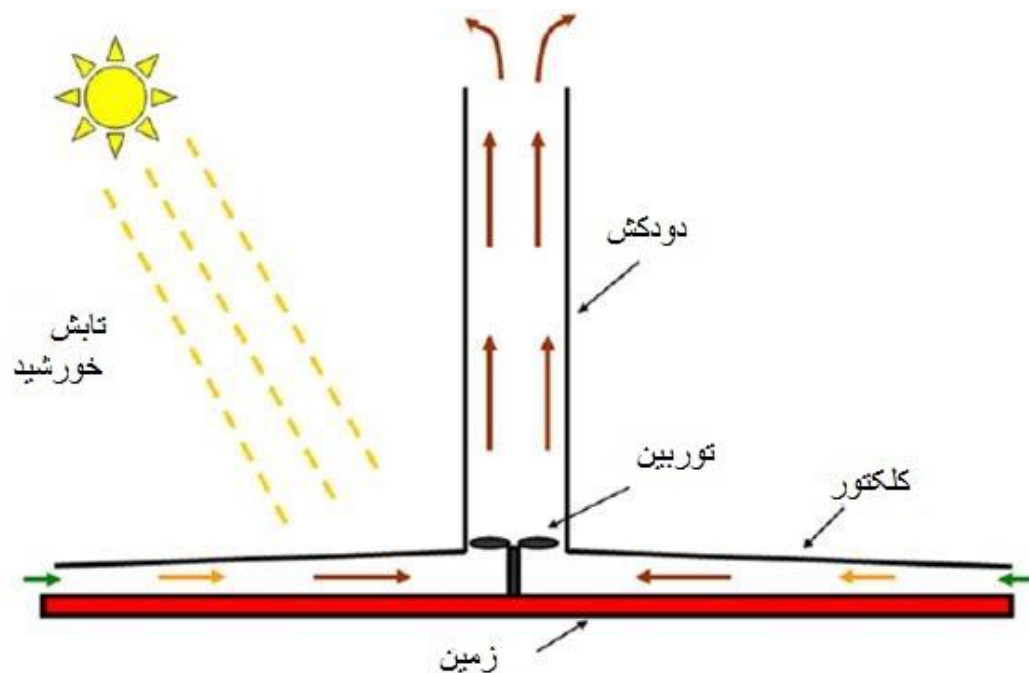
(۲) بازده توربین در محاسبات در نظر گرفته نشده است، زیرا دیگر محققین نشان داده‌اند که در چنین کاربردی بازدهی ۸۰٪ و یا بالاتر امکان پذیر است (۱۹). همچنین فرآیند در سراسر توربین آدیاباتیک برگشت پذیر فرض شده است.

(۳) انتقال حرارت از سیستم به محیط اطراف صرف نظر شده است و تنها انتقال حرارت از محیط به کلکتور در نظر گرفته شده است.

(۴) شکل کلی فرآیند به صورت پایدار در نظر گرفته شده است که در بررسی عملکرد دودکش های خورشیدی فرض پر کاربردی می باشد (۲۰، ۲۱، ۱۸) به همین منظور، در محاسبات از میانگین شار حرارتی خورشیدی در طول روز استفاده شده است.

(۵) سیال فرآیندی به کار گرفته شده هوا است و شرایط گاز ایده آل برای این سیال در نظر گرفته شده است.

شکل ۳-۱- شمای کلی یک نیروگاه دودکش خورشیدی را نشان می دهد.



شکل ۳-۱- شماتیک نیروگاه دودکش خورشیدی. (۲۲)

مکانیزم عملکرد سیستم به این صورت است که ابتدا هوای محبوس در محفظه کلکتور توسط تابش خورشید گرم شده و چگالی آن کاهش می یابد. به این ترتیب توسط نیروی شناوری هوا از درون دودکش به سمت بالا جریان می یابد. با قرار دادن توربین در مسیر هوا، می توان توسط این سیستم برق تولید کرد.

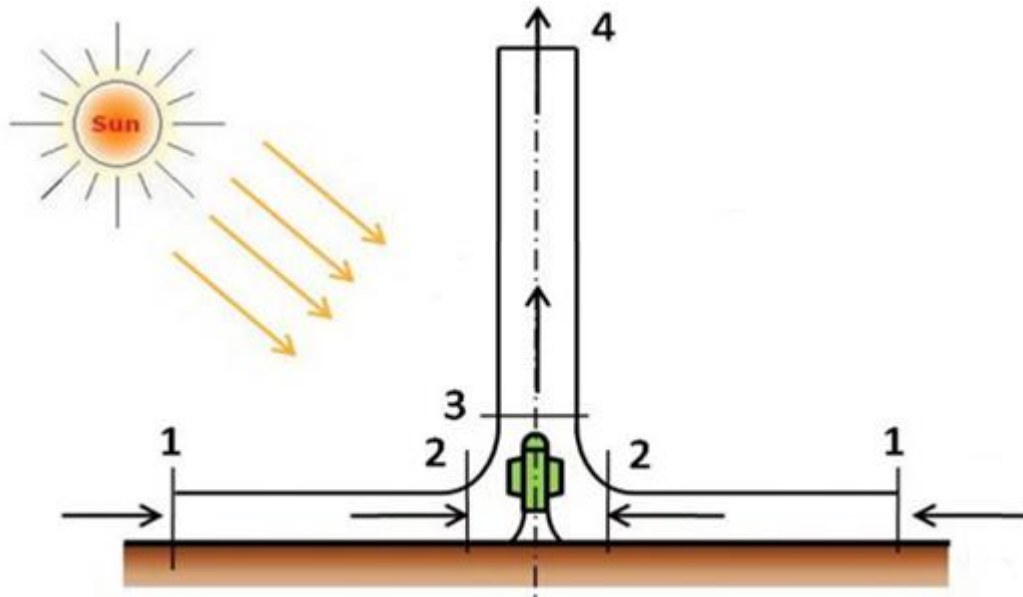
در این فصل، ابتدا تحلیل انرژی نیروگاه، سپس تحلیل اقتصادی آن و در نهایت بهینه سازی سیستم با توجه به تحلیل های انجام شده مورد بررسی قرار می گیرند.

۳-۲- تحلیل انرژی

در مدلسازی سیستم های دودکش خورشیدی، چهار ناحیه مورد توجه قرار می گیرند که عبارتند از:

- ۱- ناحیه ورودی به کلکتور
- ۲- ناحیه خروجی از کلکتور و ورودی به توربین
- ۳- ناحیه خروجی از توربین و ورودی به دودکش
- ۴- ناحیه خروجی از دودکش

برای درک بهتر صورت مسأله، این نواحی به صورت شماتیک در شکل ۳-۲ نمایش داده شده اند.



شکل ۳-۲- نواحی چهارگانه در مدل سازی نیروگاه دودکش خورشیدی (۲۳)

در مدل سازی یک نیروگاه دودکش خورشیدی، مقادیر فیزیکی و ترمودینامیکی موجود در این چهار ناحیه مشخص کننده عملکرد نیروگاه خواهند بود. با توجه به موضوع این پژوهش، در ادامه تحلیل انرژی نیروگاه خورشیدی با استفاده از مفاهیم ذکر شده ارائه می گردد. رابطه انرژی کلی حاکم بر سیستم دودکش خورشیدی به شکل زیر است (۲۱):

$$\dot{E}x_{heat} - \dot{E}x_{work} + \dot{E}x_{mass,in} - \dot{E}x_{mass,out} = \dot{E}x_{lost} \quad ۱$$

که در آن $\dot{E}x_{heat}$ نرخ انرژی حرارتی، $\dot{E}x_{work}$ انرژی حرارتی کار، $\dot{E}x_{mass,in}$ و $\dot{E}x_{mass,out}$ به ترتیب انرژی جریان های ورودی و خروجی، و $\dot{E}x_{lost}$ نرخ تخریب انرژی می باشند. با استفاده از این رابطه، با تعیین مقادیر نرخ انرژی حرارتی، انرژی کار و نیز انرژی جریان ها می توان مقدار تخریب انرژی سیستم را محاسبه کرد.

۳-۲-۱- انرژی حرارتی، کار و جریان

مقدار نرخ انرژی حرارتی ورودی به سیستم از رابطه زیر بدست می آید (۲۱):

$$\dot{E}x_{heat} = \left(1 - \frac{T_0}{T_k}\right) \dot{Q} \quad ۲$$

که در آن \dot{Q} شار حرارتی ورودی به سیستم و T_k مقدار دما در محل ورود انرژی حرارتی می باشد. با توجه به فرض شماره ۳، این مقادیر مربوط به فضای زیر کلکتور هستند. به علاوه، T_0 مقدار دمای مرجع می باشد. مقدار پارامتر \dot{Q} از رابطه زیر قابل محاسبه است (۲۴):

$$\dot{Q} = \eta_{col.} \times A_{col.} \times G \quad ۳$$

که در آن $\eta_{col.}$ بازدهی کلکتور، $A_{col.}$ مساحت کلکتور، و G شدت تابش انرژی خورشیدی می باشند. تأثیر قطر کلکتور در عملکرد سیستم در این رابطه به خوبی مشخص است. همچنین جنس کلکتور نیز روی میزان بازدهی آن تأثیرگذار است که به طور متوسط مقدار بازدهی یک کلکتور مناسب ۰٫۶۵ است (۲۵، ۲۶). از طرفی مقدار پارامتر شدت تابش خورشید نیز با استفاده از داده های محلی قابل تعیین است.

در مورد میزان انرژی کار می توان از رابطه زیر بهره برد (۱۸):

$$\dot{E}x_{work} = \dot{m} \times (h_2 - h_3) \quad ۴$$

که در آن \dot{m} نرخ جریان جرمی، h_2 و h_3 به ترتیب مقادیر آنتالپی جریان در ورودی و خروجی توربین هستند.

برای محاسبه انرژی جریان ها از رابطه زیر استفاده می شود (۲۷، ۲۱):

$$\begin{aligned} & \dot{E}x_{mass,in} - \dot{E}x_{mass,out} \\ &= \dot{m} \times \left[(h_4 - h_3) - T_0(s_4 - s_3) + \left(\frac{V_4^2 - V_3^2}{2} \right) + g(z_4 - z_3) \right] \end{aligned} \quad ۵$$

که در آن s انتروپی، V سرعت، g شتاب گرانش، و z ارتفاع سیال می باشند. پارامترهای موجود در سمت راست معادلات فرمول ۳ و فرمول ۴ و با توجه به شرایط نیروگاه و نیز حالت سیال فرآیندی تعیین می گردند که در بخش بعد به آنها پرداخته خواهد شد.

۳-۲-۲- معادلات حالت

برای تعیین مقادیر آنتالپی و انتروپی، در ابتدا باید مقادیر دما و فشار در نقاط مورد نظر را محاسبه کرد. با توجه به ساختار فرآیندی نیروگاه، به جهت تعیین حالات سیال در نقاط مختلف باید از نقطه ۱ شروع و در نهایت حالت را در نقطه ۴ یافت.

مطابق با فرض ساده کننده شماره ۵، سیال فرآیندی در این پژوهش هوا با شرایط گاز ایده آل است. در نقطه ۱ (ورودی به کلکتور) هوا در شرایط محیطی قرار دارد که این شرایط با استفاده از داده های هواشناسی برای هر منطقه قابل دستیابی است.

مقدار دما در نقطه ۲ را می توان با استفاده از موازنه انرژی حول کلکتور محاسبه کرد (۲۸):

$$Q = U_{overall} \times A_{col.} \times (T_2 - T_1) \quad 6$$

که در آن $U_{overall}$ مقدار ضریب کلی انتقال حرارت است. این ضریب برای کلکتور دودکش های خورشیدی به طور متوسط برابر با ۰,۰۵ وات بر متر مربع کلوین می باشد (۲۹). با استفاده از این معادله، مقدار دما در خروجی کلکتور و ورودی توربین (T_2) مشخص می گردد.

با مشخص شدن مقدار دما در خروجی کلکتور، با نوشتن موازنه انرژی روی سیال فرآیندی، مقدار دبی جرمی \dot{m} نیز تعیین می گردد (۲۴):

$$\dot{m} = \frac{\dot{Q}}{C_p(T_2 - T_1)} \quad 7$$

که در آن C_p ظرفیت گرمایی سیال است که برای هوا برابر با ۱۰۰۷ ژول بر کیلوگرم است [۲۸]. طبق موازنه جرم، مقدار دبی جرمی سیال در مقاطع مختلف سیستم یکسان است (۳۱):

$$\dot{m}_1 = \dot{m}_2 = \dot{m}_3 = \dot{m}_4 = \dot{m} \quad 8$$

معادله ۸ را می توان به صورت زیر بازنویسی کرد (۳۲):

$$\dot{m} = \rho_1 \times V_1 \times A_1 = \rho_2 \times V_2 \times A_2 = \rho_3 \times V_3 \times A_3 = \rho_4 \times V_4 \times A_4 \quad 9$$

که در آن پارامتر A برابر با سطح مقطع جریان و ρ چگالی سیال در هر ناحیه می باشند. در ادامه با استفاده از فرض گاز ایده آل (۲۷):

$$\begin{aligned} \dot{m} &= \frac{P_1}{R \times T_1} \times V_1 \times A_1 = \frac{P_2}{R \times T_2} \times V_2 \times A_2 = \frac{P_3}{R \times T_3} \times V_3 \times A_3 \\ &= \frac{P_4}{R \times T_4} \times V_4 \times A_4 \end{aligned} \quad 10$$

که در آن R ثابت جهانی گازها می باشد. در نقطه ۱، مقادیر فشار و دما برابر با مقادیر موجود در محیط می باشند و سطح مقطع نیز با توجه به ابعاد کلکتور مشخص می گردد. به این ترتیب با استفاده از رابطه ۱۰، مقدار سرعت در ورودی کلکتور مشخص می گردد.

در مورد ناحیه ۲ پارامترهای سرعت و فشار مجهول هستند و یکی از این دو پارامتر باید مشخص گردند تا پارامتر دیگر محاسبه شود. طبق مطالعات انجام شده، مقدار سرعت بهینه در ناحیه ۲ قابل محاسبه است (۳۳). در این سرعت، توان خروجی از توربین نیروگاه دودکش خورشیدی به ماکزیمم مقدار خود می رسد که مطلوب هدف این پژوهش است (۳۴). مقدار سرعت بهینه را می توان توسط رابطه زیر تعیین کرد (۳۵).

$$V_2 = \frac{1}{3} \sqrt{\frac{2\Delta P_{tot}}{\rho_2}} = \frac{1}{3} \sqrt{\frac{0.00353gH(2\Delta T_{12} + H(\gamma_a - \gamma))}{\rho_2}} \quad 11$$

که در آن γ_a نرخ کاهش دمای هوای اتمسفریک است و مقدار آن تا ارتفاع ۱۱ کیلومتر از سطح زمین برابر با ۰,۰۰۶۵ کلوین بر متر می باشد (۳۶). نرخ کاهش دمای هوا در دودکش خورشیدی آدیاباتیک و برابر با ۰,۰۰۹۷۶ کلوین بر متر است (۳۷). همچنین ΔT_{12} اختلاف دما بین ناحیه ۱ و ۲ سیستم است. پارامتر H نیز برابر با ارتفاع دودکش است. در این معادله مقدار چگالی هوا در ناحیه ۲ مجهول است که می تواند توسط رابطه ۵ جایگزین گردد. به این ترتیب:

$$V_2^{0.5} = \frac{1}{3} \sqrt{\frac{0.00353gH(2\Delta T_{12} + H(\gamma_a - \gamma)) \cdot A_2}{m}} \quad 12$$

با تعیین مقادیر T_2 و V_2 به ترتیب از روابط ۶ و ۱۲، می توان مقدار P_2 را نیز با استفاده از رابطه ۱۰ محاسبه کرد. در ادامه با کمک رابطه ۹ مقدار ρ_2 نیز مشخص می گردد.

