DOR: 20.1001.1.24234931.1398.6.1.10.0

سال ششم، شماره اول، تابستان ۱۳۹۸، ص ۸۴ ص ۹۰

فصل‌نامه علمی – ترویجی انرژی‌های تجدیدپذیر و نو

Jrenew.ir

مقاله

تاریخ دریافت: ۹۷/۷/۲

تاریخ پذیرش: ۹۷/۷/۲۵

پیش‌بینی سهم انرژی زمین‌گرمایی در سبد انرژی جهانی در سال ۲۰۳۰

اسرافیل شاهورن[۱]، حسین یوسفی[۲*]، اردوان شهسواری[۱]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، رشته مهندسی انرژی‌های تجدید پذیر، گروه انرژی‌های نو و محیط زیست، دانشکده علوم و فنون نوین، دانشگاه تهران

۲- دانشیار، گروه انرژی‌های نو و محیط زیست، دانشکده علوم و فنون نوین، دانشگاه تهران

* صندوق پستی تهران، ۱۴۳۹۹۵۷۱۳۱، Hosseinyousefi@ut.ac.ir

چکیده

فناپذیری سوخت‌های فسیلی، توسعه پایدار و مشکلات زیست‌محیطی ناشی از مصرف سوخت‌های فسیلی از یک طرف و تجدیدپذیر بودن منابع انرژی‌های نو از طرف دیگر، باعث توجه جهانیان به توسعه استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر شده‌است. انرژی زمین‌گرمایی نسبت به سایر انرژی‌های تجدیدپذیر دارای مزایای قابل‌توجهی مانند عدم وابستگی به شرایط آب‌وهوا، پایدار و دائمی بودن، امکان استفاده در اکثر مناطق و بازده حرارتی بالا می‌باشد. در حال حاضر ظرفیت نصب‌شده انرژی زمین‌گرمایی برای تولید برق تا آخر سال ۲۰۱۷ به ۱۴۰۶۰ مگاوات و استفاده مستقیم نیز تا آخر سال ۲۰۱۵ به ۷۰۳۲۹ مگاوات رسیده‌است. در این تحقیق با توجه به رشد چند سال اخیر استفاده از این انرژی، پیش‌بینی شده‌است که در سال ۲۰۳۰ میزان ظرفیت جهانی برق نصب‌شده به حدود ۲۰ گیگاوات الکتریکی (٪ ۰/۵۳۲ از کل برق مصرفی جهان) برسد. استفاده از انرژی زمین‌گرمایی برای تولید ۱۷۵/۲ تراوات‌ساعت برق باعث عدم استفاده از مقادیر قابل‌توجهی از سوخت‌های فسیلی مختلف به‌طور مجزا (زغال سنگ: $۱۰^{۱۰}\times$ ۸/۱۸۵ کیلوگرم، گاز طبیعی: $۱۰^{۱۰}\times$ ۴/۹۷۵ مترمکعب و نفت: $۱۰^{۸}\times$ ۲/۸ بشکه) خواهد شد. در شرایطی که اگر برای تولید همان میزان برق از سوخت‌های فسیلی استفاده می‌شد، دی‌اکسید کربن زیادی (زغال‌سنگ: ۲۳۴/۰۹۱ مگاتن، گاز طبیعی: ۹۷/۹۵۷ مگاتن و نفت: ۱۲۱/۱۵۸ مگاتن) وارد جو می‌شد.

کلیدواژگان: انرژی زمین‌گرمایی، تولید برق، سبد جهانی انرژی ۲۰۳۰، عدم انتشار دی‌اکسید کربن

www.SID.ir

The forecasting share of geothermal energy from the world energy basket in 2030

Esrafil Shahveran[1],Hossein Yousefi[2*] , Ardavan Shahsavari[1]

1- Master of Science (MSc) Student, Renewable Energies Engineering, Department of Renewable Energies and Environment, Faculty of New Science and Technologies, University of Tehran, Tehran, Iran

2- Associate Professor, Department of Renewable Energies and Environment, Faculty of New Science and Technologies, University of Tehran, Tehran, Iran

