بسم الله الرحمن الرحيم

بسم الله الرحمن الرحيم

دانشگاه آزاد اسلامی

واحد تهران جنوب

دانشکده فنی و مهندسی

پایان نامه کارشناسی

مهندسی برق قدرت

عنوان : انرژی زمین گرمایی و افزایش راندمان آن

استاد راهنما : دکتر جلوه مقدم

نام و نام خانوادگی دانشجو : آرین جلیلی نصیرآبادی

شماره دانشجویی : 1419617210826

انرژی زمین گرمایی و افزایش راندمان آن

GEOTHERMAL ENERGY AND INCREASE ITS EFFICIENCY

استاد راهنما : دکتر جلوه مقدم
دانشجو: آرین جلیلی نصیرآبادی

فهرست مطالب

1. چکیده----------1
2. مقدمه ----------2
3. گرادیان زمین‌گرمایی (The geothermal gradient)----------3
4. خلاصه ای از تاریخچه ژئوترمال ----------4
5. گردایان ژئوترمال----------9
6. سیستمهای ژئوترمال ----------11
7. دسته بندی منابع ژئوترمال ----------12
8. بهره برداری از منابع ژئوترمال ----------15
9. چشمه‌های گرمایی زمین---------- 16
10. تاریخچه در ایران---------- 18
11. تولید انرژی---------- 20
12. تولید برق ---------- 22
13. سیستم بخار خشک Dry steam---------- 23
14. سیستم دوفازی Steam Flash---------- 25
15. تک مرحله ای با خروجی اتمسفر Single Flash Backpressure---------- 25
16. تک مرحله ای با کندانسور Single Flash Condensing---------- 26
17. دو مرحله ای Double Flash Condensing---------- 28
18. سیستم مایع داغ Binary---------- 30

19. واحد های نیروگاهی سر چاهی ---------- 37
20. تاسیسات ویژه جدایش بخار و تزریق مجدد پس ابهای خروجی ---------- 38
21. توربین بخار خروجی- اتمسفری متداول ---------- 39
22. توربین بخار خروجی- کندانس متداول ---------- 40
23. واحد نیروگاهی دو سیاله Binary Plant---------- 41
24. مبدل های حرارتی سیکل دو سیاله ---------- 43
25. میزان برق خالص تولیدی ---------- 45
26. توربو آلترناتور دو فازی با جداسازی دوار ---------- 46
27. تجهیزات جانبی نیروگاههای زمین گرمایی ---------- 48
28. افزایش راندمان نیروگاه زمین گرمایی ---------- 53
29. وجود گاز های غیر قابل چگالش---------- 58
30. دی اریتور(deaerator)---------- 58
31. بار پارازیتی---------- 62
32. افت گرما و انرژی سیال خروجی از چاه---------- 62
33. کاربرد توربواکسپندر در تولید برق---------- 64
34. سیکل رانکین آلی---------- 67
35. مشخصات بهینه سیال عامل---------- 69
36. راندمان توربین---------- 70
37. طراحی و تکنولوژی های بهبود دهنده به کار رفته در توربین---------- 71

38. انواع چینش توربین برای تولید حداکثری---------- 76
39. راندمان ژنراتور---------- 81
40. راه‌های افزایش راندمان ژنراتور---------- 81
41. طراحی داخلی ژنراتور---------- 89
42. نیروگاه بخاری خورشیدی زمین گرمایی (GSCPP)----------102
43. بررسی اقتصادی نیروگاههای زمین گرمایی----------103
44. نمودار تلفات بخش های مختلف----------110
45. نگاهی بر نیروگاه های زمین گرمایی مهم دنیا و ایران----------113
46. نتیجه گیری و پیشنهادات ----------124
47. منابع ----------128

1. چکیده

در این پژوهش سعی بر این بوده که مبانی و اصول نیروی زمین گرمایی که در دسته های انرژی های تجدید پذیر است به طور کامل تشریح شود. و انواع مختلفی از پیکره بندی سیستم استخراج سیال از چاه و تولید انرژی الکتریکی از ان به همراه نقشه های فنی هر نیروگاه مورد تجزیه و تحلیل قرار گیرد. هم چنین انواع ادوات و تجهیزات مخصوص که در این واحد ها به کار میرود را تشریح شده است .

راهکار هایی جامع برای افزایش تولید برق از واحد های زمین گرمایی بیان شده است تا تلفات به کمترین حد خود برسد و هدر رفت انرژی کاهش یابد .

تجهیزات توربین های بخار مورد استفاده در این واحد نیروگاهی مفصلا بحث شده و انواع آنها به همراه نکات فنی در پژوهش بررسی شده است .

ژنراتور های گوناگونی از نظر ابعاد و توان و... مقایسه و تحلیل شده تا به بهترین نوع انتخاب برای این واحد نیروگاهی برسیم . ساختار و ساختمان ژنراتور به صورت مفصل قرار داده شده و فناوری های بروز در ساخت ژنراتور ذکر شده است.

سیستم های نظارت بر تولید و کنترل بخش های مختلف نیروگاه در بخش های آخر آمده است.

و در بخش برسی اقتصادی به تحلیل هزینه های مختلف در یک واحد زمین گرمایی پرداخته ایم تا با بازده اقتصادی این گونه نیروگاه ها و سود دهی آن بیشتر آشنا شویم .

در آخر نیز نگاهی مختصر بر چندین نیروگاه مهم زمین گرمایی در جهان و ایران میکنیم تا با نوع سیستم بهره برداری و فناوری های مرسوم کشور های مختلف بیشتر آشنا شویم.

2. مقدمه

با توجه به شـرایط اقتصـادی کشـور و اهمیت ارز آوری صـنایع مختلف و همچنین با دانسـتن این نکته که نفت کالایی استراتژیک میباشد و قسمت مهمی از درآمد های ارزی کشور از طریق فروش نفت میباشد توجه ویژه به انرژی های پاک و غیر فسیلی باید صورت گیرد . یکی از این نوع انرژی ها انرژی زمین گرمایی میباشد که در کشور های دارای گسل زلزله که منابع گرمایی در آنها فعال و به سطح پوسته زمین نزدیک تر است مورد بهره برداری وسیع قرار گرفته است.

اکثر کشور های حوزه اسکاندیناوی از این انرژی بهره برداری کرده اند به نحوی که درصد قابل توجهی از انرژی الکتریکی کشور را از طریق نیروگاه های زمین گرمایی تامین میکنند .

انرژی زمین گرمایی به وفور در جغرافیای غنی ایران یافت میشود و پتانسیل بالایی برای بهره برداری دارد .

ساخت و تجهیز این نیروگاه ها نسبت به واحد های هسته ای و گازی بسیار ساده است زیرا آلودگی محیطی بسیار بسیار کمی دارد و از این زو در میان انرژی هایی قرار میگرید که دوست دار محیط زیست است و به آن آسیب چندانی نمیزند.

فناوری این نیروگاه ها روز به روز در حال پیشرفت و توسعه میباشد و کشور های زیادی هستند که هزینه های هنگفتی صرف تحقیق و اکتشاف در مورد این انرژی و بهره برداری از سیستم های جدید تولید برق از این نیروگاه ها کرده اند.

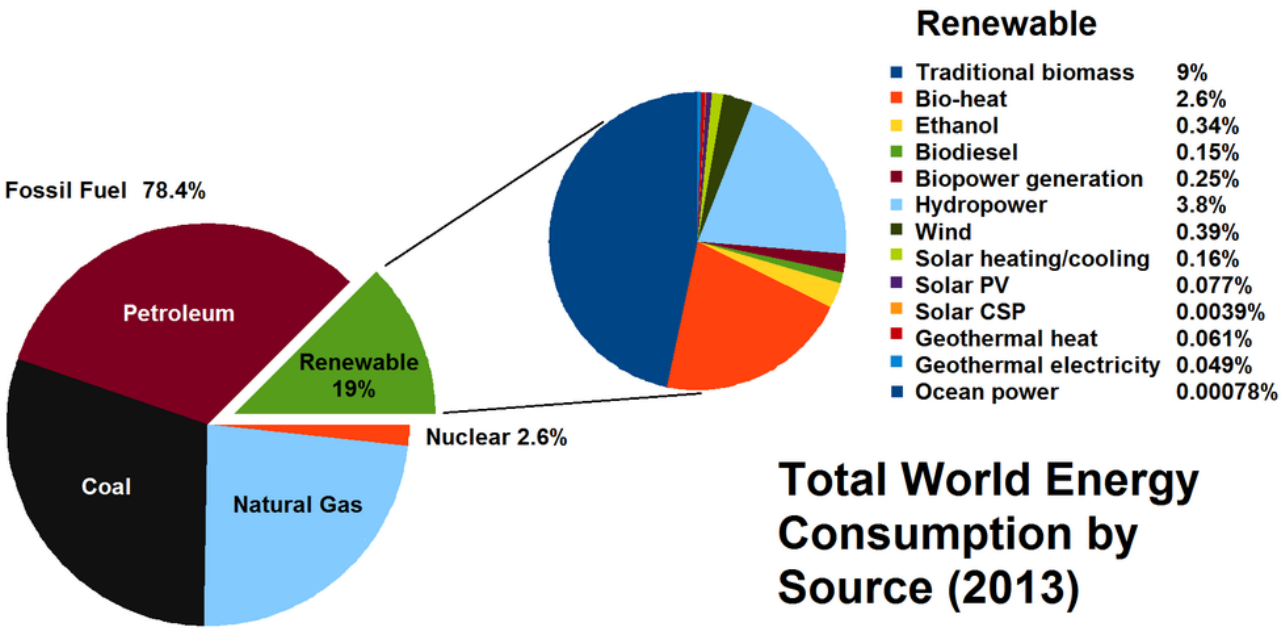
در کشـور سـوئد بخش قابل توجهی از برق مورد اسـتفاده شـبکه برق این کشـور از این نیروگاه ها تامین میشـود و مورد استفاده در صنایی پایین دست دیگر مانند توریستی و دام پروری و آبزی پروری و همچنین گرمایش منازل قرار میگرید.

کشـور های پیشـرفته آینده را متعلق به انرژی های نو و تجدید پذیر میدانند و برای امنیت انرژی در کشـور خود به سـمت انرژی های نو رفته اند تا وابسـتگی به سـوخت های فسـیلی برای تولید انرژی الکتریکی را هم کنند تا از فراورده های نفت در صـنایع پتروشـیمی و پالایشـگاهی که ارزش افزوده زیادی دارد اسـتفاده کنند. در ایران گام های خوبی برای اسـتفاده از انرژی های تجدید پذیر برداشـته شـده اسـت که با توجه به ظرفیت های موجود درکشـور و پتانسـیل بالای این انرژی ها

کافی نیست و جای دارد تا پژوهش های میدانی بیشتری صورت گیرد که نهایتا به بهره برداری بهینه از این منابع بنا به ظرفیت های موجود در کشور بشود .

در ایران در این زمینه می توان به انجام فعالیتهای پتانسیل سنجی در سرتا سر کشور و اقدام به احداث نیروگاه در برخی از مناطق کشور اشاره نمود .امروزه ۲۰ کشور جهان از انرژی زمین گرمایی برای تولید برق استفاده می کنند، به نحوی که میزان برق تولید شده از انرژی زمین گرمایی در سال ۱۹۹۷ بیش از هشت هزار مگاوات بوده است. بر اساس مطالعات انجام شده در ایران و بر روی مناطق آذربایجان و دماوند میزان ظرفیت این مناطق بیش از ۱۰۰×۱۰^{۱۸} ژول برآورد شده است. در سایر نقاط ایران نیز مکانهای متعددی برای این انرژی وجود داردکه توسعه معاونت انرژی وزارت نیرو درحال مطالعه و برسی آن است. با بهره گیری از این انرژی می توان مورد نیاز مناطق محروم و روستایی کشور را تامین نمود تا از این طریق دو مصرف انرژی فسیلی کشور صرفه جویی به عمل آورد.

انرژی زمین گرمایی برخلاف سایر انرژی‌های تجدیدپذیر محدود به فصل، زمان وشرایط خاصی نبوده بدون وقفه قابل بهره‌برداری است. همچنین قیمت تمام شده برق در نیروگاه‌های زمین گرمایی با برق تولیدی از سایر نیروگاه‌های متعارف فسیلی قابل رقابت بوده و حتی از انواع دیگر انرژی‌های نو بسیار ارزانتر است.



شکل 1 سهم انرژی های تجدید پذیر از انرژی های مورد استفاده

3. گرادیان زمین‌گرمایی – (The geothermal gradient)

تفاوت دمایی بین هسته و پوسته – منجر به ایجاد یک جریان همیشگی گرما از سمت هسته به سمت پوسته می‌گردد.

از انرژی زمین‌گرمایی که در دسته‌ی انرژی‌های جایگزین alternative energies دسته‌بندی می‌شود، برای کاربردهایی مانند گرم کردن ساختمان‌های شهری و صنعتی یا تولید برق استفاده می‌کنند.

عبارت «برق زمین‌گرمایی (geothermal power) دقیقاً به همین کاربرد تولید الکتریسیته اشاره دارد.

چهار روش اصلی برای استفاده از انرژی زمین‌گرمایی وجود دارد:

- نیروگاه زمین‌گرمایی،
- «پمپ حرارتی زمین‌گرمایی(geothermal heat pumps) ،
- استفاده مستقیم و
- «سیستم‌های تقویت‌شده‌ی زمین‌گرمایی(enhanced geothermal systems)

شکل 2 خروج بخار آب از نیروگاه زمین‌گرمایی نسیاولیر در ایسلند.

این نوع انرژی در مقیاس زیاد، به شکل مطمئن و به عنوان یک نوع منبع تجدیدپذیر renewable (resource) در دسترس است که به شرایط آب‌وهوایی وابستگی ندارد. با استفاده از گرمای زمین، وابستگی به سوخت‌های فسیلی کاهش می‌یابد و اگر بهره برداری از منبع مورد نظر بیش از ظرفیت نباشد، منجر به کمترین آسیب به محیط زیست می‌شود. به علاوه توسعه‌ی فناوری منجر به امکان استفاده از منابع در اندازه بسیار بزرگ و به شکل بسیار مطمئن شده است.

با این حال چالش هایی نیز در مقابل توسعه‌ی این منابع وجود دارد؛ یکی از این مشکلات نیاز به سرمایه اولیه‌ی بالا و دومی زمان زیاد احداث یک نیروگاه زمین‌گرمایی است. همچنین همه جا نمی‌توان چنین نیروگاهی ساخت و حفاری های زیاد و عمیق منجر به عدم ثبات پوسته در محل می‌گردد. یکی دیگر از معضلات چنین نیروگاه‌هایی امکان انتشار گازها یا عناصر سمی مانند جیوه، بورون و آرسنیک به محیط اطراف است.

4. خلاصه ای از تاریخچه ژئوترمال

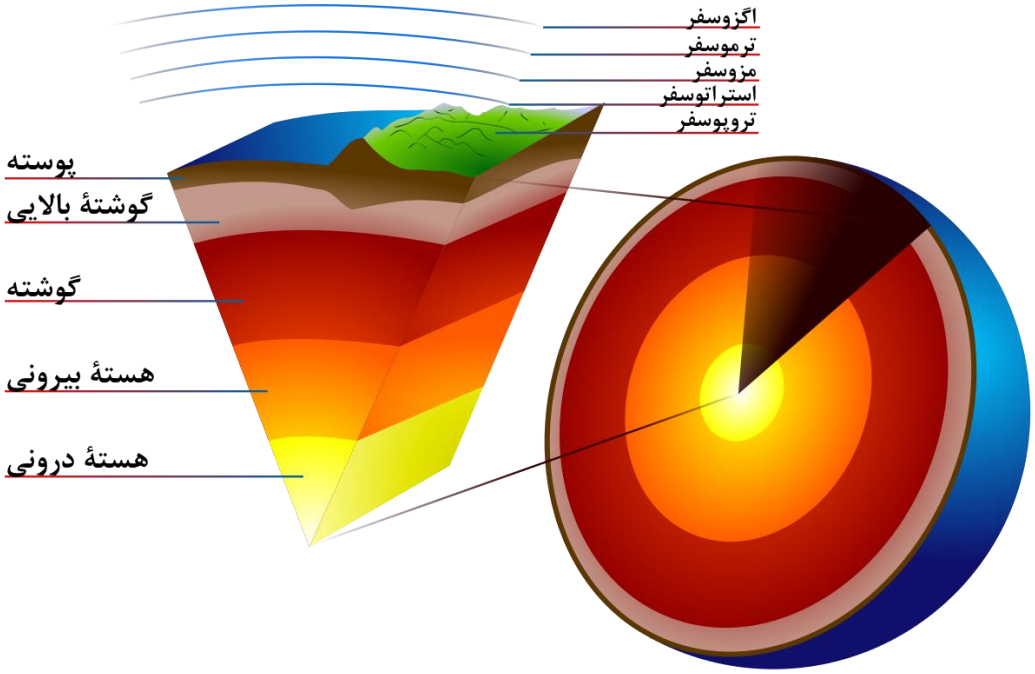
مرکز زمین (به عمق تقریبی ۶۴۰۰ کیلومتر) که در حدود ۴۰۰۰ درجه سانتیگراد حرارت دارد، به‌عنوان یک منبع حرارتی عمل نموده و موجب تشکیل و پیدایش مواد مذاب با درجه حرارت ۶۵۰ تا ۱۲۰۰ درجه سانتیگراد در اعماق ۸۰ تا ۱۰۰ کیلومتری از سطح زمین می‌گردد. به‌طور میانگین، میزان انتشار این حرارت از سطح زمین، که فرایندی مستمر است، معادل ۸۲ میلی وات در واحد سطح است که با درنظرگرفتن مساحت کل سطح زمین، مجموع کل اتلاف حرارت از سطح آن برابر با ۴۲ میلیون مگاوات است.

در واقع این میزان حرارت غیرعادی، عامل اصلی پدیده‌های زمین‌شناسی ازجمله فعالیت‌های آتشفشانی، ایجاد زمین‌لرزه‌ها، پیدایش رشته‌کوه ها (فعالیتهای کوه زایی) و همچنین جابجایی صفحات تکتونیکی می‌باشد که کره زمین را به یک سیستم دینامیک تبدیل نموده و پیوسته آن را تحت تغییرات گوناگون قرار می‌دهد. به‌وسیله یک سیال مانند بخار یا آب داغ یا هر دو می‌توان این حرارت را به سطح زمین انتقال داد. از این انرژی گرمایی در سطح زمین می‌توان در

کاربردهای متفاوت ازجمله تولید برق استفاده کرد. امروزه ۸۵ تا ۹۰ درصد منازلِ ایسلند برای تأمین گرما و آب گرم مورد نیاز خود، از انرژی زمین‌گرمایی استفاده می‌کنند.

وجود کوه های آتشفشان یقیناً باید نیکان ما را از این حقیقت اگاه ساخته باشد که بخشهای خاصی از اعماق زمین داغ می باشند با اینحال تا یک دوره زمانی بین قرنهای شانزدهم و هفدهم، یعنی زمانیکه اولین معادن تا عمق چند صد متری سطح زمین حفرگردید و بشر بر اساس اداراکات فیزیکی ساده ای استنباط نمود که دمای زمین با عمق آن افزایش می یابد اطلاع چندانی در این زمینه وجود نداشت شاید نخستین اندازه گیری ها بوسیله دما سنج در سال ۱۷۴۰ و در معدنی نزدیک Belfort در کشور فرانسه انجام پذیرفت. در سال ۱۸۷۰ از روشهای علمی پیشرفته ای جهت مطالعه نوع رفتار حرارتی زمین استفاده می شد. اما با ورود به قرن بیستم و کشف نقشی که حرارت رادیوژنیک (حرارت ناشی از زوال مواد رادیواکتیو) ایفا می کند، پرده از راز پدیده هایی همچون موازنه حرارتی و تاریخچه حرارتی زمین برداشته شد. (**شکل 3 طرح ساده ای از ساختار درونی زمین را نشان می دهد**)

در اوایل قرن نوردهم، استخراج سیالات ژئوترمال با هدف بهره برداری از پتانسیل انرژی حرارتی آنها صورت می پذیرفت. در آن زمان، یک کارخانه شمیایی در کشور ایتالیا در ناحیه ای که هم اینک لاردرلو (larderello) نامیده می شود راه اندازی گردید تا از آبهای داغی که به صورت طبیعی یا از طریق حفر چاه های کم عمقی که مخصوصاً برای اینکار حفر می شدند، به بیرون جریان می یافتند اسیدبوریک تولید کند. با تبخیر سیالات داغ در چندین بویلر آهنی که حرارت مورد نیاز خود را از طریق سوزاندن چوب درختان جنگلهای مجاور تامین می کردند اسید بوریک تولید می شود.



شکل 3

در سال ۱۸۲۷، فرانچسکولاردرل (موسس و پایه گذار این صنعت) سیستمی را طراحی نمود که در آن به جای سوزاندن چوب درختان جنگل هایی که به سرعت رو به نابودی می رفتند حرارت موجود در سیالات بوریک برای گرمایش بویلرها مورد استفاده قرار می گرفت، استخراج بخارات طبیعی آب با هدف بهره برداری از انرژی مکانیکی آن در همان زمان آغاز شد.. از بخار آب ژئوترمال برای بالا بردن مایعات در بالابرهای گازی قدیمی و همچنین بعدها در پمپ های رفت و برگشتی و گریز از مرکز و جزثقیل هایی که به نوعی با عملیات حفاری در ارتباط بوده یا در صنایع محلی تولید اسید بوریک کاربرد داشتند، استفاده می شد .

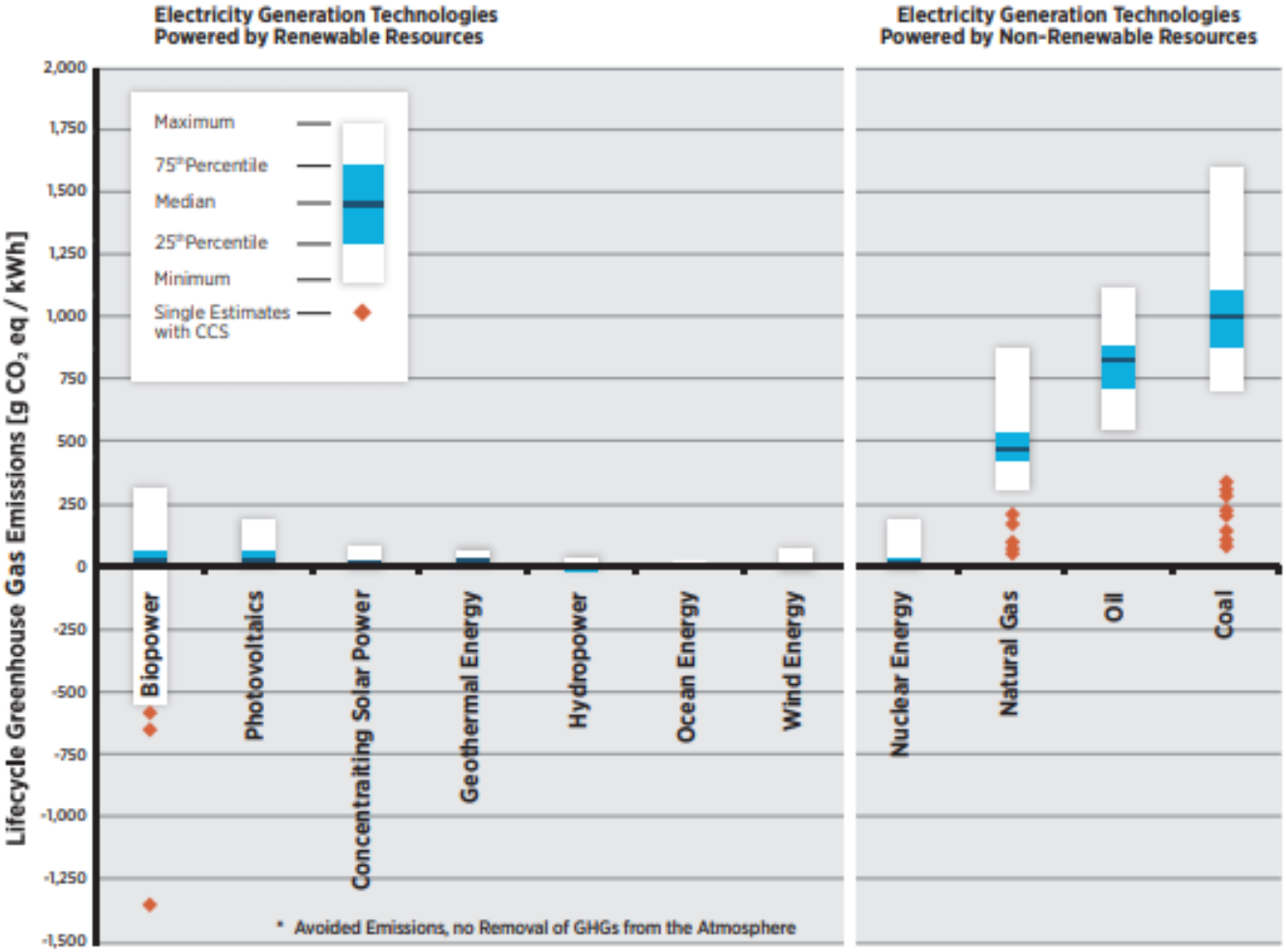
نخستین تلاش ها برای تولید برق از بخار آب ژئوترمال در سال ۱۹۰۴ میلادی در ناحیه ای که هم اینک لاردرلو نامیده می شود، انجام پذیرفت موفقیت این آزمایش، ارزش صنعتی انرژی ژئوترمال را به خوبی نشان داده و این آغازی بود بر روش بهره برداری خاصی که قرار بوده بعدها به طور قابل توجهی توسعه داده شود. تولید برق در لاردرلو موفقیت تجاری بزرگی محسوب می شد تا سال ۱۹۴۰ ظرفیت نصب شده برق ژئوترمال به مرز ۱۲۶۸۰۰ کیلو وات رسید. سیستم نمونه ای که درکشور ایتالیا راه اندازی شد، به سرعت توسط چند کشور دیگر الگو برداری شد. نخستین چاه های ژئوترمال در سال ۱۹۱۹ در Beppu ژاپن و در سال ۱۹۲۱ درThe Geysers کالیفرنیا حفر شدند که البته در آن زمان با موفقیت چندانی همراه نبودند در سال ۱۹۲۸، کشور اسیلند کار استخراج سیالات ژئوترمال (بویژه آب داغ) را برای تامین نیاز حرارتی منازل مسکونی آغاز نمود.

در همان زمان در ناحیه لاردرلو به جریان انداختن بخار آب کیفیفت – پایین در مبدل های حرارتی، نیاز حرارتی منازل روستایی و آب داغ مصرفی آنها تامین می گردید . پس از جنگ جهانی دوم، توجه بسیاری از کشورها به انرژی ژئوترمال معطوف گشت زیرا تصور بر این بود که این نوع انرژی از نظر اقتصادی قادر به رقابت با سایر انواع انرژی است. انرژی ژئوترمال به هیچ وجه به عنوان یک کالای وارداتی قلم داد نمی شد و در برخی موارد تنها منبع انرژی موجود در یک ناحیه به حساب می آمد اسامی کشورهای که از انرژی ژئوترمال برای تولید انرژی الکتریکی استفاده می کنند در جدول 2 فهرست شده است.

Country	Capacity (MW) 2007	Capacity (MW) 2015	Capacity (MW) 2019	Share of national generation (%)
USA	2687	3450	3676	0.3
Indonesia	992	1340	2133	3.7
Philippines	1969.7	1870	1918	27.0
Turkey	38	397	1526	0.3
New Zealand	471.6	1005	1005	14.5
Mexico	953	1017	962.7	3.0
Italy	810.5	916	944	1.5
Kenya	128.8	594	861	38
Iceland	421.2	665	755	30.0
Japan	535.2	519	601	0.1
Costa Rica	162.5	207		14.0
El Salvador	204.4	204		25.0
Nicaragua	79	82		9.9
Russia	79	82		
Guatemala	53	52		
Papua New Guinea	56	50		
Portugal	23	29		
China	27.8	27		
Germany	8.4	27		
France	14.7	16		
Ethiopia	7.3	7.3		
Austria	1.1	1.2		
Australia	0.2	1.1		
Thailand	0.3	0.3		
Total	**9,731.9**	**12,635.9**	**15,406**	**–**

جدول 1

نقشه مکانهای مناسب برای نصب نیروگاه زمین گرمایی

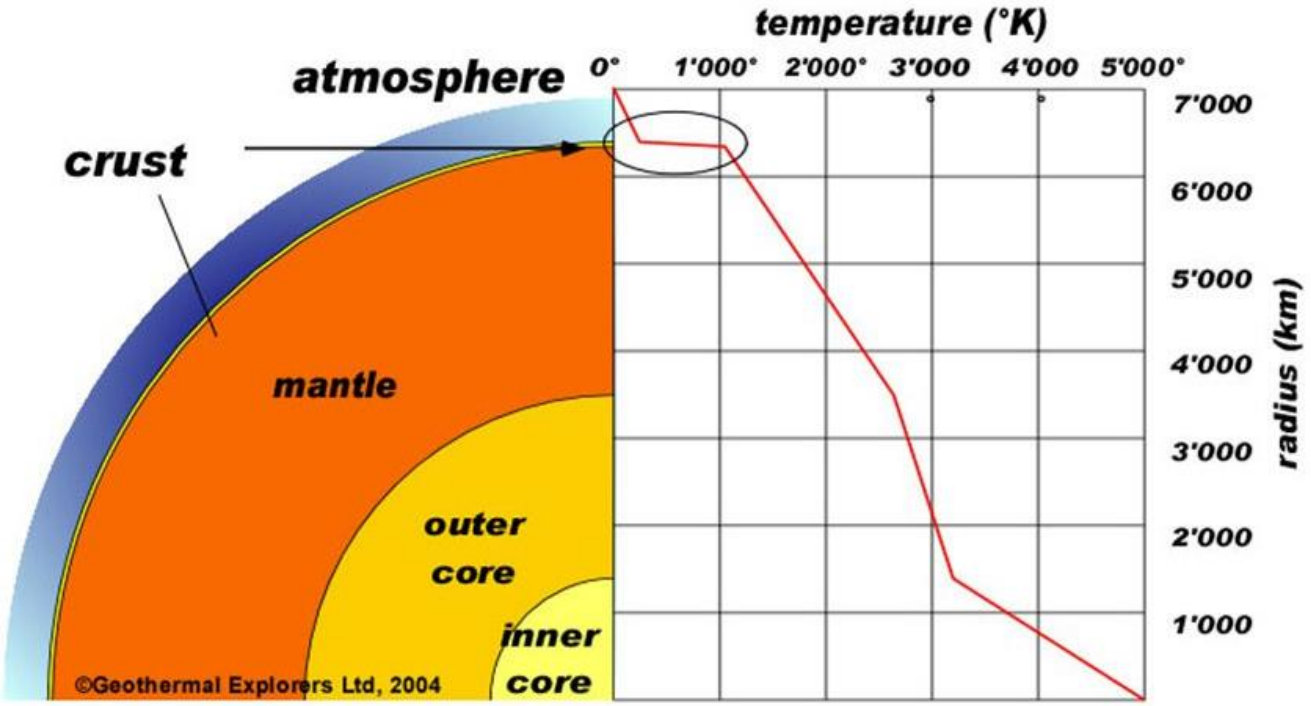


نمودار میله ای فراوانی تولید انرژی از منابع مختلف در جهان

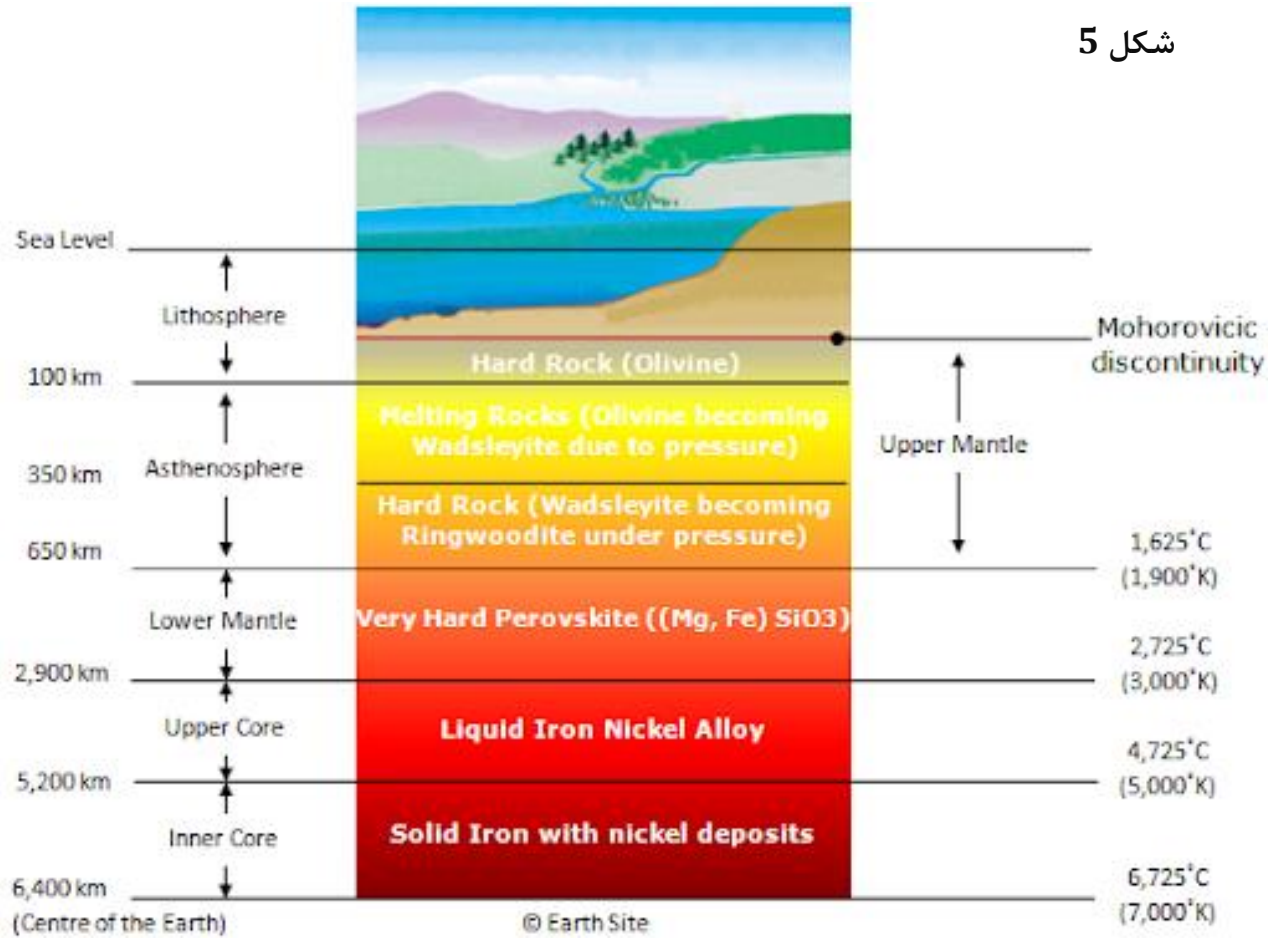
5. گرادیان ژئوترمال

گرادیان ژئوترمال پارامتر فزیکی خاصی است که نرخ افزایش دما با عمق را در پوسته زمین نشان می دهد. در محدوده اعماقی که با استفاده از فنون پیشرفته حفاری می توان اقدام به حفر آنها نمود، یعنی حداکثر تا عمق ۱۰۰۰۰ متری سطح زمین میانگین گرادیان ژئوترمال در حدود ۲/۵ الی ۳ درجه سانتی گراد به ازای هر ۱۰۰ متر است چنانچه دمای چند متر اولیه اعماق زمین را که برابر میانگین سالانه دمای هوای محیط است به عنوان مثال، 15^{o} C در نظر بگیریم، در این صورت می توان به طور منطقی پذیرفت که دما در عمق ۲۰۰۰ متری سطح زمین در حدود $65\text{-}75^{o}$ C، در عمق ۳۰۰۰ متری آن در حدود $90\text{-}105^{o}$ C و در چند هزار متر بعدی نیز به طور مشابه محاسبه خواهد شد با این حال نواحی وسیعی نیز وجود دارند که گرادیان ژئوترمال آنها بیش از مقدار میانگین است. در مناطقی که سنگ های موجود در اعماق زمین با نشست سریعی مواجه شده و جای خالی آنها توسط رسوبات بسیار جوان (از دید علوم زمین شناسی) پر می شود، گرادیان ژئوترمال می تواند مقدار کمتر از 1^{o} C به ازاء هر ۱۰۰ متر داشته باشد. از سوی دیگر، در برخی از نواحی ژئوترمال می تواند حتی بیش از ده برابر مقدار میانگین باشد.

شکل 4 چاه های سر باز و سر بسته و بخار سیال خروجی


temperature (°K)
atmosphere
0°
1'000°
2'000°
3'000
4'000
5'000°
7'000
6'000
5'000
4'000
3'000
2'000
1'000
radius (km)
crust
mantle
outer core
inner core
©Geothermal Explorers Ltd, 2004

شکل 5


Sea Level
Lithosphere
100 km
Asthenosphere
350 km
650 km
Lower Mantle
2,900 km
Upper Core
5,200 km
Inner Core
6,400 km
(Centre of the Earth)
Mohorovicic discontinuity
Upper Mantle
Hard Rock (Olivine)
Melting Rocks (Olivine becoming Wadsleyite due to pressure)
Hard Rock (Wadsleyite becoming Ringwoodite under pressure)
Very Hard Perovskite ((Mg, Fe) SiO3)
Liquid Iron Nickel Alloy
Solid Iron with nickel deposits
1,625°C (1,900°K)
2,725°C (3,000°K)
4,725°C (5,000°K)
6,725°C (7,000°K)
© Earth Site

6. سیستمهاي ژئوترمال

سیستم های ژئوترمال را در مناطقی می توان یافت که گرادیان ژئوترمال (نرخ تغییرات دمای اعمال زمین) در حد میانگین یا اندکی بزرگتر از آن باشد.

آبی که دائماً در پوسته فوقانی زمین و در یک فضای محدود در حال جا به جایی است حرارت را از یک منبع حرارتی دریافت کرده و آنرا به یک چاه حرارتی که معمولاً از سطح آزادی برخوردار است انتقال می دهد هر سیستم ژئوترمال از سه جزء تشکیل می شود: منبع حرارتی، مخزن و سیال است عاملی که حرارت را انتقال می دهد. منبع حرارتی می تواند یک توده ماگمایی بسیار داغ (>۶۰۰° C) باشد که تا نزدیکی های سطح زمین (۵-۱۰Km) نفوذ کرده یا همان طوریکه در برخی سیستم های دما – پایین مشاهده می شود،

منبع حرارتی می تواند از دمای طبیعی اعماق زمین برخوردار باشد که هم چنانکه قبلاً نیز شرح داده شد، این دما با عمق افزایش می یابد مخزن به توده انبوهی از سنگهای داغ و رطوبت پذیر اطلاق می شود که سیالات ژئوترمال با جا به جایی مداوم در لا به لای آنها حرارت را استخراج می کنند در بیشتر موارد نه همه آنها، مخزن به یک ناحیه سطحی شارژ مجدد متصل است که همه یا بخشی از سیالاتی را که به طور طبیعی بیرون آمده (مثل چشمه های آب گرم) یا از طریق حفر چاه های متعدد استخراج می شوند دائماً جبران می سازد سیال ژئوترمال، آب است(در اکثر موارد، آب حاصل از نزولات جوی) که بسته به شرایط دما و فشار می تواند به صورت مایع یا بخار باشد معمولاً حاوی مواد شمیایی وگازه های نظیر H_2S, CO_2 و غیره می باشد.

از میان تمامی اجزاء یک سیستم ژئوترمال، منابع حرارتی تنها جزئی است که باید حتماً طبیعی باشد در صورت وجود شرایط مساعد، دو جزء دیگر می توانند غیر طبیعی (مصنوعی) باشند مثلاً با حفر چاه های ترزیق مجدد (Re-injection wells) می توان پساب خروجی از واحد های ژئوترمال را با استفاده از پمپ هایی که نقش جایگزین یا عامل کمکی را برای جا به جایی طبیعی ایفا می کنند، به داخل مخزن ژئوترمال تزریق نموده و دائماً آنرا تغذیه وشارژ نمود. مخزن ژئوترمال نیز می تواند به طور مصنوعی با شکستن و خرد کردن تخته سنگ های متراکم اعماق زمین از طریق ترزیق آب فشار بالا (خرد کردن به روش هیدرولیکی) ایجاد شود.

7. دسته بندي منابع ژئوترمال

انرژی زمین گرمایی به پنج صورت در طبیعت یافت می‌شود.

منابع آب داغ

منابع آب داغ (آب گرمایی یا هیدروترمال) منابع آبی هستند که در زیر زمین داغ شده، سپس به سطح زمین انتقال پیدا می‌کنند که در میان انواع منابع زمین گرمایی این منابع امروزه دارای بیشترین کاربرد هستند. این نوع منابع زمین گرمایی خود به سه گروه تقسیم می‌شوند:

مخازن دما بالا با دمای بالاتر از $150°C$ که مناسب برای تولید برق با تکنیک های معمولی

مخازن با دمای بین ۱۰۰ الی $150°C$ که مناسب برای تولید برق با تکنیک های پیشرفته‌تر

باینری

مخازن دما پائین با دمای کمتر از $100°C$ و مناسب برای کاربرد های مستقیم

منابع بخار خشک

منابعی با درجه حرارت بسیار بالا که از آن ها بخار خشک یا آمیزه‌ای از بخار و آب با درجه حرارت بسیار بالا به دست می‌آید که برای تولید برق این منابع دارای بهترین شرایط هستند، اما این منابع در مناطق محدودی یافت می‌شوند.

منابع تحت فشار زمین

منابع عظیمی هستند که از آب شور تشکیل یافته‌اند و از نظر شرایط کلی به درجه اشباع رسیده‌اند و در لایه‌های میان صخره های اعماق زمین به صورت محبوس وجود دارند. این منابع عمدتاً حاوی گاز متان محلول هستند و در عمق ۳ تا ۶ کیلومتری از سطح زمین یافت می‌شوند و درجه حرارت آن‌ها بین ۹۰ تا ۲۰۰ درجه سانتی گراد تخمین زده می‌شوند.

تخته سنگ های خشکِ داغ

تخته سنگ های بسیار عظیم با منبع آتشفشانی هستند که در اعماق زمین وجود داشته و درجه حرارت بسیار بالا و بافت سخت دارند. به سیستم‌های بهره برداری از این منابع سامانه های زمین گرمایی پیشرفته (Enhanced Geothermal Systems)و به اختصار EGS گفته می‌شود. از آنجا که در همه جای کره زمین در اعماق گرما با شدت های مختلف وجود دارد و تنها محدودیت موجود نبود منابع آب می‌باشد لذا با کمک این سیستم می‌توان رشد چشمگیری را در گسترش و پیشرفت انرژی زمین گرمایی رقم زد. سیستم بهره‌برداری به این صورت می‌باشد که با حفر چاه های بسیار عمیق (با عمق ۴ تا ۶ هزار متر) به لایه های داغ زمین دسترسی پیدا کرده، سپس آب با فشار بالا به چاه تزریق شده که در اثر این فشار هیدرولیکی در سنگ شکاف ایجاد می‌شود. همین کار برای چاه تولیدی نیز انجام می‌شود و بین دو چاه ارتباط برقرار می‌گردد. بدین صورت آب هنگام عبور از شکاف های ایجاد شده، حرارت را از سنگ‌های داغ دریافت و از چاه تولیدی خارج و وارد چرخه نیروگاه می‌شود. درجه حرارت آب حاصل از این منابع بین ۱۳۵ تا ۱۸۰ درجه سانتیگراد بوده و در این حالت امکان افزایش بازده نیروگاه تا ۱۵ درصد وجود دارد.

منابع ماگمایی

این منابع که آن‌ها را اغلب به نام گدازه‌ها می‌شناسیم، در واقع ایده‌آل‌ترین حالت ممکن برای منابع زمین گرمایی بوده که درجه حرارت آن بین ۷۰۰ تا ۲ هزار درجه سانتی گراد است. با توجه به درجه حرارت بالای این مخازن و محدودیت های فنی موجود، امروزه از این منابع عظیم بهره برده نمی‌شود؛ که با توجه به فناوری امروزه فقط از منابع آب گرمایی (هیدروترمال) جهت مصارف مستقیم و غیر مستقیم استفاده می‌شود.

رایج ترین معیار برای دسته بندی ژئوترمال، معیاری است که بر اساس **آنتالپی سیالات ژئوترمال** که عامل اصلی انتقال حرارت از سنگ های داغ موجود در اعماق زمین به سطح آن قلمداد میشوند، پایه ریزی می گردد. آنتالپی که در حالت کلی می توان آنرا با دما مناسب پنداشت، پارامتری است که بر محتوای حرارتی سیالات دلالت داشتند و تصویری کلی از ارزش آنها ارائه می دهد. منابع ژئوترمال بر حسب معیارهای مختلف مطابق جدول 3 به سه نوع آنتالپی – پایین آنتالپی- متوسط و آنتالپی – بالا تقسیم می شوند. مافلر و کتلدی (Muffler and cataldi) روش (a) را برای دسته بندی منابع ژئوترمال ابداع نمودند متخصصین دیگری همچون هو خشتاین (Hochstein) روش (b) و برخی دیگر

نظیر بندریتر و کرمی (Benderitter and Cormy) روش (c) را پایه گذاری نمودند؛ هائنل (Haenel) و چند تن دیگر نیز روش (d) را پیشنهاد نمودند که در این روش بین منابع سازگار با فرآیند تولید برق (منابع آنتالپی بالا) و منابع مناسب کاربردهای حرارتی مستقیم (منابع آنتالپی – پایین) تمایز محسوسی قائل گردیده اند.

2 جدول

نوع منابع	(a)	(b)	(c)	(d)
منابع آنتالپی – پایین	<۹۰	<۱۲۵	<۱۰۰	**≤۱۵۰**
منابع آنالپی – متوسط	۹۰-۱۵۰	۱۲۵-۲۲۵	۱۰۰-۲۰۰	–
منابع آنالپی – بالا	**>۱۵۰**	**>۲۲۵**	**>۲۰۰**	**>۱۵۰**

بر اساس دسته بندی هو خشتاین، منابع کوچک ژئوترمال غالباً جزء منابع آنتالپی – پایین ($<125\ ^{o}C$) و بعضی نیز جزء منابع آنتالپی – متوسط ($125\text{-}225\ ^{o}C$) قلمداد می شوند. معمولاً بین سیستم های ژئوترمال آب – یا مایع – غالب (water dominated systems) و سیستم های ژئوترمال بخار – غالب (یا بخار آب خشک) (Vapour dominated systems) تمایز ویژه ای قائل می شوند در سیستم های آب – غالب این فاز مایع است که در طول زمان، فشار سیال را کنترل می کند در این نوع سیستم ها ممکن است مقدار کمی هم بخار (معمولاً به شکل حباب های مجزا) وجود داشته باشد این نوع سیستم های ژئوترمال که محدوده دمایی آنها می تواند مقادیر کوچکتر از $125^{o}C$ تا مقادیر بزرگتر از $225^{o}C$ را در برگیرد ، بیش از سیستم های بخار – غالب در سطح جهان پراکنده شده اند بسته به مقادیر دما و فشار، این نوع سیستم های می توانند مقادیر فراوانی از آب های داغ و انواع مخلوط های آب و بخار آب، بخارات آب مرطوب و در برخی موارد، بخارات آب خشک را در خود بپروراند در سیستم های بخار غالب همزیستی و مسالمت آمیزی بین فازهای مایع و بخار آب در داخل مخزن برقرار است و این فاز بخار است که در طول زمان فشار سیال را کنترل می کند این نوع سیستم های ژئوترمال که معروف ترین آنها در Larderello در کشور ایتالیا و The Geysers در ایالت کالیفرنیا آمریکا می باشند تا حدودی زیادی نادر و کم یابند و جزء سیستم های دما- بالا قلمداد میشوند این نوع سیستم های معمولاً می توانند بازه وسیعی از بخارات آب خشک تا ما فوق گرم را در خود بپرورانند.

شکل 6 نیروگاه Larderello در کشور ایتالیا

8. بهره برداري از منابع ژئوترمال

تولید برق مهم ترین شکل بهره برداری از منابع ژئوترمال دما – بالا ($> 150^{o}C$) به شمار می رود. منابع دما – متوسط و دما – پایین ($< 150^{o}C$) که منابع کوچک ژئوترمال را نیز شامل می شوند برای انواع گوناگونی از کاربردها مناسب به نظر می رسند نمودار صفحه 36 که معرف انواع کاربرد های سیالات ژئوترمال در دما های مختلف می باشد هنوز هم به قوت و اعتبار خود باقی است، اگرچه باید تولید برق در نیروگاه های سیکل دو سیاله را نیز به محدوده، دمایی بالاتر ا ز $85^{o}C$ در این نمودار افزود، محدوده دمایی پایین تر از $20^{o}C$ نیز فقط در شرایط خاصی یا به واسطه استفاده از پمپ های حرارتی به این نمودار افزود می شود نمودار لیندال بر دو جنبه مهم بهره برداری از منابع ژئو ترمال تاکید دارد:

الف) با استفاده ازکاربرد آبشاری و ترکیبی می توان قابلیت اجرای پروژه های ژئوترمال را تا حدود زیادی افزایش داد.

ب) دمای منبع می تواند ما را در انتخاب کاربرد های مورد نظر با محدودیت مواجه سازد .

با این حال طرح های مربوط در زمینه فرآیند های حرارتی را می توان در برخی از موارد برای استفاده از سیالات ژئوترمال مورد بازنگری قرارداد.

الف) کاربرد های حرارتی مستقیم (مصارف غیر الکتریکی)

کاربردهای حرارتی مستقیم یکی از قدیمی ترین، متنوع ترین و متداول ترین روش های بهره برداری از انرژی ژئوترمال به شمار میرود که رایج ترین آنها عبارتند از:

۱- گرمایش محیطی و منطقه ای (Residential and District Hwating)

۲- کاربرد های کشاورزی (Agricalture uses) 3 _ آبزی پروری (Aquacalture)

9. چشمه‌های گرمایی زمین

انرژی های گرمایی زمین از گرمای تشکیل سیاره در ابتدا (حدود ۲۰ درصد) و تجزیه‌ی رادیواکتیو مواد معدنی (حدود ۸۰ درصد) تولید می‌شود. اصلی‌ترین ایزوتوپ های تولید کننده انرژی پتاسیم ۴۰، اورانیوم ۲۳۸، اورانیوم ۲۳۵، و توریم ۲۳۲ هستند.