مقدار کل اختلاف فشار بین نواحی ورودی توربین و خروجی دودکش (نقاط ۲ و ۴) را می توان توسط معادله زیر یافت (۳۵):

$$\Delta P_{tot} = 0.00353gH \left(\Delta T_{12} + \frac{(\gamma_a - \gamma)H}{2} \right) \quad 13$$

P2-P4 T2-T1 [12] unit: Pa

به این ترتیب مقدار فشار در ناحیه ۴ نیز قابل محاسبه است. از طرفی، با صرف نظر کردن از اتلافات ناشی از اصطکاک (۲۰):

$$\frac{P_3 - P_4}{g\rho_3} = (z_4 - z_3) \quad ۱۴$$

طبق معادله فوق، برای محاسبه P_3 نیاز است تا مقدار چگالی در این ناحیه مشخص گردد. با توجه به این مسأله که سرعت هوا خیلی کمتر از سرعت صوت است، می توان فرض کرد که چگالی هوا در دو طرف توربین یکسان است (۱۸). بنابراین مقدار چگالی در ناحیه ۳ نیز مشخص است و می توان با استفاده از معادله ۱۴ مقدار فشار در ناحیه ۳ را نیز محاسبه کرد. با توجه به فرض شماره ۲، فرآیند در توربین به صورت آدیاباتیک برگشت پذیر است. همچنین مطابق فرض شماره ۵، هوا به صورت گاز ایده آل در نظر گرفته شده است. به این ترتیب مقدار دما در ناحیه ۳ را می توان از رابطه زیر محاسبه کرد (۲۷):

Isentropic process:

$$\begin{aligned} \left(\frac{T_2}{T_1}\right)_{s=\text{const.}} &= \left(\frac{v_1}{v_2}\right)^{k-1} \\ \left(\frac{T_2}{T_1}\right)_{s=\text{const.}} &= \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{(k-1)/k} \\ \left(\frac{P_2}{P_1}\right)_{s=\text{const.}} &= \left(\frac{v_1}{v_2}\right)^k \end{aligned} \quad ۱۵$$

که در آن k نسبت ظرفیت حرارتی مخصوص است که برای هوا مقدار آن برابر با ۱٫۴ است (۳۸). با استفاده از فرض شماره ۱، مقدار دما در ناحیه ۴ نیز برابر با مقدار دما در ناحیه ۳ است که توسط رابطه ۱۵ محاسبه می گردد. بنابراین مقادیر دما و فشار در ناحیه ۴ مشخص می گردند و با استفاده از معادله ۱۰ مقدار سرعت هوا در این ناحیه نیز محاسبه می شود. به این ترتیب حالت ماده که گاز ایده آل هوا است توسط پارامترهای فشار و دما در هر چهار ناحیه تعیین می گردد. همچنین مقادیر اختلاف آنتالپی و انتروپی گاز ایده آل را می توان به ترتیب توسط معادلات ۱۶ و ۱۷ محاسبه کرد (۳۹).

$$\Delta h = c_{p_{avg}}(T_2 - T_1) \quad ۱۶$$

$$\Delta S = C_p \ln \frac{T_2}{T_1} - nR \ln \frac{p_2}{p_1} \quad ۱۷$$

که در آن n مقدار کیلومول جریان است و از رابطه زیر قابل محاسبه است (۳۱):

$$n = \frac{\dot{m}}{\text{Molecular weight}} \quad ۱۸$$

که مقدار جرم مولکولی هوا برابر با ۲۸,۹۷ کیلوگرم بر کیلومول است (۲۸).

با بهره بردن از روابط ۶ تا ۱۸ و جایگذاری مقادیر حاصل در معادلات ۱ تا ۵، آگرژی نیروگاه دودکش خورشیدی مدل شده و مقدار تخریب آگرژی تعیین می گردد.

۳-۳- تحلیل اقتصادی

در این پژوهش معیار اقتصادی مورد بررسی، ارزش خالص فعلی نیروگاه در نظر گرفته شده است که در علم اقتصاد مهندسی یکی از روش‌های استاندارد ارزیابی طرح‌های اقتصادی است (۳۸). در این روش، میزان درآمد‌ها و هزینه‌ها با توجه به زمان گذرانده شده، به نرخ روز تعیین می گردند. به این ترتیب در ارزیابی اقتصادی ارزش زمانی پول نیز در نظر گرفته می شود. ارزش خالص فعلی در محاسبات اقتصادی، اقتصاد مهندسی، بودجه کشورها و مباحث اقتصاد خرد و اقتصاد کلان، تجارت و صنعت به طور گسترده ای به کار می رود. مقدار ارزش خالص فعلی توسط رابطه زیر محاسبه می گردد:

$$NPV = \sum_{t=1}^T \frac{C_t}{(1+r)^t} - C_0 \quad ۱۹$$

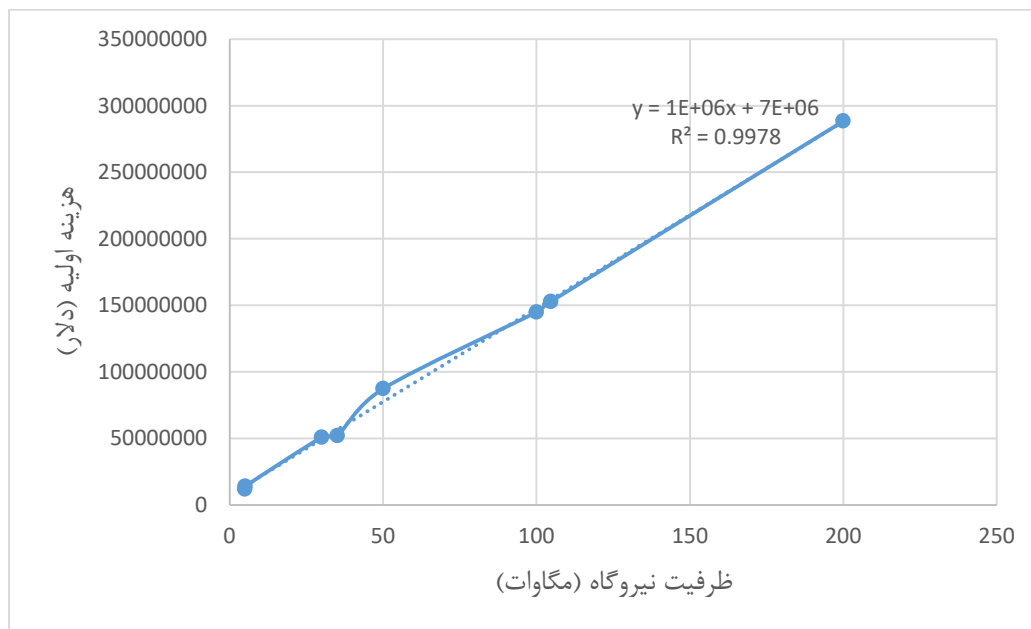
که در آن C_t میزان سود در سال t ام، C_0 مقدار هزینه سرمایه گذاری اولیه، t سال مورد نظر و r نرخ تنزیل است و مقدار آن در سال ۹۶ برابر با ۲۰٪ درصد می باشد (۴۱). لازم به ذکر است که این مقدار از وب سایت بانک مرکزی جمهوری اسلامی ایران استخراج شده است.

برای تعیین مقدار ارزش خالص فعلی باید میزان درآمد‌ها و هزینه‌ها را مشخص کرد. هزینه‌های مربوط به یک نیروگاه دودکش خورشیدی تنها مربوط به هزینه‌های اولیه و هزینه

های تعمیر و نگهداری می باشد (۴۳،۴۲) برای تعیین این هزینه ها در طراحی های گوناگون از داده های موجود در مقالات معتبر علمی می توان استفاده کرد. داده های بدست آمده از مقدار هزینه نسبت به ظرفیت نیروگاه در جدول ۳-۱- و همچنین در شکل ۳-۳- گزارش شده اند.

جدول ۳-۱- هزینه سرمایه گذاری نیروگاه در ظرفیت های گوناگون

ظرفیت نیروگاه (مگاوات)	هزینه سرمایه گذاری (دلار)	مرجع
۵	۱۱۷۷۹۰۰۰	(۱۱)
۵،۱	۱۴۰۷۴۰۰۰	(۱۲)
۳۰	۵۰۷۸۲۰۰۰	(۱۱)
۳۵،۱	۵۲۱۰۳۰۰۰	(۱۲)
۵۰	۸۷۳۴۲۰۰۰	(۱۱)
۱۰۰	۱۴۴۹۳۱۰۰۰	(۱۱)
۱۰۴،۷	۱۵۲۹۱۶۰۰۰	(۱۲)
۲۰۰	۲۸۸۳۵۵۰۰۰	(۱۱)



شکل ۳-۳- نمودار هزینه نیروگاه نسبت به ظرفیت تولیدی (۱۱)

شکل نشان می دهد که هزینه سرمایه گذاری مورد نیاز برای نیروگاه دودکش خورشیدی نسبت به ظرفیت تولیدی نیروگاه، یک رابطه خطی دارد. بنابراین می توان هزینه ساخت نیروگاه دودکش خورشیدی را توسط رابطه زیر تخمین زد:

$$C_0 = 10^6 P + 7 \times 10^6 \quad 20$$

که در آن C_0 میزان سرمایه اولیه مورد نیاز با واحد دلار و P میزان ظرفیت تولیدی نیروگاه با واحد مگاوات است. توسط این معادله می توان مقدار هزینه اولیه نیروگاه را برای تمامی حالات ممکن به خوبی تخمین زد. از طرفی هزینه های مربوط به تعمیرات، نگهداری و عملکرد یک نیروگاه خورشیدی حدود ۰,۱۲ درصد هزینه اولیه آن می باشد (۴۴):

$$C_{OM} = 0.0012 \times C_0 \quad 21$$

درآمدهای نیروگاه حاصل از فروش برق به شبکه سراسری می باشد. با توجه به اطلاعات ارائه شده توسط سازمان انرژی های تجدیدپذیر و بهره وری انرژی برق، در حال حاضر دولت ایران برق تجدید پذیر را با مبلغ ۰,۲۶ دلار به ازای هر کیلووات ساعت خریداری می کند (۴۵). بنابراین میزان درآمد سالانه توسط رابطه زیر قابل محاسبه است:

$$C_{income} = 0.26 \times (P \times 1000 \times 8760) \quad 22$$

که در آن عدد ثابت 1000×8760 تبدیل واحد توان تولیدی نیروگاه (مگاوات) به انرژی تولیدی در طول یک سال (کیلووات ساعت) می باشد. عمر مفید نیروگاه های دودکش خورشیدی حدود ۲۵ سال است و می توان محاسبات را در طول ۲۵ سال در نظر گرفت (۴۵). با داشتن این اطلاعات و با استفاده از معادله ۱۹ می توان نیروگاه را از نظر اقتصادی تحلیل کرد.

۳-۴- بهینه سازی

همانطور که در فصل های قبل اشاره شد، هدف این پژوهش یافتن یک حالت بهینه بر مبنای تحلیل اگرزواکونومیکی برای ساخت یک نیروگاه دودکش خورشیدی است. پارامترهای متغیر در طراحی نیروگاه شامل دو پارامتر اصلی قطر کلکتور و ارتفاع دودکش است. همچنین پارامترهای در نظر گرفته شده برای بهینه سازی شامل اگرزری نیروگاه و ارزش خالص فعلی

است. برای بهینه سازی باید در ابتدا تابع هدف مشخص گردد و سپس توسط یک روش مناسب، حالت بهینه سیستم تعیین گردد. تابع هدف تعریف شده در این پژوهش به شکل حاصل تقسیم ارزش خالص فعلی بر میزان تخریب اگزرژی است:

$$F = \frac{NPV}{\dot{Ex}_{lost}} \quad ۲۳$$

هدف یافتن مقدار ماکزیمم این تابع است که به مفهوم مقدار بالای ارزش خالص فعلی همزمان با مقدار کم تخریب اگزرژی است. دو پارامتر قطر کلکتور و ارتفاع دودکش مستقیماً بر میزان تخریب اگزرژی و نیز هزینه های اولیه، تعمیر و نگهداری تأثیرگذار هستند که مورد آخر در مقدار ارزش خالص فعلی مؤثر است.

با توجه به نوع مسأله موجود، روش مناسب برای یافتن حالت بهینه الگوریتم های یاد گیرنده می باشد. فارغ از روشهای کلاسیک و متداول بهینه سازی، در سالهای اخیر، برخی از روشهای بهینه سازی که از نظر مفهومی با روشهای ریاضیاتی سنتی متفاوت هستند، توسعه یافته اند. این روشها که موسوم به روشهای ابتکاری یا فرا ابتکاری هستند، در دسته روشهای مدرن بهینه سازی قرار می گیرند و اکثر آنها در کلیات، نقاط مشترک فراوانی دارند. بسیاری از این الگوریتم ها برگرفته از خصوصیات ذاتی موجود در طبیعت هستند که به دنیای بهینه سازی راه یافته اند. برخی از این روشها مبتنی بر جمعیت بوده و برخی دیگر نیز وابسته به مسیر می باشند. می توان گفت که در میان این الگوریتم ها، الگوریتم ژنتیک از بیشترین سابقه برخوردار بوده و بیشترین کاربرد را در بهینه سازی های مهندسی داشته است.

مفهوم الگوریتم ژنتیک با سایر روش های استفاده شده در مسائلی مانند جستجو های سنتی بهینه سازی، تفاوت دارد و احتمال درگیری و اشتباه آن در بهینه ی محلی کمتر است. ایده اصلی الگوریتم ژنتیک بر اساس فرایند ژنتیکی در علوم زیستی قرار دارد

که به طور مصنوعی از آن به منظور ساخت الگوریتم های جستجو استفاده شده است. در این الگوریتم، راه حل بهینه بر مبنای انتخاب طبیعی قرار دارد. الگوریتم ژنتیک به صورت یاد گیرنده می تواند حالات مختلف سیستم را طراحی کرده و نتایج مربوط را استخراج کند. این

حالات مرحله به مرحله به حالت بهینه نزدیک تر شده و در نهایت نقطه بهینه طراحی را می یابد.

این الگوریتم برگرفته از نظریه زنده ماندن قوی ترین موجود داروین می باشد. یک تابع بهینه سازی به صورت آرایه ها یا رشته هایی از مقادیر مختلف تولید می شود تا نمایانگر کروموزوم ها باشد. روی این رشته ها عملیاتی صورت می پذیرد و میزان برازندگی آنها در تابع هدف سنجیده می شود. فرایند کلی در چهار اپراتور "تولید جمعیت اولیه"، "انتخاب"، "تقاطع" و "جهش" صورت می پذیرد. نخست، جمعیت اولیه ای تصادفی که تمام قیود موجود در مسئله را ارضاء کند تولید می شود و این جمعیت بر حسب میزان برازندگی ارزیابی و رتبه بندی می شوند. اپراتور انتخاب، یک بخش از پیش تعیین شده از جمعیت را انتخاب می کند. با استفاده از اپراتور تقاطع، پاسخ های جدید (فرزندان) تولید می شوند به این امید که پاسخ های برازنده تری در مقایسه با نسل قبل پاسخ ها (والدین) تولید شوند. همچنین اپراتور جهش اعمال می شود تا از گیر افتادن الگوریتم در نقاط بهینه محلی جلوگیری شود. این مراحل تا زمانی که به حد قابل قبولی از پاسخ رسیده شود، تکرار می شود (۴۶).

در ادامه پس از یافتن طراحی بهینه توسط الگوریتم ژنتیک، عملکرد این سیستم در سه شهر تهران، سمنان و بندرعباس که دارای شرایط اقلیمی متفاوتی هستند بررسی می گردد.

