

ارائه روش جدید برای شیرین سازی آب با استفاده از تلفات حرارتی، انرژی خورشید و بازیابی سیکل توان

سعید صمدزاده باغبانی^۱، علیرضا رئوف پناه^{۲*}، سید زعیم موسوی^۲

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد تبدیل انرژی دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه آزاد اسلامی واحد شهر ری

۲- استادیار گروه مکانیک دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه آزاد اسلامی واحد شهر ری

چکیده

مسئله بحران آب و کاهش بارندگی در حال حاضر در اکثر نقاط دنیا یکی از مسائل مهمی است که توجه دولت و مسئولان امر را به خود جلب نموده است. این مسئله در کنار مسائل زیست محیطی و انرژی اهمیت دوچندانی پیدا می کند. استفاده از تلفات حرارتی تجهیزات موجود در مراکز صنعتی در سیستم های آب شیرین کن می تواند بسیار موثر و مفید باشد به طوری که علاوه بر بکارگیری تلفات انرژی در یک سیستم دیگر، موجب کاهش هزینه ها می شود که این مزیت می تواند مهمترین مزیت سیستم های ترکیبی باشد. در مطالعه حاضر با بکارگیری تلفات حرارتی برای تولید حرارت مورد نیاز یک سیستم آب شیرین کن MSF مورد استفاده قرار گرفت. در نهایت پس از شبیه سازی تجهیزات، سیکل ترکیبی در نرم افزار ترنسیس شبیه سازی شده است. نتایج نشان می دهد که دما و دبی آب گرم ورودی به سیستم هیتر آب شیرین کن معادل ۱۶۵ درجه سانتیگراد و ۵/۷۴۴ کیلوگرم بر ثانیه می باشد که برای تولید ۴۳۳۲ مترمکعب آب شیرین در روز استفاده می شود. بنابراین تلفات حرارتی از تجهیزات باید بتوانند این مقدار گرما تولید نمایند. همچنین دما و دبی خروجی از سیستم آب شیرین کن برابر با ۱۱۴/۲ درجه سانتیگراد و ۵/۷۴۴ کیلوگرم بر ثانیه می باشد که به عنوان جریان سرد ورودی مبدل های حرارتی مورد استفاده قرار می گیرد.

واژه های کلیدی: تلفات حرارتی، دیزل ژنراتور، کلکتور خورشیدی، ترنسیس، نمک زدایی MSF.

۱. مقدمه

مسئله بحران آب و کاهش بارندگی در حال حاضر در اکثر نقاط دنیا یکی از مسائل مهمی است که توجه دولت و مسئولان امر را به خود جلب نموده است. این مساله در کشور ایران هم یک چالش اساسی محسوب می شود و به همین دلیل ضرورت توجه علمی به روش های نوین برای تولید آب شیرین مطرح می شود. در نمک زدایی از آب با استفاده از انرژی های پاک با توجه به نوع انرژی، روش های مختلف جهت تصفیه آب مورد استفاده قرار می گیرد که از جمله آنها استفاده از روش تقطیر با بهره گیری از انرژی خورشیدی و زمین گرمایی و همچنین استفاده از روش هایی نظیر اسمز معکوس با استفاده از انرژی های تجدید شونده همچون انرژی امواج دریا، انرژی زمین گرمایی، انرژی باد و... می باشد. تامین آب شیرین نیازمند انرژی است. اما متأسفانه در بسیاری از کشورها که منابع آب شیرین با کمبود مواجه است، منابع انرژی نیز دارای کمبود است. ایران کشوری با اقلیم خشک و بیابانی در وضعیت نگران کننده ای است و در حالی که فقط ۲/۵ درصد آب موجود در جهان شیرین محسوب می شود سهم کمتری از همین مقدار اندک را دارد، تنها با اصلاح الگوی مصرف آب می توان بخشی از این معضل را جبران نمود. وضعیت کلی در ایران نسبت به جهان نگران کننده تر و سهم سرانه آب در ایران نسبت به کل جمعیت ایران نیز از شرایط نامساعدی برخوردار است. وضعیت بارندگی و تبخیر سالیانه در نواحی مختلف جهان بر حسب میلیمتر و نیز بحران آب در ایران بر اساس شاخص سازمان ملل نمایانگر کم آبی در نواحی مختلف کشور است. این در حالی است که متوسط رشد سالانه مصرف برق در ایران دو برابر متوسط جهان است. بنابراین لازم است ظرفیت های تولید برق و آب افزایش یابد. و اگر روش های مرسوم جهان در این زمینه مرور شود، نشان داده می شود که طبق تجربیات جهانی، پرکاربردترین و اصلی ترین روش های نمکزدایی آب دریا در حجم متوسط و بالا عبارتند از سیستم RO^1 (اسمز معکوس)، MED^2 (تقطیر چند مرحله ای) و MSF (تبخیر ناگهانی)، البته اگرچه روش RO سهم بیشتری در جهان دارد، ولی اگر منشأ برق مورد استفاده حرارتی باشد، نیروگاه به آب دریا دسترسی داشته باشد، حجم آب مورد نیاز زیاد و درجه حرارت بالا باشد و غلظت نمک آب دریا و کل مواد جامد محلول (TDS) بالا باشد، در آن صورت واحدهای MSF و MED مقرون به صرفه تر است. تکنولوژی ساخت مواد مصرفی RO در کشور هنوز بومی نشده است ولی با توجه به اینکه در مواقعی از سال برق مازاد در شبکه وجود دارد، می توان برای استفاده بهینه از ظرفیت های منصوبه که بار پایه را تامین می کنند از روش RO استفاده کرد؛ بنابراین پیشنهاد متخصصان در یک بسته کلی سیستم هیبرید سیکل ترکیبی است. اگر چه تکنولوژی MSF سهم بیشتری در شیرین سازی آب (دریا) به خود اختصاص داده، اما با توجه به پیشرفتهای حاصل در تکنولوژی MED و مزایای این روش نسبت به روش MSF . بازار این تکنولوژی به سرعت در حال گسترش است، به گونه ای که در بسیاری از طرح های جدید و عظیم تولید همزمان برق و آب در حاشیه جنوبی خلیج فارس، از روش MED به جای MSF در ترکیب با نیروگاههای حرارتی استفاده شده است [۱].

با وجود اینکه حجم کلی آب موجود در زمین نسبتاً زیاد است، اما متجاوز از ۹۷ درصد آن در دریاها و اقیانوسها متمرکز است و حدود دو درصد نیز به صورت یخ و یخچالها در مناطق قطبی تجمع یافته است. از یک درصد آب باقیمانده نیز بخش زیادی در اعماق زمین بوده که استخراج آن مشکل و دور از دسترس است. یکی از روش های تامین آب شیرین نمک زدایی از آب های غیر قابل استفاده است. تحقیقات گوناگونی در این زمینه انجام شده است که در ادامه به برخی از مهمترین کارها اشاره می شود.

