عملکرد نیروگاه خورشیدی شیراز با ماشین بخار

محمود یعقوبی، کیان عزیزیان

بخش مهندسی مکانیک دانشکده مهندسی دانشگاه شیراز

چکیده

با توجه به پیشرفت‌های سریع صنعتی و نیاز روزافزون به انرژی و محدودیت منابع انرژی و مسایل اقتصادی و زیست محیطی ناشی از استفاده از سوخت‌های فسیلی بهره‌گیری از منابع جایگزین انرژی طی دو دهه گذشته مورد توجه فراوان قرار گرفته است. در این راستا برای اولین در ایران طراحی و ساخت نیروگاه خورشیدی ۲۵۰ کیلووات شیراز دردست اقدام می‌باشد. مطالعات متعددی درباره طراحی، ساخت و عملکرد این نیروگاه که از قسمت‌ها و بخش‌های مختلفی تشکیل یافته، انجام پذیرفته است. یکی از بخش‌های مهم این نیروگاه سیستم تولید برق است که ابتدا توربین بخار پیش‌بینی شده بود و سپس ماشین بخار جایگزین گردید. ماشین بخار قابلیت تولید برق با بخار داغ یا اشباع، با فشارهای مختلف را دارا می‌باشد. در این مطالعه تأثیر تغییرات فشار بخار ورودی به ماشین و همچنین اثر ارسال بخار داغ یا بخار اشباع به ماشین بخار بر روی عملکرد نیروگاه مورد بررسی قرار می‌گیرد. نمودارهای تغییرات دما و میزان برق تولیدی روزانه ارائه شده و اثر پارامترهای ذکر شده بر روی راندمان مزرعه، راندمان سیکل روغن، و میزان برق تولیدی روزانه، ماهانه و سالانه مورد بررسی قرار گرفته و با نتایج سیکل بخار با توربین مقایسه شده است.

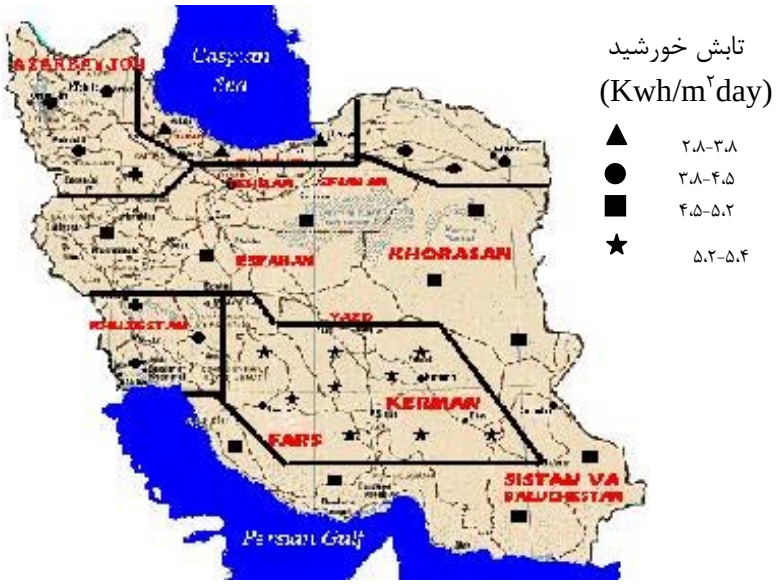
[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-08]

مقدمه

مسأله تأمین انرژی مورد نیاز از دیر باز از دغدغه‌های فکری بوده و با پیشرفت صنایع و تکنولوژی این مسأله بتدریج حادتر گردیده است. با محدودیت منابع تأمین‌کننده کنونی انرژی و مسایل زیست محیطی توجه به منابع دیگر انرژی طی دو دهه گذشته بیشتر شده و در این راستا استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر به منظور جایگزین نمودن آنها با سوخت‌های فسیلی و کاهش آلودگی بتدریج افزایش یافته و در این خصوص می‌توان به استراتژی‌های پیش‌بینی شده در این زمینه اشاره کرد[۱]. یکی از مهمترین منابع انرژی‌ها تجدیدپذیر انرژی خورشیدی می‌باشد. میزان این انرژی چندین برابر میزان مصرف انرژی کنونی جهان می‌باشد و تولید الکتریسیته از اهداف عمده کاربرد انرژی‌های تجدیدپذیر بخصوص انرژی خورشید می‌باشد. پیش‌بینی می‌شود که در آینده‌ای نزدیک ساخت نیروگاه‌های حرارتی خورشیدی در مناطقی که دریافت انرژی خورشید مناسبی دارند راهبردی مهم برای تأمین انرژی از نقطه نظر سازگاری با محیط زیست و توسعه پایدار باشد[۲]. در سال‌های اخیر مطالعات متعددی درباره استفاده از انرژی‌های نو با توجه به شرایط و وضعیت اقلیمی و جغرافیایی، وضعیت اقتصادی، شرایط منابع موجود، شرایط زیست محیطی و همچنین شرایط اجتماعی، در منطقه‌ای خاص صورت پذیرفته است. با توجه به این شرایط چگونگی استفاده از انرژی‌های نو و جایگزینی آنها با انرژی حاصل از سوخت‌های فسیلی تعیین می‌شود[۳،۴].

برای تبدیل انرژی خورشید به انرژی الکتریسیته روش‌های متفاوتی موجود می‌باشد[۲]. استفاده از کلکتورهای سهموی خطی یکی از مناسبترین روش‌ها است به طوری که در حدود 80٪ انرژی الکتریکی خورشیدی جهان با استفاده از این سیستم‌ها تولید می‌شود [۵]. کشور ایران به دلیل موقعیت خاص جغرافیایی خود قابلیت دریافت مقدار قابل ملاحظه‌ای از انرژی خورشیدی را دارا می‌باشد که در شکل (۱) پتانسیل نواحی مختلف ایران از نظر میزان دریافت انرژی خورشید آورده شده است[۶]. همانطور که در این شکل مشاهده می‌شود مناطق مرکزی ایران و شهر شیراز بیشترین میران دریافت انرژی خورشید را دارا است و به همین دلیل در راستای تولید انرژی الکتریسیته با استفاده از سیستم‌های خورشیدی طرح ساخت نیروگاه خورشیدی ۲۵۰ کیلوواتی توسط معاونت انرژی نو وزارت نیرو و بخش مهندسی مکانیک دانشگاه شیراز در حال اجرا می‌باشد.