فصل چهارم

نتایج و بحث

نتایج حاصل از مدلسازی

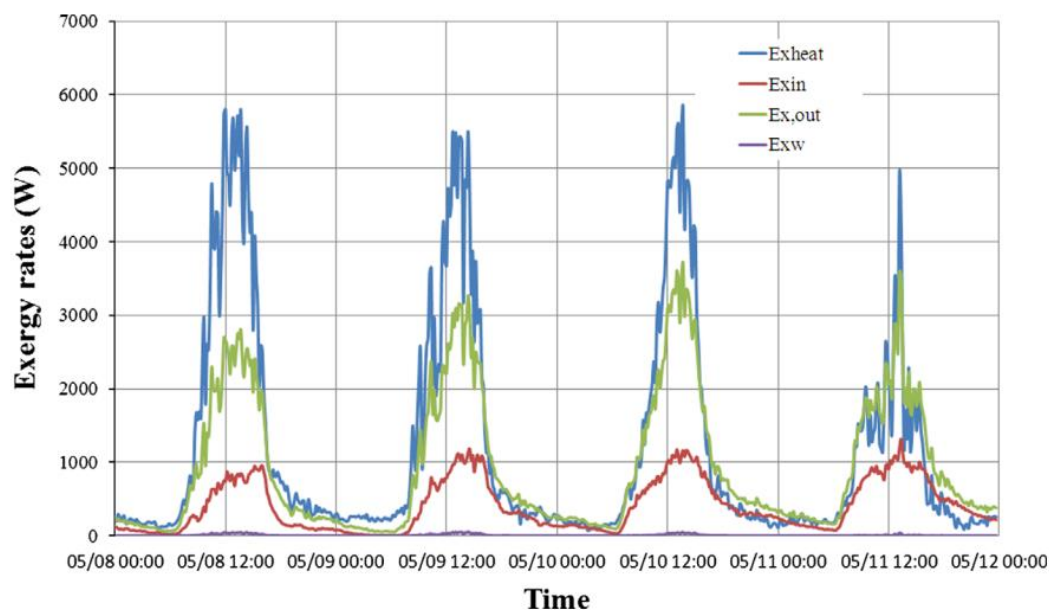
۴-۱- مقدمه

در این فصل نتایج حاصل از این تحقیق مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته اند. در پژوهش حاضر، روز پانزدهم مردادماه سال ۹۶ که دارای شرایط تابشی و دمایی مناسبی است، به عنوان مرجع محاسبات در نظر گرفته شده است. مقدار میانگین این پارامترها در طول روز مورد استفاده قرار گرفته اند. همچنین شرایط اقلیمی مختلف در کشور به جهت مطالعه موردی مد نظر قرار گرفته اند. اما قبل از ارائه و تحلیل نتایج به دست آمده، روش تحقیق بیان شده در فصل قبل با استفاده از داده های معتبر موجود مورد اعتبار سنجی قرار گرفته است.

۴-۲- اعتبار سنجی مدل

در این قسمت، سه نیروگاه خورشیدی تعریف شده در مطالعات پیشین که در مجلات معتبر بین المللی به چاپ رسیده اند مورد بررسی قرار گرفته و نتایج این مطالعات شده با نتایج حاصل از مدل ارائه شده در این تحقیق مقایسه شده اند. در ابتدا یک نیروگاه که به صورت تجربی مورد مطالعه قرار گرفته است، توسط روش تعریف شده در فصل قبل مدل شده است. سپس دو نیروگاه که با سایر روش ها در مقالات معتبر علمی به صورت نظری مورد بررسی قرار گرفته اند توسط این روش مدل گردیده و پارامترهای عملکردی و اقتصادی حاصل از این تحقیقات با پژوهش حاضر مورد مقایسه قرار گرفته اند.

در تحقیق تجربی انجام شده توسط مایا و همکاران (۴۷) در سال ۲۰۱۳، پارامترهای مربوط به اگزرژی یک دودکش خورشیدی به ارتفاع ۱۲/۳ متر و قطر کلکتور ۲۵ متر در کشور برزیل به مدت چهار روز و به صورت لحظه ای مورد مطالعه قرار گرفته است. شکل زیر میزان اگزرژی های جریان، حرارت و کار این سیستم را نمایش می دهد:



شکل ۴-۱- تحلیل انرژی دودکش خورشیدی مورد مطالعه توسط مایا و همکاران [۴۵]

با توجه به اینکه عملکرد دودکش خورشیدی در این تحقیق به صورت لحظه ای صورت گرفته است، با استفاده از مقادیر ارائه شده، این سیستم در ساعت ۱۲ ظهر روز اول توسط روش ارائه شده در فصل قبل مدل شده است و نتایج حاصل با نتایج تجربی مورد مقایسه قرار گرفته اند. جدول زیر نتایج مقایسه شده را نمایش می دهد.

جدول ۴-۱- مقایسه نتایج تجربی با نتایج مدل ارائه شده (۴۵)

پارامتر	نتایج تجربی (۴۵)	نتایج مدل	درصد خطا (%)
دمای محیط (درجه سانتی گراد)	۲۳	---	---
شدت تابش خورشید (وات بر متر مربع)	۷۹۰	---	---
انرژی حرارتی (وات)	۵۸۰۰	۶۰۳۵	۴/۰۵
توان تولیدی دودکش خورشیدی (وات)	۶۰	۶۲/۶۳	۴/۳۸
تخریب انرژی (وات)	۳۸۵۰	۳۹۷۴	۳/۲۲

نتایج حاصل از مقایسه نمایش داده شده در جدول بالا مشخص می کنند که مدل نظری ارائه شده با خطای کمتر از ۵ درصد کاملاً قابل اعتماد بوده و می تواند برای تحلیل انرژی دودکش خورشیدی قرار گیرد. اما این نتایج مربوط به مقیاس های کوچک دودکش خورشیدی بودند. با توجه به هدف این پژوهش که طراحی یک نیروگاه دودکش خورشیدی

است و برای رسیدن به خروجی مطلوب، مقیاس نیروگاه باید بزرگ باشد. بنابراین برای مقیاس های بزرگ نیز باید این مقایسه صورت گیرد تا اعتبار روش ارائه شده در این مقیاس نیز مورد تأیید قرار گیرد.

در سال ۲۰۱۰، ژو و همکاران (۴۸) میزان توان خروجی یک نیروگاه دودکش خورشیدی را به صورت تئوری در منطقه تبت مورد بررسی قرار داده اند. ابعاد این نیروگاه گزارش شده اند و ارتفاع دودکش برابر با ۱۰۰۰ متر و قطر کلکتور برابر با ۵۶۵۰ متر می باشند.

جدول ۴-۲- مقایسه نتایج مطالعات پیشین با نتایج مدل ارائه شده (۴۸)

پارامتر	مطالعات پیشین (۴۸)	نتایج مدل	درصد خطا (%)
دمای محیط (درجه سانتی گراد)	۸٫۹	---	---
شدت تابش خورشید (وات بر متر مربع)	۲۴۷	---	---
توان تولیدی دودکش خورشیدی (مگا وات)	۱۰۰	۱۰۳/۲۷	۳/۲۷

خطای ۳/۲۷ درصدی نشانگر این مسأله است که مدل ارائه شده برای مقیاس های بزرگ نیز با دقت خوبی قابل استفاده است. لازم به ذکر است که به دلیل اقلیم هوایی سرد که در منطقه مورد مطالعه حاکم است (با توجه به مقادیر دمای محیط و شدت تابش خورشیدی)، نسبت به ابعاد بسیار بزرگ این نیروگاه، توان خروجی کمی حاصل می شود.

در ادامه روش بیان شده برای محاسبه ابعاد بهینه و نیز ارزش خالص فعلی مورد اعتبار سنجی قرار می گیرد. اوکویه و همکاران (۴۹) در سال ۲۰۱۷ با تنها دیدگاه اقتصادی، یک طراحی بهینه یک نیروگاه دودکش خورشیدی را در کشور نیجریه معرفی کرده اند. ابعاد بهینه این نیروگاه و نیز مقدار پارامتر ارزش خالص فعلی پس از یک سال که در این مطالعه گزارش شده اند، در جدول زیر مقایسه شده اند.

جدول ۴-۳- اعتبار سنجی بهینه سازی و اقتصادی مدل ارائه شده (۴۹)

پارامتر	مطالعات پیشین (۴۹)	نتایج مدل	درصد خطا (%)
دمای محیط (درجه سانتی گراد)	۲۵/۵	---	---
شدت تابش خورشید (وات بر متر مربع)	۴۳۲	---	---
قطر بهینه کلکتور (متر)	۱۰۹۲	۱۲۲۵	۱۲/۱۸
طول بهینه دودکش (متر)	۶۹۳	۷۸۴	۱۳/۱۳
ارزش خالص فعلی پس از یک سال (ملیون دلار)	۶/۹۹	۵/۷۲	۱۸/۱۷

مشاهده می شود که تفاوت نتایج به نسبت زیاد است. دلیل اصلی این تفاوت این است که در مطالعه مورد بررسی، تنها پارامترهای اقتصادی مد نظر بوده و بهینه سازی بر اساس مسائل اقتصادی صورت گرفته است. در صورتی که دیدگاه اقتصادی در پژوهش حاضر تنها یکی از سه هدف کلی بهینه سازی است. در این تحقیق علاوه بر هدف اقتصادی، اهداف عملکردی سیستم شامل توان خروجی و تخریب انرژی نیز در طراحی بهینه سیستم مؤثر هستند. به همین دلیل ابعاد بهینه حاصل از مدل ارائه شده نیز با ابعاد بهینه معرفی شده در مطالعه پیشین تفاوت دارد. با توجه به وجود تفاوت اساسی در روش بهینه سازی، اختلاف موجود طبیعی بوده و می توان نتایج را قابل قبول دانست. اما برای بررسی دقیق تر مدل اقتصادی ارائه شده، این بار مقدار ارزش خالص فعلی با استفاده از ابعاد بهینه معرفی شده در مطالعه پیشین مورد اعتبار سنجی قرار می گیرد. جدول زیر حاصل این اعتبار سنجی را گزارش می کند.

پارامتر	مطالعات پیشین (۳)	نتایج مدل	درصد خطا (%)
ارزش خالص فعلی پس از یک سال (ملیون دلار)	۶/۹۹	۷/۲۱	۳/۱۵

مشاهده می شود که در شرایط یکسان، مدل ارائه شده از نظر اقتصادی نیز پاسخ دقیقی را ارائه می کند.

به این ترتیب اعتبار تمامی ویژگی های مدل ارائه شده سنجیده گردید و در ادامه از این مدل برای یافتن محلی مناسب و همچنین طراحی یک نیروگاه خورشیدی بهینه در کشور ایران استفاده می شود.

۴-۳- انتخاب مکان نیروگاه

برای انتخاب شهرهای کشور با شرایط اقلیمی گوناگون، داده های مربوط به میزان شدت تابش خورشیدی از وب سایت شرکت معتبر Solargis استخراج شده اند (۵۰). شکل میزان شدت تابش میانگین سالانه خورشیدی را در کشور ایران نمایش می دهد.

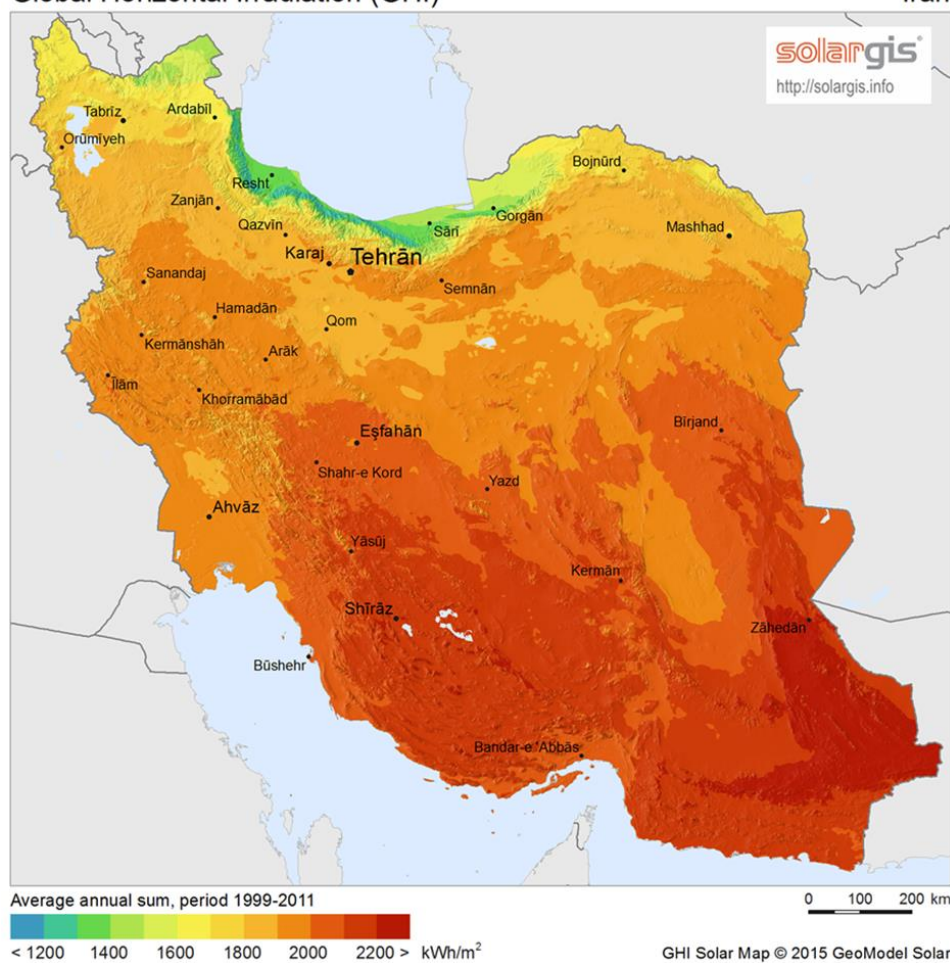
با توجه به میزان تابش در بخش های مختلف کشور، شهر های تهران، سمنان، و بندرعباس به عنوان محل های مورد مطالعه موردی انتخاب شده اند. داده های اقلیمی مورد نیاز جهت مدلسازی شامل مقادیر دما، فشار و نیز تابش خورشیدی در سطح زمین می باشند. داده های مربوط به دو پارامتر دما و فشار از وب سایت سازمان هواشناسی کشور استخراج شده اند و برای روز ۱۵ مرداد ماه سال ۹۶ به طور خلاصه در جدول ۴-۴ - **Error! Reference source not found.** گزارش شده اند.

جدول ۴-۴- مقادیر میانگین دما، فشار و شدت تابش در طول روز ۱۵ مرداد سال ۱۳۹۶ (۵۰)

شهر	تاریخ	میانگین دما (°C)	میانگین فشار (hPa)	میانگین شدت تابش (W/m ²)
تهران	۹۶/۰۵/۱۵	۳۰/۲۶	۸۹۴/۸۳۳	۵۷۷/۶۳۶
سمنان	۹۶/۰۵/۱۵	۳۱/۲۵	۸۹۳/۱۵۱	۶۱۰/۲۲۹
بندرعباس	۹۶/۰۵/۱۵	۳۵/۰۵	۱۰۱۲/۳۶۲	۶۱۸/۵۸۳

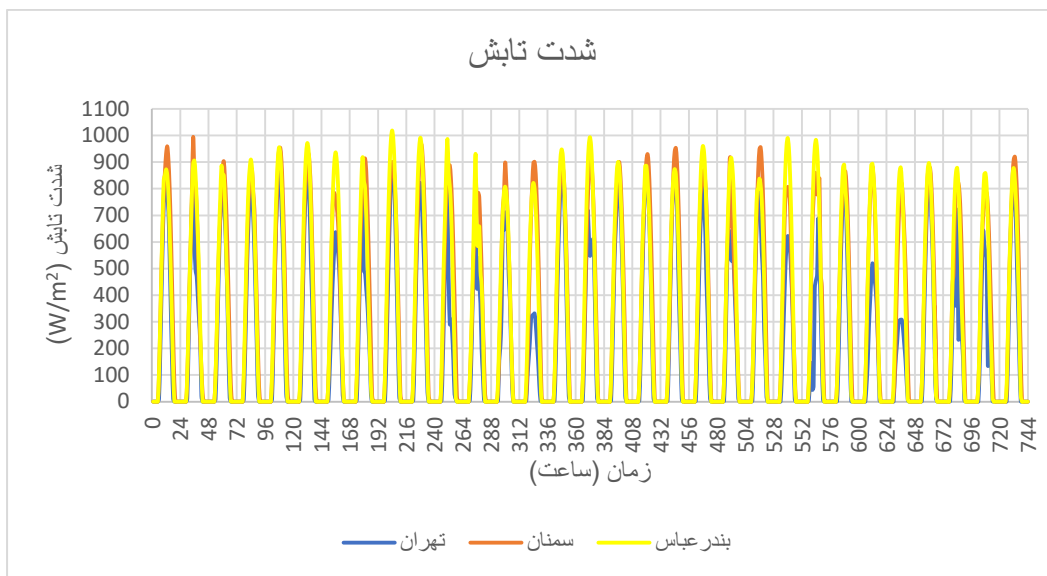
Global Horizontal Irradiation (GHI)

