



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 تجدیدپذیر، 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 (%/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: $۸/۱۸۵ \times ۱۰^{۱۰}$ کیلوگرم، گاز طبیعی: $۴/۹۷۵ \times ۱۰^{۱۰}$ مترمکعب و نفت: $۲/۸ \times ۱۰^۸$ بشکه) خواهد شد. در شرایطی که اگر برای تولید همان میزان برق از سوخت‌های فسیلی استفاده می‌شد، دی‌اکسید کربن زیادی (زغال سنگ: 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



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

Esrafil Shahveran¹, Hossein Yousefi^{2*}, Ardavan Shahsavari¹

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: 8.185×10^{11} Kg, Natural Gas: $4/97 \times 10^{11}$ m³ and Oil: 2.8×10^8 barrel). If these fossil fuels were used to produce the same amount of electricity, much carbon dioxide would enter the atmosphere (by using Coal: 234.091×10^6 tone CO₂, Natural Gas: $97,907 \times 10^6$ tone CO₂ and Oil: $121,108 \times 10^6$ CO₂).

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



۱- مقدمه

جدول ۱ میزان استفاده جهانی از انرژی‌های تجدیدپذیر در سال ۲۰۰۴ و پتانسیل هر یک (اگرا 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

انرژی زمین‌گرمایی که در طول هزاران سال در داخل زمین ذخیره شده است، از فروپاشی عناصر رادیواکتیو در عمق زمین نشأت گرفته است [۱]. زمینی که در زیر پای ما قرار دارد، منبع بسیار عظیم انرژی است. این انرژی که به صورت حرارت از اعماق زمین به سطح آن هدایت می‌شود، در صورت توسعه فناوری استخراج آن به تنهایی قادر خواهد بود کلیه نیازهای انرژی امروز و آینده بشر را تأمین کند. طبق محاسبات مشخص شده است 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 شده است [۳]. انرژی زمین‌گرمایی نسبت به سایر انرژی‌های تجدیدپذیر دارای مزایای قابل توجهی 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 زمین‌گرمایی می‌باشند 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 ۱۹۰۴ میلادی 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 زده است [۱].

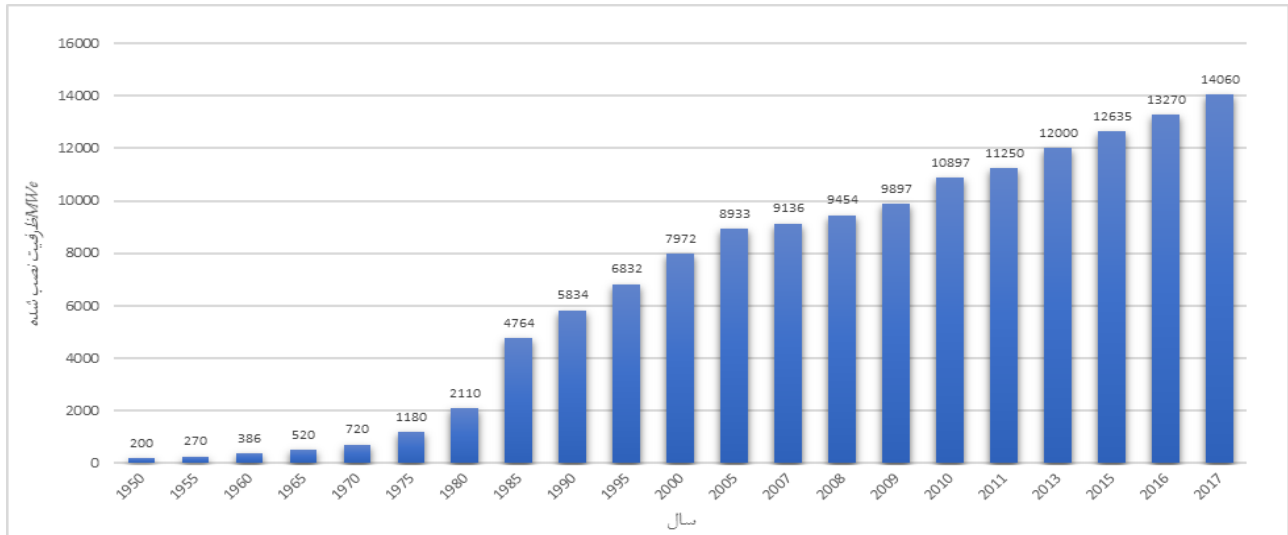
گوستاو رسچ و همکارانش در تحقیقی که انجام داده‌اند میزان استفاده بشر از انرژی‌های تجدیدپذیر را در سال ۲۰۰۴ به تقکیک هر انرژی و پتانسیل هر انرژی را گزارش دادند که در بین آنها انرژی زمین‌گرمایی بیشترین پتانسیل را در بین سایر انرژی‌های تجدیدپذیر دارد، که این نتایج در جدول ۱ آورده شده است.