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-08]

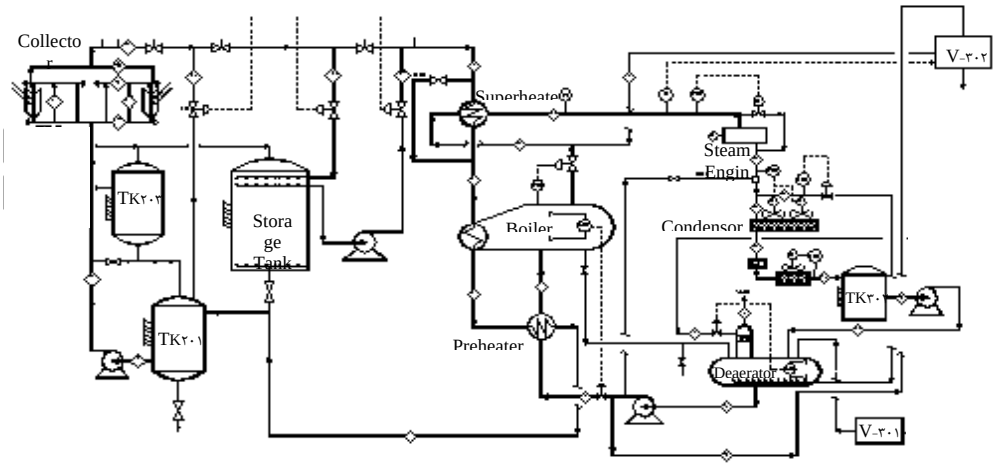


شکل ۱ـ میزان انرژی خورشیدی دریافتی در مناطق مختلف ایران [۶]

۱ـ نیروگاه خورشیدی ۲۵۰ کیلوواتی شیراز

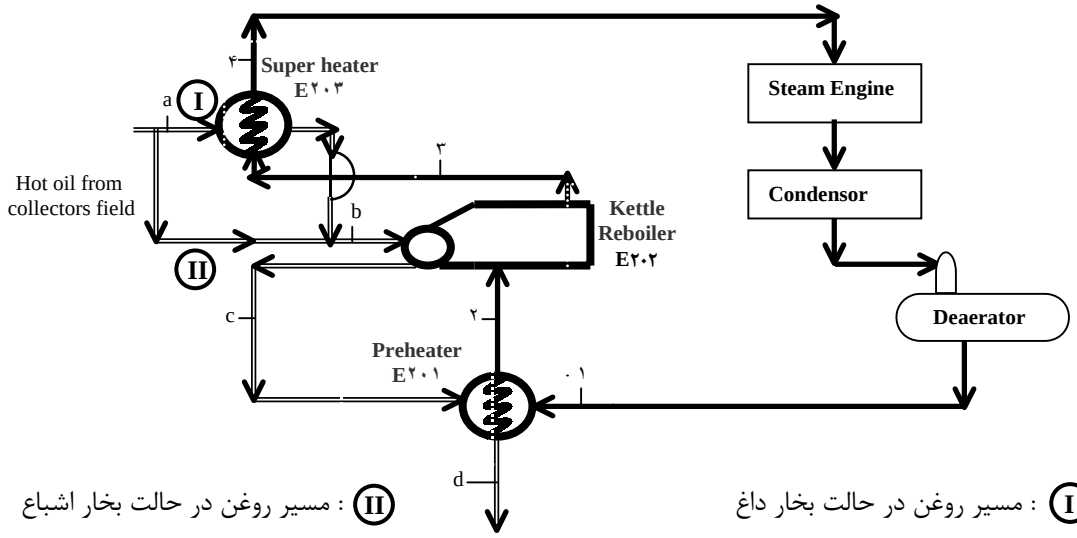
این نیروگاه از دو سیکل روغن و بخار تشکیل شده است (شکل ۱) که سیال عامل (روغن) در سیکل روغن با عبور از مزرعه کلکتورهای خورشیدی گرمای خورشید را جذب کرده و با عبور از مبدل‌های حرارتی طراحی شده انرژی خود را به آب داده و آن را تبدیل به بخار داغ (اشباع) می‌کند. بخارتولید شده وارد موتور بخار شده و در این دستگاه الکتریسیته تولید می‌شود. قبل از شروع به ساخت نیروگاه مطالعات اولیه در مورد این نیروگاه صورت پذیرفت که می‌توان به طراحی و شبیه‌سازی پایدار نیروگاه [۷] بررسی تجربی طراحی نیروگاه خورشیدی برای نقاط مختلف ایران [۸] شبیه‌سازی نیمه پایدار نیروگاه حرارتی خورشید [۹] شبیه‌سازی بهینه ناپایدار نیروگاه خورشیدی شیراز[۱۰] اشاره کرد. کار ساخت نیروگاه خورشیدی شیراز با ساخت و تست یک کلکتور نمونه آغاز شد [۱۱] و با انجام آزمایش‌های مربوطه، مراحل ساخت این نیروگاه در حال اقدام می‌باشد. در ابتدا قرار بود برای تولید برق از توربین بخار استفاده شود و طراحی‌های انجام شده[۹-۷] بر این مبنا صورت گرفته بود ولی با توجه به عدم دسترسی به توربین با ظرفیت پایین تصمیم بر این شد که از ماشین بخار برای تولید جریان الکتریسیته استفاده شود. در تمام مطالعات قبلی فرض بر استفاده از توربین بخار بود، اما در این تحقیق ماشین بخار جایگزین توربین بخار شده و سیکل فرایندی مربوطه (شکل ۲) با آنچه در مطالعات قبل بود، تغییر یافته است.

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-08]



شکل ۲ـ نمایی شماتیک از سیکل روغن و بخار نیروگاه خورشیدی شیراز

در شکل ۳ـ نمایی شماتیک از سیکل بخارنیروگاه خورشیدی شیراز آورده شده است. دراین پژوهش شبیه سازی کل سیکل روغن با توجه به روابط و نتایج بدست آمده از مرجع [۱۲] صورت پذیرفته است سعی بر این است تا با توجه به شرایط واقعی در نظر گرفته شده در این مرجع ارزیابی عملکرد نیروگاه در فشارها متفاوت مورد بررسی قرار گیرد.

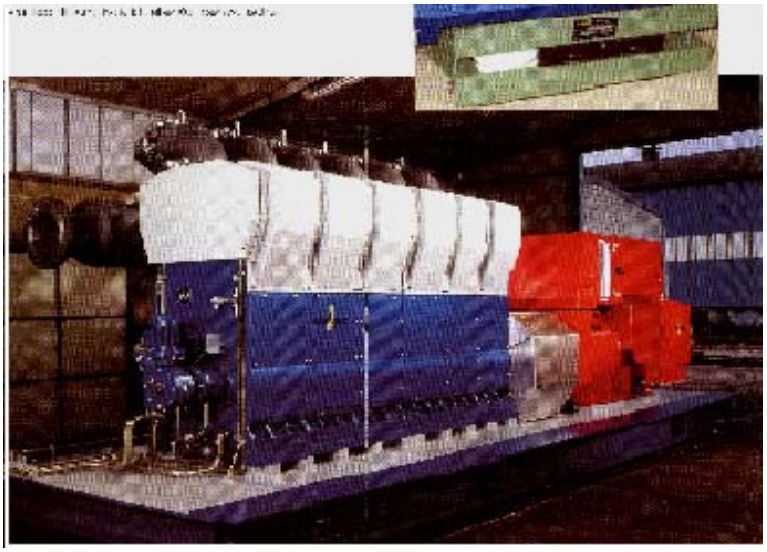


شکل ۳ـ نمایی شماتیک از سیکل بخار نیروگاه خورشیدی شیراز

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-08]