مجیدی و حسین نژاد به تحلیل ترمواگزرنی اجزای سیکل آب شیرین کن خورشیدی رطوبت زنی و رطوبت زدایی پرداختند. نتایج نشان می دهد بخش گرمایش با ۸۸ درصد، بزرگترین منشأ بازگشت ناپذیری ها در سیستم های این آب شیرین کن است و بنابراین بهبود عملکرد آن بیشترین تاثیر را بر بازدهی سیستم دارد [۲]. ملتمس و همکاران شبیه سازی و تحلیل فنی سیستم فتوولتائیک متمرکز با آینه های تخت جهت افزایش برق تولیدی را ارزیابی نمودند. نتایج بدست آمده از شبیه سازی

^۱ reverse osmosis^۲ multiple effect distillation

حاکمی از افزایش ۲/۷ برابری تولید انرژی الکتریکی سالانه سیستم در مقایسه با حالت بدون متمرکزکننده و دنبال کننده بود [۳]. ولی پورمفتح و بیان احمدی به طراحی کلکتور خورشیدی برای تولید آب شیرین با دستگاه آب شیرین کن تقطیری چند مرحله ای پرداختند. کلکتور طراحی شده در این مقاله قادر بود تا بخار آبی با دمای ۲۰۰ درجه سلسیوس و در فشار ۱۰ بار را برای یک واحد آب شیرین کن تقطیری چند مرحله ای با ظرفیت تولید آب شیرین ۵ مترمکعب در روز، واقع در شهر پرنده تولید کند. [۴]. صفری و همکاران مروری بر پارامترهای تاثیر گذار بر عملکرد آب شیرین کن های خورشیدی در موده های مختلف انجام دادند. [۵]. حسن زاده و همکاران روش های بهینه سازی راندمان در نیروگاه های خورشیدی را ارزیابی نمودند. در این مطالعه ضمن بررسی شیوه های مختلف بکارگیری این انرژی ها به بررسی نکاتی که باعث افزایش راندمان خواهد شد و مواردی نظیر خشک کن های خورشیدی، آب شیرین کن خورشیدی و آب گرمکن خورشیدی و روشهای افزایش بازدهی نیروگاههای خورشیدی نیز پرداخته شده است [۶]. عباسی و همکاران تاثیر فن مکنده در آب شیرین کن های خورشیدی را بررسی نمودند. این عمل موجب به جریان انداختن هوا و افزایش فشار یا کاهش فشار یک محیط می شود. در آب شیرین کن های خورشیدی زمانی که آب شور بر اثر گرفتن انرژی از خورشید بخار می شود، به دلیل دمای نسبتا پایین محفظه تبخیر قسمت اعظمی از بخارات تشکیل شده انرژی لازم را برای ترک محفظه تبخیر و وارد شدن به محفظه تقطیر (کندانسور) را ندارند. قسمتی از این بخارات، در فضای محفظه تبخیرمعلق می مانند، قسمتی دیگر بر روی سطح داخلی محفظه تبخیر می شوند، سطح داخلی محفظه تبخیر را مات (کدر) می کنند. این فرایند باعث عدم تابش کامل نور خورشید به داخل محفظه تبخیر می شود، و راندمان دستگاه را تا حد قابل ملاحظه کاهش می دهد. با استفاده از یک فن این مشکل حل می شود [۷]. هلال و المالک مساله طراحی سیستم آب شیرین کن بر مبنای تراکم فشار را بررسی نمودند که با انرژی خورشید در نقاط دوردست کار می کند [۸]. سالک و همکاران تحلیل ترمودینامیک و بهبود ژنراتور آب اتمسفری مبتنی بر انرژی خورشیدی را بررسی نمودند. ژنراتور بدست آمده کاملا جدید بوده و از دو منبع یا قدرت مساوی استفاده می کند. عملکرد سیستم در ۴ شهر ایران ارزیابی شد [۹]. غنای و همکاران به تحلیل و ارزیابی نیروگاه های آب شیرین کن خورشیدی شبکه ای و تنها پرداختند [۱۰]. استولفی و همکاران مساله ترکیب سینرژیک نمک زدایی و انرژی خورشیدی را در شبکه های میکرو ارزیابی نمودند. عملکرد بهینه سیستم توسط شبیه سازی پیشرفته بدست آمد [۱۱]. عبدالکریم و همکاران آخرین پیشرفت ها را در حیطه منابع انرژی تجدیدپذیر و کاربرد آن در نیروگاه های نمک زدایی بررسی نمودند [۱۲]. عبیدی و همکاران طراحی بهینه واحد آب شیرین کن با هلیواستات را انجام دادند. هدف اصلی تمرکز کلکتورها یا کنترل هلیواستات بود [۱۳]. النادی مساله پایداری آینه های خورشیدی را ارزیابی نمودند. هدف استفاده از ابزارهایی با هزینه کم بود [۱۴]. رومل سیستم های آب شیرین کن حرارتی خورشیدی را با در نظر گرفتن کلکتورهای بدون خوردگی بررسی نمودند [۱۵].

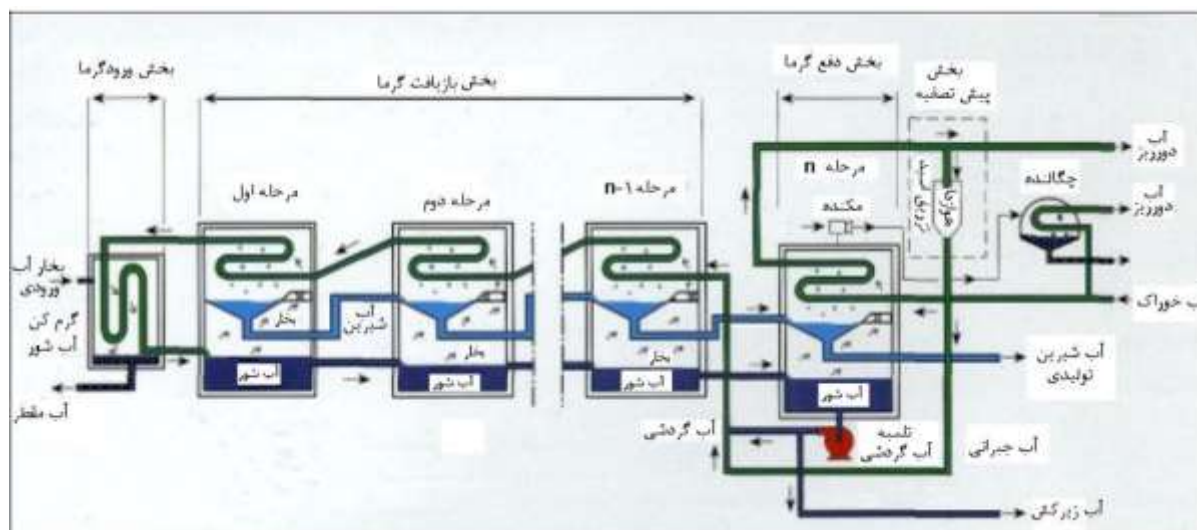
همانطور که در بخش قبل مشاهده شد اخیرا بیشتر توجه محققین حوزه نمک زدایی به استفاده از انرژی های نو برای فرآیند نمک زدایی است. استفاده از روش های مرسوم نمک زدایی با مصرف انرژی بالایی همراه است بنابراین تامین انرژی مورد نیاز برای این سیستم ها با توجه به چالش انرژی امری حیاتی است. یکی از این روش ها، روش MSF است که با توجه به نحوه عملکرد نیاز به انرژی بالایی دارد اما به دلیل امکان طراحی آن ها در ظرفیت های بالا هنوز سهم قابل توجهی از تولید آب به روش حرارتی را به خود اختصاص داده است. در این مطالعه با بکارگیری تلفات حرارتی و انرژی خورشید و بازیابی سیکل توان برای تولید حرارت مورد نیاز یک سیستم آب شیرین کن MSF مورد استفاده قرار گرفت.