این انرژی از هسته به سطح با توان ۴۴.۲ تراوات (terawatts) با مکانیسم (انتقال حرارت هدایتی) (conduction) در جریان است. چنین توانی از انرژی بیشتر از دو برابر مصرف کنونی در کل جهان محاسبه شده که البته امکان بازیافت همه‌ی آن وجود ندارد. همچنین جالب است بدانید که سطح زمین تا عمق ۱۰ متر در طول فصول گرم توسط خورشید گرم می‌شود و این گرما را در طول فصول سرد تخلیه می‌نماید.

بدون توجه به تغییرات دمایی در فصول مختلف، گرادیان دما در هر کیلومتر از عمق پوسته‌ی زمین بین ۲۵ – ۳۰ درجه‌ی سانتی گراد است که منجر به شار هدایت حرارتی به میزان ۰.۱ مگاوات در هر کیلومتر مربع می‌گردد. در نقاطی

از زمین که پوسته نازک‌تر است، شار حرارتی نیز بیشتر است. این شار با وجود تحرکات ماگما، چشمه های آب گرم، چرخه های آب یا مخلوطی از این عوامل افزایش می‌یابد.

انرژی زمین‌گرمایی را نوعی انرژی پایدار (sustainable energy) و تجدیدپذیر می‌دانند؛ چرا که این نوع منبع انرژی نسبت به میزان مصرف ممکن بسیار بزرگ است و به صورت پیوسته جایگزین می‌شود. با این که سیاره‌ی زمین به شکل مداوم و به آرامی خنک می‌شود، برداشت بخشی از انرژی توسط انسان تأثیر خاصی در تسریع روند خنک شدن نشان نمی‌دهد. گرچه این منابع یارای تأمین تمام نیازهای بشر را دارند، تنها امکان استفاده از بخشی از این انرژی وجود دارد. دانشمندان تخمین‌های متفاوتی از میزان برداشت ممکن به شکل پایدار محاسبه کرده‌اند. در یکی از آخرین تحقیقات در سال ۲۰۰۸ توسط«Fridleifsson» ، تا ۲۰۰۰ گیگاوات تولید برق نیز پیش‌بینی شده است. در ۱۰ هزار متر مربع از مساحت سطح زمین تقریبا ۵۰ هزار برابر کل میزان انرژی ذخیره شده در مخازن نفت و گاز طبیعی دنیا وجود دارد. بزرگ‌ترین منابع انرژی زمین‌گرمایی جهان در کشور چین در دل زمین نهفته و بعد از این کشور در مقام دوم مجارستان قرار گرفته است. مجارستان با توجه به مساحت کشور، غنی‌ترین کشور جهان به حساب می‌آید. بیشترین برق زمین‌گرمایی در فیلیپین، نیکاراگوئه، ایسلند و نیوزیلند تولید می‌شود.

شکل 7 نمونه هایی از چشمه های اب گرم و نیروگاه هایی که در موقعیت این چشمه ها ساخته شده اند.

10. تاریخچه در ایران

در ایران از سال ۱۳۵۴ مطالعات گسترده‌ای برای شناسایی پتانسیل‌های منبع انرژی زمین گرمایی توسط وزارت نیرو با همکاری مهندسین مشاور ایتالیایی ENEL در نواحی شمال و شمال غرب ایران در محدوده‌ای به وسعت ۲۶۰ هزار کیلومتر مربع آغاز گردید. نتیجه این تحقیقات مشخص نمود که مناطق سبلان ، مشگین‌شهر، دماوند، خوی، ماکو و سهند با مساحتی بالغ بر ۳۱ هزار کیلومتر مربع جهت انجام مطالعات تکمیلی و بهره‌برداری از انرژی زمین گرمایی مناسب هستند. در همین راستا برنامه اکتشاف، مشتمل بر بررسیهای زمین‌شناسی، ژئوفیزیک و ژئوشیمیایی برنامه‌ریزی شد. بر اساس طبقه‌بندی‌های صورت گرفته‌ی جهانی، ایران در گروه کشورهایی که دارای ذخایر احتمالی برای تولید برق از انرژی زمین‌گرمایی با استفاده از سیکل‌های تبخیر لحظه‌ای و تمام سیال (برای دوره ۳۰ ساله) قرار گرفته است و قابلیت تولید برق زمین‌گرمایی با ظرفیت بیش از ۲۰۰ مگاوات دارد.

احداث نیروگاه زمین‌گرمایی در ایران و در منطقه‌ی **مشکین‌شهر**، نخستین نیروگاه از این نوع در منطقه **خاورمیانه** است و امکان دستیابی به انرژی سبز با تولید برق عاری از هرگونه آلودگی زیست‌محیطی را فراهم می‌کند. نیروگاه زمین‌گرمایی مشکین‌شهر در ۲۵ کیلومتری این شهرستان در دامنه سبلان واقع شده است که علاوه بر تولید برق، در احداث استخر پرورش ماهی و واحدهای گلخانه‌ای و تأمین آب گرم منازل نیز کاربرد خواهد داشت.

تصویر هوایی از نیروگاه زمین گرمایی مشگین شهر واقع در دامنه کوه اتشفشانی سبلان

جدول پتانسیل سنجی انرژی زمین‌گرمایی بر حسب کیلو ژول را در ادامه می‌بینید

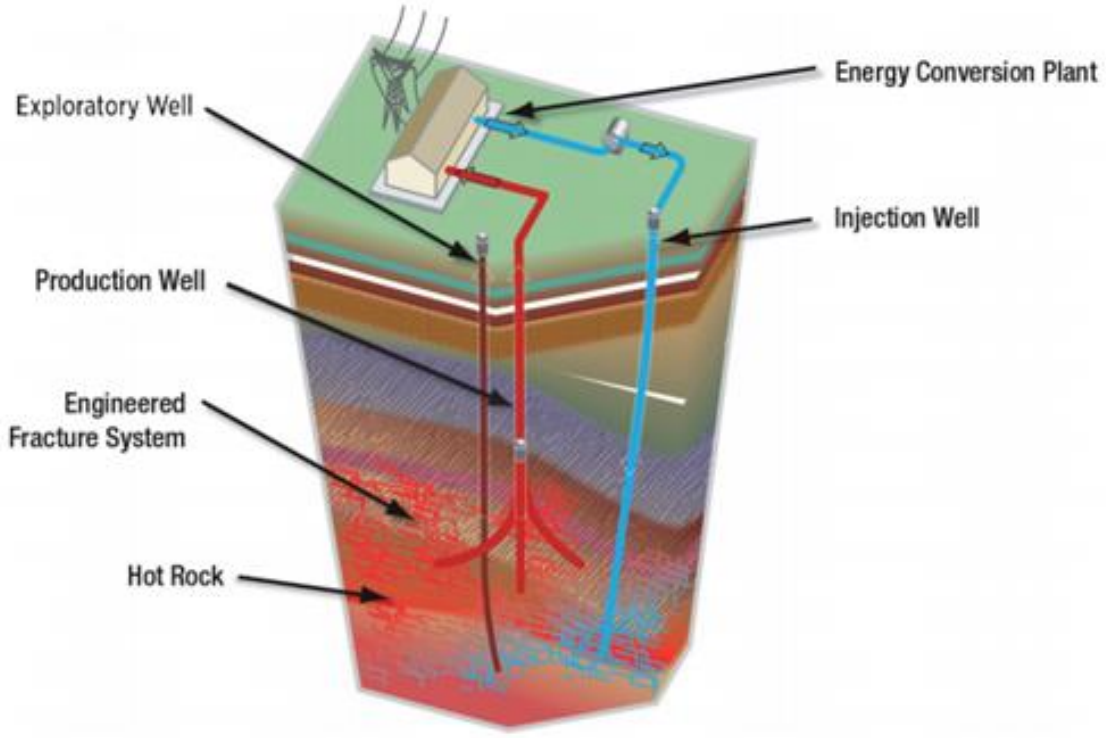
ردیف	نام استان	تعداد تقریبی چشمه های آب گرم	تعداد مناطق زمین گرمایی احتمالی	انرژی حرارتی (Kj)
۱	آذربایجان شرقی	۱۵	۷	۵۱,۸ × ۱۰۱۶
۲	آذربایجان غربی	۴۱	۱۰	۷۴ × ۱۰۱۶
۳	اردبیل	۵۰	۶	۴۴,۴ × ۱۰۱۶
۴	اصفهان	۶	۴	۲۹,۶ × ۱۰۰۰
۵	ایلام	۲	۱	۷,۴× ۱۰۰۰
۶	بوشهر	۳	۳	۲۲,۲× ۱۰۰۰
۷	تهران	—	—	—
۸	چهارمحال و بختیاری	۱	۱	۷,۴× ۱۰۰۰
۹	خراسان جنوبی	۱	۱	۷,۴× ۱۰۰۰
۱۰	خراسان رضوی	۳	۳	۲۲,۲ × ۱۰۱۶
۱۱	خراسان شمالی	۳	۳	۲۲,۲ × ۱۰۱۶
۱۲	خوزستان	—	—	—
۱۳	زنجان	۳	۳	۲۲,۲ × ۱۰۱۶
۱۴	سمنان	۱	۱	۷,۴× ۱۰۰۰
۱۵	سیستان و بلوچستان	۱۰	۵	۳۷ × ۱۰۱۶
۱۶	فارس	۳	۳	۲۲,۲× ۱۰۰۰
۱۷	قزوین	۴	۴	۲۹,۶ × ۱۰۱۶
۱۸	قم	—	—	—
۱۹	کردستان	—	—	—
۲۰	کرمان	۹	۸	۵۹,۲× ۱۰۰۰
۲۱	کرمانشاه	۲	۲	۱۴,۸ × ۱۰۱۶
۲۲	کهکیلویه و بویراحمد	۱	۱	۷,۴× ۱۰۰۰
۲۳	گلستان	۱	۱	۷,۴ × ۱۰۱۶
۲۴	گیلان	۲	۲	۱۴,۸× ۱۰۰۰
۲۵	لرستان	۲	۲	۱۴,۸ × ۱۰۱۶
۲۶	مازندران	۵	۵	۳۷ × ۱۰۱۶
۲۷	مرکزی	۶	۱	۷,۴× ۱۰۰۰
۲۸	هرمزگان	۱۶	۱۴	۱۰۳,۶ × ۱۰۱۶

جدول 3

11. تولید انرژی

اولین مرحله‌ی استحصال گرما، ورود به مخزن ذخیره گرما در زمین است. همان‌طور که پیش از این اشاره شد، ۴ روش اصلی برای این کار وجود دارد.

- نیروگاه‌های تولید برق
- پمپ حرارتی زمین‌گرمایی
- استفاده مستقیم سیستم‌های تقویت‌شده زمین‌گرمایی



یک برش طولی از چاه های استخراج و تزریق و اکتشاف در نیروگاه زمین گرمایی

باید به این نکته توجه کرد که نوع منبع انرژی تعیین می‌کند باید از کدام‌یک از روش‌های بالا استفاده کرد. نیروگاه دوفازی (Flash plants) رایج‌ترین نوع تولید الکتریسیته از ذخایر اکثرا مایع (liquid-dominated reservoirs)یا به اختصار «LDR» استLDR .ها را عموما با دمای بالاتر از ۲۰۰ درجه سانتیگراد و نزدیک آتش‌فشان‌های جان می‌شناسند. در این نوع مخازن عموما به پمپ نیازی نیست گرچه نوعی از این منابع با دمای پایین‌تر نیاز به پمپ دارند.

باید بدانید از منابع گرمایی با دمای بین ۳۰ – ۱۵۰ درجه‌ی سانتیگراد برای تولید برق استفاده نمی‌شود؛ بلکه از این منابع برای گرمایش ساختمان های مسکونی و تجاری، استخرهای پرورش ماهی، گرمایش مورد نیاز در فرایندهای صنعتی و حمام بهره می‌برند. همچنین در قریب به ۷۵ کشور جهان از پمپ حرارتی زمین‌گرمایی در قسمتی از زمین با دمای بین ۱۰ – ۲۰ درجه‌ی سانتی گراد برای گرمایش و سرمایش ساختمان‌ها استفاده می‌کنند. جالب است بدانید که گرمایش خانگی بیشترین سرعت رشد در میان روش‌های دیگر را به خود اختصاص داده است.

گرمایش از نظر اقتصادی در بسیاری از مکان‌های فعال بهتر از تولید برق است. آب چشمه های آب گرم را مستقیما می‌توان به درون رادیاتور ها پمپ کرد. در پوسته های گرم و خشک زمین نیز با کار گذاشتن مبدل حرارتی (exchangers heat) امکان جمع‌آوری گرما وجود دارد. شاید تعجب کنید حتی استخراج گرما از زمینی با دمای کمتر از دمای اتاق با استفاده از پمپ حرارتی بازدهی بیشتر از یک بخاری معمولی دارد و پاک‌تر است.

در ادامه انواع روش‌های بهره‌برداری از انرژی زمین‌گرمایی را به تفصیل بررسی می‌کنیم.

شکل 8 یک سیستم مبدل حرارت مستقر در واحد نیروگاهی زمین گرمایی

12. تولید برق

این تأسیسات از گرمای عمق زمین و انتقال آب یا بخار داغ به سطح زمین برای تولید برق استفاده می‌کنند. برای دسترسی بهتر به منابع گرمایی، چاه‌هایی در اعماق پوسته حفر می‌شود.

حفاری ها عموما در کنار چشمه های آب گرم، آتشفشان های جوان انجام می‌شود؛ چراکه در چنین مکان هایی در یک فاصله‌ی معقول دسترسی به نقطه ی داغ وجود دارد. آب داغ در چنین نقاطی می‌تواند به بالاتر از ۲۰۰ درجه سانتیگراد نیز برسد.

سه نوع طراحی برای چنین نیروگاه هایی وجود دارد:

- بخار خشک (dry steam) ،
- بخار دو فازی (flash steam) و
- مایع داغ (binary cycle)

تمام این سیستم ها آب یا بخار داغ را از اعماق بالا می‌آورند و با استفاده از این انرژی برق تولید می‌کنند. بعد از این مرحله، آب میعان شده به چاه ها باز می‌گردد تا ضمن حفظ تعادل، گرما مجددا استخراج شود. با بازگشت آب میعان شده عمر چاه نیز افزایش می‌یابد.

طراحی نیروگاه بر اساس دما، عمق و کیفیت آب یا بخار خارج شده دارد. اگر سیال خارج شده بخاری فوق داغ یا خشک (superheat vapor) باشد، از آن مستقیما برای به حرکت در آوردن توربین استفاده می‌گردد. اگر سیال خارج شده دو فازی یا مایعی با دمای بالا باشد، از سیستم دو فازی بهره می‌گیرند.

در نهایت اگر دمای سیال پایین باشد در یک سیستم مایع داغ ، ابتدا گرمای سیال در یک مبدل حرارتی منجر به تبخیر سیال دیگری با دمای جوش پایین‌تر می‌شود و در نهایت بخار تولیدی وارد توربین می‌گردد.

13. سیستم بخار خشک (Dry steam)

در این نوع نیروگاه ها سیال خروجی از چاه های تولیدی (Production Wells) کاملاً بخار است و می‌توان بخار آن را مستقیم به توربین منتقل نمود تا با فشار سیال، ضمن به حرکت درآوردن توربین با استفاده از ژنراتور برق تولید کرد. در انتها سیال خروجی به یک دستگاه صدا خفه کن (Silencer) منتقل می‌شود تا آن قسمت از سیال که به صورت بخار بوده به فضا منتقل شود. می‌توان از مایع گرم خروجی از توربین برای استفاده های مستقیم حرارتی زمین‌گرمایی (Geothermal Direct Uses) استفاده نمود یا آن را به داخل چاه های تزریق منتقل کرد .

بخار داغ مورد استفاده عموما دمایی بالاتر از ۲۳۵ درجه سانتیگراد دارد. نکته این که این طراحی قدیمی‌ترین سیستم مورد استفاده بشر بوده است.

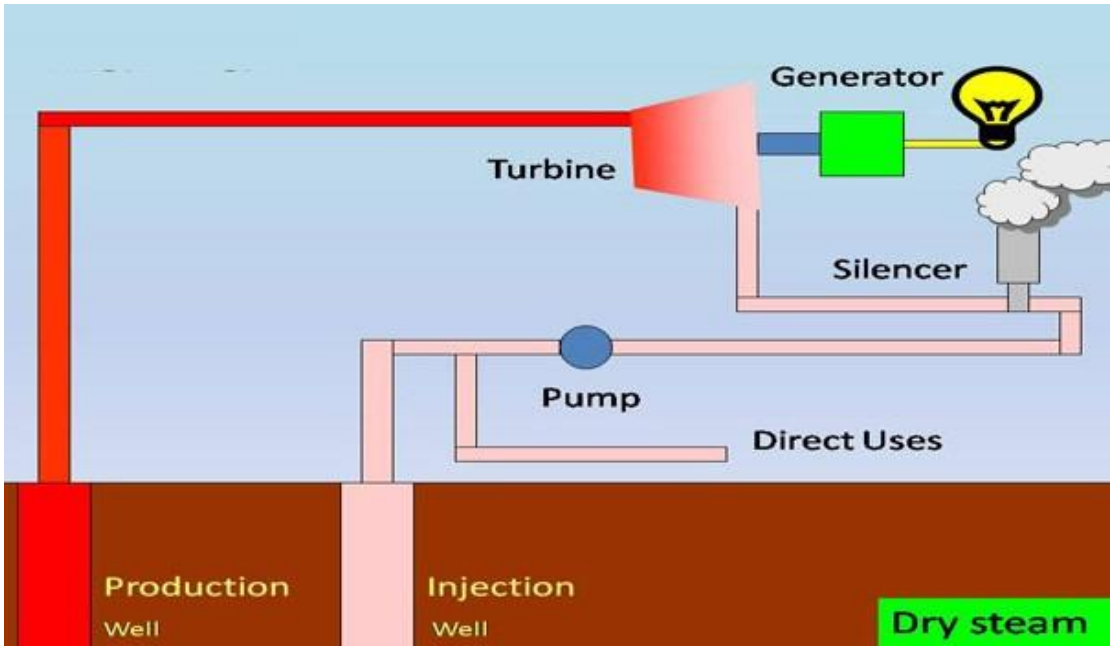
تجهیزات استفاده شده در یک نیروگاه بخار خشک شامل

a. چاه و سیستم تامین بخار و سیال
b. توربین-ژنراتور و سیستم های کنترل
c. کندانسور، دستگاه تخلیه گاز و دستگاه کنترل آلودگی
d. سیستم ثابت نگه دارنده دما
e. برج خنک کننده
f. سیستم های up back
g. سیستم های کاهش نویز
h. سیستم های دفع ضایعات زمین گرمایی وچاههای تخلیه

از این نوع نیروگاه ها اولین بار در سال 1904 و در ایتالیا بهره برداری شد. بزرگترین نیروگاه بخار خشک در کالیفرنیای شمالی واقع است. این نوع نیروگاه ها بسیار نادر می باشند و در حدود 28درصد ظرفیت نصب شده نیروگاه های زمین گرمایی در جهان را تشکیل میدهند. ظرفیت متوسط این نیروگاه ها بالاتر از 3 مگاوات است و در حال حاضر تنها درکشور ایتالیا و آمریکا این نوع از نیروگاههای ژئو ترمال در حال کار است.

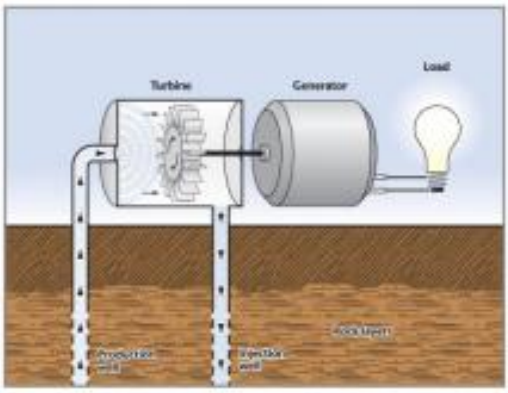
در این نوع سیکل، سیال زمین گرمائی خروجی از چاه از چنان کیفیتی برخوردار است که به صورت بخار خالص از چاه خارج شده و مستقیما وارد توربین می شود و نیازی به مخزن تفکیک کننده نمی باشد.

درجه حرارت این بخار در حدود 235 درجه سانتی گراد است.این بخار پس از عبور از توربین از طریق چاه تخلیه به درون زمین بازمیگردد .اتصالات تجهیزات این نیروگاه با چاه ها نسبتا ساده تر از نیروگاه های دیگر است.



شکل 9

Dry-steam power plants
draw from underground reservoirs of steam. The steam is piped directly from wells to the power plant, where it enters a turbine. The steam turns the turbine, which turns a generator. The steam is then condensed and injected back into the reservoir via another well. First used in Italy in 1904, dry steam is still very effective. The Geysers in northern California, the world's largest single source of geothermal power, uses dry steam.

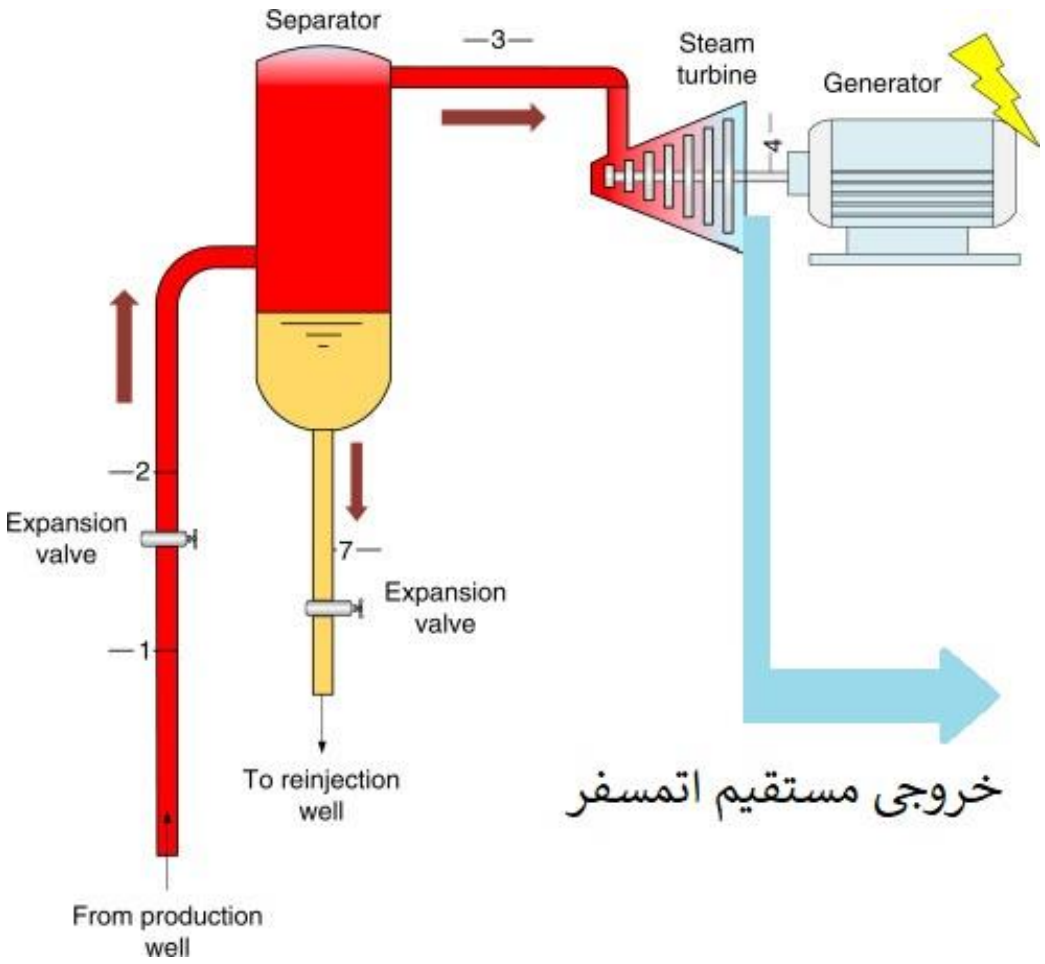


14. سیستم دو فازی (Steam Flash)

در این نوع نیروگاه، سیال خروجی از چاه های تولیدی به‌صورت دو فاز مایع و بخار وجود دارد. به طور تقریبی می‌توان نیروگاه های سیال دو فازی را بر اساس چرخه‌ی تولید برق و تجهیزات مورد استفاده در آن به سه دسته تقسیم نمود.

15. تک مرحله ای با خروجی اتمسفر (Single Flash Backpressure)

در این نوع نیروگاه، سیال خروجی از چاه های تولیدی، توسط خطوط انتقال لوله به داخل مخزن تفکیک‌کننده (Separator)هدایت می‌شود. در مخزن تفکیک‌کننده به دلیل افت فشار، قسمتی از سیال به بخار تبدیل، از قسمت خروجی بخار مخزن خارج و به داخل توربین هدایت می‌شود. در نیروگاه بخار «تک مرحله ای با خروجی اتمسفر (Single Flash Backpressure)خروجی توربین به هوای آزاد رها می‌گردد. به همین دلیل میزان تولید توان در توربین و تولید برق در ژنراتور به فشار سیال و فشار جو بستگی دارد. در صد ظرفیت نصب‌شده این نوع نیروگاه ها به نسبت سایر نیروگاه های زمین‌گرمایی ۱ ٪، میزان انرژی تولیدی ۴ ٪ و تعداد واحدهای نیروگاهی ۵ ٪ است.



شکل 10

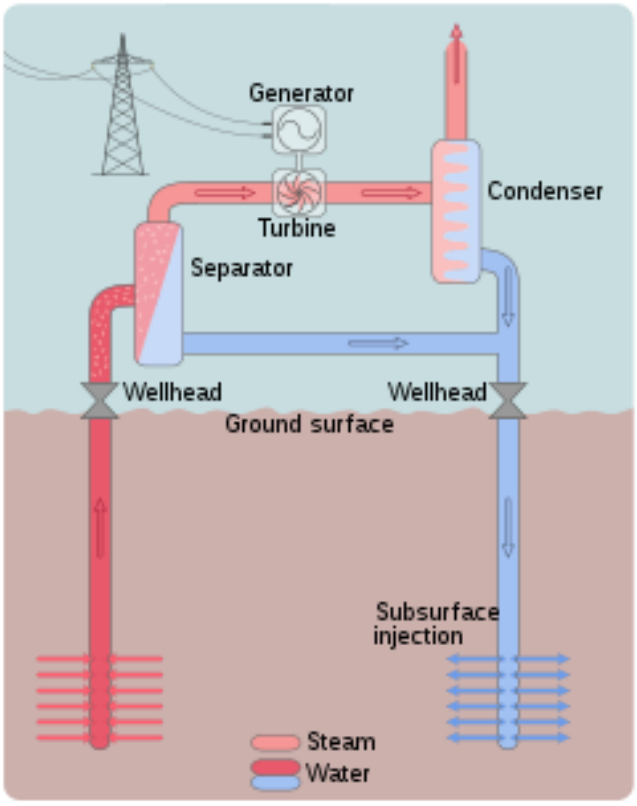
16. تک مرحله ای با کندانسور (Single Flash Condensing)

تفاوت میان این نوع نیروگاه های زمین‌گرمایی با نیروگاه بخار تک مرحله‌ای با خروجی اتمسفر در این است که در این نیروگاه، سیال خروجی از توربین به داخل چگالنده یا کندانسور (Condenser) «منتقل می‌شود. در کندانسور توسط آب سردی که توسط برج خنک کننده (Cooling Tower) «تأمین می‌گردد،، فشار بعد از توربین کاهش می‌یابد تا ضمن افزایش راندمان نیروگاه، میزان تولید برق افزایش پیدا کند.

سیکل بخار لحظه ای با کندانسور نیز همانند سیکل بخار لحظه ای بدون کندانسور است با این تفاوت که در این سیکل، سیال زمین گرمائی پس از خارج شدن از توربین وارد کندانسور شده و بوسیله آب سردی که توسط برج خنک کننده تامین شده است، به صورت کاملا مایع در میآید تا اولا بخار بدلیل ملاحظات زیست محیطی به داخل اتمسفر وارد نشود ، ثانیا امکان پمپاژ مایع بوجود بیاید و ثالثا بخاطر کمتر بودن فشار بعد از کندانسور در مقایسه با فشار بعد از توربین، امکان تولید برق بیشتر نسبت به سیکل بخار لحظه ای بدون کندانسور ایجاد شود. باید دقت داشت که گازهای موجود در بخار طبیعی مانند دی اکسید کربن و سولفید هیدروژن کندانس نمیشوند و اگر به طور مناسب از سیستم دفع نشوند ، دمای کلی کندانسور را افزایش و توان خروجی توربین را کاهش میدهند .

برج خنک کننده در نیروگاه های زمین گرمایی نسبت به یک نیروگاه فسیلی یا اتمی با همان ظرفیت، بسیار بزرگ تر است با این حال سیکل تبخیر آنی احتیاج به حجم زیادی از آب ندارد واین مزیت ، استفاده از آن را در مناطق خشک و بی آب میسر می سازد. نیروگاه های تبخیر آنی یک مرحله ای از لحاظ زمین مورد نیاز برای نیروگاه نسبت به دیگر نیروگاه ها بسیار اقتصادی تر بوده و حداکثر به زمینی با متراژ حدود 1200 متر مربع بر مگاوات نیاز دارد.که این متراژ در مقایسه با یک نیروگاه اتمی که در حدود ،10،000 نیروگاه زغال سنگی 40، 000 و نیروگاه فتوولتائیک66،000 مترمربع برمگاوات زمین نیاز دارند ، بسیار کمتراست.

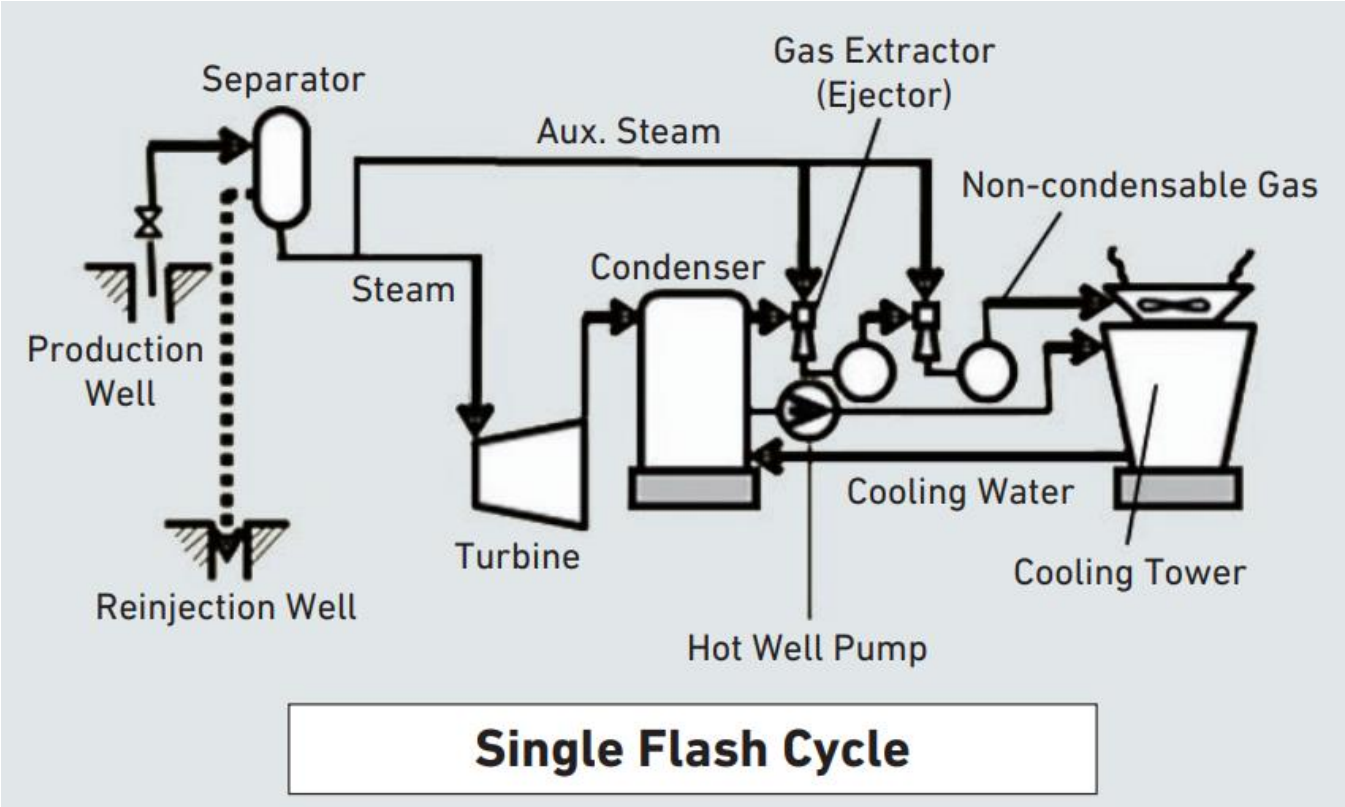
در صد ظرفیت نصب‌شده این نوع نیروگاه‌ها به نسبت سایر نیروگاه‌های زمین‌گرمایی ۴۱ ٪، میزان انرژی تولیدی ۴۲ ٪ و تعداد واحدهای نیروگاهی ۲۷ ٪ هست.



لیست تجهیزات مورد استفاده در این نوع نیروگاه:

1.چاه و سیستم تامین بخار وسیال ژئوترمال
2.توربین-ژنراتور و سیستم های کنترل
3.کندانسور، دستگاه تخلیه گاز و دستگاه کنترل آلودگی
4.سیستم ثابت نگهدارنده دما(برج خنک کننده)
5.سیستم هایup back
6.سیستم های کاهش نویز
7.سیستم های دفع ضایعات زمین گرمایی(چاه های تزریق)

شکل 11

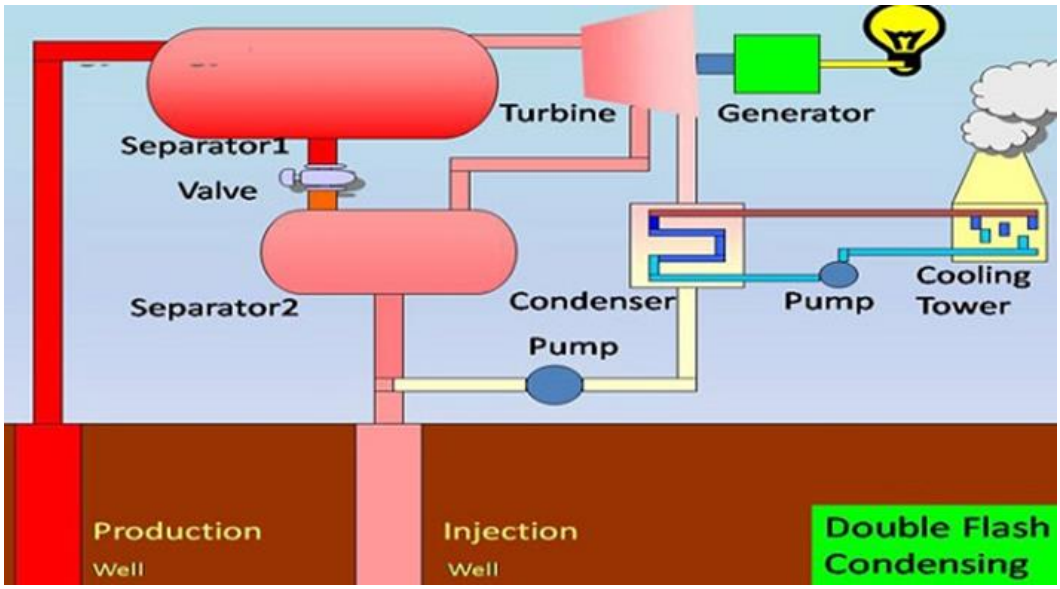


17. دو مرحله‌ای (Double Flash Condensing)

در این نوع نیروگاه زمین‌گرمایی به دلیل بالا بودن میزان دبی فاز مایع و نیز فشار آن می‌توان با کاهش فشار مایع خروجی از مخزن تفکیک‌کننده اول در یک مخزن تفکیک‌کننده دیگر نسبت به افزایش دبی بخار اقدام نمود. با این روش بخار تولید شده در مخزن تفکیک‌کننده دوم را به داخل قسمت های کم فشار توربین می‌فرستند تا بتوان میزان توان تولیدی در توربین و در نتیجه میزان تولید برق در ژنراتور را افزایش داد.

این سیستم ها در واقع شکل بهبود یافته ای از سیستم های یک مرحله ای هستند 15 تا 25 درصد خروجی بالاتر . طرز کار آنها نیز همانند سیکل بخار لحظه ای با کندانسور است با این تفاوت که در سیکل بخار دو مرحله ای دو توربین فشار پائین و فشار بالا و دو تفکیک کننده بخار از مایع وجود دارد. بخار در تفکیک کننده مرحله اول از مایع جدا شده و وارد توربین فشار بالا می شود. سپس مایع جدا شده مجدداً وارد تفکیک کننده مرحله دوم شده و بخار خروجی از تفکیک کننده دوم وارد توربین فشار ضعیف میگردد که از این طریق میتوان با تولید بخار بیشتر و هدایت نمودن آن به داخل قسمتهای کم فشار توربین، ضمن بالا بردن راندمان نیروگاه ، میزان تولید برق را نیز افزایش داد. این نیروگاه ها نسبت به نوع قبل پیچیده تر و گرانتر بوده ولی برق تولیدی بیشتر ،استفاده از آنها را توجیه میکند . این نوع از نیروگاه ها در 9 کشور در حال کار بوده و ظرفیت آنها در محدوده 4/7 تا 110 مگاوات است.

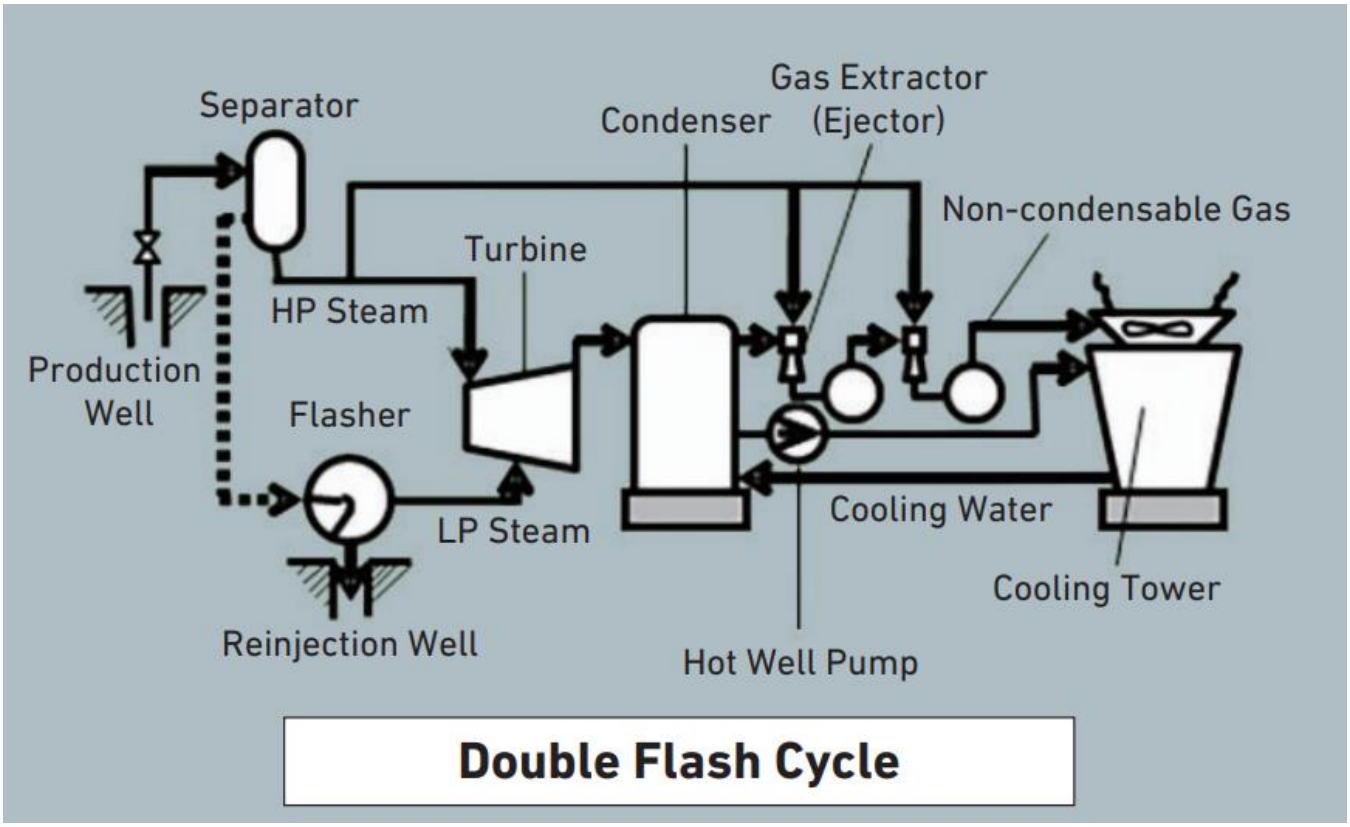
درصد ظرفیت نصب‌شده این نوع نیروگاه ها به نسبت سایر نیروگاه های زمین‌گرمایی ۲۰ ٪، میزان انرژی تولیدی ۲۱ ٪ و تعداد واحدهای نیروگاهی ۱۲ ٪ است .



شکل 12

لیست تجهیزات مورد استفاده در این نوع نیروگاه:

1. چاه و سیستم تامین بخار و سیال ژئوترمال
2. توربین- ژنراتور و سیستم های کنترل
3. کندانسور، دستگاه تخلیه گاز و دستگاه کنترل آلودگی
4. سیستم ثابت نگهدارنده دما (برج خنک کننده)
5. سیستم های up back
6. سیستم های کاهش نویز
7. سیستم های دفع ضایعات زمین گرمایی (چاه های تزریق)



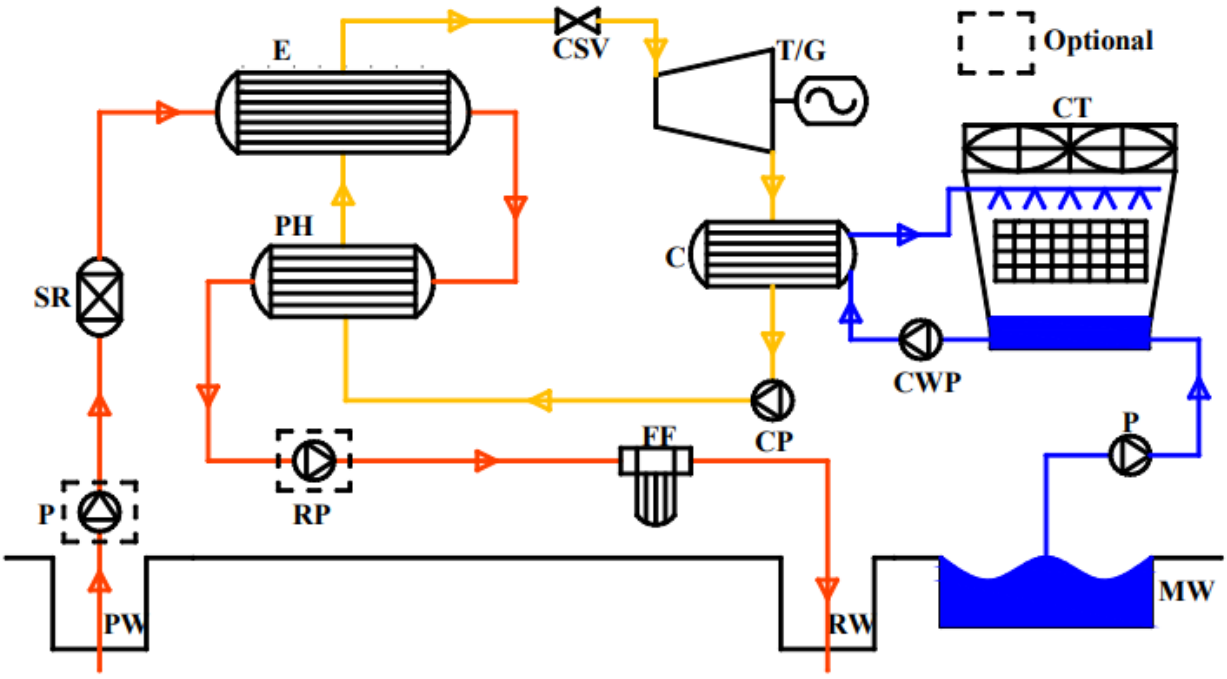
18. سیستم مایع داغ (Binary)

در این نوع نیروگاه های زمین‌گرمایی سیال خروجی از چاه های زمین‌گرمایی به صورت مایع داغ و فاقد هرگونه بخار به دست می‌آید. در این حالت می‌توان با استفاده از یک مبدل حرارتی، حرارت موجود در سیال زمین‌گرمایی را به سیال دیگری مانند ایزوپنتان، ایزوبوتان و سایر مواد دیگری که دمای جوشی پایین تر از آب دارند، منتقل نمود. در ادامه با انتقال بخار ایزوبوتان یا دیگر سیالات مشابه به توربین، نسبت به تولید توان و سپس تولید برق در ژنراتور اقدام می‌شود. این نوع نیروگاه های زمین‌گرمایی، را «دو سیاله» نیز می‌نامند . نیروگاه های سیکل باینری در میان نیروگاههای ژئوترمال از لحاظ ترمودینامیکی شبیه ترین نوع به نیروگاه های فسیلی یا اتمی هستند زیرا سیال در یک سیکل کاملا بسته در سیستم کار میکند و در واقع تفاوت اساسی این نوع سیکل با سیکل تبخیر آنی و بخار خشک در این است که سیال زمین گرمایی هرگز در تماس با تجهیزات نیروگاهی (توربین و ژنراتور) قرار نمیگیرد .

سیال کاری (ثانویه) در این سیستم با مشخصات ترمودینامیکی مناسب انتخاب شده و این سیال گرما را از سیال زمین گرمایی دریافت کرده ، تبخیر شده ، توربین را به چرخش در آورده ، کندانس شده و دوباره به وسیله پمپ هایی به دستگاه تبخیر کننده باز میگردد. بیشتر مناطق زمین گرمایی دارای سیال با درجه حرارت متوسط هستند و یا آنقدر آلوده به مواد معدنی و گاز ها هستند که نمیتوان آنرا مستقیما وارد توربین بخار نمود. در نیروگاه های باینری از این سیالات استفاده میشود . سیال زمین گرمایی و یک سیال ثانویه (به دلیل وجود دو سیال به آن باینری یا دوگانه میگویند) که این سیال ثانویه دارای نقطه تبخیر بسیار پایین تر از آب است (ایزو بوتان یا ایزو پنتان) از داخل یک مبدل گرمایی (EXCHANGER HEAT) عبور داده میشوند. گرمای سیال زمین گرمایی باعث تبخیر سیال دوم شده و بخار حاصل باعث چرخش توربین میشود . انتخاب درست سیال ثانویه تاثیر زیادی بر عملکرد نیروگاه باینری دارد . انتخاب این سیال باید با در نظر گرفتن مشخصات ترمودینامیکی آن وهم چنین اثرات زیست محیطی و ایمن بودن آن انجام شود . مبدل گرمایی را تبخیر کننده یا بویلر نیز می نامند . در بعضی از نیروگاه ها دو مبدل را سری میکنند که اولی کار پیش گرمایش و دومی عمل تبخیر را انجام میدهد. اولین نیروگاه باینری در جهان در کشور روسیه و در سال 1917 راه اندازی شد . و در حال حاضر در بیش از 16 کشور از این سیکل استفاده میشود . ظرفیت متوسط نیروگاه های باینری مدرن در حال حاضر 7 تا 10 مگاوات است و هم اینک بزرگترین سازنده این نیروگاه ها شرکت آمریکایی ORMAT می باشد . به دلیل حلقه بسته بودن این سیستم هیچ گاز یا بخاری از آن به محیط متصاعد نمی شود . تنها آلودگی این نوع نیروگاه به تزریق دوباره سیال به زمین صورت میگیرد و جالب توجه است که در نیروگاه

باینری واقع در روسیه از این آب گرم تلف شده برای اهداف کشاورزی استفاده می شود . به دلیل درجه حرارت متوسط اغلب منابع زمین گرمایی ، در آینده استفاده از نیروگاه های باینری افزایش خواهد یافت .

واحد های نیروگاهی باینری معمولا به صورت واحدهای مدولار کوچک با ظرفیت های چند صد کیلووات الی چند مگاوات ساخته میشوند . این واحد ها را میتوان به یکدیگر به صورت سری یا موازی متصل نمود تا نیروگاه هایی با ظرفیت چند ده مگاوات ساخت . هزینه آنها به عوامل مختلفی بستگی دارد ، اما به طور اخص به دمای سیال ژئو ترمال تولید شده ، که بر سایز توربین ، مبدل های حرارتی و سیستم خنک کننده نیروگاه تاثیر گذار است ، بستگی دارد . در صد ظرفیت نصب شده این نوع نیروگاه ها به نسبت سایر نیروگاه های زمین گرمایی ۱۱ ٪، میزان انرژی تولیدی ۹ ٪ و تعداد واحدهای نیروگاهی ۴۴ ٪ است.

