اولین کنفرانس انرژی های تجدیدپذیر و تولید پراکنده ایران
The First Iranian Conference on Renewable Energies and Distributed Generation
ICREDG 2010

منابع انرژی زمین گرمایی در ترکیه و مناطق مناسب برای تولید برق به روش چرخه دو داره

ساعد آسیابی، مسعود آسیابی

چکیده - با توجه به استفاده روز افزون جهانی انرژی، برای مواجه نشدن با بحران انرژی به ویژه در کشورهای توسعه یافته، استفاده از انرژی های جدید امری مهم است. در این کشورها علاوه بر استفاده از سوختهای فسیلی، با در نظر گرفتن ملاحظات زیست محیطی، منابع جدید انرژی نیز مد نظر قرار دارد. با توجه به قرارگیری کشور ترکیه در کمربند آلپ – هیمالیا، این کشور دارای پتانسیل ژئوترمال بالایی می باشد و از این نظر هفتمین کشور جهان می باشد. منابع موجود در این کشور جهت سیستمهای گرمایش مرکزی و آبدرمانی مناسب می باشند.

***واژه‌های کلیدی* - انرژی ژئوترمال، بخار خشک، پتانسیل ژئوترمال، ترکیه، چرخه دوگانه**

1- مقدمه

براساس مطالعات زمین‌لرزه‌ای، متخصصان ژئوفیزیک عقیده دارند که هسته زمین از آهن مذاب است. انرژی درون زمین در راکتور هسته‌ای آن تولید می‌شود. این انرژی بر اثر تجزیه رادیواکتیو ایزوتوپ پتاسیم وعناصر دیگری که در پوسته زمین پراکنده است، به‌وجود می‌آید. انتقال گرما به طور پیوسته به طرف خارج در حال جریان است. این جریان از طریق انتقال و هدایت گرمایی، گرما را به لایه‌های سنگی مجاور (جبه) می‌رساند. وقتی درجه حرارت و فشار به اندازه‌ی کافی بالا باشد، بعضی از سنگ های جبه ذوب می‌شوند و ماگما به وجود می‌آید. سپس به دلیل سبکی و تراکم کمتر نسبت به سنگ‌های مجاور، ماگما به طرف بالا منتقل می‌شود و گرما را در جریان حرکت، به طرف پوسته‌ی زمین حمل می‌کند. گاهی اوقات، ماگمای داغ به سطح زمین می رسد و گدازه را به وجود می‌آورد. اما بیشتر اوقات، ماگما در زیر سطح زمین باقی می‌ماند و سنگ‌ها و آب‌های مجاور را گرم می‌کند. . بیشتر این آب‌ها در اعماق زمین، در شکاف‌ها و سنگ‌های متخلخل محبوس می‌مانند و منابع زمین گرمایی را به وجود می‌آورند.

منابع ژئوترمال؛ هر چه به اعماق زمین نزدیک‌تر می‌شویم حرارت آن افزایش می‌یابد بطوری‌که این حرارت در هسته‌ی زمین به بیش از پنج هزار درجه سانتیگراد می رسد. این حرارت به روش‌های متفاوتی از جمله فوران‌های آتشفشانی، آب‌های موجود در درون زمین و یا به‌واسطه‌ی خاصیت رسانایی از بخش‌هایی از زمین به سطح آن هدایت می‌شود. در یک سیستم زمین گرمایی حرارت ذخیره شده در سنگ‌ها و مواد مذاب اعماق زمین به‌واسطه‌ی یک سیال حامل به سطح زمین منتقل می‌شود. این سیال عمدتاً نزولات جوی می باشد که پس از نفوذ به اعماق زمین و مجاورت با سنگهای داغ حرارت آنها را جذب نموده و در اثر کاهش چگالی مجدداً به طرف سطح زمین صعود می‌نماید و موجب پیدایش مظاهر حرارتی مختلفی از قبیل چشمه‌های آب گرم، آب‌فشانها و گل فشانها در نقاط مختلف سطح زمین می‌گردد.