۱. آب شیرین کن MSF

فرآیند تبخیر ناگهانی چند مرحله ای یا MSF^۳ در داخل محفظه ای به نام گرمکن، محلول آب شور گرم می شود. این کار عمدتا از طریق چگالیده شدن بخار روی تعداد لوله موازی که در داخل محفظه عبور کرده و در عین حال آب شور را گرم می کنند، انجام می شود. آب شور گرم شده سپس به داخل محفظه دیگری که مرحله اواپراتور (تبخیر کننده) نامیده می شود،

^۳ Multi stage flash distillation

جریان یافته و در آنجا غشاء درحدی تنظیم می گردد که آب بلافاصله به جوش می آید، تغذیه ناگهانی آب گرم به داخل اطاقک باعث به جوش آمدن سریع آن می گردد . در واقع آب به صورت انفجاری یا فلاشینگ به بخار تبدیل می گردد این تبدیل به فشار کنترل شده دراین مرحله بستگی دارد، زیرا فرآیند جوشش تا زمانی ادامه می یابد که آب سرد شود. مفهوم تقطیر آب به کمک ظرفی که تحت فشار کاهش داده شده، کار می کند یک ابداع جدید نیست ، بلکه بیش از یک قرن است که کاربرد دارد. در دهه ۱۹۵۰، دستگاهی که از یک سری طبقات با شیب فزاینده فشارهای اتمسفری پایین تر تشکیل می شد ابداع گردید در این دستگاه، آب تغذیه می توانست از یک مرحله به مرحله دیگر راه یافته بطور مکرر و بدون افزودن حرارت به حالت جوش برسد. معمولاً یک مجموعه آب شیرین کن با تقطیر ناگهانی چند مرحله ای می تواند ۴ تا ۴۰ مرحله داشته باشد. بخار تولید شده از طریق فرآیند فلاش پس از چگالیدن روی لوله های مبدل حرارتی که در طول هر مرحله تعبیه شده اند، به آب شیرین تبدیل می گردد. لوله ها به وسیله آب تغذیه ورودی که به گرم کن آب شور می رود خنک می شود. با این کار آب تغذیه به نوبه خود گرم می شود، به نحوی که مقدار انرژی حرارتی مورد نیاز در گرمکن آب شور جهت افزایش دمای آب دریا کاهش می یابد. از دهه ۱۹۵۰ دستگاه های آب شیرین کن MSF به طور تجاری ساخته شدند. این دستگاه ها عموماً به صورت واحدهایی با حدود ۵۰۰۰ تا ۶۰۰۰ مترمکعب در روز ساخته می شود. تقطیر ناگهانی چند مرحله ای معمولاً با حداکثر دمای تغذیه ۹۰ تا ۱۲۰ درجه سانتی گراد (پس از گرم کردن آب شور) عمل می کند. یکی از عواملی که بر روی راندمان حرارتی واحد تاثیر دارد و اختلاف بین دما از گرمکن آب شور تا چگالنده در انتهای سرد دستگاه است. در سیستم های با تقطیر ناگهانی چند مرحله ای چند گذر، ۵۰ تا ۷۵ درصد آب شور غلیظ شده از آخرین مرحله به آب تغذیه ورودی مخلوط می شود و به واسطه این فرآیند باز یافت حرارتی افزایش و مقدار مواد لازم برای تصفیه مقدماتی کاهش می یابد. متأسفانه این عمل به سبب افزایش غلظت نمک در چرخه آب شور، میزان خوردگی و تشکیل رسوب را افزایش می دهد و به همین دلیل کنترل رسوب باید با دقت بیشتری صورت گیرد. افزایش تعداد مراحل فرآیند تقطیر ناگهانی چند مرحله ای ، بازده کلی در بخش باز یافت حرارت را افزایش می دهد و البته در آن صورت هزینه سرمایه گذاری نیز افزایش خواهد یافت. در این روش از گرمای محسوس برای تولید گرمای نهان تبخیر در هر بخش استفاده می شود [۱۶].

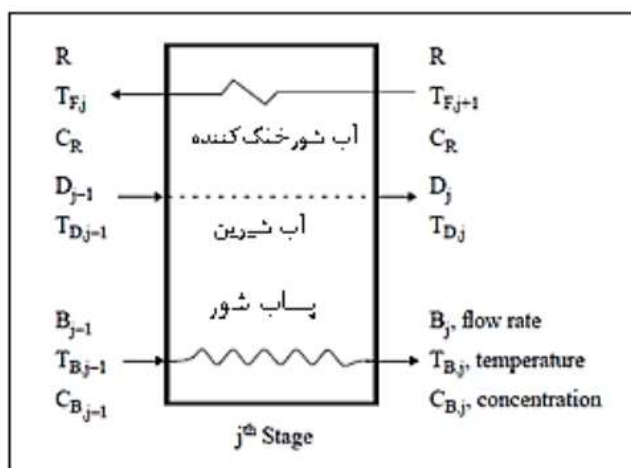


شکل ۱ فرآیند تقطیر ناگهانی چند مرحله ای [۱۶]

۱. روش مدل سازی

جهت مدل سازی فرایند تبخیر ناگهانی چند مرحله ای از مدل SIMTAW و هلال و همکاران در سال ۱۹۸۶ استفاده می گردد. در این مدل فرض های اساسی زیر مد نظر قرار گرفته است [۱۷].

- ۱- محصولات خروجی هر مرحله بدون املاح خواهد بود. بخار آب خروجی هیچ رطوبتی به همراه نخواهد داشت.
 - ۲- خنک سازی آب مقطر خروجی از مبدل حرارتی گرم کن آب شور مد نظر قرار نگرفته است. همچنین فرض بر آن است که بخار ورودی به این مبدل در حالت اشباع می باشد.
 - ۳- مدل بین مرحله ای وجود ندارد. بنابراین اثر سطح پساب شور در هر مرحله به حساب نیامده است.
- در شکل ۲ مرحله j تبخیر ناگهانی چند مرحله ای نشان داده شده است.