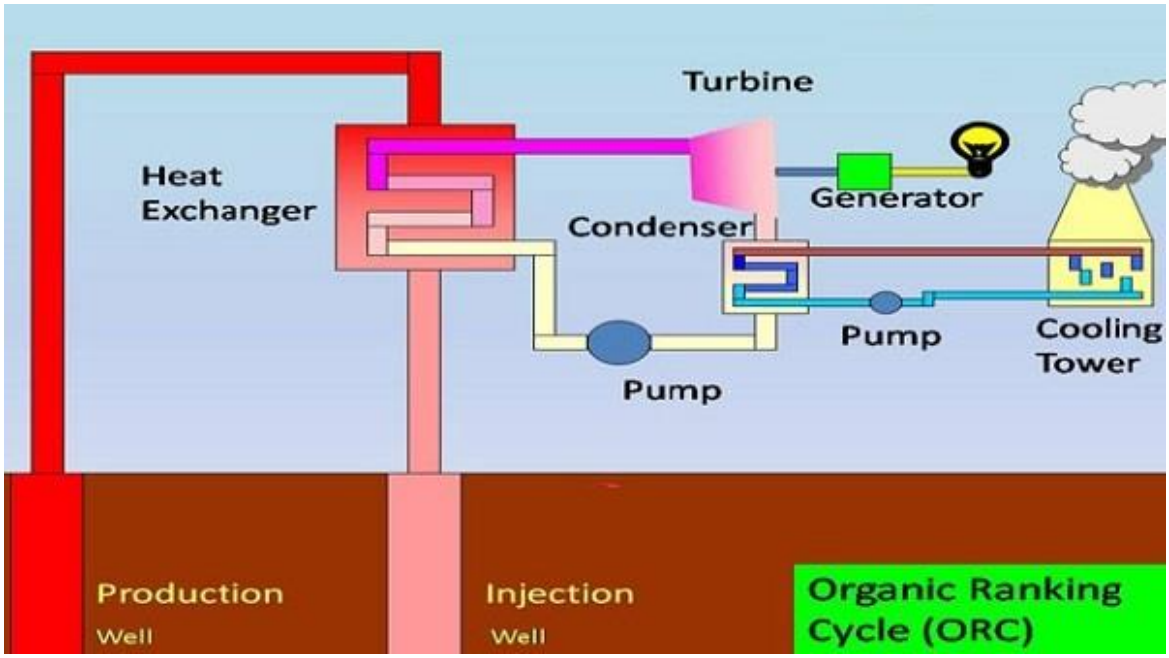


PW	Production well	P	Pump	SR	Sand remover
E	Evaporator	PH	Pre-heater	C	Condenser
CP	Condensate pump	RP	Reinjection pump	FF	Final filter
CSV	Control / stop valve	T/G	Turbine / generator	CWP	Cooling water pump
CT	Cooling tower	RW	Reinjection well	MW	Make-up water

Figure 9: Simplified schematic of a basic binary

تجهیزات بکار برده شده در یک نیروگاه سیکل باینری شامل:

1. پمپ ها و موتور های درون چاه ها
2. سیستم تامین سیال زمین گرمایی
3. مبدل های حرارتی بین سیال زمین گرمایی و سیال عامل
4. توربین- ژنراتور و سیستم کنترل
5. کندانسور سیال ثانویه ، سیستم اکوموالتور و ذخیره سازی
6. سیستم پمپ های تغذیه سیال ثانویه(عامل)
7. سیستم تنظیم حرارت(سیستم خنک کننده خشک و مرطوب)
8. سیستم پشتیبانی(up back)
9. سیستم دفع ضایعات نیروگاه (تزریق سیال مصرف شده به زمین)
10. سیستم اطفائ حریق اگر سیال ثانویه قابل اشتعال باشد .



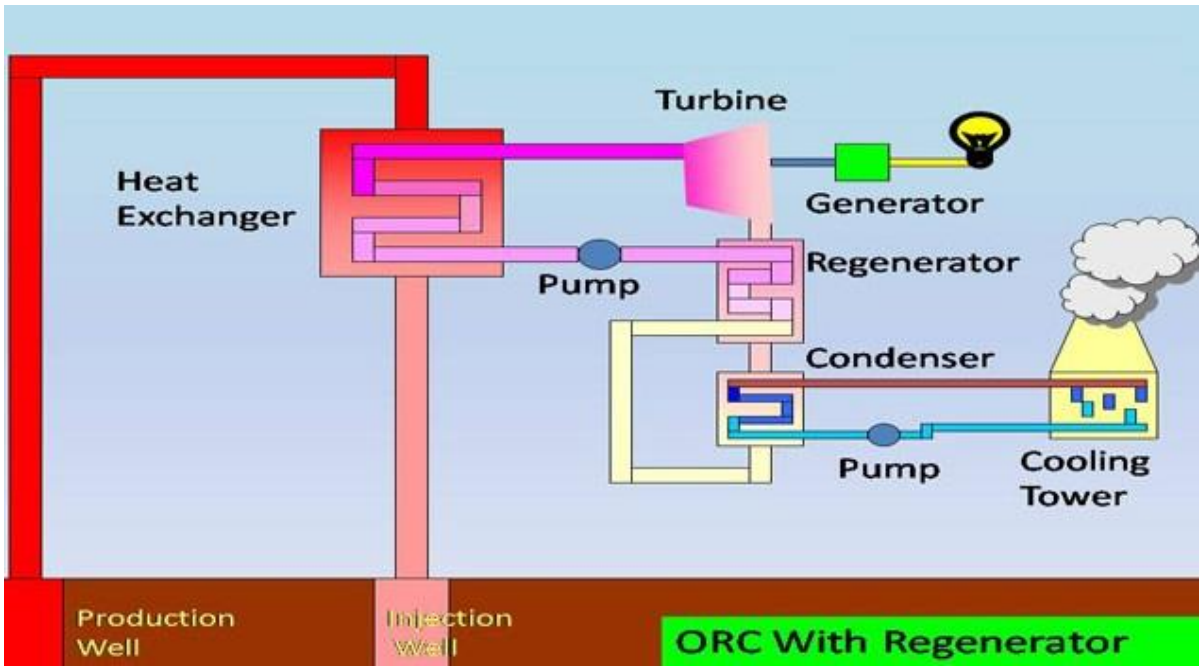
البته لازم به ذکر است با استفاده از تجهیزاتی مانند Regenerator می‌توان نسبت به افزایش راندمان نیروگاه و درنتیجه افزایش تولید برق اقدام نمود.

Regenerator نوعی مبدل حرارتی است که در آن گرمای سیال داغ قبل از انتقال به سیال سرد به طور متناوب در یک محیط ذخیره سازی حرارتی ذخیره می شود. برای انجام این کار ، مایع داغ با محیط ذخیره گرما در تماس است ، سپس سیال با سیال سرد جابجا می شود ، که گرما را جذب می کند.

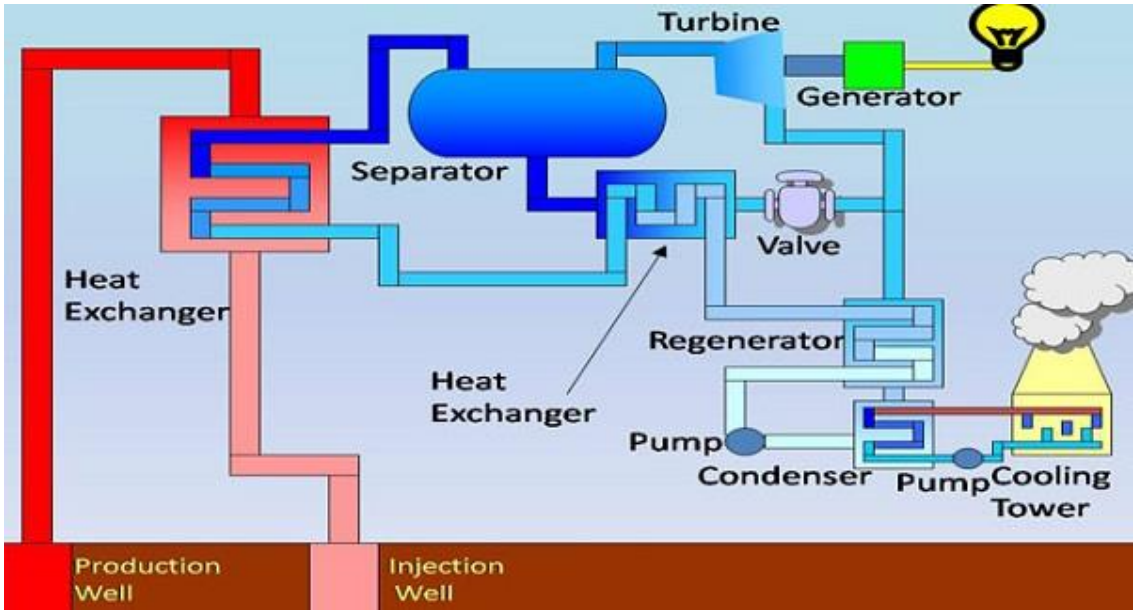
در مبدل های حرارتی احیا کننده ، سیال دو طرف مبدل حرارتی می تواند همان سیال باشد. سیال ممکن است یک مرحله پردازش خارجی را طی کند ، و سپس از طریق مبدل حرارتی در جهت مخالف برای پردازش بیشتر به عقب برگردانده می شود. معمولاً برنامه از این فرآیند به صورت چرخه ای یا مکرر استفاده می کند.

گرمایش احیا کننده یکی از مهم ترین فناوری هایی بود که در طول انقلاب صنعتی توسعه یافت و در فرآیند انفجار داغ در کوره های بلند مورد استفاده قرار گرفت.

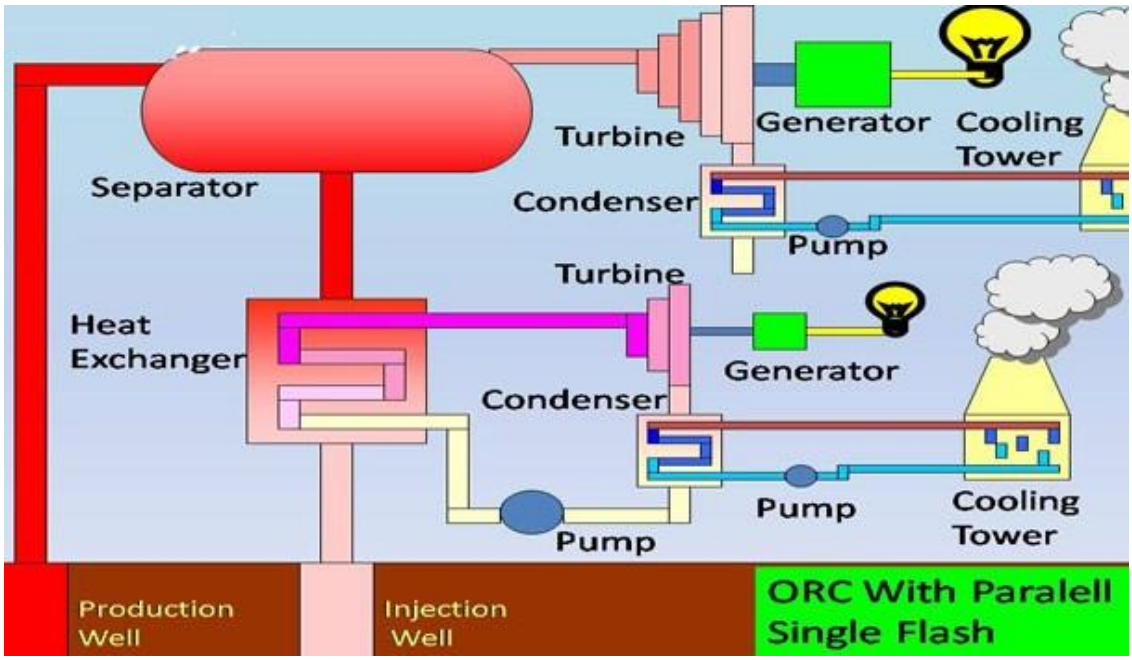
بعداً در ساخت شیشه و فولاد ، برای افزایش کارایی کوره های آتش باز ، و در دیگهای فشار قوی و کاربردهای شیمیایی و سایر موارد استفاده شد ، جایی که امروزه همچنان اهمیت دارد .

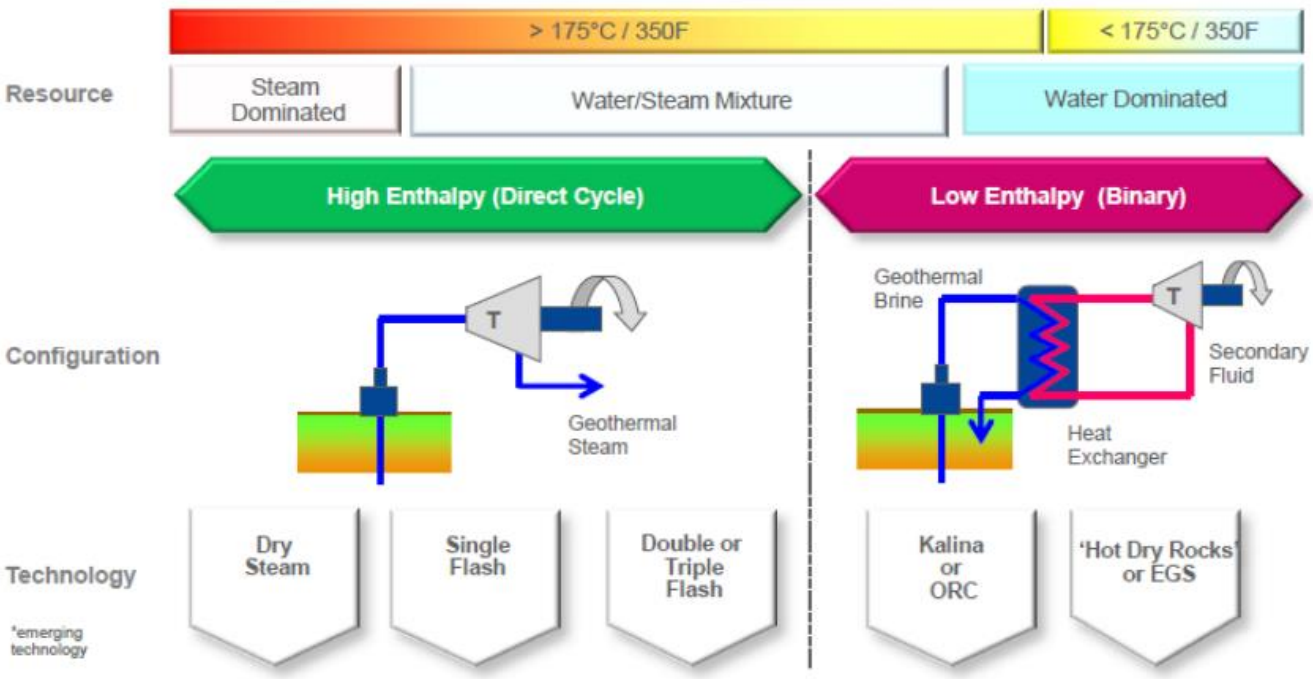


نکته قابل توجه این است که پیشرفته ترین نوع نیروگاه زمین‌گرمایی از نوع مایع داغ را می‌توان با نام نیروگاه Kalina نام برد که با حداقل دمای سیال ورودی (در حدود ۸۰ درجه سانتی‌گراد) می‌تواند برق تولید کند. در این نوع نیروگاه سیال عامل ترکیبی از آب و آمونیاک هست.

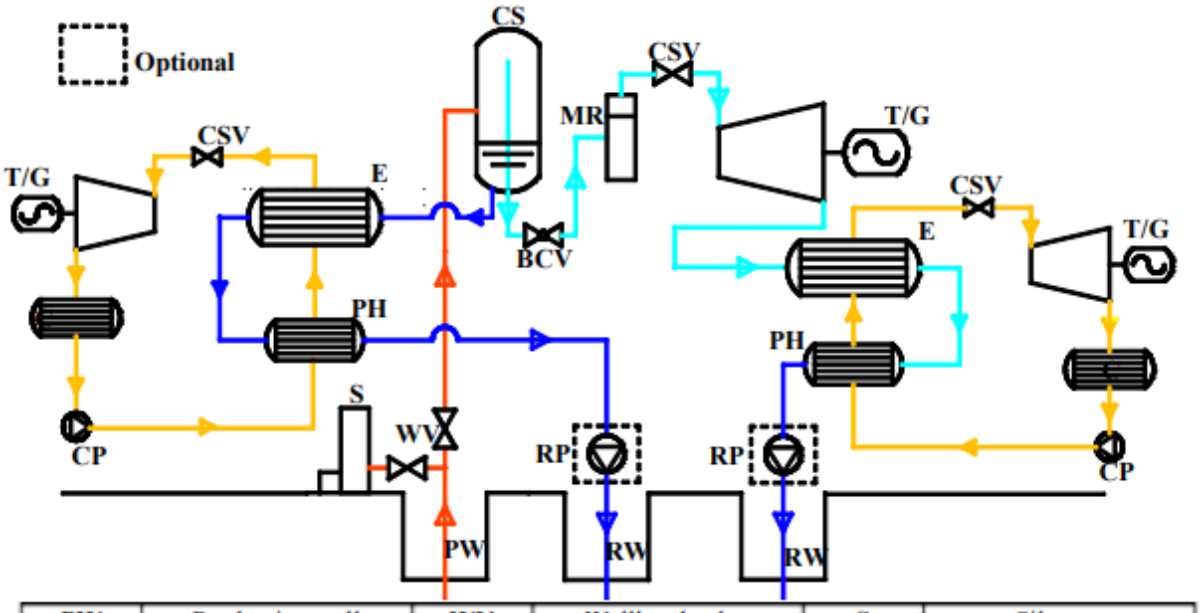


در بعضی از نیروگاه های زمین‌گرمایی به منظور افزایش میزان تولید، نیروگاه های بخار تک مرحله‌ای و نیروگاه های دو سیاله را به صورت موازی یا سری مورد استفاده قرار می‌دهند.



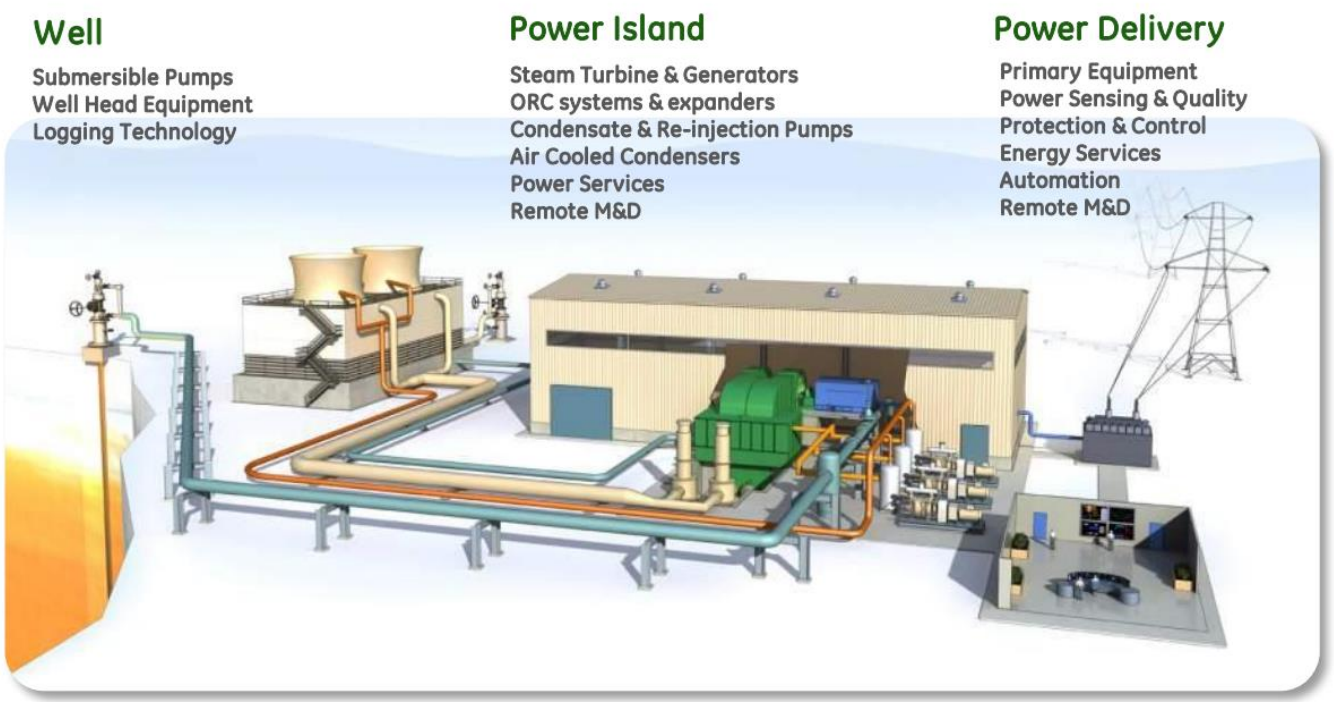


تقسیم بندی نوع سیستم تولید بخار بر اساس مشخصات ترمودینامیکی سیال خروجی

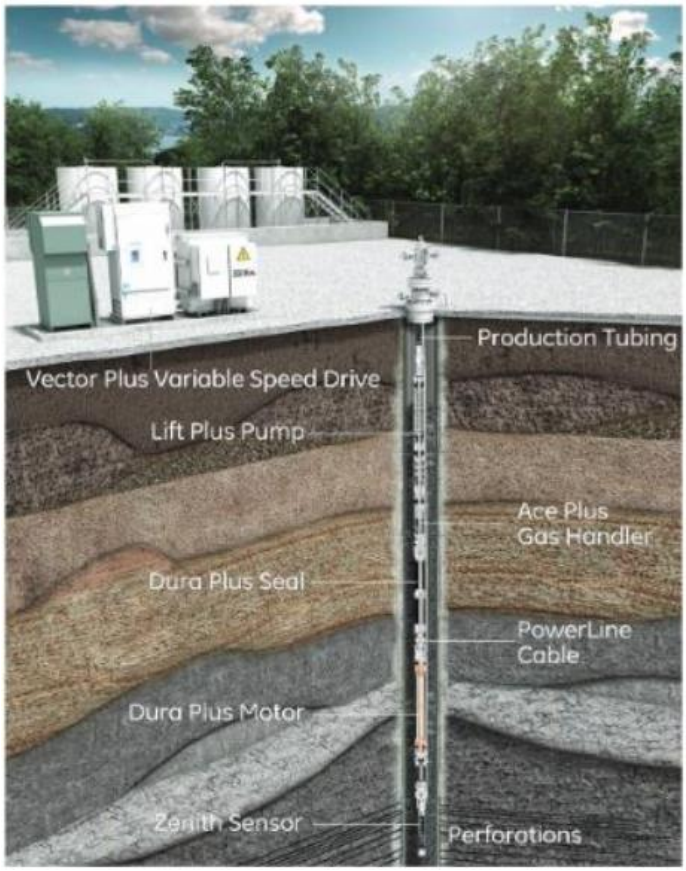


PW	Production well	WV	Wellhead valve	S	Silencer
CS	Cyclone separator	BCV	Ball check valve	MR	Moisture remover
CSV	Control / stop valve	T/G	Turbine / generator	C	Condenser
CP	Condensate pump	E	Evaporator	PH	Pre-heater
RP	Reinjection pump	RW	Reinjection well		

دیاگرام یک نیروگاه باینری تقویت شده

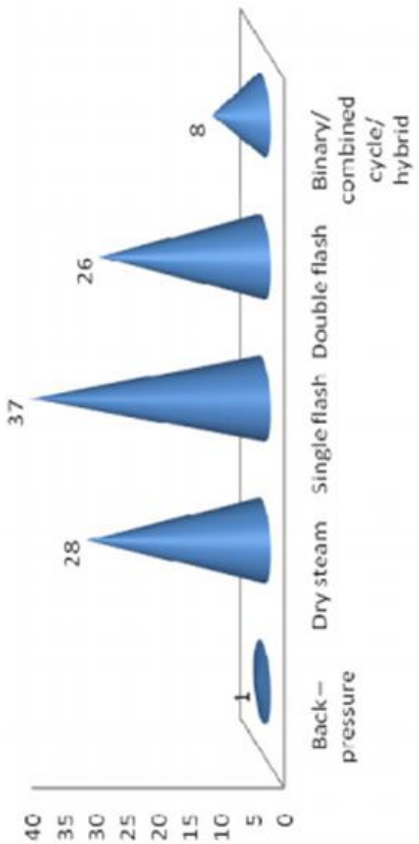


سه بخش یک نیروگاه که شامل چاه استخراج و قسمت تولید و قسمت انتقال نیرو است



جانمایی تجهیزات در عمق مختلف چاه استخراج

مقایسه کمیتی تعداد واحد های نیروگاهی بر اساس نوع فناوری



19. واحد هاي نيروگاهي سر چاهي

در سالیان اخیر، واحدهای نیروگاهی سرچاهی به یکی از سودمند ترین و جذابترین شاخه های صنعت برق ژئوترمال تبدیل شده اند. همان طوری که از نامشان پیداست، واحدهای سر چاهی در مجاورت یک یا چند چاه تولیدی راه اندازی شده و معمولاً با آب داغ بخار یا آب خروجی از آنها تغذیه می شوند چندین ویژگی مهم، واحدهای نیروگاهی سر چاهی ژئوترمال را از یک نیروگاه مرکزی ژئوترمال متمایز می سازند اول اینکه توان ناخالص تولیدی واحدهای سرچاهی معمولاً کمتر از ۱۰ مگاوات است.

دیگر اینکه واحد های نیروگاهی سر چاهی از خطوط انتقال بخار بسیار کوتاهی برخوردارند در حالیکه نیروگاه های مرکزی ژئوترمال مشخصاً از خطوط لوله به هم پیوسته و طویلی برخوردارند که بخار آب را از مجموعه چاهای متعدد به واحد مرکزی انتقال می دهند.

برجسته ترین ویژگی واحدهای پیشرفته سرچاهی، ساختار مدولار آنها است بدین معنا که توربو ژنراتورهای سرچاهی در مقیاس های معین ساخته می شوند و قطعات آنها در همان محل کارخانه بر روی یکدیگر جفت و جور شده و بر روی یک پایه ساده (با قابلیت حمل آسان) سوار می شوند.

یکی از مزایای ذاتی و احدهای مدولار پیش ساخته این است که سیستم، پس از ساخت، در محل کارخانه تست شده و در نتیجه ا ز عملکرد هایی صحیح تمامی اجزاء و اتصال دقیق آنها به یکدیگر اطمینان حاصل می شود این نوع عملیات تست و راه اندازی کارخانه ای باعث کاهش چشم گیری در مدت زمان مورد نیاز برای انجام تست پیش راه اندازی مقدماتی و رفع اغتشاشات احتمالی خواهد شد. ساخت واحد های بسیار کوچک، استاندارد و قابل حمل خروجی – اتمسفری را می توان در ظرف کمتر از۱۲ ماه پس از تاریخ سفارش آنها به اتمام رسانید و بهره برداری از آنها را آغاز کرد. همچنین درصورت نیاز می توان این واحدها را در ظرف کمتر از ۲-۱ ماه به یک چاه جدید انتقال داد برای ساخت و راه اندازی یک نیروگاه مرکزی بر روی یک منبع جدید و اثبات نشده و ژئوترمال، از حفر اولین چاه تا شروع تولید ۶ الی ۷ سال زمان لازم است یکی از منابع عمده حاصل از راه اندازی واحد های کوچک نیروگاهی بر روی چاه های اکتشافی، اطلاعات بسیار سودمندی است که به راحتی می توان با تست منبع بدان ها دسترسی پیدا کرد .

Gorgon FR9 Power Gen. Modules

GE is supplying machinery for the LNG cooling, C02 sequestration and energy production.

- 5 MS9001E GTG Modules
- 113MW power each
- Control cab & aux. systems fully interconnected and wired
- Construction + FSNL in Avenza yard
- 48x22x28 m, 2300 tons

SeaSmart Offshore Package™

Offshore power generation module based on LM2500 or PGT25+G4.

- Complete, factory-tested package
- 24 years durability
- 100% of components integration
- Plug & play control cabinet
- All on-board auxiliaries
- 60% less cable laying
- 40% less interconnecting piping

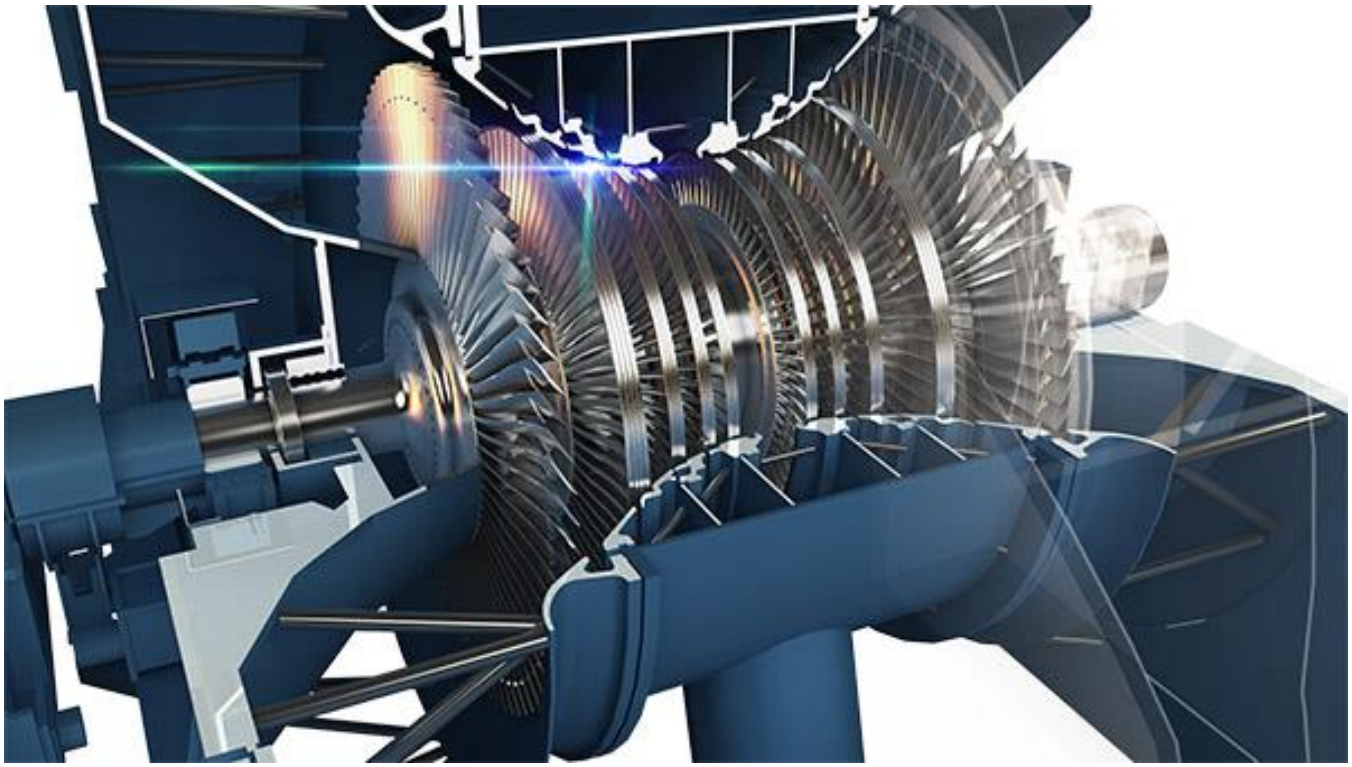
دو واحد نیروگاهی ماژولار که توسط کمپانی GE امریکا طراحی و اجرا شده است

20. تاسیسات ویژه جدایش بخار و تزریق مجدد پس آبهاي خروجي (Separation and re-injection plant)

که معمولاً برای انجام تست های طولانی مدت تخلیه چاه در حوزه های آنتالپی – متوسط بدان ها نیاز است، بخشی از تجهیزات استاندارد مورد نیاز این گونه واحدها را تشکیل می دهند. به موازات فعالیت این گونه واحدها می توان اطلاعاتی راجع به مقادیر فشار، دما، حجم گازهای غیر قابل کندانس و نوع رفتار شیمیایی عناصر موجود کسب کرد، مشاهده دقیق پاسخ مخزن به تخلیه محتویات آن از طریق چاه های دیده بانی مجاور می تواند ما را در برآورد کمی پارامترهای مخزن از قبیل ضریب قابلیت انتقال و ضریب قابلیت ذخیره در محدوده وسیعی از مخزن یاری نماید این اطلاعات اضافی ما را قادر می سازد تا پیش بینی های دقیق تری راجع به نوع رفتار مخزن در آینده نسبتاً دور بعمل آورده و در نتیجه ریسک بهره برداری از منبع در مقیاس وسیع را تا حد زیادی کاهش می دهیم.

21. توربين بخار خروجي- اتمسفري متداول

(Atmospheric exhaust conventional steam turbine)

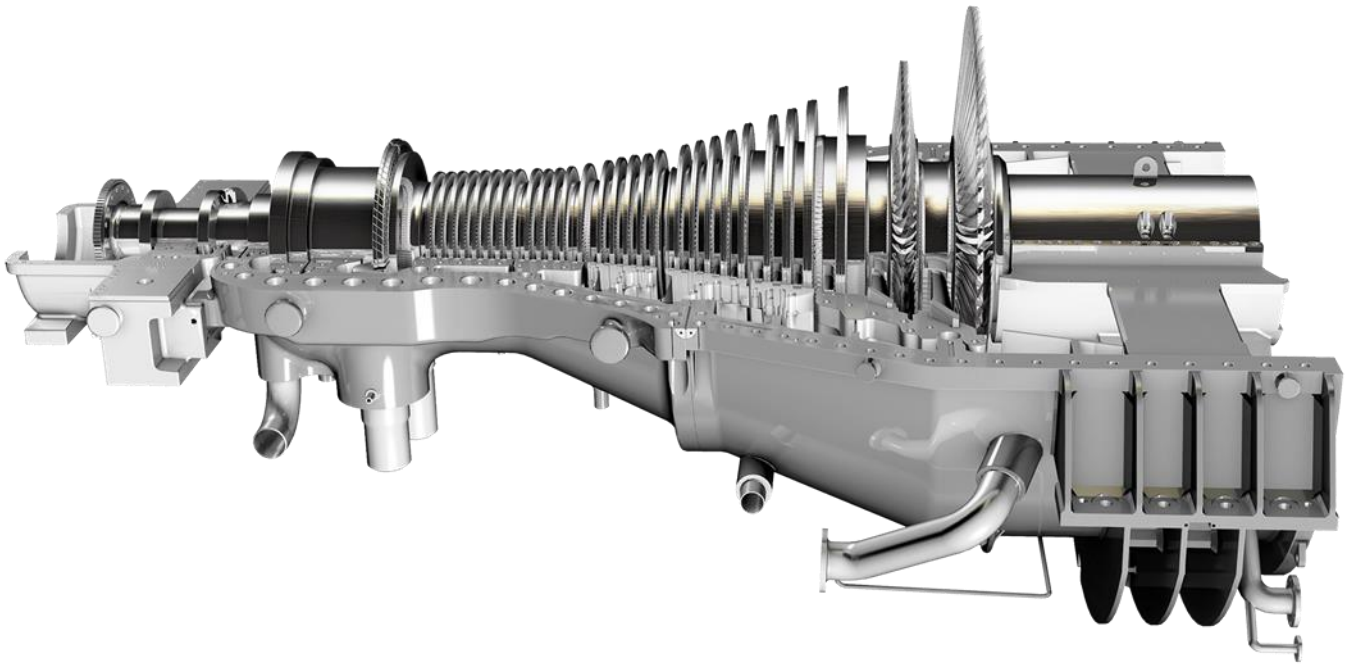


توربین های خروجی – اتمسفری (که فشار پشت آنها با محیط برابر است) ساده ترین و از حیث هزینه سرمایه گذاری، ارزان قیمت ترین ، سیکل ژئوترمال به شمار می روند در این نوع سیستمها ، بخار آب از سیال ژئوترمال خروجی از چاه جداسازی شده و به داخل یک توربین بخار جریان محوری متداول، که خروجی آن مستقیماً به محیط اطراف تخلیه می شود ارسال می گردد . این نوع سیستم ها شاید چیزی در حدود دو برا بر واحد های نیروگاهی خروجی – کندانس به ازاء هر کیلو وات برق تولیدی (با فرض فشار های ورودی یکسان) بخار آب مصرف می کنند و از همین رو میزان مصرف انرژی و هزینه کلی چاه های آنها در سطح بالاتری قرار دارد با وجود این واحد های نیروگاهی خروجی – اتمسفری ، کاربرد خاص خود را به عنوان واحد های کمکی Pilot Plants و واحد های پشتیبانی (Stand-by plants) دارا می باشند، که در آنها از جریانات ضعیف خروجی از چاه های دور از یکدیگر و همچنین خروجی چاه های آزمایشی (در حین توسعه حوزه) برای تولید برق استفاده می شود، دیگر مزیت واحد های نیروگاهی خروجی – اتمسفری این است که

معمولا می توان آنها را بدون نیاز به یک منبع برق خارجی راه اندازی نمود ، زیرا تنها دستگاه جانبی ضروری سیستم یعنی پمپ روغن روان کاری را می توان بوسیله یک توربین بخار کوچک بکار انداخت.

22. توربين بخار خروجي- كندانس متداول

(Condensing exhaust conventional steam turbine)

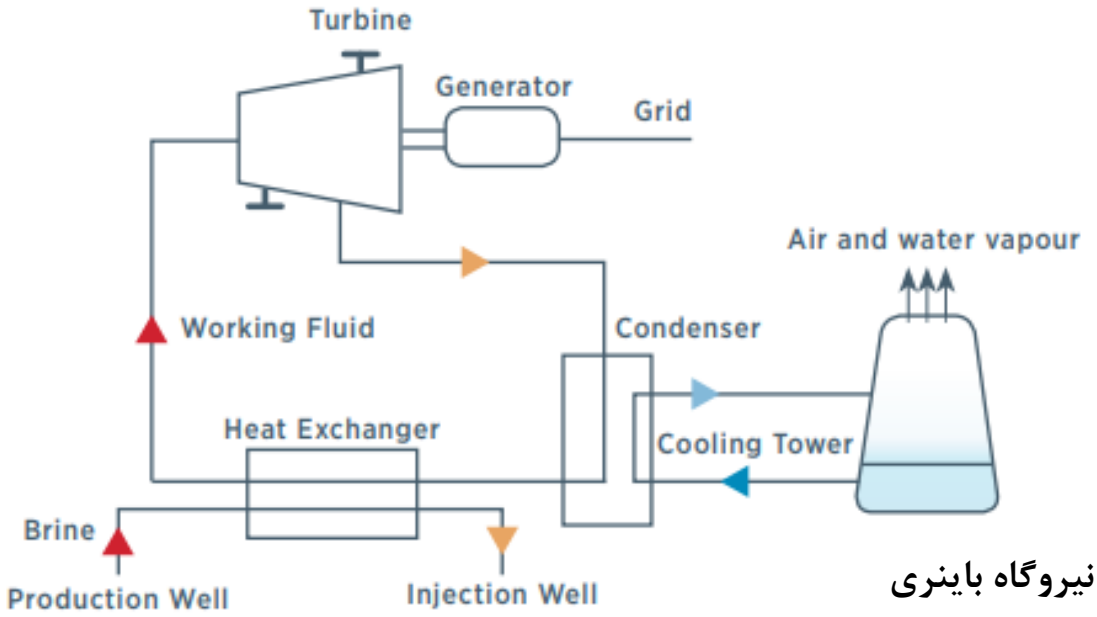


این نوع واحد نیروگاهی حاصل انجام بهینه سازی ترمودینامیکی بر روی طرح توربین های خروجی – اتمسفری می باشد. به جای تخلیه بخار خروجی از توربین به محیط اطراف، بخار به داخل یک اتاقک کندانس که نوعاً در یک فشار بسیار پایین در حدود bara 12/0 نگهداری می شود، تخلیه می گردد. از آنجائی که در مقایسه با توربین های خروجی – اتمسفری، افت فشار بیشتری در توربین های خروجی- کندانس روی می دهد لذا توان تولیدی این نوع توربین ها با فرض شرایط ورودی یکسان و نرخ جریان مشابه تقریبا دو برابر توربین های خروجی – اتمسفری خواهد بود. دلیل اینکه بخار خروجی از توربین باید حتماً کندانس شود، این است که در صورت عدم انجام این کار (تبدیل بخار آب به مایع) انرژی بسیار زیادی برای پمپاژ سیال از شرایط فشار – پایین داخل کندانسور به محیط بیرون نیاز خواهد بود که تامین آن از عهده ما خارج است طرح ساده ای از یک توربین بخار خروجی- کندانس البته با اضافه شدن یک دستگاه کندانسور

و همچنین برج های خنک کن و تجهیزات پمپاژ مربوط به آن، افزایش قابل ملاحظه ای در هزینه کلی واحد نیروگاهی ایجاد خواهد شد. به علاوه باید گازهای غیر قابل کندانسی را که جریان بخار آب ژئوترمال وجود داشته و در داخل کندانسور جمع می شود به طور جداگانه و با استفاده تجهیزات جدایش گاز از داخل کندانسور به خارج آن پمپاژ کرد چنانچه جرم گازهای غیر قابل کندانس از حدود ۱۲٪ جرم بخار آب موجود تجاوز نماید، در این صورت معمولاً استفاده از واحدهای نیروگاهی خروجی – اتمسفری به لحاظ اقتصادی مقرون به صرفه خواهد بود زیرا برای تخلیه این مقدار گاز داخل کندانسور به محیط بیرون، توان الکتریکی زیادی لازم است.

23. واحد نیروگاهي دو سیاله (Binary Plant)

تکنولوژی نیروگاه های دو سیاله ژئوترمال اساساً با هدف تولید برق از منابع دما – پایین الی متوسط و افزایش میان بهره برداری ا ز منابع حرارتی از طریق بازیافت حرارت اتلاقی آنها بسط و توسعه یافته است یکی از منابع عمده اتلاف گرما در حوزه های ژئوترمال، آب مایع جدا شده از مخلوط آب / بخار آب در جدا سازی پاششی Flash) (Separatorsاست. غیر از مواردی که باید در آنها محدودیت های خاصی را در زمینه بهره برداری از منابع ژئوترمال مدنظر قرار داد، در سایر موارد، اقتصادی ترین راه ممکن برای تولید برق از منابع دما – بالا معمولاً راه اندازی نیروگاه هایی است که در آنها از توربین ها متداول بخار استفاده می شود .طرح ساده ای از یک سیستم دو سیاله در شکل نشان داده شده است.

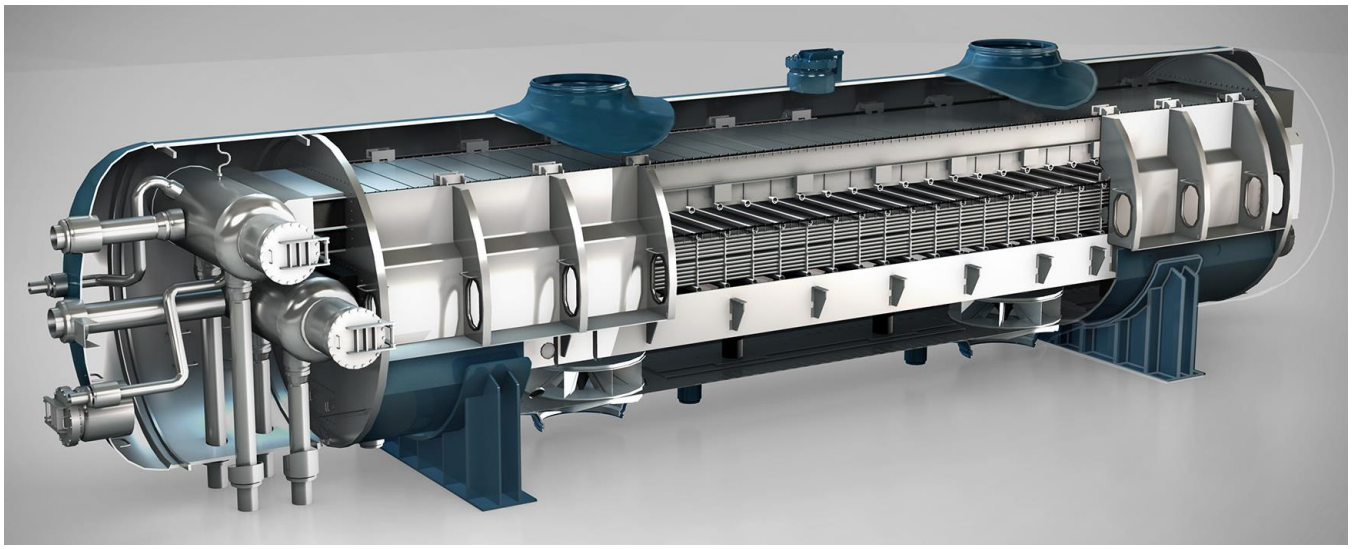


شکل 13 یک نیروگاه باینری

در سیستم دو سیاله، یک سیال عمل ثانویه که در مقایسه با بخار آب از نقطه جوش پایین تر و فشار بخار بالاتری در دما های پایین برخوردار است، مورد استفاده قرار می گیرد. این سیال ثانویه در یک سیکل رایج رانکین به گردش درمی آید با انتخاب یک سیال عامل مناسب می توان سیستم های دو سیاله را طوری طراحی نمود که بتوانند با استفاده از دما های ورودی ۱۷۰-۸۵ C^{o} به فعالیت خود ادامه دهند. حد بیشینه دما به عنوان سقف قابلیت حرارتی سیالات آلی ثانویه وحد کمینه آن بواسطه برخی ملاحظات اجرایی و اقتصادی وضع شده است، که به عنوان مثال، در دما های پایین تر از محدوده دمایی فوق، اندازه مبدل حرارتی مورد نیاز به قدری بزرگ خواهد بودکه عملاً باعث غیر اقتصادی شدن طرح خواهد شد حرارت بوسیله مبدل های حرارتی از سیال ژئوترمال به سیکل دو سیال از داخل یک توربین مقادیر دما و فشار آن تا حدودی کاهش می یابد .

عموماً واحد های نیروگاهی دو سیاله به صورت واحد های مدولار کوچکی ساخته می شود که ظرفیت تولید برق آنها از چند صد کیلو وات تا چند مگاوات متغیر است سوددهی اقتصادی واحد های کوچک تا حد زیادی مدیون ساختار مدولار آنها است که باعث کاهش زمان ساخت و راه اندازی اینگونه واحدها می شود طرح های بزرگتر (۵۰-۱۰ مگاوات) را می توان با راه اندازی و اتصال چند واحد مدولار به یکدیگر در قالب یک طرح مشترک به انجام می رسانید.

24. مبدل هاي حرارتي سيكل دو سياله



هدف از بکارگیری مبدل های حرارتی، تامین حرارت لازم جهت تبخیر سیال ثانویه و همچنین دی سوپرهیت کردن و کندانس کردن آن در حین مرحله دفع حرارت از سیکل می باشد. معمولاً سیال ثانویه در دو واحد مجزا ابتدا گرم و سپس تبخیر می شود .

مبدل های حرارتی رایج از نوع لوله- پوسته ای می باشند این مبدل های به لحاظ فیزیکی برزگ اند و بخش عمده ای از هزینه های یک واحد های نیروگاهی دو سیاله را به خود اختصاص می دهند میزان بازدهی فنی/ اقتصادی واحد های نیروگاهی دو سیاله تا حد زیادی به انتخاب مبدل های حرارتی مناسب بستگی دارد یکی از معایب اصلی هیدروکربن ها و مبرد هایی که به عنوان سیال ثانویه مورد استفاده قرار می گیرند، این است که ضریب انتقال حرارت آنها پایین است.

بازده تبادل حرارت مبدل های حرارتی غالباً در اثر جرم گرفتگی کاهش می یابد که این امر در برخی موارد می تواند استراتژی های اجرائی خاصی را عملاً غیر ممکن است .

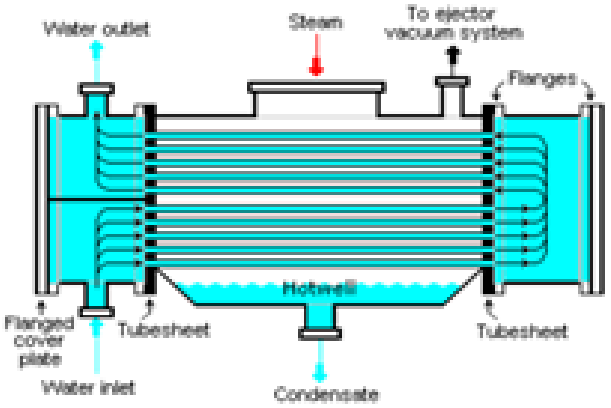
جرم گرفتگی باعث کاهش انتقال حرارت و در نتیجه کاهش بازده هیدورلیکی مبدل های حرارتی لوله – پوسته ای و همچین افزایش هزینه های تعمیر و نگهداری و کاهش بهره وری نیروگاه می شود.

هم اینک موسسات تحقیقاتی مختلف با عنایت به جنبه های زیبایی- شناختی موضوع، گرایش شدید به ساخت مبدل های حرارتی تماس-مستقیم پیدا کرده اند که بسیار کارآمد بوده و در عین حال به مراتب کوچکتر از مبدل های حرارتی لوله – پوسته ای می باشند. تفاوت نقاط جوش دو سیال باعث تسهیل در امر جداسازی آنها پس از انجام تبادل حرارت می شود. مهم ترین معضلات مربوط به مبدل های حرارتی تماس – مستقیم عبارتند از :

۱ -نیاز به داشتن سیالات اولیه و ثانویه در فشار یکسان

۲ -قابلیت انحلال جزئی سیال ژئوترمال در سیال ثانویه و بالعکس. این امر باعث آلودگی هر دو سیال شده و همچنین می تواند باعث ایجاد اختلال در عملکرد توربین شود .

۳ -تجهیزات آزمایشگاهی متعددی ساخته شده که ثابت می کنند تکنولوژی تماس – مستقیم می تواند در سیستم های دو سیاله مورد استفاده قرار گیرد با این حال تا کنون هزینه ها و منافع حاصل از اجرای اینگونه طرح های به طور دقیق محاسبه نگردیده است.



25. میزان برق خالص توليدي

انتخاب سیال حرارتی ، بسته به نوع کاربرد مورد نظر متفاوت است. لازمه یک انتخاب ایده ال این است که محدوده دمایی فعالیت سیستم و میزان برق تولیدی آن را به دقت مدنظر قرار دهیم. با اینحال، به منظور انجام مطالعات امکان-سنجی اولیه، فرمول زیر می تواند میزان برق خالص تولیدی را با دقت بالا مورد محاسبه قرار دهد

$$NEP = [(0.18T - 10)ATP]/278$$ **معادله 1**

که در آن :

Tدمای ورودی سیال اولیه(C º)

NEPمیزان برق خالص تولیدی(Kw)

ATPمیزان توان حرارتی قابل استحصال(Kw)

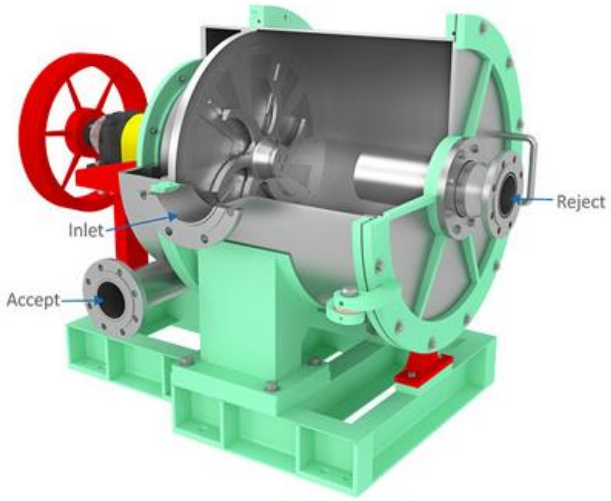
توان حرارتی قابل استحصال (Available thermal power) به حرارتی اطلاق می شود که می توان از جریان ژئوترمال قابل دسترسی استحصال نمود و مقدار آن(طبق قرار داد) بر حسب دمایی که C º ۱۰ بالاتر از دمای کمیته سیکل در نظر گرفته می شود محاسبه می گردد.