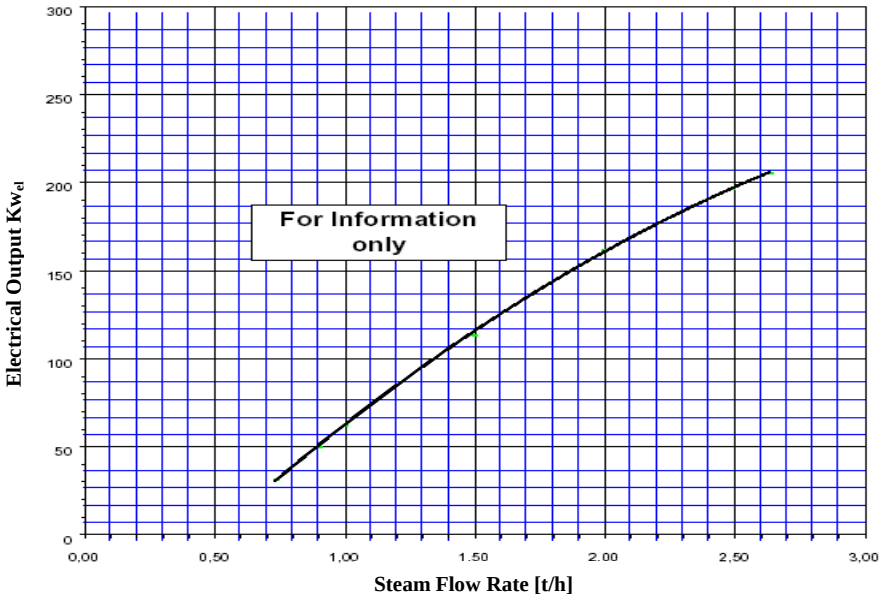
۱ـ۲ـ ماشین بخار

قبل از بررسی اثرات تغییر فشار بخار لازم است توضیحاتی درباره ماشین بخار مورد استفاده در نیروگاه که وظیفه تولید برق با استفاده از بخار ارسالی از مبدل‌ها را بر عهده دارد آورده شود. ماشین بخار استفاده شده در نیروگاه خورشیدی شیراز (که در شکل شماره ٤ نمایی از آن آورده شده است) قابلیت تولید برق با بخار داغ و اشباع در فشارهای متفاوت را دارا می‌باشد. میزان برق تولیدی توسط این ماشین تابع مستقیمی از دبی، فشار و حالت بخار وارده به آن دارد به طوری که با افزایش مقدار بخار و استفاده از بخار داغ به جای بخار اشباع میزان برق تولید توسط ماشین بخار نیز افزایش می‌یابد. در شکل‌های ٥ و٦ میزان تغییرات برق تولیدی برای بخار داغ ورودی و بخار اشباع با فشار 17/5 barg آورده شده است.

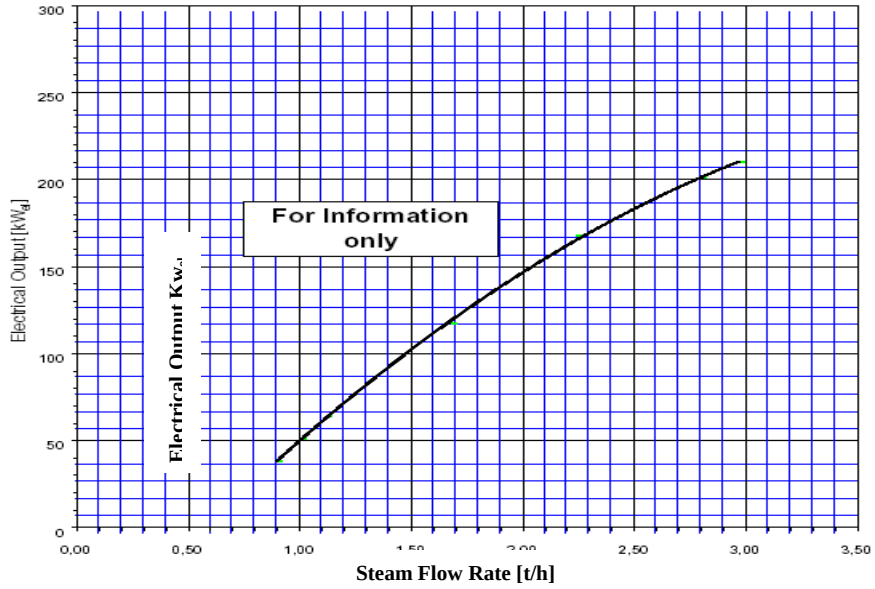


شکل ۴ـ نمایی از ماشین بخار مورد استفاده در نیروگاه خورشیدی شیراز

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-08]



شکل ۵ـ تغییرات میزان برق تولیدی توسط ماشین بخار به ازای فشار ورودی17/5 barg
(حالت ارسال بخار داغ به ماشین بخار)



شکل ۶ـ تغییرات میزان برق تولیدی توسط ماشین بخار به ازای فشار ورودی 17/5 barg
(حالت ارسال بخار اشباع به ماشین بخار)

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-08]

۱ـ۳ـ تغییرات دمای روغن ورودی به مزرعه کلکتورها

همان طور که بیان شد روغن داغ شده در مزرعه کلکتورها با ورود به مجموعه مبدل‌های حرارتی حرارت خود را به آب ورودی به مجموعه داده و بسته به نوع طراحی بخار داغ یا اشباع از مجموعه خارج می‌شود (شکل ۱). در این مجموعه مبدل E۲۰۱ وظیفه تبدیل آب به آب اشباع، مبدل E۲۰۲ وظیفه تولید بخار اشباع و مبدل E۲۰۳ وظیفه تولید بخار داغ از بخار اشباع را بر عهده دارند. واضح است که با تغییر فشار بخار خروجی از مجموعه مبدل‌ها (و طبعاً فشار آب ورودی به آن) دمای بخار در مسیرها مختلف و نتیجتاً دمای روغن در این مسیرها تفاوت خواهد کرد. در طراحی اولیه فرض براین بود تا روغن با دمای ۲۷۵ درجه سانتی گراد وارد مجموعه مبدل‌ها شده و با دمای ۲۳۱ در جهت مزرعه کلکتورها برگردد. در این طراحی دمای آب ورودی به مجموع ۱۳٦/۳ درجه سانتیگراد و دما و فشار بخار داغ خروجی ۲٦۰ درجه و ۲٤ barg محاسبه شده بود. برای محاسبه تغییر فشار بر روی دمای روغن خروجی و با در نظر گرفتن فرضیات زیر، بالانس انرژی برای هر کدام از مبدل‌ها نوشته و به محاسبه دمای روغن پرداخته می‌شود:

الف ـ دبی روغن ورودی و دمای آن (۲۷۵ درجه سانتیگراد) به مبدل E۲۰۳ ثابت است.

ب ـ دبی آب و دمای ورودی آن و دبی و دمای بخار داغ خروجی ثابت است .

پ ـ در هر مرحله فشار بخار در سیکل مشخص است.

۱-۳-۱- مبدل E۲۰۳

در این مبدل بخار اشباع با گرفتن گرمای روغن تبدیل به بخار داغ می‌شود با در نظر گرفتن معادله بالانس انرژی برای این مبدل خواهیم داشت:

$$\dot{m}_{oil} \times Cp_{oil} \times (T_a - T_b) = \dot{m}_{st} \times Cp_{st} \times (T_4 - T_3) \qquad (۱)$$

در این روابط تغییرات Cp_{oil} و Cp_{st} از رابطه‌های زیر به دست می‌آیند [۹].

$$Cp_{oil}(T) = 0/8132 + 3/706\times10^{-3} \times T \quad kj/kg.k$$

$$\overline{C}p_{st}(T) = 143/05 - 183/54\theta^{0/5} - 3/6989\theta \quad kj/mol.k$$

$$\theta = \frac{T}{100} \qquad (۲)$$

$$Cp_{st}(T) = \frac{\overline{C}p_{st}(T)}{M_{H_2O}} = \frac{\overline{C}p_{st}(T)}{18}$$

همان طور که قبلاً ذکر شد دبی و دمای آب و بخار ورودی و خروجی مجموعه مبدل‌ها ثابت بوده و فشار بخار در هر مرحله مشخص می‌باشد. با توجه به این امر و نظر به این که تغییرات گرمای ویژه بخار با دما چندان قابل ملاحظه نمی‌باشد مقدار گرمای ویژه بخار در هر فشار کارکرد در میانگین دمای ورودی و خروجی به این مبدل (که عبارت است از دمای بخار اشباع در فشار خروجی از مبدل E۲۰۲ و دمای بخار داغ خروجی) تعیین می شود. به دلیل وابستگی زیاد گرمای ویژه روغن به تغییرات دما و عدم