شکل ۲ مرحله j تبخیر ناگهانی چند مرحله ای [۱۷]

با توجه به شکل ۲ روابط را می توان چنین تعریف نمود:

- ۱- معادلات انتقال گرما در چگالنده:

معادله حاکم بر دما ورودی و خروجی، ضریب کلی انتقال گرما و سطح گرما از معادله ۱ به دست می آید.

$$\frac{T_{D,j} - T_{F,j+1}}{T_{D,j} - T_{F,j}} = \exp\left(\frac{U_j \cdot A_j}{R \cdot C_{P,R,j}}\right) \quad (1)$$

در رابطه بالا A_j سطح کلی انتقال گرما چگالنده / تبخیر کننده و U_j ضریب انتقال حرارت کلی در هر مرحله است. مقدار آن هم به مقاومت های گوناگون انتقال حرارت واحد بستگی دارد. ضریب انتقال گرما کلی نیز با در نظر گرفتن مقاومت های گرمایی نیز بصورت معادله ۲ مقابل محاسبه است.

$$U_j = \frac{1}{(R_{bi} + R_w + R_c + R_f)} \quad (2)$$

در معادله بالا R_{bi} مقاومت انتقال گرما داخلی لوله است که از معادله ۳ به دست می آید.

$$R_{bi} = \frac{1}{h_{bi}} \left(\frac{OD}{ID} \right) \quad (3)$$

در معادله بالا، OD، ID قطرهای خارجی و داخلی لوله و h_{bi} ضریب انتقال گرمایی همرفت برای جریان آشفته کامل درون لوله است. با فرض تفاوت دمایی کم بین سطح دیواره و حجم سیال داریم.

$$h_{bi} = E \cdot \dots \cdot \left(\frac{k}{ID} \right) \cdot Re^{0.8} \cdot Pr^{0.4} \quad (4)$$

در معادله بالا E ضریب بهبود است که برای لوله های صاف برابر یک و برای لوله های بهبود یافته بسته به آرام یا آشفته بودن جریان سیال از ۲ تا ۲۵ در نظر گرفته می شود. Re عدد رینولدز و Pr عدد پرانتل جریان است. R_w مقاومت دیواره لوله نیز از معادله ۵ محاسبه می گردد [۱۷].

$$R_w = \frac{t \cdot OD}{K_w \cdot d_{lm}} \quad (5)$$

در معادله ۵ K_w رسانایی گرمایی دیواره و t ضخامت آن می باشد. همچنین d_{lm} میانگین لگاریتمی اندازه قطرهای خارجی و داخلی لوله است. مقاومت دیواره لوله را می توان با کاهش ضخامت آن و یا افزایش رسانایی گرمایی آن کاهش داد. R_c نیز مقاومت ناشی از تشکیل لایه اب مقطر در بخش بخار است که با محاسبه h_c ضریب انتقال گرما لایه اب مقطر از معادله ناسلت به دست می آید.

$$h_c = 0.729 \left(\frac{k^* \rho^* g \lambda_{fg}}{n \cdot \mu \cdot OD \cdot \Delta T_{fm}} \right)^{0.25} \quad (6)$$

در معادله بالا k رسانایی گرمایی آب مقطر ، g چگالی آب مقطر ، g شتاب جاذبه زمین ، λ_{fg} گرمای نهان تبخیر ، n تعداد لوله ها در ردیف عمودی ، μ ویسکوزیته آب مقطر ، OD قطر خارجی لوله و ΔT_{fm} اختلاف دمای دو طرف لایه که T_s دمای بخار اشباع و T_w دمای دیواره خارجی لوله است. خواص آب مقطر به طور معمول در دمای لایه T_{fm} که از معادله ۷ محاسبه میشود ، مد نظر قرار گرفته می شود.

$$T_{fm} = T_s - 0.5(T_s - T_w) \quad (7)$$

همچنین R_f هم مقاومت کلی ناشی از مقاومت تشکیل رسوب بر سطوح درونی و بیرونی دیواره لوله و مقاومت گازهای غیرقابل چگالش است که به طور معمول توسط طراح و سازنده ارایه می شود. معادله دماهای مربوط به جریان های پساب شور در حال تبخیر ناگهانی و آب شیرین تولیدی عبارتست از :

$$T_{B,j} = T_{D,j} + BPE + NEA + PL \quad (8)$$

در معادله بالا BPE افزایش نقطه جوش آب شور نسبت به آب خالص است. همان طور که در ادامه شرح داده میشود این افزایش تابعی از دما و غلظت آب شور است. NEA حد مجاز غیر تعادلی افت دما است که برابر با افت دما ناشی از زمان ماند محدود پساب شور در حال تبخیر ناگهانی در اتاقک تبخیر است. PL مربوط به افت دما ناشی از تغییر فشار چگالنده و نم زدا است [۱۷].

۲. شبیه سازی دیزل ژنراتور

در اکثر موتورهای دیزل ژنراتور حدود ۳۰ الی ۴۵ درصد انرژی ورودی تبدیل به برق می شود و نزدیک به ۲۰ الی ۳۰ درصد انرژی ورودی از طریق اگزوز هدر می رود . با توجه به اینکه دمای گازهای خروجی اگزوز حدود ۶۰۰ الی ۵۰۰ درجه سانتیگراد است همچنین ۱۸ الی ۲۵ درصد انرژی از طریق سیستم خنک کاری موتور اتلاف می شود. جهت شبیه سازی سیستم دیزل ژنراتور ، معادلات ترمودینامیکی حاکم بر موتور دیزل به صورت ساده در نرم افزار EES مدل می گردد. جهت شبیه سازی عملکرد دیزل ژنراتور فرضیات زیر را در نظر می گیریم :

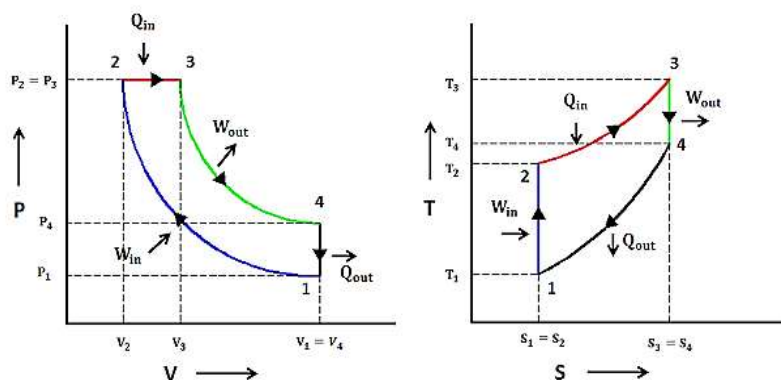
۱- سیکل کاری دیزل ژنراتور ایده آل است.

۲- بیشترین دمای سیکل T_r را به علت محدودیت های متریال ، ثابت در نظر گرفته شده است.

در جدول ۲ نتایج عددی شبیه سازی نشان داده شده است.