معمولاً دمای کمینه سیکل 40 فرض می شود به عنوان مثال با استفاده ازمعادله فوق می توان به سهولت محاسبه نمود که چنانچه سیال ژئوترمال با دمای ورودی C º ۱۴۰ در دسترس قرا ر داشته باشد، می توان به یک بازده تبدیل خالص تقریباً ۵/۵ درصدی دست یافت، در حالیکه با فرض دمای ورودی C º ۱۰۰ تنها می توان به بازدهی در حدود ۲/۸ درصد نائل گردید .

26. توربو آلترناتور دو فازي با جداسازي دوار

(Biphase rotary separator turbo – alternator)

جدا ساز دو فلزی دوار اساساً هدف بهره برداری از توان حرارتی یک مخلوط دو فازی بخار آب / آب برای تولید انرژی الکتریکی طراحی شده است. این سیستم همچنان که در شکل 20 نشان داده شده است از سه جزء اصلی تشکیل می شود: تعدادی نازل دو فازی، یک جداسازی دوار و یک توربین مایع .



شکل 14

نازل دو فازی ، بخشی از آنتالپی مخلوط دو فازی را به انرژی جنبشی تبدیل می کند. مخلوط پر فشار اولیه در اثر عبور از نازل با افت فشار قابل ملاحظه ای مواجه شده و به صورت مخلوط کاملاً یک نواختی از قطرات ریز آب و حباب های بخار آب از آن خارج می شود شتاب حباب های بخار و قطرات آبی که آنها را همراهی می کنند، بر اثر انبساط در داخل نازل افزایش یافته و در نتیجه انرژی جنبشی آب و بخار آب نیز افزایش می یابد. حاصل، یک جت (جریان) دو فازی با انرژی جنبشی بالا است .

جت دو فلزی حاصل ، مماس بر سطح داخلی یک جدا ساز طبلی – شکل دوار به حرکت خود ادامه می دهد. جدا ساز با سرعتی نزدیک به سرعت جت دو فازی دوران می کند، به طوری که افت اصطحکاکی بسیار کوچکی روی می دهد و انرژی جنبشی مایع همچنان در سطح بالایی باقی می ماند. شتاب بالای گریز از مرکز باعث وارد آمدن نیرو به فاز مایع سیال(جزء سنگین تر) و چسبیدن آن به دیوار جداساز شده و درنتیجه فاز مایع بطور کامل از فاز بخار جدا می شود مایع جدا شده به همراه طبلک دواران می کند، در حالی که بخار آب، به آهستگی راه دریچه خروجی را پیش می گیرد .

مایع که از سمت نازل وارد روتور جدا ساز می شود از داخل حفره های انتقال مایع که بر روی دیسک ایجاد شده اند عبور داده می شود تا در سمت دیگر آن که مشرف به یک توربین مایع است، لایه ای از مایع تشکیل دهد. توربین مایع، که انرژی جنبشی مایع از طبق اصل ضربه به توان مکانیکی محور تبدیل می کند. از یک بازوی دوار و دو المان توربین در دو انتهای آن تشکیل شده است.

المان های توربین مایع، مایع را از روتور جدا ساز دریافت کرده جهت جریان را به میزان ^{o} ۱۸۰ معکوس کرده و آنرا به درون روتور انتقال مایع تخلیه می کنند. وارونگی جریان مایع در داخل المان توربین باعث اعمال نیرویی برخود المان و گشتاوری بر روتور توربین می شود

جریان مایع خروجی از المان های توربین مایع به داخل روتور انتقال مایع سرازیر می شود. این روتور که ساختاری شبیه روتور قبلی دارد، نیروی لازم برای دوران خود را از طریق انرژی جنبشی باقی مانده در مایع تامین می کند .

مایع مصرفی بوسیله یک دیفیوز ساکن از روتور اانتقال مایع دریافت می شود. سطح مقطع عرضی این دیوفیوزر واگرا با نسبت ۳ به ۱ افزایش می یابد.

واگرایی دیفیوزر باعث می شود تا انرژی جنبشی باقیمانده در مایع به فشار تبدیل شود و بدین ترتیب فشار مورد نیاز برای تزریق مجدد سیالات به اعماق زمین تامین گردد با افزایش نسبت سرعت ، دیفیوزر قادر خواهد بود که انرژی بیشتری را از جریان مایع استحصال نموده ودر نتیجه فشار آن را بیش از پیش افزایش دهد با افزایش نسبت سرعت تا رقم0/75 می توان به فشارهایی بیش از bar ۱۷ دست یافت و بدین ترتیب پساب خروجی از سیستم را بدون نیاز به استفاده از پمپهای ترزیق مجدد به اعماق زمین ترزیع نمود .

واحد دو فازی معمولاً به همراه یک توربین بخار متداول که توسط بخارآب خروجی از جدا ساز دو فازی دوار تغذیه می شود، بکار گرفته می شود.

27. تجهيزات جانبي نيروگاههاي زمين گرمايي

این تجهیزات عبارتند از: شیرآلات سر چاهی، جدا کننده ، صدا خفه کن، تجهیزات ایمنی، سیستم انتقال سیال و تاسیسات تزریق آب به مخزن زمین گرمایی

شیر آلات سرچاهی

وظیفه این تجهیزات که در بالای چاه زمین گرمایی نصب می شوند. کنترل فشار و دبی سیال و تثبیت کردن لوله تولید سیال زمین گرمایی (جلوگیری از ارتعاش لوله) است. علاوه بر این در هنگام تعمیر چاه یا نیروگاه به کمک آنها می توان جریان سیال را متوقف یا به مسیر دیگری منحرف کرد .

شیر آلات سرچاهی که در چاه های زمین گرمایی مورد استفاده قرار می گیرند. بسیار شبیه انواعی است که در چاه های استخراج نفت و گاز بکار می روند، این تاسیسات شامل سرلوله ، بازوهای نگهدارنده لوله، ماسورهٔ انبساطی، شیرهای اصلی، سه راهی جریان و اتصالات هستند .

جدا کننده

بیشتر مخازن زمین گرمایی که می توانند برق تولید کنند از انواع مخازن با ذخیره آب بالنده هستند به این معنی که قسمت اعظم سیال تولیدی آب داغ است. بنابراین برای تفکیک بخار چاه از آب داغ دستگاه جدا کننده مورد استفاده

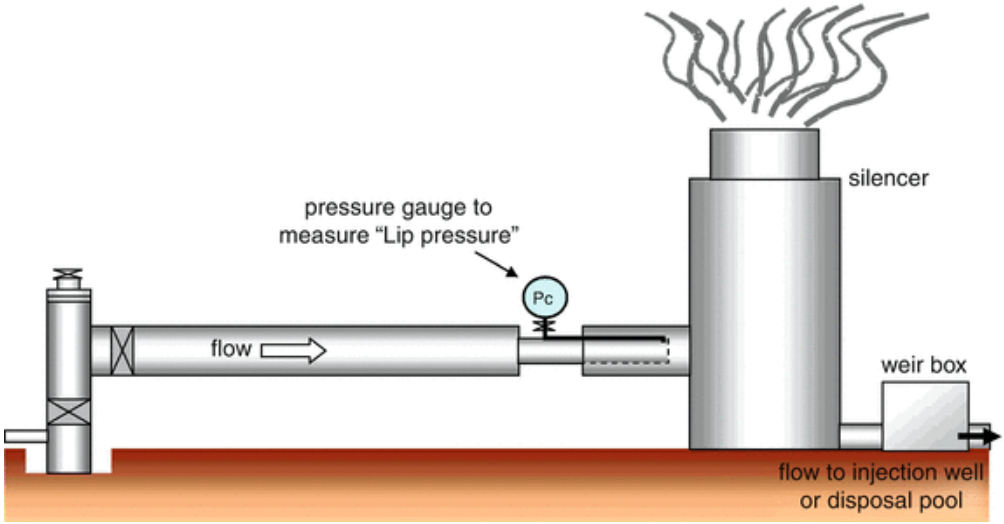
قرار می گیرد، سپس بخار حاصل برای تولید برق به توربین هدایت شده و خروجی از جدا کننده به سوی دستگاه های ترزیق آب به مخزن منتقل می شود. در بیشتر جدا کننده ها این جدا شدن با استفاده از نیروی گریز از مرکز یا نیروی ثقل انجام می شود .

یک مخزن (تانک) جدا کننده را در تصویر مشاهده میکنید که به صورت عمودی نصب میشود.

صدا خفه کن

این دستگاه به منظور از بین بردن صدا های ناهنجار ناشی از خروجی سیال چاه بکار می رود وقتی که سیال یک چاه به هوا را رها می شود صدای ناشی از خروج این سیال، به حدی آزار دهنده است که حتی می تواند موجب ناشنوایی افرادی شود که به طور دایم در نزدیکی چاه های کار می کنند شود . هنگامی که کل سیال یک چاه از طریق شیرآلات سرچاهی تخلیه می شود ، حجم بسیار زیادی از آب داغ بخار به هوا رها می شود. اگر این مقدار سیال بدون استفاده از صدا خفه کن به هوا رها شود، صدای فوق العاده گوش خراشی تولید خواهد کرد.

بنابراین وجود صدا خفه کن ها همواره (چه زمانی که چاههای در حال بهره برداری هستند و چه زمانی که سیال آنها به هوا رها می شود) در میدانهای زمین گرمایی ضروری است درشکل 21 طرح یک صدا خفه کن مشاهد می گرد.



تجهیزات ایمنی

وظیفه اصلی این تجهیزات، تنظیم مداوم فشار چاه است، به این ترتیب که اگر به هر علتی فشار چاه افزایش یابد، این تجهیزات فعال شده و سیال چاه از طریق آنها خارج می شود. بنابراین با بکارگیری این وسایل صدمه دیدن سایر تاسیسات نیروگاهی مانند سیستم های لوله کشی ، شیر آلات نیروگاهی و ..... جلوگیری می شود. رایج ترین تجهیزات ایمنی در نیروگاه های زمین گرمایی شیر های اطمینان ، دیسک های انفجاری و شیرهای گوی دار هستند .

سیستم انتقال سیال زمین گرمایی

انتقال سیال داغ از چاه به سمت نیروگاه بر عهدهٔ این سیستم است. اجزای اصلی این سیستم، لولهٔ های انتقال بخار و آب داغ است . لوله های انتقال بخار به انواع لوله های اصلی و فرعی تقسیم می شوند. لوله های فرعی ، بخار را از سر چاه به لولهٔ اصلی منتقل می کنند ، بنابراین لوله های اصلی، کل بخار میدان زمین گرمایی را به نیروگاه منتقل می کنند . قطر لوله های اصلی و فرعی بر حسب و دبی چاه متفاوت است . برای جلوگیری از ایجاد پدیدهٔ شوک حرارتی در لوله ها (ناشی از انقباض و انبساط حرارتی) از روش هایی استفاده می شود که عبارتند از: زیگزاگ کردن لوله ها ، خم کردن لوله ها در سطح قائم و انحناء دار کردن لوله ها

لوله ها در سطح افق

لوله های انتقال آب داغ یکی دیگر از اجزاء سیستم انتقال سیال هستند. امروزه در نیروگاه های زمین گرمایی دارای سیکل دو مداره از آب داغ برای تولید برق استفاده می شود. سیستم انتقال آب داغ با سیستم انتقال بخار تفاوت دارد. از جمله مشکلات انتقال آب داغ مسالۀ جوشش آن در لوله ها است زیرا بخار تولید شده بر اثر جوشش ممکن است لوله را منفجر کند البته با پمپاژ می توان از جوشش آن در مسیر انتقال جلوگیری کرد .به این ترتیب که فشار اعمال شده به سیال بر فشار بخار غلبه کرده و دماسنج جوشش آب داغ می شود.

عایق بندی لوله های انتقال بخار آب داغ

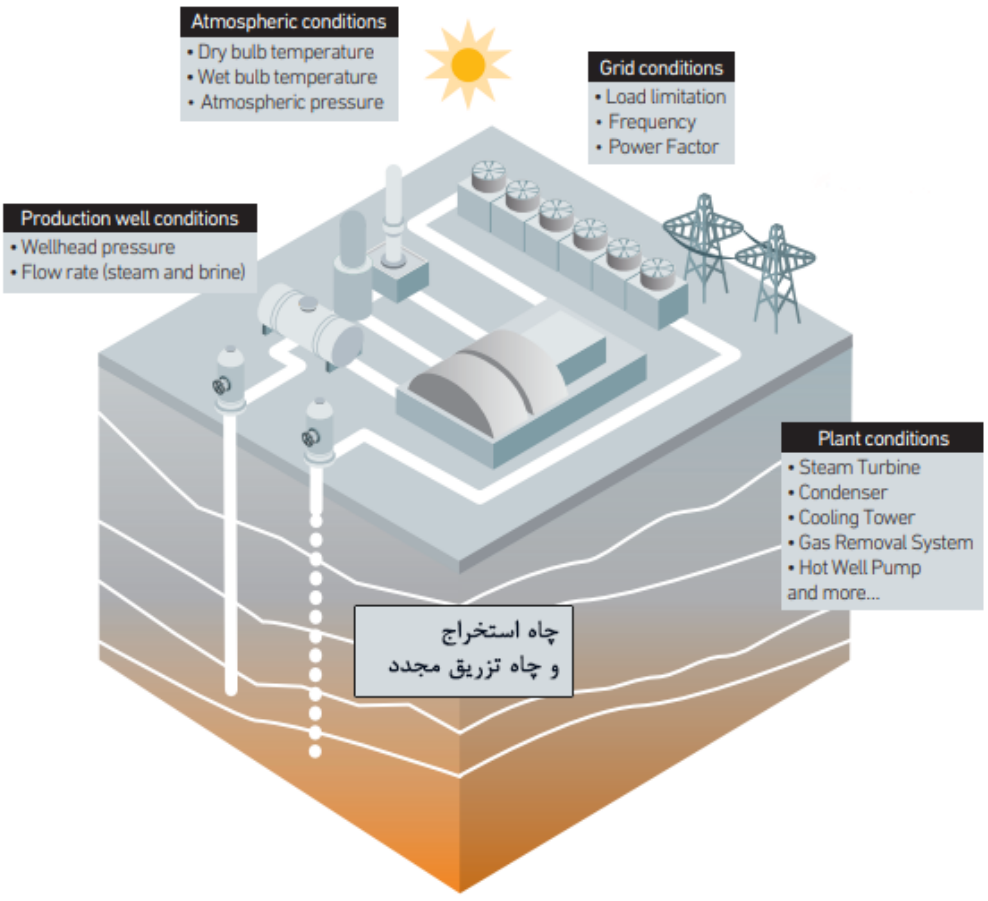
بخار و آب داغ در طول مسیر انتقال خود از سر چاه نیروگاه، بخشی از حرارت خود را از دست می دهند بنابراین به منظور جلوگیری از اتلاف حرارت، لوله ها، مخازن و سایر تاسیسات مربوط از نیروگاههای زمین گرمایی به وسیلۀ مواد عایق پوشش داده می شوند .

معمولاً برای عایق بندی لوله ها از منگنز و نوعی کانی رسی به بنام ورمیکولیت استفاده می شود. در میادین حاوی بخار خشک، عایق بندی لوله ها باید به نحوی باشد که حرارت بخار بسیار گرم خروجی از چاه درحین انتقال به حد نقطۀ چگالش نرسد. از سوی دیگر اگر لوله های آب داغ نیر به بهترین وجهه ممکن عایق بندی شوند، میزان افت حرارت، بسیار کمتر از یک درجه سانتی گراد به ازاء هر کیلو متر طول لوله خواهد بود .

تاسیسات تزریق آب به مخزن

در میدان های زمین گرمایی ، تمام یا بخش عمده ای سیال خروجی چاه به صورت آب مجدداً به درون مخزن تزریق می شود. در غیر اینصورت پس از گذشت مدت زمانی نسبتاً کوتاه از آغاز برداشت مخزن تمامی سیال موجود در آن تخلیه شده و از آنجا که در این زمان کوتاه، بارش های جوی و آبهای نفوذی، قادر به تغذیه مجدد مخزن نیستند، مخزن از سیال تهی شده و فشار و دبی آن کاهش می یابد، تجهیزاتی که برای تزریق آب بکار می روند، عبارتند از سیستم لوکشی آب تزریق مخزن جمع آوری آب تزریقی و پمپها

باید توجه داشت ابعاد ، حجم ، نوع و سایر مشخصات فیزیکی این تاسیسات تابع میزان سیال است که از چاه های تولیدی به دست می آید . همچنین اشاره می گردد، علاوه بر تاسیسات اشاره شده در نیروگاه های زمین گرمایی سیستم های جانبی دیگری (مانند اجکتورها، برج های خنک کننده و ...) نیز وجود دارند ، که چون تفاوت چندانی از نظر نوع و مکانیسم کار با انوع مشابه در نیروگاههای متعارف ندارد از ذکر آنها در این پروژه صرف نظر شده است ، اما اشاره نکردن به آنها دلیل وجود نداشتن آنها در نیروگاه های زمین گرمایی نیست .



شکل 15 یک چاه تزریق با نقطه چین و یک چاه استخراج سیال در شکل نشان داده شده است.

28. افزایش راندمان نیروگاه زمین گرمایی

به طور کلی نیروگاه های زمین گرمایی نسبت به سایر نیروگاه ها راندمان کمتری دارند به منظور برآورد کارایی این واحد های نیروگاهی لازم و ضروری است عوامل مختلفی را در نظر گرفت و قبل از احداث نیروگاه یک براورد و آنالیز دقیق از محل احداث ، میزان تولید نیرو و خروجی سیال داشت .

عواملی همچون نوع نیروگاه زمین گرمایی (تک مرحله ای ، دو مرحله ای و ...) ، ابعاد و ویژگی نیروگاه ، نوع سیستم خنک کننده و ابعاد آن ، میزان گاز های غیر قابل کندانس ، بار های پارازیتی ، افت گرما در لوله ها و سایر تجهیزات ، راندمان توربین ، نوع توربین ، راندمان ژنراتور ، نوع ژنراتور و استفاده از توربو اکسپندر و... ده ها عامل دیگر که در این مقاله به آن پرداخته میشود همگی بر افزایش کارایی و راندمان این نوع واحد نیروگاهی موثر است.

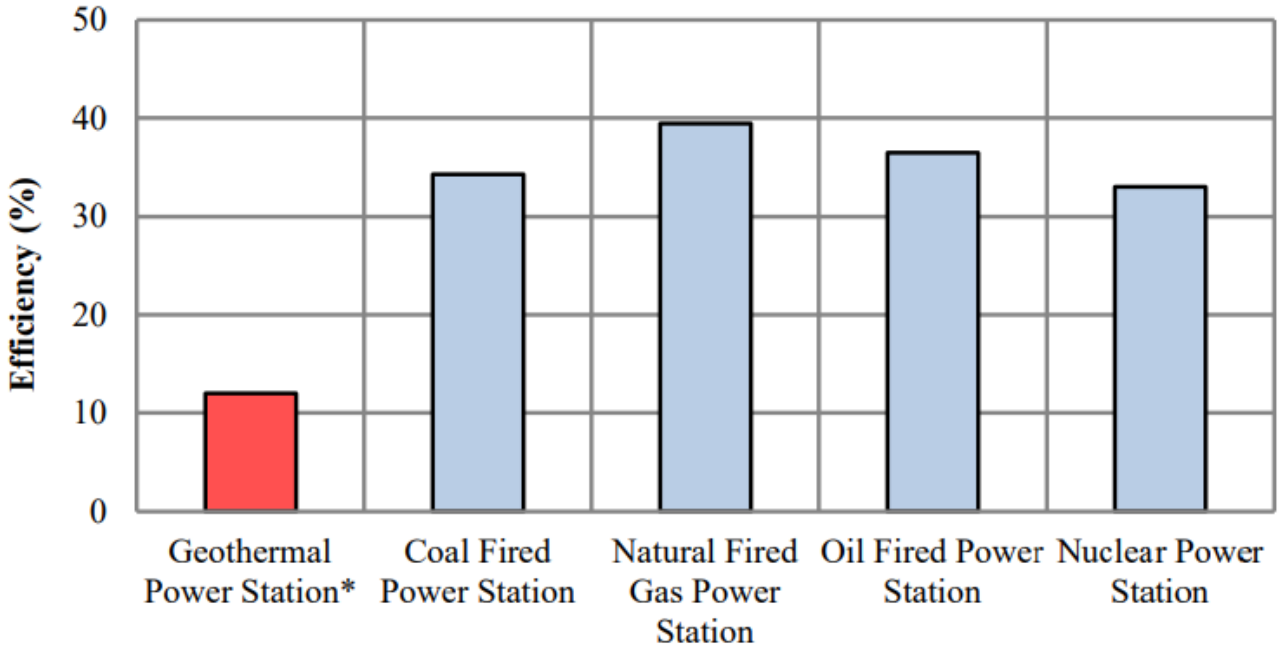
شکل 16 یک ساختمان نیروگاهی

از مزایای قابل توجه نیروگاه زمین گرمایی میتوان به پاک بودن ، قابل اطمینان بودن ، و عدم نگرانی از افزایش سوخت مورد نیاز برای مصرف نیروگاه اشاره کرد .

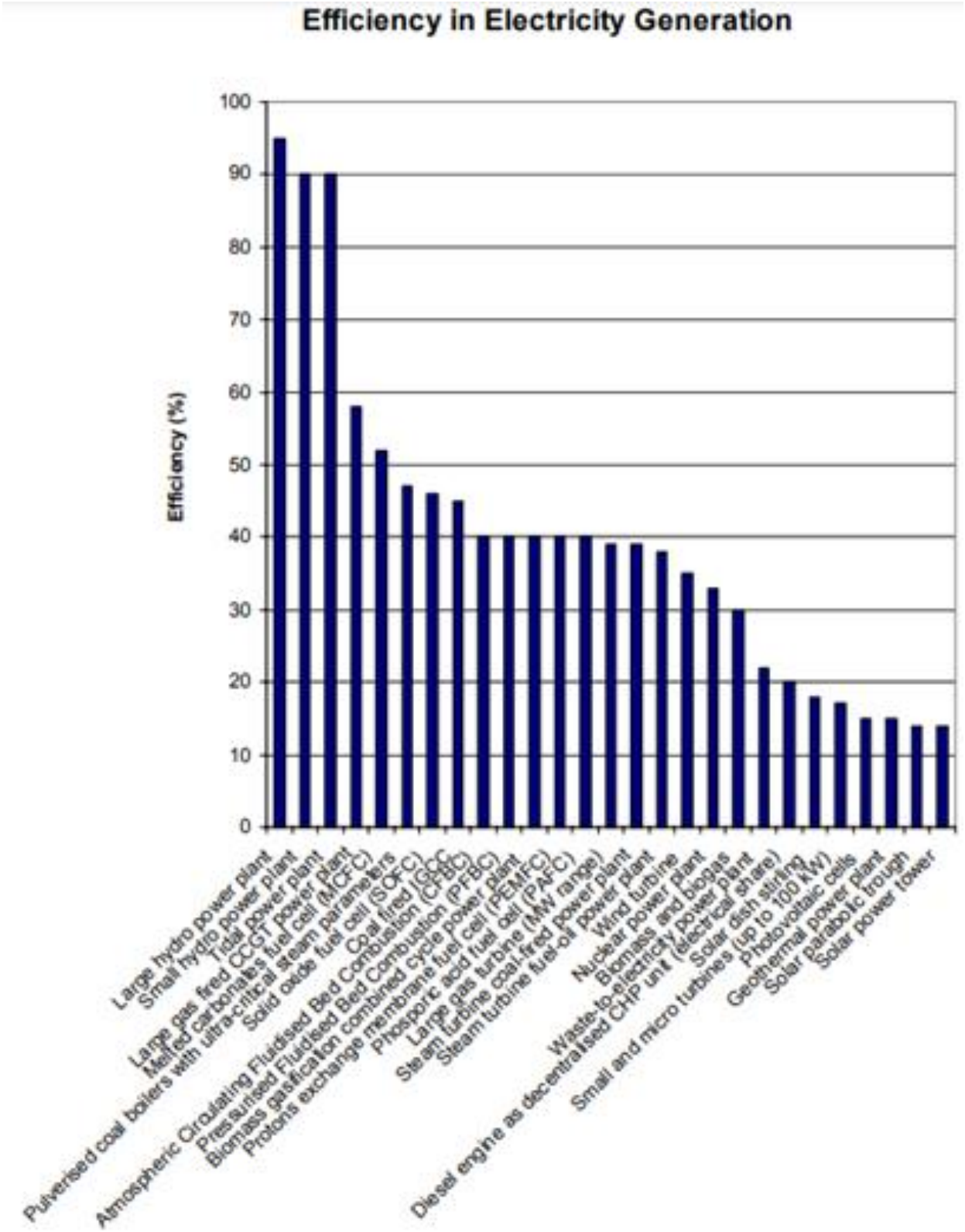
به همین دلیل استفاده از این انرژی روز به روزدر سطح جهان بیشتر میشود و کشور های بیشتری به دنبال بدست اوردن تکنولوژی تولید و طراحی این نیروگاه ها هستند به عنوان مثال برتانیا براورد کرده است تا سال 2015 حدود 18500 MWe ظرفیت نصب نیروگاه های زمین گرمایی را داشته باشد که نسبت به سال 2010 افزایش حدود 73 درصدی دارد .

تولید انرژی از زمین در بر دارنده برخی هزینه های ثابت و برخی هزینه های متغییر میباشد . راندمان تبدیل انرژی یکی از مهمترین موارد ضمن مراحل امکان سنجی و براورد هزینه های یک سیستم زمین پرمایی است و برابر با نسبت انرژی الکتریکی خالص تولید شده به انرژی گرمای استخراج شده از منابع زمین گرمایی است .

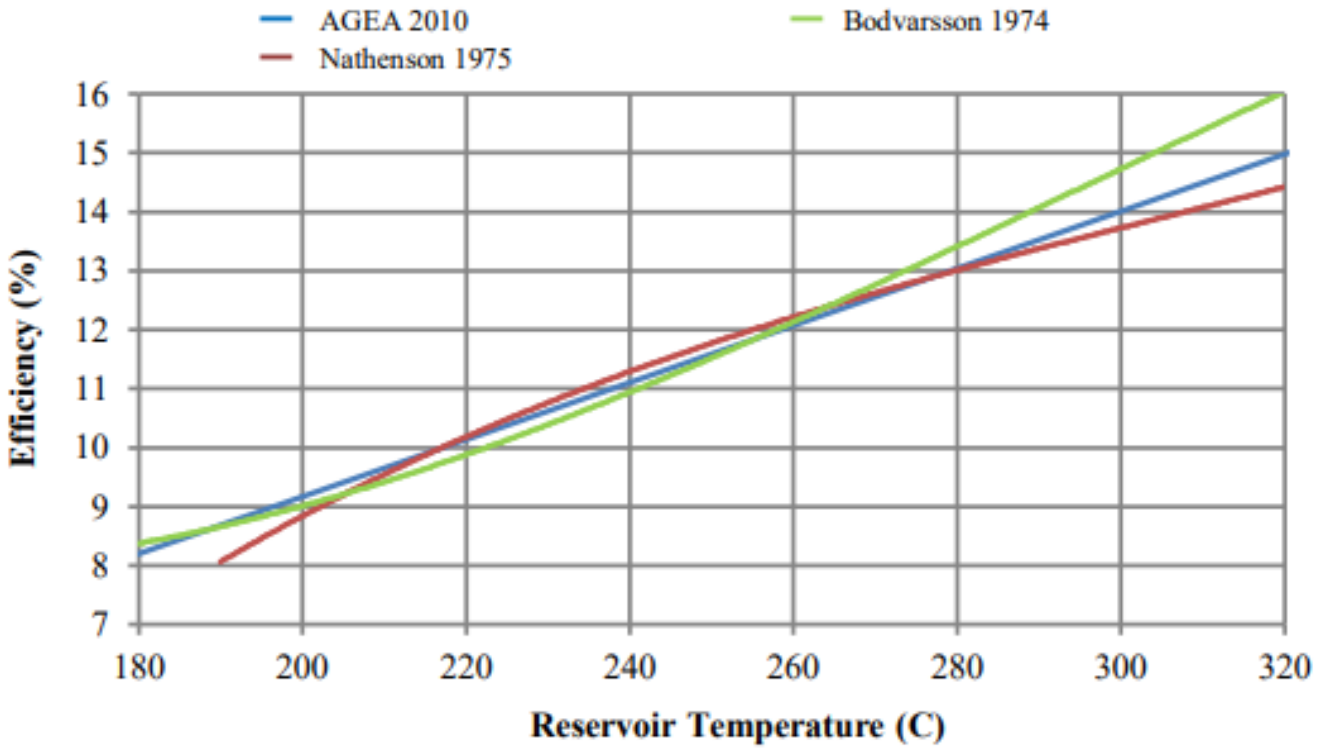
به طور کلی نیروگاه های زمین گرمایی نسبت به سایر نیروگاه ها (هسته ای ، بخار ، گازی و...) راندمان پایین تری دارند . در شکل به خوبی این موضوع قابل مشاهده است . به طور نرمال فرض میشود تنها 10 درصد انرژی تولیدی از سیال زمین گرمایی به انرژی الکتریکی تبدیل میشود .



شکل 17 مقایسه میزان بازده نیروگاه ها بر اساس نوع واحد و سوخت مصرفی


Efficiency in Electricity Generation
Efficiency (%)
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
Large hydro power plant
Small hydro power plant
Tidal power plant
Large gas fired CCGT power plant
Melted carbonates fuel cell (MCFC)
Pulverised coal boilers with ultra-critical steam parameters
Solid oxide fuel cell (SOFC)
Coal fired IGCC
Atmospheric Circulating Fluidised Bed Combustion (CFBC)
Pressurised Fluidised Bed Combustion (PFBC)
Biomass gasification combined cycle power plant
Protons exchange membrane fuel cell (PEMFC)
Phosporic acid fuel cell (PAFC)
Large gas turbine (MW range)
Steam turbine coal-fired power plant
Steam turbine fuel-oil power plant
Wind turbine
Nuclear power plant
Biomass and biogas
Waste-to-electricity power plant
Diesel engine as decentralised CHP unit (electrical share)
Small and micro turbines (up to 100 kW)
Solar dish stirling
Photovoltaic cells
Geothermal power plant
Solar parabolic trough
Solar power tower

در سال 2002 راندمان تبدیل انرژی از انرژی زمین گرمایی بین 10 تا 17 درصد بود که در سال 2003 یک نیروگاه زمین گرمایی توانست به راندمان 18 درصدی برسد. با این حال راندمان این نیروگاه به عوامل گوناگونی بستگی دارد . در این مقاله راندمان نیروگاه های زمین گرمایی بر اساس نوع واحد و سیال برسی میشود .



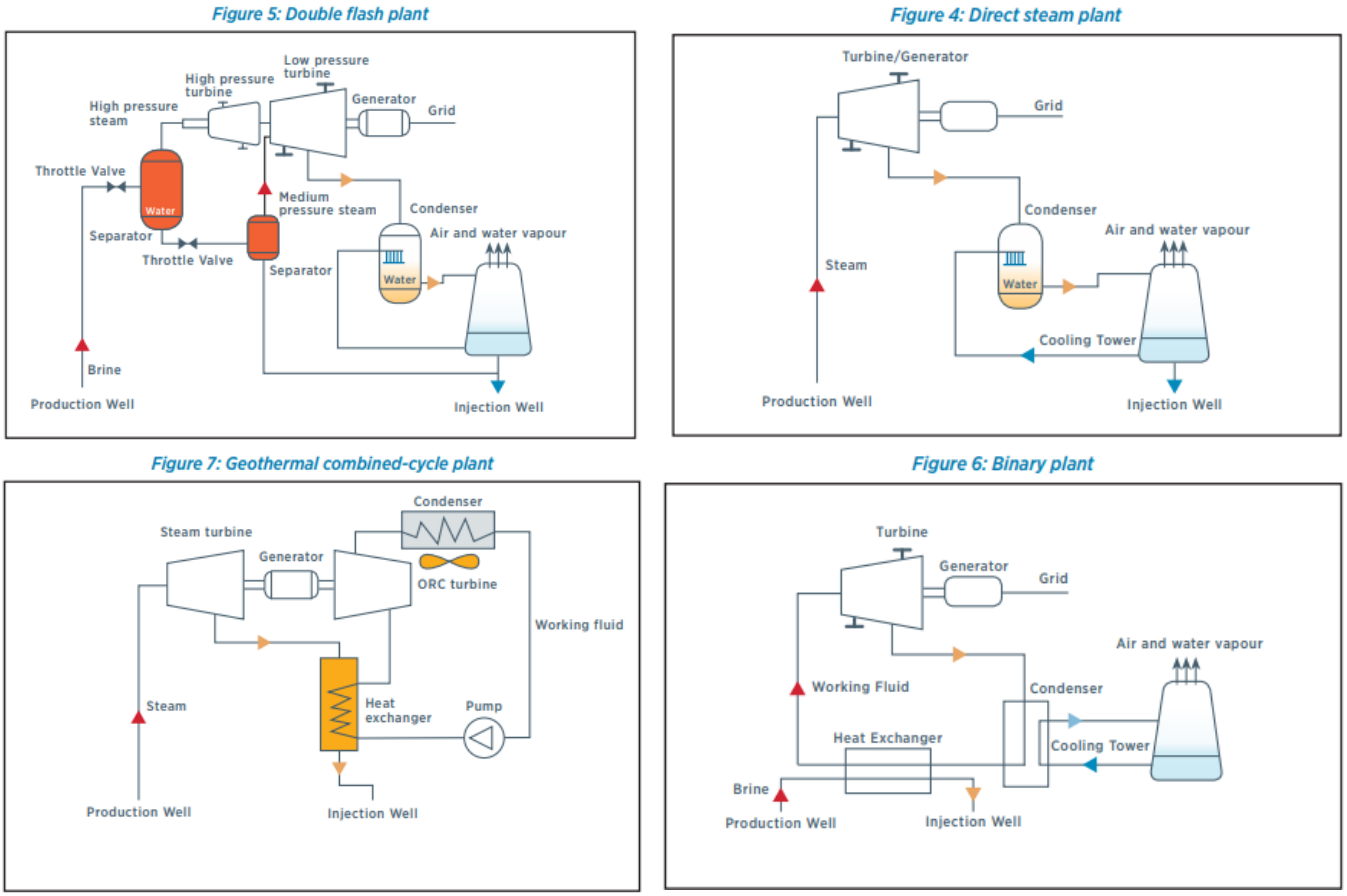
شکل 18 درصد بازده به نسبت دمای سیال خروجی

انواع نیروگاه ها را میتوان به دسته های

بخار خشک ،

سیکل دو مداره،

و باینری دسته بندی کرد.



شکل 19 انواع متداول نیروگاه های زمین گرمایی

انرژی ورودی به نیروگاه زمین گرمایی همان انرژی جنبشی (گرمایی) سیال استخراج شده از چاه است. و این انرژی به شکل حاصل ضرب دبی جرمی ورودی سوخت (سیال دارای گرما) در آنتالپی واحد جرم آن و راندمان کلی سیستم به شکل انرژی خروجی به انرژی ورودی تعریف میشود :

$$\eta_{act}(\%) = \frac{W}{\dot{m} \times h} \times 100$$

معادله 2

که W انرژی تولیدی و m دبی جرمی سوخت(kg/s) و h آنتالپی منبع است.

29. وجود گاز های غیر قابل چگالش

بر خلاف نیروگاه های بخار معمولی که بخار انها فاقد املاح و تمیز از داخل بویلر خارج میشود بخار زمین گرمایی میتواند شامل گاز های غیر قابل کندانس تا حدود 15 درصد وزنی بیشتر هم باشد . این گاز ها نه تنها کیفیت بخار را کاهش داده بلکه باعث خوردگی تجهیزاتی که سیال در ان با فشار جاری است نیز میشود مانند توربین به خصوص در قسمت پره ها . و جدا سازی انها انرژی زیادی میطلبد . به همین دلیل نیروگاه های زمین گرمایی نیاز به سیستم استخراج گاز دارند که هزینه این سیستم بخشی از هزینه های ثابت و اصلی نیروگاه را تشکیل میدهد و نیز بخشی از توان تولیدی نیروگاه نیز صرف این امر میشود .

گاز های غیر قابل چگالش (کندانس) عمدتا شامل دی اکسید کربن و سولفید هیدروژن به همراه بعضی گاز های دیگر مانند $CH4$، $H2$ ، $N2$ ، He می باشد . اثرات این گاز ها هنگام ورود بخار به کندانسور خود را نمایان میکند . وجود این گاز ها کار انبساطی توربین را نیز کاهش میدهد و در نتیجه راندمان توربین کم میشود . به طور مثال بخار حاوی یک درصد وزنی حاوی گاز های غیر قابل کندانس حدود (0.59%) از توان خروجی را کاهش میدهد .

$$\eta_{NCG} = 1 - 0.0059C$$

معادله 3

که C درصد وزنی گاز های غیر قابل چگالش میباشد .

30. دی اریتور (deaerator)

در بویلرهای بخار که درجه حرارت بسیار بالا می‌باشد، گازهای محلول در آب یکی از عوامل خورنده مهم به حساب می‌آیند.

ضمن اینکه وجود گازها در سیستم‌های حرارتی و تمرکز آنها در یک نقطه سیستم، موجب کاهش راندمان انتقال حرارت و در صورت انبساط ناگهانی موجب ترکیدگی در سیستم می‌شود.

عمل جداسازی گازهای غیر قابل تقطیر (اکسیژن و دی‌اکسیدکربن آزاد) از آب تغذیه بویلر بخار و برگشت کندانس، از خوردگی لوله‌ها، پمپ‌ها و همچنین بویلرها و خطوط برگشت کندانس جلوگیری می‌کند.

استفاده از تصفیه‌های شیمیایی و یا تزریق مواد شیمیایی در سیستم ، تا حدی از خسارات گازها می‌کاهد اما علی رغم هزینه بر بودن این روش، مشکل کاملاً برطرف نمی‌شود و همچنین به علاوه تغییرات PH که به جهت کم و زیاد شدن تزریق مواد شیمیایی پدید می‌آید ، خورندگی دیگری را در دستگاه‌های حرارتی به وجود می‌آورد .

با توجه به موارد مذکور جدا کردن گازها توسط دستگاهی مکانیکی به نام دی اریتور انجام می‌گیرد. اکسیژن حل شده در آب بویلر باعث خسارت‌های شدید ناشی از خوردگی در سیستم بخار می‌شود به این صورت که به دیواره فلزی لوله‌ها و دیگر تجهیزات فلزی می‌چسبد و تشکیل اکسید (زنگ) می‌دهد . کربن دی اکسید حل شده در آب نیز با آن واکنش می‌دهد و تولید اسید کربنیک می‌کند که باعث خوردگی بیشتر می‌شود .

بیشتر دی اریتورها برای حذف کردن اکسیژن به میزان 7 ppb در واحد جرم (0.005 cm3/L) و کمتر از آن و همچنین حذف کلی کربن دی اکسید طراحی می‌شوند.دی اریتورها به صورت افقی عرضه می‌شوند .

شکل 20 نمونه ای از دی اریتور

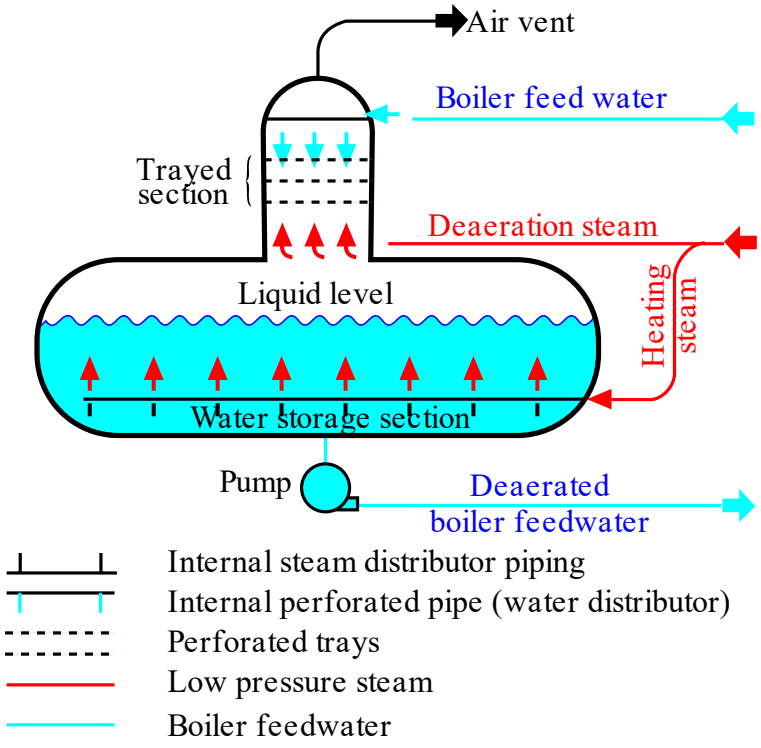
به‌طور کلی دو نوع دی اریتور وجود دارد، نمونه سینی دار و نمونه اسپری شونده:

- نمونه سینی دار (یا آبشاری) دارای یک بخش هوازدایی عمودی گنبدی شکل است که در بالای مخزن افقی ذخیره آب بویلر قرار دارد.
- نمونه اسپری شونده تنها شامل درام استوانه‌ای افقی (یا عمودی) است که هم به عنوان بخش هوازدایی و هم به عنوان مخزن ذخیره عمل می‌کند.

تعداد زیاد و متفاوتی دی اریتورهای عمودی و افقی از سازندگان متعدد وجود دارد، و ویژگی و جزئیات تولیدی هر کدام نیز با هم تفاوت دارد. شکل 28 و 29 به ترتیب شماتیکی است از دی اریتورهای سینی دار و اسپری شونده.

دی ایتور سینی دار

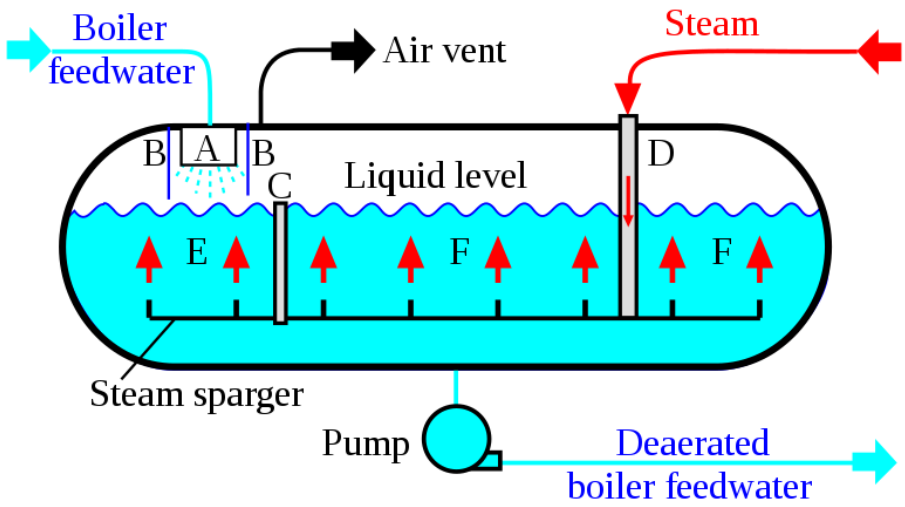
نمونه سینی دار که در شکل 28 مشاهده می‌شود دارای یک بخش هوازدایی به صورت گنبدی شکل در بالای مخزن ذخیره کننده آب بویلر است. آب بویلر وارد بخش عمودی هوازدایی می‌شود و از روی سینی‌های منفذ دار به پایین جریان پیدا می‌کند. بخار فشار پایین که عمل هوازدایی را انجام می‌دهد از پایین سینی‌های منفذ دار وارد می‌شود و از طریق منافذ به سمت بالا جریان می‌یابد. در بعضی موارد به جای سینی از پرکن ها استفاده می‌شود تا تماس و ترکیب شدن بین آب بویلر و بخار مؤثرتر باشد . بخار، گازهای حل شده در آب بویلر را جدا می‌کند و از طریق شیر خروجی که در بالای قسمت گنبدی شکل قرار دارد به اتمسفر می‌دهد. اگر این شیر به اندازه کافی باز نشود دی اریتور به صورت ناقص کار می‌کند و باعث می‌شود بخش زیادی اکسیژن همراه آب وارد بویلر شود. اگر بویلر، آنالایزر میزان اکسیژن نداشته باشد، میزان بیش از حد کلر در بویلر باعث می‌شود شیر تخلیه به اتمسفر کامل باز نشود. در بعضی از طراحی‌ها از کندانس کننده در خروجی استفاده می‌شود تا مایع مانده شده در گاز را بازیابی کند. لوله خروجی گاز به سمت اتمسفر معمولاً دارای یک شیر است و به گونه است که تنها اجازه عبور مقداری اندکی بخار را برای آشکار بودن مسیر دود می‌دهد. آب هوا زدایی شده به مخزن افقی در پایین جریان می‌یابد که از آنجا به سمت بویلرهای تولید بخار پمپ می‌شود. بخار کم فشاری که از ته مخزن افقی وارد شده و درون آن اسپری می‌شود برای گرم نگه داشتن آب بویلر ذخیره شده در مخزن است. عایق کردن سطح بیرونی مخزن نیز برای کاهش هدر رفت گرما است.



شکل 21 ساختمان دی اریتور سینی دار

دی اریتور اسپری شونده

شکل 29، دی اریتور از نوع اسپری شونده را نشان می‌دهد که یک درام افقی دارای بخش پیش گرم کن (E) و یک بخش هوازدایی را شامل می‌شود. این دو بخش به وسیله یک صفحه (C) از هم جدا شده‌اند. بخار کم فشار از طریق اسپری‌هایی که در ته درام قرار دارند وارد آن می‌شوند. آب بویلر به صورت اسپری به بخش E پاشیده می‌شود و با بخاری که از طریق پخش کننده به بالا می‌آید پیش گرم می‌شود. هدف از به کار بردن نازل اسپری کننده آب بویلر A و بخش پیش گرم‌کننده این است که آب بویلر را برای جداسازی راحت‌تر گازهای حل شده در آن تا دمای اشباع گرم و راهی بخش بعدی هوازدایی کند. آب پیش گرم شده بعد از آن وارد بخش هوازدایی (F) می‌شود و در آنجا با بخار خارج شده از پاشنده‌ها به صورت کامل هوازدایی می‌شود. گازهای جدا شده از آب از طریق خروجی در بالای مخزن به اتمسفر فرستاده می‌شوند. همانند حالت قبل ممکن است در بعضی از موارد از کنداس کننده برای بازیافت آب خروجی به همراه گاز استفاده شود. همچنین لوله خروجی گاز به سمت اتمسفر معمولاً دارای یک شیر است و به گونه است که تنها اجازه عبور مقداری اندکی بخار را برای آشکار بودن مسیر دود می‌دهد. آب هوازدایی شده از ته مخزن به سمت بویلرهای تولیدکننده بخار پمپ می‌شود.



شکل 22 یک دی اریتور اسپری شونده

دی اریتورها در سیستم‌های تولید بخار اغلب نیروگاه‌های حرارتی از بخار کم فشاری استفاده می‌کنند که از جایی بر روی توربین بخار خود واحد گرفته شده باشد. در حالی که، دی اریتورها در بسیاری از واحدهای صنعتی بزرگ مانند پالایشگاه‌های نفت ممکن است از هر بخار فشار پایین در دسترسی استفاده کنند.

31. بار پارازیتی

بخار خروجی از توربین وارد کندانسور میشود که برای خنک کردن اب کندانسور نیاز به پمپ آب و فن و برج خنک کننده میباشد. در صورت استفاده از برج خنک کننده خشک نسبت به برج تر دو برابر مصرف برق بالا میرود و همچنین فضای مورد نیاز دوبرابر میشود . برخی از سیستم های نیروگاه زمین گرمایی از پمپ تزریق مجدد سیال به زمین نیز استفاده میکنند که مقدار زیادی بار اضافی برای نیروگاه دارد . دیگر مصارف جانبی انرژی که شامل پمپ ها ، تجهیزات خنک کننده و دستگاه های استخراج گاز میشود از توان خروجی خالص نیروگاه میکاهد .