انرژی ژئوترمال؛ به انرژی تولید شده از منابع ژئوترمال (به‌طور مستقیم و غیرمستقیم) اطلاق می‌شود.

2- منابع انرژی ژئوترمال ترکیه

این انرژی درکشورهای مختلف بسته به درجه حرارت رده‌بندی می‌شود. این رده بندی در کشور ترکیه به‌شرح زیر است :

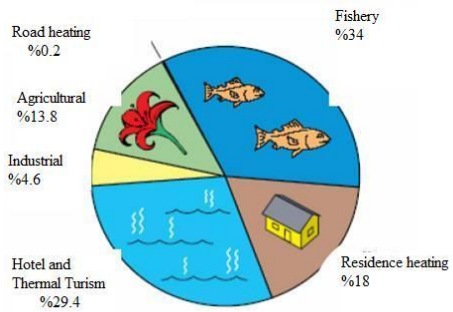
پایین	20 الی 70 درجه
متوسط	70 الی 150 درجه
بالا	بیشتر از 150 درجه

به‌دلیل اینکه بیشتر منابع ژئوترمال ترکیه جزو گروه آنتالپی پایین و متوسط هستند با توجه به تکنولوژی روز و شرایط اقتصادی، استفاده مستقیم از این منابع بیشتر در دستور کار قرار داشته است.

مصارف انرژی ژئوترمال عبارتند از : ۱- سیستم های گرمایشی (گلخانه، ساختمان، مصارف زراعی)، 2- صنعتی (صنایع غذایی، صنایع چوب و کاغذ، نساجی، چرم سازی، تأسیسات سرمایشی)،

ساعد آسیابی، Gazi University ، Ankara-Turkey
(saedasiabi@gazi.edu.tr)
مسعود آسیابی، شرکت سهامی خدمات مهندسی برق - مشانیر، تهران
(asiyabi_masoud@yahoo.com)،

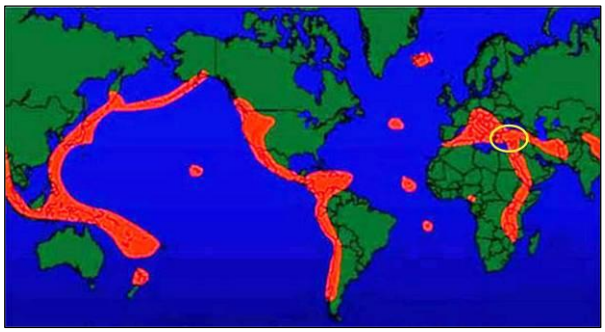
3- تولید مواد شیمیایی (اسید بریک، بی کربنات آمونیوم، آب



سنگین، یخ خشک) (شکل 1)

شکل 1 – موارد استفاده از انرژی ژئوترمال در آمریکا

یکی از مهم‌ترین جایگزین‌های سوختهای فسیلی، انرژی ژئوترمال می‌باشد. این انرژی نسبت به سوخت‌های فسیلی دارای مزایای متعددی است. آب مورد استفاده بیشتر از سطح زمین تأمین می‌شود و آب بارانی است که به اعماق زمین نفوذ می‌کند.



شکل 2 - موقعیت قرارگیری ترکیه در بین منابع ژئوترمال جهان

مقداری از این آب‌های داغ از طریق گسل‌ها و شکست‌های زمین به طرف بالا حرکت می‌کنند و به سطح زمین می‌رسند که به عنوان چشمه‌های آب گرم و آب‌فشان شناخته می‌شوند.

5% از خشکی‌های کره‌ی زمین دارای منابع ژئوترمال می‌باشد. این مناطق به "حلقه آتش" معروفند. تغییرات حوزه مغناطیسی هسته‌ی زمین، تکتونیک جوان صفحات آتشفشانی در پوسته و فعالیتهای ماگمایی تأثیر زیادی در تشکیل منابع ژئوترمال دارند. ترکیه نیز در این حلقه آتش قرار گرفته است.

