DOR: 20.1001.1.24234931.1399.7.1.15.2

سال هفتم، شماره اول، تابستان ۱۳۹۹، ص ص ۱۲۵- ۱۳۲

فصل‌نامه علمی – ترویجی انرژی‌های تجدیدپذیر و نو

jrenew.ir

مقاله

تاریخ دریافت: ۹۸/۰۴/۰۳

تاریخ پذیرش: ۹۸/۰۶/۰۴

مروری بر کاربرد انرژی زمین‌گرمایی در بخش گرمایش و سرمایش گلخانه‌ها

حسن مجدم[۱]، حسین یوسفی[۲*]

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

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

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

چکیده

با توجه به خطر اتمام سوخت‌های فسیلی در آینده نزدیک و افزایش مشکلات ناشی از آلودگی محیطزیست، امروزه جوامع بشری در تلاش برای تغییر الگوی عرضه و تقاضا انرژی خود شده‌اند به‌طوری‌که با پیشرفت فنّاوری، استفاده از منابع تجدیدپذیر به‌عنوان جایگزین مطمئن منابع فسیلی مطرح می‌شود. ازاین‌رو نقش منابع زمین‌گرمایی به‌عنوان یکی از مهم‌ترین منابع انرژی تجدیدپذیر بیش‌ازپیش موردتوجه قرارگرفته است. این انرژی به‌عنوان یک منبع پایدار، با قابلیت انطباق به‌عنوان جایگزین سوخت‌های فسیلی معرفی می‌گردد. در این مقاله به بررسی استفاده از انرژی زمین‌گرمایی در کاربردهای کشاورزی در جهان و ایران پرداخته شده است. در همین راستا ابتدا انرژی زمین‌گرمایی و کاربردهای آن در بخش‌های مختلف به‌ویژه گلخانه‌ها معرفی می‌شود. سپس پارامترها و متودهای متعارف طراحی انرژی زمین‌گرمایی برای استفاده در گلخانه‌ها ارائه می‌شود. در نتیجه این بررسی‌ها، پنج متود برای گرمایش و دو متود برای سرمایش فضای گلخانه‌ها مورد بررسی قرار گرفت که با توجه به نیاز واحد متقاضی و شرایط منطقه‌ای باید انتخاب شوند. درنهایت وضعیت ایران در بهره‌گیری از منابع زمین‌گرمایی در بخش کشاورزی ارزیابی می‌شود.

کلیدواژگان: انرژی زمین‌گرمایی، کشت‌های گلخانه‌ای، انرژی‌های تجدیدپذیر

A review of the application of geothermal energy in the greenhouse heating and cooling section

Hassan Mojaddam[1], Hossein Yousefi[2*]

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: 24 June 2019 Accepted: 26 August 2019

Abstract

Considering the risk of reducing fossil fuels in the near future and increasing environmental pollution problems, human societies are now struggling to change their supply and demand patterns. With the advancement of technology, the use of renewable resources is considered as a reliable alternative to fossil fuels. Therefore, the role of geothermal resources as one of the most important sources of renewable energy is notably discussed. This energy is introduced as a sustainable resource, with the potential of adaptation as an alternative to fossil fuels. This paper examines the application of geothermal energy in agricultural applications in the world and Iran. At the same time, geothermal energy and its applications are introduced in various sections, especially greenhouses. Then, the conventional parameters and methods of geothermal energy design for use in greenhouses are presented. As a result of these studies, it was determined that 5 methods for heating greenhouses and 2 methods for greenhouse cooling were considered, which should be selected according to the requirements of the applicant unit and the regional conditions. Finally, the situation in Iran is evaluated in utilizing geothermal resources in the agricultural sector.

Keywords: Geothermal energy, Greenhouse crops, Renewable energy

۱-مقدمه

از آغاز دوره صنعتی، جمعیت جهان از چند صد میلیون نفر به هشت میلیارد نفر رسیده است. الگوی زندگی ساده و مقتصدانه دویست سال پیش انسان به الگوی زندگی جاه‌طلبانه و مسرفانه قرن بیست و یکم تغییریافته است. افزایش جمعیت از یک سو و افزایش رفاه اجتماعی از سوی دیگر از دلایل مهم نیاز روزافزون جوامع بشری هستند که باعث شده انسان بیش‌ازپیش به استفاده از سوخت‌های فسیلی (زغال‌سنگ، نفت و گاز) روی آورد. این در حالی است که محدودیت استفاده از سوخت های فسیلی به خاطر تجدیدناپذیر بودن آن ها و نیز آلودگی‌هایی که به وجود آورده‌اند (مانند گرم شدن زمین، آب شدن یخ‌های قطب جنوب و به هم خوردن اکوسیستم طبیعی کره زمین) باعث محدودتر شدن استفاده از این منابع انرژی شده است[۱].

از سوی دیگر نفت و مشتقات آن از سرمایه‌های ارزشمند ملی و حیاتی کشورهاست که لزوم مصرف بهینه از آن‌ها بیش‌ازپیش احساس می‌شود. به همین خاطر استفاده از منابع انرژی جایگزین که نامحدود باشند و کمترین آلودگی را به وجود آورند، موردتوجه پژوهشگران و متفکران قرارگرفته است. انرژی زمین‌گرمایی ازجمله این منابع است که در چند دهه اخیر موردتوجه قرارگرفته و پیشرفت‌های چشم‌گیری در دسترسی آن به‌دست‌آمده است[۲].

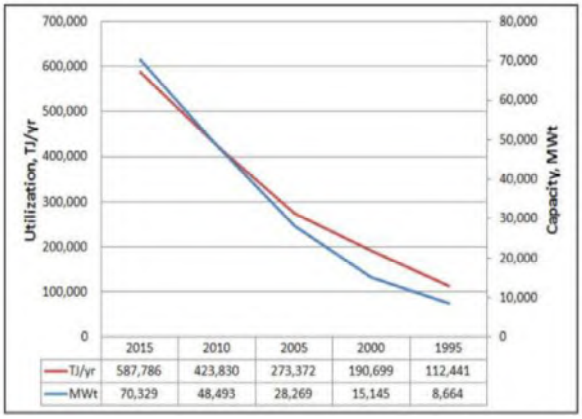
منبع انرژی زمین‌گرمایی حرارت طبیعی زمین است که از مواد مذاب یا ماگما نشأت می‌گیرد. این انرژی در اثر تجزیه رادیواکتیو ایزوتوپ پتاسیم و عناصر دیگری که در پوسته زمین پراکنده‌اند و همچنین به خاطر فشار زیاد حاصل از نیروی وزن ایجاد می‌شود. به تجربه معلوم شده است هرچه به عمق زمین افزوده شود، دما افزایش می‌یابد. به‌طوری‌که درجه حرارت در لایه‌های پایینی پوسته زمین حدود ۱۳۰۰ درجه و در هسته مرکزی زمین حدود ۵۰۰۰ درجه است[۳].