که Wapc بار الکتریکی تجهیزات جانبی و Wgross بار الکتریکی کل است .

$$\eta_{apc} = -1\frac{W_{apc}}{W_{gross}}$$

معادله 4

32. افت گرما و انرژی سیال خروجی از چاه

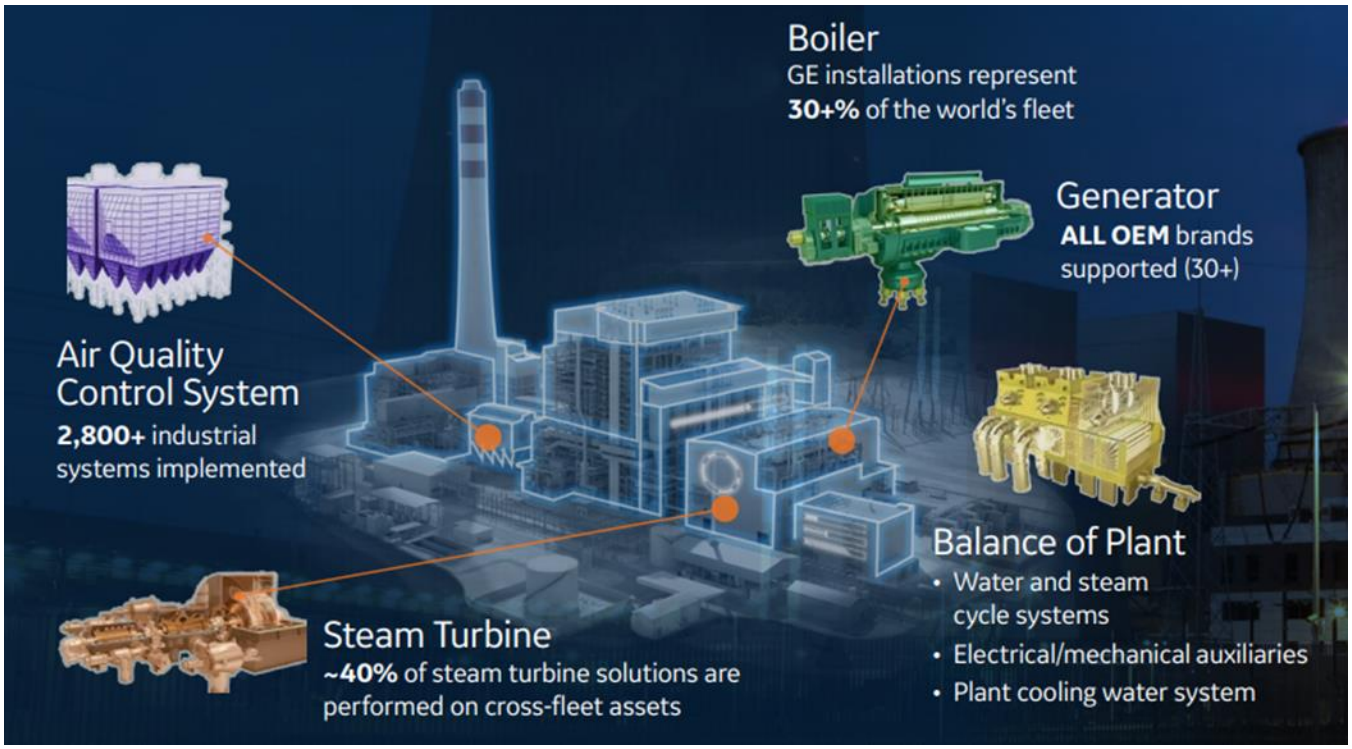
سیال زمین گرمایی هنگام جریان در لوله ها ، جدا کننده ها و سایر تجهیزات مقداری ازگرمای خود را از دست میدهد که این میزان افت گرما به عواملی همچون سایز لوله ، نوع عایق ، طول لوله و دمای محیط بستگی دارد . افت گرما میتواند منجر به چگالش بخار در لوله ها شود که از طریق شیر های تخلیه ، تخلیه میگردد . بنابرین جرم بخار ورودی به توربین کاهش میابد که البته میتوان این کاهش جرم را به دلیل ناچیز بودن نادیده گرفت . به عنوان مثال بخار 80 t/h در دمای 180 درجه سانتی گراد از یک لوله با قطر 0.4 متر و طول 2 کیلومتر عبور میکند . لوله با عایقی به ضخامت 8 سانتی متر از جنس فایبر گلاس پوشیده شده است و دمای محیط خارجی 20 درجه سانتی گراد است . در این مورد انتالپی بخار ورودی 2770 kJ/kg و انتالپی بخار خروجی 2759.4در همان واحد میباشد . بنابراین افت تنها 0.6 ٪ بدست میاد که برای طول حدود دو کیلومتر خط لوله میباشد. راندمان لوله انتقال را میتوان از این رابطه محاسبه نمود :

معادله 5

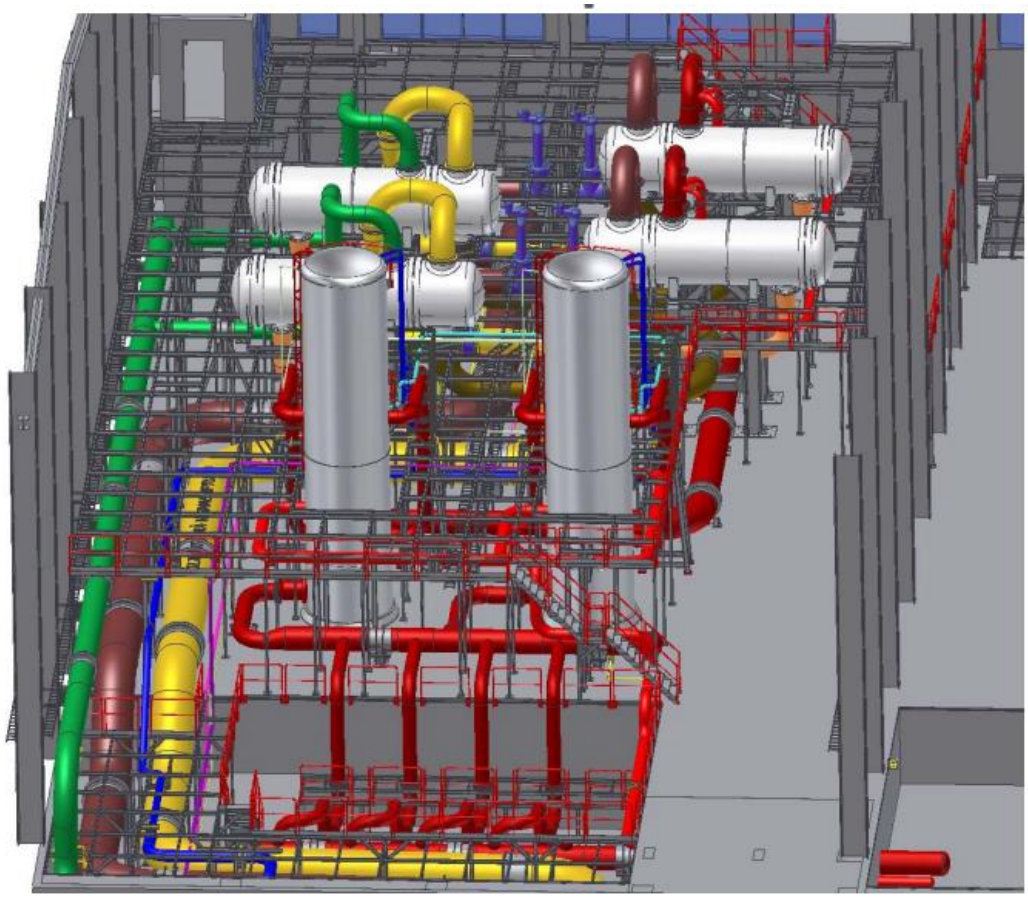
$$\eta_{pipe} = 1 - 0.003L_p$$

که Lp طول لوله به کیلومتر است .

بنابراین کوتاه شدن خط لوله و مسیر انتقال سیال علاوه بر کم شدن هزینه احداث نیروگاه راندمان را نیز افزایش میدهد.



شکل 23 واحد نیروگاهی سر پوشیده که باعث کمتر شدن اطلاف گرمایی و افزایش راندمان میشود



شکل 24 طراحی مسیر لوله ها با نرم افزار و به صورت بهینه انجام میشود تا کمترین اتلاف انرژی را داشته باشد

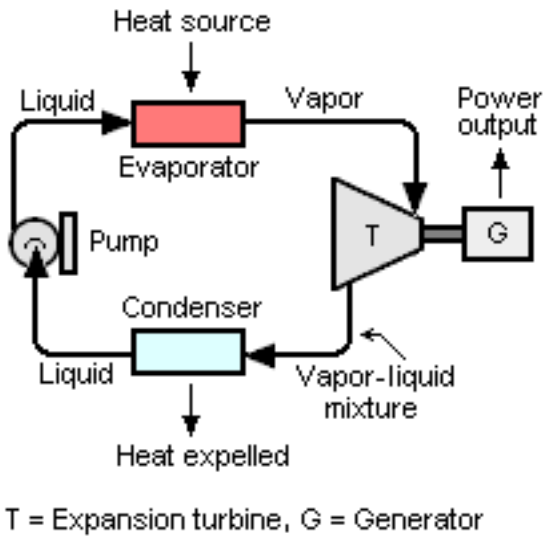
33. کاربرد توربواکسپندر در تولید برق

شکل زیر یک سیستم تولید برق (power generation) است که از یک منبع حرارتی(heat source) ، محیط خنک‌کننده (cooling medium) همچون هوا، آب و مانند آن، یک سیال عامل (working fluid) در گردش و توربواکسپندر استفاده می‌کند.

این سیستم می‌تواند طیف گسترده‌ای از منابع حرارتی مانند آیتم‌های زیر را شامل شود:

- آب گرم ژئوترمال(geothermal hot water)
- گاز خروجی از موتورهای احتراق داخلی (internal combustion engines) که سوخت‌های مختلفی مانند گاز طبیعی، گاز دفن زباله(landfill gas) ، گازوییل (diesel oil) یا مازوت (fuel oil) می‌سوزانند.
- انواع منابع انرژی حرارتی اتلافی (waste heat sources) در قالب گاز یا مایع

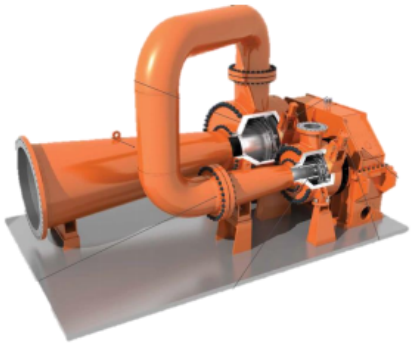
با توجه به شکل زیر، سیال عامل در گردش که معمولا یک ترکیب آلی همانند R-134a است، به فشار بالا پمپ (pump)می‌شود و پس از آن توسط تبادل حرارت با منبع حرارت موجود در اواپراتور (evaporator) تبخیر می‌شود. بخار پر فشار ایجاد شده به سمت توربواکسپندر جریان می‌یابد و در آن تحت یک انبساط آیزنتروپیک قرار می‌گیرد و به صورت مخلوط بخار مایع خارج می‌شود و سپس با تبادل حرارت با محیط خنک‌کننده موجود کندانس شده و به مایع تبدیل می‌شود. برای تکمیل سیکل، مایع کندانس شده به اواپراتور پمپ می‌شود.



شکل 25 دیاگرام یک چرخه با بخار

سیستم شکل 32 یک سیکل رانکین است که در نیروگاه‌های سوخت فسیلی fossil-fuel power plants مورد استفاده قرار می‌گیرد که در آن آب، سیال عامل است و منبع حرارتی از احتراق گاز طبیعی، نفت یا زغال سنگ برای تولید بخار پر فشار استفاده می‌کند. سپس بخار پر فشار در یک توربین بخار (steam turbine) تحت انبساط آیزنتروپیک قرار می‌گیرد. بعد از آن بخار خروجی توربین بخار به آب کندانس می‌شود و پس از آن به بویلر (steam generator)پمپ می‌رود تا سیکل تکمیل شود . هنگامی که یک سیال آلی مانند R-134a در سیکل رانکین استفاده می‌شود، گاهی به این سیکل، سیکل رانکین آلی (Organic Rankine cycle) یا ORC می‌گویند.

توربو اکسپندر به همراه توربین تا 37 درصد میتواند بازده را در مدل های نیروگاهی ORC افزایش بدهد.



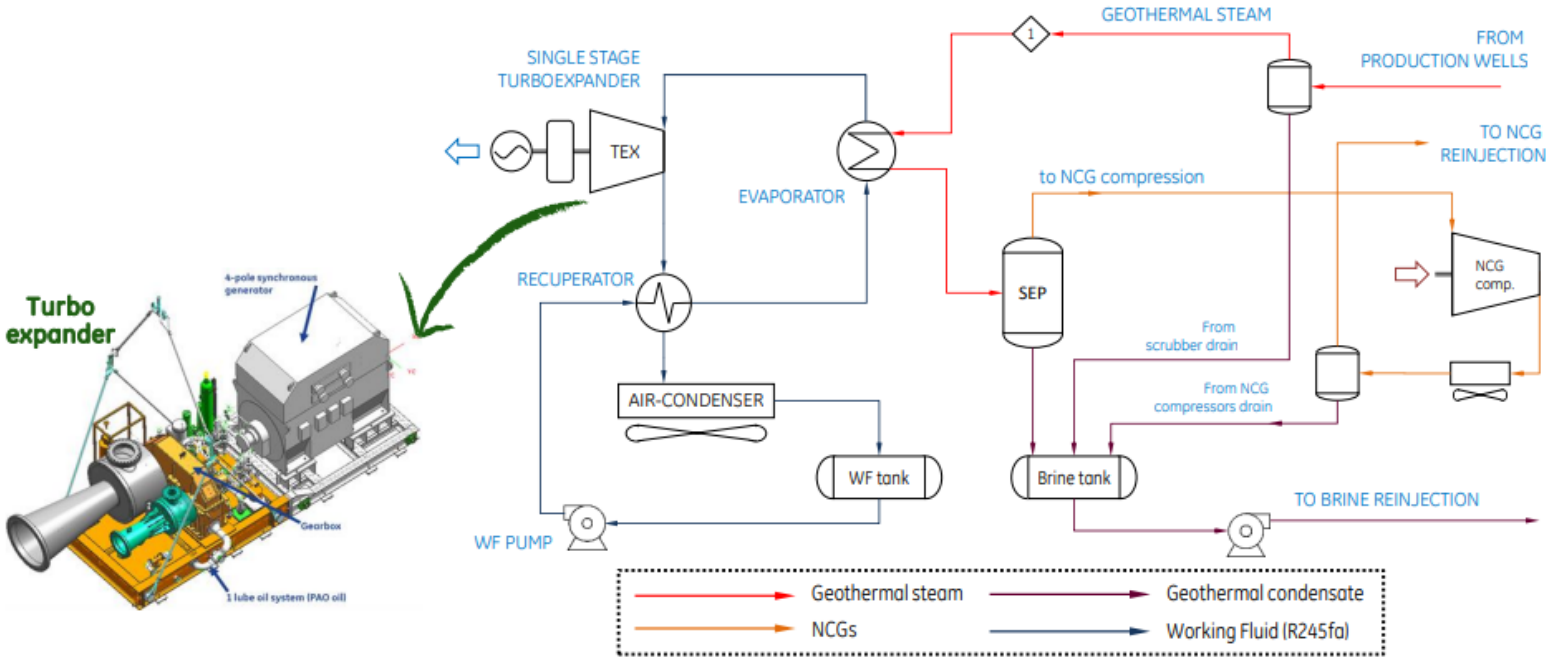
شکل 26 یک توربو اکسپندر ساخت GE به همراه مشخصات فنی

Turbo expander - Technical specification

Power output (per stage)	5-50 MW, 50/60 HZ
Speed	3000 – 120,000 rpm
Pressure Ratio	up to 14 bar
Inlet Pressure	up to 200 bar
Temperature	-270° C to 300° C
Installed Base	3200 +
	All pure or mixed fluidsaggressive environments
	Liquid up to 30% of weight at discharge
Patents	120 +
Driving	Generators Centrifugal Compressors Dynos

N° UNIT	Plant Location	Geothermal System	Frame	Power (HP)	Speed RPM	Inlet Press. Bar-a	Inlet Temp. °C	Exhaust Press.. Bar-a	Ship Date
2	CALIFORNIA, USA	BYNARY – ORC (IC4)	60	7169	11000	34.5	138	3.7	1984
1	CALIFORNIA, USA	BYNARY – ORC (IC4)	60	7169	11000	34.5	138	3.7	1987
1	CALIFORNIA, USA	DIRECT STEAM	60	4846	15000	18.3	208	9.3	1990
6	CALIFORNIA, USA	BYNARY – ORC (IC4)	60	7169	11000	34.5	138	3.7	1990
4	NEVADA, USA	BYNARY – ORC	60	13728	9000	35.5	146	4.6	1992
1	CALIFORNIA, USA	DIRECT STEAM	60	15687	12500	21.1	216	8.5	2000
1	NEVADA, USA	BYNARY – ORC (IC5)	50	1744	13000	9.2	112	1.2	2000
1	HUSAVIK, ICELAND	BYNARY – (KALINA)	40	3376	25000	30.8	119	6.5	2004
1	BERLIN, EL SALVADOR	BYNARY – ORC (IC5)	60S	12950	6500	21.2	159	1.9	2006

ORC Plant Characteristics



Plant data	
Working Fluid	R245fa
WF mass flow	- kg/s
TEX T inlet	- °C
Geofluid Delta T	180°C – 89 °C
ACC	seven bays, with VFD
Evaporator	off-line cleaning

Design case Power	kW
Expected gross power	6525
ORC pump consumption	570
NCG compressor consumption	325
Air cooled condenser fan consumption	375
Auxiliary systems	60
Net expected power	5147

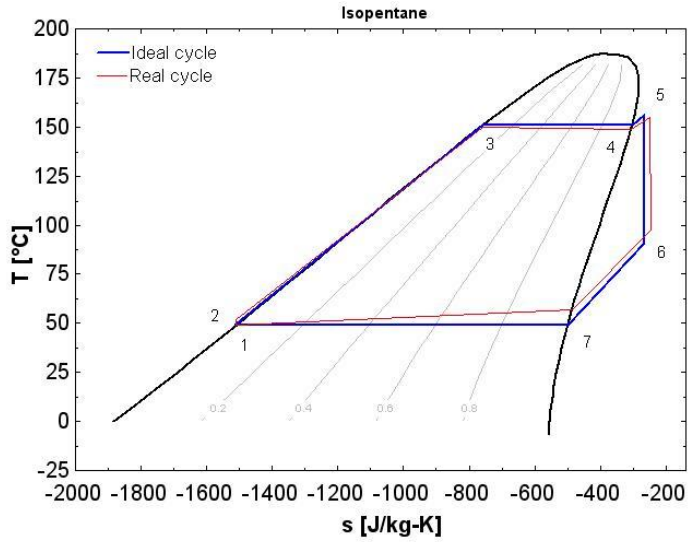
شکل 27 نقشه یک نیروگاه زمین گرمایی با تکنولوژی ORC و توربو اکسپندر به همراه اطلاعات فنی

34. سیکل رانکین آلی

سیکل آلی رانکین (ORC) به دلیل استفاده از یک سیال ارگانیک با جرم مولکولی بالا نامگذاری شده‌است، که تغییر فاز مایع-بخار یا نقطه جوش آن در دمایی کمتر از دمای تغییر فاز آب-بخار روی می‌دهد. سیال به سیکل رانکین اجازه بازیابی حرارتی از منابعی با دمای پایین را می‌دهد مثل احتراق زیست توده، تلفات حرارتی صنایع، زمین گرمایی، خورشیدی و... حرارت دما پایین به کار مفید تبدیل می‌گردد، که خود نیز قابلیت تبدیل به الکتریسیته را دارد.

نحوه کارکردORC

شیوه کارکرد سیکل رانکین آلی شبیه سیکل رانکین است . سیال عامل به یک دیگ بخار جایی که تبخیر می‌شود پمپاژ می‌گردد، از یک دستگاه منبسط کننده (توربین،پیچ، اسکرول، یا منبسط کننده ای دیگر) عبور کرده و سپس از طریق یک چگالنده مایع شده و به پمپ بازمی‌گردد.



شکل 28 نمودار دما_آنتروپی برای ORC ایده‌آل / واقعی

در سیکل ایده‌آل که با مدل تئوری موتورها تشریح شد، فرایندهای انبساط ایزوتروپیک و فرایندهای تبخیر و تراکم هم فشار فرض می‌شوند.

در هر سیکل واقعی، حضور بازگشت ناپذیری‌ها باعث کاهش کارایی سیکل می‌شود. این برگشت ناپذیری‌ها اساساً طی فرایندهای زیر رخ می‌دهند

در طول انبساط: تنها بخشی از انرژی ناشی از اختلاف فشار قابل تبدیل به کار مفید است. بخش دیگر به گرما تبدیل می‌شود و از بین می‌رود. راندمان منبسط کننده با مقایسه کار واقعی و کار ایزنتروپیک حاصل می‌گردد.

در مبدل‌های حرارتی: سیال عامل یک مسیر طولانی و مارپیچ را طی می‌کند تا تبادل حرارتی خوبی را سبب شود اما باعث افت فشار می‌گردد که میزان توان قابل بازیافت را از چرخه کاهش می‌دهد. به همین ترتیب، تفاوت دما بین منبع گرما / سرما و سیال عامل باعث تخریب اگزرژی می شود و عملکرد چرخه را کاهش می‌دهد.

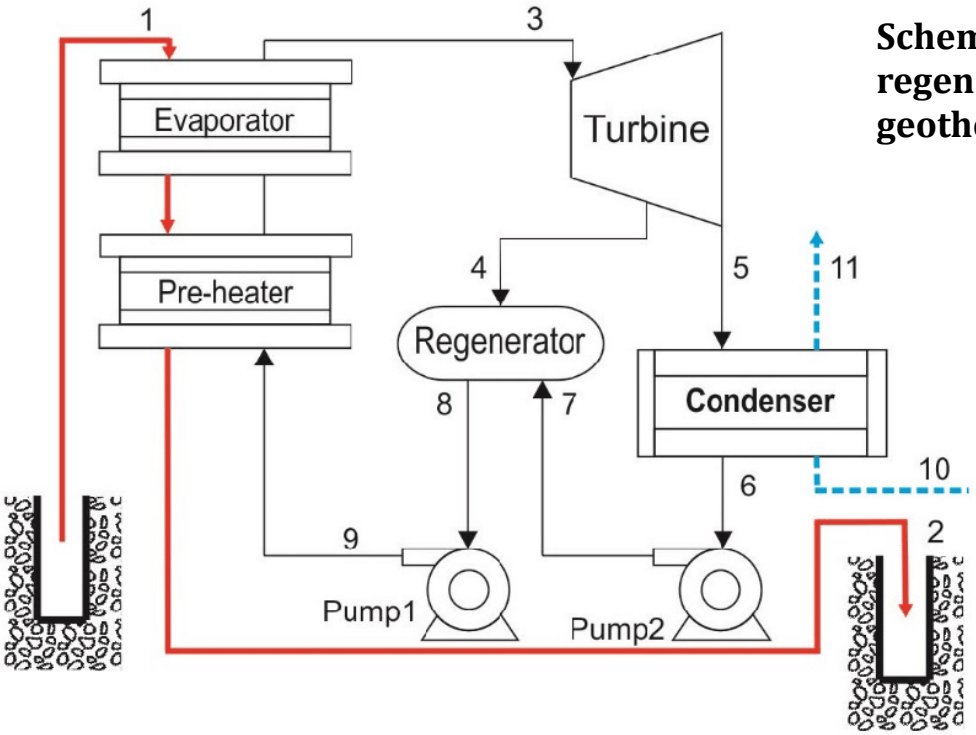
منابع حرارتی ژئوترمال بین دمای ۵۰ تا ۳۵۰ متغیر هستند؛ بنابراین ORC کاملاً برای این کاربرد سازگار است. با این حال، مهم است که به خاطر داشته باشید که برای منابع زمین گرمایی دمای پایین (معمولاً کمتر از ۱۰۰ درجه سیلسیوس)، بهره‌وری بسیار پایین است و به شدت به درجه حرارت سینک حرارت (تعریف شده توسط دمای محیط) بستگی دارد.

انتخاب سیال عامل اهمیت کلیدی در سیکل رانکین دما پایین دارد. به علت دمای کم، ناکارآیی انتقال گرما بسیار مضر است. این ناکارآمدی به شدت به ویژگی های ترمودینامیکی مایع و شرایط کاری بستگی دارد.

به منظور بازیابی حرارت دما پایین، سیال دارای نقطه جوش پایین‌تر از آب است. مبردها و هیدروکربن‌ها دو عنصر رایج در این سیکل‌ها هستند.

شکل 35

Schematic of the regenerative ORC geothermal power plant



35. مشخصات بهینه سیال عامل

منحنی بخار اشباع ایزوتروپیک:

از آنجا که هدف ORC تمرکز بر بازیابی حرارت دما پایین است، رویکرد تبخیر فوق اشباع مانند سیکل رنکین سنتی مناسب نیست؛ بنابراین، فوق اشباع کم در خروجی اواپراتور همیشه ترجیح داده می‌شود، که برای مایع «تر» (که در حالت دو فازی در انتهای انبساط است) مضر است. در مورد مایعات خشک، یک بازیاب حرارتی باید استفاده شود.

نقطه انجماد کم، دمای پایداری بالا:

بر خلاف آب، مایعات آلی معمولاً از مشکل فروپاشی شیمیایی و تجزیه در دمای بالا رنج می‌برند؛ بنابراین حداکثر دمای منبع داغ به دلیل پایداری شیمیایی سیال کار محدود می‌شود. نقطه انجماد باید پایین‌تر از پایین‌ترین درجه حرارت سیکل باشد.

گرمای تبخیر و چگالی بالا:

سیال با گرما نهان و چگالی بالا، انرژی بیشتری را از منبع در تبخیر کننده جذب می‌کند و بنابراین دبی جریان مورد نیاز، اندازه تجهیزات و مصرف پمپ را کاهش می‌دهد .سیال باید غیرخورنده ، غیرقابل اشتعال و غیر سمی باشد. استاندار ASHRAEبا طبقه بندی سیالات می‌تواند به عنوان یک شاخص سطح ایمنی سیال استفاده شود.

No.	Properties	R134a
1	Boiling Point	-14.9°F or -26.1°C
2	Auto-Ignition Temperature	1418°F or 770°C
3	Ozone Depletion Level	0
4	Solubility In Water	0.11% by weight at 77°F or 25°C
5	Critical Temperature	252°F or 122°C
6	Cylinder Color Code	Light Blue
7	Global Warming Potential (GWP)	1200

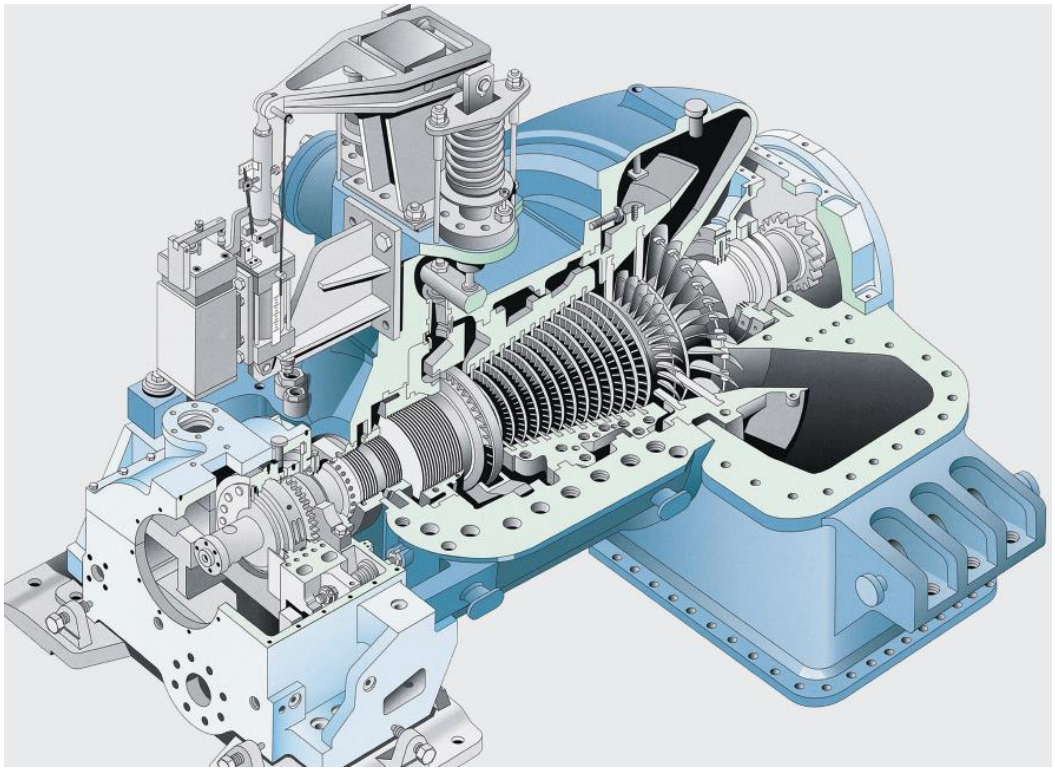
جدول 5 مشخصات ترمودینامیکی سیال R134a که معمولا به عنوان سیال دوم در چرخه باینری استفاده میشود

36. راندمان توربین

توربین انرژی جنبشی مولکول های سیال که به صورت گرمایی است به انرژی مکانیکی تبدیل میکند . این انرژی به صورت دورانی یا چرخشی حول یک شفت است که به صورت مستقیم از توربین به ژنزاتور وصل میشود البته ممکن است برای کنترل دور یا گشتاور مابین توربین و ژنراتور یک گیربکس نیز نصب شود. راندمان توربین در حدود 60 تا 80 درصد میباشد و راندمان ازنتروپیک توربین حدود 81 تا 85 درصد محاسبه شده است. با انحراف از دمای ایزنتروپیک و همچنین وجود رطوبت در توربین ظمن فرایند انبساط راندمان توربین کاهش میابد . در واقع مطابق رابطه باومن وجود یک درصد رطوبت میتواند باعث کاهش یک درصدی راندمان توربین شود رابطه باومن به شکل زیر است :

$$\eta_t = \eta_{\text{td}} \times \left(a \times \frac{X_{\text{in}} + X_{\text{out}}}{2} \right)$$ **معادله 6**

در این رابطه η_{td} راندمان توربین خشک است و حدود 0.85 میباشد X_{in} میزان خشکی ورودی توربین و برابر با 1 و X_{out} میزان خشکی جزیی خروجی توربین است . آزمایش های متعدد در شرایط مختلف مقادیری میان 0.4تا 2 را برای α به ما میدهد با این حال این ضریب معمولا برابر با 1 در نظر گرفته میشود .



شکل 29 مشکل در درز بندی و خارج شدن توربین از حالت ایزوله باعث ورود ناخالصی به درون ان و کاهش کیفیت بخار و درنتیجه کاهش راندمان توربین میشود

37. طراحی و تکنولوژی های بهبود دهنده به کار رفته در توربین

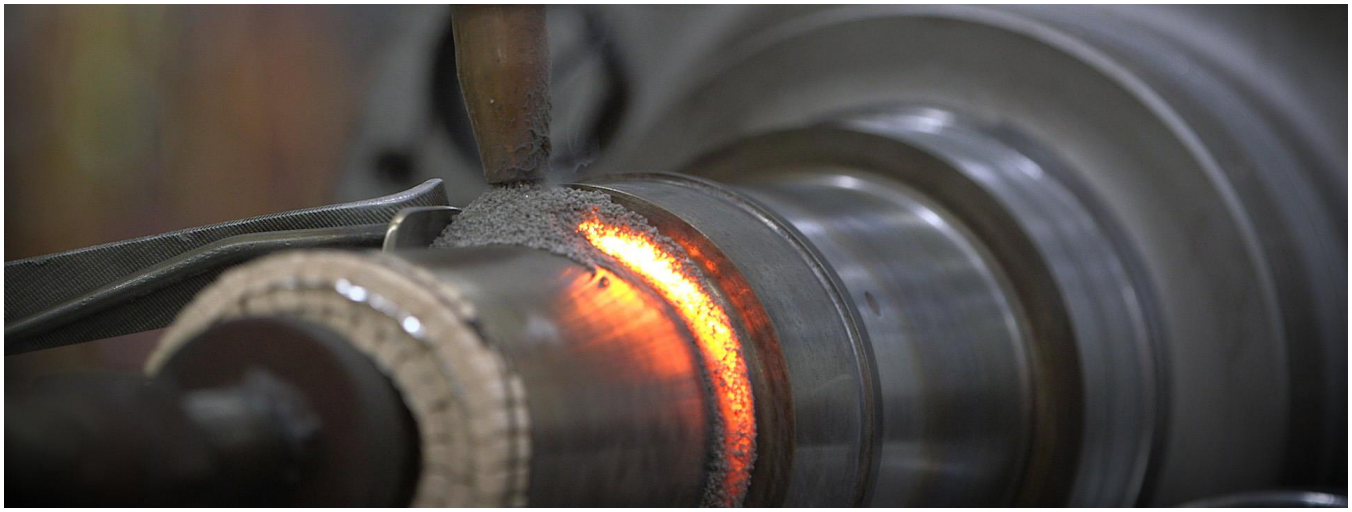
برای افزایش راندمان توربین و کارایی ان میتوان از فناوری های روز دنیا که هم اکنون در بسیاری از نیروگاه ها استفاده میشود و در حال توسعه و پیشرفت است استفاده نمود.

بخار زمین گرمایی حاوی گازهای خورنده و نا خالصی هایی از این قبیل است . به عنوان سیلیس ، نمک و ذرات جامد ، طراحی توربین بخار برای نیروگاه زمین گرمایی نه تنها باید از قابلیت بالایی برخوردار باشند، بلکه باید از قابلیت بالایی نیز برخوردار باشند . مقاوم در برابر خوردگی و... بنابراین ، فن آوری های زیر در مورد استفاده می شود

روتورهای جوش داده شده

با معرفی روتور جوش داده شده در سال 1930 ، هیچ گونه پارگی در روتورهای قطر بزرگ شرکت GE گزارش نشده است - که توسط جوشکاری جداگانه قالب های کوچکتر ساخته شده است. این طراحی مفید امکان:

- انتخاب متریال مناسب برای ماشین کاری ، بر اساس درجه حرارت در هر بخش از توربین .
- کاهش تنش در هنگام گذرهای حرارتی برای سریعتر و مکرر تکرار شدن چرخه بنا به ظرفیت واحد.
- دسترسی بهتر برای تجهیزات آزمایش فوق صوتی(قابلیت اطمینان بیشتر به تجهیزات) .



شکل 30 روتور با شفت (محور) جوشکاری شده

طراحی حلقه کوچک

به ما امکان چرخش راحت تر شفت را فراهم می کند و پوشش داخلی متقارن که

منجر به موارد زیر می شود:

- کاهش اعوجاج در حالی که شفت ازاد است و گشتاوری به ان تحمیل نمیشود .
- کارایی بالاتری را را فراهم میکند .
- طراحی فشرده تر با دیوار کوچکتر و ضخامت کم تر برای چرخه که بار انعطاف پذیر و سریعتر راه اندازی شود و به لطف این قابلیت اطمینان بالاتری نسبت به ایمنی و تجهیزات خواهیم داشت.

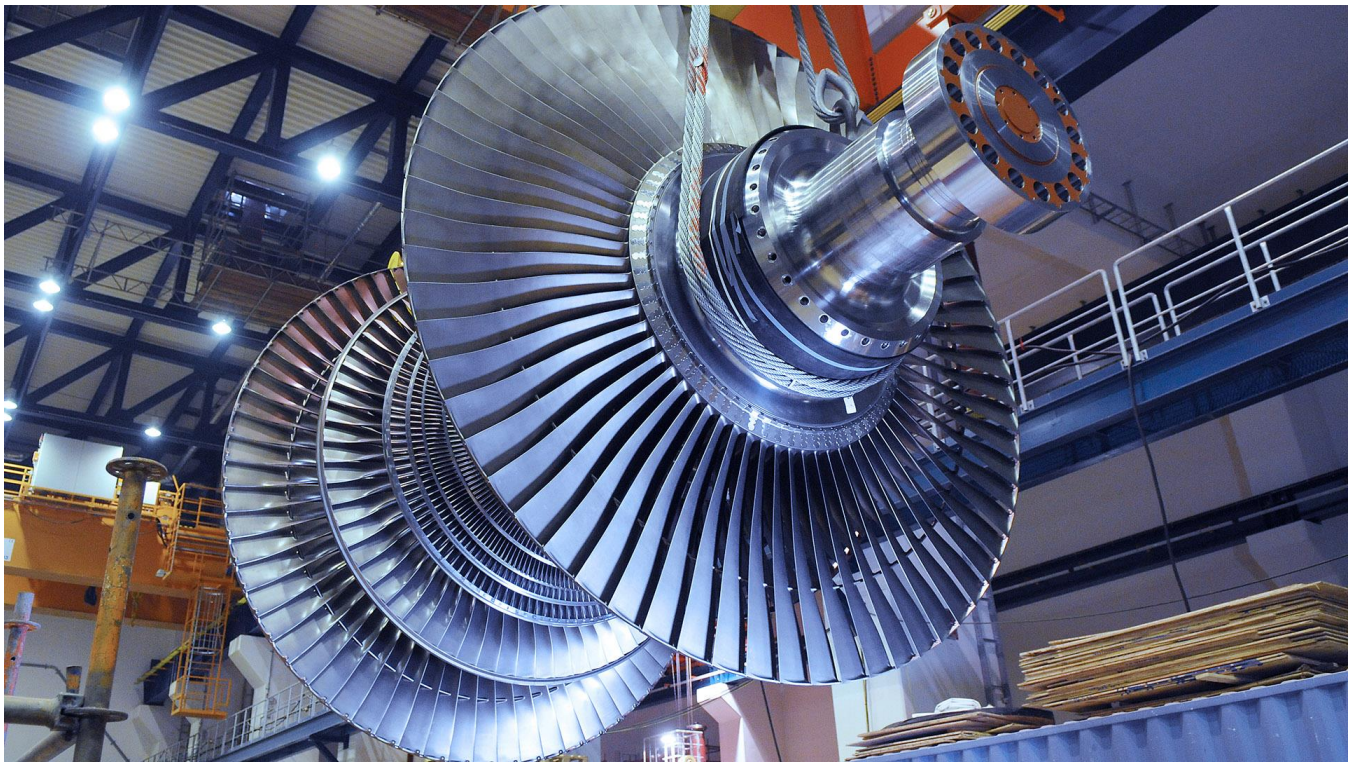
طراحی های تیغه پیشرفته

از طرح کامل سه بعدی برای بهینه سازی مشخصات تیغه استفاده می شود . تلفات ثانویه و تلفات اصطکاکی را به حداقل میرساند ، بنابراین کارایی را افزایش میدهد. تیغه های مرحله آخر یکپارچه به گونه ای طراحی شده اند که بخش چرخشی ، قسمت اخر و حلقه های سوار شده بر ان یک قسمت واحد را تشکیل می دهند. این امر مونتاژ با دقت بالا را برای تیغه هایی با مقاطع جداگانه تولید میشود را محیا می کند. در حین کار ، برای افزایش میرایی ارتعاش و کاهش نشتی نوک ، با یکدیگر ارتباط برقرار می کند ، بنابراین قابلیت اطمینان و کارآیی را افزایش می دهد.

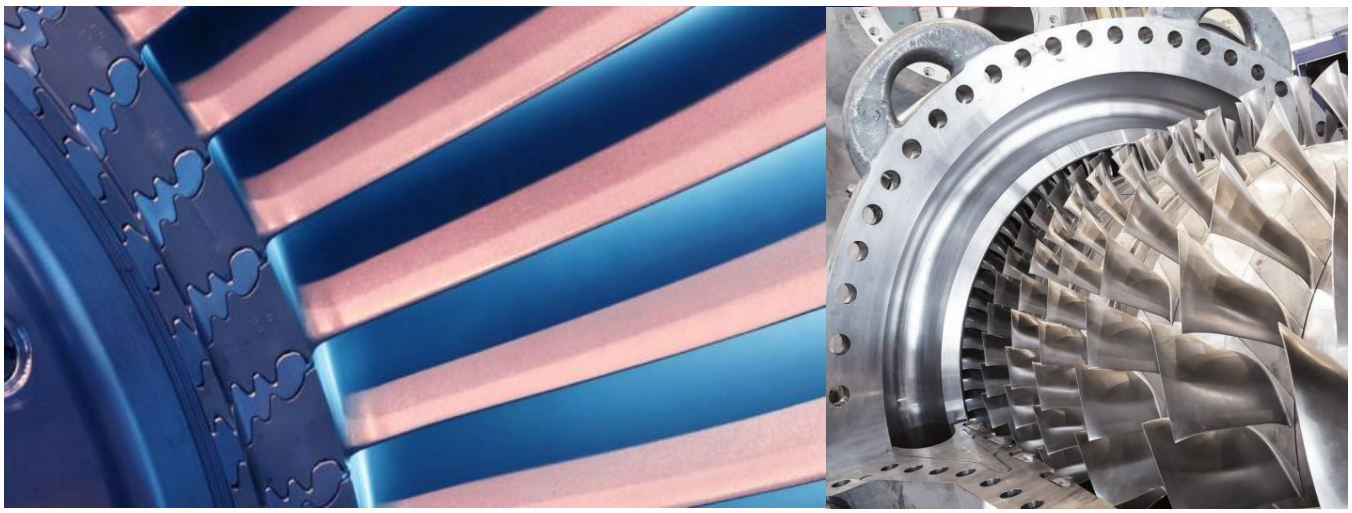
فناوری نوآورانه طراحی تیغه در موارد زیر مشهود است:

•طراحی مدرن و سه بعدی که منجر به کارایی بالاتر می شود.

• پره های فشار بالا (فشار متوسط) ، فشار متوسط (IP) و فشار پایین (LP) که از یک جنس و قطعه تراشیده شده اند تا یکپارچگی مکانیکی عالی و قابلیت اطمینان بالاتری داشته باشند.



شکل 31 تیغه های توربین با فناوری های فرم دهی جدید



تیغه های مرحله آخر بزرگ LP

• اندازه های تیغه مرحله آخر متراکم برای پروژه های ویژه با سرما در خروجی توربین و افزایش بهره وری

• طراحی محکم با شیارهای تقویت شده و اتصالات تیغه برای قابلیت اطمینان بیشتر

طراحی تک بلبرینگ

توربین های چند پوسته دارای یک بلبرینگ بین هر بخش توربین برای موارد زیر هستند:

•اجتناب از تغییر بار برای قابلیت اطمینان بیشتر

•هم ترازی شفت برای کارآمدی بیشتر برای کاهش زمان ساخت

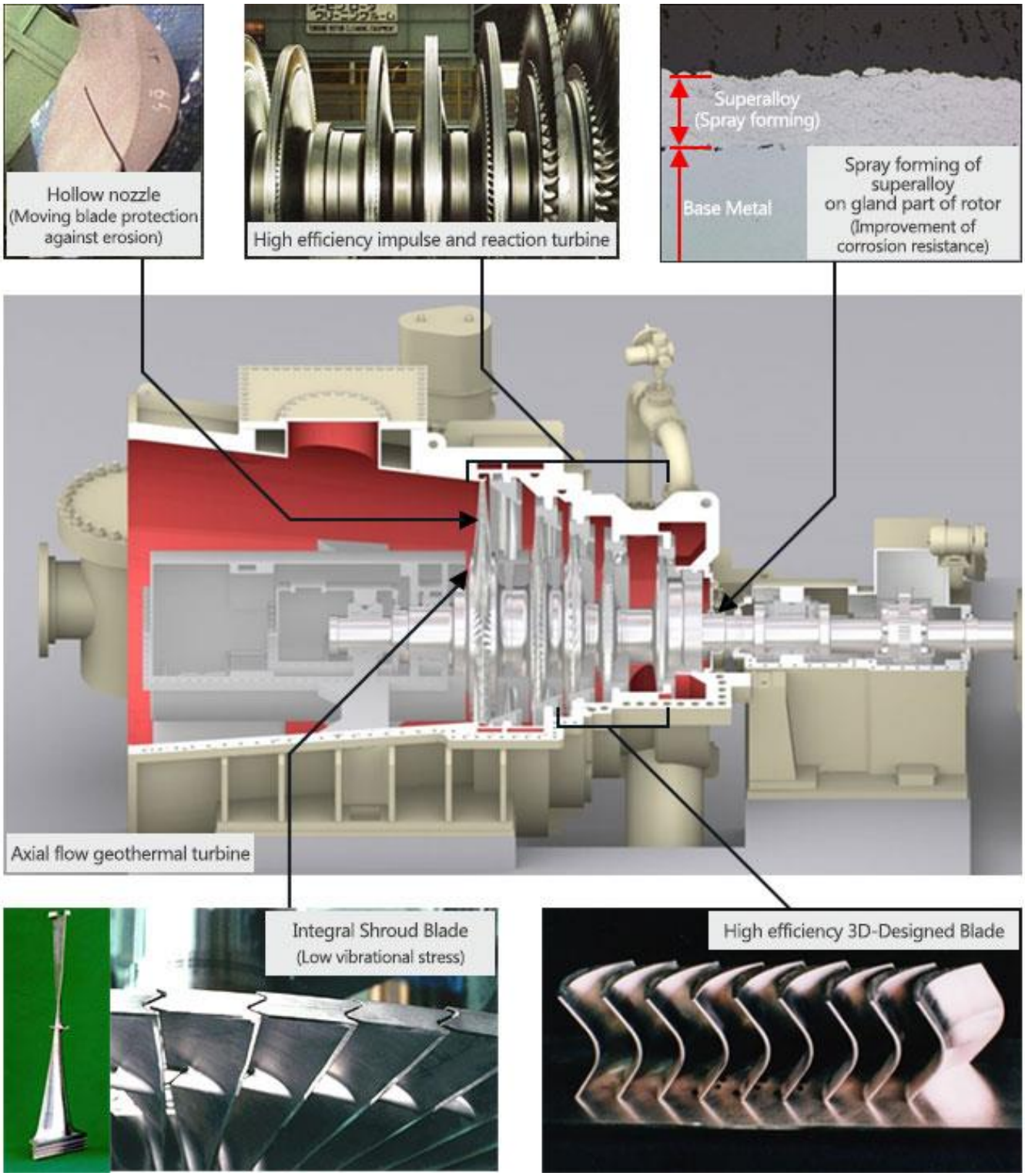
• طول کلی شفت توربین کوتاهتر برای هزینه های کمتر ساختمان

جنس روتور CrMoV با گوگرد بسیار کم

در مقایسه با روتورهای فشار کم که در نیروگاه های حرارتی معمولی استفاده می شود ، این ماده روتور مقاومت به خوردگی بالاتری دارد ، مقاومت در برابر ترک خوردگی ، تنش ، و خوردگی بالاتر نسبت به مواد معمولی دارد. ترکیب نیکل در دمای خنک شوندگی روتور تاثیر دارد.

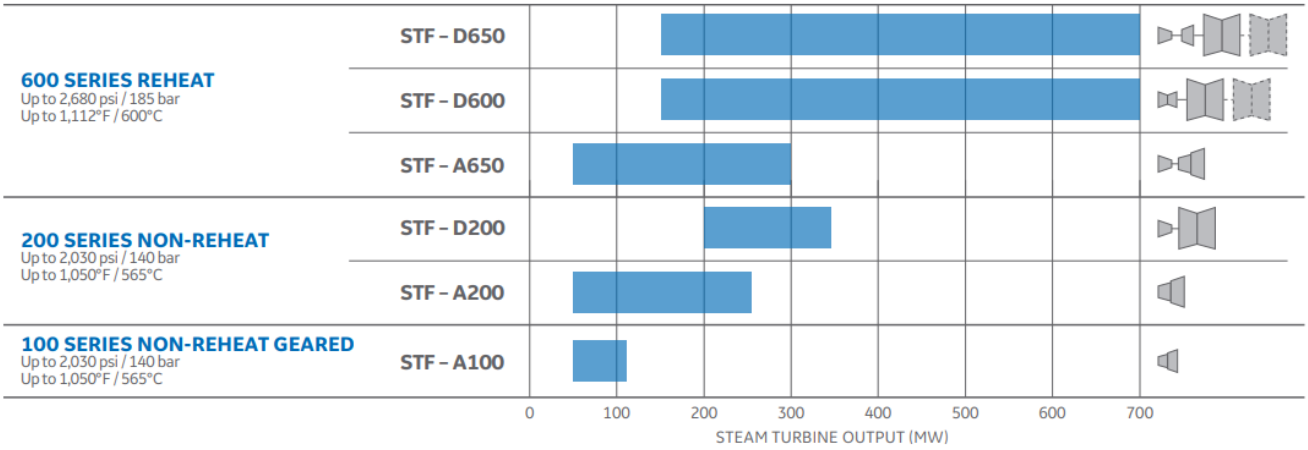
مواد Cr/17-4PH12 برای تیغه ها

معمولاً از فولاد ضد زنگ 12٪ Cr برای تیغه ها استفاده می شود ، اما به مدت طولانی تیغه هایی که تنش در آنها بیشتر است و برای تیغه های مرحله اول در قسمت هایی مشکل پوسته پوسته شدن به راحتی رخ می دهد ، در تولیدات جدید 17-PH4 استفاده می شود. در مقایسه با ضد زنگ 12٪ Cr فولاد ، فولاد 17-PH4 در برابر خوردگی مقاومت بهتری دارد عناصر مانند H2S در بخار زمین گرمایی ، مقاومت بهتری دارند و در برابر ترک خوردگی تنش و خوردگی استحکام و دوام بیشتری دارد.



بخشی از فناوری های به کار رفته در تولید و طراحی توربین که باعث افزایش راندمان میشود.

38. انواع چینش توربین برای تولید حداکثری



شکل 32 مقایسه بازه ی توان توربین های شرکت GE بر اساس ساختار داخلی

نیروگاه‌های سیکل ترکیبی از نظر نوع توربین‌ها به دسته‌های زیر تقسیم می‌شوند

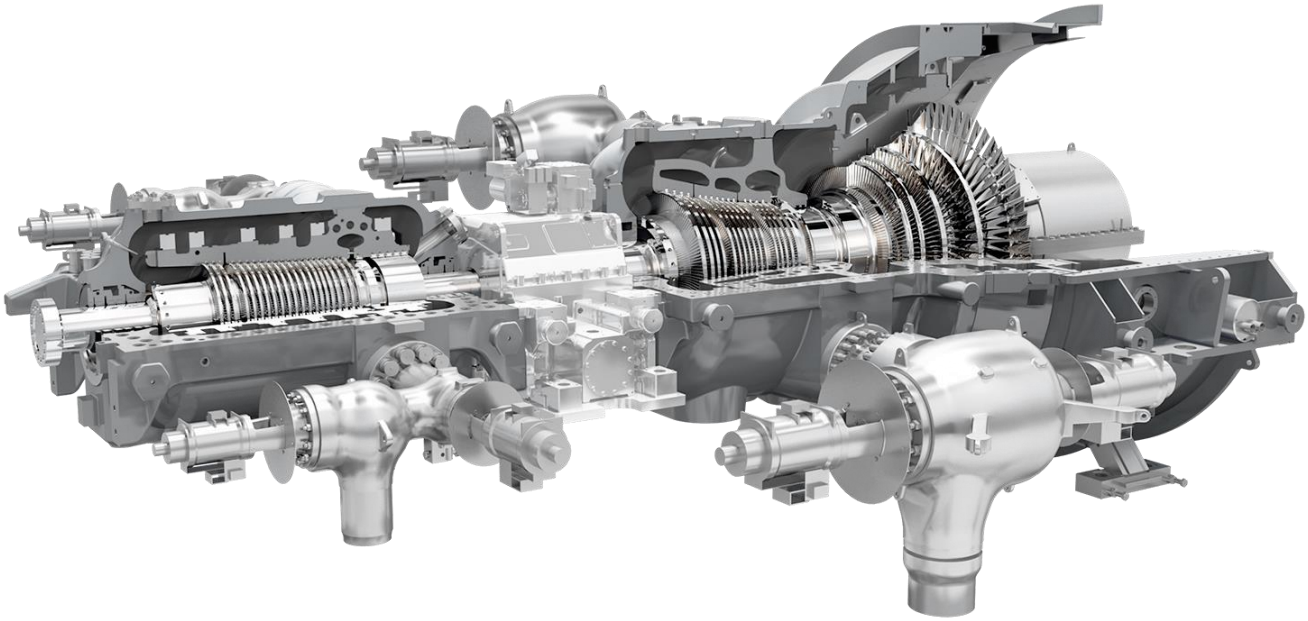
1-نیروگاه‌های سیکل ترکیبی با مشعل

2-نیروگاه‌های سیکل ترکیبی بدون مشعل

3-نیروگاه‌های سیکل ترکیبی با دیگ بازیافت گرما مجهز به بازیابی و یا گرمایش آب تغذیه

4-نیروگاه‌های سیکل ترکیبی با دیگ بازیافت گرما با فشار بخار چندگانه

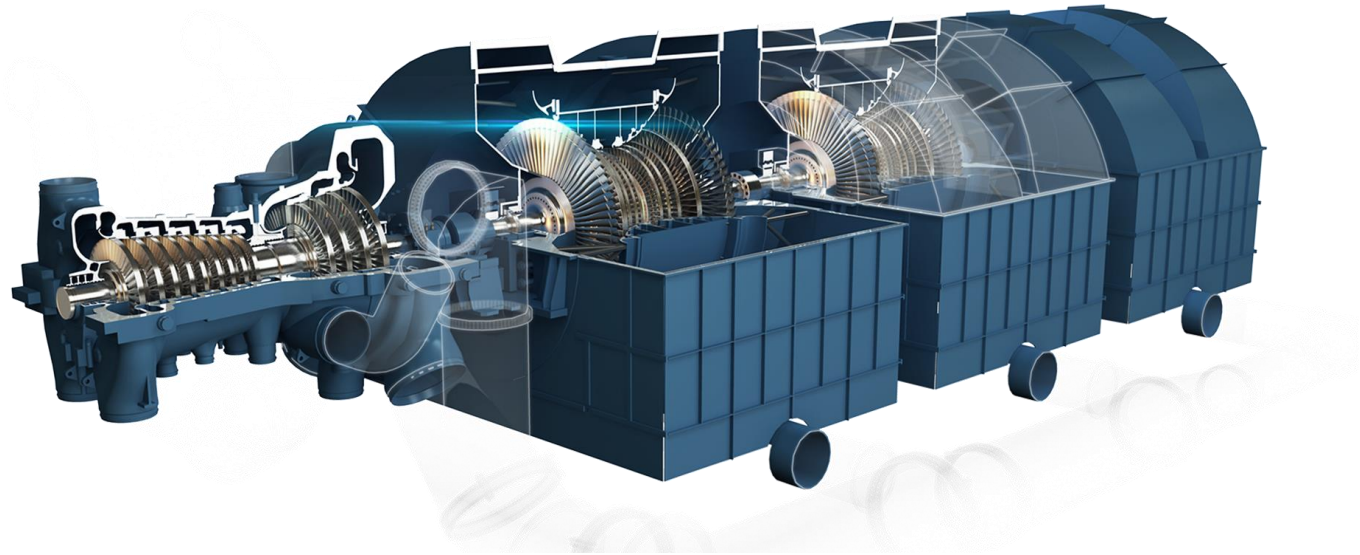
5-نیروگاه‌های سیکل ترکیبی با سیکل بسته توربین گازی با گرمایش آب تغذیه در چرخه بخار



شکل 33 یک توربین متشکل از دو قسمت گازی و بخار (سیکل ترکیبی) ساخت GE

نتیجه ای که میشود استناد کرد از این دسته بندی بر این است که برای بالا بردن راندمان در بسیاری از واحد های نیروگاهی میتوان از چینش متفاوتی از ترتیب قرار گیری تور بین ها استفاده کرد . بنا به نوع چرخه گرمایی میتوان شفت توربین گازی و بخار را در نیروگاه های سیکل ترکیبی حرارتی با یک دیگر ادغام کرد تا شفت توربین های بخاری و گازی با یک دیگر به صورت مشترک و با سرعت یکسان بچرخد و اتلاف مکانیکی کمتر شود . این همزمانی علاوه بر افزایش راندمان و بازده نیروگاه باعث کاهش هزینه تهیه ژنراتور جداگانه میشود زیرا یک ژنراتور میتواند از یک شفت مشترک از دو توربین حرکت مکانیکی را دریافت کند علاوه بر این باعث کاهش مساحت نیروگاه و فضای اشغال شده توسط تجهیزات میشود.