هزینه نسبتاً پایین انرژی زمین گرمایی (50 الی 80 درصد نسبت به سوختهای فسیلی)، تولید سریع، توزیع متوسط آن در سطح ترکیه، منبع انرژی ملی و موجود بودن تکنولوژی داخلی جهت استفاده در مصارف غیر تولید برق، سبب تمایز این منبع انرژی با سایر منابع شده است.

ذخیره انرژی ژئوترمال ترکیه حدود 31500 MWt تخمین زده می‌شود. این مقدار انرژی معادل :

- 5 میلیون مسکن و یا گرمایش 15000 هکتار گلخانه
- هتل ژئوترمال با ظرفیت بیش از 1 میلیون تخت
- سوخت نفتی به مقدار 29 میلیارد دلار در سال (30 میلیون تن در سال)
- گاز مایع به مقدار 30 میلیارد متر مکعب در سال

می‌باشد.

ذخیره انرژی ژئوترمال ترکیه جهت تولید برق 2000 MWe (16 میلیارد کیلو وات ساعت در سال) می باشد.

مطالعات ژئوترمال در ترکیه از 45 سال پیش شروع شده است. اولین بخار طبیعی در سال 1963 در حفاریهای Izmir-Balcova مشاهده گردید. اولین مناطق حفاری شده جهت تولید برق ژئوترمال، Afyon-Gecek Ömer و Denizli – Kizildere در سال 1968 می باشند. در سال 1982، Aydın-Germencik و Çanakkale-Tuzla نیز به این مناطق اضافه شدند.

در حال حاضر، تعداد مناطق ژئوترمال با حرارت بالای 40 درجه سانتیگراد بالغ بر 184 مورد است. 94 درصد منابع انرژی ژئوترمال ترکیه در گروه حرارت پایین و متوسط قرار دارند که جهت گرمایش ساختمانهای مسکونی، گلخانه و گردشگری مناسب است (شکل 1 و 2). 6 درصد باقیمانده شامل 13 مورد می شود که جهت تولید برق مناسب هستند.

امروزه با استفاده از تکنولوژی موجود می‌توان از منابع با حرارت متوسط نیز جهت تولید برق استفاده کرد. از منابع با حرارت بالا علاوه بر تولید برق می توان برای سایر مصارف نیز استفاده کرد.

55 درصد منبع موجود انرژی در ترکیه برای گرمایش منازل مناسب هستند (شکل 3). تعداد 94 منطقه با حرارت زیر 50 درجه جهت گرمایش منازل شناسایی شده‌اند که در مورد 30 ناحیه تا به‌حال حفاری صورت نگرفته است.

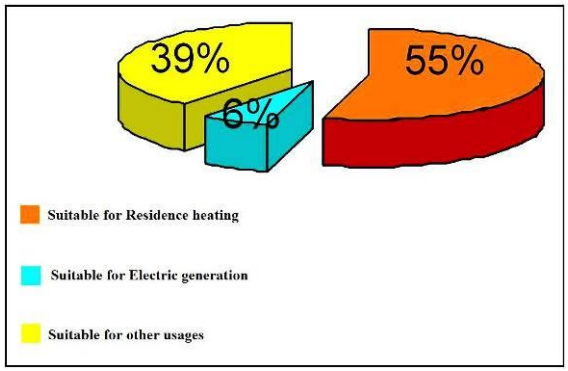
مقدار منابع انرژی ژئوترمال که جهت گرمایش مرکزی مورد استفاده قرار گرفته است حدود ۳۰۰۰،۵۲ MWe می باشد. این مقدار انرژی ژئوترمال معادل2259391 تن سوخت نفت در سال می باشد.

بیشتر منابع ژئوترمال ترکیه در گسل‌های با تکتونیک جوان، نواحی آتشفشانی، و در نوار ساحلی اِگه (Ege) در نهشته‌های تکتونیکی متلاشی شده قرار دارند.