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-08]

اطلاع از دمای روغن در خروجی از این مبدل مقدار دمای روغن خروجی با روش سعی و خطا تعیین می‌شود. روش کار به این صورت است که ابتدا مقدار گرمای ویژه روغن در دمای روغن ورودی به مبدل (که برابر275 درجه سانتی‌گراد در نظر گرفته می‌شود) محاسبه می‌شود و با حل معادله (۱) مقدار دمای روغن در خروجی از این مبدل (T_b) به دست می‌آید. در قدم بعدی مقدار گرمای ویژه روغن در میانگین دمای روغن ورودی و خروجی از مبدل محاسبه شده و با توجه به این مقدار دوباره مقدار دمای روغن خروجی از مبدل را به دست می‌آوریم و این کار آن قدر تکرار می‌شود تا دمای روغن در خروجی از مبدل مقدار ثابتی شود.

۱-۳-۲- مبدل E ۲۰۲

با توجه به این که این مبدل آب اشباع را تبدیل به بخار اشباع می‌کندن بالانس انرژی برای این مبدل به صورت زیر نوشته می‌شود:

$$\dot{m}_{oil} \times Cp_{oil} \times (T_b - T_c) = \dot{m}_{st} \times h_{fg} \qquad (۳)$$

در این رابطه h_{fg} در فشار ورودی به مجموعه مبدل‌ها محاسبه می‌شود. در این مبدل نیز به دلیل عدم اطلاع از دمای روغن در خروجی مبدل (T_c) مقدار گرمای ویژه روغن در دمای ورودی مبدل محاسبه شده و مقدار (T_c) به دست می‌آید. سپس مقدار گرمای ویژه روغن در میانگین دمایی T_b و T_c محاسبه می‌شود و با توجه به مقدار جدید بدست آمده برای گرمای ویژه روغن دوباره مقدارT_c محاسبه می‌شود و با تکرار این عمل تا ثابت ماندن دمای خروجی، مقدار دمای روغن در خروجی از مزرعه به دست می‌آید.

۱-۳-۳- مبدل E۲۰۱

در این مبدل آب با گرفتن گرمای روغن تبدیل به آب اشباع می‌شود. برای محاسبه دمای روغن هنگام خروج از این مبدل بالانس انرژی به صورت زیر نوشته می‌شود.

$$\dot{m}_{oil} \times Cp_{oil} \times (T_c - T_d) = \dot{m}_{st} \times Cp_{st} \times (T_2 - T_1) \qquad (۴)$$

با توجه به معلوم بودن فشار آب در ورودی و خروجی مبدل T_1, T_2 به آسانی محاسبه می‌شوند. (T_1 مقداری است معلوم و T_2 دمای آب اشباع در فشار مربوطه خواهد بود) به دلیل این که ظرفیت گرمایی ویژه آب تقریباً متأثر از دما نیست مقدار Cp_{st} نیز مقدار ثابتی خواهد بود که در این پژوهش مقدار آن 4184 kJ/kg.k در نظر گرفته می‌شود. در این حالت نیز ابتدا مقدار گرمای ویژه روغن در دمای ورودی محاسبه شده و بعد از حل معادله ٤ و محاسبه T_d مقدار گرمای ویژه روغن در میانگین دمایی T_c, T_d محاسبه می‌شود و این کار آن قدر ادامه پیدا می‌کند تا مقدار T_d ثابت شود.

الف ـ تولید بخار داغ

هدف از محاسبات این بخش بررسی میزان تغییرات دمای روغن ورودی به مزرعه کلکتور یا خروجی از مبدل E۲۰۱ می‌باشد که نتایج حاصل از این محاسبات به ازای فشار بخارهای متفاوت انتخابی برای ماشین بخار برای حالت ارسال بخار داغ به ماشین بخار در جدول شماره (۱) آورده شده است. نتایج

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-08]

ارائه شده در این جدول و جدول‌های (۲ تا ٤) با در نظر گرفتن بالانس انرژی برای تک‌تک مبدل‌ها صورت پذیرفته است و ممکن است سطح انتقال حرارت در مواردی متفاوت از آنچه ساخته شده است باشد.

جدول ۱ـ نتایج حاصل از اثرات تغییر فشار بر دماهای خروجی از مجموعه مبدل‌ها (حالت ارسال بخارداغ به ماشین بخار)

Parameters	T_{Oil}(°C)				$T_{steam\ (or\ Water)}$ (°C)				$P_{steam\ (or\ Water)}$ (barg)			
Path / Design No.	a	b	c	d	1 انتخاب	2	3	4	1 انتخاب	2	3	4
Primary Design	ثابت و برابر 275	272/9	238/4	231	136/3	223/4	223/4	260	24/7	24/6	24/6	24/5
Secondary Design		273/1	240/2	231	102/6	217/7	217/5	255	22/2	22/1	22/1	22
Third Design		273/7	238/7	229/6	103	215/9	215/5	250	20/3	20/2	20/1	20
Fourth Design		273/4	237/6	229/1	103	208	207/7	250	17/5	17/3	17/2	17
Fifth Design		273/4	237/03	228/7	103	206/3	206/3	250	14/5	14/2	14/1	14

در جدول شماره (۲) نیز میزان گرمای از دست داده شده توسط روغن و میزان گرمای جذب شده توسط بخار برای حالت طراحی (دبی روغن برابر 13/74 و دبی بخار برابر 0/71 کیلوگرم در ثانیه) ارائه شده است.

جدول ۲ـ نتایج حاصل از اثرات تغییر فشار بر میزان تبادل گرما در مبدل‌ها (حالت ارسال بخار اشباع به ماشین بخار)

Parameters	$P_{steam\ (or\ Water)}$ (barg)				Q_{oil} (kw)				Q_{Steam} (kw)			
Path / Design No.	1 انتخاب	2	3	4	E۲۰۱	E۲۰۲	E۲۰۳	Total	E۲۰۱	E۲۰۲	E۲۰۳	Total
Primary Design		24/6	24/6	24/5	225	1313	84	1672	275	1313	84	1672
Secondary Design		22/1	22/1	22	342	1256	70	1673	342	1256	75	1673
Third Design		20/2	20/1	20	334	1333	48	1715	334	1333	48	1715
Fourth Design		17/3	17/2	17	312	1359	62	1732	311	1356	59	1727
Fifth Design		14/2	14/1	14	309	1381	62	1752	307	1381	61	1749

ب ـ تولید بخار اشباع

در جدول شماره (۳) میزان تغییرات دمای روغن خروجی از مبدل E۲۰۱ (یا روغن ورودی به مزرعه کلکتورها) و در جدول شماره (٤) میزان تبادل حرارت در مبدل‌ها برای حالت ارسال بخار اشباع به ماشین بخار آورده شده است. (در این حالت مبدل E۲۰۳ از مدار خارج شده و بخار اشباع خروجی از مبدل ۲۰۲ E وارد ماشین بخار می‌شود) که دبی روغن ۱۳/۷٤ و دبی بخار ۰/۷۱ کیلوگرم در ثانیه فرض شده است.