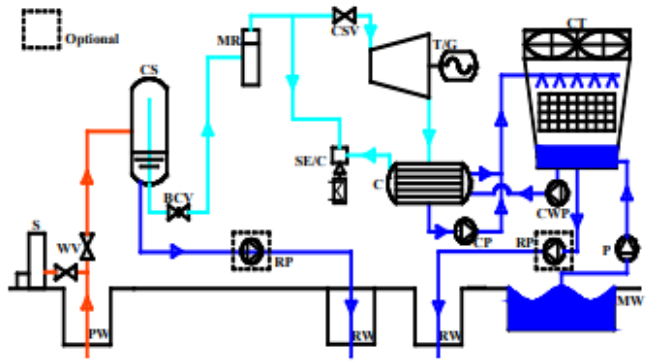
در برخی از مدل های نیروگاهی زمین گرمایی میتوان از توربین با ساختار بیشتر از یک قسمت استفاده کرد در واحد های دوبل فلش که دو مخزن پر فشار و کم فشار داریم بخار خروجی از این دو مخزن را میتوان به دو قسمت یک توربین با معماری متفاوت که از دو یا چند ورودی با فشار متفاوت پشتیبانی میکند بدهیم. این روش بسیار کاربردی است زمانی که دو مخزن یا بیشتر داشته باشیم یا چاه های استخراجی دارای دبی یا فشار متفاوت با یکدیگر داشته باشند زیرا بخار پرفشار تر به قسمت پر فشار توربین با پره هایی با شعاع کوچکتر فرستاده میشود و بخار نسبتا کم فشار به قسمت وسطی توربین که شعاع پره ها نسبتا بلند تر از قسمت ابتدایی توربین است ارسال میشود . اینگونه تزریق بخار داخل توربین باعث میشود تا توربین بنا به نوع طراحی و ساختار خود استفاده حداکثری از بخار و گرمای چرخه بکند .



شکل 34 یک توربین چند قسمتی ساخت GE برای مصارف توان بالا MV 1200

شامل یک قسمت کم فشار و 3 قسمت پر فشار

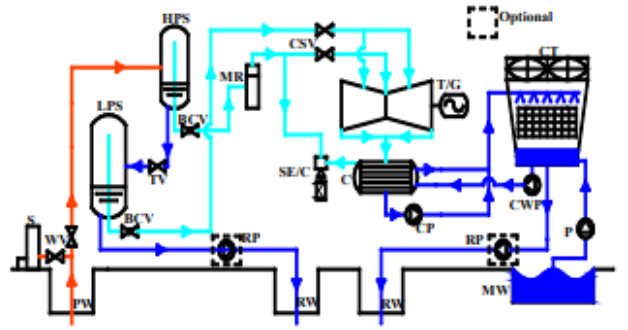
در دیاگرام روبرو یک نیروگاه زمین گرمایی سیکل فلش یگانه و دوگانه امده است . مورد حائز اهمیت در این دیاگرام نوع طراحی و تغذیه توربین سیکل دوگانه میباشد که به صورت 3 ورودی طراحی و اجرا شده است . که یک ورودی پرفشار در وسط توربین قرار داده شده است و دو ورودی کم فشار ما بین قسمت پرفشار و خروجی توربین واقع شده است. و خروجی توربین طبق مطالب بخش های قبل به کندانسور منتقل میشود .



PW	Production well	WV	Wellhead valve	S	Silencer
CS	Cyclone separator	BCV	Ball check valve	MR	Moisture remover
CSV	Control / stop valve	T/G	Turbine / generator	SE/C	Steam ejector/condenser
C	condenser	CT	Cooling tower	CWP	Cooling water pump
CP	Condensate pump	RP	Reinjection pump	RW	Reinjection well
P	Pump	MW	Make-up water		

Figure 5: Simplified schematic for a single-flash plant

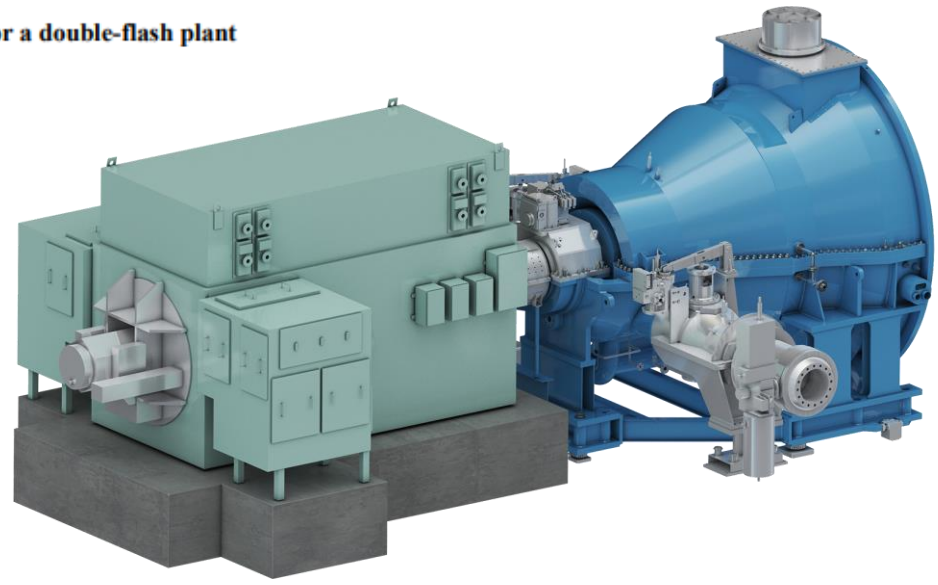
بخار پرفشار از مخزن پرفشار تامین میشود که از چاه قویتر نیرو میگیرد و در ابتدا سیال وارد این مخزن میشود و سپس بعد جداسازی حد معینی از بخار به سمت جداکننده دوم (مخزن کم فشار میرود) و بخار جدا شده از این توربین به سمت قسمت کم فشار توربین منتقل میشود.



PW	Production well	WV	Wellhead valve	S	Silencer
HPS	High pressure separator	LPS	Low pressure separator	BCV	Ball check valve
TV	Throttle valve	MR	Moisture remover	C	condenser
CSV	Control / stop valve	T/G	Turbine / generator	SE/C	Steam ejector/condenser
CT	Cooling tower	CWP	Cooling water pump	CP	Condensate pump
RP	Reinjection pump	RW	Reinjection well	P	Pump
MW	Make-up water				

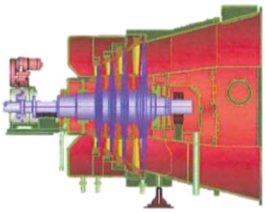
Figure 6: Simplified schematic for a double-flash plant

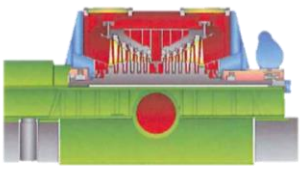
توربین سیکل فلش یگانه از نوع متداول و تک خروجی و تک ورودی میباشد .



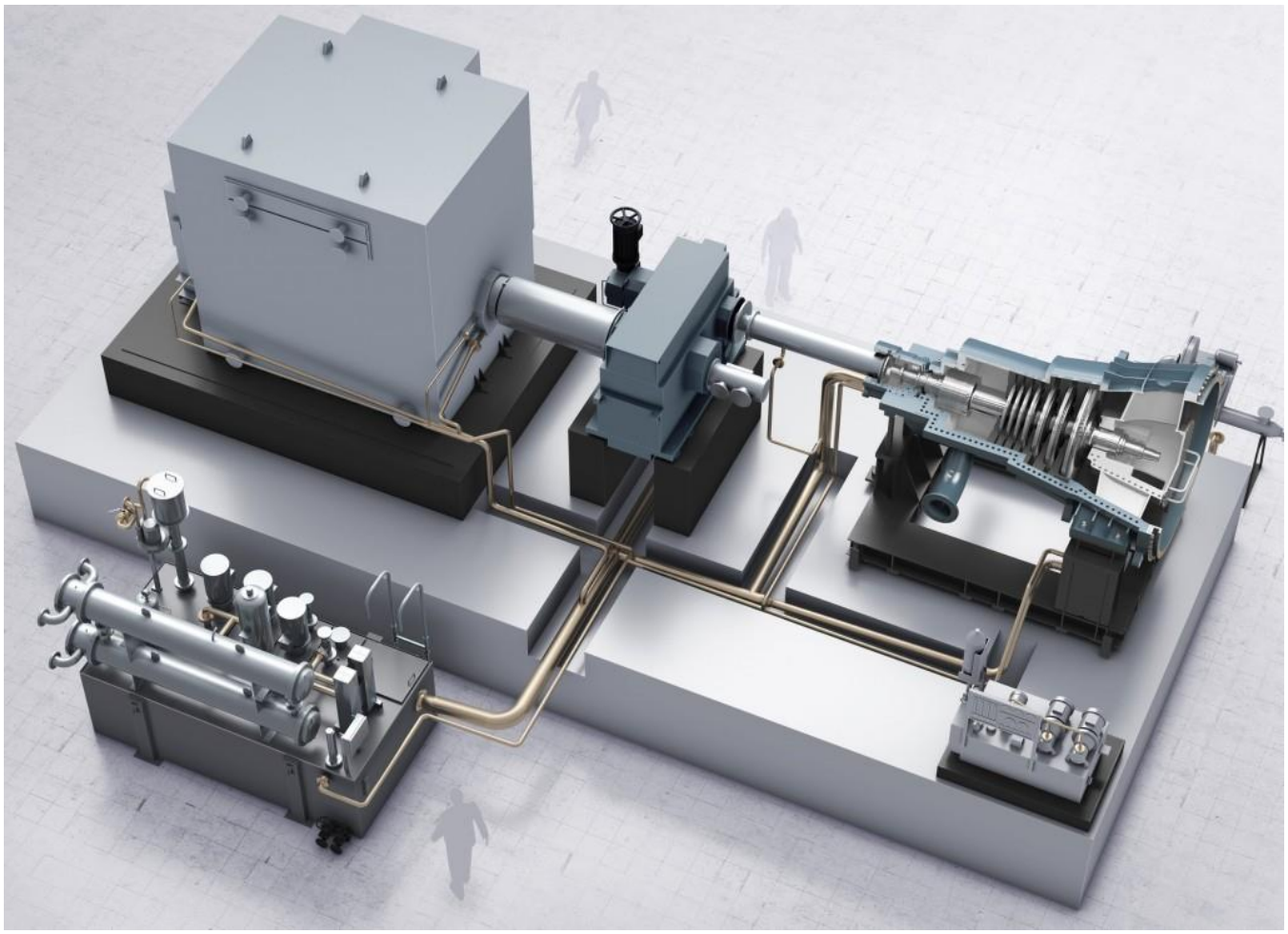
شکل 35 توربین متداول یک ورودی ساخت GE

در طراحی اولیه نیروگاه با توجه به نوع چرخه و تعداد چاه و دبی سیال خروجی و... نوع توربین را میتوان انتخاب کرد و این انتخاب با توجه به عوامل موثر دیگر بایستی بهینه ترین نوع توربین با سیستم استخراج انرژی مخصوص خود واحد باشد.





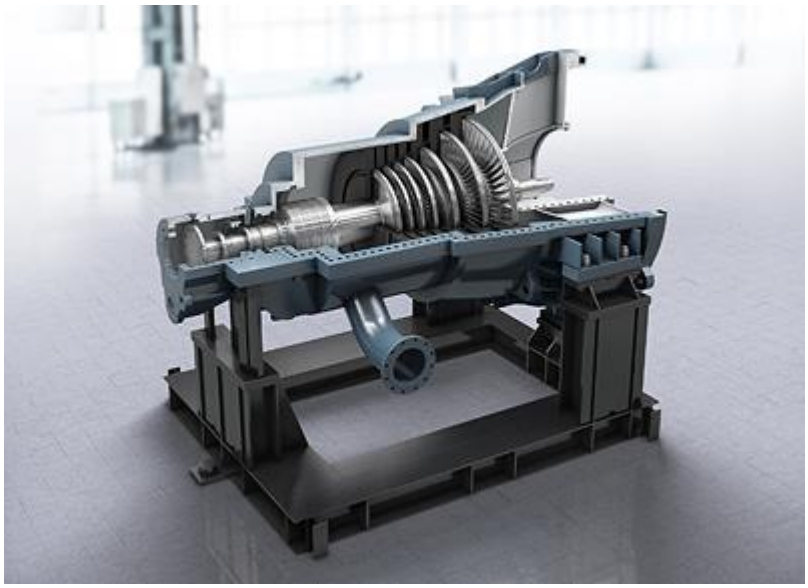
شکل 37 سمت راست یک توربین دو جریانه و سمت چپ توربین تک جریانه



شکل 36

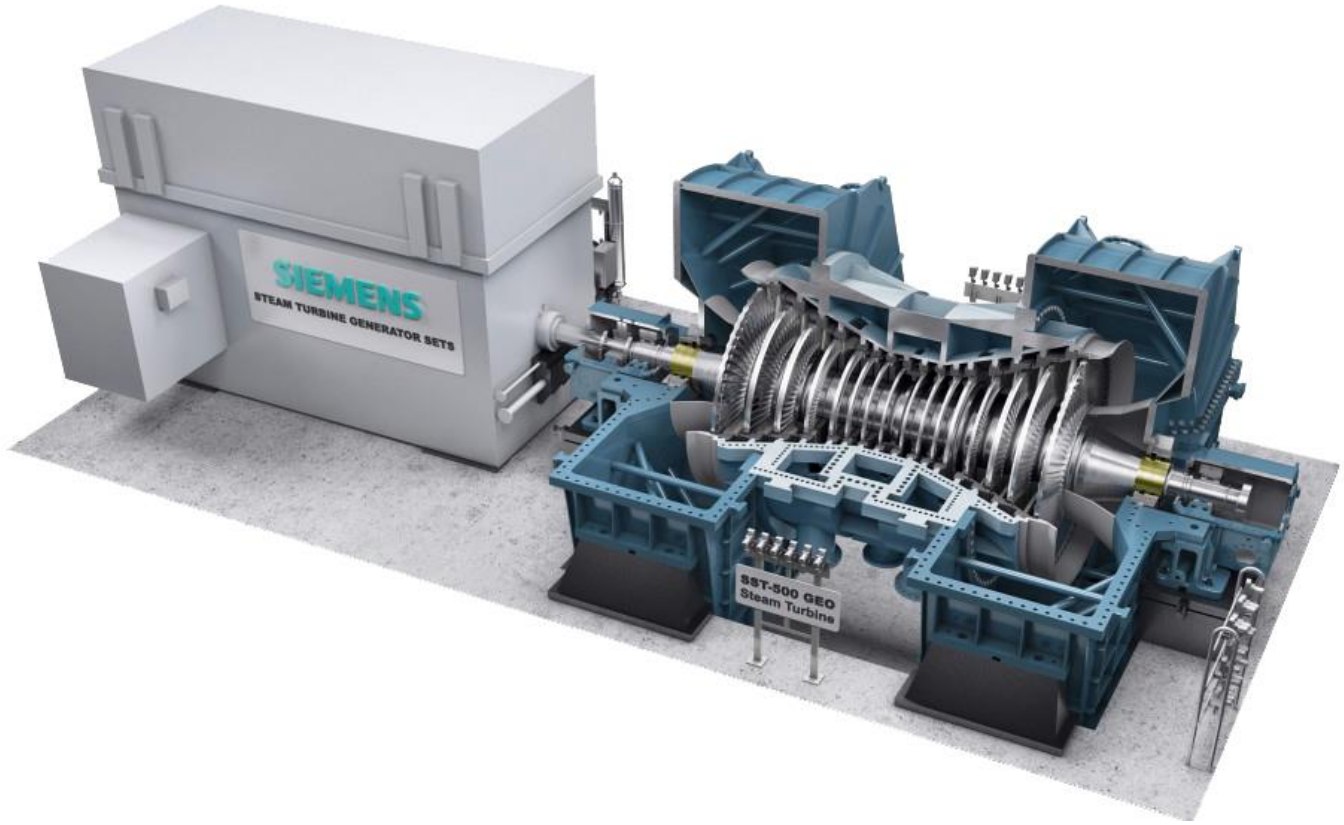
در شکل 43 یک توربین بخار ساخت SIEMENS آلمان که تک ورودی است مشاهده میکنید .

این توربین به واسطه گیربکس برای کنترل دور و گشتاور تحویلی به ژنراتور متصل شده است .



شکل 45 همان توربین بخار تک ورودی صفحه پیش میباشد که از زاویه ای دیگر برای نمایش دقیق تر پره ها و محل ورود بخار و همچنین میله شفت مرکزی دوباره قرار داده شده است. در قسمت های پر فشارتر توربین ، پره ها شعاع کمتری دارند.

شکل 38



شکل 46 توربین ساخت SIEMENS که دو عدد خروجی ابتدا و انتهای توربین و سه ورودی در قسمت زیرین قسمت وسط توربین دارد. این توربین مستقیما به ژنراتور متصل شده است . SIEMENS این توربین را منحصرا برای واحد های زمین گرمایی طراحی و تولید کرده است . مدل SST500 GEO

39. راندمان ژنراتور

از مهمترین بخش های تولید در یک واحد نیروگاهی ژنراتور است . راندمان ژنراتور رابطه مشتقیمی با افزایش سایز ژنراتور و ظرفیت آن و افزایش سایز و قدرت نیروگاه زمین گرمایی دارد . اغلب ژنراتور ها راندمانی در بازه 95.7 تا 98 درثدی دارند که شرکت GE در سری اب خنک ژنراتور های خود به راندمان 99 درصدی نیز رسیده است.

با در نظر گرفتن تمامی موارد ذکرشده راندمان یک نیروگاه زمین گرمایی از رابطه زیر بدست میاید:

$$\eta = m_s \times \Delta\, h \times \eta_t \times \eta_g \times \eta_{ncg} \times \eta_{apc} \times\ \eta_{pipe}$$

در این رابطه $\Delta\, h$ اختلاف آنتالپی میان ورودی و خروجی توربین و m_s دبی جرمی بخار ورودی به توربین است .

40. راه‌های افزایش راندمان ژنراتور

راندمان ژنراتور یکی از مهم ترین پارامترهای نیروگاه بوده که با توجه به پیشرفت تکنولوژی ساخت ژنراتور در جهان،

مقدار آن به صورت چشمگیری رو به بهبودی می باشد .

راندمان ژنراتور (efficiency) نشان دهنده نسبت قدرت خروجی به قدرت ورودی به ژنراتور بوده ب و ه صورت زیر بیـان می شود:

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{P_1 - P_{loss}}{P_1}$$

قدرت ورودی : P_1 قدرت خروجی: P_2 تلفات کل: P_{loss}

راندمان ماشین های الکتریکی می تواند تأثیر اقتصادی قابل توجهی را ایجاد کند. به طور مثال در یک سال تولید کامل ، یک ژنراتور 50 مگاواتی با بازده 0.2 بهتر می تواند توان الکتریکی را تا حداکثر 160 هزار دلار در سال افزایش دهد.

ژنراتورها ماشین هایی هستند که انرژی مکانیکی را از محرک اصلی به یک توان الکتریکی در ولتاژ و فرکانس خاصی تبدیل می نماید و همواره یکی از مهمترین عناصر شبکه قدرت بوده و نقش کلیدی در تولید انرژی و کاربردهای خاص دیگر ایفاء کرده است. حال با توجه به منابع معرفی شده در انرژی های تجدید پذیر به دنبال دسته بندی و انتخاب مناسب ژنراتورهای موجود در صنعت برق جهان بر اساس مشخصات فنی توربینهای موجود در این نیروگاه ها می باشیم.

1- ژنراتورهایDYNAMOS DC

2- ژنراتورهایALTERNATOR AC

کاربردهای ژنراتور های القایی:

از اوایل قرن بیستم، ژنراتور های القایی مورد استفده قرار گرفتند اما از سالهای 1960 و 1970 به طرز قابل توجهی از میان رفته بودند. لذا پس از بالا رفتن قیمت های نفت در سال 1973 ،این نوع ژنراتورها مجددا پا به عرصه صنعت گذاشتند. با توجه به هزینه های زیاد انرژی، بازیابی انرژی بخش مهمی از اقتصاد پروسه های صنعتی را تشکیل داده است. ژنراتور القایی برای چنین کاربردهایی بسیار ایده آل است زیرا نیاز کمی به سیستم های کنترل و یا تعمیرات و نگهداری دارد. ژنراتور های القایی به جهت سادگی و کوچک بودن اندازه شان در مقایسه با هر کیلو وات توان خروجی، کاربردهای بسیار مناسبی برای توربین های بادی کوچک هستند. بسیاری از توربین های بادی تجارتی را به نحوی طراحی کرده اند تا به صورت موازی با شبکه های قدرت کار کرده و بخشی از کل احتیاجات نیروی مشتریان را تامین کنند. در چنین عملکردی می توان برای کنترل فرکانس و ولتاژ به شبکه نیرو اطمینان داشت و برای اصلاح ضریب توان از خازن های استاتیک استفاده کرد. در ضمن تا زمانی که یک منبع توان راکتیو (خازنها یا یک ماشین سنکرون) در شبکه نیرو موجود باشد، می توان از ماشین القایی به عنوان ژنراتور هم استفاده کرد. ژنراتور القایی هنگام عملکرد تنها دارای مشکلات جدی تنظیم ولتاژ است اما وقتی به صورت موازی با یک شبکه بزرگ قدرت کار کند، شبکه قدرت قادر به کنترل ولتاژ ماشین خواهد بود. ژنراتور های القایی معمولا ماشینهای بسیار کوچکی هستند که اصولا با منابع انرژی متناوب (sources power Alternative) از قبیل توربین های بادی و یا با سیستم های بازیابی انرژی مورد استفاده قرار می گیرند.

ژنراتور سنکرون (Synchronous generators)

یک ژنراتور سنکرون، دستگاهی است که برای تبدیل توان مکانیکی از یک محرک اولیه به نیروی الکتریکی ac در یک ولتاژ و فرکانس معین، به کار می رود. عبارت سنکرون مبین این است که فرکانس الکتریکی ماشین، فل می شود و یا به عبارت دیگر با سرعت مکانیکی چرخش محورش (شفت) هم زمان (Synchronizedou) می گردد. قسمت اعظم نیروی الکتریکی که در سراسر دنیا مورد استفاده قرار می گیرد، به وسیله ژنراتور سنکرون تولید می شود.

تقریبا همه ژنراتورهای بزرگ حقیقی که تحت استفاده هستند، ژنراتور های سنکرون می باشند.

Manufacturer	Model	Power capacity (MVA)	Efficiency (%)	
Mitsubishi [33]	S16R-PTAA2	2.2	95.7	
Siemens [34]	SGen5-100A-4P		25 to 70	Up to 98.5
Siemens [34]	SGen5-100A-2p		25 to 300	Up to 98.7
GE [35]	W28		550	99

شکل 39 راندمان ژنراتور های برند های مختلف

ژنراتورهای GE ماشینهای با تجربه و قابل اعتمادی هستند که عملکردهای فنی بالایی را ارائه می دهند. ژنراتورهای GE با موفقیت در بیش از 12000 تاسیسات در سراسر جهان کار کرده اند و سطوح مختلف توان خروجی و انواع سیستم های خنک کننده را بسته به نیاز مشتری ارائه می دهند. ژنراتورهای GE برای کمک به کاهش هزینه های سرمایه گذاری در کارخانه طراحی شده اند ، عملکرد را افزایش داده و هزینه های نگهداری را محدود می کنند.

ژنراتورهای GE طوری طراحی شده اند که از تمام استانداردها ، مقررات و کدهای شبکه مربوطه که ممکن است در کشورهای خاص 50 هرتز و 60 هرتز استفاده شود مطابقت داشته باشند. ماشین آلات بر اساس استانداردهای IEC و IEEE طراحی شده اند و برای افزایش دما در درجه 130 (B) طراحی شده اند. عایق ، با استفاده از نوار DURITENAX یا MICADUR* (بسته به خانواده محصول) ، درجه حرارت 155 (F) را برآورده می کند. ما آزمایشات و بازرسی های کیفی را در حین ساخت ، تحویل ، ساخت و راه اندازی ماشین آلات انجام می شود تا از کیفیت بالا و مطابقت با نیازهای مشتریان اطمینان حاصل شود.

دلایل گرم شدن ژنراتور

در این قسمت سعی نداریم تا اصول کارکرد ژنراتورها را از لحاظ الکتریکی بررسی کنیم بلکه فقط تلاش بر آن است که دلایل گرم شدن ژنراتور و تاثیر این حرارت اضافی را بر روی راندمان آن بررسی نماییم.

تلفات انرژی که در ژنراتورها صورت میگیرد به چند دلیل ایجاد میشوند.

الف : عبور جریان از سیم پیچ(WINDING) آرمیچر (ARMATURE)ایجاد حرارت میکند. اگر R مقاومت الکتریکی آرمیچر (که شامل سیم پیچ های سری و موازی میباشد)و I جریان الکتریکی که از آن عبور میکند باشد مقدار حرارت تولید شده برابر با RI^2 خواهد بود.این تلفات انرژی اصطلاحا افت اهمی نامیده میشود.

ب : افت انرژی در زغالها (BRUSH) بخاطر جمع شدن جریان مساوی VI است که I جریان الکتریکی و V کل افت ولتاژ در زغال های مثبت و منفی میباشد.

علاوه بر افت های بالا اتلاف انرژی به صورتهای دیگر نیز در ژنراتور بوجود میآید که به بررسی آنها میپردازیم.

دو نوع اصطکاک بخاطر حرکت آرماتور درون ژنراتور وجود دارد:

1-اصطکاک روغنی(Lubricated friction)

2-اصطکاک خشک(Dry friction)

که اصطکاک روغنی درون یاتاقان ها (Bearings) و اصطکاک خشک بین زغالها و تغییر دهنده جریان (Commutator)بوجود میاید.

سرعت چرخش ژنراتور بستگی به باری(load)دارد که از آن کشیده میشود. ولی در ژنراتور مولد جریان(A.C) بخاطر ثابت بودن فرکانس شبکه نباید تغییراتی در سرعت آن وجود داشته باشد.

معمولا باری که برروی یاتاقان ها و زغال ها وجود دارد بستگی به شدت جریان عبوری ندارد. بنابراین در حالت بار کامل (FULL –LOAD)و حالت بدون بار بودن(NO-LOAD) افتهای ناشی از اصطکاک در ژنراتور با هم فرق چندانی

ندارند.پس برای ژنراتورهای مولد(AC)میتوان فرض کرد که افتهای ناشی از اصطکاک ثابت میباشند. افت هایی نیز در هسته آهنی آرماتور بخاطر جریان های ادی (EDDY CURRENTS)و هیسترزیس(HYSTERESIS)بوجود میایند.

اگرچه هسته لایه-لایه ای و فلزی ترانسفورماتور که از فولاد سیلیکونی با مقاومت بالا ساخته شده است این افتها را در استاتور کاهش میدهد ولی حرارت ناشی از این افتها قابل توجه است.افت های هیسترزیس به خاطر عوض شدن جهت ممان مغناطیسی در فولاد بدلیل تغییرات شار ایجاد می شوند و حرارت زیادی را هم در روتور و هم در استاتور ایجاد می کنند. ثابت شده است که این دو نوع افت بستگی چندانی با بار اعمال شده ندارند.

با توجه به مطالب بالا اگر که اختلاف پتانسیل دو سر پایانه زنراتور برابر V و شدت جریان عبوری از آن I باشد راندمان عملکرد ژنراتور برابر است با:

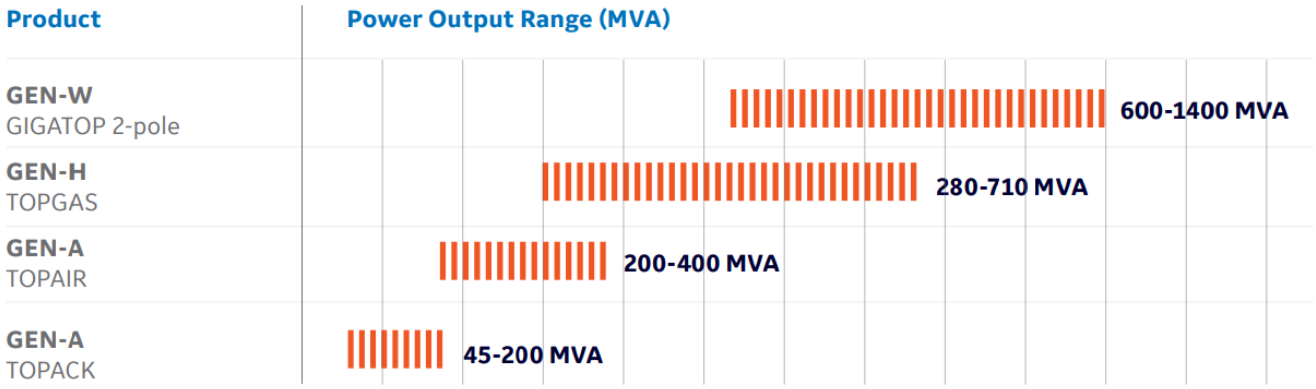
$$\eta=VI/\ VI+RI^2+VI+W$$

که در معادله بالا W جمع افت های ناشی از اصطکاک "هیسترزیس و جریان های ادی میباشد.

طبق معادله بالا افتهای ذکر شده نقش مهمی را در راندمان ژنراتور بازی میکنند. لازم به توضیح است که این افتها خود را به صورت حرارت اضافی در ژنراتور بروز میدهند. تقلیل این افتها یکی از اهداف طراحان صنعتی میباشد.از طرف دیگر حرارت ایجاد شده باید به طریق مناسبی از سیم پیچ های روتور"استاتور و یاتاقان ها دفع شود.در ژنراتورهای مدرن استاتور به نحوی ساخته میشود که نصف یا تعداد بیشتری از میله های مسی تشکیل دهنده سیم پیچ های استاتور توخالی باشند. با عبور دادن یک جریان مایع خنک کننده میتوان موجب خنک شدن استاتور گردید.

سیستم های مختلف خنک سازی ژنراتور

زنراتورهای مدرن راندمانی حدود 98.5٪ دارند.اگرچه در این گونه ژنراتورها مقدار افت حرارتی پایین است ولی همین مقدار کم نسبت به میزان توان خروجی مقدار زیادی میشود که این افتها بایستی بطور مناسب از ژنراتور خارج گردند.بعضی از روشهای مناسب جهت خنک نمودن ژنراتور ها به قرار زیر است:



نمودار بالا یک مقایسه بر اساس رنج تولیدی مولد و نوع سیستم خنک کنندگی در ژنراتور های کمپانی GEاست که سری اب خنک با 2 قطب میتواند تا حدود 1400 MVA توان با راندمان 99 درصد تولید کند.

1- نسل آب خنک (GEN-W: Water-Cooled)

(ژنراتور آب سرد قابل اعتماد) ژنراتور دو قطبی هیدروژن و آب سرد برای نیروگاه های زغال سنگ ، توربین های هسته ای کامل و نیروگاه های گازی استفاده می شود و از سال 1961 در بیش از 680 واحدِ نیروگاهی یافت می شود. در طراحی انعطاف پذیر ، هر دستگاه با نیازهای مصرف کننده نهایی مطابقت دارد. بازدهی بالایی دارد و ثابت شده است که این ژنراتور بسیار قابل اعتماد است. بر اساس فناوری پیشگام در دهه 1970 ، ژنراتور آب سرد GEN-W به طور مداوم با بازخورد مداوم از تجربه عملیاتی در سراسر جهان بهبود می یابد. این ژنراتور که برای حمل و نقل ریلی و جاده ای طراحی شده است ، دارای تعداد کمی قطعات جداگانه است که به تحویل کوتاهتر و زمان نصب سریعتر کمک میکند .

Frequency	50 Hz	60 Hz
Power factor	0.8 to 0.9	0.85
Apparent power	600 MVA to 1400 MVA	600 MVA to 1050 MVA
Efficiency	Up to 99%	Up to 98.9%
Terminal voltage	18 kV to 27 kV	22 kV to 26 kV
Reliability*	99.996%	99.996%

مشخصات فنی ژنراتور اب خنک GE

آب توسط تماس مستقیم با سیم پیچ های استاتور میتواند حرارت تولید شده را دفع کند. ولی برای این منظور بایستی که مقدمات زیر فراهم شود:

1-مقدار ضریب هدایت گرمایی آب را بایستی بسیار پایین آورد تا از هدایت کردن جریان الکتریکی جلوگیری بعمل آید.

2-کانالهایی که برای هدایت آب به طرف استاتور استفاده میشوند بایستی که کاملا آب بندی باشند.

3-سرعت آب را تا حد امکان باید پایین آورد تا از فرسایش تجهیزات مورد استفاده جلوگیری شود.

4-بدلیل بخار شدن آب در مورد دمای ژنراتور محدودیت وجود دارد.البته در بعضی از سیستم های مدرن میتوان با افزایش فشار سطح دمای بخار شدن آب را بالا برد.

شکل 40 ژنراتور اب خنک مورد استفاده در نیروگاه های هسته ای توان بالا با بازده 99 درصدی

2-ژنراتور با خنک کنندگی گاز هیدروژن (GEN-H: Hydrogen-Cooled)

یکی از سیستم های متداول برای خارج کردن حرارت اضافی در ژنراتورها سیستم خنک کاری هیدروژنی میباشد. در این نوع سیستم ها محفظه اصلی زنراتور را از هیدروژن پر کرده و محفظه را آب بندی میکنند.هیدروژن درون محفظه توسط پره هایی که بروی روتور ژنراتور نصب شده اند عمل خنک سازی را انجام میدهد .

هیدروژن درون محفظه توسط یک مبدل حرارتی که بوسیله آب خنک میشود و به صورت افقی یا عمودی با محفظه در تماس است خنک میگردد.مبدل حرارتی معمولا شامل تعداد بسیار زیادی لوله غیر آهنی میباشد که احتمالا پرده هایی بر روی لوله ها نصب میشود.این سیستم معمولا دارای سیستم چرخش آب دوطرفه میباشد بطوریکه درگاه ورودی و خروجی آب در یک طرف قرار دارند.آب استفاده شده درون مبدل خود در یک کولر هوایی یا یک برج خنک کن حرارت خود را به محیط پس میدهد.انواع دیگر مبدل نیز که با هوا کار میکنند نیز در صنعت استفاده میشود.

هیدروژن به عنوان سیال کاری نسبت به هوا و گازهای دیگر مزایای بسیاری دارد که عبارتند از:

الف : چگالی هیدروژن در مقایسه با سایر گازها پایین ترین است و چیزی حدود 1/14 هوا میباشد.حتی در فشارهای چند برابر شده (4 تا 5 بار)همراه با ناخالصیهای مجاز گازها چگالی هیدروژن حدود نصف چگالی هوا در دما و فشار معمولی است.

ب : قابلیت انتقال حرارت هیدروژن در شرایط یکسان تقریبا دو برابر هوا میباشد.و با افزایش فشار نیز مانند تمام گازها این قابلیت افزایش می یابد.مقدار ضریب هدایت گرمایی بالا و حرارت مخصوص بالای هیدروژن باعث میشود تا میزان دفع حرارت تا ده مرتبه افزایش پیدا کند.در نتیجه مقدار کاهش دمای ژنراتور افزایش می یابد و اندازه سیستم های خنک سازی مربوطه نیز کاهش می یابد.

ج : فروسایی(Degradation)سیستم آب بندی توسط فرایند اکسیداسیون توسط هیدروژن اتفاق نمی افتد.

از جمله معایب سیستم هیدروژنی میتوان موارد زیر را نام برد:

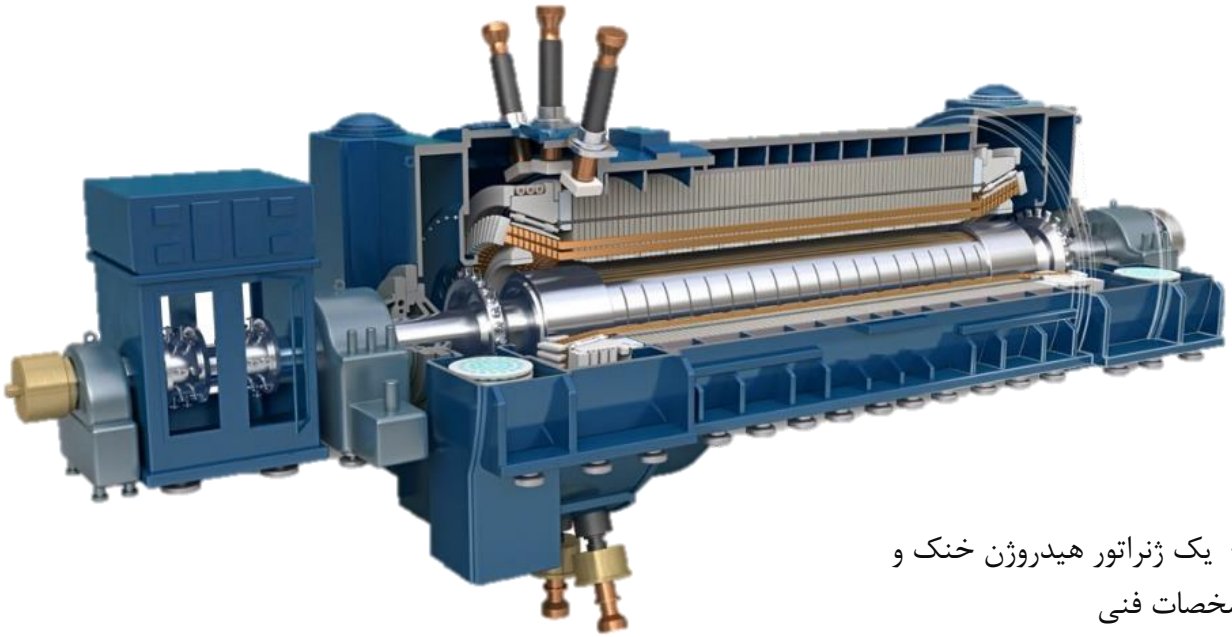
1-بدلیل اینکه غلظت حدود 76٪-4٪ هیدروژن در هوا احتمال انفجار دارد بایستی که بطریقی از فرار هیدروژن از محفظه اصلی جلوگیری کرد.

بدین منظور محفظه کاملا آب بندی میشود تا از نشت هیدروزن جلوگیری بعمل آید.این مهم احتیاج به تکنیکهای جوشکاری مدرن دارد.اتصالات خارجی از جمله شافت اصلی روتور نیز احتیاج به یک سیستم آب بندی فوق العاده پیچیده دارد.

2-بدلیل صد در صد نبودن سیستم آب بندی نشت هیدروژن به محیط صورت میگیرد.این مقدار جرم خروجی احتیاج به جبران شدن (make-up)دارد.بدین منظور در محل بایستی که از یک سیستم تولید هیدروژن بهره جست.

ژنراتورهای خنک شده با هیدروژن GEN-H از فناوری و بازخورد عملیاتی گسترده بهره می برند. محدوده خروجی توان GEN-H جایگزینی مقرون به صرفه برای ژنراتورهای بزرگتر و پیچیده تر با آب سرد با هیدروژن است. چگالی کم ، گرمای خاص بالا و هدایت حرارتی بالای گاز هیدروژن ، بالاترین بازده را در مجموعه GE ایجاد می کند. ژنراتورهای خنک شده با هیدروژن از فناوری های اثبات شده و مواد پیشرفته استفاده می کنند.

Frequency	50 Hz	60 Hz
Power factor	0.8	0.85
Apparent power	320 MVA to 710 MVA	280 MVA to 690 MVA
Efficiency	Up to 98.9%	Up to 99%
Terminal voltage	18 kV to 23 kV	19 kV to 25 kV
Reliability*	99.715%	99.715%



شکل 41 یک ژنراتور هیدروژن خنک و جدول مشخصات فنی

3-ژنراتور های هوا خنک (GEN-A: Air-Cooled)

در این روش از هوا بعنوان سیال خنک کننده استفاده میشود. هوا توسط مکنده هایی برروی سیستم سیم پیچ های روتور و استاتور حرکت میکند و عمل دفع حرارت را انجام میدهد.این سیستم ها به دو صورت باز و بسته موجود میباشند. در سیستم باز هوای محیط از طریق مکنده هایی مکیده میشود و پس از طی مسیر به محیط باز گردانده میشود که دارای مشکلات زیر است:

1-بدلیل استفاده از هوای محیط برای فرایند خنک سازی مقداری از ذرات گرد و غبار وارد سیستم شده که برای سیم پیچ های روتور و استاتور مشکل فراهم میکند.

2-کنترل دما در این نوع سیستم ها بدلیل ثابت نبودن دمای هوای ورودی به طور کامل صورت نمیگیرد.

نوع دیگر سیستم های هوایی سیستم بسته میباشد که هوا پس از طی مسیر حرارت خود را به یک سیال خنک کننده در یک مبدل حرارتی پس میدهد و دوباره به سیستم باز میگردد.سیال خنک کننده که معمولا آب میباشد پس از گرفتن حرارت از هوا مقدار انرژی گرفته شده را در یک برج خنک کن تر و یا یک کولر هوایی به محیط باز میگرداند.
جهت تبدیل مدار باز به سیکل مداربسته موارد زر در نظر گرفته میشود:

1- استفاده از برج خنک کننده تر به همراه مبدل حرارتی فشرده.

2- استفاده از کولر هوایی به همراه مبدل حرارتی فشرده.

در هر دو مورد با توجه به اینکه استفاده از مبدل حرارتی فشرده در سیستم مدار بسته موجب افت فشار میگردد دو حالت زیر مورد بررسی قرار گرفتند:

1لف) استفاده از قدرت پروانه های موجود بروی روتور دستگاه ژنراتور که هم اکنون در سیستم باز موجب مکش هوا به داخل محفظه ژنراتور و خارج ساختن آن از کانال خروجی سیستم میگردد.

ب) استفاده از یک دمنده کمکی(Auxillary fan)که میزان جریان هوا را به مقدار افت فشار ایجاد شده به حد معین برساند.

تاثیر پارامترهای گوناگون در طراحی

از بین پارامترهای گوناگونی که بر روی عملکرد سیستم مدار بسته موثرند میتوان به موارد زیر اشاره کرد:

1-تغییرات دمای خشک هوای محیط

2-تغییرات رطوبت نسبی هوای محیط

3-نوع برج خنک کن بکار رفته در سیستم

4-مقدار شار جرمی دمنده کمکی

5-استفاده از کولر هوایی

6-نوع مبدل حرارتی فشرده استفاده شده در طراحی

7-مقدار سطح انتقال حرارت مبدل حرارتی فشرده

از بین پارامترهای فوق سطح مبدل حرارتی بدلیل ثابت بودن کانال خروجی هوا و نوع مبدل بدلیل محدودیت در ساخت ثابت میباشند.

تاثیر تغییرات هوای محیط بروی عملکرد سیستم مدار بسته

با افزایش دمای خشک محیط همراه با رطوبت نسبی ثابت دمای هوای خروجی از ژنراتور افزایش میباشد. همچنین در یک دمای خشک هوای محیط ثابت با افزایش رطوبت نسبی هوای محیط دمای هوای خروجی از ژنراتور افزایش می یابد. پس با افزایش اندازه برج خنک کن دمای هوای خروجی از ژنراتور کاهش می یابد.

تاثیر تغییرات شار جرمی دمنده اضافی

همانطو که انتظار داریم با افزایش شار جرمی دمنده در یک ساعت بخصوص مقدار دمای هوای خروجی از ژنراتور کاهش می یابد.

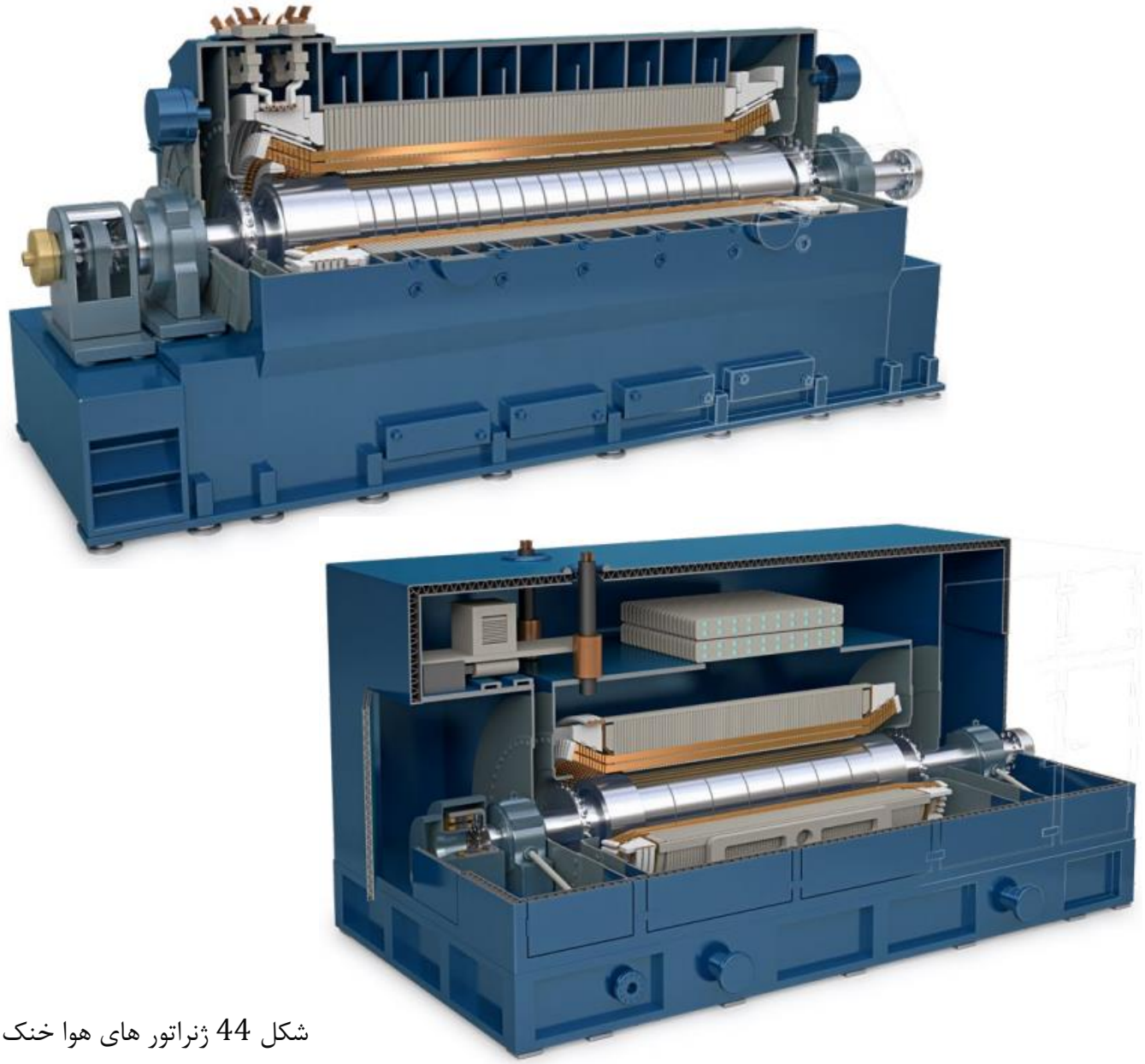
واحد GEN-A GE ، قوی ترین ژنراتور خنک کننده هوا در حال کار ، تجربه عملیاتی در سراسر جهان را از بیش از 570 تاسیسات تامین کرده است. این یک دستگاه قوی است که قابلیت اطمینان و قابلیت نگهداری بالایی را ارائه می دهد. ژنراتورهای خنک با هوا دارای محدوده خروجی قدرت هستند که معمولاً در ژنراتورهای خنک کننده با هیدروژن بزرگتر و مقرون به صرفه یافت می شود. این نتیجه توسعه مستمر و تکاملی است که با افزایش بهره وری و کنترل هزینه های سرمایه گذاری ، محدوده توان خروجی را افزایش داده است. در عین حال ، عملکرد و نگهداری آن ساده و آسان است. انعطاف پذیر GEN-A ، به دلیل کوتاه بودن زمان تولید آن (تولید موازی استاتور و روکش ، پیش مونتاژ و سهولت حمل و نقل) ، ژنراتوری است که می تواند به سرعت راه اندازی شود. این باعث کاهش زمان ساخت و راه اندازی و تسریع راه اندازی نیروگاه و کارخانه می شود.