طبق آمار MTA (سازمان مطالعات و تحقیقات معادن ترکیه)، از زمان تشکیل این سازمان تا Apr 2007، در کل 432 چاه تحقیقاتی و تولیدی و 300 چاه تزریقی جمعاً به عمق 183000 متر حفاری شده است. در 38 درصد نواحی شناسایی شده تا

به‌حال حفاری صورت نگرفته است. بر مبنای خروج مایعات، پتانسیل ژئوترمال حدود 600MWt تخمین زده می‌شود.

بعد از حفاری های انجام یافته بعد از Apr 2007 ، پتانسیل ژئوترمال به 3158 MWt افزایش یافته است. منابع حرارتی ترکیه با احتساب مایعاتی که به‌طور طبیعی به سطح زمین می‌آیند، 3758 MWt می باشد. بر مبنای تحقیقات انجام یافته ظرفیت برق ژئوترمال ترکیه در حال حاضر 105 MWe می‌باشد.



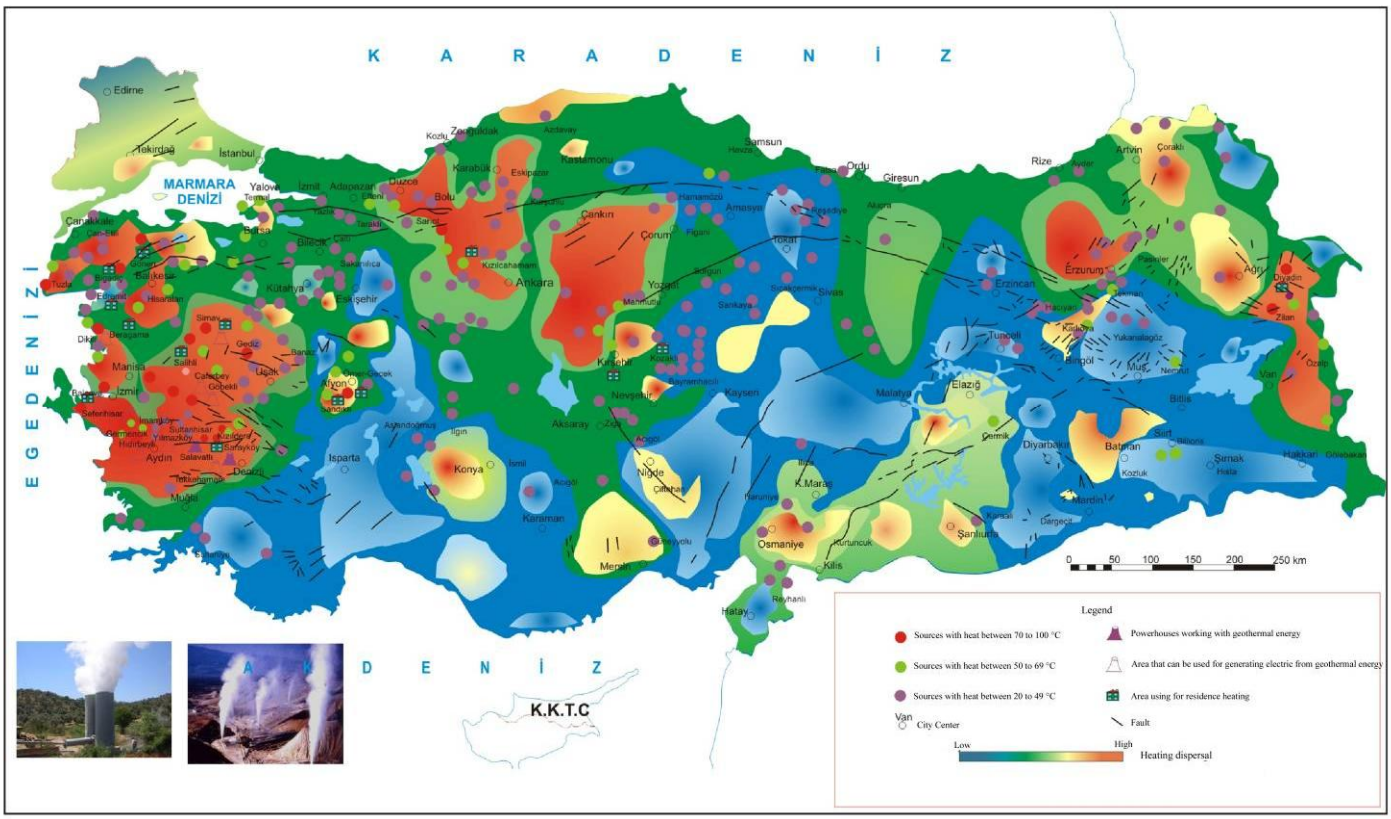
شکل 3- پخش کاربرد انرژی ژئوترمال در ترکیه [1]