Iran

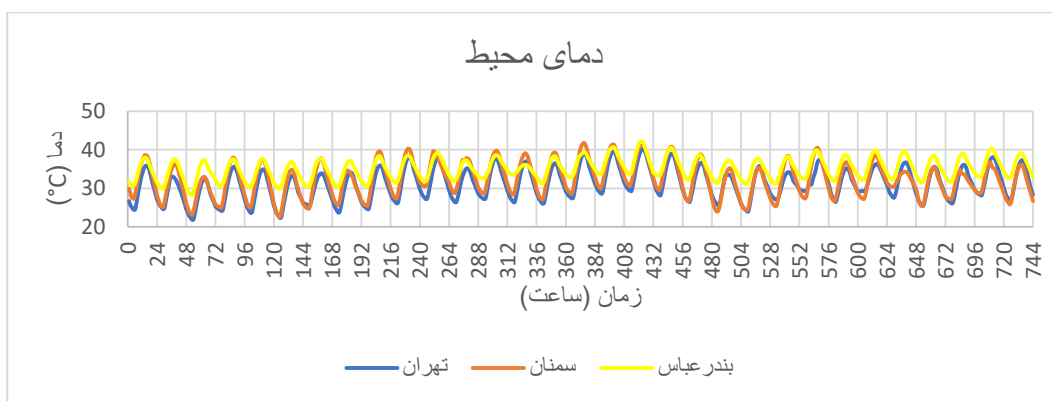


شکل ۴-۲- نقشه میانگین سالانه تابش خورشیدی کشور ایران (۵۰)

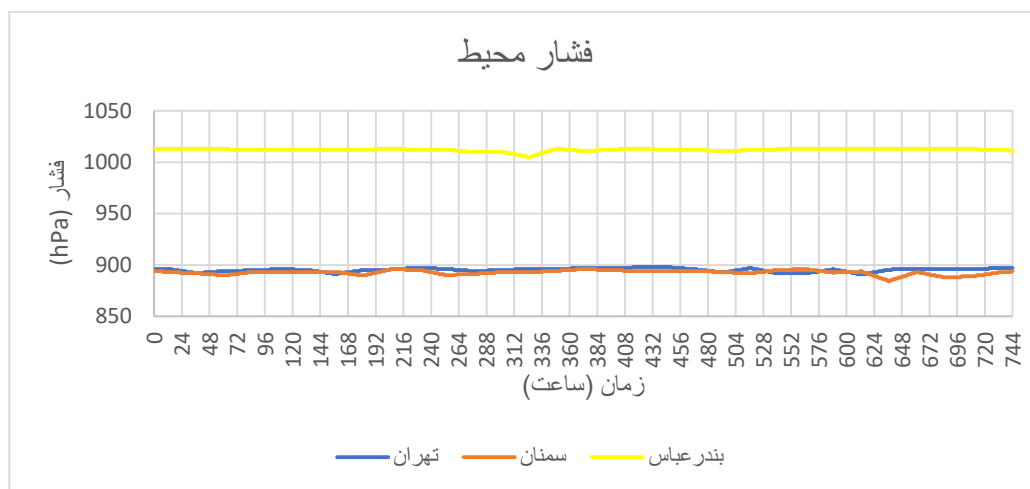
برای مقایسه شرایط اقلیمی سه شهر منتخب، شکل های زیر شهر های تهران، سمنان و بندر عباس را از نظر میزان شدت تابش خورشیدی، دمای محیط و فشار محیط در طول ماه مرداد سال ۱۳۹۶ مورد بررسی قرار می دهند.



شکل ۴-۳- نمودار شدت تابش خورشیدی در سه شهر تهران، سمنان و بندرعباس در طول مرداد ماه سال ۱۳۹۶ (۵۰)



شکل ۴-۴- نمودار دمای محیط در سه شهر تهران، سمنان و بندرعباس در طول مرداد ماه سال ۱۳۹۶ (۵۰)



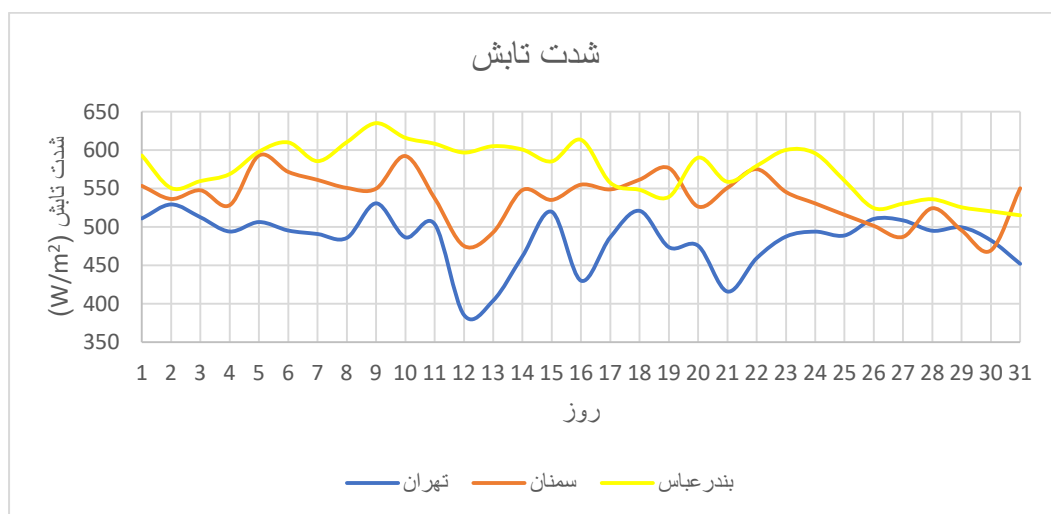
شکل ۴-۵- نمودار فشار محیط در سه شهر تهران، سمنان و بندرعباس در طول مرداد ماه سال ۱۳۹۶ (۵۰)

همانگونه که از شکل های بالا مشخص است، در حالت کلی شهر بندرعباس شرایط تابشی و دمایی مناسب تری را برای یک نیروگاه دودکش خورشیدی دارا است. تقریباً در تمامی طول ماه میزان شدت تابش در این شهر بیشتر از دو شهر دیگر بوده و همچنین در بسیاری از موارد دمای هوای این شهر نیز بالاتر از دو شهر دیگر می باشد.

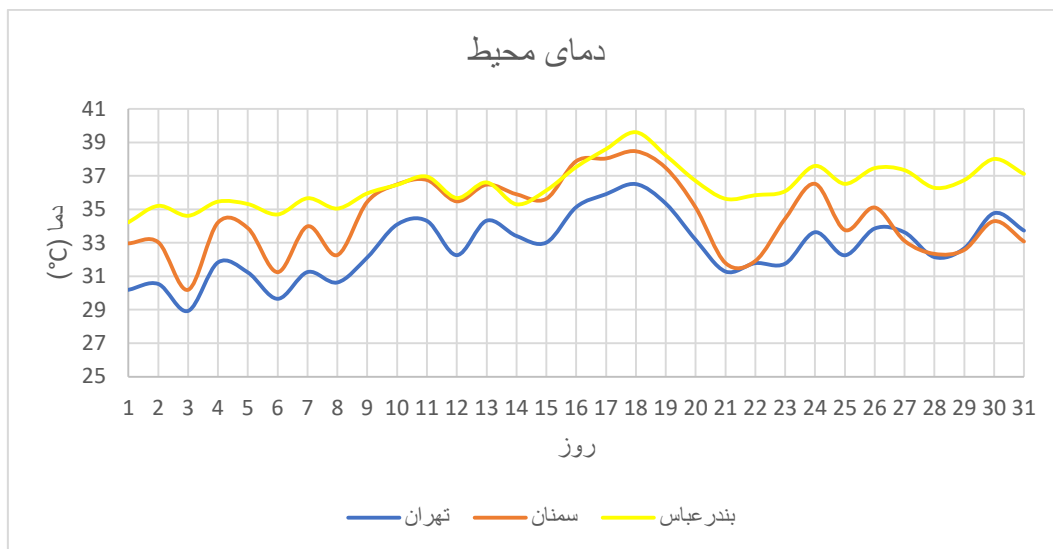
۴-۴- بررسی اثر فشار محیط

اما در مورد تأثیر فشار روی کارکرد دودکش خورشیدی باید نتایج دیگری مورد بررسی قرار گیرند تا بتوان تعیین کرد کدام شهر شرایط مناسب تری برای یک نیروگاه دودکش خورشیدی را دارد. اما مسأله ای که مشخص است این است که دو شهر تهران و سمنان تا حد زیادی در مورد فشار محیط با یکدیگر شباهت دارند. اما میزان فشار محیط در شهر بندرعباس به مقدار قابل توجهی بیشتر از دو شهر دیگر است.

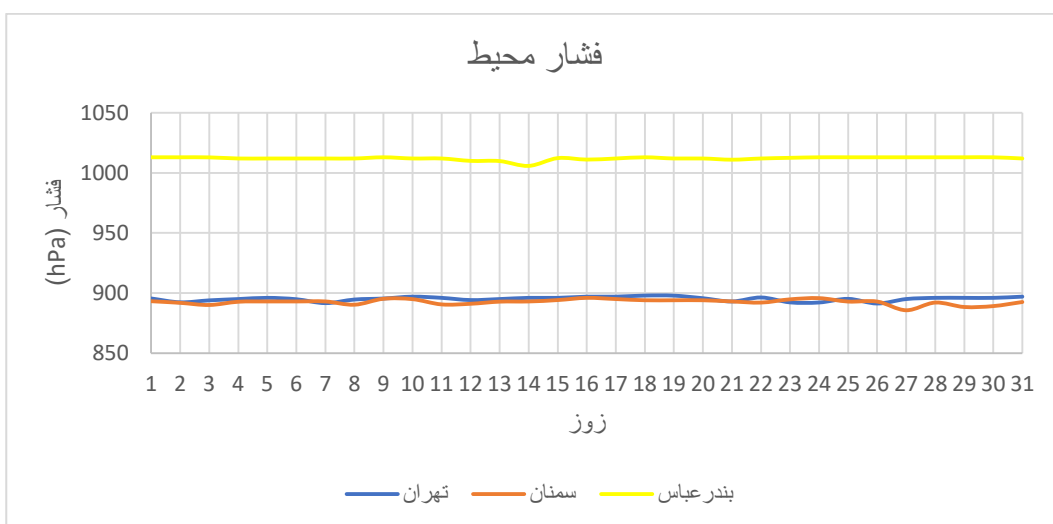
برای مقایسه بهتر این سه شهر، مقدار میانگین سه پارامتر مذکور در طول روشنایی روز (که مدت زمان عملیاتی یک نیروگاه خورشیدی است) در شکل های زیر نشان داده شده اند.



شکل ۴-۶- مقدار میانگین شدت تابش در طول روز در سه شهر تهران، سمنان و بندرعباس در طول مرداد ماه سال ۱۳۹۶ (۵۰)



شکل ۴-۷- مقدار میانگین دمای محیط در طول روز در سه شهر تهران، سمنان و بندرعباس در طول مرداد ماه سال ۱۳۹۶ (۵۰)



شکل ۴-۸- مقدار میانگین فشار محیط در طول روز در سه شهر تهران، سمنان و بندرعباس در طول مرداد ماه سال ۱۳۹۶ (۵۰)

سه شکل بالا تفاوت های میان سه شهر را با وضوح بیشتری نمایان می کنند. در مورد شدت تابش خورشید، مقدار میانگین این پارامتر در طول روشنایی روز برای شهر بندرعباس تقریباً در تمامی روز های مرداد ماه بیشترین مقدار مشاهده می شود. پس از بندرعباس شهر سمنان در مورد مقدار این پارامتر دارای مقادیر بالا تر است. همچنین در دو روز ۱۹ ام و ۳۱ ام مرداد ماه مقدار میانگین شدت تابش در طول روز در شهر سمنان بیشتر از شهر بندرعباس است. شهر تهران نیز در اکثر روزها دارای کمترین میزان میانگین شدت تابش در طول روز

است. تنها در روز های ۲۶ ام و ۲۹ ام و ۳۰ ام مرداد ماه مقدار این پارامتر برای شهر تهران کمی بیشتر از آن در شهر سمنان است. وجود روز های استثناء نسبت به روند کلی می تواند به دلیل شرایط جوی مانند تشکیل ابر در آسمان باشد که مقدار شدت تابش را کاهش می دهد. همچنین روند مشابهی در مورد میانگین دمای محیط در طول روشنایی روز مشاهده می شود. به طور کلی دو شهر بندر عباس و سمنان به ترتیب دارای بیشترین مقدار و شهر تهران دارای کمترین مقدار این پارامتر است. با توجه به وابستگی دمای محیط به میزان شدت تابش، این روند کاملاً منطقی است. در مورد این پارامتر تنها در روز ۱۶ ام مرداد ماه مقدار آن برای شهر سمنان بیشتر از شهر بندر عباس و در روز های ۲۶ ام و ۳۰ ام مرداد برای شهر تهران بیشتر از شهر سمنان می باشد.

مجدداً در مورد پارامتر میانگین فشار محیط در طول روشنایی روز شهر بندر عباس دارای مقدار ماکزیمم و شهر تهران دارای مقدار مینیمم هستند. هرچند اختلاف مقدار این پارامتر در مورد شهر تهران و سمنان بسیار کم است. نکته جالب در مورد رفتار این پارامتر، دارا بودن مقدار تقریباً ثابت در طول ماه است. برای شهر بندر عباس مقدار حدودی ۱۰۱۳ هکتو پاسکال، برای شهر سمنان مقدار حدودی ۸۹۶ هکتو پاسکال و برای شهر تهران مقدار حدودی ۸۹۲ هکتو پاسکال به طور تقریباً ثابت در طول ماه مرداد مشاهده می شود.

با استفاده از این داده های ورودی و با در نظر گرفتن روز ۱۵ مرداد ماه که روز میانی فصل تابستان است، نیروگاه دودکش خورشیدی توسط روابط ارائه شده در بخش قبل مدل شده است. در ابتدا سه طراحی متفاوت در نظر گرفته شده اند و عملکرد نیروگاه دودکش خورشیدی در هر سه شهر و هر سه طراحی مورد مقایسه قرار گرفته اند. مقدار دمای محیط و شدت تابش برای هر سه طراحی یکسان در نظر گرفته شده اند تا تأثیر فشار محیط روی نیروگاه تعیین گردد. پارامتر مورد مقایسه میزان توان خروجی نیروگاه است. جدول زیر پارامترهای طراحی که شامل قطر کلکتور و طول دودکش خورشیدی هستند و نیز پارامترهای محیطی شامل میانگین دما و میانگین شدت تابش در طول روز را نمایش می دهد. لازم به ذکر است که ابعاد تعریف شده از اندازه های واقعی نیروگاه های ساخته شده در دنیا اتخاذ شده اند. همچنین مقادیر فشار محیط برابر با مقادیر میانگین ذکر شده در نظر گرفته شده اند.

جدول ۴-۵- طراحی های تعریف شده برای مقایسه عملکرد نیروگاه

طراحی	قطر کلکتور (m)	ارتفاع دودکش (m)	میانگین دما (°C)	میانگین شدت تابش (W/m ²)
حالت اول	۱۲۵۰	۵۵۰	۳۶/۵	۵۳۰/۶۹
حالت دوم	۱۸۰۰	۷۵۰	۳۶/۵	۵۳۰/۶۹
حالت سوم	۲۰۰۰	۱۰۰۰	۳۶/۵	۵۳۰/۶۹

با استفاده از روش ارائه شده در فصل قبل و نیز بهره گیری از داده های محیطی، سه حالت نیروگاه برای هر سه شهر مدل شده اند و نتیجه مدل به صورت میزان توان خروجی مورد بررسی قرار گرفته است. جدول زیر مقایسه بین عملکرد نیروگاه را برای حالات مذکور نمایش می دهد.