جدول ۳ـ نتایج حاصل از اثرات تغییر فشار بر دماهای خروجی از مجموعه مبدل‌ها (حالت ارسال بخاراشباع به ماشین بخار)

Parameters	T_{Oil}(°C)			$T_{steam\ (or\ Water)}$ (°C)			P_{steam} (barg)		
Path / Design No.	b ثابت و برابر 275	c	d	1 انتخاب	2	3	1	2	3
Primary Design		240/9	233/9	136/3	223/98	223/7	24/7	24/6	24/5
Secondary Design		240/5	231/1	102/6	219/97	219/7	22/2	22/1	22
Third Design		240/1	231/1	103	215/34	214/99	20/5	20/2	20
Fourth Design		239/6	231/2	103	207/46	207/2	17/5	17/2	17
Fifth Design		238/7	230/4	103	199/39	198/34	14/5	14/2	14

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-08]

جدول ۴ـ نتایج حاصل از اثرات تغییر فشار بر میران تبادل گرما در مبدل‌ها (حالت ارسال بخار اشباع به ماشین بخار)

Parameters	Q_{oil} (kw)			Q_{Steam} (kw)		
Path / Design No.	E۲۰۱	E۲۰۲	Total	E۲۰۱	E۲۰۲	Total
Primary Design	260	1304	1510	260	1304	1510
Secondary Design	348	1319	1667	348	1319	1667
Third Design	334	1337	1671	333	1355	1668
Fourth Design	311	1360	1671	310	1358	1668
Fifth Design	306	1381	1687	306	1381	1687

۲ـ محاسبه میزان برق تولیدی توسط ماشین بخار

عملکرد ماشین بخار پیش‌بینی شده با توجه به فشار بخار و حالت بخار تغییر می‌کند. چگونگی تغییرات برق تولیدی توسط ماشین بخار در فشارها و حالت‌های مختلف بخار ورودی توسط شرکت سازنده (Spilling Co.) ارائه که دو نمونه در نمودارهای (۵ و ٦) آورده شده است. برای محاسبه میزان برق تولید در هر لحظه با توجه به نمودار ارائه شده توسط شرکت سازنده (مشابه شکل‌های ۵ و ٦) معادله‌ای تهیه شده که در زیر معادلات استفاده شده برای محاسبه میزان برق تولیدی برای حالت‌های مختلف آورده شده است. در این معادلات برای هر فشار بخار معادله اول مربوط به ارسال بخار داغ و معادله دوم مربوط به ارسال بخار اشباع به ماشین بخار می‌باشد.

الف ـ فشار بخار 14 barg

(5) بخار داغ $P = -294/44\dot{m}_{st}^{3} + 109/55\dot{m}_{st}^{2} + 377/04\dot{m}_{st} - 43/119$

(6) بخار اشباع $P = -332/35\dot{m}_{st}^{3} + 217/84\dot{m}_{st}^{2} + 297/22\dot{m}_{st} - 39/691$

ب ـ فشار بخار 5/barg **17**

(7) بخار داغ $P = -22/562\dot{m}_{st}^{3} - 185/85\dot{m}_{st}^{2} + 524/79\dot{m}_{st} - 68/85$

(8) بخار اشباع $P = 75/673\dot{m}_{st}^{3} - 322/65\dot{m}_{st}^{2} + 575/7\dot{m}_{st} - 87/93$

پ–فشار بخار barg **20**

(9) بخار داغ $P = 128/29\dot{m}_{st}^{3} - 418/79\dot{m}_{st}^{2} + 660/62\dot{m}_{st} - 94/568$

(10) بخار اشباع $P = -144/1\dot{m}_{st}^{3} + 98/141\dot{m}_{st}^{2} + 348/14\dot{m}_{st} - 50/08$

در این معادلات $\dot{m}_{st}$ بر حسب کیلوگرم در ثانیه و P بر حسب کیلووات می‌باشد.

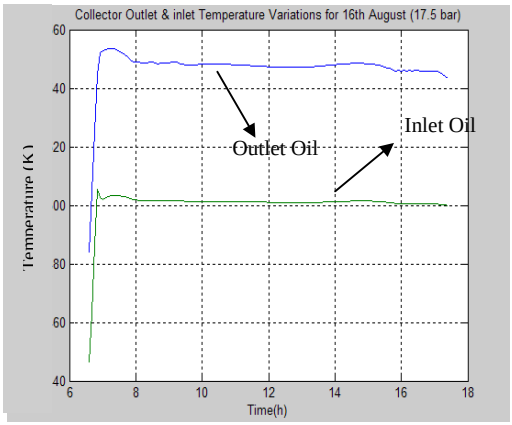
۳ـ نتایج

با توجه به شبیه‌سازی ناپایدار برای اجزا مختلف نیروگاه (مزرعه کلکتورها، مخازن، لوله‌های ارتباطی) طبق مراجع [۱۰و۱۲] برای فشار بخارهای ذکر شده، مبدل‌های حرارتی به طور جداگانه شبیه‌سازی شدند. شبیه‌سازی هم برای حالت ورود بخار داغ به ماشین بخار و هم برای بخار اشباع انجام گردید. در شکل‌ها شماره ۷ تا ۱۰ میزان برق تولیدی، میزان دبی روغن داغ و بخار تولیدی و همچنین تغییرات دمای

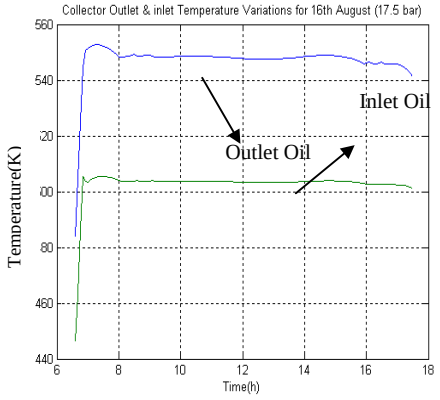
[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-08]

روغن در ورودی به مزرعه کلکتور و خروجی آن برای دو حالت ارسال بخار داغ و بخار اشباع با فشار 17/5 barg به ماشین بخار برای روز شانزدهم ماه اگوست آورده شده است.

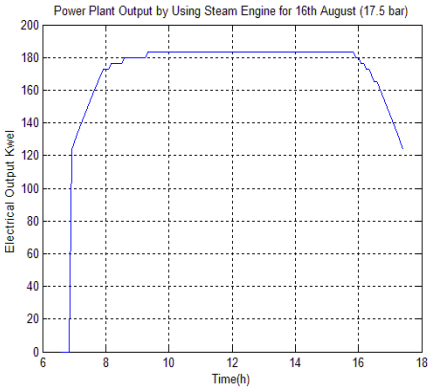
همان طور که در شکل‌های شماره (۷ و ۸) مشاهده می‌شود تغییرات دمای روغن در ورودی و خروجی مزرعه کلکتور مشابه یکدیگر است ولی همچنانکه در این شکل مشهود است میزان تغییرات دمای روغن ورودی و بالطبع خروجی از مزرعه برای حالت ارسال بخار اشباع مشابه یکدیگر می‌باشد ولی میزان برق تولیدی توسط ماشین بخار برای حالت ارسال بخار داغ بیشتر می‌باشد علت این امر مربوط به عملکرد خاص ماشین بخار در فشارهای مختلف (شکل‌های ۵ و ٦) می‌باشد. باید یادآور شد که عملکرد مجموعه برای سایر ماه‌های سال و سایر فشارها بخار مانند نمودارها ارائه شده در شکل‌های ۷ الی ۱۰ می‌باشد که از آوردن آنها خودداری می‌شود.