* P.O.B. 1439957131, Tehran, Iran, Hosseinyousefi@ut.ac.ir

Received: September 2018 Accepted: October 2018

Abstract

Mortality of Fossil fuels, sustainable development and environmental problems caused by the use of fossil fuels, on the one hand, and the renewables of new energy sources on the other, have led the world to develop renewable energy. Geothermal energy has significant advantages over other renewable energies, such as lack of dependence on weather conditions, sustainability and permanence, high utilization in most areas, and high thermal efficiency. At present, the installed capacity of geothermal energy for power generation by end of 2017 will reach 14060 MW and direct use will reach 70329 GW by the end of 2015. In this study, according to the growth in using of this energy of the last few years, has been predicted to achieve the global capacity of installed electricity to 20 GW (0.532% of the world's total electricity consumption) by 2030. The use of geothermal energy to produce 175.25 TWh of electricity makes it unnecessary to use significant amounts of different fossil fuels (Coal: 8.185×۱۰۱۰ Kg, Natural Gas: ٤/٩٧٥×۱۰۱۰ m^{۳} and Oil: 2.8×۱۰^{۸} barrel). If these fossil fuels were used to produce the same amount of electricity, much carbon dioxide would enter the atmosphere (by using Coal: 234.091×۱۰^{٦} tone $CO_{۲}$, Natural Gas: ۹۷,۹٥۷×۱۰^{٦} tone $CO_{۲}$ and Oil: ۱۲۱,۱٥۸×۱۰^{٦} $CO_{۲}$).

Keywords: Geothermal Energy, Power Generation, World Energy Basket 2030, Non-release of carbon Dioxide

www.SID.ir

۱- مقدمه

انرژی زمین‌گرمایی که در طول هزاران سال در داخل زمین ذخیره شده‌است، از فروپاشی عناصر رادیواکتیو در عمق زمین نشأت گرفته‌است [۱]. زمینی که در زیر پای ما قرار دارد، منبع بسیار عظیم انرژی است. این انرژی که به‌صورت حرارت از اعماق زمین به سطح آن هدایت می‌شود، در صورت توسعه فناوری استخراج آن به‌تنهایی قادر خواهد بود کلیه نیازهای انرژی امروز و آینده بشر را تأمین کند. طبق محاسبات مشخص شده‌است که انرژی حرارتی ذخیره شده در ۱۱ کیلومتری پوسته فوقانی زمین معادل ۵۰ هزار برابر کل انرژی به دست آمده از منابع نفت و گاز شناخته شده امروز جهان است. پس این منبع انرژی می‌تواند جایگزین قابل اعتمادی برای انرژی حاصل از سوخت فسیلی شود [۲].

فناپذیری سوخت‌های فسیلی، تنوع‌بخشی به منابع انرژی، توسعه پایدار و ایجاد امنیت انرژی، مشکلات زیست‌محیطی ناشی از مصرف سوخت‌های فسیلی از یک طرف و تجدیدپذیر بودن منابع انرژی‌های نو از طرف دیگر، باعث توجه جدی جهانیان به توسعه و گسترش استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر و افزایش سهم این منابع انرژی در سبد جهانی انرژی شده‌است [۳]. انرژی زمین‌گرمایی نسبت به سایر انرژی‌های تجدیدپذیر دارای مزایای قابل‌توجهی مانند عدم وابستگی به شرایط آب‌وهوا، دارای قدرت پایه مشخص، پایداری و دائمی بودن و امکان استفاده در اکثر مناطق، عدم نیاز به زمین زیاد و دارای اثرات زیست‌محیطی کمتر و بازده حرارتی بالا می‌باشد [۴]. در حال حاضر ۲۴ کشور جهان دارای نیروگاه زمین گرمایی می باشند و این درحالی است که بیش از ۷۰ کشور در جهان برنامه‌ریزی جهت ایجاد و توسعه نیروگاه‌های زمین‌گرمایی را انجام داده‌اند. کشورهایی مانند آمریکا، فیلیپین، اندونزی، مکزیک، ایتالیا، نیوزلند و ایسلند بیشترین سهم را در استفاده از این انرژی دارند و همچنین ایتالیا به‌عنوان اولین کشور جهان می‌باشد که در سال ۱۹۰۴میلادی توانست با استفاده از انرژی زمین‌گرمایی برق تولید نماید و ایسلند اولین کشوری است که در سال ۱۹۳۰ از این انرژی برای گرمایش منازل استفاده کرد [۵].

۲- پیشینه تحقیق

والگاردور استفانسون منابع زمین‌گرمایی شناخته شده را تقریباً TWh/a ۲۰۰۰ جهت تولید برق و بیش از TWh/a ۷۰۰ برای استفاده مستقیم تخمین زده‌است[۱].

گوستاو رسچ و همکارانش در تحقیقی که انجام داده‌اند میزان استفاده بشر از انرژی‌های تجدیدپذیر را در سال ۲۰۰۴ به تفکیک هر انرژی و پتانسیل هر انرژی را گزارش دادند که در بین آنها انرژی زمین‌گرمایی بیشترین پتانسیل را در بین سایر انرژی‌های تجدیدپذیر دارد، که این نتایج در جدول ۱ آورده شده است.

جدول ۱ میزان استفاده جهانی از انرژی‌های تجدیدپذیر در سال ۲۰۰۴ و پتانسیل هر یک (اگزا ژول) [۶].