جدول 1- پخش منابع ژئوترمال نسبت به مناطق [6]

Area	Main Cities	Geothermal Energy Distribution (%)
Marmara	Istanbul, Kocaeli, Bursa	12.8
Karadeniz	Samsun, Trabzon	1.9
East Anatolia	Malatya, Erzurum	2.5
Ege	Izmir, Denizli	66.7
Inner Anatolia	Ankara, Konya, Eskişehir	15.2
Akdeniz	Adana, Antalya, Mersin	0.7
North-East Anatolia	Gaziantep, Diyarbakır, Şanliurfa	0.2
Total		100

جدول 2 – درجه حرارت سیال ژئوترمال در حفاری های انجام یافته [6]

West Anatolia		Inner Anatolia		East Anatolia	
Percent (%)	Heat (°C)	Percent (%)	Heat (°C)	Percent (%)	Heat (°C)
1	240-250	5	90-100	6	160-170
2	230-240	4	80-90	6	80-90
2	220-230	4	70-80	6	70-80
5	200-210	4	60-70	16	60-70
11	190-200	17	50-60	16	50-60
5	170-180	34	40-50	39	40-50
2	130-140	32	30-40	11	30-40
7	110-120				
3	100-110				
21	90-100				
5	80-90				
8	70-80				
7	60-70				
9	50-60				
7	40-50				
5	30-40				



شکل 4 – نقشه منابع ژئوترمال ترکیه و استفاده از آن (MTA, 2008)

جدول 3 – منابع موجود ژئوترمال ترکیه مناسب جهت تولید برق

Site name	Heat (°C)	2010 predictions (MWe)	2013 predictions (MWe)
Denizli-Kızıldere	200-242	75	80
Aydın-Germencik	200-232	100	130
Manisa-Alaşehir-Kavaklıdere	213	10	15
Manisa-Salihli-Göbekli	182	10	15
Çanakkale-Tuzla	174	75	80
Aydın-Salavatlı	171	60	65
Kütahya-Simav	162	30	35
İzmir-Seferihisar	153	30	35
Manisa-Salihli-Caferbey	150	10	20
Aydın-Sultanhisar	145	10	20
Aydın-Yılmazköy	142	10	20
İzmir-Balçova	136	5	5
İzmir-Dikili	130	30	30
Total		**455**	**550**

3- اساس کار نیروگاه‌های برق ژئوترمال ترکیه

3-1- نیروگاه برق سیکل بخار خشک

در این نیروگاه‌ها از بخار خشک زمین گرمایی استفاده می‌شود. در ناحیه‌هایی که بخار خشک وجود دارد، از آن برای به حرکت درآوردن توربین بخار و ژنراتور استفاده می کنند.

بخار خشک که درجه حرارت و فشار بالایی دارد پس از گذشتن از صافی، به توربین بخار رفته، توربین و ژنراتور برق متصل به آن را به حرکت درآورده و برق تولید می‌کند. در طرح‌های جدید این نوع نیروگاه‌ها از توربین‌های کندانسوردار استفاده می‌شود. بخار خروجی از توربین وارد کندانسور شده و تقطیر می‌گردد و ایجاد خلاء می‌کند. به عبارت دیگر، خلاء در پشت توربین (کم شدن فشار) همانند افزایش فشار بخار ورودی به توربین است. نتیجه‌ی این‌کار بالا رفتن توان توربین می‌باشد.