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 قابل دسترس جهان را برای تولید برق ۱۲۰۰ گیگاوات تخمین زده است و پیش‌بینی کرده است از این مقدار تا سال ۲۰۵۰، ۷۰ گیگاوات برق تولید شود [۷]. مهمت ملیک‌وگلو در تحقیقی که برای آینده انرژی زمین‌گرمایی در ترکیه و جهان انجام داده است، گزارش داده است 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 زمین‌گرمایی را برای تولید برق در سال ۲۰۲۰، ۱۶ گیگاوات تخمین زده است و پیش‌بینی کرده است 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 دلبیو لوند و تونیا ال بوید در تحقیقی که در مورد استفاده مستقیم از انرژی زمین‌گرمایی انجام دادند، تعداد کشورهای استفاده‌کننده مستقیم از این انرژی دنیا را در سال‌های ۱۹۹۵، ۲۰۰۰، ۲۰۰۵، ۲۰۱۰ و ۲۰۱۵ را به ترتیب 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٪ داشته است. همین میزان استفاده از انرژی زمین‌گرمایی باعث ذخیره ۳۵۲ میلیون بشکه نفت و جلوگیری از انتشار ۱۴۹/۱ میلیون تن کربن‌دی‌اکسید شده است.





نمودار ۱ میزان تولید جهانی برق زمین گرمایی از سال ۱۹۵۰ تا ۲۰۱۸ [۲۰۱۱]

ظرفیت نصب شده انرژی زمین گرمایی برای تولید برق تا آخر سال ۲۰۱۷ به ۱۴۰۶۰ مگاوات رسیده است که از این مقدار ۷۹۲ مگاوات در سال ۲۰۱۷ نصب شده است. همان طور که در شکل ۱ نشان داده شده است، در بین کشورهای تولیدکننده برق از این انرژی، ترکیه با ۳۲۵ مگاوات ظرفیت جدید بیشترین توسعه را در سال ۲۰۱۷ به خود اختصاص داده است [۱۰].

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

جدول ۲ آمار استفاده مستقیم از انرژی زمین گرمایی از سال ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۸ [۲۰۱۱]

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

۲-۴- پیش بینی کل تولید برق جهان از انرژی زمین گرمایی در سال ۲۰۳۰ با استفاده از قابلیت پیش بینی نرم افزار اکسل (فورکست شیت) و با داشتن آمار تولید در چند سال اخیر میزان تولید برق از انرژی زمین گرمایی در سال ۲۰۳۰ حدود ۲۰ گیگاوات و استفاده مستقیم از این انرژی نیز در حدود ۱۱۷ گیگاوات تخمین زده شد.