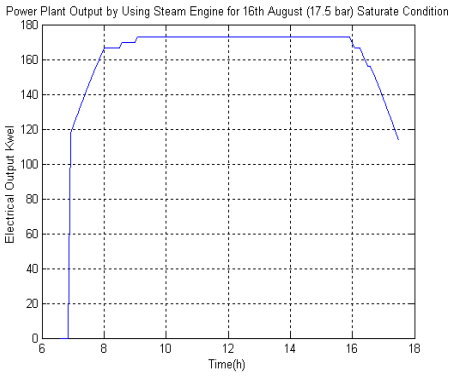
شکل ۷ــ تغییرات دمای روغن ورودی وخروجی مزرعه کلکتور (حالت ارسال بخار داغ به ماشین بخار) برای روز 16 آگوست



شکل ۸ــ تغییرات دمای روغن ورودی وخروجی مزرعه کلکتور (حالت ارسال بخار اشباع به ماشین بخار) برای روز 16 آگوست



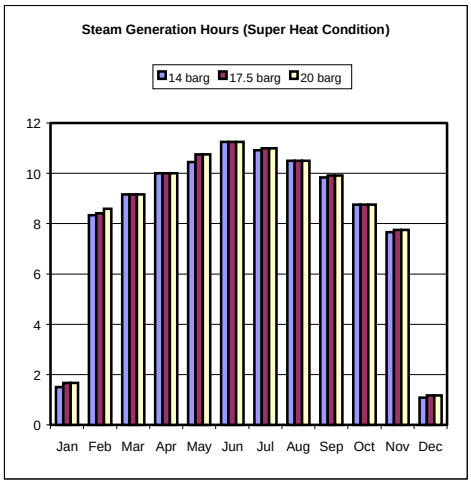
شکل ۹ــ تغییرات میزان برق تولیدی توسط ماشین بخار (حالت ارسال بخار داغ به ماشین بخار) برای روز 16 آگوست



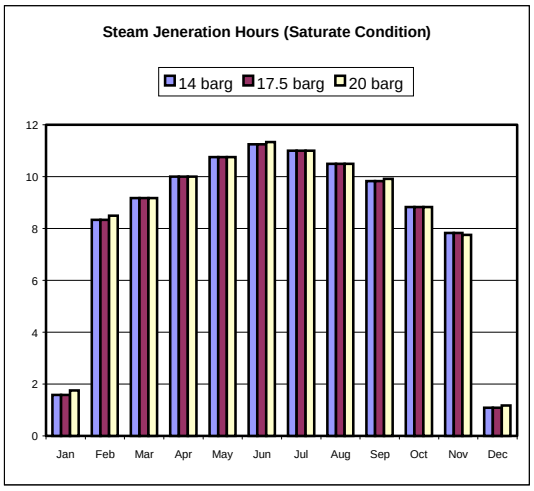
شکل ۱۰ــ تغییرات میزان برق تولیدی توسط ماشین بخار(حالت ارسال بخار اشباع به ماشین بخار) برای روز 16 آگوست

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-08]

در شکل‌های ۱۱ و ۱۲ میزان تغییرات ساعات تولید برق برای فشار ۱٤ بار، ۱۷/۵ و ۲۰ بار و دو حالت ارسال بخار و اشباع یا داغ در طول ماه‌های مختلف سال آورده شده است. ملاحظه می‌شود که تغییر فشار بخار و همچنین حالت آن اثر چندانی در ساعات تولید برق ندارد ولی با وجود این با افزایش فشار میزان ساعات تولید برق نیز مقدار اندکی افزایش می‌یابد.



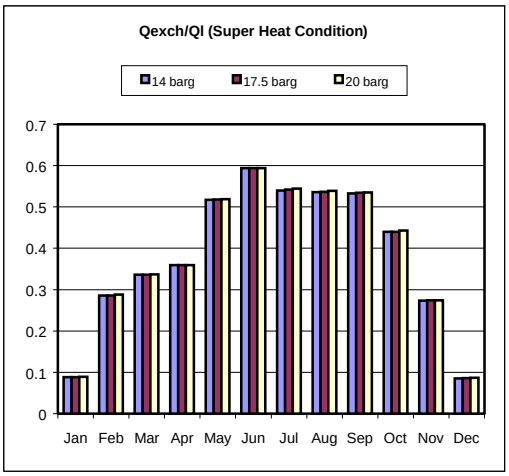
شکل ۱۱ـ میزان ساعات تولید بخار (برق) برای ماه‌های مختلف سال (حالت ارسال بخار داغ به ماشین بخار)



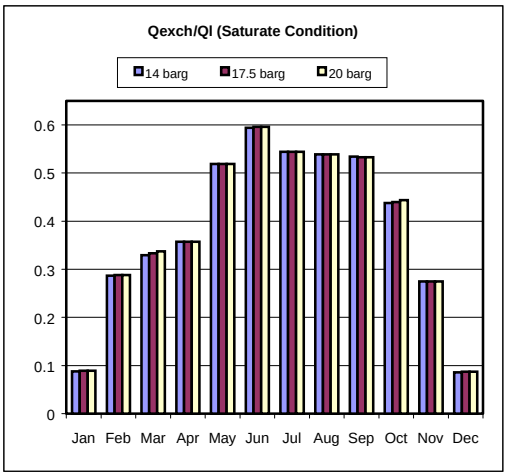
شکل ۱۲ـ میزان ساعات تولید بخار (برق) برای ماه‌های مختلف سال (حالت ارسال بخار اشباع به ماشین بخار)

در شکل‌ها شماره ۱۳ و ۱٤ میزان حرارت جذب شده در مبدل‌های حرارتی به بار کل نیروگاه (۲۵۰ کیلووات) برای فشارها و حالت‌های مختلف بخار، در ماه‌های مختلف سال آورده شده است. همان طور که در این دو شکل نیز مشاهده می‌شود تغییر فشار بخار و حالت آن تاثیر زیادی در میزان حرارت جذب شده نمی‌گذارد ولی شاهد افزایش اندک گرمای جذب شده در مبدل‌ها با افزایش فشار بخار می‌باشیم.

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-08]

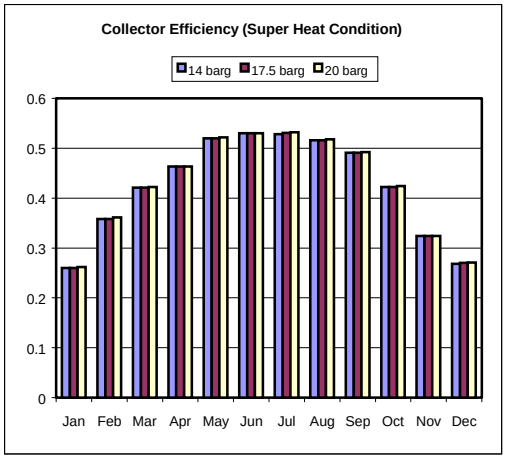


شکل ۱۳ـ میزان گرمای جذب شده در مبدل‌ها به بار کل نیروگاه برای ماه‌های مختلف سال (حالت ارسال بخار داغ به مبدل‌ها)

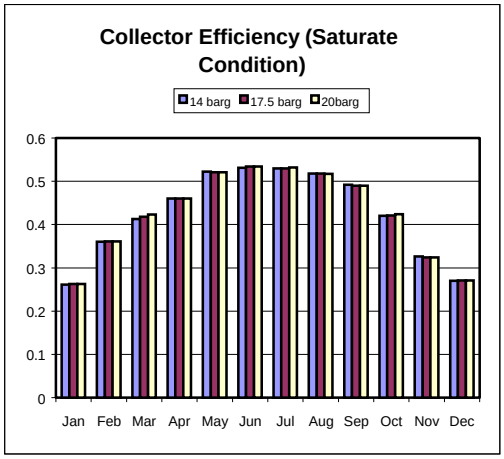


شکل ۱۴ـ میزان گرمای جذب شده در مبدل‌ها به بار کل نیروگاه برای ماه‌های مختلف سال (حالت ارسال بخار اشباع به مبدل‌ها)

در شکل‌های ۱۵ تا ۱۸ نیز میزان راندمان سیکل روغن و مزرعه کلکتورها برای حالت‌های مختلف در طول سال مورد مقایسه قرار گرفته است که مانند شکل‌های قبل شاهد افزایش نامحسوس راندمان با افزایش فشار هستیم.