Frequency	50 Hz	60 Hz
Power factor	0.8	0.85
Apparent power	200 MVA to 400 MVA	200 MVA to 345 MVA
Efficiency	Up to 98.9%	Up to 98.9%
Terminal voltage	11.5 kV to 22 kV	13.8 kV to 22 kV
Reliability*	99.911%	99.911%

شکل 42 مشخصات فنی ژنراتور هوا خنک نوع توان بالا

Frequency	50 Hz	60 Hz
Power factor	0.8	0.85
Apparent power	45 MVA to 200 MVA	45 MVA to 200 MVA
Efficiency	Up to 98.7%	Up to 98.6%
Terminal voltage	11 kV to 15 kV	13.8 kV

شکل 43 مشخصات فنی ژنراتور هوا خنک نوع توان پایین



شکل 44 ژنراتور های هوا خنک

جمع بندی

نتایج بدست آمده نشان میدهد که استفاده از برج خنک کننده میتواند راه حل مناسبی برای خنک کردن ژنراتور باشد. گرچه بدون استفاده از سیستم دمنده کمکی میتوان در قسمتی از طول شبانه روز با نیروی پروانه های نصب شده بر روی ژنراتور میتوان آنرا خنک نمود اما برای ساعات گرم شبانه روز سیستم موجود جوابگو نمیباشد. برای حصول اطمینان از عملکرد سیستم در ماههای گرم سال استفاده از یک سیستم دمنده کمکی در داخل کانال بسته سیستم خنک کننده پیشنهاد میشود. در این حالت دمای هوای خروجی از ژنراتور در تمام اوقات شبانه روز زیر حد مجاز است.

سیستم انتخابی باید بر اساس عوامل زیر مورد استفاده قرار گیرد.

1-فضا: بدیهی است که انتخاب سیستم مناسب باید بر اساس در نظر داشتن محدودیت فضا در مکان سیستم صورت گیرد.

2-سروصدا: طراحی و ساخت سیستم کانال بندی جدید باید به منظور کاهش میزان سروصدای تولیدی باشد.

3-هزینه اولیه: انتخاب سیستم جدید باید بر اساس کاهش سرمایه و هزینه باشد.

4-هزینه نگهداری: هزینه نگهداری اجزای مختلف سیستم جدید از قبیل برج خنک کن"کولر هوایی"مبدل حرارتی و دمنده ها عامل مهمی در انتخاب میباشد.

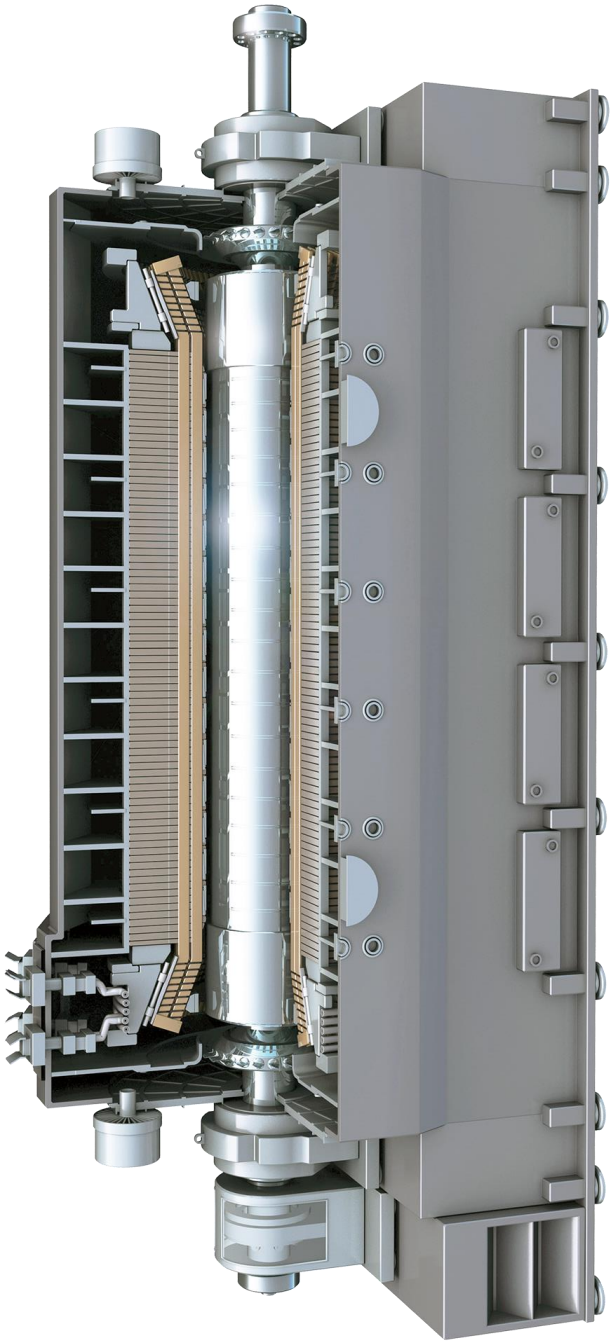
5-مقدار آب مصرفی برج : با توجه به محدودیت ذخایر منابع آبی استفاده از برج کوچکتر باعث کاهش میزان آب مصرفی میگردد.

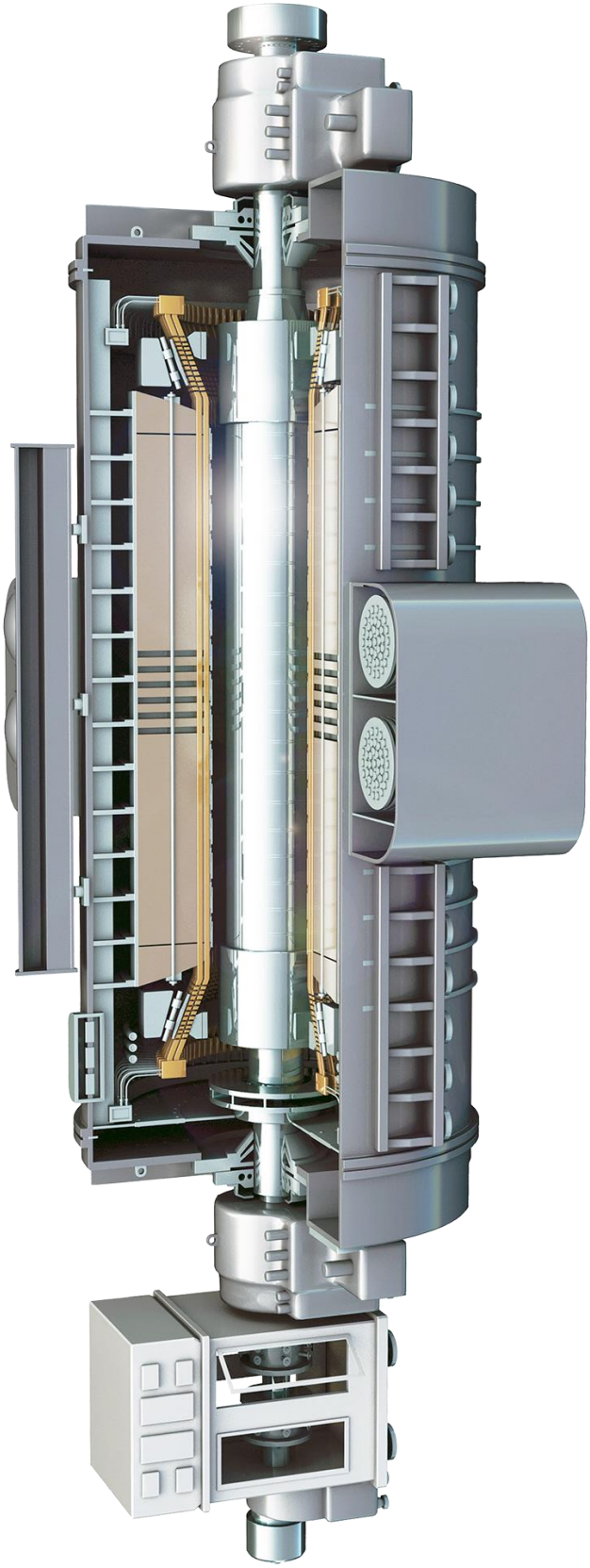
نتیجه گیری :

میتوان ژنراتور های اب خنک با راندمان 99 درصد و توان 30 الی 50 MVA طراحی و تولید نمود ور در واحد های زمین گرمایی استفاده نمود .

برای خنک کنندگی میتوان از پمپ اب خنک کندانسور استفاده نمود و با سری کردن مسیر خنک کننده ژنراتور و کندانسور نیاز به تهیه پمپ مجزا برای ژنرانور نیست . که در نتیجه سبب کاهش هزینه اقتصادی راه اندازی نیروگاه میشود.

تولید ولتاژ و توان با فرکانس 50 هرتز میتواند راندمان ژنراتور را اندکی کاهش دهد که خوشبختانه شبکه برق ایران 50 هرتز میباشد و این بهبود در راندمان در ایران الزاما لحاظ میشود .



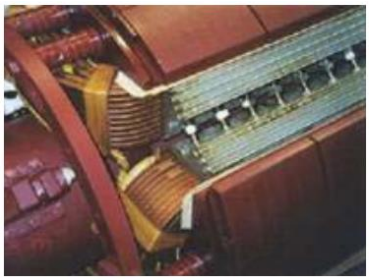


شکل 45 نمای برش
خورده از ژنراتور آب خنک
در تصویر بالا و هوا خنک
در تصویر پایین

41. طراحی داخلی ژنراتور

نوع طراحی ژنراتور باید به اقتضای شرایط نیروگاه و ثابت به بهینه ترین شکل ممکن انجام شود . در این بخش به فناوری های مرسوم و رایج روز دنیا در طراحی ژنراتور میپردازیم. ژنراتور یک ماسین الکتریکی دوار است که شامل استاتور و روتور میباشد و بنا به سنکرون یا اسنکرون بودن ان یا نوع طراحی میتواند در روتور دارای سیم پیچی های متفاوت باشد یا سیم پیچی در روتور نداشته باشیم و روتور از نوع قفس سنجابی باشد . استاتور معمولا دارای سیم پیچی است اما در برخی مواقع خاص از اهنربای دائم در استاتور استفاده میشود.

روتور قطب لمینت شده

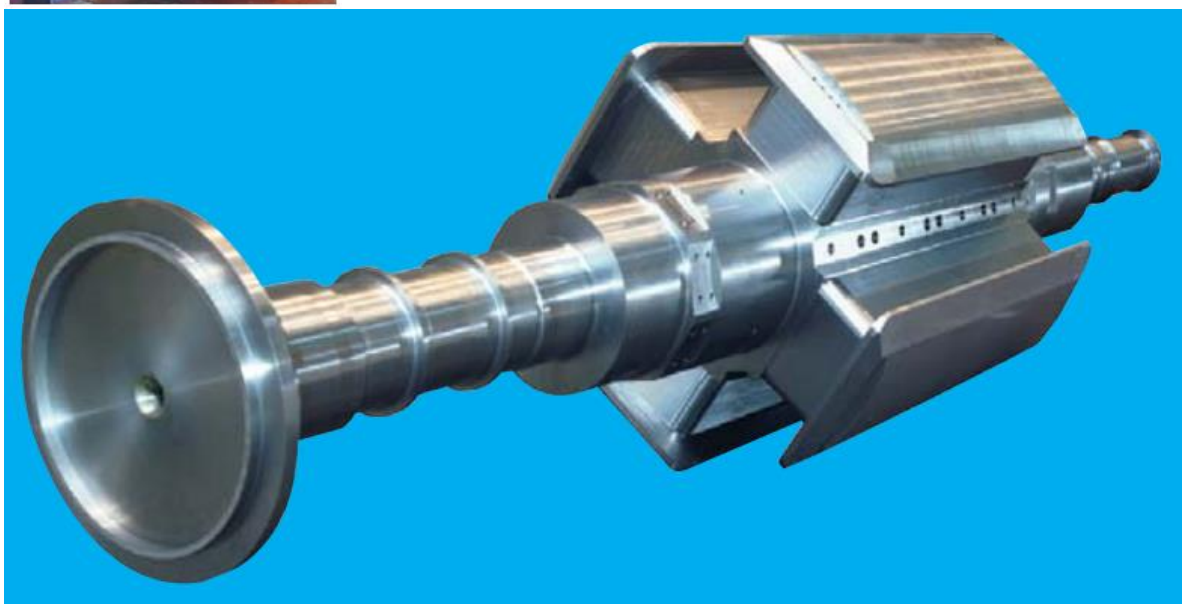


این روتور دارای یک مجموعه صلیبی شکل چند لایه و یک سیم پیچ سیم به لبه است. هر صفحه قطبی دارای مجموعه ای از میله های میراگر است که در هر انتهای آن به یک قسمت مس چسبانده شده است و میله های پشتیبانی کننده سیم پیچ برای جلوگیری از حرکت انتهای سیم پیچ ها پرس شده است .. فرایند گرمایش با استفاده از تعدادی ترموکوپل توسط کامپیوتر کنترل می شود تا اطمینان حاصل شود که روتور بیش از حد گرم نشده است تا از عایق و دیگر قسمت ها محافظت شود. مواد شفت یا از میله نورد شده یا از فولاد کربنی ساخته شده است. سیم پیچ ها از نوع سیم هستند که مستقیماً بر روی قطب های ژنراتور پیچیده می شوند. قطب ها با عایق کلاس F عایق بندی شده اند و سیم پیچ ها کاملاً با رزین اپوکسی تثبیت شده اند.

روتور قطب جامد

این روتور دارای قطب های محکم و سیم پیچ میدان لبه نواری است. بدنه های شافت و قطب از یک قطعه فولادی کربنی معمولی تولید می شود. پس از نصب کویل های میدان ، نوک یا کفش های فولادی با استفاده از پیچ های فولادی به بدنه قطب متصل می شوند. سیم پیچ ها دارای ساختار نوار لبه با عایق بین نوار کاغذ معدنی آغشته به رزین اپوکسی هستند. این مورد تحت حرارت و فشار درمان می شود تا واحدهای کاملاً یکپارچه با عملکرد کلاس H ساخته شود. در

فواصل پایین هر طرف سیم پیچ ، پیچ های جداگانه ممکن است برای بهبود سرمایش افزایش یابد. سیم پیچ ها بر روی واشرهای لمینت شیشه ای با چسب اپوکسی مونتاژ می شوند. سپس هر واحد کویل کاملاً عایق شده روی ستون برجسته خود با چیدمان مهار کننده مناسب نصب می شود تا اطمینان حاصل شود که در شرایط عادی سرویس ، محکم در برابر قطب نگه داشته شده است. قطب جامد نوک یا کفش های روی این روتور از یک تکه اهن ساخته می شوند. قطب های محکم یک سیم پیچ میدان نواری را در لبه نگه می دارند.

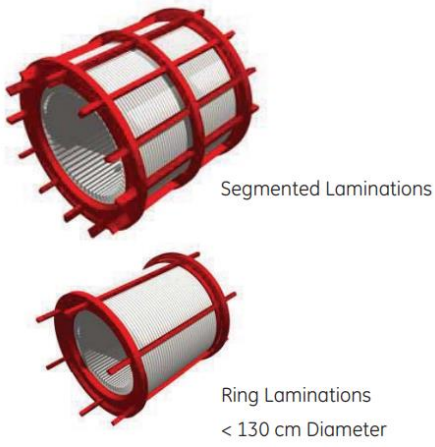


شکل 46 یک روتور یک تکه حالت جامد

روتور شیار استوانه ای

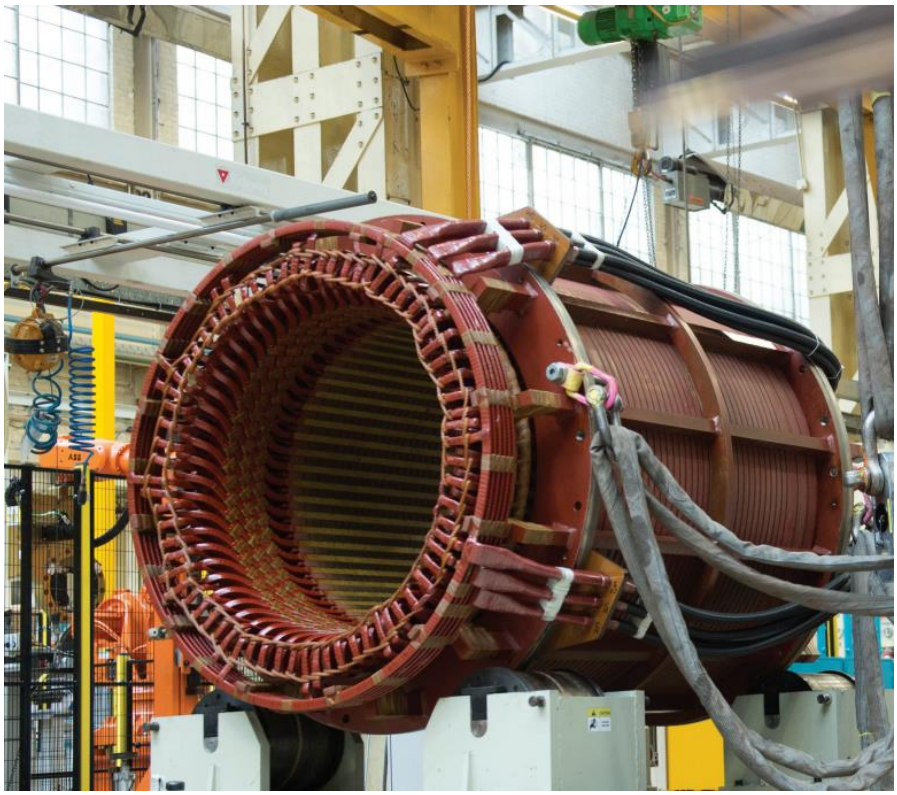
این روتور در مواردی که سیم پیچ توزیع شده مورد نیاز است استفاده می شود. بدنه روتور از روکش های با شکاف برای گرفتن سیم پیچ ساخته شده است. سیم پیچ ها هنگام قرارگیری و چسباندن در سطح ، شبیه به فن آوری سیم پیچ استاتور ، در سطح قرار می گیرند. برای جلوگیری از حرکت ، در هر انتهای روتور حلقه های نگه دارنده سیم پیچ وجود دارد.

استاتور



مونتاژ هسته استاتور شامل ورقه ورقه ای از فولاد سیلیکون نورد سرد با ضایعات کم است که بین صفحات با فشار زیاد محکم شده است. روکش ها در نهایت حالت آنیله عرضه می شوند و عایق بندی شده اند تا تلفات جریان گردابی را کاهش دهند. هسته در اطراف یک سنبه مرکزی ساخته شده است تا شعاع را افزایش دهد. مجاری تهویه شعاعی در فواصل طول هسته وجود دارد که توسط جدا کننده های جوش داده شده به لمینت ها و مجموعه های مشابهی در هر انتهای هسته برای حمایت از دندانه ها ایجاد می شود. کل مجموعه تحت فشار در میله های هسته فولادی که به صفحات فشاری جوش داده شده است تا محکم شود.

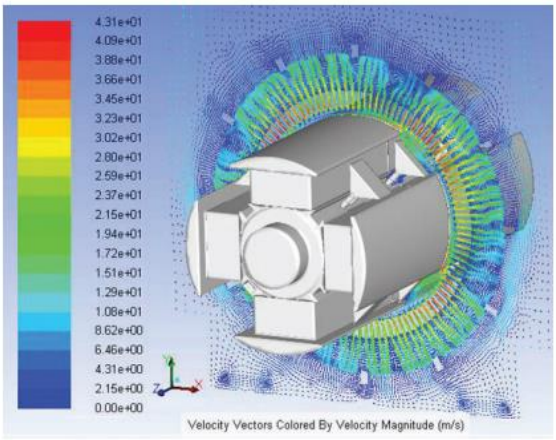
در شکل زیر یک استاتور با سیم پیچی تکمیل شده را مشاهده میکنید. این استاتور از بدنه ورقه ورقه با مقطع دایره و واشر شکل تشکیل شده است این ورقه ها به صورت مجزه عایق بندی و روکش میشوند تا تلفات گردابی در انها کم بشود. در سیم پیچی این استاتور از سیم های خشک با مقطع بسیار زیاد استفاده شده است که به ان شمش مسی میگویند.

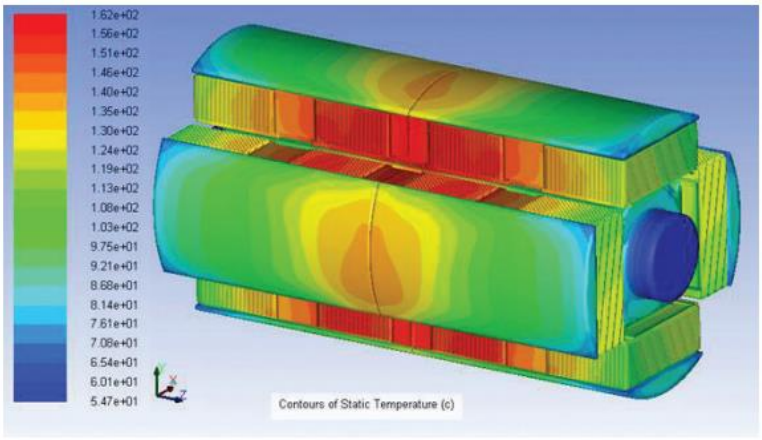


این شمش ها نیز در محل های انتهایی و ابتدایی استاتور که اختلاف ولتاژ در دوسر یک شمش ان بیشتر است و احتمال تخلیه الکتریکی یا دیسشارش مداوم دارد به طور بسیار قوی با نوار و رزین مخصوص عایق شده است. فاصله بین شمش ها در ابتدا و انتهای بدنه که به دلیل ایجاد گام های سیم پیچی خم شده اند به وسیله یک قطعه عایق و فاصله گذاری میشود تا عایق بندی مطمعن باشد.

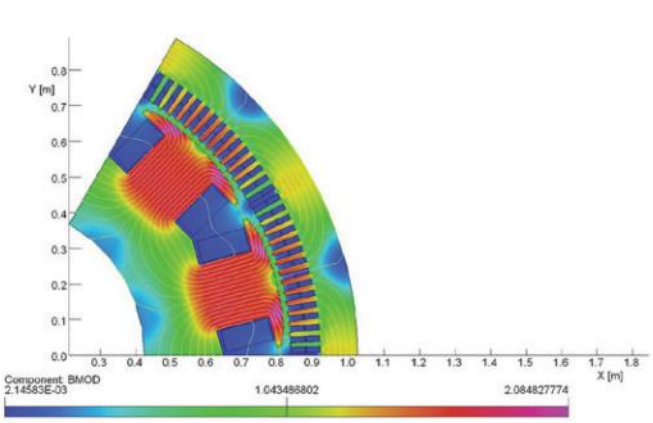
آنالیز و مدل سازی قطعات و آزمایش جهت اطمینان از بهینه سازی

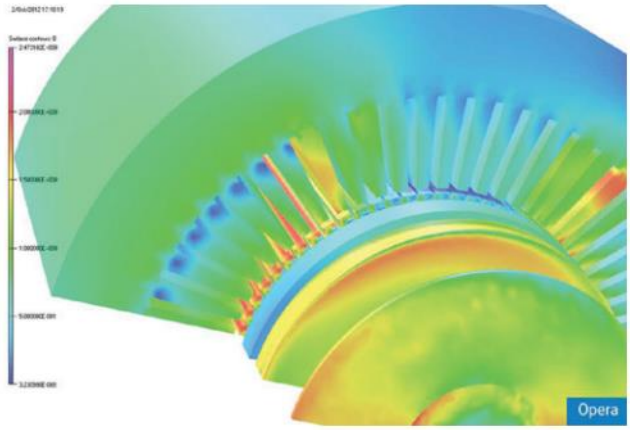
آنالیز قطعات قبل و بعد از تولید به کاربران کمک میکند تا از صحت عملکرد بهینه محصول در شرایط کاری مختص خود اطمینان حاصل کنند بدین منظور در کمپانی های سازنده تجهیزات فشار قوی و نیروگاهی در هر مرحله از طراحی و تولید آزمایش و آنالیز قطعه انجام میشود تا محصول نهایی یک محصول بی عیب و نقص و با بیشترین کارایی باشد.



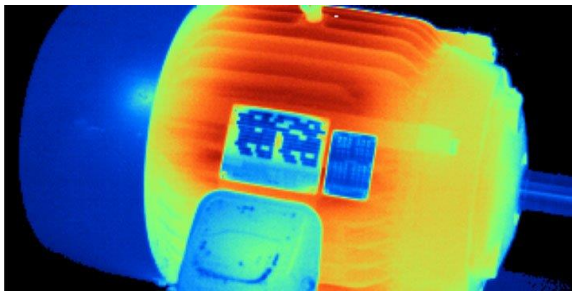


در تست های گرفته شده گرماسنجی در قطعه به صورت سه بعدی و با دقت نقطه به نقطه انجام میشود تا نقاط استهلاکی محصول نمایان شود و به طور مثال در تصویر بالا سمت راست که جریان گردابی باعث افزایش تلفات و گرما در هسته روتور میشود به خصوص در قسمت وسط و مرکز هسته میتوانیم آن قسمت از روتور را با ورقه های نازک تر از حد معمول ابتدا و انتهای روتور بسازیم تا دمای سراسر روتور یک پارچه و خنک تر شود . در نتیجه خنک تر شدن روتور اصطکاک مکانیکی کاهش یافته و شفت با سرعت بیشتر و روان تری میچرخد که منجر به تولید نیروی گشتاور بیشتر و افزایش راندمان میشود.

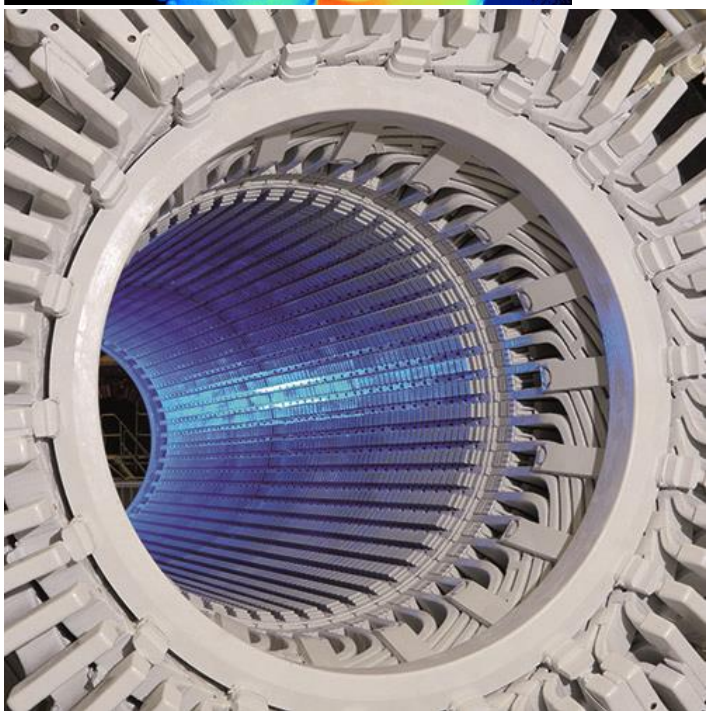




در این تصویر گرماسنجی مشاهده میشود که قسمت هایی که شار مغناطیسی در آن جاری است گرم تر میباشد.



گرماسنجی در قطعات فشار قوی باعث بهبود در طراحی آنها شده است و به لطف انالیز انجام شده استاتور ها و روتور ها با تکنولوژی جدید به نحوی ساخته میشوند تا دمای انها در حالت کاری و فشار زیاد به بهترین شکل مدیریت و کنترل شوت تا از اسیب دیدن قسمت های عایق الکتریکی و سیم پیچی های داخلی دستگاه جلوگیری کند.

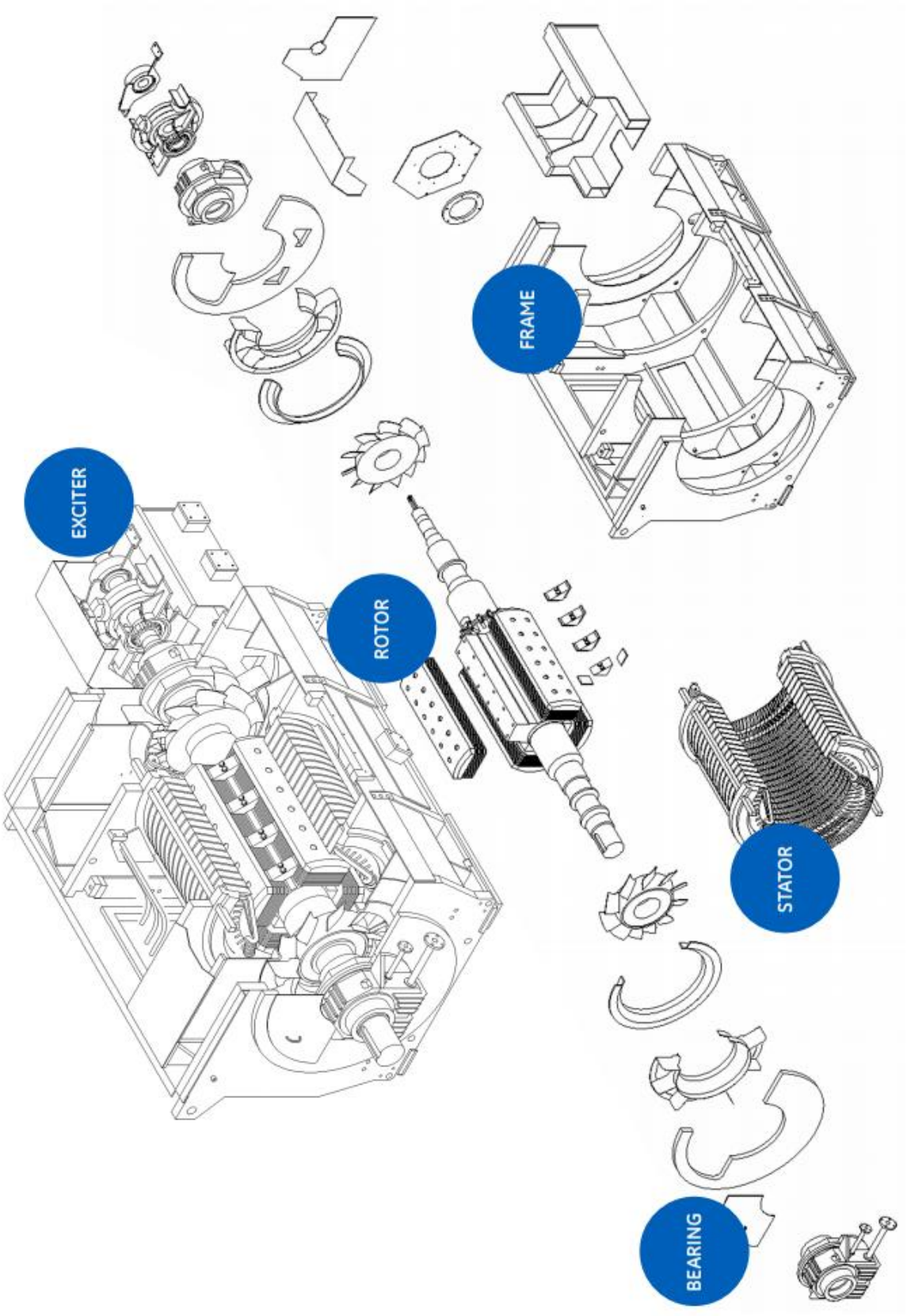


(Rewind)

یکی از تکنولوژی های به کار رفته در ساخت استاتور ها این است که قسمت داخلی استاتور ها که قطب برجسته است را به صورتی طراحی میکنند که مانند هیت سینک باعث خنک شدن هسته و قطب شود تا بتوان از شار بیشتری برای القای الکترو مغناطیس در آن استفاده کرد و تولید را افزایش داد .

این طراحی به گونه ای است که محل بیرون زدگی قطب کمی بیشتر از قسمت سیم پیچی به سمت مرکز مقطع کشیده میشود تا از اول تا انتهای استاتور یک تونل ایجاد کند تا پره های ابتدا و انتهای روتور جریان هوای خنک را در این تونل را تامین کند. سپس با تعامل گرمایی سطح بیشتر فلز (روی قطب) با هوای خنک عمل خنک سازی انجام میشود و هسته استاتور خنک میشود که باعث خنک شدن سیم پیچی ها (شمش مسی) میشود که در داخل این تونل های هوایی قرار دارند.

در شکل روبرو دو ردیف شمش مسی برای روتور که داخل استاتور قرار میگیرد مشاهده میکنید.



شکل 47 قسمت های مختلف یک ژنراتور با روتور 4 قطب

42- نیروگاه بخاری خورشیدی زمین گرمایی (GSCPP)

طرح کلی ترکیب زمین گرمایی با انرژی الکتریکی در SCPP در شکل 48 نشان داده شده است. همانگونه که در این شکل نشان داده شده، آب زمین گرمایی دما بالا از زمین توسط یک پمپ بیرون کشیده شده و در حوضچه ذخیره حرارت ریخته میشود.

حوضچه ذخیره حرارت برای اهداف زیر بکار میرود:

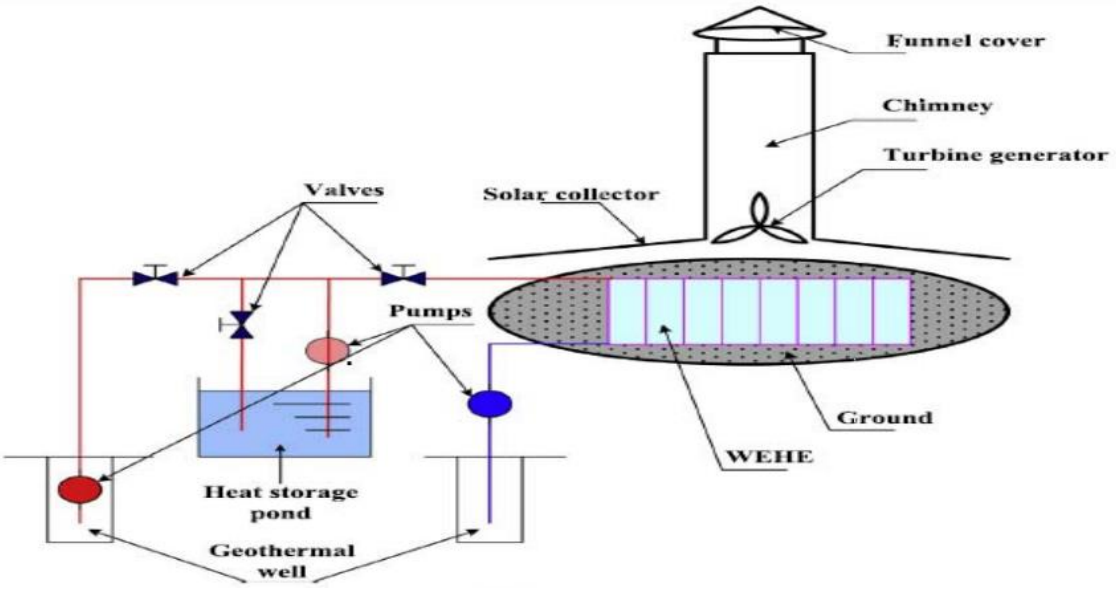
(1) برای برخی فرایندهای اصلی مانند ته نشینی شن و ماسه،

(2) برای حفظ تولید زمین گرمایی متغیر،

(3) برای کنترل نرخ آب زمین گرمایی برای GSCPP و

(4) به منظور ذخیره انرژی.

سپس آب (WEHE) روی زمین و داخل کلکتور خورشیدی 3 زمین گرمایی داغ از مخازن زمین گرمایی برای تبادل حراراتی آب به زمین قرار میگیرد . بعد از ارسال این حرارت به زمین، آب زمین گرمایی به سمت تزریق زمین گرمایی باز میگردد.



شکل 48 نیروگاه ترکیبی خورشیدی زمین گرمایی

43- بررسی اقتصادی نیروگاههای زمین گرمایی

هزینه مربوط به ساخت و راه اندازی یک نیروگاه زمین گرمایی، در حد وسیعی، می تواند تغییر کند و به ضرایب زیر مربوط میشود:

- 1) نوع منبع(بخار یا آب گرم)
- 2) اندازه نامی نیروگاه
- 3) دمای منبع
- 4) نوع نیروگاه(دوبل،تکی،باینری و...)
- 5) محصول از نظر حجمی مخزن
- 6) تغییرات آب و هوایی
- 7) هزینه سرمایه گذاری
- 8) هزینه کار

سه ضریب اول(1،2،3 ،)از تعداد چاه هایی که باید حفر شود متأثر میشود. سه مورد دیگر(4،5،6 ،)هزینه سرمایه گذاری سیستم مبدل انرژی را تعیین می کند. دو مورد آخر هم(7،8 ،)به هزینه بهره برداری طرح، مثل قیمت و هزینه سرویس، بهره برداری و نگهداری ، مربوط میشود. هزینه های سرمایه گذاری، بر حسب کیلووات تغییر می کند و این تغییر به صورت معکوس نسبت به دما مقادیر نامی خواهد بود. هزینه های نگهداری و تعمیرات سالانه، با مقادیر نامی، افزایش می یابد اما وابسته به دمای سیال زمینی و اندازه طرح است .

استفاده از منابع زمین گرمایی، نظیر سایر منابع سوخت فسیلی، مستلزم سرمایه گذاری سنگینی است که به منظور اکتشاف، حفاری، توسعه میدان زمین گرمایی،خرید دستگاه ها و تجهیزات نیروگاهی و جانبی بایستی در نظر گرفته شود. 30 درصد از هزینه های یک نیروگاه زمین گرمایی مربوط به حفاری و هزینه های توسعه منابع بوده و70 درصد مربوط به نیروگاه می باشد. قابلیت تولید الکتریسیته از هر چاه تابعی از مشخصات ترمو دینامیکی(فاز ودرجه حرارت)سیال موجود در منبع بوده و هر چه درجه حرارت سیال بالاتر باشد، تعداد چاه های مورد نیاز کمتر و در نتیجه هزینه مربوط به حفاری کاهش میابد.

در کاربردهای غیر مستقیم، که فقط برای تولید برق میباشد هزینه های صرف شده برای راه اندازی یک نیروگاه، خیلی زیاد بوده و بسته به نوع نیروگاه متفاوت میباشد. که با این حساب، زمان بازگشت سرمایه اولیه، بیشتر میگردد و در نهایت بعد از برگشت سرمایه، برق تولیدی نیروگاه، حاصل انرژی اولی های خواهد بود که برای آن انرژی، هیچ هزینهای پرداخت نشده است. راندمان سیستم تبخیر آنی، بیش از سیستم باینری است. علت پایین بودن راندمان نیروگاه های زمین گرمایی، پایین بودن درجه حرارت و فشار بخار و همچنین ترکیب شیمیایی بخار زمین گرمایی است که با بخار آب خالص متفاوت بوده و حاوی مقادیر متغیری از گازهای غیر قابل میعان از قبیلCO_2 ،H_2S، NH_3،CH_4،H_2و N_2می باشد.که موجب اختلال در پروسه تولید برق و در نتیجه کاهش راندمان می گردند.

ملاحضات اقتصادی

پیش از اخذ تصمیم نهایی راجع به مناسب ترین شکل بهره برداری از منابع ژئوترمال موجود، نکات مهمی وجود دارد که باید آنها را به دقت مدنظر قرار داد:

۱- سیالات ژئوترمال می توانند از طریق لوله هایی با عایق بندی حرارتی مناسب تا فواصل نسبتاً دور انتقال داده شوند. در شرایط ایده ال لوله ها می توانند ۶۰ کلیومتر طول داشته باشند با این حال، خطوط لوله، تجهیزات جانبی مورد نیاز (پمپ ها، شیرها و غیره) و تعمیر و نگهداری آنها همگی بسیار پرهزینه اند و می توانند تا حدود زیادی، هزینه سرمایه گذاری و هزینه های جاری یک واحد ژئوترمال را افزایش دهند، از این رو لازم است فاصله بین منبع ژئوترمال و سایت بهره برداری تا حد امکان کوتاه باشد.

۲- هزینه سرمایه گذاری یک واحد ژئوترمال معمولاً بیشتر، و گاهی اوقات بسیار، بیشتر از هزینه یک واحد مشابه است که با سوخت رایج کارمی کند. بالعکس، انرژی فعال ساز یک واحد ژتوترمال بسیار ارزان قیمت تر از انرژی حاصل از یک سوخت رایج است و همینطور است در مورد هزینه تعمیر و نگهداری اجزاء ژئوترمال واحد (لوله ها، شیرها، پمپ ها، مبدل های حرارتی و غیره). هزینه سرمایه گذاری افزون تر باید از طریق صرفه جویی در هزینه انرژی جبران شود از این رو لازم است سیستم بهره برداری از منبع طوری طراحی شود که عمر آن به حد کافی طولانی باشد تا سرمایه گذاری اولیه و ، هرجا که ممکن باشد، حتی بیشتر ازآن را، مستهلک سازد.

۳- با اتخاذ سیستم های مرکب (Integrated systems) که ضریب بهره برداری بالاتری را برای ما فراهم می سازند (مثلاً ترکیب گرمایش و سرمایش محیطی) یا سیستمهای آبشاری (Cascad systems) که در آنها چند واحد بصورت یک مجموعه به یکدیگر متصل می شوند و هر واحد از پساپ خروجی واحد بالادستی خود تغذیه می کند (بعنوان مثال، تولید، برق + گرمایش گلخانه ای + دامپروری) می توان صرفه جویی های محسوسی حاصل نمود.

۴- برای کاهش هزینه تعمیر و نگهداری و تقلیل دفعات خاموشی سیستم لازم است، پیچیدگی فنی واحد در حدی باشد که فهم آن برای پرسنل فنی محلی یا کارشناسی که دسترسی به آنها به سهولت امکان پذیر است میسر باشد. در حالت ایده ال فقط باید در مواقعی از متخصصین فنی بسیار خبره یا سازندگان سیستم یاری طلبید که نیاز به تعمیرات بسیار گسترده بوده یا خرابی های وسیعی به بار آمده باشد.

۵- نهایتاً ، اگر قرار باشد واحد ژئوترمال به تولید فرآورده های مصرفی بپردازد، در این صورت باید پیشاپیش ارزیابی دقیقی از وضعیت بازار بعمل آورد تا بتوان فروش مناسب این محصولات را تضمین نمود. همچنین باید تمامی زیر ساختهای مورد نیاز برای انتقال محصول نهایی از محل تولید به بازار مصرف پیشاپیش موجود بوده یا در طرح اولیه لحاظ گردد .

هزینه تمام شده (شامل هزینه های ساخت، حمل ونصب تجهیزات)

الف) نیروگاه سرچاهی خروجی- اتمسفری و خروجی- کندانس

این ارقام را باید دقت و احتیاط کافی بکار برد، زیرا تفاوت ملاحظه ای بین هزینه طرحهای مختلف مشاهده می شود با اینحال می توان انتظار داشت که هزینه ساخت، حمل و راه اندازی نوعاً به شرح زیر باشد (بر حسب ارزش دلار آمریکا درسال ۱۹۹۳):

خروجی – اتمسفری (۲/۵ Mw)	۱۲۵۰ دلار به ازاء هر کیلو وات برق خالص تولیدی
خروجی – اتمسفری (۵ Mw)	۱۰۵۰ دلار به ازاء هر کیلو وات برق خالص تولیدی
خروجی – کندانس (۵ Mw)	۱۶۹۰ دلار به ازاء هر کیلو وات برق خالص تولیدی
خروجی – کندانس (۱۰ Mw)	۱۴۸۵ دلار به ازاء هر کیلو وات برق خالص تولیدی

- (-) بدون احتساب هزینه چاهها
- (-) سیستم کوتاه انتقال بخار
- (-) سیستم ساده ترزیق مجدد
- (-) خطوط کوتاه انتقال نیرو
- (-) وجود کمتر از ٪۵ گاز در ترکیب سیال
- (-) بدون احتساب هزینه های خدماتی و مالیاتی

بین هزینه طرح های مختلف مشاهده می شود علی الخصوص، دمای ورودی سیال ژئوترمال، تاثیر قابل ملاحظه ای بر هزینه واحد نیروگاهی دو سیاله دارد ورودی سیال بر سایز توربین، مبدل های حرارتی و برج های خنک کن مورد نیاز جهت تولید یک توان خروجی تاثیر گذار است و سایز تجهیزات نیز از این امر تبعیت می کند.

واحداهای نیروگاهی دو فازی

این ارقام را باید با دقت و احتیاط کافی بکار برد، زیرا تفاوت قابل ملاحظه ای بین هزینه طرح های مختلف مشاهده می شود.. یکی از مزایای عمده اقتصادی واحد های نیروگاهی دو فازی، عدم نیاز آنها به بهره گیری از یک سیستم مجزا برای جدایش بخار آب از ترکیب اولیه سیال ژئوترمال می باشد با اینحال می توان انتظار داشت که هزینه ساخت نصب و راه اندازی یک واحد سرچاهی دو فازی که آنتالپی سیال ورودی در حدود KJ/Kg ۱۱۰۰است، نوعاً به شرح زیر باشد.

(بر حسب ارزش دلار آمریکا در سال ۱۹۹۳)

واحد دو فازی با خروجی مستقیم به محیط اطراف	۱۷۵۰ دلار به ازاء هر کیلو وات برق تولیدی
واحد دو فازی تقدمی همراه با توربین خروجی - اتمسفری	۱۶۲۰ دلار به ازاء هر کیلو وات برق تولیدی
واحد دو فازی تقدمی همراه با توربین خروجی- کندانس	۱۴۹۰ دلار به ازاء هر کیلو وات برق تولیدی

- (-) آنتالپی سیال در حدود $\frac{KJ}{Kg}$ ۱۱۰۰
- (-) بدون احتساب هزینه چاهها
- (-) سیستم کوتاه انتقال بخار
- (-) سیستم ساده تزریق مجدد
- (-) خطوط کوتاه انتقال نیرو
- (-) بدون احتساب هزینه های خدماتی و مالیاتی

ملاحضات اقتصادی مربوط به نیروگاه های کوچک ژئوترمال

در این قسمت به بررسی ویژگی های اقتصادی نیروگاهی کوچک ژئوترمال خواهیم پرداخت این مبحث اساساً به توربین های بخار متداول از نوع خروجی- اتمسفری یا خروجی – کندانس اختصاصی دارد. با اینحال می توان اصول کلی مباحث مطروحه را بطور مشابه به واحد های نیروگاهی دو سیاله یا دو فازی نیز تعمیم داد.

اقتصاد مقیاس

مطابق قواعد اقتصادی مربوط به مقیاس نیروگاه ها، هزینه مخصوص واحد های کوچک (هزینه لازم برای نصب هر کیلو وات ظرفیت تولید) همواره بیش از واحد های بزرگتر است. با این حال، انواع هزینه های عمده ناشی از بکارگیری واحد های بزرگتر که در ذیل به شرح یکایک آنها خواهیم پرداخت خود پاسخ روشنی بر این سوال اساسی است که چرا غالباً واحد های نیروگاهی کوچکتر بعنوان بخش ثابتی از طرح های اجرایی سود آوری مورد استفاده قرار می گیرند.

پاسخگویی به روند رشد تقاضا

هنگامی که واحدهای بزرگ به یک سیستم افزود می شوند، یک هزینه اضافی به سیستم تحمیل می شود که ناشی از تامین ظرفیت بزرگتر (بیش از حد نیاز) برای یک دوره زمانی طولانی است واین زمانی که رشد تقاضا، اثر ظرفیت اضافی نصب شده را خنثی کند، ادامه خواهد یافت.

ظرفیت ذخیره کافی (بیش از حد نیاز سال خشک) باید در سیستم فراهم باشد تا بتوان واحد نیروگاهی را برای انجام تعمیرات دوره ای و همچنین برای خاموشی اجباری از مدار خارج ساخت. یک معیار دلخواه مفید که مورد استفاده قرار می گیرد مجموع ظرفیت اولین و سومین واحد بزرگ و فعال سیستم می باشد استفاده از واحدهای بزرگ در سیستم کوچک در یک سیستم کوچک بدین معنا خواهد بود که ظرفیت ذخیره مورد نیاز می تواند بخش بزرگی از ظرفیت نصب شده را به خود اختصاص دهد. هزینه فراهم نمودن این ظرفیت اضافی، یک هزینه اضافی است که می توان آن را به استفاده از واحدهای بزرگ نسبت داد.

در ادامه این بحث چنانچه ما یک سیستم با واحدهای کاملاً مشابه را در نظر بگیریم که هریک نیاز دارند تا یک ماه از هر سال را برای انجام عملیات تعمیراتی از مدار خارج شوند، سپس قادر باشند تا یک بار ثابت را با کوچکترین سطح ظرفیت ذخیره تامین کنند، در این صورت لازم است این سیستم سیزده واحد مشابه داشته باشدکه هر یک قادر باشند یک دوازدهم بار سیستم را تامین نمایند. واحدهای دارای سایزهای کوچکتر یا بازرگتر از نیاز به ظرفیت بزرگتر (یا حداقل مساوی) خواهند داشت.