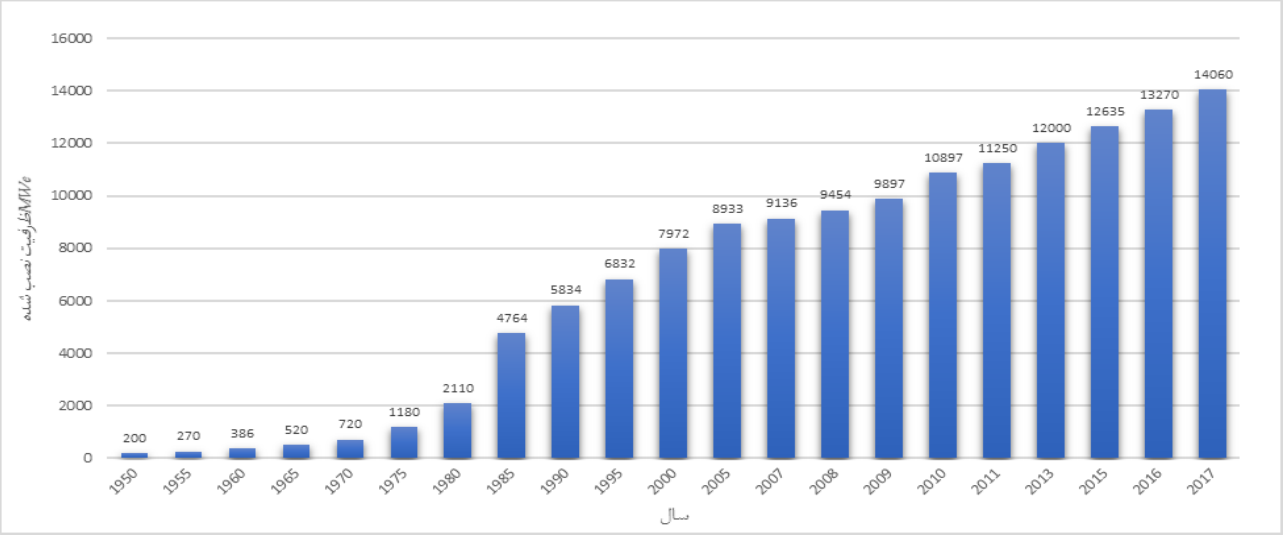
منبع انرژی	میزان استفاده اخیر (۲۰۰۴)	پتانسیل فنی	پتانسیل نظری
انرژی زیست‌توده	۵۰	۲۵۰	۲۹۰۰
انرژی زمین-گرمایی	۲	۵۰۰۰	۱۴۰،۰۰۰،۰۰۰
انرژی آبی	۱۰	۵۰	۱۵۰
انرژی دریایی	-	-	۷۴۰۰
انرژی خورشیدی	۰/۲	۱۶۰۰	۳،۹۰۰،۰۰۰
انرژی باد	۰/۲	۶۰۰	۶۰۰۰
مجموع	۶۲/۴	۷۵۰۰	۱۴۳،۹۱۶،۴۵۰

هم‌چنین آنها تخمین زده‌اند که تا سال ۲۰۳۰، ٪۲۸/۷ از کل برق مورد نیاز دنیا توسط انرژی‌های تجدیدپذیر تأمین شود[۶].

شای مین لو پتانسیل زمین‌گرمایی قابل‌دسترس جهان را برای تولید برق ۱۲۰۰ گیگاوات تخمین زده‌است و پیش‌بینی کرده‌است از این مقدار تا سال ۲۰۵۰ ، ۷۰ گیگاوات برق تولید شود[۷]. مهمت ملیکوغلو در تحقیقی که برای آینده انرژی زمین‌گرمایی در ترکیه و جهان انجام داده‌است، گزارش داده‌است که؛ پتانسیل زمین‌گرمایی قابل دسترسی ترکیه برای تولید برق ۴۵۰۰ مگاوات می‌باشد و از این نظر هفتمین کشور غنی دنیا می‌باشد. ترکیه قصد دارد که تا پایان سال ۲۰۲۳، ٪۳۰ از کل انرژی مصرفی خود را از منابع انرژی‌های تجدیدپذیر تأمین کند که از بین آنها سهم انرژی زمین‌گرمایی ۶۰۰ مگاوات می‌باشد. هم‌چنین وی ظرفیت جهانی نصب‌شده انرژی زمین-گرمایی را برای تولید برق در سال ۲۰۲۰، ۱۶ گیگاوات تخمین زده‌است و پیش‌بینی کرده‌است که در سال ۲۰۵۰، ٪۳/۵ از برق جهان و ٪۳/۹ از انرژی حرارتی توسط انرژی زمین‌گرمایی تأمین شود که این میزان استفاده از انرژی زمین‌گرمایی مانع از تولید و انتشار ۸۰۰ مگاتون کربن‌دی‌اکسید خواهد شد[۸].