انرژی زمین‌گرمایی برخلاف سایر انرژی‌های تجدیدپذیر محدود به فصل، زمان و شرایط خاصی نبوده و بدون وقفه قابل بهره‌برداری می‌باشد. همچنین قیمت تمام‌شده برق در نیروگاه‌های زمین‌گرمایی با برق تولیدی از سایر نیروگاه‌های متعارف(فسیلی) قابل‌رقابت بوده و حتی از انواع دیگر انرژی‌های نو به مراتب ارزان‌تر است. اگرچه هزینه اولیه سرمایه‌گذاری ساخت نیروگاه‌های زمین‌گرمایی زیاد است ولی هزینه انرژی آن خیلی کم است و در حقیقت مجانی است. چنین نیروگاه‌هایی آلودگی کم‌تر و مساحت کمی را اشغال می‌کنند. انرژی زمین‌گرمایی افزون بر تولید انرژی الکتریکی، دارای کاربردهای دیگری از قبیل گرمایش ساختمان‌ها، فعالیت‌های صنعتی و ایجاد مراکز گرد شگری برای بهره‌مندی از خواص درمانی آب‌های گرم درون زمین است. چنانچه انرژی مستخرج شده از زمین جهت تولید برق اعمال شود، بهره‌برداری غیرمستقیم صورت گرفته است اما اگر صرفاً از حرارت سیال خروجی در جهت تأمین گرمایش استفاده گردد، بهره‌برداری مستقیم می‌باشد.

گلخانه‌ها، که در آن مصرف انرژی به‌طور عمده به گرمایش و سرمایش مرتبط است، یکی از بخش‌هایی است که بیشترین انرژی را در صنعت کشاورزی مصرف می‌کند. هزینه‌های بالا و دسترسی نامطلوب، استفاده از سوخت‌های فسیلی در سیستم‌های گرمایش و سرمایش را محدودتر می‌کند. ازجمله راه‌حل‌های احتمالی، استفاده از سیستم‌های گرمایش زمین‌گرمایی با قیمت‌های رقابتی است که باید موردتوجه قرار گیرد.

۲- پیشینه تحقیق

قرن‌ها پیش از انرژی زمین‌گرمایی به شیوه‌های مختلف استفاده می‌شد. به‌طوری‌که رومیان قدیم از آن برای حمام کردن استفاده می‌کردند تا این‌که در سال ۱۹۰۴ ایتالیا برای اولین بار از انرژی زمین‌گرمایی برای تولید برق به صورت تجاری استفاده کرد. سپس در سال ۱۹۵۸ نیروگاه زمین‌گرمایی وایراکی در زلاندنو و به دنبال آن در دهه ۱۹۶۰ نیروگاهی در گایزرز واقع در ایالت کالیفرنیای آمریکا ساخته شد. امروزه انرژی زمین‌گرمایی سومین نوع از انرژی‌های نو می‌باشد که در دنیا جهت تولید برق و موارد مختلف دیگر مورداستفاده قرار می‌گیرد[۴]. نمودار۱ نشان‌دهنده روند استفاده و ظرفیت نصب‌شده انرژی زمین‌گرمایی از سال ۱۹۹۵ تا ۲۰۱۵ را نشان می‌دهد.



	2015	2010	2005	2000	1995
TJ/yr	587,786	423,830	273,372	190,699	112,441
MWt	70,329	48,493	28,269	15,145	8,664

شکل ۱ نشان‌دهنده روند استفاده انرژی زمین‌گرمایی از سال ۱۹۹۵ تا ۲۰۱۵[۵]

آمارهای بین‌المللی حاکی از آن است که همواره سهم استفاده مستقیم از منابع زمین‌گرمایی بیشتر از استفاده غیرمستقیم بوده است. لاند[۶] مجموع ظرفیت نصب شده برای استفاده مستقیم۷۶ گیگاوات ساعت بر سال اعلام کرد که این رقم تولید متعلق به ۷۲ کشور است، در حالی که ظرفیت نصب‌شده برای تولید برق نیز حدود ۹ مگاوات و متعلق به ۲۴ کشور می‌باشد. در همین راستا رقم انرژی صرفه‌جویی شده معادل ۲۷۰ میلیون بشکه نفت (۴۱ میلیون تن) تخمین زده‌شده است. کشورهای پیشرو در استفاده مستقیم از انرژی گرمایی برای گرمایش گلخانه‌ای، ترکیه، روسیه، مجارستان، چین و

ایتالیا هستند[۷]. مرتوگلو و همکاران[۸] اعلام کردند که در ترکیه برای گرم کردن فضا و تهیه آب گرم مصرفی مسکونی، تجاری، کشاورزی، عمومی درمجموع ۶۶۵ مگاوات از منابع زمین‌گرمایی تأمین‌شده است که گلخانه‌ها با مساحت ۵۶۵،۰۰۰ مترمربع بیشترین سهم را دارا می‌باشند.

مطالعات سیرکار و همکاران[۹] نشان داد که بسته به عمق منبع زمین‌گرمایی و درجه حرارت آن برای اهداف مختلف مانند حمام آب گرم و شنا، کشاورزی، آبزی‌پروری، زنبورداری و غیره استفاده می‌شود. در ادامه آن‌ها با بازخوانی متودهای استفاده مستقیم از انرژی زمین‌گرمایی در بخش کشاورزی پرداختند. آب، هوا، رطوبت نسبی و درجه حرارت چهار پارامتری هستند که باید توسط سیستم گرمایش گلخانه کنترل شوند. دمای مطلوب برای رشد سبزیجات مختلف و گیاهان متفاوت است. بنابراین بسته به تقاضای گرمایشی گلخانه‌ها، دمای آب عرضه‌شده بین ۴۰ تا ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد است[۱۰]. آرپا و همکاران[۱۱] صنعت گلخانه‌ای را در منطقه آپولیا در جنوب ایتالیا به‌عنوان منطقه مطالعاتی در استفاده از سیستم‌های پمپ‌های گرمایش زمین[۱] تحلیل کردند. آن‌ها با بررسی قابلیت‌های اقتصادی گلخانه‌ای با سیستم‌های مذکور نشان دادند که این فن‌آوری‌ها می‌توانند به‌طور کامل نیازهای گرمایش زمستان را به شیوه‌ای کاملاً صحیح برآورده سازند. بوسنیاکوویچ و همکاران، با تجزیه و تحلیل فن‌آوری‌های شناخته‌شده گرمایش گلخانه‌ای، مزایا و معایب برخی از آن‌ها را در کشور کرواسی نشان دادند. آن‌ها دریافتند که تکنولوژی حرارت دهی به خاک با استفاده از انرژی زمین‌گرمایی، منافع اقتصادی قابل‌توجهی را به ارمغان می‌آورد[۱۲].