جدول ۱ پارامترهای ورودی به سیکل دیزل

پارامترها	مقادیر	دیمانسین
Pressure (۱)	۰.۱	Kpa
Pressure (۲)	۱	Kpa
Pressure (۳)	۱	Kpa
Pressure (۴)	۰.۳۵	Kpa
Temperature (۳)	۱۱۷۳	K
Temperature (۱)	۲۹۸	K



شکل ۳ منحنی های ایده موتور دیزل

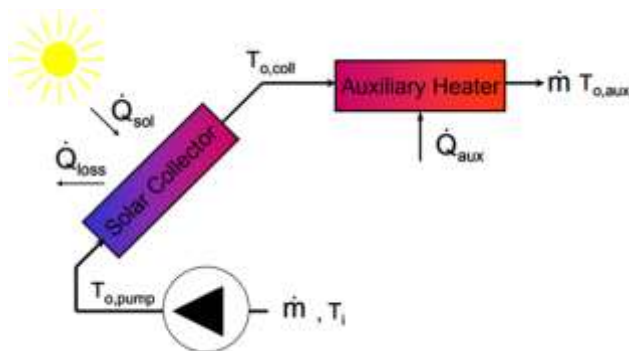
جدول ۲ نتایج شبیه سازی سیکل دیزل ژنراتور

T_1 (K)	Q_{in} (kJ/kg)	Q_{out} (kJ/kg)	Eta	U_1	U_2	h_2	h_3
۲۸۸	۷۱۶,۲	۴۷۶,۷	۳۳,۴۵	۴۰۵,۶	۸۸۲,۲	۸۵۴,۸	۱۵۷۱
۲۹۰,۸	۷۱۰,۳	۴۷۴,۶	۳۳,۱۹	۴۰۷,۷	۸۸۲,۲	۸۶۰,۷	۱۵۷۱
۲۹۳,۶	۷۰۴,۴	۴۷۲,۵	۳۲,۹۲	۴۰۹,۸	۸۸۲,۲	۸۶۶,۷	۱۵۷۱
۲۹۶,۳	۶۹۸,۴	۴۷۰,۴	۳۲,۶۵	۴۱۱,۹	۸۸۲,۲	۸۷۲,۶	۱۵۷۱
۲۹۹,۱	۶۹۲,۵	۴۶۸,۳	۳۲,۳۸	۴۱۴	۸۸۲,۲	۸۷۸,۶	۱۵۷۱
۳۰۱,۹	۶۸۶,۵	۴۶۶,۱	۳۲,۱	۴۱۶,۱	۸۸۲,۲	۸۸۴,۵	۱۵۷۱
۳۰۴,۷	۶۸۰,۵	۴۶۴	۳۱,۸۱	۴۱۸,۲	۸۸۲,۲	۸۹۰,۵	۱۵۷۱
۳۰۷,۴	۶۷۴,۶	۴۶۱,۹	۳۱,۵۲	۴۲۰,۳	۸۸۲,۲	۸۹۶,۵	۱۵۷۱
۳۱۰,۲	۶۶۸,۶	۴۵۹,۸	۳۱,۲۲	۴۲۲,۴	۸۸۲,۲	۹۰۲,۵	۱۵۷۱
۳۱۳	۶۶۲,۶	۴۵۷,۷	۳۰,۹۲	۴۲۴,۵	۸۸۲,۲	۹۰۸,۵	۱۵۷۱

توجه داشته باشید به علت اینکه روی انرژی حرارتی خروجی سیکل کنترل داشته باشیم، از اطلاعات موجود در کاتالوگ های دیزل ژنراتور استفاده نشده است. در مطالعه حاضر از اطاعات بدست آمده با دمای ورودی ۲۸۸ درجه استفاده شده است بنابراین انرژی حرارتی خروجی از سیکل دیزل ژنراتور برابر با ۷۱۶/۲ کیلوژول بر کیلوگرم در نظر گرفته شده است. بعد از مشخص شدن تلفات حرارتی دیزل ژنراتور، این حرارت به یک لوله داده می شود تا حرارت و دبی مورد نیاز برای شبیه سازی در نرم افزار ترنسسیس محاسبه شود. فرض شده است که لوله تمام حرارت را به آب منتقل می نماید.

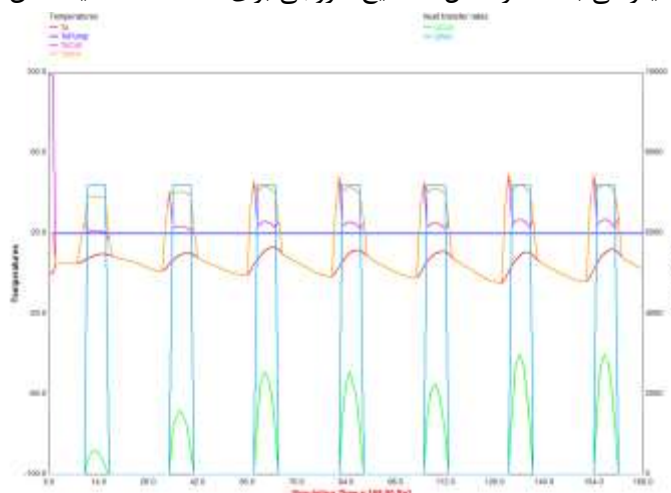
۳. شبیه سازی کلکتور خورشیدی

با توجه به اینکه در نرم افزار ترنسسیس کامپونت مربوط به کلکتور خورشیدی وجود دارد جهت شبیه سازی آن از این کامپونت استفاده شده است. در شکل ۴ شماتیکی از مدل مورد نظر نشان داده شده است.



شکل ۴ شماتیکی از سیستم کلکتور خورشیدی

همان طوری که مشاهده می شود سیال با یک دما و دبی مشخص وارد پمپ شده و سپس به سمت کلکتور هدایت می شود. در کلکتور پس افزایش دمای سیال توسط انرژی خورشیدی، سیال به سمت یک هیتر منتقل می شود. در صورتی که دمای سیال ورودی نسبت به دمای مشخص شده برای هیتر کمتر باشد، هیتر با مصرف انرژی حرارت دمای سیال را تا دمای مورد نظر افزایش می دهد. پمپ مورد استفاده با توان ۲۰ وات دارای دبی ۱۰۰ لیتر بر ساعت است. ساعت کار پمپ از ساعت ۶ صبح تا ۹ شب در نظر گرفته شده است. برای هیتر نیز دمای خروجی را ۶۰ درجه سانتیگراد و توان آن را ۲۰۰۰ وات در نظر گرفته شده است. با اضافه کردن کامپونت مربوط به تغییرات آب و هوایی برای کلکتور خورشیدی و یک کنترلر برای پمپ به سیستم، در نهایت مدل نهایی بدست می آید. در نهایت خروجی های سیستم شامل دمای سیال ورودی به سیستم، دمای سیال ورودی به کلکتور و خروجی از پمپ، دمای خروجی از کلکتور، دمای کلکتور، دمای هیتر، میزان انرژی حرارت کلکتور و میزان انرژی حرارتی مصرفی هیتر می باشد. در شکل ۵ نتایج خروجی برای مدت ۱۶۸ ثانیه نشان داده شده است.