جدول ۴-۶- توان تولیدی نیروگاه خورشیدی در طراحی های مختلف برای سه شهر بندرعباس، سمنان و تهران

طراحی	توان نیروگاه تهران (MW)	توان نیروگاه سمنان (MW)	توان نیروگاه بندرعباس (MW)
حالت اول	۹/۱۷۰	۹/۱۷۰	۹/۱۷۲
حالت دوم	۲۸/۸۰۲	۲۸/۸۰۳	۲۸/۸۰۶
حالت سوم	۱۶۰/۱۵۱	۱۶۰/۱۵۲	۱۶۰/۱۵۵

از جدول بالا می توان نتیجه گرفت که در این مقیاس (فشار بین ۸۹۰ تا ۱۰۱۰ هکتوپاسکال)، میزان فشار محیط تأثیر بسزایی روی عملکرد سیستم نخواهد داشت. بیشترین میزان اختلاف مشاهده شده در توان تولیدی ۴ کیلووات است. این پدیده به این دلیل است که فشار تقریباً یکسانی در ورودی و خروجی نیروگاه وجود دارد و نیروهای فشاری روی عملکرد کلی سیستم تأثیرگذار نیستند. اما این پارامتر می تواند روی میزان تخریب آگرزری سیستم مؤثر باشد. بنابراین جدول زیر میزان تخریب آگرزری را به عنوان یکی از پارامترهای مهم عملکردی سیستم مورد بررسی قرار می دهد.

جدول ۴-۷- تخریب انرژی نیروگاه خورشیدی در طراحی های مختلف برای سه شهر بندرعباس، سمنان

و تهران

طراحی	تخریب انرژی نیروگاه تهران (MW)	تخریب انرژی نیروگاه سمنان (MW)	تخریب انرژی نیروگاه بندرعباس (MW)
حالت اول	۳۶۵/۸۵۹	۳۶۵/۸۴۷	۳۶۷/۷۰۶
حالت دوم	۷۵۳/۵۵۴	۷۵۳/۵۳۱	۷۵۴/۹۳۰
حالت سوم	۷۷۹/۴۰۳	۷۷۹/۳۷۵	۷۸۰/۴۹۱

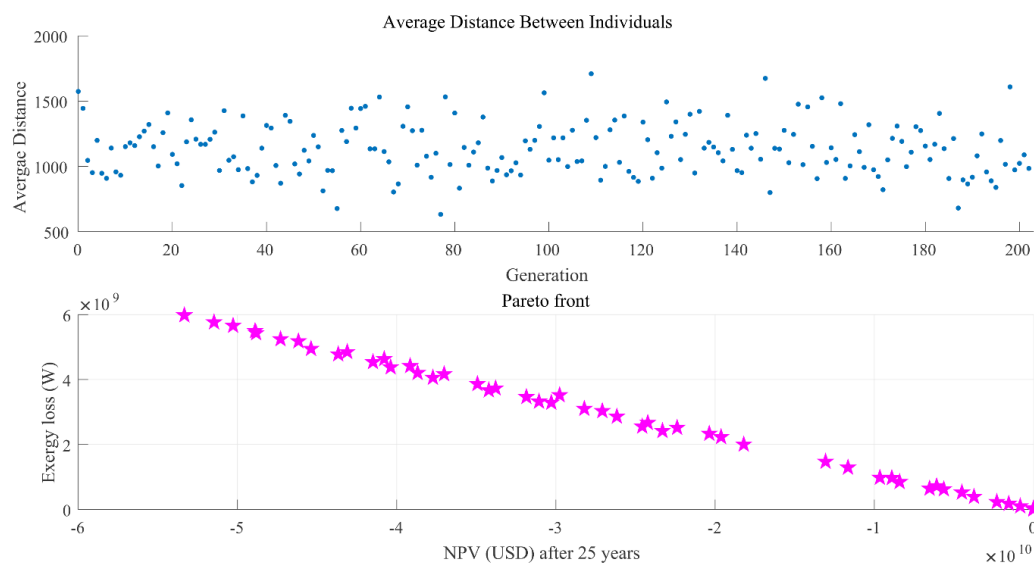
با توجه به نتایج ارائه شده در جدول بالا، میزان تخریب انرژی اثرات بیشتری نسبت به میزان توان خروجی از فشار محیط می پذیرد. به نحوی که در طراحی های مورد بررسی میزان این اختلاف به حدود ۱۰۰ کیلووات نیز می رسد. همچنین مشاهده می شود که با افزایش فشار مقدار تخریب انرژی سیستم افزایش می یابد.

اما با توجه به دو جدول بالا می توان در حالت کلی میزان اثرات فشار محیط روی نیروگاه دودکش خورشیدی را کم تفسیر کرد.

۴-۵- بهینه سازی نیروگاه

پس از بررسی اثر فشار محیط، با استفاده از مدل ارائه شده و توسط الگوریتم ژنتیک، طراحی بهینه نیروگاه دودکش خورشیدی برای هر یک از سه شهر تهران، سمنان و بندرعباس تعیین گردیده اند. فرآیند بهینه سازی با الگوریتم ژنتیک، توسط ابزار الگوریتم ژنتیک موجود در نرم افزار MATLAB انجام شده است. در این بخش طراحی های بهینه مربوط به هر شهر معرفی و پارامترهای عملکردی آنها گزارش می شوند.

شکل زیر نمودار Pareto Front و نحوه توزیع نقاط مورد بررسی در الگوریتم ژنتیک را برای یافتن طراحی بهینه در شهر تهران نمایش می دهد.



شکل ۴-۹- نمودارهای Pareto Front و نحوه توزیع پاسخ ها برای شهر تهران

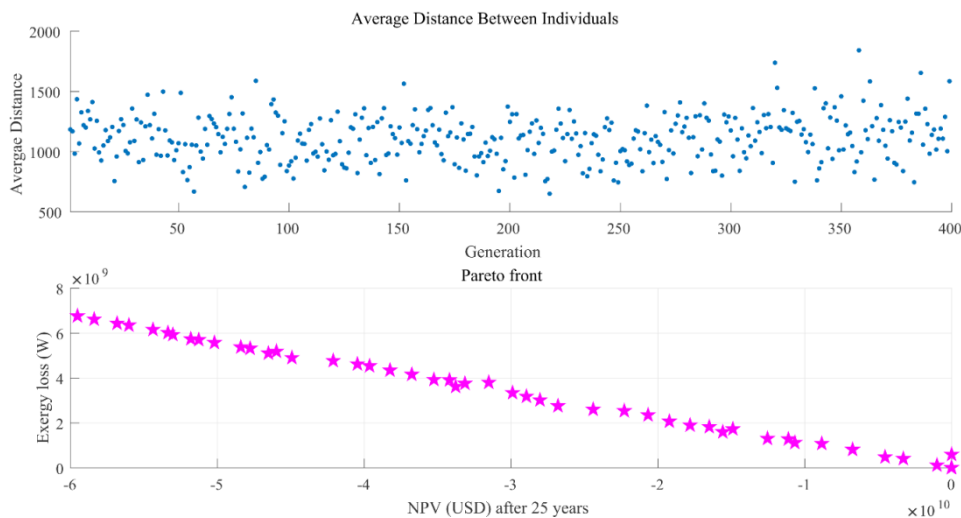
مشاهده می شود که پس از ۲۰۳ مرتبه تکرار محاسبات، الگوریتم ژنتیک مقادیر بهینه ارتفاع دودکش و قطر کلکتور را می یابد. نمودار جبهه پارتو در شکل بالا در روند بهینه سازی مشخص می کند که مقدار تخریب آگزرژی با مقدار ارزش خالص فعلی رابطه عکس دارد. به این مفهوم که مقادیر بیشتر تخریب آگزرژی باعث کاهش میزان ارزش خالص فعلی می گردد. جدول زیر ابعاد نیروگاه بهینه، به همراه مقادیر توابع هدف مذکور در فصل قبل و نیز توان تولیدی نیروگاه را برای شهر تهران گزارش می کند.

جدول ۴-۸- طراحی بهینه برای شهر تهران و عملکرد سیستم بهینه

پارامتر (واحد)	مقدار
قطر کلکتور (متر)	۱۰۷۰/۷۴۰
ارتفاع دودکش (متر)	۷۳۳/۲۳۲
مقدار ارزش خالص فعلی پس از ۲۵ سال (دلار)	$۱/۶۴۴ \times ۱۰^۹$
مقدار تخریب آگزرژی (مگاوات)	۲۰۱/۷۹۰
توان خروجی نیروگاه (مگاوات)	۹۸/۱۹۸

طبق نتایج بدست آمده، یک نیروگاه بهینه دودکش خورشیدی در شهر تهران دارای ارتفاع دودکش ۷۳۳/۲۳۲ متر و قطر کلکتور ۱۰۷۰/۷۴۰ متر بوده و می تواند ۹۸/۱۹۸ مگاوات توان خروجی داشته باشد.

در ادامه همین فرآیند در مورد شهر سمنان تکرار می گردد. شکل زیر نمودار جبهه پارتو و نحوه توزیع نقاط بررسی شده در الگوریتم ژنتیک را برای این شهر نمایش می دهد.



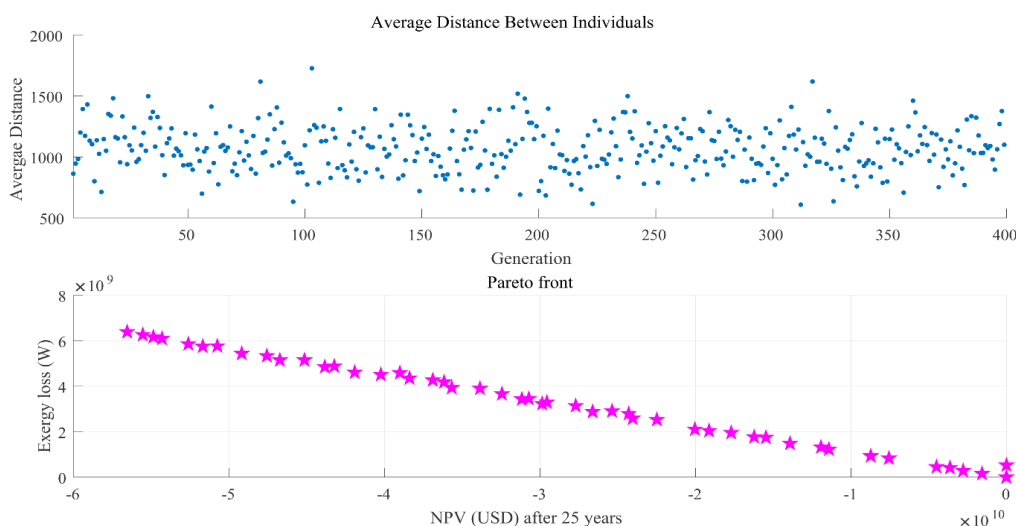
شکل ۴-۱۰- نمودارهای Pareto Front و نحوه توزیع پاسخ ها برای شهر سمنان

با دقت به نمودار مربوط به جبهه پارتو در مورد شهر سمنان نیز مشاهده می شود که در روند یافتن پاسخ بهینه، با افزایش تخریب انرژی، مقدار ارزش خالص فعلی کاهش می یابد. رابطه بین این دو پارامتر به صورت معکوس و تقریباً خطی می باشد. این نتایج پس از ۴۰۰ مرتبه تکرار محاسبات توسط نرم افزار متلب در فرآیند بهینه سازی توسط الگوریتم ژنتیک می باشد. لازم به ذکر است که تعداد ۴۰۰ مرتبه تکرار به صورت پیش فرض در این نرم افزار به عنوان بیشترین تعداد تکرار محاسبات انتخاب شده است. حالت بهینه تعیین شده توسط این روش برای شهر سمنان در جدول زیر شرح داده شده است.

جدول ۴-۹- طراحی بهینه برای شهر سمنان و عملکرد سیستم بهینه

پارامتر (واحد)	مقدار
قطر کلکتور (متر)	۱۲۸۱/۱۹۶
ارتفاع دودکش (متر)	۸۰۷/۳۴۳
مقدار ارزش خالص فعلی پس از ۲۵ سال (دلار)	$۱/۷۱۱ \times ۱۰^۹$
مقدار تخریب اگزرژی (مگاوات)	۲۵۶/۹۸۶
توان خروجی نیروگاه (مگاوات)	۱۶۰/۶۷۲

ابعاد بهینه برای یک نیروگاه دودکش خورشیدی در شهر سمنان به این شکل خواهد بود: ارتفاع دودکش ۸۰۷/۳۴۳ متر و قطر کلکتور ۱۲۸۱/۱۹۶ متر. در چنین شرایطی، یک نیروگاه خورشیدی در این شهر می تواند ۱۶۰/۶۷۲ مگاوات توان تولید کند که این مقدار حدود ۶۰ مگاوات بیشتر از توان تولیدی نیروگاه بهینه طراحی شده برای شهر تهران است. با تکرار روند ذکر شده، طراحی بهینه نیروگاه دودکش خورشیدی برای شهر بندر عباس نیز مشخص می گردد. نمودارهای جبهه پارتو و نیز نحوه توزیع حالات مورد بررسی در فرآیند بهینه سازی توسط الگوریتم ژنتیک برای شهر بندر عباس در شکل زیر نمایش داده شده است.



شکل ۴-۱۱- نمودارهای Pareto Front و نحوه توزیع پاسخ ها برای شهر بندر عباس

در مورد شهر بندر عباس نیز روندی مشابه با دو شهر دیگر مشاهده می گردد. با توجه به نمودار جبهه پارتو، رابطه ای تقریباً خطی و به صورت معکوس بین میزان ارزش خالص فعلی نیروگاه و مقدار تخریب انرژی آن وجود دارد. به این مفهوم که در این مورد نیز با افزایش تخریب انرژی، میزان ارزش خالص فعلی نیروگاه کاهش می یابد. فرآیند الگوریتم ژنتیک برای یافتن طراحی بهینه در مورد این شهر نیز به تعداد ۴۰۰ مرتبه محاسبات را تکرار می کند. پارامترهای ساختاری بهینه و نیز نتایج ساختار بهینه برای شهر بندر عباس در جدول زیر ارائه شده اند.

جدول ۴-۱۰- طراحی بهینه برای شهر بندر عباس و عملکرد سیستم بهینه

پارامتر (واحد)	مقدار
قطر کلکتور (متر)	۱۵۴۴/۸۲۳
ارتفاع دودکش (متر)	۸۲۳/۳۵۳
مقدار ارزش خالص فعلی پس از ۲۵ سال (دلار)	$1/001 \times 10^9$
مقدار تخریب انرژی (مگاوات)	۲۷۲/۳۰۹
توان خروجی نیروگاه (مگاوات)	۱۶۷/۱۸۳

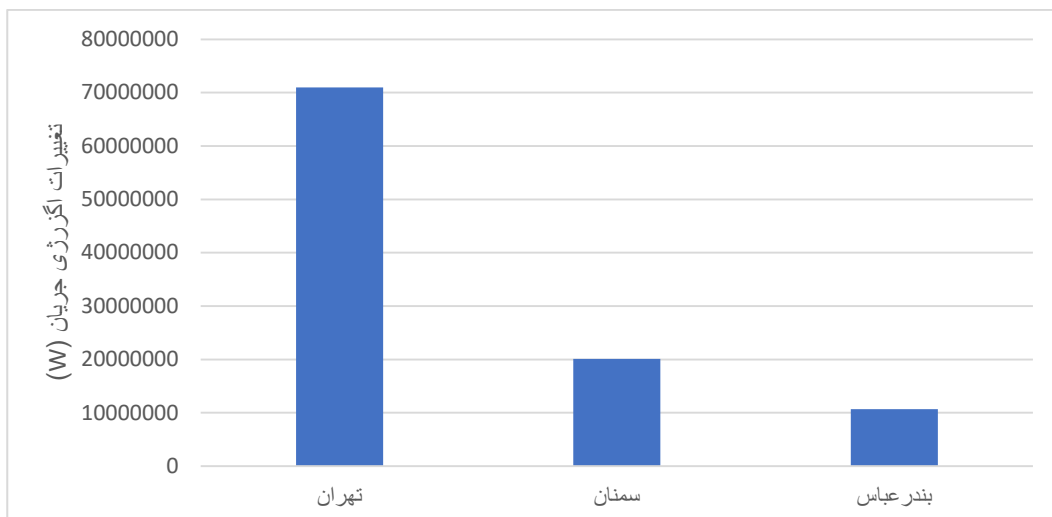
در ابعاد یک نیروگاه دودکش خورشیدی بهینه برای شهر بندر عباس ارتفاع دودکش برابر با ۸۲۳/۳۵۳ متر و قطر کلکتور برابر با ۱۵۴۴/۸۲۳ متر خواهند بود. با این ابعاد و در شرایط آب و هوایی شهر بندر عباس، یک نیروگاه دودکش خورشیدی می تواند ۱۶۷/۱۸۳ مگاوات توان تولید کند. ارتفاع دودکش در این مورد حدود ۱۵ متر و قطر کلکتور حدود ۲۶۳ متر بیشتر از طراحی بهینه برای شهر سمنان است. این در حالی است که با این اختلاف در ابعاد، نیروگاه طراحی شده برای شهر بندر عباس تنها حدود ۴٪ (۷ مگاوات) توان بیشتری را تولید می کند. نتایج دیگری نیز می توان از موارد ذکر شده در این بخش استخراج کرد. با در نظر گرفتن نمودارهای جبهه پارتو می توان به طور کلی این نتیجه را گرفت که تخریب انرژی نه تنها به خودی خود عنصر نامطلوبی است، بلکه بر پارامترهای اقتصادی نیز تأثیر گذار است و افزایش آن اثرات نامطلوبی در زمینه های اقتصادی طرح دارد.