جان دبلیو لوند و تونیا ال بوید در تحقیقی که در مورد استفاده مستقیم از انرژی زمین‌گرمایی انجام دادند، تعداد کشورهای استفاده کننده مستقیم از این انرژی دنیا را در سال‌های ۱۹۹۵، ۲۰۰۰، ۲۰۰۵، ۲۰۱۰ و ۲۰۱۵ را به‌ترتیب ۲۸، ۵۸، ۷۲، ۷۸ و ۸۲ کشور گزارش دادند، که در آخر سال ۲۰۱۴ میزان کمی استفاده جهانی به ۷۰۸۸۵ مگاوات رسید که این مقدار نسبت به سال ۲۰۱۰ رشد ٪ ۴۶/۲ داشته‌است. همین میزان استفاده از انرژی زمین-گرمایی باعث ذخیره ۳۵۲ میلیون بشکه نفت و جلوگیری از انتشار ۱۴۹/۱ میلیون تن کربن‌دی‌اکسید شده‌است.

www.SID.ir



نمودار ۱ میزان تولید جهانی برق زمین‌گرمایی از سال ۱۹۵۰ تا ۲۰۱۸ **[۲،۱۱]**

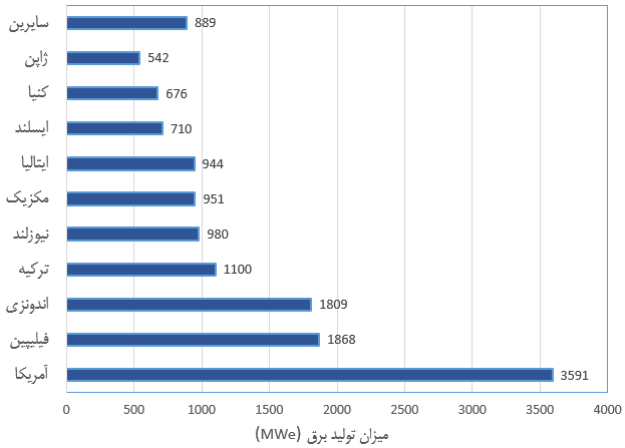
تا پایان سال ۲۰۱۴، حدود ۱۳۰۰۰۰ پمپ حرارتی زمین‌گرمایی نصب شده‌است که پیش‌بینی می‌کنند تا سال ۲۰۲۰ این مقدار تا یک میلیون عدد افزایش یابد. هم‌چنین آنها برآورد کرده‌اند که استفاده از انرژی حرارتی زمین بین سال‌های ۲۰۰۶ تا ۲۰۲۰، شش برابر شود[۲].صادق سدیک جی زاروک ظرفیت نصب شده جهانی را برای تولید برق در سال ۲۰۲۰، ۲۱۴۴۳ مگاوات پیش‌بینی کرده‌است[۹].

۳- روش تحقیق

پیش‌بینی‌هایی که در این تحقیق انجام شده‌اند، با استفاده از ابزار پیش-بینی (فورکست شیت) نرم‌افزار اکسل ۲۰۱۶ می‌باشد. اساس کار این ابزار بر پایه استفاده از الگوریتم هموارسازی نمایی یا **(Exponential Triple ETS Smoothing)** می‌باشد.

۴- پیش‌بینی رشد استفاده از انرژی زمین‌گرمایی تا سال ۲۰۳۰

۴-۱- وضعیت فعلی (تا آخر سال ۲۰۱۷)



شکل ۱ ده کشور برتر تولید برق زمین‌گرمایی [۱۰].

ظرفیت نصب‌شده انرژی زمین‌گرمایی برای تولید برق تا آخر سال ۲۰۱۷ به ۱۴۰۶۰ مگاوات رسیده‌است که از این مقدار ۷۹۲ مگاوات در سال ۲۰۱۷ نصب شده‌است.همان‌طور که در شکل ۱ نشان داده شده‌است، در بین کشورهای تولیدکننده برق از این انرژی، ترکیه با ۳۲۵ مگاوات ظرفیت جدید بیشترین توسعه را در سال ۲۰۱۷ به خود اختصاص داده‌است[۱۰].

میزان تولید برق و انرژی مورداستفاده برای تأمین حرارت در استفاده مستقیم در طول سالیان مختلف (۱۹۵۰ تا ۲۰۱۸) در نمودار ۱ و جدول ۲ آورده شده‌است.