شکل ۵ نتایج خروجی سیستم کلکتور خورشیدی

۴. شبیه سازی سیکل ترکیبی

سیکل ترکیبی مورد نظر از سه تجهیز اصلی تشکیل شده است. به طوری که قرار است تلفات حرارت دیزل ژنراتور و همچنین حرارتی تولیدی در کلکتور خورشیدی صرف تامین گرمای مورد نیاز برای یک سیستم آب شیرین کن MSF گردد. بدین منظور ابتدا سیستم کلکتور خورشیدی را که شامل ۵ کامپونت می باشد با مشخصات معلوم شبیه سازی می نماییم. کامپونت شامل:

۱- کامپونت مربوط به اطلاعات آب و هوایی برای کلکتور خورشیدی

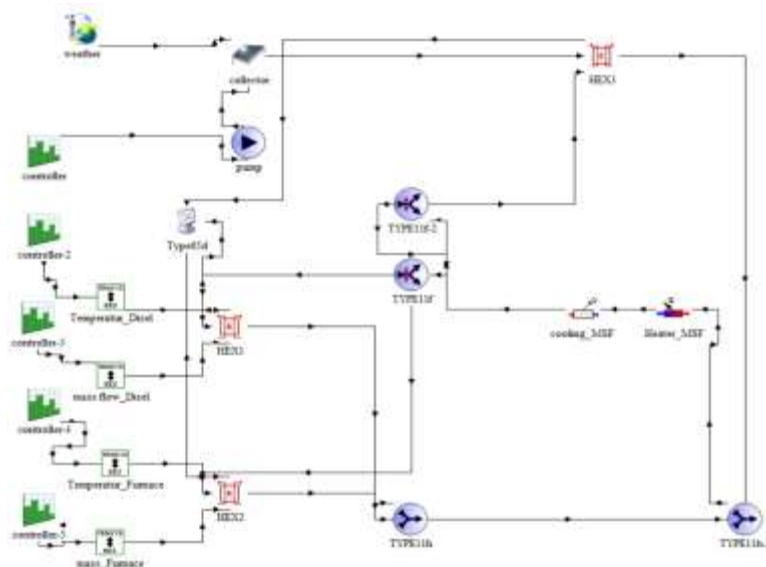
۲- کامپونت کلکتور خورشیدی

۳- پمپ برای تامین دبی مورد نیاز کلکتور

۴- کنترلر پمپ ، برای کنترل کردن میزان کار کرد پمپ در طول شبانه روز

۵- کامپونت هیتر ، برای ثابت نگه داشتن دمای خروجی از سیستم کلکتور خورشیدی

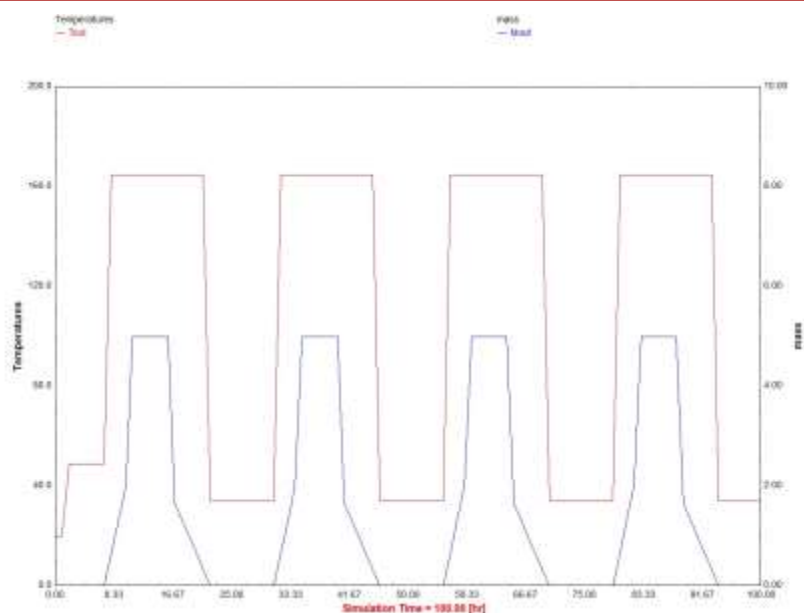
خروجی هیتر در سیستم کلکتور خورشیدی که شامل دما و دبی سیال می باشد به یک مبدل حرارتی پوسته - لوله با اثر ثابت به عنوان جریان گرم وارد می شود . این مبدل حرارتی با ظرفیت حرارتی آشکار صفر به عنوان وسیله ای با اثر ثابت مدل می شود که مستقل از پیکربندی سیستم عمل می کند. برای حالت اثر مستقیم، حداکثر انتقال حرارت ممکن براساس حداقل نرخ ظرفیت حرارتی سیال و دماهای سمت سرد و سمت گرم مبدل محاسبه می شود. در این وضعیت مقدار اثرگذاری به عنوان پارامتر ورودی وارد می شود و مفهوم ضریب انتقال حرارت کلی برای مبدل حرارتی استفاده نمی گردد. پس از کلکتور خورشیدی ، دیزل ژنراتور را در سیکل شبیه سازی می نماییم. جهت شبیه سازی ابتدا معادلات حاکم بر دیزل ژنراتور را حل نموده و در نهایت دما و دبی خروجی از تلفات حرارتی دیزل ژنراتور را توسط کامپونت ارتباطی نرم افزار EES و ترنسیس وارد سیکل می نماییم. سپس دما و دبی ورودی وارد یک مبدل حرارتی اثر ثابت دیگر ، به عنوان جریان گرم می شود. جهت شبیه سازی آب شیرین کن در سیکل ، با توجه به اینکه مقدار دبی و دمای ورودی و خروجی به هیتر آب شیرین کن قبلا محاسبه شده است و در اختیار داریم ، می توانیم از یک سرد کن جانبی و یک گرم کن جانبی برای مدل سازی آب شیرین کن استفاده نماییم. به طوری که جریان ورودی سیال ورودی به آب شیرین کن به میزان مشخصی گرم شده و سپس وارد آب شیرین کن می گردد و پس از خروجی دمای آن به میزان مشخصی کم شده و از آن خارج می گردد. سپس آب خارج شده به عنوان جریان سرد وارد مبدل های حرارتی می شود. همچنین جهت جلوگیری از پیچیده شدن سیکل ، جریان سرد خروجی از مبدل های حرارتی دایمپ می گردد. در صورتی که در شکل ۶ نمایی از سیکل مورد نظر نشان داده شده است. جهت تحلیل نتایج بدست آمده ، ابتدا خروجی های سه راهی ورودی به هیتر ، هیتر جانبی و سرد کن جانبی را بررسی می نماییم. تا دبی و دمای مورد نیاز آب شیرین کن را بدست آوریم . بنابراین با وارد کردن یک کامپونت پرینتر دما و دبی این نقاط را بررسی می کنیم.