در انتها لازم به ذکر است که توان خروجی بیشتر از ۱۰۰ مگاوات در چنین مقیاس های بزرگ نیروگاه های دودکش خورشیدی کاملاً رایج بوده و مطالعات فراوانی در این محدوده توانی انجام گردیده اند (۵۱-۵۴).

۴-۶- بررسی عملکرد اگزرتا کونومیک نیروگاه در شرایط بهینه

با مقایسه حالات بهینه نیروگاه دودکش خورشیدی در سه شهر مورد بررسی، بالاترین میزان توان تولیدی به ترتیب مربوط به شهرهای بندر عباس و سمنان است و کمترین مقدار توان تولیدی در شهر تهران خواهد بود. در مورد میزان تخریب اگزرتی نیز همین روند تکرار می شود. اما افزایش تخریب اگزرتی به عنوان عاملی نامطلوب شناخته می شود. البته تفاوت چشم گیری در مقدار تخریب اگزرتی بین سه شهر مورد مطالعه مشاهده نمی شود. واضح است که مقدار تخریب اگزرتی با ابعاد نیروگاه رابطه مستقیم دارد که این مسأله با توجه به قوانین مربوط به انرژی و اگزرتی کاملاً منطقی است. اما در مورد مقدار ارزش خالص فعلی ترتیب متفاوتی برقرار است. بعد از کاکرد ۲۵ سال عمر مفید نیروگاه، مقدار ارزش خالص فعلی شهر سمنان و سپس با اختلاف کمی شهر تهران دارای بیشترین مقادیر هستند و کمترین مقدار مربوط به شهر بندر عباس است.

برای مقایسه بهتر طراحی بهینه نیروگاه ها در سه شهر مختلف، در ادامه هر یک از پارامترهای میزان اختلاف در اگزرتی جریان، اگزرتی حرارتی، اگزرتی کار بین ورودی و خروجی نیروگاه، میزان تخریب اگزرتی کلی و نیز ارزش خالص فعلی مورد بررسی قرار می گیرند. شکل زیر میزان اختلاف اگزرتی حرارتی بین ورودی و خروجی نیروگاه را نمایش می دهد.



شکل ۴-۱۲- مقایسه میزان اختلاف انرژی جریان نیروگاه در ورودی و خروجی

همانگونه که از شکل بالا مشاهده می شود، برای تمامی شهرها میزان انرژی جریان در خروجی نیروگاه بیشتر از ورودی است. این مسئله عمدتاً به دلیل بالا رفتن دمای هوا درون نیروگاه است که منشأ آن انرژی حرارتی ورودی خورشید می باشد. این اختلاف دما برای هریک از شهرهای مورد مطالعه در جدول زیر نمایش داده شده است.

جدول ۴-۱۱- مقادیر دما در ورودی و خروجی نیروگاه های بهینه برای شهرهای مورد مطالعه

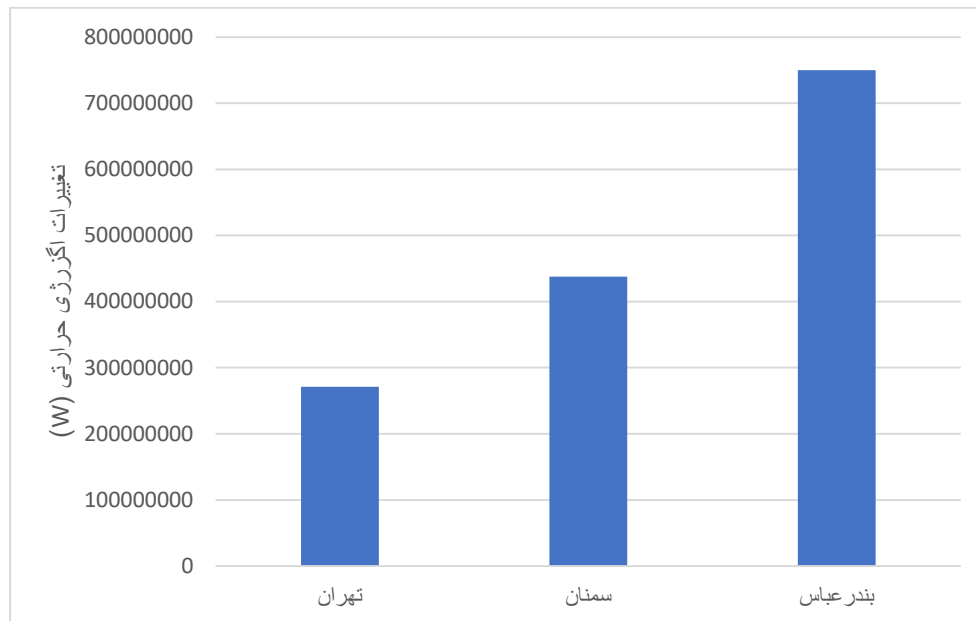
شهر	دما در ورودی نیروگاه (°C)	دما در خروجی نیروگاه (°C)
تهران	۳۶/۵۱	۸۹۶/۹۱
سمنان	۳۸/۴۷	۸۵۷/۳۲
بندرعباس	۳۹/۶۱	۷۱۲/۶۵

همانگونه که از جدول بالا مشخص است، در نیروگاه طراحی شده در شهر بندر عباس، کمترین افزایش دما در خروجی نیروگاه و همچنین کمترین میزان اختلاف دمای ورودی و خروجی مشاهده می شود.

با توجه به شکل و جدول بالا، بیشترین میزان اختلاف انرژی جریان مربوط به شهر تهران می باشد. این مسئله به این مفهوم است که در خروجی نیروگاه جریان دارای انرژی بسیار بیشتری است و از این محتوی انرژی جریان به خوبی استفاده نشده است. کمترین مقدار

اختلاف آگرژی جریان نیز مربوط به شهر بندر عباس است که نشان می دهد آگرژی جریان با بازدهی بیشتری تبدیل به کار شده است.

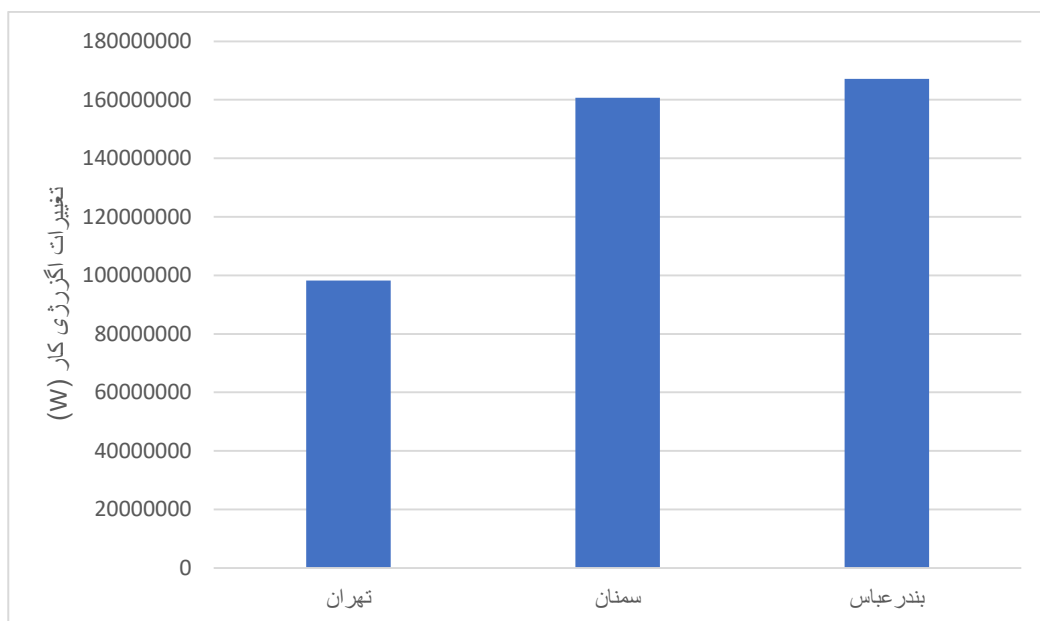
شکل زیر میزان تغییرات آگرژی حرارتی را به صورت میزان آگرژی حرارتی ورودی به نیروگاه نمایش می دهد.



شکل ۴-۱۳- مقایسه میزان آگرژی حرارتی ورودی به نیروگاه

همانگونه که از شکل بالا مشخص است، بیشترین میزان آگرژی حرارتی ورودی به نیروگاه مربوط به شهر بندرعباس است و اختلاف بسیاری نسبت به دو شهر دیگر دارد. کمترین میزان آگرژی حرارتی ورودی نیز مربوط به شهر تهران می باشد. دلیل این رفتار کاملاً مشخص است. در شهر بندر عباس علاوه بر شرایط محیطی مناسب تر، از جمله دمای بیشتر محیط و میزان شدت تابش بیشتر، ابعاد نیروگاه نیز مقادیر بزرگتری نسبت به دو شهر دیگر دارد. خلاف همین موضوع در مورد شهر تهران صادق است و موجب می شود کمترین میزان آگرژی حرارتی ورودی به نیروگاه مربوط به این شهر باشد.

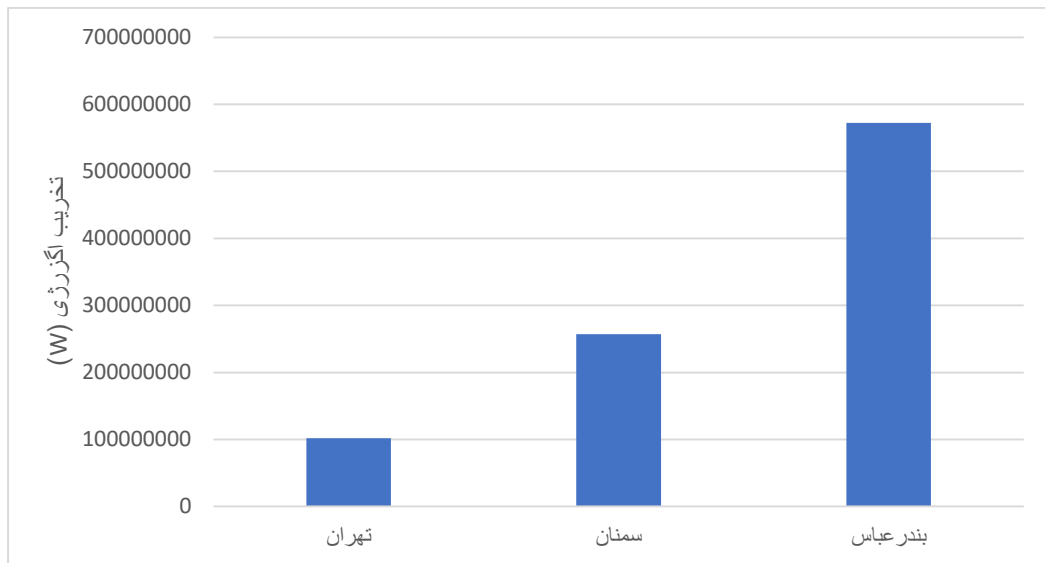
شکل زیر میزان تغییرات آگرژی کار را به صورت آگرژی کار خروجی از نیروگاه نمایش می دهد.



شکل ۴-۱۴- مقایسه میزان انرژی کار خروجی از نیروگاه

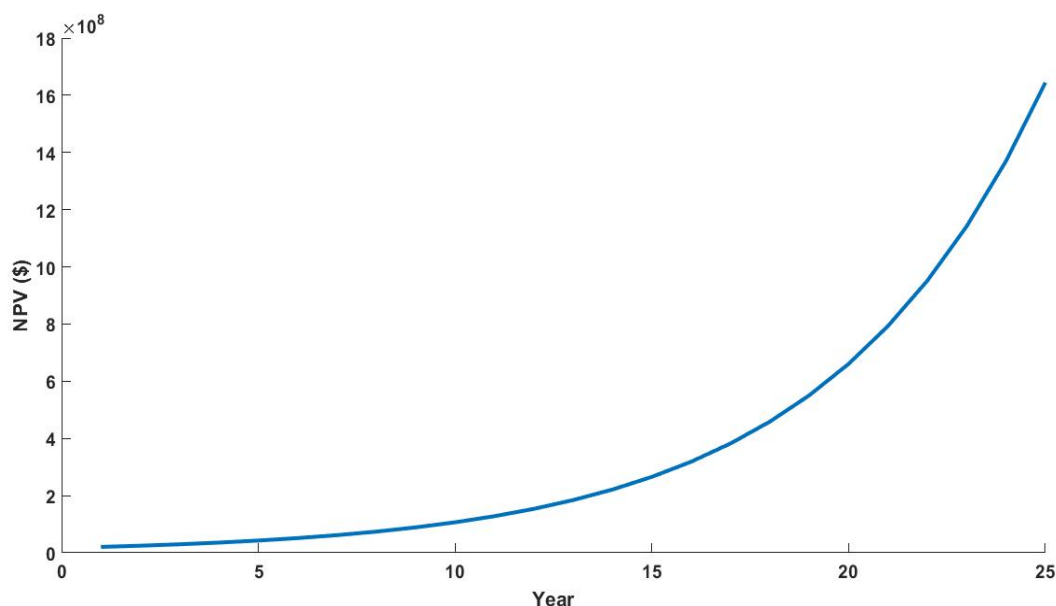
این پارامتر که برابر با میزان توان خروجی نیروگاه است، مجدداً در مورد شهر بندر عباس دارای بیشترین مقدار است. پس از آن نیروگاه شهر سمنان با اختلاف کمی در رتبه دوم توان تولیدی قرار می‌گیرد. شهر تهران نیز مجدداً دارای کمترین میزان این پارامتر است. بدون در نظر گرفتن مقدار تخریب انرژی، رفتار این پارامتر را به طور کلی می‌توان توجیه کرد. در مورد نیروگاه واقع در شهر بندر عباس، بیشترین انرژی حرارتی دریافتی وجود دارد و کمترین مقدار انرژی حرارتی به انرژی جریان تبدیل شده است. بنابراین مشخصاً بیشترین میزان انرژی کار را تولید می‌کند. شهر سمنان در مورد انرژی های حرارتی و جریان در یک جایگاه میانگین قرار دارد و میزان انرژی کار تولیدی آن نیز بین دو شهر تهران و بندر عباس خواهد بود. به همین ترتیب، شهر تهران با کمترین میزان انرژی حرارتی ورودی و بیشترین میزان تبدیل این انرژی به انرژی جریان، کمترین میزان انرژی کار خروجی را نتیجه می‌دهد.

دلیل تفاوت کم بین دو شهر بندرعباس و سمنان مشخصاً ناشی از میزان تخریب انرژی است. به همین منظور شکل زیر میزان تخریب انرژی را برای سه شهر مورد مطالعه نمایش می‌دهد.