گلخانه‌های کشور امروز، در پی راهکاری برای مدیریت مصرف انرژی خود هستند. با افزایش قیمت حامل‌های انرژی در کشور و واقعی‌تر شدن هزینه‌های انرژی، بسیاری از گلخانه‌ها در تأمین این هزینه‌ها با مشکلاتی اساسی روبه‌رو شده‌اند. رویارویی با چنین مشکلی ارائه‌ی راهکارهایی نوین را برای تأمین انرژی گلخانه‌ها می‌طلبد. مطالعات اندکی درباره گسترش انرژی زمین‌گرمایی در بخش کشاورزی و گلخانه‌ها انجام‌شده است. رضایی به ارائه مدلی با نرم‌افزار کامسول[۲] از عملکرد پمپ های زمین گرمای و کاربرد آن ها در سرمایش محیط گلخانه‌ها به‌خصوص در مناطق گرمسیر پرداخته است[۱۳]. بیگدلو و همکاران با هدف بررسی کارکرد پمپ حرارتی زمین‌گرمایی برای تأمین انرژی گلخانه‌ها و میزان اثربخشی استفاده از این تکنولوژی به عنوان راهکاری برای حلّ مشکل گلخانه‌های کشور باشد مطالعاتی را انجام دادند. برای شروع این بررسی، گلخانه‌ای با مساحت ۱۰۰۰ مترمربع در منطقه‌ی جنوب شهر کرج در نظر گرفته شد. جهت تعیین نیاز انرژی این گلخانه، چگونگی انتقال گرما بین گلخانه و محیط اطراف آن با توجّه به روابط حاکم بر انتقال حرارت مدل سازی شد. این مدل سازی بر اساس داده‌های دمای هوا و شدّت تابش آفتاب شهر کرج صورت گرفت. آن‌ها نشان دادند که اگر قیمت گاز مصرف شده در گلخانه برابر با قیمت جهانی آن باشد، استفاده از پمپ حرارتی زمین‌گرمایی در گلخانه مقرون‌به صرفه است، زیرا ارزش فعلی هزینه‌های سیستم پمپ حرارتی ۷٪ الی ۲۵٪ کمتر از ارزش فعلی هزینه‌های سیستم رایج تأمین انرژی به ازای نرخ‌های گوناگون تورّم است[۱۴].

۳- روش تحقیق

در این مطالعه ابتدا به‌صورت خلاصه کاربردهای استفاده مستقیم انرژی زمین‌گرمایی را ارائه می‌دهد. بعد از آن به معرفی متودهای مختلف گرمایش و سرمایش گلخانه‌ها با منبع حرارتی زمین‌گرمایی می‌پردازد. درنهایت، مطالعات صورت گرفته در ایران و متود کاربردی مختص شرایط آب‌وهوایی کشور گزارش می‌شود.

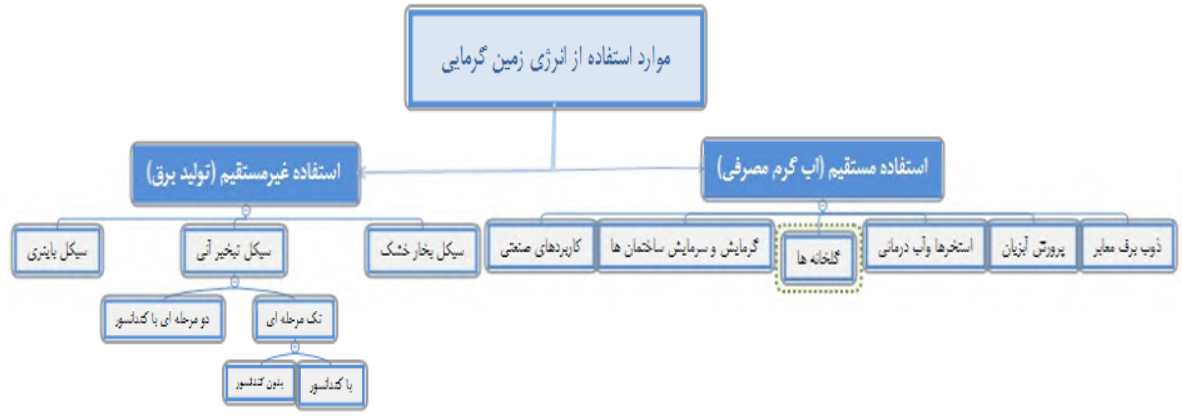
۴- کاربردهای انرژی زمین‌گرمایی

بهره‌برداری و استفاده از حرارت موجود در سیال زمین‌گرمایی به صورت مستقیم و بدون انجام فرآیند تبدیل انرژی را کاربرد حرارتی یا استفاده مستقیم می‌نامند. در روش مستقیم، استفاده از انرژی زمین‌گرمایی، پس از خروج سیال زمین‌گرمایی از چاه‌های تولیدی یا نیروگاه زمین‌گرمایی، توسط خطوط انتقال آب گرم که عموماً دارای عایق حرارتی می‌باشند، توسط شبکه‌های مربوطه به‌سوی انواع کاربری‌ها هدایت می‌شود. این کاربری‌ها شامل استخرها و مراکز آب‌درمانی، مراکز گلخانه‌ای، گرمایش منازل، حوضچه‌های پرورش ماهی، ذوب برف در معابر و سایر کاربردهای صنعتی است. شکل ۲ بیانگر طبقه‌بندی‌های مختلف از کاربردهای انرژی زمین‌گرمایی است.