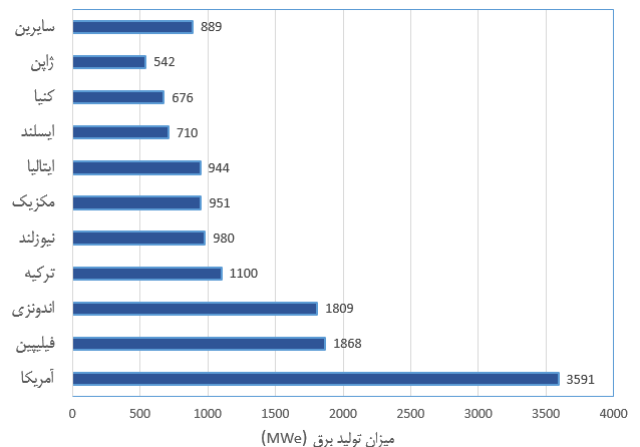
تا پایان سال ۲۰۱۴، حدود ۱۳۰۰۰۰ پمپ حرارتی زمین گرمایی نصب شده است که پیش بینی می کند تا سال ۲۰۲۰ این مقدار تا یک میلیون عدد افزایش یابد. همچنین آنها برآورد کرده اند که استفاده از انرژی حرارتی زمین بین سال های ۲۰۰۶ تا ۲۰۲۰، شش برابر شود [۲]. صادق سدیک جی زاروک ظرفیت نصب شده جهانی را برای تولید برق در سال ۲۰۲۰، ۲۱۴۴۳ مگاوات پیش بینی کرده است [۹].

۳- روش تحقیق

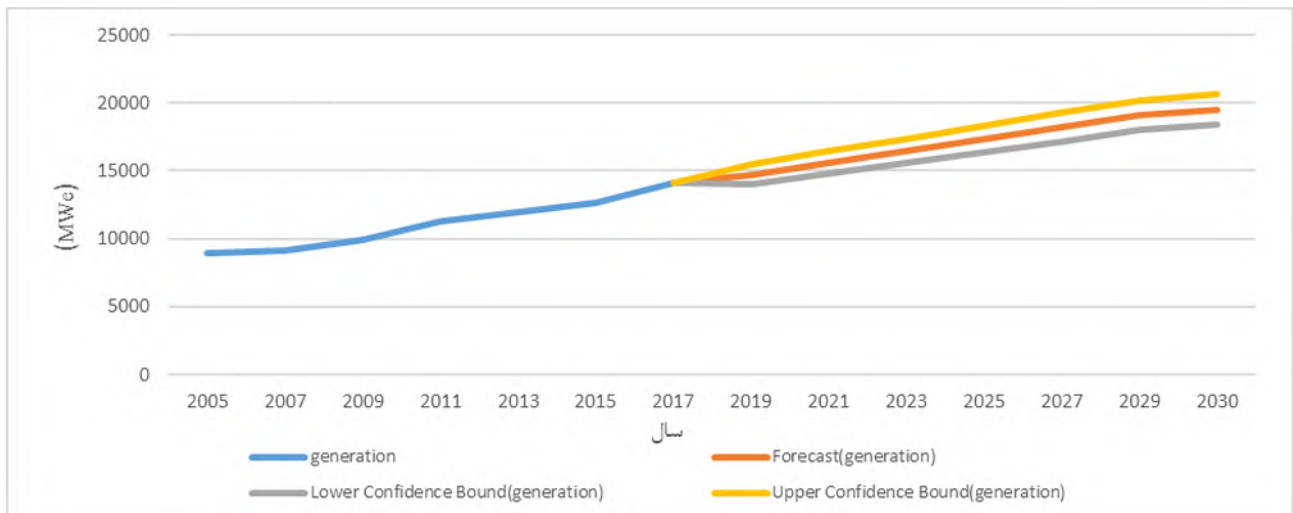
پیش بینی هایی که در این تحقیق انجام شده اند، با استفاده از ابزار پیش-بینی (فورکست شیت) نرم افزار اکسل ۲۰۱۶ می باشد. اساس کار این ابزار بر پایه استفاده از الگوریتم هموارسازی نمایی یا (Exponential Triple ETS Smoothing) می باشد.