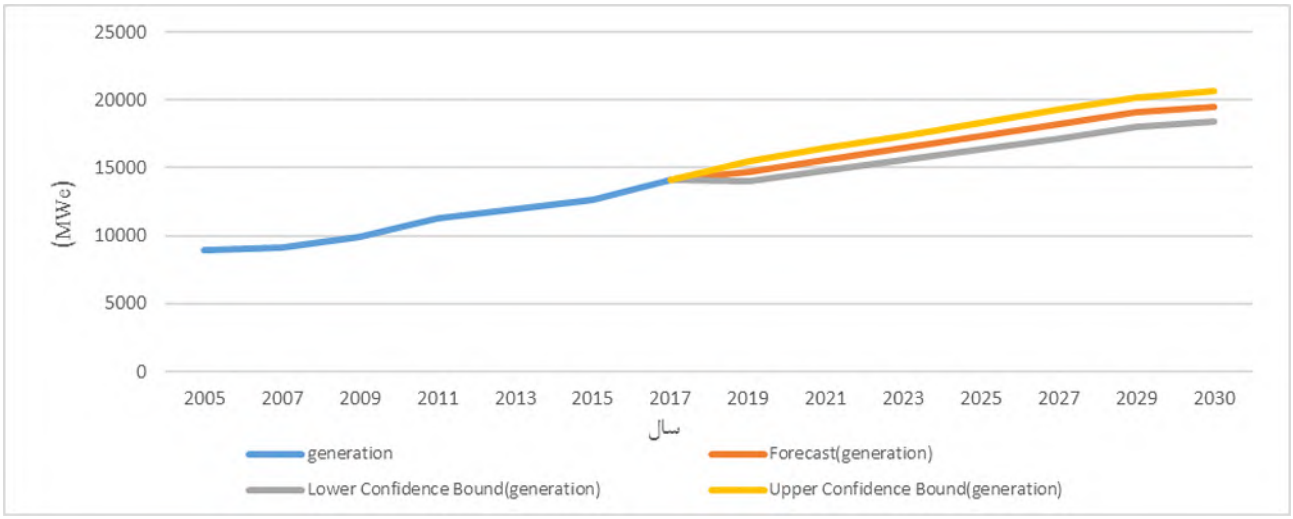
جدول ۲ آمار استفاده مستقیم از انرژی زمین‌گرمایی از سال ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۵ **[۲،۱۱]**

سال	تعداد کشورهای استفاده‌کننده مستقیم	توان حرارتی تولیدشده نصب-شده (MWt)
۱۹۹۰	۳۰	۸۰۶۴
۱۹۹۵	۳۰	۸۶۶۴
۲۰۰۰	۵۸	۱۵۱۴۵
۲۰۰۵	۷۲	۲۸۲۶۲
۲۰۱۰	۷۸	۵۰۵۸۳
۲۰۱۵	۸۲	۷۰۳۲۹

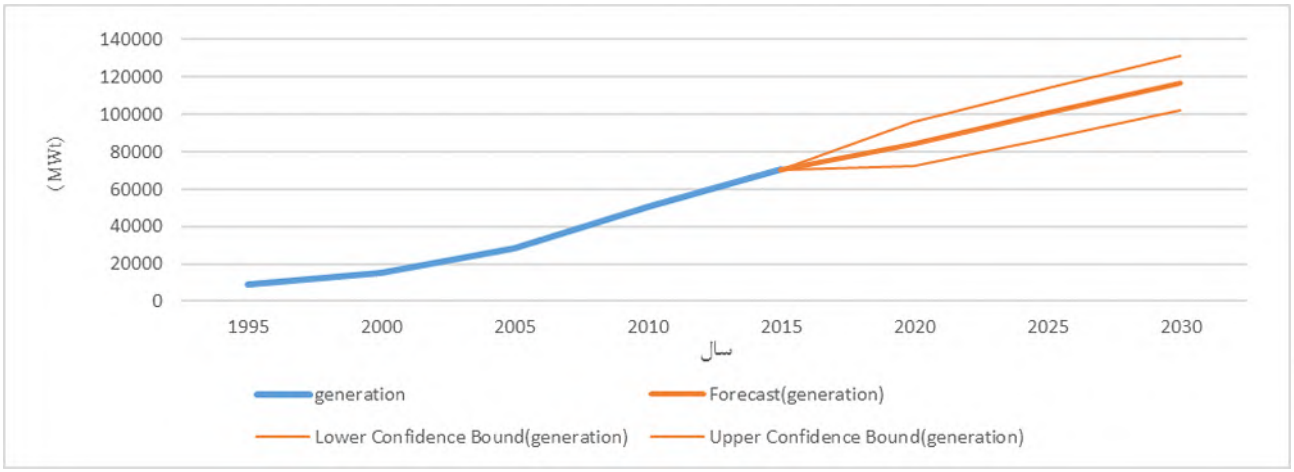
۴-۲- پیش بینی کل تولید برق جهان از انرژی زمین‌گرمایی در سال ۲۰۳۰

با استفاده از قابلیت پیش‌بینی نرم‌افزار اکسل (فورکست شیت) و با داشتن آمار تولید در چند سال اخیر میزان تولید برق از انرژی زمین‌گرمایی در سال ۲۰۳۰ حدود ۲۰ گیگاوات و استفاده مستقیم از این انرژی نیز در حدود ۱۱۷ گیگاوات تخمین زده شد.