هدف از احداث گلخانه این است که محیطی را تهیه و نگهداری کنیم که به تولید محصول مطلوب منجر شود. گلخانه زمین‌گرمایی گلخانه‌ای است که از انرژی زمین‌گرمایی برای گرمایش و سرمایش فضای موجود استفاده می‌کند. طراحی یک گلخانه زمین‌گرمایی مشابه با گلخانه‌ای است که با استفاده از سوخت‌های معمولی یا برق برای انرژی گرمایش مورداستفاده قرار می‌گیرد اما دارای تفاوت‌هایی شامل منبع انرژی برای گرم کردن فضا، انتخاب سایت و هزینه است. یک گلخانه زمین‌گرمایی تقریباً همیشه به دلایل اقتصادی نزدیک به منبع زمین‌گرمایی قرار داشته باشد. کاهش هزینه انرژی یک مزیت بزرگ از گلخانه زمین‌گرمایی است. هزینه‌های اولیه ساخت‌وساز تقریباً مستقل از انرژی گرمایشی است، اما هزینه‌های عملیاتی در گلخانه‌های زمین‌گرمایی غیرقابل مقایسه است. قیمت انرژی زمین‌گرمایی بستگی به سیاست کشور دارد که کاربر باید این هزینه را به صاحب منبع که

[۱] ground-source heat pump systems (GSHPs)

[۲] comsol



شکل ۲ طبقه‌بندی کاربردهای انرژی زمین‌گرمایی

احتمالاً دولت، یک فرد، یک شرکت خصوصی و غیره باشد را پرداخت کند. هزینه‌های حفاری چاه شامل پمپ‌ها، سیستم انتقال و توزیع است، هرچند این هزینه‌ها زمانی که منبع برای اولین بار استفاده می‌شود بسیار زیاد است، اما درمجموع هزینه‌های کل یک گلخانه زمین‌گرمایی بسیار پایین‌تر از گلخانه‌هایی با سوخت فسیلی می‌باشد.در این مقاله با مرور اجمالی بر انرژی زمین‌گرمایی و کاربردهای این انرژی در استفاده مستقیم و غیرمستقیم، به بررسی پارامترها و متودهای مهم طراحی گلخانه‌های زمین‌گرمایی می‌پردازیم[۷].

۵- سیستم‌های گرمایش گلخانه

کنترل عوامل محیطی مهم‌ترین عامل در بهبود کمی و کیفی محصولات کشاورزی در محیط گلخانه‌ای می‌باشد ازاین‌رو ضرورت طراحی سیستم گرمایشی که بتواند در روزهای سرد زمستان دما و سایر عوامل جوی را کنترل نماید بسیار احساس می‌شود. سیستم‌های گرمایشی را می‌توان بر اساس موقعیت نصب سیستم گرمایش طبقه‌بندی کرد. دسته‌بندی‌ها عبارت‌اند از:

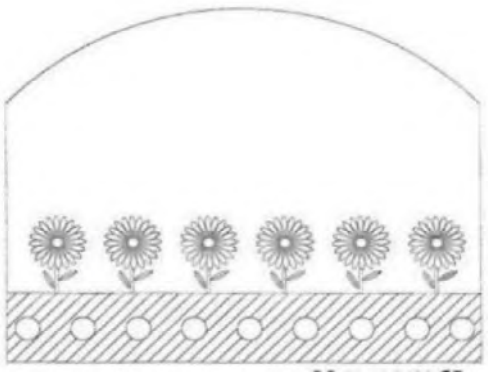
- سیستم‌های گرمایش داخلی خاک
- سیستم‌های گرمایشی سطحی خاک
- سیستم‌های هوای گرم
- آبشاری
- ترکیبی از موارد فوق

در ادامه شرح مختصری را از هرکدام از سیستم‌های گرمایش گلخانه‌ای مذکور ارائه‌شده است:

۵-۱- سیستم‌های گرمایش داخلی خاک

در این سیستم خاک به‌عنوان یک رادیاتور بزرگ استفاده می‌شود که یک نمونه از آن در شکل۳ نشان داده شده است، مشاهده می‌شود. پس از تعیین اندازه و فاصله لوله‌ها که تابعی از گرمای خروجی، دمای متوسط آب، هدایت خاک و عمق لوله‌های دفن شده است، نوبت به دفن لوله‌ها در داخل می‌شوند تا آب گرم از طریق لوله‌ها عبور کند و حرارت تولیدشده به خاک منتقل شود و درنهایت به محیط هوای گلخانه برسد. مواد مورد استفاده برای لوله‌های گلخانه به علت مشکلات خوردگی و انبساط فولاد، پلی‌پروپیلن، پلی‌اتیلن یا پلی بوتیلن است. پلی بوتیلن یکی از مقاوم‌ترین و گران‌ترین مواد در محدوده دمایی گلخانه است.

این سیستم منجر به توزیع مناسب درجه حرارت هوا حتی از کف تا سقف می‌شود، در ضمن فضای داخلی گلخانه را محدود نکرده و سایه‌ای ایجاد نمی‌کند. علاوه بر این ثابت‌شده است که استفاده از حرارت داخلی خاک برای گرده‌افشانی سبزیجات و پرورش گل لاله باعث بهبود عملکرد می‌شود و کیفیت بسیار مطلوبی را برای محصولات فراهم می‌کند. همچنین برای کنترل دمای ریشه و پوشش گرمای حداقلی مناسب است. اگر بخواهیم سیستم مذکور را به‌عنوان تنها سیستم گرمایشی استفاده کنیم باید در مناطق محیطی معتدل و دارای درجه حرارت داخلی پایین استفاده شود که ناشی از طبیعت انتقال گرما در این سیستم است. هنگامی‌که نیازهای گرمایش افزایش می‌یابد، دمای کف باید افزایش یابد تا این الزامات را برآورده شود. به‌عنوان یک نتیجه، چنین حرارت و تابش کف را نمی‌توان برای دوره‌های طولانی استفاده کرد زیرا گرمای بیش‌ازحدی به گیاهان داده می‌شود. راه‌حل استفاده از این سیستم ترکیب کردن این سیستم با دیگر انواع تأسیسات گرمایشی (به‌عنوان‌مثال بخاری) است[۱۵].