۴- پیش بینی رشد استفاده از انرژی زمین گرمایی تا سال ۲۰۳۰

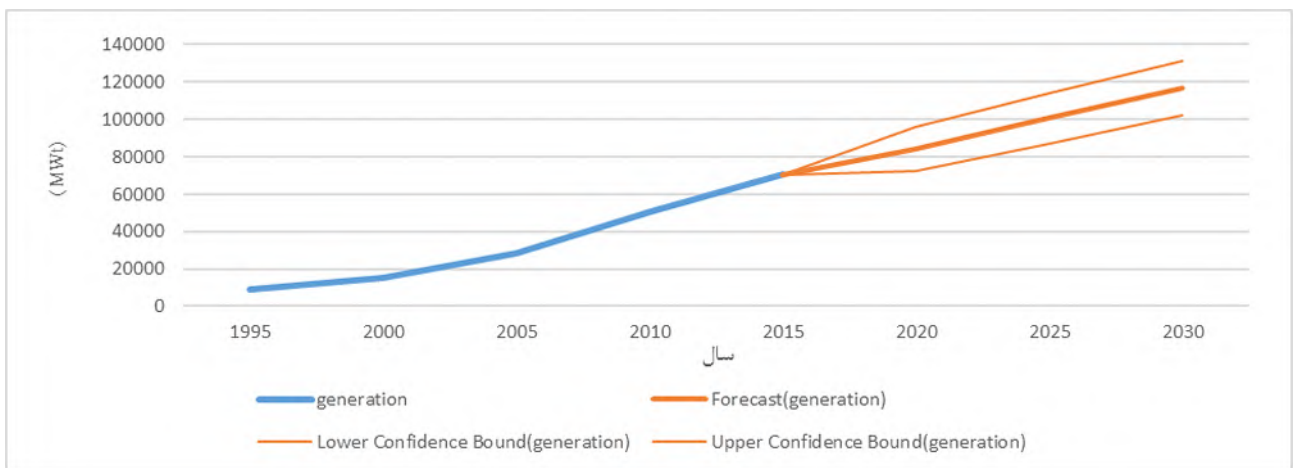
۱-۴ وضعیت فعلی (تا آخر سال ۲۰۱۷)



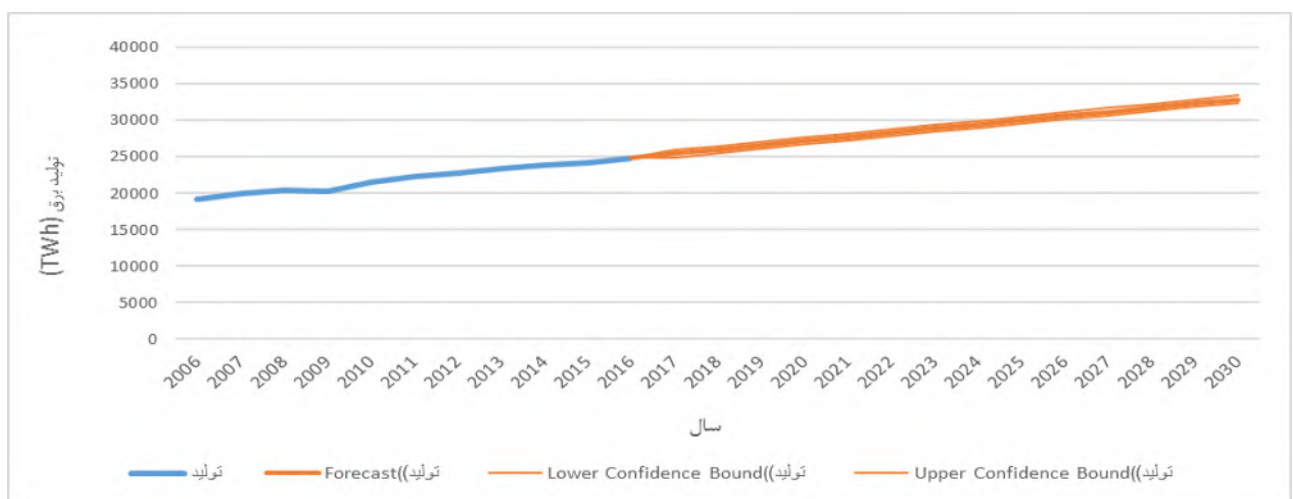
شکل ۱ ده کشور برتر تولید برق زمین گرمایی [۱۰].