3-2- نیروگاه‌های برق زمین‌گرمایی دومداره

اگر سیال خارج شده از چاه زمین گرمایی، دارای دمای پایین باشد، برای تولید برق از نیروگاه سیکل دومداره استفاده می‌شود. این نوع سیستم تولید برق از دو مدار مستقل تشکیل شده است. مدار اول شامل چاه تولید سیال و انتقال آن به مبدل حرارتی (heat exchanger) و بازگشت دادن آن به چاه‌های تزریقی است. در این روش آب گرم خارج شده از چاه با دمای بین 65 تا 200 درجه سانتیگراد هنگام عبور از مبدل حرارتی، گرمای خود را به مدار دوم منتقل می‌کند. در مدار دوم گازهای مایعی با دمای جوش پایین مانند ایزوبوتان یا فریون وجود دارند که در اثر هم‌جواری با مدار اول در مبدل حرارتی، و کسب گرمای لازم، به بخار تبدیل شده و با فشار زیاد از توربین بخار متصل به ژنراتور گذشته و برق تولید می‌کنند. این گاز پس از گذشتن از توربین و کندانسور دوباره به مایع تبدیل شده و توسط پمپ برای ادامه‌ی سیکل به مبدل حرارتی هدایت می‌شود. این سیکل برای خنک کردن سیال به برج خنک‌کننده‌ی آبی نیاز دارد.

4- مناطق مناسب تولید برق در ترکیه

قبل از پرداختن به موضوع تولید برق، بصورت گذرا، مناطق مساعد و ویژگیهای آنها را از نظر می گذرانیم. ترکیه با دارا بودن مناطق آتشفشانی جوان، سیستم‌های فرا زمینی و فرو زمینی (پستی و بلندی) و مناطق متعدد دارای چشمه های آب گرم، دارای پتانسیل زمین گرمایی بالایی می باشد. در حدود 1000 مرکز آبگرم و آب معدنی در سطح ترکیه وجود دارد **[11]**.

شکل 5- موقعیت قرارگیری مناطق با حرارت متوسط و بالا

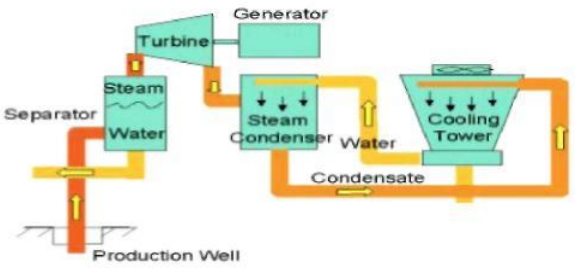
استفاده از روش‌های تخمینی جهت تعیین دمای مایع ژئوترمال، نشان‌گر عدم استفاده از تمامی این منابع در حال حاضر است. دمای اکثر منابع موجود در ترکیه، ما بین 30 تا 100 درجه سانتیگراد می باشد. چاه‌های حفاری شده در این مناطق دارای شباهت‌های حرارتی با چاه‌هایی است که حدود 240 درجه سانتیگراد حرارت دارند. به‌طور کلی، مناطق ژئوترمال با درجه حرارت متوسط و بالا در غرب ترکیه قرار دارند (شکل 5).