شکل ۳ سیستم‌های گرمایش داخلی خاک

۲-۵-سیستم‌های گرمایشی سطحی خاک

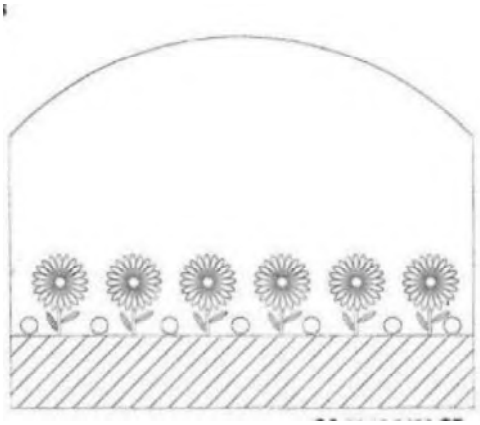
این د سته شامل لوله‌های نازک، آ ستین‌های پلی‌اتیلنی و یا لوله‌های پلا ستیکی واقع در سطح زمین ا ست که در شکل ۴ ن شان داده شده است. سیستم لوله نازک به‌طور گسترده‌ای مورداستفاده قرار می‌گیرد و لوله‌های ساخته‌شده از فولاد یا پلی‌اتیلن فقط در گلخانه‌های کوچک یا ارزان‌قیمت نصب می‌شوند. محل لوله‌ها می‌توانند بین ردیف‌های گیاهان یا مستقیماً در ردیف گیاهان باشد. سیستم را می‌توان در حلقه‌های واحد یا حلقه‌ای با سیستم موازی دو یا سه لوله تنظیم کرد.

یکی از م شکلات سیستم این ا ست که پس از پایان ف صل تولید، لوله‌های پلا ستیکی باید جمع‌آوری شوند و فولادها برای ک شت خاک قرار داده شوند. علاوه بر این، هنگامی‌که لوله‌ها با پلی‌اتیلن ساخته می‌شوند، به دلیل تغییرات دمای کنترل نشده، به‌طور مرتب مجدداً باز سازی می‌کنند و اجازه افزایش دمای بیش از ۶۰ درجه سانتی‌گراد را نمی‌دهند. هنگامی‌که درجه حرارت زیر ۶۰ درجه سانتی‌گراد با شد، سیستم گرمایش از تعداد زیادی خط لوله تشکیل‌شده است.

چنین سیستمی ممکن ا ست به دلیل هزینه سرمایه‌گذاری بالا و سایه زدن خطوط لوله ممکن نباشد. یکی دیگر از ضعف‌های سیستم این است که برگ‌های محافظت نشده بالای گیاهان نسبت به تابش و شرایط هوای سرد حساس هستند. به همین دلیل در هوای سرد، این سیستم در ترکیب با یک سیستم گرمایش دیگر استفاده می‌شود. این سیستم کوچک است ولی تأثیر قابل‌توجهی بر دمای خاک دارد. سیستم گرمایشی مذکور باعث برداشت زودتر، عملکرد بهتر و کیفیت خوب محصولات در بسیاری از کشت‌های شناخته‌شده می‌شود[۱۶].

۳-۵- سیستم‌های هوای گرم

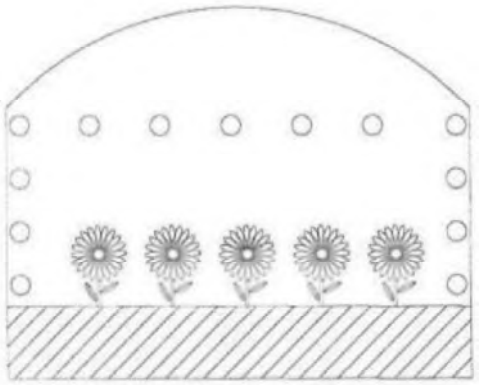
سیستم‌های هوای گرم شامل واحدهای لوله بخاری و فن کویل‌ها هستند. لوله‌ها می‌توانند لوله‌های فولادی صاف یا گالوانیزه و یا لوله‌های پلاستیکی صاف باشند که در امتداد طول ردیف گیاه و همچنین در امتداد دیواره‌های جانبی، زیر سقف یا زیر نیمکت‌های کشت قرار گیرند. در شکل ۵ سیستم هوای گرم را نشان می‌دهد که لوله‌ها در امتداد دیوار قرارگرفته و از پشت‌بام آویزان شده‌اند. موقعیت سیستم بستگی به کشت، نیاز گیاه، ساختمان گلخانه‌ای، اولویت کشاورزان، آب‌وهوا و فنّاوری کشت دارد. این سیستم گرمایش قدیمی‌ترین سیستم شناخته‌شده است که در هر آب‌وهوایی مناسب و قابل‌استفاده در گلخانه‌های بزرگ است.



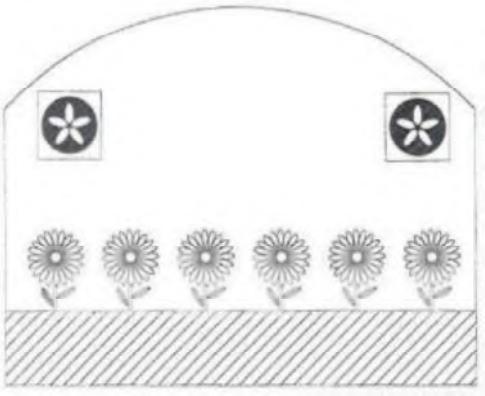
شکل ۴ سیستم‌های گرمایشی سطحی خاک

لوله‌های هوا در چندین کشت قابل‌استفاده‌اند اما تفاوت در عملکرد و کیفیت محصولات با توجه به محل لوله‌ها وجود دارد به همان دلیل دمای آب زمین‌گرمایی سیستم‌های فوق، باید بیش از ۶۰ درجه سانتی‌گراد باشد. محدودیت دمای آب را می‌توان با سیستم گرمایش هوایی اسپاگتی حل کرد. این سیستم شامل لوله‌های پلاستیکی با قطر بسیار کوچک است که در زیر نیمکت‌های گرم قرار می‌گیرد و باعث می‌شود توزیع درجه حرارت حتی در گلخانه نیز انجام شود. دمای آب زمین‌گرمایی باید کم باشد و کیفیت آب به دلیل قطر کوچک بسیار زیاد است. این سیستم پرهزینه است و فقط برای گیاهان گلدانی و کشت‌های مشابه استفاده می‌شود.