شکل ۴-۱۵- مقایسه میزان تخریب انرژی نیروگاه ها

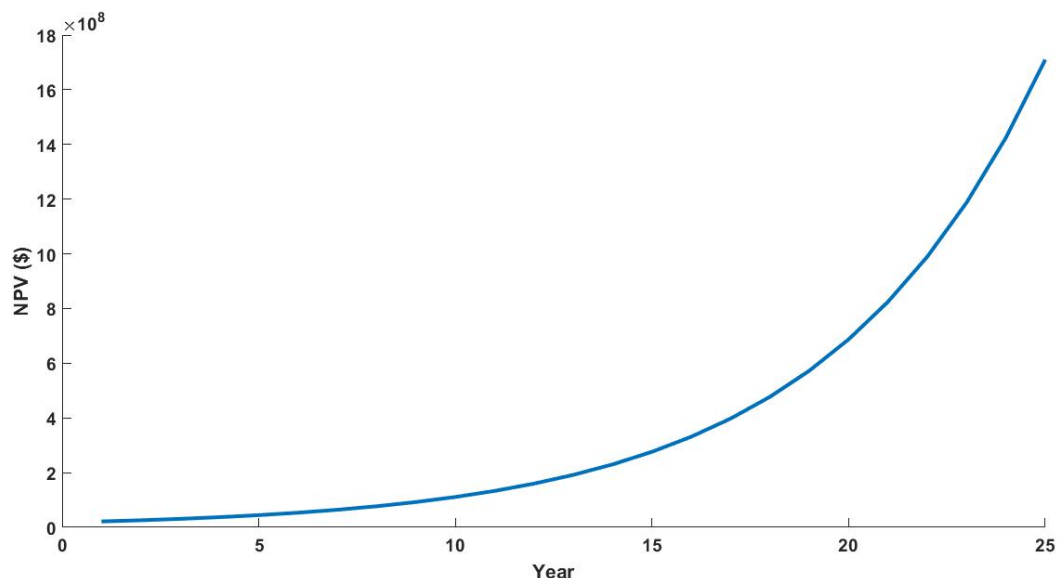
شکل بالا نشان می دهد که شهر بندر عباس دارای بیشترین میزان تخریب انرژی است و اختلاف زیادی نسبت به دو شهر دیگر دارد. این مسأله رفتار انرژی کار و نزدیک بودن مقدار آن برای دو شهر بندر عباس و سمنان را توجیه می کند. دلیل اختلاف زیاد میزان تخریب انرژی شهر بندر عباس با دو شهر دیگر عمدتاً ناشی از دو پارامتر مجزا است. در ابتدا همانطور که در بخش اثر فشار محیطی بررسی شد، به دلیل اختلاف زیاد فشار محیط در شهر بندر عباس نسبت به دو شهر دیگر، میزان تخریب انرژی در مورد نیروگاه واقع در این شهر بیشتر خواهد بود. از طرف دیگر بزرگتر بودن ابعاد نیروگاه نیز دلیل مهمی برای افزایش میزان تخریب انرژی می باشد. مسائلی مانند اصطکاک سطوح روی این موضوع تأثیرگذار هستند. پس از موارد مربوط به عملکرد فیزیکی نیروگاه، مسائل اقتصادی نیز مورد بررسی قرار گرفته اند. همانطور که در فصل گذشته اشاره شد، پارامتر میزان ارزش خالص فعلی برای بررسی اقتصادی نیروگاه ها در نظر گرفته شده است. شکل زیر میزان این پارامتر را در طول ۲۵ سال عمر مفید نیروگاه برای شهر تهران نمایش می دهد.



شکل ۴-۱۶- مقدار ارزش خالص فعلی در طول ۲۵ سال برای نیروگاه دودکش خورشیدی تهران

در مورد نیروگاه طراحی شده برای شهر تهران مشاهده می شود که در حدود ۱۰ سال اول میزان ارزش خالص فعلی رشد چشم گیری ندارد و این به دلیل میزان سرمایه اولیه بالایی است که ساخت یک نیروگاه دودکش خورشیدی به این ابعاد، نیاز دارد. در سال اول مقدار ارزش خالص فعلی نیروگاه برابر با ۲۰/۶ میلیون دلار می باشد. پس از این دوره زمانی میزان این پارامتر رشد چشمگیری پیدا می کند و با گذشت بیشتر زمان این رشد بیشتر نیز خواهد بود. اما عمر مفید نیروگاه ۲۵ سال است و نمی توان انتظار بیشتری از نیروگاه پس از این مدت زمانی داشت. مقدار ارزش خالص فعلی پس از گذشت این مدت زمان برابر با ۱/۴ میلیارد دلار است که از نظر اقتصاد مقدار بسیار قابل توجهی می باشد.

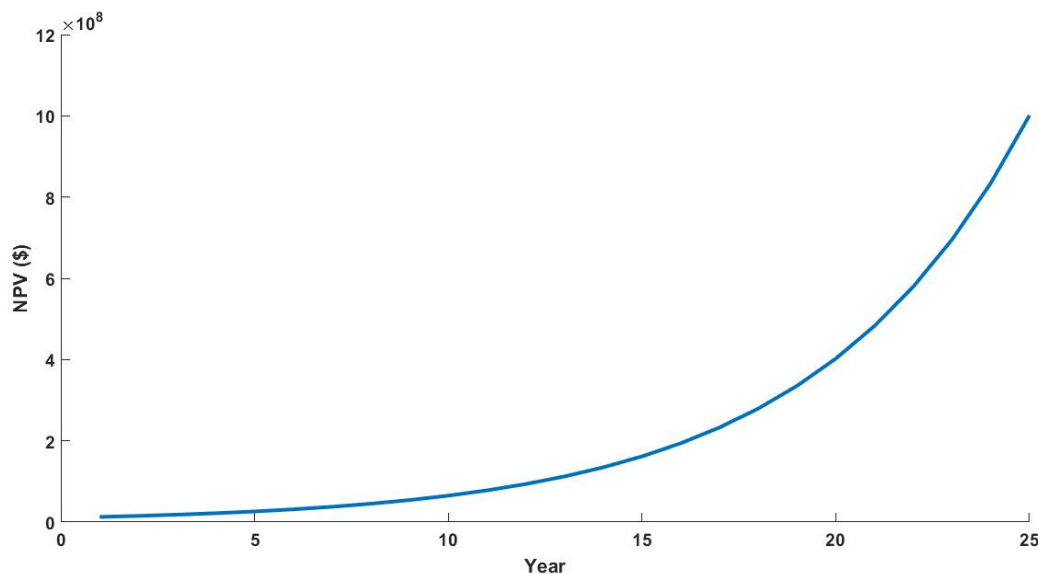
شکل زیر مقدار پارامتر مذکور را برای شهر سمنان نمایش می دهد.



شکل ۴-۱۷- مقدار ارزش خالص فعلی در طول ۲۵ سال برای نیروگاه دودکش خورشیدی سمنان

در مورد شهر سمنان، مقدار پارامتر ارزش خالص فعلی پس از حدود ۱۳ سال آغاز به رشد فراینده می کند. این روند نسبت به شهر تهران دیرتر آغاز می شود اما شدت رشد آن بیشتر بوده و در نهایت مقدار ارزش خالص فعلی برای این شهر نیز بیشتر از این پارامتر برای شهر تهران است. دلیل این امر ابعاد بزرگتر نیروگاه سمنان است که در ابتدا هزینه سرمایه گذاری بیشتری نیاز دارد، ولی در ادامه میزان انرژی الکتریکی بیشتری نیز تولید می کند. در مورد طراحی بهینه نیروگاه خورشیدی در شهر سمنان، پس از گذشت یک سال مقدار ارزش خالص فعلی برابر با ۲۱/۵ میلیون دلار و پس از گذشت ۲۵ سال، این مقدار برابر با ۱/۷ میلیارد دلار است.

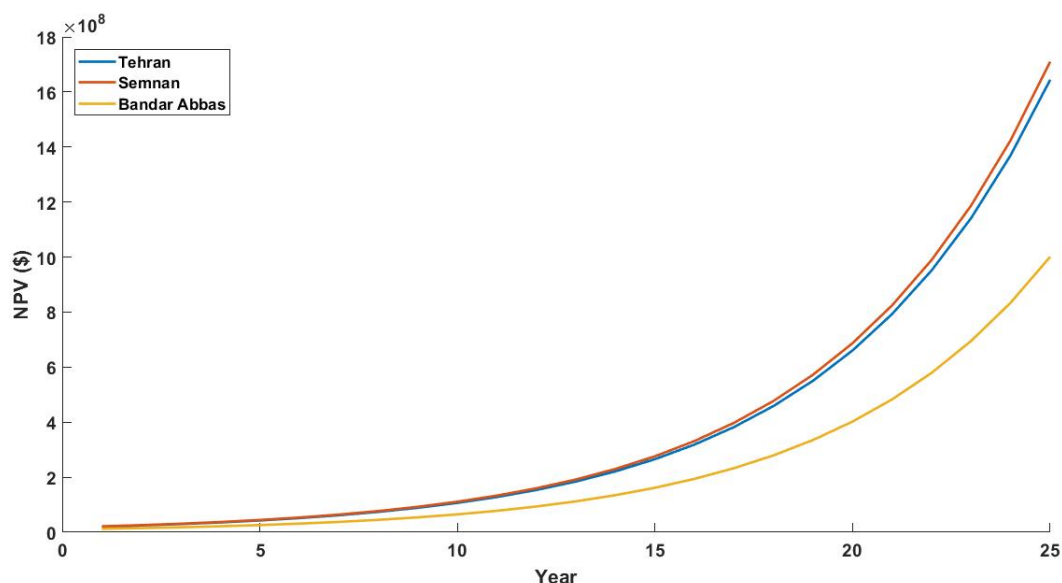
در ادامه، شکل زیر میزان ارزش خالص فعلی را برای شهر بندر عباس در طول ۲۵ سال عمر مفید نیروگاه دودکش خورشیدی نمایش می دهد.



شکل ۴-۱۸- مقدار ارزش خالص فعلی در طول ۲۵ سال برای نیروگاه دودکش خورشیدی بندر عباس

مشابه شهر سمنان، نیروگاه دودکش خورشیدی شهر بندر عباس به دلیل ابعاد بزرگتر و سرمایه اولیه مورد نیاز بیشتر پس از مدت زمان بیشتری روند صعودی خود را آغاز می کند. در مورد این نیروگاه توان بیشترین مقدار توان تولید می گردد و بنابراین بیشترین میزان درآمد از فروش برق به شبکه حاصل می شود. اما تفاوت چشم گیری میان توان تولیدی بین این نیروگاه با دو نیروگاه دیگر و به ویژه نیروگاه طراحی شده در شهر سمنان وجود ندارد. در عین حال ابعاد این نیروگاه بسیار بزرگتر از دو نیروگاه دیگر بوده و بنابراین هزینه اولیه و هزینه های جاری از جمله هزینه های عملکرد و نگهداری بسیار بیشتری را به خود اختصاص می دهد. بنابراین ارزش خالص فعلی این نیروگاه دارای مقادیر کمتری نسبت به دو نیروگاه دیگر است. پس از گذشت یک سال از عملکرد نیروگاه، مقدار ارزش خالص فعلی برابر با ۱۲/۷ میلیون دلار و مقدار آن پس از ۲۵ سال برابر با ۱/۰ میلیارد دلار است.

برای مقایسه بهتر سه شهر مورد مطالعه در مورد پارامتر میزان ارزش خالص فعلی، شکل زیر نمودار مربوطه به این سه شهر را به صورت همزمان نمایش می دهد.



شکل ۴-۱۹- مقدار ارزش خالص فعلی در طول ۲۵ سال برای نیروگاه دودکش خورشیدی بندر عباس، سمنان و تهران

همانگونه که از شکل بالا مشخص است، برای طراحی های بهینه نیروگاه دودکش خورشیدی در دو شهر تهران و سمنان اختلاف بسیار کمی در پارامتر ارزش خالص فعلی مشاهده می شود. در طول ۲۵ سال عملکرد نیروگاه، شهر سمنان همواره دارای بیشترین مقدار ارزش خالص فعلی می باشد. در نقطه مقابل شهر بندرعباس قرار دارد که در تمام طول این مدت با اختلاف قابل توجهی نسبت به دو شهر دیگر همواره دارای کمترین مقدار این پارامتر است. بنابراین از دیدگاه اقتصادی، طراحی بهینه مربوط به شهر سمنان بهترین عملکرد را از خود نشان می دهد.

در حالت کلی می توان گفت که شهر سمنان محل مناسب تری برای احداث نیروگاه دودکش خورشیدی است. در مورد این شهر، میزان تخریب آگرژی نیروگاه در حالت بهینه بین دو نیروگاه در دو شهر دیگر قرار دارد. در مورد میزان توان تولیدی نیز همین شرایط صادق است، اما اختلاف بسیار کمی در توان تولیدی این نیروگاه با نیروگاه طراحی شده در شهر بندر عباس وجود دارد (حدود ۰.۴٪). اما میزان سودآوری پروژه در این شهر نسبت به شهر بندر عباس طور قابل ملاحظه ای بهتر است.

فصل پنجم

نتایج حاصل از مدلسازی

۵-۱ مقدمه

در پژوهش حاضر بهینه سازی چند هدفه اگزرژواکونومیک نیروگاه دودکش خورشیدی در سه شهر تهران، سمنان و بندر عباس مورد بحث و بررسی قرار گرفت. دو هدف برای بهینه سازی نیروگاه تعریف گردید که شامل توان تولیدی (اگزرژی کار) بالا و همچنین میزان ارزش خالص نیروگاه هستند. همچنین دو پارامتر قطر کلکتور و ارتفاع دودکش که مؤثرترین پارامترها در طراحی و همچنین عملکرد یک نیروگاه دودکش خورشیدی هستند، در فرآیند بهینه سازی مورد مطالعه قرار گرفتند. با در نظر گرفتن معادلات ترمودینامیکی و اقتصادی حاکم و با بهره گرفتن از ابزار الگوریتم ژنتیک چند هدفه نرم افزار MATLAB، برای هر شهر یک حالت بهینه طراحی نیروگاه دودکش خورشیدی تعیین گردید. در ادامه خلاصه ای از نتایج مهم این پژوهش و نیز پیشنهاداتی برای مطالعات آینده مطرح می گردند.

۵-۲ نتایج تحقیق

- اهم نتایج این تحقیق را می توان به صورت زیر خلاصه کرد:
- با جمع آوری روابط ترمودینامیکی و فیزیکی حاکم بر نیروگاه های دودکش خورشیدی، روشی نوین برای طراحی کامل یک نیروگاه از نقطه آغاز تا نقطه پایان معرفی گردید.
 - در روش ارائه شده، تمامی پارامترهای عملکردی نیروگاه وابسته به قطر کلکتور و ارتفاع دودکش خورشیدی می باشند.
 - با استفاده از داده های موجود اقتصادی، روابطی برای تعیین سرمایه اولیه مورد نیاز یک نیروگاه دودکش خورشیدی معرفی گردید.
 - با توجه به نقشه تابش خورشیدی کشور ایران، سه شهر مختلف با شرایط اقلیمی گوناگون به عنوان مطالعه موردی مد نظر قرار گرفتند. این سه شهر شامل شهر های تهران، سمنان و بندر عباس هستند.
 - همچنین روز ۱۵ مرداد ماه که روز میانی تابستان است به عنوان مبنای محاسبات در نظر گرفته شد. دلیل انتخاب این روز دارا بودن بیشترین میزان تابش و دمای محیط است که برای عملکرد یک نیروگاه خورشیدی شرایط مطلوبی را ایجاد می کند.

- داده های آب و هوایی مربوطه برای هر یک از سه شهر مذکور از وب سایت سازمان هواشناسی استخراج شدند و مشخص گردید از نظر عوامل محیطی، شهر بندر عباس در شرایط بهتری نسبت به دو شهر دیگر قرار دارد.
- با توجه به اختلاف زیاد فشار هوای محیط در شهر بندر عباس نسبت به دو شهر تهران و سمنان، اثر فشار محیط روی عملکرد نیروگاه دودکش خورشیدی مورد بررسی قرار گرفت.
- برای بررسی اثر فشار محیط روی عملکرد نیروگاه، سه حالت متفاوت از طراحی های متداول نیروگاه های دودکش خورشیدی برای هر سه شهر مورد مطالعه، در نظر گرفته شدند.
- با بهره گیری از روابط ترمودینامیکی مشخص گردید که افزایش فشار محیط در میزان توان خروجی از سیستم تأثیر چندانی ندارد. این موضوع به این دلیل است که میزان افزایش فشار مربوط به هر دو بخش ورودی و خروجی نیروگاه است.
- از طرف دیگر مشخص گردید که افزایش فشار موجب افزایش میزان تخریب اگزرژی نیروگاه می شود که این مسأله به عنوان یک امتیاز منفی در مورد شهر بندر عباس محسوب می گردد.
- پس از تعیین اثر فشار، با استفاده از روابط ترمودینامیکی و اقتصادی ارائه شده و نیز بهره گیری از جعبه ابزار بهینه سازی نرم افزار MATLAB و با روش بهینه سازی چند هدفه الگوریتم ژنتیک، طراحی های بهینه نیروگاه دودکش خورشیدی برای هر یک از سه شهر تهران، سمنان و بندر عباس مشخص شدند.
- در فرآیند بهینه سازی دو تابع میزان اگزرژی کار نیروگاه دودکش خورشیدی (توان خروجی از نیروگاه) و همچنین میزان ارزش خالص فعلی آن به عنوان توابع هدف بهینه سازی انتخاب شدند. که هدف نهایی آن یافتن طراحی بهینه ای است که به طور همزمان دارای بیشترین مقدار توان خروجی و بیشترین مقدار سودآوری باشد.
- پارامتر های بهینه سازی شامل دو پارامتر قطر کلکتور و ارتفاع دودکش هستند که بر تمام سایر پارامترهای طراحی و نیز نحوه عملکرد نیروگاه و همچنین هزینه های مربوطه تأثیرگذار هستند.