یکی از مناطق مناسب جهت نیروگاه ژئوترمال بخار خشک ناودیس‌های شرق Büyük Menderes بوده و منطقه دیگری نیز در غرب آن قرار دارد. مابین این دو منطقه، ناحیه‌هایی با درجه‌ی حرارت پایین قرار دارند که برای تولید برق به‌روش چرخه دو مداره مناسب می‌باشند. سیستم بخار خشک نیروگاه

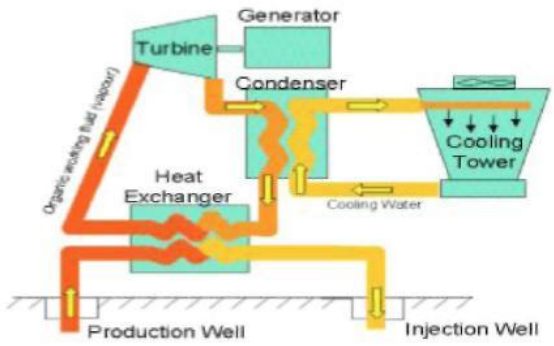
فعال Kızıldere و نیروگاه در حال ساخت Germencik در ناودیس Büyük Menderes قرار دارند.

عوامل مؤثر در تولید برق ژئوترمال، دبی مایع، ویژگی‌های فیزیکی– شیمیایی و حرارت مایع در سطح زمین می‌باشند.

با توجه به شرایط موجود، تولید برق به روش چرخه دو مداره در 14 ناحیه ترکیه اقتصادی می‌باشد.



شکل 6 – نیروگاه ژئوترمال با بخار



شکل 7 – نیروگاه ژئوترمال با چرخه دو مداره

جدول 4 – درجه حرارت، دبی، پتانسیل حرارتی [1]

Geothermal Area	Number of Boreholes	Borehole Depth (m)	Heat (°C)	Total Flow (kg/h)	Total (MW_t)	Total (MW_e)
Kızıldere	10	510 - 2261	190 - 242	666.20	485.15	16
Tekkehamam	2	615 - 2001	116 - 162	26.60	11.55	1
Germencik	9	285 - 2000	203 - 231	907.90	699.11	21
Salavatlı	2	960 - 1500	167 - 172	185.40	104.36	7.5
Yılmazköy	1	1501	142	30	13.44	0.7
Sultanhisar	2	967 - 1002	140 - 162	200	89.50	4.5
Hıdırbeyli	1	596	142	92	41.20	2.07
Atça	1	1200	123	90	33.20	1.5
Balçova	27	100 - 1000	91 - 140	297.75	116.48	6.7
Seferihisar	3	1232 - 2009	56 - 145	10.15	4.61	0.5
Alaşehir - Göbekli	1	1447.1	182	15	9.23	1
Caferbeyli	1	1189	150	2	0.96	0.2
Simav	12	65.8 - 958	51 - 162	354.13	126.44	12.5
Çanakkale - Tuzla	2	81-814	90 - 174	101.70	38.47	4
Total	74			2979	1740.50	85.47

5- تولید برق

همان‌طور که گفته شد، مناطق مناسب جهت تولید برق به‌روش بخار و چرخه دومداره، Kızıldere و Germencik می‌باشند که یکی از این دو در دست بهره‌برداری بوده و دیگری نیز در حال ساخت می‌باشد.

برای رسیدن به بازدهی مناسب، دمای مایع بالاتر از 200 درجه سانتیگراد ضروری است. در غیر این‌صورت، استفاده از سیستم بخار مناسب نمی‌باشد. ظرفیت نیروگاه‌های بخار و دو مداره، بسته به دبی مایع ژئوترمال، بین 5 MWe تا 100 MWe می باشد. در این نیروگاه‌ها، باتوجه به به ویژگی‌های بخار، مقدار گاز و فشار، برای تولید هر مگاوات برق حدود 10 تن در ساعت بخار لازم می‌باشد. سیال مصرف شده در بخار خشک در لحظه خروج از نیروگاه دارای دمای 140 تا 150 درجه سانتیگراد می‌باشد. در صورت انتخاب مناسب مایع آلی در چرخه دو مداره، این سیال مجدداً قابل مصرف می‌باشد. آب خروجی از نیروگاه تک مداره Denizli-Kızıldere دارای حرارت 147 درجه سانتیگراد می‌باشد.