واحدهای گرم‌کن اجباری هوا معمولاً سیستم‌های هوایی هستند که در امتداد دیواره‌های گلخانه‌ای، بین ردیف‌های گیاه قرار می‌گیرند یا از پشت‌بام آویزان می‌شوند (شکل ۶) و شامل دودسته اصلی واحد بخاری و واحد فانکویل هستند. واحدهای بخاری معمولاً یک یا دو کویل دارند. کویل در سیستم‌های فن بسیار ضخیم‌تر بوده و دارای فاصله بین باله نسبت به واحدهای بخاری است. این کویل‌ها دارای شش یا هشت ردیف هستند تا سطح بیشتری را ایجاد کنند. منطقه اضافی منحصربه‌فرد، انتقال حرارت بیشتری را به وجود می‌آورد که درنتیجه توانایی استخراج گرمای بیشتری را از آب دارد. سیستم‌های فن معمولاً نیاز به دمای مایع ژئوتکنیکی بالا دارند، زیرا با درجه حرارت پایین کارایی سیستم پایین‌تر است. مایع باید به‌اندازه کافی تصفیه شود، زیرا شایع‌ترین مواد موجود در این واحدها مس است که بسیار حساس به خوردگی است. علاوه بر این، مبدل حرارتی لازم است که در مسیر طولانی جریان آب بتواند مقیاس بندی شود[۱۵].



شکل۵ سیستم‌های هوای گرم



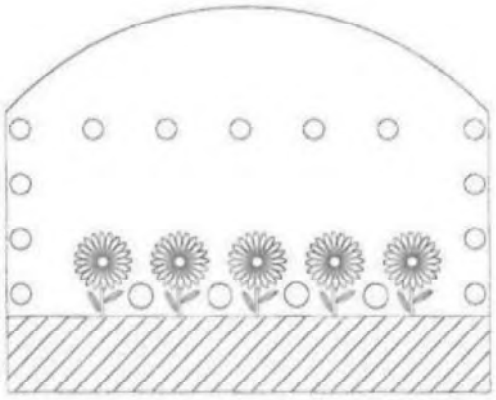
شکل ۶ گرم کردن اجباری هوا

۴-۵-آبشاری

این سیستم گرمایش فقط در سازه‌های دولایه‌ای استفاده می‌شود و در گلخانه‌های ارزان‌قیمت پلاستیکی کاربرد دارد. خط لوله آب به فضای بین دولایه نصب‌شده است و آب گرم در این فضا اسپری می‌شود که به‌عنوان یک روش مؤثر گرمایش محسوب می‌شود، اما دارای معایب زیادی می‌باشد و به‌طور کلی قابل‌قبول نیست. آب باید بسیار تمیز و بدون رسوب باشد. اگرچه بسیاری از آزمایش‌ها با افزودنی‌های شیمیایی انجام‌شده است اما مشکل مربوط به رسوبات حل‌نشده باقی‌مانده است. پس از چند ماه بهره‌برداری، پلاستیک اجازه می‌دهد مقادیر نور کمتری وارد گلخانه شود و همچنین نصب پنجره‌های سقف امکان‌پذیر نیست. علاوه بر این، لایه قرارگرفته پایینی باید کاملاً محکم باشد، زیرا نفوذ آب زمین‌گرمایی می‌تواند به گیاهان را آسیب برساند.

۵-۵-ترکیبی

ترکیبی از سیستم‌های گرمایش مختلف در هوای سرد لازم است. سیستم‌های اجباری هوایی معمولاً با سیستم‌های گرمای خورشیدی (در داخل خاک یا روی سطح خاک) و حتی توزیع دما در گلخانه قرار می‌گیرند. سیستم‌های ترکیبی گرمایش هوایی سیستم‌هایی با چند حالت متنوع به عنوان مثال با لوله‌های قرار داده‌شده در امتداد دیوارها و زیر سقف (شکل ۷)، از سقف و در کنار گیاهان، روی سقف، روی دیوار و کنار گیاهان هنگامی‌که لوله‌ها فقط بر روی سقف و دیوار قرار می‌گیرند ممکن است گیاهان دچار بیماری شوند (قارچ). این اتفاق به این دلیل که رطوبت در سطح برگ گیاه باقی می‌ماند می‌افتد اما وقتی لوله‌های حرارتی در کنار ردیف‌های کشت قرار می‌گیرند مقدار قابل‌توجهی رطوبت از بین می‌رود.



شکل۷ سیستم ترکیبی

۶-سرمایش گلخانه

کنترل عوامل محیطی مهم‌ترین عامل در بهبود کمی و کیفی محصولات کشاورزی در محیط گلخانه‌ای است ازاین‌رو ضرورت طراحی سیستم سرمایشی که بتواند در روزهای گرم تابستان دما و سایر عوامل جوی را کنترل نماید بسیار احساس می‌شود.

۱-۶-سیستم تهویه - موقعیت پنجره

برای جلوگیری از گرمایش بیش‌ازحد، رطوبت و گازهای نامطلوب، باید گلخانه‌ها تهویه شوند. سیستم تهویه خنکی لازم را در تمام طول سال در آب‌وهوای سرد و در زمستان در تمام اقلیم فراهم می‌کند. در هوای معتدل، معمولاً علاوه بر پنجره‌ها، سیستم‌های خنک‌کننده تابستانی وجود دارد. جهت پنجره‌ها می‌تواند باعث کاهش هزینه‌های گرما و تهویه مناسب شود. پنجره‌های تهویه گلخانه‌ها را در امتداد سقف نزدیک به گودال باز می‌کنند. تهویه تا حدی ناشی از وزش باد است و تا حدی با تأثیر پشته هوا گرم از طریق قسمت‌های بالای پنجره‌ها جای می‌گیرد و با هوای خنک‌کننده وارد شده از طریق دهانه‌ها جایگزین می‌شود.

اکثر ساختارهای پلاستیکی از طریق انتهای باز یا یک نوار باز در امتداد پایه هر دیواره تهویه می‌شود. این سیستم معمولاً کنترل خودکار دارد و پنجره‌ها در هر دو طرف قرار می‌گیرند. بر این اساس، هنگامی‌که باد از یک‌جهت دم می‌کند، پنجره‌ها از طرف دیگر باز می‌شوند. در سال‌های اخیر، تهویه مطبوع مورداستفاده قرارگرفته است و در برخی از زمینه‌ها از تهویه اجباری استفاده شده است که شامل فن‌هایی است که جریان افقی هوا را از انتهای گلخانه‌های کوچک یا در مقطع عرضی در مقیاس بزرگ تولید می‌کنند[۱۶].