شکل ۶ شماتیک سیکل ترکیبی شبیه سازی شده در ترنسیس

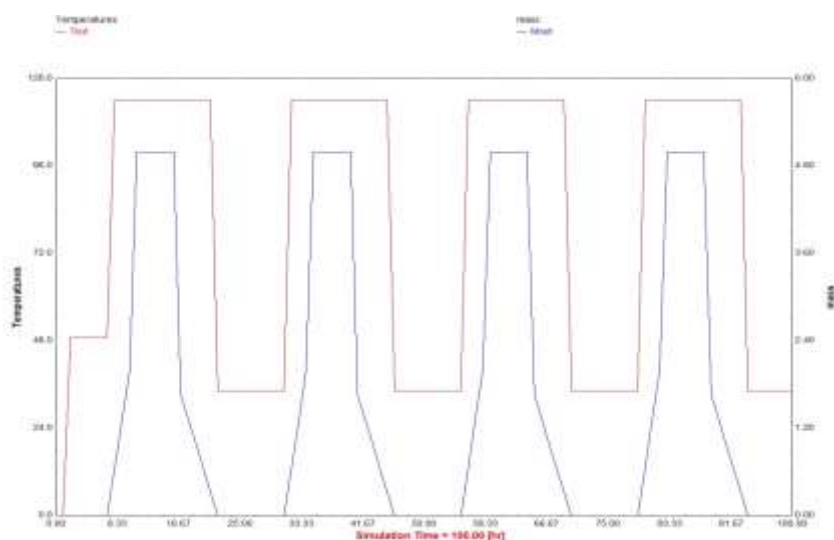
۲. بررسی نتایج سیکل ترکیبی

در شکل ۷ دما و دبی ورودی به هیتر که همان دمای ورودی به سیستم هیتر آب شیرین کن میباشد در مدت ۱۰۰ ثانیه نشان داده شده است.

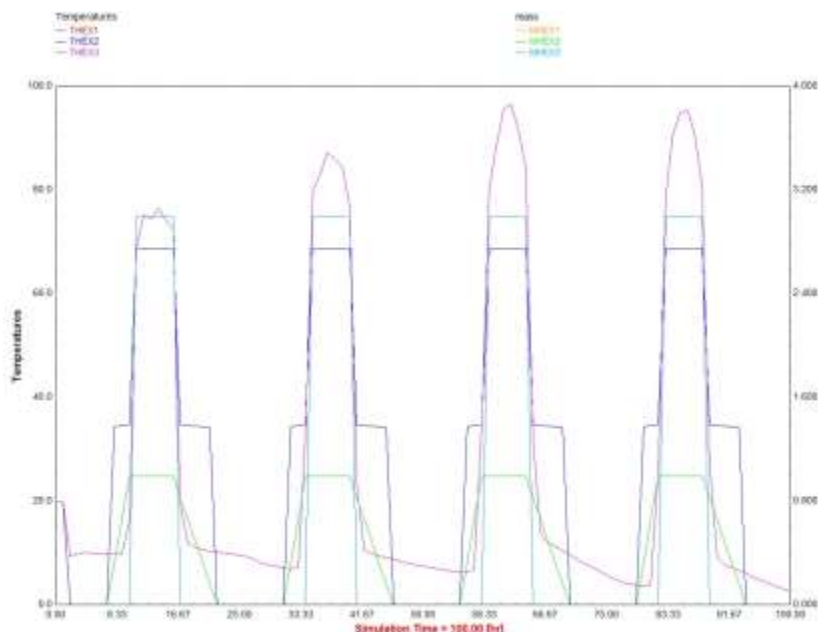


شکل ۷ تغییرات دما و دبی ورودی به سیستم آب شیرین کن

همان طوری که مشاهده می کنید دمای ورودی به هیتر مطابق با دمای ست پوینت که برابر با ۱۶۵ درجه سانتیگراد می باشد . بدست آمده است . برای تنظیم دبی ورودی به هیتر آب شیرین کن ، دبی خروجی پمپ کلکتور را ۳ کیلوگرم بر ثانیه ، و دبی دیزل ژنراتور را نیز برابر با ۱ کیلوگرم بر ثانیه در نظر گرفته شده است. دبی ورودی برابر با ۵,۷۴ کیلوگرم بر ثانیه محاسبه می گردد . در شکل ۸ تغییرات دبی و دمای خروجی از سیستم خنک کننده که همان خروجی هیتر آب شیرین کن می باشد نشان داده شده است. همان طوری که مشاهده می کنید دمای خروجی به هیتر مطابق با دمای ست پوینت که برابر با ۱۱۴/۲ درجه سانتیگراد می باشد . بدست آمده است . برای تنظیم دبی خروجی به هیتر آب شیرین کن ، دبی خروجی پمپ کلکتور را ۳ کیلوگرم بر ثانیه ، و دبی دیزل ژنراتور را نیز برابر با ۱ کیلوگرم بر ثانیه در نظر گرفته شده است. دبی خروجی برابر با ۵,۷۴ کیلوگرم بر ثانیه محاسبه می گردد. در شکل ۹ تغییرات دبی و دمای خروجی از مبدل های حرارتی مورد استفاده نشان داده شده است. همان طوری که مشاهده می کنید دمای خروجی مبدل های مربوط به مبدل سوم که برابر با ۰/۴ کیلوگرم بر ثانیه می باشد. حدود ۹۰ درجه سانتیگراد ، و بیشترین دبی خروجی مربوط به مبدل سوم که برابر با ۰/۴ کیلوگرم بر ثانیه می باشد.



شکل ۸ تغییرات دما و دبی خروجی به سیستم آب شیرین کن



شکل ۹ تغییرات دما و دبی خروجی از مبدل های حرارتی

۳. نتیجه گیری

سیکل ترکیبی راه حل بسیار کارآمد، انعطاف پذیر، قابل اعتماد، مقرون به صرفه و سازگار با محیط زیست برای تولید برق است. نیروگاه سیکل ترکیبی در واقع ترکیبی از توربین بخار و توربین گازی می باشد به نحوی که ژنراتور توربین گازی برق را تولید می کند، درعین حال انرژی حرارتی تلف شده از توربین گاز (توسط محصولات احتراق) برای تولید بخار مورد نیاز توربین بخار مورد استفاده قرار می گیرد و به این طریق برق اضافی تولید می شود. با ترکیب کردن این دو سیکل بهره بری از نیروگاه افزایش پیدا می کند. بازده الکتریکی از یک چرخه ساده کارخانه نیروگاه برق بدون استفاده از اتلاف گرما به طور معمول راندمانی بین ۲۵ تا ۴۰ درصد دارد، در حالی که همان نیروگاه با سیکل ترکیبی راندمان الکتریکی حدود ۶۰ درصد را دارد. همانطور که گفته شد این نیروگاه ها از ترکیب توربین های بخار و گاز ساخته می شوند و بسته به نوع توربین ها ، دیگ های بازیافت گرما ، و دستگاه های بازیابی انواع متعددی دارند . با به کار گیری توربین های گازی در چرخه های ترکیبی می توان پایین بودن بازده آن را بر طرف کرد و در نتیجه آن را برای تامین بار پایه به کار گرفت، در عین حال از مزایای دیگر آن نیز مانند راه اندازی سریع و انعطاف پذیری آن در محدوده ی گسترده ای از بار بهره مند شد. نتایج مطالعه حاضر عبارتند از :

- (۱) با توجه به وابسته بودن کلکتور های خورشیدی به شرایط آب و هوایی ، از این تجهیزات نمی توانیم به تنهایی جهت تامین آب گرم مصرفی استفاده نماییم و باید یک تجهیز پر قدرت نیز در کنار آن داشته باشیم.
- (۲) تلفات حرارتی ناشی از دیزل ژنراتور بسیار زیاد می باشد و بکارگیری آن در تامین گرمای آب شیرین کن موثر واقع می شود.
- (۳) در مطالعه حاضر از مبدل های حرارتی پوسته - لوله استفاده شده است . با توجه به قیمت زیاد مبدل های حرارتی ، از لحاظ اقتصادی استفاده از مبدل های حرارتی در سیکل های ترکیبی کوچک مقرون به صرفه نمی باشد . زیرا علاوه بر هزینه نصب و راه اندازی ، هزینه تعمیرات و نگهداری زیادی را هم می تواند داشته باشد.
- (۴) میزان آب شیرین تولیدی توسط آب شیرین کن MSF برابر با ۴۳۳۲ متر مکعب بر در روز میزان آب شیرین تولیدی می باشد.