در ناحیه‌هایی که دمای منبع ژئوترمال از 200 درجه سانتیگراد کمتر باشد، استفاده از سیستم با چرخه دو مداره نسبت به سیستم تک مداره ارجحیت دارد. حرارت سیال خروجی در این سیستم، حدود 105 تا 115 درجه سانتیگراد می‌باشد[10]. در حال حاضر، نیروگاه ژئوترمال با استفاده از سیستم دو مداره در ترکیه وجود ندارد.

6- نتیجه گیری

با توجه به موارد اشاره شده، بستر مناسب برای استفاده از نیروگاه دو مداره در ترکیه وجود دارد. در نیروگاه Kızıldere ، 850 تن در ساعت آب تخلیه می شود. در صورت استفاده از این آب در یک نیروگاه دو مداره، به ظرفیت نیروگاه ژئوترمال Kızıldere حدود 6 MWe افزوده خواهد شد. همین شرایط برای نیروگاه Germencik، نیز وجود دارد. در صورت استفاده از چرخه دومداره در این نیروگاه، حدود 21 MWe انرژی الکتریکی بیشتری تولید خواهد شد.

مراجع :

[1] Akkuş, İ. ve Aydoğdu, Ö., "Türkiye'nin jeotermal kaynaklarının potansiyeli ve önemi," *Jeoloji Mühendisleri Odası Jeotermal Enerji ve Yasal Düzenlemeler Sempozyumu Bildiriler Kitab,*. s. 48-57, 2005.

[2] DPT, 8. ve 9. Beş Yıllık Kalkınma Planı Jeotermal Raporu

[3] Edwards, L.M., Chilingar, G.V., Rieke, H.H. and Fertl, W.H.(Editors), *Handbook of Geothermal Energy*. Gulf Publishing Company, 1982.

[4] Keller, E.A., *Introduction to Environmental Geology*, Prentice Hall, 2005.

[5] Özdemir, A., "Jeotermal enerji ve elektrik üretimi," *Jeofizik Bülteni vol. 55*, pp. 300-310, 2007.

[6] ZREU, Geothermal Energy Utilization in Turkey, 2005.

[7] Andritsos N. , Karabelas A.J. "Sulfide scale formation and control in geothermal plants," *Geothermics vol. 20*, pp. 343-353, 1991.

[8] Güner L, Yıldırım N., "II. Ulusal Jeotermal Akşıkanlarda Paleo Deniz Suyunun Varlığına Bir Örnek: Ömerbeyli Germencik Jeotermal Sahası," *Hidrolojide İzotop Teknikleri Sempozyumu Kitabı*, pp. 309-321, 2005

[9] Akkuş İ, Aydoğdu Ö, Akıllı H, Gökmenoğlu O, Sarp S. "Geothermal Energy and Its Economic Dimension," *Proceedings World Geothermal Congress,Geochemistry session.* Turkey, 2005.

[10] Maghiar T. ve Antal C, *Power Generation from Low-Enthalpy Geothermal Resources* University of Oradea, Romania, 2001.

[11] Simsek S., "Geothermal Activity in Turkey," *United Nations Workshop on Development and Exploitation of Geothermal Energy in Developing Countries*, Iceland, 1986.

[12] World Bank Group, Geothermal Energy, The Technology and Development Process (Internet).

[13] Yildirim N. ve Simsek S., "Determination of Appropriate Injection Conditions for Kizildere Geothermal Waste Fluid to Avoid Scale Formation and Cooling," *European Geothermal Conference*, Hungary, 2003.

[14] Yildirim, N., "Scaling Problem in The Geothermal Fields of Turkey and Its Alternative solution," *Seminar on New Developments in Geothermal Energy*, Turkey, 1989.

[15] Yildirim N. Ve Güner İ. , "Geochemical properties and determination of turnover time by using ^{14}C Isotope, in Kizildere and Tekkehamam geothermal field of Turkey," *Proceedings World Geothermal Congress, Geochemistry session*, Turkey, 2005.

[16] ثقفی محمد، *انرژی های قابل تجدید*، انتشارات دانشگاه تهران، 1388.