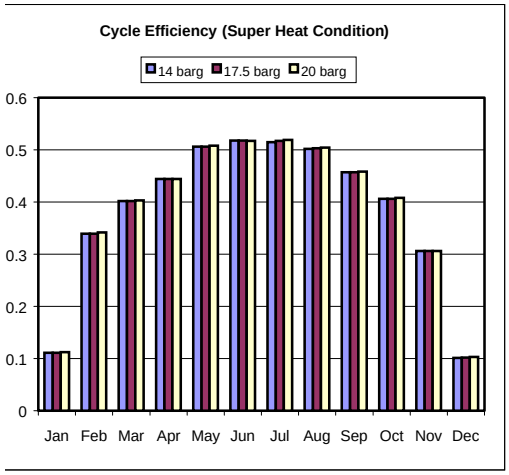


شکل ۱۵ـ تغییرات راندمان مزرعه کلکتورها در اثر تغییر فشار ورودی به ماشین بخار(حالت ارسال بخار داغ به ماشین بخار)

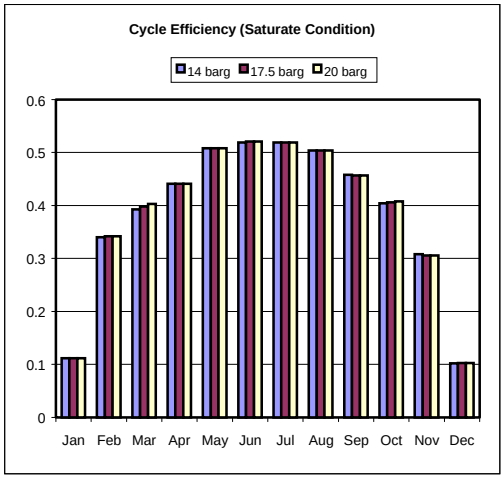


شکل ۱۶ـ تغییرات راندمان مزرعه کلکتورها در اثر تغییر فشار ورودی به ماشین بخار(حالت ارسال بخار اشباع به ماشین بخار)

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-08]



شکل ۱۷ـ تغییرات راندمان سیکل روغن در اثر تغییر فشار ورودی به ماشین بخار(حالت ارسال بخار داغ به ماشین بخار)

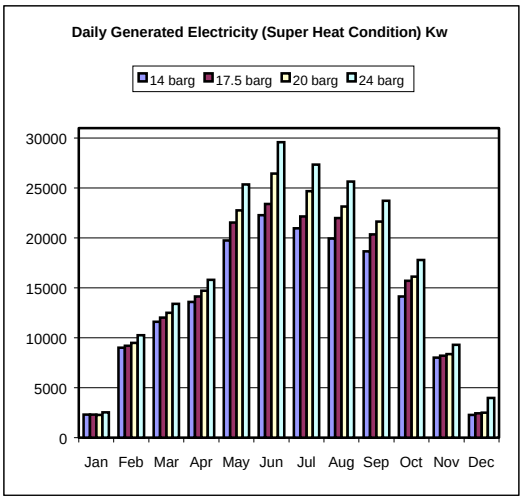


شکل ۱۸ـ تغییرات راندمان سیکل روغن در اثر تغییر فشار ورودی به ماشین بخار (حالت ارسال بخار اشباع به ماشین بخار)

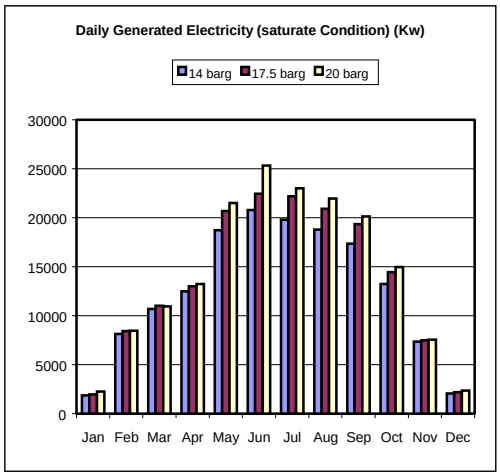
در شکل‌های ۱۹ تا ۲۲ میزان برق تولیدی توسط ماشین بخار به صورت روزانه و ماهانه برای حالت‌های مختلف مورد مقایسه قرار گرفته است. ملاحظه می‌شود که با افزایش فشار بخار و همچنین تغییر حالت ارسال بخار از اشباع به بخار داغ میزان برق تولیدی توسط ماشین بخار افزایش می‌یابد. این افزایش که نسبت به شکل‌های قبلی بسیار محسوس است ناشی از عملکرد خاص ماشین بخار در فشارها و حالت‌های مختلف بخار ورودی به آن می‌باشد.

در جدول شماره (۵) میزان برق تولید سالانه توسط ماشین بخار برحسب کیلووات به ازای حالت‌های مختلف طراحی آورده شده است. همانطور که در این جدول مشاهده می‌شود بیشترین میزان تولید برق مربوط به حالت ارسال بخار داغ بار فشارbarg ۲٤ و کمترین میزان تولید برق مربوط به حالت ارسال بخار اشباع با فشار barg ۱٤ می‌باشد. در این جدول به آسانی مشاهده می‌شود که با افزایش فشار و همچنین تغییر حالت بخار ارسالی از اشباع به داغ میزان برق تولید سالانه به طرز محسوسی افزایش می‌یابد. همچنین ملاحظه می‌گردد که میزان برق تولیدی توسط ماشین بخار نسبت به توربین بخار که میزان برق تولیدی توسط آن (با در نظر گرفتن بازده سی درصدی برای توربین) در طول سال برابر ۱۵۵٤۵۷ کیلووات ساعت گزارش شده است[۹] که ملاحظه می‌شود میزان برق تولیدی از تمامی حالات بحث شده کمتر شده است.