نمودار ۲ پیش‌بینی تولید برق زمین‌گرمایی در سال ۲۰۳۰ [۲۰۱۱]



نمودار ۳ پیش‌بینی استفاده مستقیم از انرژی زمین‌گرمایی در سال ۲۰۳۰ [۲۰۱۱]



نمودار ۴ پیش‌بینی تولید جهانی برق در سال ۲۰۳۰ [۲۰۱۱]



خواهد شد که این مقادیر به تفکیک هر یک از سوخت‌های فسیلی عبارت‌اند از:

زغال سنگ: $10^{10} \times 8/185$ کیلوگرم

گاز طبیعی: $10^{10} \times 4/975$ مترمکعب

نفت: $10^8 \times 2/8$ بشکه

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

۶- محاسبه میزان عدم تولید گاز دی اکسید کربن

در صورتی که $175/2$ تراوات ساعت برق به وسیله سوزاندن هر کدام از سوخت‌های فسیلی تولید می‌شود، مقادیر زیادی کربن دی‌اکسید وارد جو می‌شود. این مقادیر برای هر سه نوع سوخت فسیلی گفته شده، در ادامه محاسبه شده‌اند.

زغال سنگ: به ازای سوزاندن هر تن زغال سنگ، $2/86$ تن دی‌اکسید کربن تولید می‌شود [۱۳]. بنابراین با توجه به لازم بودن $10^7 \times 8/185$ تن زغال سنگ برای تولید مقدار برق گفته شده، در صورت استفاده از زغال سنگ برای تأمین برق مورد نیاز، $234/091$ مگاتن دی‌اکسید کربن وارد جو خواهد شد.

گاز طبیعی: به ازای سوزاندن هر کیلوگرم گاز طبیعی، $2/75$ کیلوگرم دی‌اکسید کربن تولید می‌شود [۱۴]. بنابراین با توجه به لازم بودن $10^{10} \times 4/975$ مترمکعب گاز طبیعی برای تولید مقدار برق گفته شده، در صورت استفاده از گاز طبیعی برای تأمین برق مورد نیاز، $97/957$ مگاتن دی‌اکسید کربن وارد جو خواهد شد.

نفت: به ازای سوزاندن هر بشکه نفت، $432/71$ کیلوگرم دی‌اکسید کربن تولید می‌شود [۱۵]. بنابراین با توجه به لازم بودن $10^8 \times 2/8$ بشکه نفت برای تولید مقدار برق گفته شده، در صورت استفاده از نفت برای تأمین برق مورد نیاز، $121/158$ 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 $0/522$ از برق مصرفی دنیا را تأمین کند (معادل $175/2$ تراوات ساعت)، 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 قابل توجهی از سوخت‌های فسیلی و هم‌چنین 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.

طبق نمودار ۴ میزان تولید جهانی برق در سال ۲۰۳۰، برابر با $32892/219$ تراوات ساعت خواهد بود که با توجه به تولید حدود ۲۰ گیگاوات (معادل $175/2$ تراوات ساعت) برق حاصل از انرژی زمین‌گرمایی در این سال حدود $0/522$ 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: $33/6\%$

گاز طبیعی: $44/8\% - 29/4\%$

نفت: $33/3\% - 25/5\%$

برای تولید یک کیلووات ساعت برق از سوخت‌های گفته شده، مقادیر زیر از هر کدام از سوخت‌ها مورد نیاز است:

زغال سنگ: $0/4762$ کیلوگرم

گاز طبیعی: $0/284$ مترمکعب

نفت: $0/016$ بشکه ($0/00254$ مترمکعب) [۱۲].

بنابراین در صورت تولید $175/2$ تراوات ساعت برق توسط انرژی زمین‌گرمایی در سال ۲۰۳۰ مقادیر قابل توجهی از منابع سوخت‌های فسیلی ذخیره