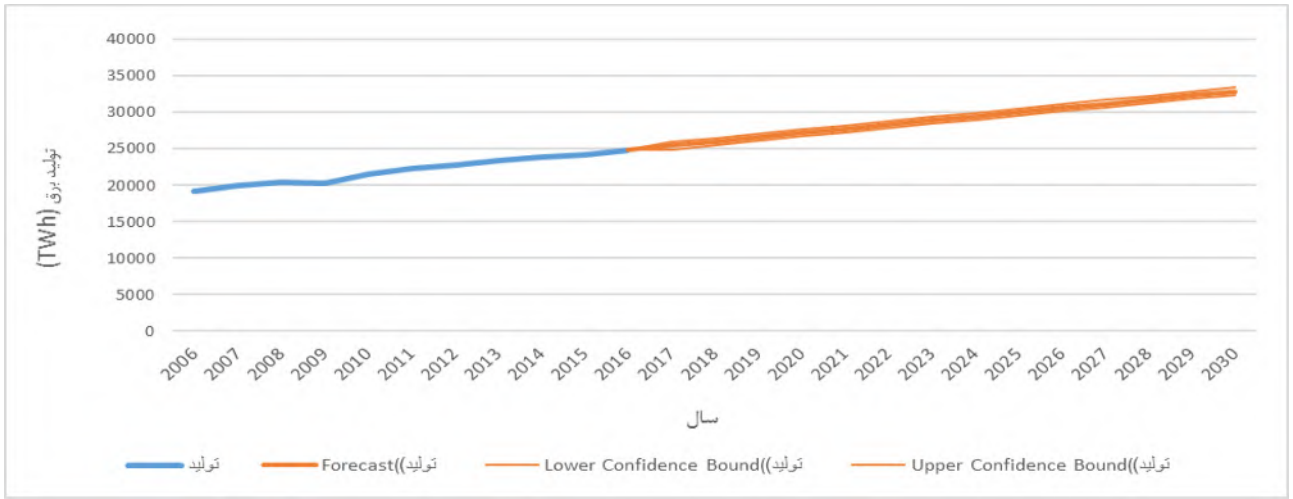
www.SID.ir



نمودار ۲ پیش‌بینی تولید برق زمین‌گرمایی در سال ۲۰۳۰ **[۲،۱۱]**



نمودار ۳ پیش‌بینی استفاده مستقیم از انرژی زمین‌گرمایی در سال ۲۰۳۰ **[۲،۱۱]**



نمودار ۴ پیش‌بینی تولید جهانی برق در سال ۲۰۳۰ **[۲،۱۱]**

www.SID.ir

با داشتن آمار تولید برق سالیانه کل دنیا در چند سال اخیر می‌توان به روش مشابه فوق میزان برق تولیدی دنیا را در سال ۲۰۳۰ پیش‌بینی کرد که در نمودار ۴ نشان داده شده‌است.

نرخ تولید برق از سال ۲۰۰۶ تا ۲۰۱۶ به تفکیک هر سال در جدول ۳ ارائه شده‌است[۱۱].

جدول ۳ میزان تولید برق در ده سال اخیر[۱۱]

سال	میزان تولید برق (TWh)
۲۰۰۶	۱۹۱۳۱
۲۰۰۷	۲۰۰۱۹
۲۰۰۸	۲۰۴۲۰
۲۰۰۹	۲۰۲۶۱
۲۰۱۰	۲۱۵۶۱
۲۰۱۱	۲۲۲۴۲
۲۰۱۲	۲۲۷۹۷
۲۰۱۳	۲۳۴۰۲
۲۰۱۴	۲۳۸۴۴
۲۰۱۵	۲۴۲۱۵
۲۰۱۶	۲۴۸۱۶

طبق نمودار ۴ میزان تولید جهانی برق در سال ۲۰۳۰،برابر با ۳۲۸۹۲/۲۱۹ تراوات‌ساعت خواهد بود که با توجه به تولید حدود ۲۰ گیگاوات (معادل ۱۷۵/۲ تراوات‌ساعت) برق حاصل از انرژی زمین‌گرمایی در این سال حدود ٪ ۰/۵۳۲ از کل برق تولیدی در سال ۲۰۳۰ از طریق انرژی زمین‌گرمایی خواهد بود.