۲-۶- سیستم خنک‌کن تابستان

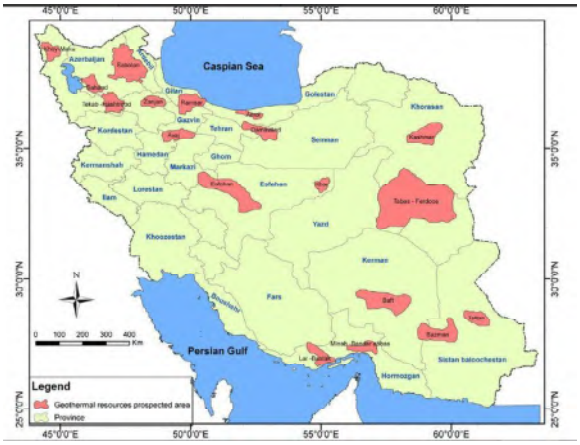
سیستم خنک‌کننده تابستان در مناطق گرم استفاده می‌شود. دمای داخل گلخانه‌ها اغلب ۱۱ °C از درجه حرارت خارج بیشتر است که به‌رغم تهویه‌های باز، درجه حرارت بالا می‌تواند اثر منفی بر گیاهان بگذارد که با از دست دادن قدرت اسپری، کاهش اندازه گل، تأخیر گلدهی و حتی عدم باروری همراه باشد. سیستم تبخیری فن و پد یک سیستم قدیمی خنک‌کننده تابستان است. پد معمولاً به‌صورت عمودی در امتداد یک دیوار که آب از آن عبور می‌کند قرار می‌گیرد. فن‌های خروجی بر روی دیوار مقابل قرار می‌گیرند. هوای گرم خروجی از طریق پد واردشده است. آب در آن از طریق تبخیر، گرما را از پد و قاب اطراف آن جذب می‌کند و همچنین هوا از طریق پد عبور می‌کند. سیستم فوق می‌توانند دمای هوا در گلخانه را تحت دمای محیط خارج از دمای ۱۴ درجه سانتی‌گراد یا بیشتر کاهش دهد.

۷-کاربرد انرژی زمین‌گرمایی در بخش کشاورزی ایران

رشد روزافزون جمعیت، توسعه شهری و نیز اقتصاد انرژی در کشور ما، تولید ۹۰ هزار مگاوات برق در سال ۲۰۲۰ را اجتناب‌ناپذیر ساخته است. در حدود ۹۸ درصد ظرفیت تولید فعلی نیروگاه‌های برق کشور به نقش سوخت‌های فسیلی متکی است. حال‌آنکه محدودیت منابع سوخت فسیلی، رشد مصرف داخلی و نبودن منابع کافی برای صادرات از یک‌سو و موازین و معیارهای زیست‌محیطی توسعه پایدار از سوی دیگر، کاربرد انرژی‌های تجدیدشونده در بستر تولید را اجتناب‌ناپذیر ساخته است.

به‌رغم پتانسیل‌های بسیار مناسب به‌منظور کاربرد انرژی زمین‌گرمایی، به دلیل نبود سیاست‌گذاری‌های کلان درزمینه بکارگیری انرژی تجدیدپذیر، فقدان فناوری مناسب در خصوص حفاری عمیق، مهندسی مخازن، ساخت و نیز بهره‌برداری از نیروگاه‌های زمین‌گرمایی و بالاخره وجود رقیب سرسخت منابع ارزان سوخت‌های فسیلی، بهره‌برداری از پتانسیل‌های مزبور کماکان جدی گرفته نشده است[۱۷].

ایران به دلیل تنوع آب‌وهوایی، زمین‌های حاصلخیز و از همه مهم‌تر دارا بودن بخش قابل‌توجهی از منابع زمین‌گرمایی پتانسیل استفاده از این انرژی برای تأمین نیازهای خود در بخش کشاورزی را دارد. طبق بررسی‌های محلی صورت گرفته مشخص‌شده است که در چهار بخش به‌صورت عمده منابع زمین‌گرمایی (در شمال و شمال غرب) و تقریباً در تمام استان‌های ایران چشمه‌های آب گرم وجود دارد که با احداث گلخانه‌های متناسب با شرایط بومی منطقه می‌توان شاهد بهبود کمی و کیفی محصولات کشاورزی شد. شکل ۸ نشان‌دهنده نقشه منابع زمین‌گرمایی در ایران است[۱۸].



شکل۸ نشان‌دهنده منابع زمین‌گرمایی در ایران[۱۸]

با توجه به مطالب گفته‌شده و نقشه منابع زمین‌گرمایی ایران می‌توان فهمید که اکثر منابع زمین‌گرمایی ایران واقع در مناطق معتدل و سردسیر هستند. به‌عنوان‌مثال محلات منطقه‌ای است که در آن پتانسیل کشت گلخانه‌ای وجود دارد. طراحی مطلوب انرژی زمین‌گرمایی می‌تواند نقش مهمی را در توسعه‌ی کشاورزی در مناطق مذکور ایفا کند با توجه به مطالبی که در باب معرفی سیستم‌های گرمایشی ذکر شد می‌توان فهمید که انتخاب یک سیستم مناسب به عوامل متعددی ازجمله میزان سرمایه‌گذاری، اندازه دما و دبی مایع زمین‌گرمایی، نوع محصول کشت‌شده و جنس خاک بستگی دارد. بااین‌حال در مناطق شمالی ایران با توجه به آب‌وهوای معتدل و مرطوب، سیستم گرمایشی داخل خاک و سیستم ترکیبی پیشنهاد می‌شود چراکه می‌توان با طراحی مناسب بدون اینکه محدودیتی در فضای گلخانه به وجود آید، یک توزیع مناسب حرارتی از کف تا سقف داشت.

در مناطق جنوبی تهیه‌ی سیستم سرمایشی برای کنترل دما در تابستان نقش کلیدی دارد ازاین‌رو کنترل دما به‌وسیله‌ی طراحی سیستم خنک‌کننده و تهویه مطبوع مناسب صورت می‌پذیرد. سیستم‌های خنک‌کننده مناسب این نوع مناطق از نوع سیستم‌های تبخیری فن و پد توصیه می‌شود درحالی‌که برای تهویه مطبوع گلخانه انتخاب مناسب پنجره‌ها نقش کلیدی را ایفا می‌کند.