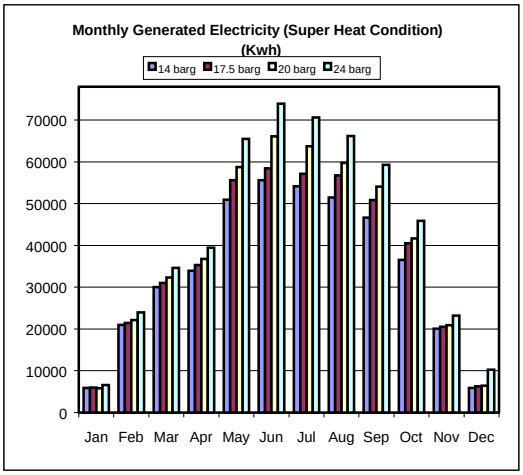
[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-08]



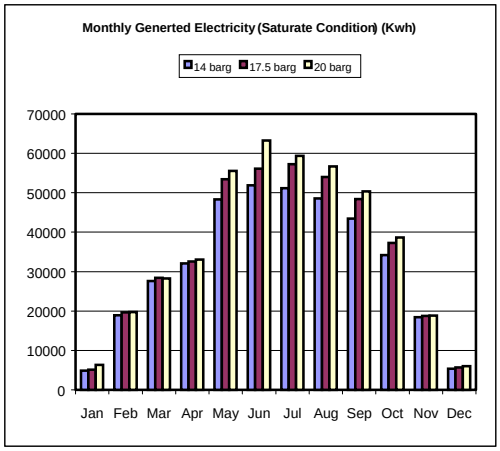
شکل ۱۹ـ میزان برق تولیدی در روز انتخابی ماه برای فشار بخارهای مختلف (حالت ارسال بخار داغ به ماشین بخار)



شکل ۲۰ـ میزان برق تولیدی در روز انتخابی ماه برای فشار بخارهای مختلف (حالت ارسال بخار اشباع به ماشین بخار)



شکل ۲۱ـ میزان برق تولیدی در طول هر ماه برای فشار بخارهای مختلف (حالت ارسال بخار داغ به ماشین بخار)



شکل ۲۲ـ میزان برق تولیدی در طول هر ماه برای فشار بخارهای مختلف (حالت ارسال بخار اشباع به ماشین بخار)

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-08]

جدول ۵ـ میزان برق تولیدی (کیلووات ساعت) توسط ماشین بخار در طول سال به ازای فشار و حالت‌های مختلف بخار

فشار / حالت	14 barg	17/5 barg	20 barg	24 barg
بخار اشباع	384816	416563	436111	*
بخار داغ	412350	440073	468543	519584

* منحنی میزان برق تولیدی برای این حالت توسط شرکت سازنده ارائه نشده است.

نکته آخر اینکه در نیروگاه یک مخزن ذخیره پیش‌بینی شده است که محاسبات برای وجود ماشین بخار در سیکل نشان می‌دهد که این مخزن ذخیره فقط در حالت‌های ارسال بخار اشباع با فشار barg ۱۷/۵، بخار اشباع با فشار barg ۲۰ و بخار داغ با فشار barg ۲۲ شارژ می‌شود که علت این امر کاهش دمای ورودی به مزرعه کلکتورها و در حالت‌های دیگر و در نتیجه افت دمای خروجی از مزرعه و عدم بالارفتن دبی روغن از میزان طراحی شده برای شارژ مخزن 13/7 کیلوگرم بر ثانیه (به علت کاهش دمای خروجی) می‌باشد.

۴ـ نتیجه‌گیری

همانطور که ملاحظه شد که با تغییر توربین بخار به ماشین بخار عملکرد نیروگاه در کل متأثر از فشارهای بخار و حالت‌های آن می‌باشد و برای دستیابی به عملکرد مطلوب تر و بازده بالاتر انتخاب فشار بخار و حالت بخار بهتر منطقی و ضروری به نظر می‌رسد. از نتایج چنین بر می‌آید که ارسال بخار با فشار بیشتر باعث افزایش راندمان مجموعه و میزان برق به دست آمده می‌شود ولی باید توجه کرد که ارسال بخار با فشار بالاتر مستلزم استفاده از پمپ‌های قوی‌تر خواهد بود. از طرفی دیگر ارسال بخار داغ به جای بخار اشباع نیز باعث افزایش راندمان مجموعه می‌شود ولی ارسال بخار داغ به جای بخار اشباع مستلزم جذب انرژی بیشتر توسط بخار و کاهش نسبی دمای روغن ورودی به مزرعه کلکتور می‌شود که ممکن است در فلسفه کنترل نیروگاه ناپایداری‌هایی ایجاد کند. در هر صورت به دلیل افزایش قابل توجه میزان برق تولیدی ارسال بخار داغ با فشار بالاتر (به دلیل عملکرد ماشین بخار) برای افزایش میزان راندمان مجموعه منطقی و قابل قبول به نظر می‌رسد. در نهایت می‌توان گفت که جایگزینی توربین بخار با ماشین بخار بطور قابل ملاحظه‌ای باعث افزایش مقدار برق تولیدی توسط نیروگاه می‌شود که این امر بدلیل طراحی ماشین بخار برای ظرفیت‌های پایین و راندمان بالای آن می‌باشد.

۵ـ منابع

1- R. Rosa, Carbon Management and Low Carbon Emission Strategies, Proceeding of the first International Exergy, Energy and Environment Symposium, 13-17 July 2003, Izmir, Turkey.

۲ـ یعقوبی، محمود ـ کناری، علی ـ عزیزیان، کیان، نیروگاه‌های گرمایی خورشیدی، مجله مهندسی مکانیک، سال یازدهم، شماره ۲۶، دیماه ۱۳۸۱.

3- Maria G. Carvalho, Naim H. Afgan, Sustainability Index of New and Renewable Energy Power Plants, Proceeding of the first International Exergy, Energy and Environment Symposium, ۱۳-۱۷ July ۲۰۰۳, Izmir, Turkey.

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-08]

4- H. Broesmle, H. Mannstein, C. Schillings and F. Trieb, Assesment of Solar Electricity Potentials In North Africa Based on Satellite Data and Geometrical Information System, Solar Energy, Vol. ۷۰ ,۲۰۰۱.
5- S. Treib, O. Langnib and H. Kliab, Solar Electricity Generation- A Comparative View of Technology, Cost and Environmental impact, Solar Energy, Vol.۵۹, Nos. ۱-۳,۱۹۹۷.
۶ـ رئوفی راد، مجید و حقیقی خوشخو، رامین، بررسی کلی فنی ـ اقتصادی و پیشنهاد مناطق مناسب جهت احداث نیروگاه‌های خورشیدی، مجموعه مقالات سمینارهای انرژی خورشیدی، اسفند ۱۳۷۳.
۷ـ یعقوبی، محمود ـ مهریار رضا، طراحی و شبیه‌سازی نیروگاه ۲۵۰ کیلوواتی حرارتی خورشیدی شیراز، نشریه انرژی ایران، سال سوم، شماره ۶، مرداد ماه ۱۳۷۸.
8- K. Azizian, M.Yaghoubi and A. Kenary, Design Experiences of the First Solar Parabolic Thermal Power Plant for Various Regions in Iran, IRANIAN JOURNAL OF ENERGY, Vol. ۶, No.۱۲, Mar.۲۰۰۲.
۹ـ محمد نوری، پیمان ـ یعقوبی، محمود، تحلیل و ارزیابی غیر پایدار نیروگاه خورشیدی ۲۵۰ کیلووات شیراز، نشریه انرژی ایران، سال چهارم، شماره ۸، مردادماه ۱۳۷۹.
۱۰ـ عزیزیان کیان، طراحی و ارزیابی بهینه کارایی سیکل روغن و بخار نیروگاه خورشیدی شیراز، پایانامه کارشناسی ارشد، بخش مهندسی مکانیک، دانشکده مهندسی، دانشگاه شیراز، تیرماه ۱۳۸۱.
۱۱ـ کناری، غلامعلی ـ یعقوبی، محمود ـ درودگر، فرشید، ارزیابی عملکرد کلکتور نمونه خورشیدی شیراز، مجموعه مقالات پنجمین کنگره ملی و چهارمین کنگره بین‌المللی مهندسی شیمی، ۸-۵ اردیبهشت ۱۳۷۹، دانشگاه شیراز ـ ایران.
12- M. Yaghoubi,, K. Azizian, , A. Kenary, , Simulation of Shiraz Solar Power Plant for Optimal Assessment, Renewable Energy, Vol.۲۸, Feb.۲۰۰۳.

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-08]