۵- محاسبه میزان سوخت فسیلی ذخیره شده

در صورت در نظر گرفتن بازده توربین بخار برای هر یک از سوخت‌های فسیلی به ترتیب زیر:

زغال سنگ: ٪ ۳۳/۶

گاز طبیعی: ٪ ۴۴/۸- ٪ ۲۹/۴

نفت: ٪ ۳۳/۳- ٪ ۲۵/۵

برای تولید یک کیلووات‌ساعت برق از سوخت‌های گفته‌شده، مقادیر زیر از هر کدام از سوخت‌ها موردنیاز است:

زغال سنگ: ۰/۴۷۶۲ کیلوگرم

گاز طبیعی: ۰/۲۸۴ مترمکعب

نفت: ۰/۰۰۱۶ بشکه (۰/۰۰۰۲۵۴ مترمکعب) [۱۲].

بنابراین در صورت تولید ۱۷۵/۲ تراوات‌ساعت برق توسط انرژی زمین-گرمایی در سال ۲۰۳۰ مقادیر قابل‌توجهی از منابع سوخت‌های فسیلی ذخیره خواهد شد که این مقادیر به تفکیک هر یک از سوخت‌های فسیلی عبارتند از:

زغال سنگ: $۸/۱۸۵ \times ۱۰^{۱۰}$ کیلوگرم

گاز طبیعی: $۴/۹۷۵ \times ۱۰^{۱۰}$ مترمکعب

نفت: $۲/۸ \times ۱۰^{۸}$ بشکه

۶- محاسبه میزان عدم تولید گاز دی اکسید کربن

در صورتی که ۱۷۵/۲ تراوات‌ساعت برق به‌وسیله سوزاندن هر کدام از سوخت‌های فسیلی تولید می‌شد، مقادیر زیادی کربن‌دی‌اکسید وارد جو می-شد. این مقادیر برای هر سه نوع سوخت فسیلی گفته‌شده، در ادامه محاسبه شده‌اند.

زغال‌سنگ: به ازای سوزاندن هر تن زغال‌سنگ، ۲/۸۶ تن دی‌اکسید کربن تولید می‌شود[۱۳]. بنابراین با توجه به لازم بودن $۸/۱۸۵ \times ۱۰^{۷}$ تن زغال‌سنگ برای تولید مقدار برق گفته‌شده، در صورت استفاده از زغال‌سنگ برای تأمین برق موردنیاز، ۲۳۴/۰۹۱ مگاتن دی‌اکسید کربن وارد جو خواهد شد.

گاز طبیعی: به‌ازای سوزاندن هر کیلوگرم گاز طبیعی، ۲/۷۵ کیلوگرم دی‌اکسید کربن تولید می‌شود[۱۴]. بنابراین با توجه به لازم بودن $۴/۹۷۵ \times ۱۰^{۱۰}$ مترمکعب گاز طبیعی برای تولید مقدار برق گفته‌شده، در صورت استفاده از گاز طبیعی برای تأمین برق موردنیاز، ۹۷/۹۵۷ مگاتن دی‌اکسید کربن وارد جو خواهد شد.

نفت: به‌ازای سوزاندن هر بشکه نفت، ۴۳۲/۷۱ کیلوگرم دی‌اکسید کربن تولید می‌شود[۱۵]. بنابراین با توجه به لازم بودن $۲/۸ \times ۱۰^{۸}$ بشکه نفت برای تولید مقدار برق گفته شده، در صورت استفاده از نفت برای تأمین برق موردنیاز، ۱۲۱/۱۵۸ مگاتن دی‌اکسید کربن وارد جو خواهد شد.

۷- بحث و نتیجه‌گیری

با توجه به مشکلات زیست‌محیطی استفاده از سوخت‌های فسیلی و نیز محدود بودن این سوخت‌ها، روز به روز نیاز برای منابع انرژی جدید بیشتر احساس می‌شود. انرژی زمین‌گرمایی به‌عنوان یک منبع تجدیدپذیر که از نظر زیست‌محیطی نیز مقبول می‌باشد، می‌تواند مقداری از این نیاز را تأمین کند.