۸-بحث و نتیجه‌گیری

نیاز روزافزون به انرژی باعث شده انسان بیش‌ازپیش به استفاده از سوخت‌های فسیلی (زغال‌سنگ، نفت و گاز) روی آورد. ولی محدودیت استفاده از سوخت‌های فسیلی به خاطر تجدیدناپذیر بودن آن‌ها و نیز آلودگی‌هایی که به وجود آورده‌اند باعث محدودتر شدن استفاده از این منابع انرژی شده است از سوی دیگر نفت و مشتقات آن از سرمایه‌های ارزشمند ملی و حیاتی کشورهاست که لزوم مصرف بهینه از آن‌ها

بیش‌ازپیش احساس می‌شود. به همین خاطر استفاده از منابع انرژی جایگزین که نامحدود باشند و کمترین آلودگی را به وجود آورند، موردتوجه پژوهشگران و متفکران قرارگرفته است. این منابع که در چند دهه اخیر موردتوجه قرارگرفته و پیشرفت‌های چشم‌گیری در دسترسی به آن‌ها به‌دست‌آمده است.

در سال‌های اخیر توجه زیادی به تولید انرژی از انرژی زمین‌گرمایی صورت گرفته است که با توجه به الگوهای عملی می‌توان گفت که استفاده مستقیم از آب‌های زمین‌گرمایی، تأثیرات مثبت اقتصادی فراوانی را برای مناطق دورافتاده فراهم خواهد کرد. انرژی زمین‌گرمایی اهمیت بسیار زیادی ازنظر اثرات مثبت محیط‌زیست دارد بر این اساس از این منبع انرژی به‌عنوان یکی از جایگزین‌های مطمئن سوخت‌های فسیلی یاد می‌شود. توسعه گلخانه‌ای در مناطق خاصی در ایران ممکن است نیاز مردم را به منابع پاک انرژی زمین‌گرمایی برای گرمایش گلخانه‌های محلی تبدیل کند.

سیستم‌های تهویه هوای گرمایش و سرمایش زمین‌گرمایی در گلخانه‌ها به چند دسته تقسیم می‌شوند که هرکدام از آن‌ها معایب و مزایای خود رادارند. مهم‌ترین سیستم‌های گرمایش شامل سیستم‌های گرمایش داخلی خاک، سیستم‌های گرمایشی سطحی خاک، سیستم‌های هوای گرم، آبشاری و ترکیبی از موارد فوق می‌باشد. همچنین برای سرمایش گلخانه‌ها سیستم‌های تهویه - موقعیت پنجره و سیستم خنک‌کن تابستان پیشنهاد می‌شود. انتخاب هرکدام از این سیستم‌ها با توجه به پارامترهای مختلف منطقه‌ای از قبیل آب‌وهوای منطقه، میزان سرمایه‌گذاری، اندازه دما و دبی مایع زمین‌گرمایی، نوع محصول کشت‌شده و جنس خاک جهت استفاده به‌عنوان سیستم گرمایش و سرمایش انتخاب می‌شوند. همانطور که از نتایج بدست آمد، مشخص شد که کشور ایران از پتانسیل‌های بالقوه‌ای در زمینه انرژی زمین گرمایی (دما-پایین و دما-بالا) را دارا می‌باشد و از آنجاکه اکثر مناطق کشور قابلیت کشت گلخانه‌ای را دارند، میتوان نتایج چشمگیری را از بهره برداری طرح های تولید سرمایش و گرمایش از منابع زمین گرمایی متصور بود.

۹-مراجع

[1] Faridul Islama, M. Shahbaz, A. U.Ahmedc, and M. M. Alam, “Financial development and energy consumption nexus in Malaysia: A multivariate time series analysis,” Econ. Model., vol. 30, pp. 435–441, 2013.

[2] Rawshan Ara Begum, M. S. S. Abdullah, M. Jaafar, and K. Sohag, “CO2 emissions, energy consumption, economic and population growth in Malaysia,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 41, pp. 594–601, 2015.

[3] R. Nag, “A REVIEW ON GEOTHERMAL ENERGY TECHNOLOGY.” 2016.

[4] I. Stober and K. Bucher, “History of Geothermal Energy Use Huaqin.” *Springer-Verlag Berlin Heidelberg*, 2013.

[5] J. W. Lund, R. Bertan, and T. L. Boyd, “Worldwide Geothermal Energy Utilization 2015 John.” 2015.

[6] 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.

[7] J. W. Lund and K. Falls, Direct Heat Utilization of Geothermal Energy, vol. 7. *Elsevier Ltd.*, 2012.

[8] O. Mertoglu, N. Bakir, and T. Kaya, “Geothermal applications in Turkey,” vol. 32, pp. 419–428, 2003.

[9] A. Sircar, K. Yadav, and S. Sahajpal, “Overview on Direct Applications of Geothermal Energy.” 2017.

[10] J. A. Adaro, P. D. Galimberti, A. I. Lema, A. Fasulo, and J. R. Barral, “Geothermal contribution to greenhouse heating,” vol. 64, 1999.

[11] S. D’Arpa et al., “Heating requirements in greenhouse farming in southern Italy: evaluation of ground-source heat pump utilization compared to traditional heating systems Stefania.” S*pringer Science+BusinessMedia Dordrecht,* 2015.

[12] M. Bošnjakoviü, I. Lackoviü, and I. Grdiü, “THE GREENHOUSES SOIL HEATING BY GEOTHERMAL ENERGY,*” 5th Int. Sci. Expert Conf. TEAM Soc*. TEAM 2013, Prešov, vol. 7, 2017.

[۱۳] م. ر. میرقائد، *سرمایش گلخانه چرورش گل توسط پمپ زمین‌گرمایی، اولین کنفرانس ملی رویکرد های نوین و کاربردی در مهندسی مکانیک*، زمستان۸۹.

[۱۴] پ. بیگدلو، ی. نوراللهی و ف. ا. پورفیاض، مدلسازی عددی و ارزیابی فنی و اقتصادی پمپ حرارتی زمین‌گرمایی برای تأمین انرژی مورد نیاز گلخانه‌های کشاورزی، *پایان نامه ۹۶کارشناسی ارشد*.

[15] Compiled and Edited by Tonya “Toni” Boyd, “GEOTHERMAL GREENHOUSE INFORMATION PACKAGE,” 2008.

[16] M. Van Nguyen, S. Arason, M. Gissurarson, and P. G. Pálsson, Uses of Geothermal Energy in Food and Agriculture. 2018.

[17] A. Saffarzadeh, S. Porkhial, and M. Taghaddosi, “Geothermal Energy Developments in Iran,*” World Geotherm. Congr. 2015,* no. April, pp. 25–29, 2010.

[18] Y. Noorollahi, H. Yousefi, R. Itoi, and S. Ehara, “Geothermal energy resources and development in Iran,*” Renew. Sustain. Energy Rev.,* vol. 13, no. 5, pp. 1127–1132, 2009.