ضریب ظرفیت

این ضریب بصورت زیر محاسبه می شود:

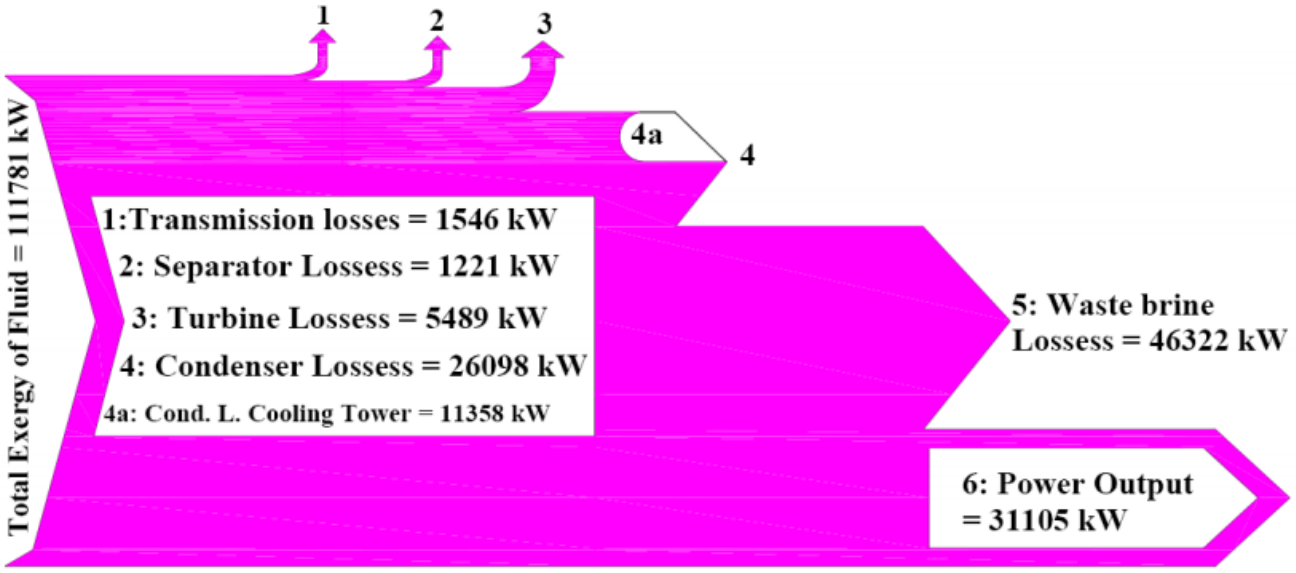
(Kw)ظرفیت (Kw) / میانگین بار تولید شده در یک دوره زمانی معین و (h) تعداد ساعات آن دوره (Kw)× ظرفیت (Kwh) / (کل انرژی تولید شده در یک دوره زمانی معین این ضریب، وسیله ای است برای اندازه گیری نسبت انرژی تولید شده از یک ایستگاه به حداکثر تولید انرژی ممکن.

گزینه های تولید از قبیل توربین آبی، توربین (زغال-سوزبخار، توربین گازی ،مولد دیزلی و ژئوترمال)، هر یک نیازمند برقراری موازنه خاصی بین هزینه های ثابت و هزینه های متغیر می باشند. هزینه های ثابت، هزینه هایی را گویند که تحت تاثیر میزان حقیقی توان تولید شده قرار نمی گیرند، نظیر هزینه سرمایه گذاری اولیه نیروگاه. هزینه های متغیر، هزینه هایی را گویند که به میزان حقیقی توان تولید شده بستگی دارند نظیر هزینه سوختی زغال سنگ یا دیزل. تاثیر میزان حقیقی توان تولید شده قرار نمی گیرند، نظیر هزینه سرمایه گذاری اولیه نیروگاه. هزینه های متغیر، هزینه هایی را گویند که به میزان حقیقی توان تولید شده بستگی دارند، نظیر هزینه های سوختی زغال سنگ یا دیزل .
هزینه های یک گزینه تولید باید از طریق فروش انرژی تولید شده توسط نیروگاه (Kwh) در طول دوره حیات اقتصادی آن مسترد گردد. برای هر گزینه تولید، همان اندازه که ظرفیت و به تبع آن مقدار انرژی تولید شده کاهش یابد، بخش مربوط به هزینه های ثابت که باید از طریق فروش هر واحد انرژی تولید شده مسترد گردد، افزایش می یابد.این مساله، هزینه واحد آن گزینه تولید را افزایش می دهد هزینه واحد تولید تحت تاثیر بخش مربوط به هزینه های متغیر قرار نمی گیرد، با اینحال، همانند کلیه هزینه های متغیر (نظیر هزینه سوخت) متناسب با کاهش تولید کاهش می یابد.

ویژگی بارز تولید ژئوترمال، برخوداری از هزینه ثابت بسیار سنگین در مقایسه با هزینه های متغیر پایین آن است بنابراین، به همان نسبت که ضریب ظرفیت کاهش می یابد هزینه واحد برق ژئوترمال با یک نرخ بسیار بزرگتر از گزینه های سوختی – فسیلی نظیر واحدهای زغال – سوز بخار ، توربینهای گازی یا مولد های دیزلی افزایش می یابد در ضرایب بسیار پایین (کوچکتر از ۱۵-۱۰٪) توربین گازی همواره ارزانترین وسیله ممکن برای تامین ظرفیت مورد نیاز یک سیستم بزرگ به شمار می رود، و برای یک سیستم کوچک، مولد احتراق- داخلی دیزلی.

این فقط بدلیل اقتصادی است که واحدهای ژئوترمال معمولاً فقط برای کاربردهای با ضرایب ظرفیت بزرگ (بار پایه) مناسب می باشند. از یک نقطه نظر فنی مطلقاً هیچ مشکلی در طراحی یک ایستگاه ژئوترمال برای تامین بارهای سبک یا کار در ضرایب ظرفیت یا بار کوچک وجود ندارد مقایسه دقیق اقتصادی جایگزین های سوخت- فسیلی برای این نوع کاربردهای خاص الزامی است.

44- نمودار تلفات بخش های مختلف



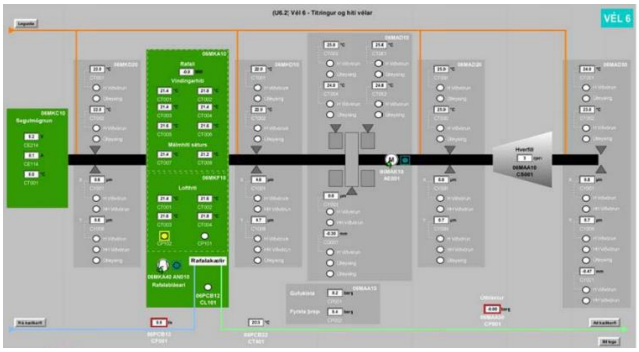
همانگونه که در تصویر بالا مشاهده نمودید قسمت بسیار کوچکی از انرژی سیال خروجی به انرژی الکتریکی و مفید تبدید میشود. و بخش اعظمی از ان در چرخه تولید نابود میگردد. این تلفات که ناشی از موارد ذکر شده در بحث های مطرح شده پیشین میباشد توسط محاسبه ظرفیت و تحقیق در مورد تجهیزات و نوع سیستم استخراج انرژی قبل از احداث نیروگاه تا حدی قابل کاهش است . البته نقش مهندسی کنترل در قسمت اتوماسیون نیروگاه بسیار مهم میباشد . به کمک اتوماسیون و رصد لحظه به لحظه میزان دما و فشار و ... قسمت های مختلف از جمله سیال ها و تجهیزات نیروگاه میتوان با استفاده از متد کنترل دقیق و لحظه ای فرایند از حداکثر توان نیروگاه در لحظه استفاده نمود. ممکن است سیال خروجی در لحظات متفاوت فشار و دبی کاملا متفاوتی از چاه بیرون بیاید و این کاهش یا افزایش فشار و دبی میتواند ایجاد نوسان در سیستم تولید کند و منجر به اسیب دیدن بخشی از تجهیزات تولید نیرو شود . این خسارت میتواند با مانیتورینگ رایانه ای و کنترل از طریق برنامه رایانه ای رفع یا به صورت کمترین مقدار رخ دهد .

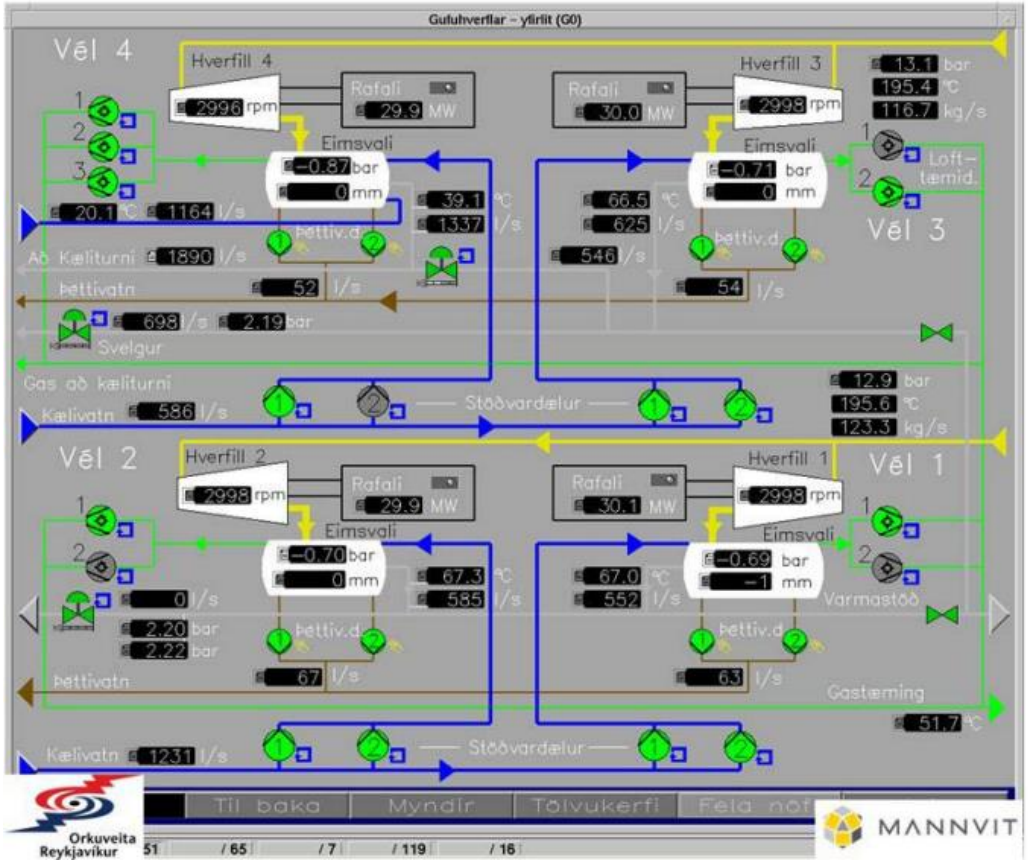
به طور مثال لازم است وقتی دبی ورودی از سمت چاه های زمین گرمایی از یک حد معین فراتر میرود شیر های متصل به جداکننده ها یا دیگر تجهیزات کمی بصورت پیوسته و نه گسسته مقدار این دبی را تنظیم کند تا تولید کنترل شود و از مشکلاتی همچون بریدن شفت توربین یا ژنراتور جلوگیری کند . یا ممکن است اگر ژنراتور از نوع القایی یا همن آسنکرون باشد با اعمال بیش از حد گشتاور ژنراتور گشتاور شکست را رد کرده و روتور آزادانه چرخش کند که باعث افت ولتاژ در شبکه و آسیب به تجهیزات دیگر انتقال شود .

در تصاویر زیر مشخص است که اتوماسیون شیر ها و دیگر تجهیزات کنترل کننده عملیاتی چگونه با پارامتر های وابسته و مرتبط به اطلاعات سنسور ها و دیگر متغیر های تعریف شده در سیستم کنترل و رصد میشود.

با ادواتی همچون plc و سیستم رابط کاربری بصری hmi میتوان این فرایند ها را به صورت اتوماتیک و رایانه ای کنترل نمود که درصد خطا را با حذف خطای انسانی و سرعت عمل بسیار بالا و عدم تاخیر در اجرای دستورات حفاظتی بسیار کم میکند.

گاهی به دلیل زیادبودن ورودی های سنسوری نیاز است ازچندین عدد plc استفاده شود که بنا به نوع و برند میتواند با استفاده از کابل lan یاکابل پروفی باس این هماهنگی و ارتباط بین دو کنترل کننده قابل برنامه ریزی لاجیکی انجام شود. در برخی قسمت ها لازم است به دلیل دور بودن و فاصله زیاد از تکنولوژی انتقال بیسیم در بستر gsm و wifi برای انتقال اطلاعات سنسور ها استفاده کرد .

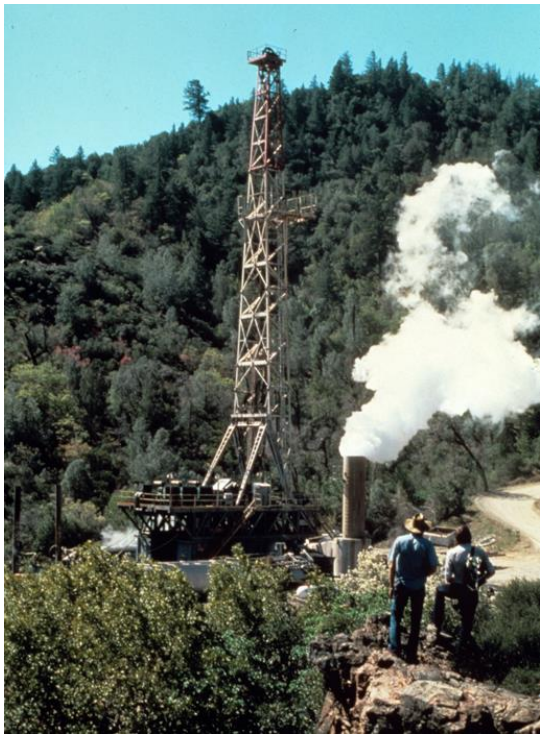




شکل 49 نمونه ای از شبکه کنترل قسمت های مختلف نیروگاه که به صورت رابط کاربری واسط میان ماشین و انسان برنامه ریزی شده است تا کار کنترل آسان تر و با ایمنی بیشتری انجام شود .

45- نگاهی مختصر به نیروگاه های بزرگ جهان و ایران

The Geysers Geothermal Complex, California, US – 1.2GW



شکل 50 حفاری در سال 1977

مجتمع زمین گرمایی Geysers واقع در 121 کیلومتری شمال سانفرانسیسکو ، کالیفرنیا ، شامل 15 نیروگاه است که آن را بزرگترین تاسیسات زمین گرمایی در جهان می کند. ظرفیت این مجتمع 1205 مگاوات است. Calpine دارای 13 نیروگاه در این مجتمع است که دارای ظرفیت خالص تولید 725 مگاوات هستند ، در حالی که دو نیروگاه با ظرفیت 240 مگاوات هر کدام به طور مشترک متعلق به آژانس برق شمال کالیفرنیا و Silicon Valley Power و همچنین گروه تجدیدپذیر ایالات متحده است. صاحب نیروگاه بوتل راک است. مساحت این مجموعه 78 کیلومتر مربع است. تولید از زمین زمین گرمایی در سال 1960 آغاز شد و در دهه 1980 به اوج خود رسید. تامین کنندگان توربین نیروگاه های مجتمع توشیبا و میتسوبیشی بخار بودند. Geysers بزرگترین میدان زمین گرمایی جهان است که مساحتی در حدود 30 مایل مربع (78 کیلومتر مربع) در استانهای Sonoma ، Lakeو Mendocino در California ، با مرکزیت در منطقه Geyser Canyon و کوه Cobb را شامل می شود. نیروگاه The Geysers برق مناطق سونوما ، لیک ، مندوسینو ، مارین و ناپا را تأمین می کند. تخمین زده می شود که توسعه 60 درصد از نیاز برق منطقه ساحلی بین پل گلدن گیت و خط ایالت اورگان را برآورده کند. بر خلاف بسیاری از منابع زمین گرمایی ، چاه ها یک میدان بخار خشک هستند که عمدتاً بخار فوق داغ تولید می کنند .

بخار مورد استفاده در The Geysers از مخزن ماسه سنگی greywacke تولید می شود که توسط مخلوطی ناهمگن از سنگهای کم نفوذپذیری پوشانده شده و توسط نفوذ سیلیکونی پوشانده شده است. مطالعات گرانش و لرزه نگاری نشان می دهد که منبع گرما برای مخزن بخار یک محفظه بزرگ ماگما است که بیش از 4 مایل (6.4 کیلومتر)

در زیر سطح و بیش از 13 مایل (13 کیلومتر) قطر دارد . اولین چاه های زمین گرمایی حفر شده در دره Geyser ، اولین چاه در نیمکره غربی بود.

در سال 1999 ، بخار استخراج نیرو شروع به تخلیه میدان بخار Geysers کرد و تولید شروع به کاهش کرد. با این حال ، از 16 اکتبر 1997 ، میدان بخار Geysers با تزریق پساب تصفیه شده مجدداً شارژ شده و تقریباً 77 مگاوات ظرفیت در سال 2004 تولید می کند. این فاضلاب تا 50 مایل (80 کیلومتر) از منبع خود در کارخانه های تصفیه فاضلاب Lake County Sanitation لوله کشی شده و از طریق تزریق زمین گرمایی به میدان بخار Geysers اضافه می شود. در سال 2003 ، شهر سانتا رزا و شرکت کالپین در ساخت خط لوله 42 مایل که در پروژه شارژ Santa Rosa Geysers (SRGRP) شناخته شد همکاری کردند. از سال 2003 ، SRGRP تقریباً 11 میلیون گالن در روز فاضلاب تصفیه شده درجه سوم را برای پر کردن مخزن زمین گرمایی The Geysers تحویل داده است. در سال 2004 ، 85 درصد پساب تولید شده توسط چهار تصفیه خانه فاضلاب که به 10 منطقه لیک کانتی خدمات می دادند به میدان بخار Geysers هدایت شد. تزریق آب تصفیه شده به میدان Geysers میزان تولید برق را افزایش می دهد . تزریق فاضلاب به چاه ها با هدایت پساب هایی که قبلاً در آب های سطحی قرار می گرفت ، از آبراه های محلی و دریاچه کلیر محافظت می کرد و بدون انتشار گازهای گلخانه ای در جو برق تولید می کرد.

شکل 51 نیروگاه زمین گرمایی Sonoma Calpine 3 در میدان Geysers در کوههای Mayacamas در شهرستان Somona ، کالیفرنیای شمالی. عکس گرفته شده به سمت شمال غربی از هلیکوپتر مجاور.

Larderello Geothermal Complex, Italy – 769MW

مجتمع زمین گرمایی لاردرلو ، شامل 34 واحد با ظرفیت خالص 769 مگاوات ، در توسکانی در مرکز ایتالیا واقع شده است. توان تولیدی این مجموعه تقریباً 10٪ از کل انرژی زمین گرمایی تولید شده در سراسر جهان را شامل می شود و 26.5٪ از نیازهای برق منطقه ای را تامین می کند.

Enel Green Power دارای نیروگاه های مجتمع است که به حدود دو میلیون خانواده ، 8700 مشتری مسکونی و تجاری و 25 هکتار گلخانه خدمات رسانی می کند. عمق مخزن در میدان زمین گرمایی از 700 متر تا 4000 متر زیر سطح زمین متغیر است. اولین کارخانه در میدان زمین گرمایی بیش از یک قرن پیش در سال 1913 راه اندازی شد و این اولین گیاه در نوع خود در جهان بود.

اولین نیروگاه لاردرلو دارای توان تولید 250 کیلو وات شامل توربین طراحی شده و ساخته شده توسط شرکت الکترو مکانیکی توسی بود. گیاهان زمین گرمایی در این میدان پس از نابودی در جنگ جهانی دوم بازسازی شدند.

منطقه لاردارلو گاهی اوقات فوران های کریتیک را تجربه می کند که ناشی از انفجارهای انفجاری بخار به دام افتاده در زیر سطح است. آب در سنگ های دگرگون وجود دارد که در آن تبدیل به بخار می شود و سپس در زیر گنبدی از سنگ و خاک رس غیر قابل نفوذ به دام می افتد. بخار از طریق گسل های گنبد خارج می شود و در چشمه های آب گرم مجبور به خروج می شود. دارای ده ها دهانه انفجار به قطر 30 تا 250 متر است. بزرگترین دهانه Lago Vecchienna است که آخرین بار در حدود 1282 فوران کرد ، در حال حاضر توسط دریاچه Boracifero پر شده است. لاردرلو در حال حاضر 10 درصد از کل برق زمین گرمایی جهان را تولید می کند که بالغ بر 4800 گیگاوات ساعت در سال است و حدود یک میلیون خانوار ایتالیایی را تأمین می کند. زمین شناسی آن را به طور منحصر به فردی برای تولید انرژی زمین گرمایی مساعد می کند ، با سنگ های گرانیت داغ که به طور غیرمعمول در نزدیکی سطح قرار گرفته اند و بخار گرم تا 202 درجه سانتی گراد (396 درجه فارنهایت) تولید می کنند. بر خلاف تصور عموم ، لاردرلو

یک آتشفشان نیست زیرا هیچ فوران ماگما در هیچ نقطه ای از تاریخ در آنجا رخ نداده است. این منطقه از قدیم به دلیل داشتن چشمه های آب گرم فوق العاده معروف بوده است. رومیان از چشمه های گوگردی آن برای حمام استفاده می کردند. در طول قرن 19 این یکی از اولین مکان هایی در جهان بود که در آن از انرژی زمین گرمایی برای حمایت از صنعت استفاده می شد. در سال 1827 ، فرانسوا ژاک دو لاردرل ، فرانسوی ، راهی برای استخراج اسید بوریک از گل با استفاده از بخار برای گرم کردن دیگ ها برای جدا کردن این دو اختراع کرد. لئوپولد دوم ، دوک بزرگ توسکانی از حامیان مشتاق طرح لاردرل بود و یک دهه بعد عنوان کنت Montecerboli را به او اعطا کرد. شهرکی به نام لاردرلو به افتخار کارهای لاردرل ، برای اسکان کارگران در کارخانه تولید اسید بوریک تأسیس شد. این منطقه محل آزمایش پیشگامانه در تولید انرژی از منابع زمین گرمایی در سال 1904 بود ، زمانی که پنج لامپ توسط برق تولید شده از طریق بخار خروجی از دریچه های موجود در زمین روشن شد - اولین نمایش عملی قدرت زمین گرمایی. شاهزاده پیرو جینوری کانتی اولین ژنراتور برق زمین گرمایی را در 4 ژوئیه 1904 در میدان بخار خشک لاردرلو در ایتالیا آزمایش کرد. این یک ژنراتور کوچک بود که چهار لامپ روشن می کرد. در سال 1911 ، اولین نیروگاه زمین گرمایی جهان در Valle del Diavolo ("دره شیطان") ساخته شد ، که به خاطر آب جوشانی که در آنجا بالا می آید نامگذاری شده است. تا سال 1958 ، هنگامی که نیوزلند کارخانه خود را در Wairakei احداث کرد ، تنها تولید کننده صنعتی برق زمین گرمایی در جهان بود. در سال های اخیر نگرانی هایی در مورد پایداری منبع بخار آن ابراز شده است ، زیرا 30 درصد افت فشار بخار از حداکثر سطوح 1950 ثبت شده است.

شکل 52 Larderello Geothermal Complex . italy

شکل 53 Geothermal borehole the Reykjanes Power Station

Hellisheiði Power Station (303 MW) Iceland

سومین نیروگاه بزرگ زمین گرمایی در جهان است. این تأسیسات در Hengill ، جنوب غربی ایسلند ، 11 کیلومتر (7 مایل) از نیروگاه زمین گرمایی نسجاولیر واقع شده است. ظرفیت نیروگاه 303 مگاوات برق و 133 مگاوات آب گرم [2] برای گرمایش منطقه ای ریکیاویک است. HGPS تحت مالکیت و اداره ON Power ، زیرمجموعه Reykjavík Energy است.

تولید برق با دو توربین 45 مگاواتی در سال 2006 آغاز شد. در سال 2007 ، یک توربین بخار فشار کم 33 مگاواتی اضافه شد. در سال 2008 ، دو توربین 45 مگاواتی با بخار از کوه Skarðsmýrarfjall اضافه شد. نیروگاه آب گرم در سال 2010 معرفی شد و دو توربین فشار بالا 45 مگاواتی در سال 2011 اضافه شد. به منظور کاهش آلودگی سولفید هیدروژن در منطقه پایتخت ، در سال 2014 سیستمی به نیروگاه اضافه شد که گازهای غیر قابل تراکم را مجددا به داخل زمین تزریق می کند. این نیروگاه به عنوان بخشی از نمایشگاه انرژی زمین گرمایی ، تورهای آموزشی و ارائه هایی درباره انرژی پایدار یا همان تجدید پذیر استفاده میشود . این بودجه توسط برنامه افق 2020 اتحادیه اروپا تأمین شد و سالانه 50 تن دی اکسید کربن را جذب می کند. دی اکسید کربن جذب شده ، به زمین تزریق می شود و کانی می شود. آب تازه زیرزمینی تا 50 درجه سانتی گراد گرم می شود. آب با تبادل حرارت تا 83 درجه سانتی گراد دوباره گرم می شود. آب گرم شده از طریق لوله ای به عرض 1 متر و طول 360 متر به مخزن ذخیره آب گرم 950 متر مکعب در محل کارخانه پمپ می شود. آب گرم بیشتر از طریق خط لوله زیرزمینی از پیش عایق به طول 19.5 کیلومتر با قطر 0.9 تا 1 متر به شهر ریکیاویک تأمین می شود. ساخت خط لوله اصلی آب گرم Hellisheidi در سال 2008 آغاز شد. این خط لوله در اواخر سال 2010 به بهره برداری رسید و حداکثر سرعت جریان آن 2250 لیتر در ثانیه است.

Nesjavellir Geothermal Power Station (120 MW) Iceland

شکل 54 Nesjavellir Geothermal Power Station

نیروگاه زمین گرمایی نسجاولیر دومین نیروگاه بزرگ زمین گرمایی در ایسلند است. این تأسیسات 177 متر (581 فوت) بالاتر از سطح دریا در قسمت جنوب غربی کشور ، در نزدیکی Thingvellir و آتشفشان Hengill واقع شده است. NGPS متعلق به ON Power و اداره آن است. برنامه های استفاده از منطقه نسااولیر برای برق زمین گرمایی و گرمایش آب در سال 1947 آغاز شد ، هنگامی که گمانه هایی برای ارزیابی پتانسیل تولید برق در این منطقه حفاری شد. تحقیقات از سال 1965 تا 1986 ادامه یافت. در سال 1987 ، ساخت نیروگاه آغاز شد و سنگ بنای آن در مه 1990 گذاشته شد. این ایستگاه تقریباً 120 مگاوات برق تولید می کند. همچنین حدود 1100 لیتر (290 گالن آمریکا) آب گرم 82 تا 85 درجه سانتی گراد (180 تا 185 درجه فارنهایت) در ثانیه - با ظرفیت گرمایش 150 مگاوات وات ، به گرمایش فضا و نیازهای آب گرم منطقه پایتخت پاسخ می دهد. این نیرگاه یک نیروگاه سیکل ترکیبی است که در آن مخلوطی از بخار و آب نمک زمین گرمایی از چاه ها به ایستگاه جداسازی مرکزی در دمای 200 درجه سانتی گراد و فشار 14 بار منتقل می شود. از آنجا مایع (بخار و مایع) به جدا کننده بخار می رود و دو فاز از هم جدا می شوند. رطوبت از بخار خارج می شود ، سپس به توربین ارسال می شود و سپس در یک کندانسور متراکم می شود. درون کندانسور آب شیرین از قبل گرم شده است. سپس آب شیرین پیش گرم شده از طریق سیستم مبدل های حرارتی عبور می کند که از گرمای قسمت مایع نمک پس از جدا کننده بخار استفاده می کند. آب شیرین تا دمای مورد نیاز گرم می شود و به دستگاه های تهویه مطبوع ارسال می شود که اکسیژن را از بین می برد. سرانجام مقدار کمی بخار زمین گرمایی حاوی گازهای اسیدی (سولفید هیدروژن) به آب تزریق می شود تا اکسیژن باقی مانده را حذف کرده و در نتیجه از خوردگی و پوسته پوسته شدن تجهیزات و لوله ها جلوگیری میکند. این آب گرم سپس به یک مخزن ذخیره بزرگ در ارتفاع 406 متر پمپ می شود. از آنجا ، آب گرم به صورت گرانشی به دو مخزن ذخیره سازی کوچکتر در حومه ریکیاویک منتقل می شود تا برای گرمایش و آب لوله کشی گرم استفاده شود.

Krafla Power Station Iceland (60 MW)

نیروگاه زمین گرمایی کرافلا یک مرکز تولید برق زمین گرمایی است که در ایسلند ، نزدیک آتشفشان کرافلا و دریاچه مواتن واقع شده است. این نیروگاه با 33 چاه بزرگترین نیروگاه ایسلند محسوب می شود و می تواند سالانه 500 گیگاوات ساعت برق با ظرفیت نصب شده 60 مگاوات تولید کند. کار ساخت و ساز در سال 1974 آغاز شد ، اما به دلیل فعالیت های آتشفشانی در این منطقه ، ساختمان فراین آن کند شد. نیروگاه کرافلا رسماً در اوایل سال 1977 راه اندازی شد ، اما تنها پس از نصب توربین بخار دوم در سال 1996 توانست با ظرفیت کامل 60 مگاوات تولید کند. در ابتدا این نیروگاه متعلق به دولت بود ، اما در سال 1985 خریداری شد و از آن پس توسط Landsvirkjun (شرکت ملی برق) اداره می شود. حدود 15 کارمند به صورت تمام وقت در آنجا کار می کنند. نیروگاه زمین گرمایی کرافلا متشکل از دو واحد 30 مگاواتی با دو توربین ورودی فشار و دو جریان با 5 پله در هر طرف است. انرژی خود را از 17 چاه تولید فشار قوی با 110 کیلوگرم در ثانیه و فشار 7.7 بار و به دلیل فناوری های جدید ، 5 چاه تولید فشار کم با 36 کیلوگرم بر ثانیه با فشار 2.2 بار می گیرد. از هفت چاه دیگر استفاده نمی شود. توربین ها 52.5 و 17.8 کیلوگرم بر ثانیه بخار فشار بالا و پایین مصرف می کنند. اگر فشار ورودی و جریان جرمی افزایش یابد ، خروجی هر توربین را می توان به 35 مگاوات افزایش داد. یکی از چاههای اضافی (IDDP-1) ، که در سال 1999 در مخزن زمین گرمایی کرافلا حفر شد ، به عنوان گرمترین چاه زمین گرمایی جهان شناخته می شود ، زیرا گمانه آن در پایین ترین نقطه خود ، با دمای 430 درجه سانتی گراد ، به ماگما می رسد. حق استفاده از چاه متعلق به بخش خصوصی است. کار ساخت نیروگاه زمین گرمایی کرافلا در سال 1974 و با ایجاد چاه های آزمایشی پس از امضای قرارداد بر روی دو واحد برنامه ریزی شده آغاز شد. پس از شروع حفاری ، فعالیتهای لرزه ای و آتشفشانی در این منطقه ساختمان نیروگاه را تهدید کرد ، مانند فوران های آتشفشانی عمده در فاصله کمتر از 2 کیلومتری نیروگاه ، و این احتمال را مطرح کرد که هرگز کار نخواهد کرد. با این وجود ، ساخت این نیروگاه در اوایل سال 1977 به پایان رسید و در سال 1978 راه اندازی شد در سال 1996 چاه های بیشتری حفر شد و یک توربین دوم نیز نصب شد ، اما Krafla تنها در سال 1999 ، پس از اتمام بازسازی ، که عمدتاً شامل تجدید سیستم جمع آوری بخار به منظور مطابقت با استانداردها بود ، توانست در 60 مگاوات کار کند. ورودی فشار دوگانه به توربین ها و به طور کلی سیستم کنترل و ایمنی. دو شرکت که مهندسی نیروگاه زمین گرمایی Krafla را از اوایل مراحل توسعه آن بر عهده داشتند Mannvit و Verkís بودند.

شکل 55 Krafla Power Station

تصاویری از نیروگاه زمین گرمایی کرافلا در فصول متفاوت

نیروگاه زمین‌گرمایی مشگین‌شهر

نیروگاه زمین‌گرمایی مشگین‌شهر (استان اردبیل، در نزدیکی مشگین‌شهر)، یکی از نیروگاه‌های ایران از نوع زمین‌گرمایی با ظرفیت تولید ۵۵ مگاوات است. در این نیروگاه آب از طریق لوله به زیر زمین تزریق می‌شود و با گرمای ۲۵۰ تا ۵۰۰ درجه، آب به بخار تبدیل شد و سپس این بخار به سطح زمین آمده و توربین بخار را به گردش درمی‌آورد. براساس مطالعات دفتر انرژی زمین‌گرمایی سازمان انرژی‌های نو ایران (سانا)، منطقه مشگین‌شهر بهترین نقطه برای استفاده از ظرفیت انرژی زمین‌گرمایی در کشور است به طوری که مهمترین هدف این دفتر، ساخت و راه‌اندازی نیروگاه زمین‌گرمایی به ظرفیت اسمی ۱۰۰ مگاوات در این منطقه‌است. بر اساس مطالعات صورت گرفته، دامنه‌های سبلان در مشگین‌شهر قابلیت ساخت نیروگاه برق تا ۴۰۰ مگاوات را دارد.

بررسی مطالعات موجود و برنامه‌ریزی برای نصب و راه اندازی نیروگاه زمین‌گرمایی مشگین‌شهر از سوی گروه نیروگاهی دفتر انرژی زمین‌گرمایی از سال ۷۴ آغاز شد. فعالیت‌های اجرایی این طرح با هدف احداث نخستین نیروگاه زمین‌گرمایی در ایران از سال ۷۷ شروع و با تعیین نقاط حفاری‌های اکتشافی مطالعه در فاز اکتشافی در سال ۷۸ به پایان رسید. بر اساس مطالعات گروه نیروگاهی دفتر انرژی زمین‌گرمایی، اولین چاه اکتشافی زمین‌گرمایی مشگین‌شهر در سال ۸۱ به صورت عمودی با عمق سه هزار و ۲۰۰ متر و دمایی بالغ بر ۲۵۰ درجه سانتیگراد حفر شده‌است. چاه اکتشافی دوم به صورت انحرافی در سال ۸۳ به عمق سه هزار و ۱۷۷ متر حفر شد که دمای انتهای چاه ۱۴۰ درجه سانتیگراد است و پس از آن چاه اکتشافی سوم به صورت انحرافی و به عمق دو هزار و ۲۶۵ متر و با دمای ۲۱۱ درجه سانتیگراد حفاری شد. از مجموع ۱۷ چاه پیش بینی شده برای این نیروگاه، تاکنون ۱۱ چاه حفر شده و سه چاه نیز مرحله آزمایش خروج بخار را با موفقیت سپری کرده‌است. در این نیروگاه آب از طریق لوله به زیر زمین تزریق می‌شود و با گرمای ۲۵۰ تا ۵۰۰ درجه، آب به بخار تبدیل شد و سپس این بخار به سطح زمین آمده و توربین بخار را به گردش درمی‌آورد. واقع شدن این نیروگاه در منطقه توریستی سبلان به حفظ محیط زیست منطقه و ظرفیت‌های گردشگری استان کمک خواهد کرد.

این واحد نیروگاهی با استفاده از چرخه تک فلش به تولید برق از سیال خروجی میپردازد . از فناوری بخار فلاش تک در جایی استفاده می شود که منابع گرمابی از نوع مایع هستند. مایع تولید شده وارد جداکننده ای می شود که بخار را از مخلوط دو فاز جدا می کند. سپس بخار از طریق توربین متصل به ژنراتور برای نیروگاههای بخار خشک عبور داده می شود. اکثریت مایع زمین گرمایی به عنوان فاز آبی باقی می ماند و این مایع مجدداً به مخزن تزریق می شود یا در برنامه

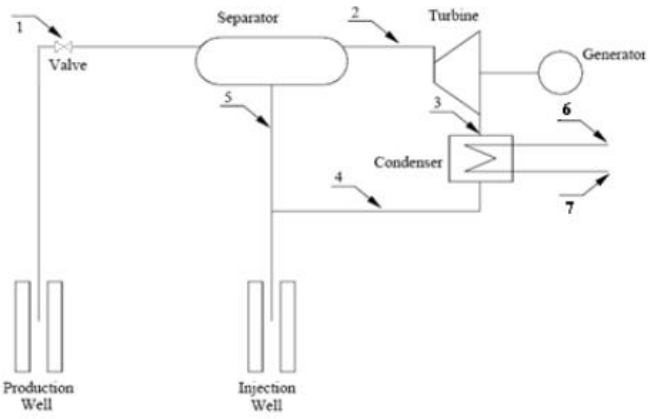


Figure 2. A process diagram of a single flash cycle.

حرارت مستقیم محلی استفاده می شود. از طرف دیگر ، اگر مایع جداکننده دارای دمای کافی بالا باشد ، می توان آن را به جدا کننده دوم (جدا کننده فشار کم) منتقل کرد ، جایی که افت فشار باعث چشمک زدن بیشتر به بخار می شود. این بخار ، همراه با خروجی از توربین ، برای حرکت توربین دوم یا مرحله دوم توربین اصلی برای تولید برق اضافی استفاده می شود. به طور معمول ، افزایش 20 تا 25 درصدی در توان خروجی حاصل می شود و 5 درصد در هزینه های نیروگاه افزایش می یابد . اندازه ژنراتورهای کارخانه بخار فلش بین 10 تا 55 مگاوات است ، اما اندازه استاندارد 20 مگاوات در برخی از کشورها از جمله فیلیپین و مکزیک استفاده می شود .

شکل 56 نیروگاه زمین گرمایی سبلان در دامنه کوه آتش فشانی سبلان

46. نتیجه گیری و پیشنهادات

با توجه به پتانسیل بالای تولید انرژی زمین گرمایی در اقصی نقاط ایران و همچنین ضرورت حفظ درآمد ارزی از طریق صادرات در حوزه نفت لازم بر این است که توسعه و تحقیق و اکتشافات جدید و بیشتری در سطح کشور برای بهره مندی از انرژی زمین گرمایی و تولید انرژی برق پاک صورت گیرد .

نیروگاه زمین گرمایی سبلان در مشگین شهر در حال حاضر برای تولید 100 مگاوات توان در حال توسعه و ساخت است که بنا به تحقیقات و ارزیابی صورت گرفته در منطقه میتوان این ظرفیت را تا توان 400 مگاوات افزایش داد که قادر به پاسخ گویی بخش عظیمی از نیاز های شهر میباشد و توان مازاد را میتوان وارد شبکه برق سراسری نمود تا در صورت مصرف کمتر از حد ظرفیت و نیاز شبکه قدرت سراسری این توان به شبکه منتقل و در آنجا مصرف شود.

استفاده از فناوری های روز دنیا در حین فرایند های اکتشافی و تحقیق و ساخت کمک بسیار زیادی به افزایش راندمان و بازده بیشتر در تولید خواهد داشت .

مهندسی معکوس و ساخت ژنراتور ها و توربین های با فشار کم مخصوص این نیروگاه در شرکت های دانش بنیان نظیر مپنا میتواند از برون رفت ارز جلوگیری کند و اشتغال زایی در کشور ایجاد کند . همچنین با آزمون و خطا و تحقیق در رابطه با ساختار های نوین در ساختمان ژنراتور میتوان تکنولوژی بومی را تقویت نمود و صاحب فناوری های انحصاری ساخت تجهیزات نیرو در سطح کشور و جهان شد .

نتیجه این امر میتواند باعث صادرات تجهیزات و همچنین دعوت به پروژه های طراحی و بهره برداری این نیرو در کشور های دیگر شود که ارز آوری بسیار زیادی به همراه خواهد داشت. که در نتیجه منجر به تربیت متخصصان ماهر در داخل و پیشرفت دانش در این حوزه میشود.

افزایش راندمان با بهینه کردن تجهیزات و کنترل آنها با سیستم های دیجیتالی و در نهایت فراگیر شدن این نیروگاه ها در سطح کشور باعث امنیت در حوزه انرژی نیز میشود و نیاز کشور به سوخت فسیلی در تولید نیرو را کاهش میدهد .

آینده منابع پولی در جهان متعلق به رمز ارز ها میباشد و در آینده نه چندان دور اکثر داد و ستد های جهانی با این ارز های دیجیتال صورت خواهد گرفت .

در ایسلند هم اکنون چندین مزرعه بزرگ رمز ارز با انرژی زمین گرمایی کار میکنند که بازد بالایی دارند به علت دمایی بسیار پایین دما در کشور ایسلند حرارت تولیدی دستگاه های استخراج و تولید ارز دیجیتال با کمترین استفاده از فن های خنک کننده دفع میشود و نیازی به استفاده از جت فن ها و جریان بالا برای راه اندازی این خنک کننده ها نمی باشد و سرمای خود منطقه تا حد بسیار زیادی حرارت تولیدی را دفع میکند .

میتوان حرارت تولیدی در هیت سینک دستگاه های استخراج رمز ارز را که توسط تراشه های پردازنده با اتلاف حرارتی بالا ایجاد میشود را با خنک کنندگی مایع دفع کرد و این مایع را که به دلیل تعامل با گرمای پردازنده دستگاه تا حدی گرم شده است را به وسیله نیروگاه در چرخه تولید صرف تولید برق نمود یا در صنایعی که با دمای کم کار میکنند نظیر گرمایش خانگی و آبزی پروری و استخر های آب گرم که باعث رونق توریست در منطقه میشود به کار برد . دمای مجاز برای خنک کنندگی تراشه های محاسبه گر در حدود 50 درجه سانتی گراد میباشد که آب خروجی که صرف خنک کردن تراشه میشود همین دما را دارد و با انتقال و استفاده مجدد از این آب میتوان صرفه جویی بسیار زیادی در مصرف گاز نمود و از آن جایی که دیگر هزاران فن و جت فن صرف خنک کردن هیت سینک های و تراشه ها نمیشوند صرفه جویی بسیار بزرگی نیز در انرژی برق حاصل میگردد .

نمونه ای از استفاده زمین گرمایی در گرمایش مجتمع استخر های مشگین شهر

استفاده از پسماند سیال استفاده شده در چرخه که دیگر قابلیت تولید الکتریسیته به علت دمای کم را ندارد در گرمایش خانه ها در این منطقه بسیار کمک کننده است زیرا این ناحیه به علت کوهستانی بودن بسیار سرد است و گاز بسیار زیادی صرف گرمایش خانه ها در زمستان میشود که آلودگی زیادی ایجاد میکند و با این راه میتوان نیاز این منطقه و سایر نقاط دیگر در کشور را که دارای شرایط اینگونه هستند به خصوص در ناحیه شمال غربی کشور به سوخت فسیلی جهت گرمایش خانه ها را رفع نمود و انرژی زمین گرمایی با آلودگی کم را جایگزین سوخت فسیلی کرد.

شهر مشگین شهر با دمای میانگین 15 درجه سانتی گراد و دمای زمستان در حدود منفی 5 درجه سانتی گراد پتانسیل خوبی برای تولید انرژی زمین گرمایی در اطراف کوه سبلان دارد و به دلیل جغرافیای سرد سیر آن مکان خوبی برای احداث و بهره برداری از مزارع رمز ارز و تولید برق از واحد های زمین گرمایی است.

آب و هوای مشکین‌شهر در سال ۲۰۱۴ -بارندگی درازمدت تا سال ۸۹ [نهفتن]

	ژانویه	فوریه	مارس	آوریل	مـــه	ژوئن	ژوئیه	اوت	سپتامبر	اکتبر	نوامبر	دسامبر	سال
گرم‌ترین °C	۱۳٫۲	۱۵	۱۷	۲۴٫۸	۳۷٫۶	۳۳٫۶	۳۱٫۶	۳۶	۲۸٫۶	۲۱٫۴	۱۴٫۸	۱۳٫۶	۳۶
سردترین °C	۸٫۴-	۱۷٫۵-	۹-	۱۰-	۸٫۴	۸	۱۲٫۸	۱۴٫۶	۷٫۶	۱٫۴-	۵٫۴-	۵٫۴-	۱۷٫۵-
بارش mm	۲۲.۷	۲۶.۱	۳۸.۴	۵۳	۶۸	۳۰	۲۴.۴	۱۱.۳	۲۵.۳	۲۴.۴	۲۹.۶	۱۹.۳	۳۷۳

منبع: پورتال سازمان هواشناسی کشور[۱۷] ۲۶ مرداد ۱۳۹۴

Source #2: https://web.archive.org/web/20160612074624/http://www.chaharmahalmet.ir/stat/archive/iran/ard/MESHKINS/25.asp

با حدود بیشینه برآود تولید 400 مگاوات برق از این نیروگاه و استفاده از پساب های با دمای کمتر در صنایع دیگر بالاخص در استخر های آب گرم که هم اکنون به روش سنتی و گاها مدرن انجام میشود علاوه بر صرفه جویی در مصرف سوخت فسیلی از آلودگی اکوسیستم منطقه جلوگیری میشود زیرا این منطقه طبیعت غنی و زیبایی دارد و استخر های آب گرم آن با توجه به نزدیکی به مرز کشور های آذربایجان و ترکیه و نیز اروپا پتانسیل خوبی میتواند برای صنعت گردشگری باشد که منجر به پیشرفت اقتصادی منطقه نیز خواهد شد.

شهر مشگین‌شهر در ۹۰ کیلومتری اردبیل و در ارتفاع ۱۴۰۰ متری از سطح دریا قرار دارد. این شهر بسیار سرد سیر است هم چنین به علت ارتفاع زیاد از سطح دریا و کوهستانی بودن زمستان های بسیار سردی دارد . به دلیل واقع شدن در نزدیکی کوه آتشفشانی غیرفعال سبلان و فعال بودن منابع زمین گرمایی در اعماق زمین این منطقه دارای چشمه های آب گرم بسیار زیادی است.

میتوان سیستم فاضلاب شهری را گونه ای طراحی کرد که با تزریق این فاضلاب به چاه و عمق مورد نظر از کم شدن ذخیره سیال استخراجی و کم فشار شدن آن جلوگیری نمود . چه بسا با تزریق این فاضلاب ها شدت و فشار سیال خروجی نیز بالاتر رود که در نهایت به تولید بیشتر برق می انجامد .

تحقیق و اکتشاف به روش های نوین و متد روز دنیا میتواند باعث کاهش در زمان بازگشت هزینه های ساخت نیروگاه شود . و با انتخاب بهترین موقعیت برای حفر چاه ها و عمق آنها و هم چنین مشخص نمودن محل نیروگاه سبب کاهش تلفات انتقال سیال میشود زیرا فاصله میان چاه و نیروگاه کاهش یافته و تلفات انتقال لوله کم میشود. بدین طریق با اعمال کمی هزینه بیشتر در ابتدای کار احداث نیروگاه و کم کردن تلفات گرمایی میتوان راندمان نیروگاه را بالا برد تا نیروگاه در زمان کمتری به سود دهی برسد .

همچنین با کنترل توسط سیستم های دیجیتال پیشرفته میتوان تعداد کارمندان تمام وقت نیروگاه را کاهش داد . به علت کم شدن نیروی کار ، کمی از هزینه های تولید نیز کاسته میشود و ظمن اینکه فرایند کنترل چرخه و تجهیزات با امنیت ، دقت و هم چنین زمان بسیار کم (بلا درنگ) صورت میپذیرد باعث افزایش سود خالص خواهد شد.

در پایان تاکید بر این است که انرژی های نو و تجدید پذیر علاوه بر آلودگی بسیار پایین برای محیط زیست از اهمیت ویژه ای در حوزه های برق ، انرژی های نو و تجدید پذیر ، امنیت انرژی ، ارز ، گردشگری ، دام پروری ، آبزی پروری و... برخوردار است و هرچه زود تر باید با توان و منابع بیشتری برای فراگیر شدن استفاده این انرژی ها در سطح کشور اقدام کنیم.

آرین جلیلی نصیرآبادی تابستان 1400

Email : aryanjalili070@gmail.com

منابع

Saeid Jalilinasrabady, Ryuichi Itoi, Hikari Fujii, Toshiaki Tanaka. Energy and Exergy Analysis of Sabalan Geothermal Power Plant, IRAN

Dipippo R., Geothrmal power plants, principles, applications, case studies and environmental impacts, Second edition, Butterworth-Heinemann,

Vardimarsson P., Geothermal power plant cycles and main components, UNU-GTP,

Jalilinasrabady S., Ryuichi I., Flash cycle optimization of Sabalan geothermal power plant employing exergy concept, Elsevier, Geothermics,

Yari M., Exergetic analysis of various types of geothermal power plants, Renewable energy,

Zare V., A comparative exergoeconomic analysis of different ORC configurations for binary geothermal power plants, Energy conversion and management,

Zhao Y., Wang J., Cao L., Wang Y., Comprehensive analysis and parametric optimization of a CCP (Combined cooling and power) system driven by geothermal source, Energy,

Shokati N., Ranjbar F., Yari M., Comparative and parametric study of double flash and single flash/ORC combined cycles based on exergoeconomic criteria, Applied thermal engineering,

Mokhtari H., Hadiannasab H., Mostafavi M., Ahmdibeni A., Determination of optimum geothermal Rankine parameters utilizing coaxial heat exchanger, Energy,

Raymond Sarr J., Mathieu-Potvin F., Improvement of Double-Flash geothermal power plant design: A comparison of six interstage heating processes, Geothermics, 2015.

Zarrouk S., Moon H., Efficiency of geothermal power plants: A worldwide review, Geothermics,

Lecompte S., Lemmens S., Thermoeconomic comparison of advanced organic rankine cycles, Energy procedia,

R. Dipippo, “Geothermal power plants: evolution and performance assessment”, Elsevier, Geothermics,

Min-Hsiung Y., Rong-Hua Y., Economic performances optimization of the transcritical rankine cycle systems ingeothermal applications, Energy conversion and management,

Coskun A., Bolatturk A., Thermodynamic and economic analysis and optimization of power cycles for a medium temperature geothermal resource, Energy conversion andman agement,

Ameri M., Amanpoor S., Energy and exergy analysis and optimization of a double flash power plant for meshkin shahrregion, World renewable energy congress, Sweden, 2011.

Ghasemi H., M. Paci, Modeling and optimization of a binary geothermal power plant, Elsevier Energy, 50,

Cengel Y., Boles M., Thermodynamics: An engineering approach,6th ed., New Yoark: McGraw-Hill, 2007.

Zare V., A comparative thermodynamic analysis of two trigeneration systems utilizing low-grade geothermal energy, Energy

GE Power Conversion Generators 2,500 to 80,000 kVA

GE gas power systems offerings I 2019 FORWARD POWERING

GE 2018 STEAM POWER PRODUCT CATALOG

Mechanical equipment and operation and maintenance Elín Hallgrímsdóttir Paola Bombarda Mannvit Politecnico di Milano Potsdam, April. 18th, 2013

Performance of geothermal power plants (single, dual, and binary) to compensate for LHC-CERN power consumption: comparative study M. El Haj Assad1*, E. Bani-Hani2 and M. Khalil1

GE Oil&Gas Products and Services for Geothermal Power

GE OIL&GAS PRODUCTS AND SERVICES FOR GEOTHERMAL POWER GENERATION Capodanno S., Stolzuoli M., Vaccaro M., Maranzano M. GE OIL&GAS Via Felice Matteucci 2, 50127 Florence ITALY

Geothermal Power Plants Mitsubishi Power, Ltd

IRENA_Geothermal_Power_2017

EFFICIENCY OF GEOTHERMAL POWER PLANTS: A WORLDWIDE REVIEW Hyungsul Moon and Sadiq J. Zarrouk* Department of Engineering Science, University of Auckland, New Zealand