در صورتی که استفاده از این منبع انرژی با همین سرعت چند سال اخیر پیش برود، پیش‌بینی می‌شود که تا سال ۲۰۳۰ حدود ٪ ۰/۵۳۲ از برق مصرفی دنیا را تأمین کند (معادل ۱۷۵/۲ تراوات‌ساعت)، هم‌چنین این انرژی حدود ۱۱۷ گیگاوات از نیاز به حرارت جهانیان را تأمین خواهد کرد. این میزان استفاده از انرژی زمین‌گرمایی برای تولید برق به‌جای سوخت‌های فسیلی باعث ذخیره‌سازی مقادیر قابل‌توجهی از سوخت‌های فسیلی و هم-چنین به همین دلیل باعث عدم انتشار گازهای گلخانه‌ای به‌ویژه دی‌اکسید کربن خواهد شد که به شرح جدول ۴ می‌باشد. مقادیر پیش‌بینی شده در صورت استفاده مجزا از هر کدام از سوخت‌های فسیلی می‌باشد.

www.SID.ir

جدول ۴ استفاده از انرژی زمین‌گرمایی و اثرات آن در سال ۲۰۳۰

تولید برق زمین‌گرمایی	۱۷۵/۲ تراوات‌ساعت
تولید انرژی حرارتی زمین‌گرمایی	۱۱۷ گیگاوات
میزان زغال‌سنگ ذخیره‌شده	۸/۱۸۵ ×۱۰^{۱۰} کیلوگرم
میزان گاز طبیعی ذخیره‌شده	۴/۹۷۵ ×۱۰^{۱۰} مترمکعب
میزان نفت ذخیره‌شده	۲/۸ ×۱۰^{۸} بشکه
میزان CO_2 منتشرشده در صورت استفاده از زغال سنگ	۲۳۴/۰۹۱ مگاتن
میزان CO_2 منتشرشده در صورت استفاده از گاز طبیعی	۹۷/۹۵۷ مگاتن
میزان CO_2 منتشرشده در صورت استفاده از نفت	۱۲۱/۱۵۸ مگاتن

۸- منابع

[1] V. Stefansson, "World Geothermal Assessment," *World Geotherm. Congr. 2005*, no. April, pp. 24–29, 2005.

[۲] J. W. Lund and T. L. Boyd, "Direct Utilization of Geothermal Energy 2015 Worldwide Review," *Proc. World Geotherm. Congr.*, no. April, pp. 19–25, 2015.

[۳] ف. کاکایی و م. شاهرودی، "استفاده از انرژی زمین گرمایی، گامی در جهت توسعه پایدار"، *اولین کنفرانس علمی پژوهشی عمران، معماری و محیط زیست پایدار*، تهران، ایران، خرداد ماه ۱۳۹۵

[۴] ع.س. ز. هرندی. و ر. مستوری، "مروری بر انرژی های تجدید پذیر با رویکرد توسعه انرژی زمین گرمایی"، *دومین کنفرانس ملی معماری و انرژی با رویکرد حفاظت محیط زیست و بهره گیری از انرژی های طبیعی*، دانشگاه آزاد اسلامی واحد کاشان، اصفهان، ایران، اردیبهشت ماه ۱۳۹۶

[۵] بررسی وضعیت صنعت و بازار زمین گرمایی در جهان، satba.gov.ir

[۶] G. Resch, A. Held, T. Faber, C. Panzer, F. Toro, and R. Haas, "Potentials and prospects for renewable energies at global scale," *Energy Policy*, vol. 36, no. 11, pp. 4048–4056, 2008.

[۷] S. M. Lu, "A global review of enhanced geothermal system (EGS)," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 81, no. June 2017, pp. 2902–2921, 2018.

[۸] M. Melikoglu, "Geothermal energy in Turkey and around the World: A review of the literature and an analysis based on Turkey's Vision 2023 energy targets," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 76, no. March, pp. 485–492, 2017.

[9] S. J. Zarrouk, "Postgraduate geothermal energy education worldwide and the New Zealand experience," *Geothermics*, vol. 70, no. July, pp. 173–180, 2017.

[۱۰] A. Ritcher, "Top 10 Geothermal Countries based on installed capacity – Year End 2017," *Think Geoenergy*, p. 1, 2018.

[۱۱] British Petroleum, "BP Statistical Review of World Energy 2017," *Br. Pet.*, no. 66, pp. 1–52, 2017.

[۱۲] U. S. E. I. Administration, "Table 8 . 1 . Average Operating Heat Rate for Selected Energy Sources ," vol. 2016, p. 2018, 2015.

[13] B. D. Hong and E. R. Slatick, "Carbon Dioxide Emission Factors for Coal," *Q. Coal Rep.*, vol. January-Ap, no. 6, pp. 1–8, 1994.

[۱۴] C. Search, "Combustion from Fuels - Carbon Dioxide Emission Environmental emission of carbon dioxide CO 2 when combustion fuels like coal , oil , natural gas , LPG and bio energy," pp. 3–5, 2018.

[۱۵] "How much CO2 produced by burning one barrel of oil," vol. 9994, p. 9994, 2018.

www.SID.ir