۸. مراجع

[۱] مجید عمید پور، سید احسان شکيبا، علیرضا اسماعیلی، سید رضا حسینی، موسی مراتی زمان، تحلیل ترمودینامیکی کولپینگ آب شیرین کن چند مرحله ای تبخیری با واحدهای گازی نیروگاه خلیج فارس جهت برآورد میزان تولید آب شیرین، سومین کنفرانس نیروگاه های حرارتی تهران ۱۳۹۰ مهر

[۲] خلیلی زاده، حسین؛ نادر رهبر و جواد ابوالفضلی اصفهانی، ۱۳۹۱، مدلسازی عددی ترموالکتریک ژنراتور خورشیدی و بررسی پارامتر های موثر بر عملکرد آن، دومین کنفرانس بین المللی رویکردهای نوین در نگهداشت انرژی، تهران، منطقه ویژه اقتصاد انرژی پارس جنوبی

[۳] مجیدی، غلامرضا و فرهاد حسین نژاد، ۱۳۹۶، تحلیل ترمواگزری اجزای سیکل آب شیرین کن خورشیدی رطوبت زنی و رطوبت زدایی، اولین کنفرانس بین المللی فناوری های نوین در علوم، آمل، دانشگاه تخصصی فناوری های نوین آمل

[۴] ملتسم، رحیم؛ سعید رستمی و بهنام عزیزی، ۱۳۹۶، شبیهسازی و تحلیل فنی سیستم فتوولتایک متمرکز با آینههای تخت جهت افزایش برق تولیدی، دومین کنفرانس ملی پژوهش در علوم پایه، شیراز، موسسه عالی علوم و فناوری خوارزمی

[۵] ولی پورمفتح، مهین و حمیدرضا بیان احمدی، ۱۳۹۵، طراحی کلکتور خورشیدی برای تولید آب شیرین با دستگاه آب شیرین کن تقطیری چند مرحله ای، دومین کنفرانس ملی توسعه پایدار در سیستم های مهندسی انرژی، آب و محیط زیست، تهران، دانشگاه علم و صنعت ایران

[۶] صفری، مهرداد؛ بهروز شهریاری و شهرام یوسفی، ۱۳۹۵، مروری بر پارامترهای تاثیر گذار بر عملکرد آب شیرین کن های خورشیدی در مودهای مختلف، اولین کنفرانس بین المللی دستاوردهای نوین پژوهشی در مکانیک، مکاترونیک و بیومکانیک

[۷] حسن زاده، فرناز؛ امیر خانبازاده و شهریار تمندانی، ۱۳۹۵، روش های بهینه سازی راندمان در نیروگاه های خورشیدی، سومین کنفرانس بین المللی علوم و مهندسی، استانبول - کشور ترکیه، موسسه مدیران ایده پرداز پایتخت ویرا

[۸] [A.M.HelalS.A.Al-Malek](#), Design of a solar-assisted mechanical vapor compression (MVC) desalination unit for remote areas in the UAE, [Desalination](#), Volume ۱۹۷, Issues ۱-۳, ۲ October ۲۰۰۶, Pages ۲۷۳-۳۰۰

[۹] [Farhad Salek](#), [Alireza Naghavi Moghaddam](#), [Mohammad Mahdi Naserian](#), Thermodynamic analysis and improvement of a novel solar driven atmospheric water generator, [Energy Conversion and Management](#), Volume ۱۶۱, ۱ April ۲۰۱۸, Pages ۱۰۴-۱۱۱

[۱۰] Grid-tied and stand-alone hybrid solar power system for desalination plant, [Chaouki Ghenai](#), [AdelMerabet Tareq](#), [Salameh Erola](#), [Colon Pigem](#), [Desalination](#), Volume ۴۳۵, ۱ June ۲۰۱۸, Pages ۱۷۲-۱۸۰

[۱۱] [Marco Astolfi](#), [Simone Mazzol](#), [Paolo Silva](#), [Ennio Macchi](#), A synergic integration of desalination and solar energy systems in stand-alone microgrids, [Desalination](#), Volume ۴۱۹, ۱ October ۲۰۱۷, Pages ۱۶۹-۱۸۰

[۱۲] [Mohammad Ali](#), [Abdelkareem M.El Haj Assad](#), [Enas Taha Sayed](#), [Bassel Soudan](#), Recent progress in the use of renewable energy sources to power water desalination plants, [Desalination](#), Volume ۴۳۵, ۱ June ۲۰۱۸, Pages ۹۷-۱۱۳

- [۱۳] M. Abidi S, Ben Jabrallah, J. P. Corriou ,Optimal Design of a Solar Desalination Unit with Heliostats, International Journal of Chemical Engineering, Volume ۲۰۱۷, Article ID ۵۹۲۴۱۷۳, ۱۳ pages
- [۱۴] El Nadi, SUITABILITY OF SOLAR MIRRORS FOR WATER DE, International Journal of Current Research, Vol. ۷, Issue, ۰۱, pp.۱۱۹۵۴-۱۱۹۵۸, January, ۲۰۱۵
- [۱۵] [Matthias Rommel](#) ,Solar thermally driven desalination systems with corrosion-free collectors, [Renewable Energy](#), Volume ۱۴, Issues ۱-۴, May–August ۱۹۹۸, Pages ۲۷۵-۲۸۰
- [۱۶] Marcello, F.; "Thermo economic Analysis and Simulation of a Combined Power and Desalination Plant", PhD Thesis, Department of Mechanical Engineering, Zaragoza, Spain, ۲۰۰۰.
- [۱۷] Al-shayji, K.A.; "Modeling, Simulation, and Optimization of Large Scale Commercial Desalination Plant", PhD Thesis, Virginia Polytechnic Institute and State University, ۱۹۹۸.
- [۱۸] Leger, Aaron st, Demand response impacts on off-grid hybrid photovoltaic-diesel generator microgrids, aimspress, ۲۰۱۵
- [۱۹] Bert Schiebler, Steffen Jack, Henri Dieckmann, Federico Giovannetti, Experimental and theoretical investigations on temperature limitation in solar thermal collectors with heat pipes: Effect of superheating on the maximum temperature, Solar Energy ۱۷۱ (۲۰۱۸) ۲۷۱-۲۷۸