- طراحی های بهینه برای هر شهر با استفاده از روش بیان شده مشخص گردید.
- طراحی بهینه نیروگاه دودکش خورشیدی برای شهر تهران: قطر کلکتور ۱۰۷۰/۷۴۰ متر و ارتفاع دودکش ۷۳۳/۲۴۲ متر
- طراحی بهینه نیروگاه دودکش خورشیدی برای شهر سمنان: قطر کلکتور ۱۲۸۱/۱۹۶ متر و ارتفاع دودکش ۸۰۷/۳۴۳ متر
- طراحی بهینه نیروگاه دودکش خورشیدی برای شهر بندر عباس: قطر کلکتور ۱۵۴۴/۸۲۳ متر و ارتفاع دودکش ۸۲۳/۳۵۳ متر
- با تعیین طراحی بهینه مربوط به هر شهر، با استفاده از روابط ارائه شده تحلیل اگزرواکونومیک هر نیروگاه با استفاده از روابط معرفی شده انجام گرفت.
- پارامتر های اگزرژی جریان، اگزرژی حرارتی، اگزرژی کار، تخریب اگزرژی و نیز میزان ارزش خالص فعلی تعیین گردیدند.
- طراحی بهینه مربوط به شهر بندر عباس بیشترین مقادیر اگزرژی حرارتی ورودی و اگزرژی کار خروجی را به خود اختصاص داد.
- بیشترین میزان تخریب اگزرژی نیز مربوط به طراحی بهینه شهر بندر عباس است که به دلیل ابعاد بزرگتر نیروگاه و همچنین فشار محیطی بیشتر نسبت به دو شهر دیگر می باشد.
- کمترین مقدار ارزش خالص فعلی پس از ۲۵ سال عمر مفید نیروگاه نیز مربوط به طراحی بهینه شهر بندر عباس است. ابعاد بسیار بزرگتر و نیز میزان تخریب انرژی بیشتر این نیروگاه نسبت به طراحی های مربوط به دو شهر دیگر دلیل این مسأله است.
- شهر تهران با داشتن میزان تابش کمتر، دمای محیط کمتر و همچنین ابعاد کوچکتر نیروگاه، بین سه شهر مورد مطالعه کمترین میزان اگزرژی حرارتی ورودی و اگزرژی کار خروجی را به خود اختصاص داده است.
- شهر سمنان از نظر عملکردی نیروگاه در جایگاهی ما بین دو شهر بندرعباس و تهران قرار دارد. اما بیشترین میزان ارزش خالص فعلی در تمام مدت ۲۵ سال عمر مفید نیروگاه مربوط به این شهر می باشد.

۵-۳-پیشنهادات

مواردی که در این تحقیق از آنها صرف نظر شده است می توانند به عنوان پیشنهاداتی برای بهبود این پژوهش و نیز مطالعات آینده مطرح شوند. این پیشنهادات به شرح زیر می باشند. بررسی اثرات پارامترهای مختلف سیستم در عملکرد نیروگاه از جمله:

- اصطکاک موجود در کلکتور و دودکش
- جنس دودکش
- ضخامت دودکش
- کیفیت شیشه سقف کلکتور
- ضخامت شیشه سقف کلکتور
- میزان گذردهی سقف کلکتور
- شکل و چیدمان سقف کلکتور
- میزان جذب حرارتی و تشعشعی زمین زیر کلکتور
- زبری زمین زیر کلکتور
- انواع مختلف جنس زمین زیر کلکتور

بررسی اثرات محیطی در عملکرد نیروگاه شامل:

- رطوبت هوا در ورودی و خروجی نیروگاه
- سرعت باد در ورودی و خروجی نیروگاه
- پدیده وارونگی هوا

بررسی عملکرد نیروگاه با مفروضات زیر:

- تغییرات در حالت جریان به صورت ناپایدار
- تغییرات دما و فشار محیط و تابش خورشید در طول روز در مدت یک سال

فهرست منابع

۱-لواسانی، آرش میر عبدالله، محمدی، مهرداد، مهدی پور، رامین، ۱۳۹۴، تحلیل عددی خصوصیات جریان هوا در دودکش خورشیدی با حضور لایه گیاهی، نشریه پژوهشی مهندسی مکانیک ایران، سال هفدهم، شماره دوم، ۶-۲۲.

2-Yeong-Chau Kuo, Tsorng-Juu Liang, and Jiann-Fuh Chen, "Novel Maximum-Power-Point-Tracking Controller for Photovoltaic Energy Conversion System", IEEE Trans. on Industrial Electronics, Vol. 48, No. 3, 2001.

۳-شهرتی، وحید، عامری، محمد، حاتمی، احمد، ۱۳۹۰، امکان سنجی فنی و اقتصادی احداث نیروگاه دودکش خورشیدی مناسب مناطق کویری ایران، پایان نامه کارشناسی ارشد دانشگاه صنعت آب و برق (شعید عباسپور)، دانشکده مهندسی مکانیک.

۴-منصوری، سید حسین، عامری، مهران، غلامعلی زاده، احسان، ۱۳۹۰، تجزیه و تحلیل نیروگاه دودکش خورشیدی، پایان نامه کارشناسی ارشد دانشگاه شهید باهنر کرمان، دانشکده فنی و مهندسی.

۵-موسوی، م.، "مدیریت انرژی در ایستگاههای پمپاژ وسیستمهای آبیاری تحت فشار،" سمینار علمی طرح ملی آبیاری تحت فشار و توسعه پایدار، ۳۰-۱۹.

۶-محمدی، ع. ا.، (۱۳۸۳)، "گفتگو با دکتر محمود ثقفی درباره انرژیهای تجدیدپذیر نوین و راه‌حلهای بحران انرژی،" روزنامه همشهری.

۷-مرکز پژوهش‌های مجلس شورای اسلامی.

8-Darkazalli, G. and Nowlan, M., (1996), "Photovoltaic Manufacturing in Developing Countries," Spire Corporation, One PatriotsPark, Bedford, MA 01730-2396, USA.

۹-الهامی امیری، علیرضا، نجار احمدی، بهنام، ۱۳۹۵، بررسی تاثیرات تغییر ارتفاع دودکش، در عملکرد نیروگاه دودکش خورشیدی با استفاده از دینامیک سیالات محاسباتی، مجله مهندسی مکانیک، شماره ۷۶، جلد ۴۶، شماره ۳، ۲۱-۳۱.

10 - Gannon A., Backstrom J., Solar Chimney Cycle Analysis with System Loss and Solar Collector Performance, Int. J. of Solar Energy engineering, Vol. 122, pp. 133-137, 2000.

11 - Ruprecht A., Stromung Stechnische Gestaltung eines Aufwin dkrafwerks (fluid dynamic design of a solar updraft power plant), Proceedings of the International Symposium uber Anwendungen der Informatik und Mathematik

in Architektur und Bauwesen, June 10-12 , Bauhaus - University Weimar, Germany, 2003.

12 - Dos santos B. , Weinrebe G. , "Thermal and technical analysis of solar chimney" Int. J. of Solar Energy , vol.75 , pp. 511-524 , 2003.

۱۳- کلتی، محمد، رضوی نوری، میلاد، عاکف، محمدرضا، ۱۳۹۳، بررسی عملکرد نیروگاه دودکش خورشیدی شیب دار و معمولی در اقلیم های مختلف ایران، مجله علمی پژوهشی مکانیک سازه ها و شاره ها، دوره ۴، شماره ۳، ۱۳۷-۱۴۶

۱۴- فلاح، سید حسین، ولی پور، محمد صادق، ۱۳۹۵، مدل سازی ریاضی نیروگاه دودکش خورشیدی برای وضعیت آب و هوایی شهر سمنان، جلد ۶، شماره ۱، ۷۰-۸۳.

۱۵- صادقیان، مسعود، مصطفایی، عبدالله، فرهمند، محمدرضا، ۲۰۱۰، دودکش خورشیدی راهکاری برای کاهش آلودگی هوای تهران، بیست و پنجمین کنفرانس بین المللی برق، تهران.

16- Koonsrisuk, A. and T. Chitsomboon, *Dynamic similarity in solar chimney modeling*. Solar Energy, 2007. **81**(12): p. 1439-1446.

17- Zhou, X., et al., *Experimental study of temperature field in a solar chimney power setup*. Applied Thermal Engineering, 2007. **27**(11): p. 2044-2050.

18- Hamdan, M.O., *Analysis of a solar chimney power plant in the Arabian Gulf region*. Renewable Energy, 2011. **36**(10): p. 2593-2598.

19- Fluri, T. and T. Von Backström, *Performance analysis of the power conversion unit of a solar chimney power plant*. Solar Energy, 2008. **82**(11): p. 999-1008.

20- Hamdan, M.O., *Analysis of solar chimney power plant utilizing chimney discrete model*. Renewable energy, 2013. **56**: p. 50-54.

21- Maia, C.B., et al., *Energy and exergy analysis of the airflow inside a solar chimney*. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2013. **27**: p. 350-361.

22- [https:// www.google.com](https://www.google.com).last update 3/5/2018

23- <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.11.068>

24- Zhou, X., et al., *Performance of solar chimney power plant in Qinghai-Tibet Plateau*. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2010. **14**(8): p. 2249-2255.

25- Larbi, S., A. Bouhdjar, and T. Chergui, *Performance analysis of a solar chimney power plant in the southwestern region of Algeria*. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2010. **14**(1): p. 470-477.

26- Schlaich, J., *The Solar Chimney: Electricity from the Sun*. 1995: National Book Network.

27- Çengel, Y.A. and M.A. Boles, *Thermodynamics: An Engineering Approach*. 2011: McGraw-Hill.

28- Holman, J.P., *Heat transfer*. 6th. ed. 1986, Santa Fe: McGraw-Hill Interamericana.

- 29- Al Alawin, A., et al., *Feasibility study of a solar chimney power plant in Jordan*. Applied Solar Energy, 2012. **48**(4): p. 260.
- 30- Upadhyay, I., H.G. Vishwakarma, and A.G. Bhawe, *Design and Development of Solar Chimney*. International Journal of Science and Research, 2015. **4**(12): p. 1652-1657.
- 31- Himmelblau, D.M. and J.B. Riggs, *Basic Principles and Calculations in Chemical Engineering*. 2012: Prentice Hall.
- 32- Munson, B.R., et al., *Fundamentals of Fluid Mechanics*. 2013: Wiley.
- 33- Lodhi, M.A.K., *Application of helio-aero-gravity concept in producing energy and suppressing pollution*. Energy Conversion and Management, 1999. **40**(4): p. 407-421.
- 34- Xinshi, G. and Y. Hong, *Solar chimney electric generating system and analysis of its intrinsic thermodynamic defect*. Acta energiae solaris sinica, 2004. **25**: p. 263-268.
- 35- Ali, M.H., *Analysis Study of Solar Tower Power Plant & Its Configuration Effects on Its Performance in Iraq (Baghdad City)*. Modern Applied Science, 2013. **7**(4).
- 36- Zhou, X., et al., *Analysis of chimney height for solar chimney power plant*. Applied Thermal Engineering, 2009. **29**(1): p. 178-185.
- 37- Zhou, X., et al., *Special Climate around a Commercial Solar Chimney Power Plant*. Journal of Energy Engineering, 2008. **134**(1): p. 6-14.
- 38- White, F.M., *Fluid Mechanics*. 2011: McGraw Hill.
- 39- Bejan, A., *Advanced Engineering Thermodynamics*. 2016: Wiley.
- 40- Zhou, X., et al., *Economic analysis of power generation from floating solar chimney power plant*. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2009. **13**(4): p. 736-749.
- 41- Central Bank of the Islamic Republic of Iran. [cited 2017 19/08/2017].
- 42- Schlaich, J.r., et al., *Design of Commercial Solar Tower Systems: Utilization of Solar Induced Convective Flows for Power Generation*. 2003: p. 573-581.
- 43- Fluri, T.P., et al., *Cost analysis of solar chimney power plants*. Solar Energy, 2009. **83**(2): p. 246-256.
- 44- Akhtar, Z. and K.V.S. Rao, *Estimation of levelized electricity cost of solar chimney power plant in India by using approximate cost model of Pretorius and Kroger*. 2016: p. 276-279.
- 45- Renewable Energy and Energy Efficiency Organization (SATBA). [cited 2017 19/08/2017]
- 46- Bano, T. and K.V.S. Rao, *Levelized Electricity Cost of Five Solar Photovoltaic Plants of Different Capacities*. Procedia Technology, 2016. **24**: p. 505-512.
- 47- Maia, C.B., et al., *Energy and exergy analysis of the airflow inside a solar chimney*. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2013. **27**: p. 350-361.

- 48- Zhou, X., et al., *Performance of solar chimney power plant in Qinghai-Tibet Plateau*. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2010. **14**(8): p. 2249-2255.
- 49- Okoye, C.O., O. Solyali, and O. Taylan, *A new economic feasibility approach for solar chimney power plant design*. Energy Conversion and Management, 2016. **126**: p. 1013-1027.
- 50- *Solargis website*. [cited 2017 13/08/2017]; Available from: <http://solargis.com>.
- 51- Schlaich, J., et al., *Design of commercial solar tower systems–utilization of solar induced convective flows for power generation*. solar energy, 2005. **10**: p. 1.
- 52- Von Backström, T.W. and T.P .Fluri, *Maximum fluid power condition in solar chimney power plants–an analytical approach*. Solar Energy, 2006. **80**(11): p. 1417-1423.
- 53- Zhou, X., et al., *Economic analysis of power generation from floating solar chimney power plant*. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2009. **13**(4): p. 736-749.
- 54- Zhou, X., F. Wang, and R.M. Ochieng, *A review of solar chimney power technology*. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2010. **14**(8): p. 2315-2338.

Abstract

In the present study, the multi-objective optimization exergoeconomic of the solar chimney in three cities of Tehran, Semnan and Bandar Abbas has been discussed. Two goals have been defined for the optimization of the power plant, which include high power production (exergy work) and the net power value of the power plant. Also two parameters of collector diameters and chimney heights, which are the most effective parameters in the design and operation of a solar chimney, have been studied in the optimization process. With considering the thermodynamic and economical equations, and With using multi-objective genetic algorithm tool of MATLAB software for each city, an optimal design of solar chimney for Tehran city is: collector diameter 1070.740 meters and chimney height: 733.242 meters. And for the city of Semnan is: collector diameter 1281.196 meters and chimney height: 807.343 meters, and for the city of Bandar Abbas, collector diameter is: 1544.823 meters and the height of the chimney is: 823.353 meters. The highest rate of exergy destruction is due to the optimal design of Bandar Abbas city, because of the larger dimension of power plants and higher environmental pressure toward the other two cities. The city of Semnan is place in terms of performance between the two cities of Bandar Abbas and Tehran, but the highest rate of present net value of all the 25 years of power plant useful life is relate to this city.

Keywords: Exergy, collector Diameter, Chimney height



Energy Institute For Higher Education

Faculty Of Engineering

Department Of Energy System Engineering – Energy Systems

Thesis For

Degree Of Master Of Science (M.Sc)

Title:

**exergy and exergetic analysis for a
solar chimney power plant in diverse
climatic conditions of iran**

Supervisor:

Mohammad Hosein Ahmadi Ph.D

Yousef Yassi Ph.D

By:

Pooria Allahyari

Winter 2018