DOR: 20.1001.1.24234931.1398.6.1.8.8

سال ششم، شماره اول، تابستان ۱۳۹۸ ص ۶۵ ص ۷۳

مقاله

فصل‌نامه علمی – ترویجی انرژی‌های تجدیدپذیر و نو

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۶/۴

Jrenew.ir

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۷/۱۰

مروری بر مدیریت مصرف انرژی زمین‌گرمایی کم عمق در جهان تا سال ۲۰۱۵

راضیه پوردربانی[1*] معصومه علی‌بابا[2]

۱. استادیار گروه مهندسی بیوسیستم، دانشگاه محقق اردبیلی، گروه مهندسی بیوسیستم

۲. دانشجوی دکتری انرژی تجدیدپذیر، دانشگاه محقق اردبیلی، گروه مهندسی بیوسیستم

*اردبیل، صندوق پستی ۵۶۱۹۹-۱۱۳۶۷، r_pourdarbani@uma.ac.ir

چکیده

در این مقاله، کاربرد انرژی زمین گرمایی کم عمق برای کاربردهای مستقیم ارائه شده و پیشینه تحقیقات انجام یافته در دنیا تا سال ۲۰۱۵ بررسی شده است. توزیع انرژی حرارتی مورد استفاده، تقریبا ۵۵/۳٪ برای پمپ‌های حرارتی منبع زمینی، ۲۰/۳٪ برای آب درمانی، ۱۵٪ برای گرمایش فضا، ۴/۵٪ برای گلخانه‌ها و گرمایش زمین روباز، ۲٪ برای حوضچه‌های پرورش آبزیان و گرمایش نهر، ۱/۸٪ برای گرمایش فرآیندهای صنعتی، ۰/۴٪ برای ذوب و خنک کننده ها، ۰/۴٪ برای خشک کردن محصولات کشاورزی و ۰/۳٪ برای استفاده‌های دیگر است. صرفه‌جویی انرژی سالیانه معادل ۳۵۰ میلیون بشکه نفت بوده، و موجب پیشگیری از آزاد شدن ۴۶ میلیون تن کربن و ۱۴۸ میلیون تن CO_2 در اتمسفر می‌شود. همچنین در ادامه، مرور موردی بر ایجاد یک بازار انرژی زمین گرمایی کم عمق ارائه می‌شود. یکی از روشهای انجام یافته در بارسلونای اسپانیا عبارت است از تشکیل چارچوب GIS یک پایگاه داده مکانی و ذخیره اطلاعات اصلی مورد نیاز برای مدیریت سیستم های SGE از قبیل سرعت آبهای زیرزمینی، هدایت حرارتی و یا ظرفیت گرمایی حرارتی، و مجموعه‌ای از ابزار GIS برای تعریف، پیاده سازی و کنترل. نرخ حرارت رد و بدل و اختلال حرارتی بر اساس راه حل‌های تحلیلی معادله انتقال حرارت در محیط متخلخل محاسبه می‌شود.

کلید واژگان: انرژی زمین‌گرمایی، بازار مصرف، مبدل حرارتی، پایگاه داده‌های جغرافیایی (GID).

Review of the management of shallow geothermal energy consumption in the world by 2015

Razieh Pourdarbani[1*], Massome Alibaba[1]

۱. Department of Biosystem engineering, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran

* P.O.B. 56199-11367, Ardabil, Iran, r_pourdarbani@uma.ac.ir

Abstract

This paper presents the application of shallow geothermal energy for direct use in the world, and a research background has been reviewed by 2015. The distribution of thermal energy used is approximately 55.3% for terrestrial thermal pumps, 20.3% for water treatment, 15% for space heating, 4.5% for greenhouses and outdoor heating, 2% for Aquaculture ponds and crematorium heating, 1.8% for heating industrial processes, 0.4% for melting and cooling, ۰,٤٪ for drying agricultural products and ۰,۳٪ for other uses .An annual energy savings of 350 million barrels of oil will prevent the release of 46 million tons of carbon and 148 million tons of CO_2 in space. In the following, a brief review of the creation of a shallow geothermal energy market is presented. One of the methods in Barcelona, Spain, is to create a GIS framework for a spatial database and store the main information needed to manage SGE systems such as groundwater velocity, thermal conductivity or thermal heat capacity, and a set of GIS tools to define. Implementation and control. The heat exchange rate and thermal impairment are calculated on the basis of the analytical solutions of porous heat transfer equation.

Keywords: Geothermal energy, Consumer market, Heat exchanger, Geographic databases (GID).

۱. مقدمه

هدف جهان در وضعیت فعلی تغییرات جهانی آب و هوا، پایداری در برآوردن نیازهای انرژی است. مطالعات متعددی برای نمایش قابلیت جایگزینی سوخت فسیلی برای تولید برق و گرما انجام شده است[۱و ۲]. به همین دلیل، انرژیهای تجدیدپذیر توسط نهادهای دولتی و خصوصی ترویج داده می‌شود. اخیرا، انرژی زمین گرمایی کم عمق (SGE[۱]) به عنوان یک گزینه عملی برای تامین تقاضای انرژی برای گرمایش و سرمایش مخصوصا در ترکیب با سایر منابع انرژی نشان داده شده است . در سالهای اخیر به دلیل مزایایی همچون اثرات زیست محیطی کمتر، تحت تاثیر نگذاشتن شرایط آب و هوایی، تولید غیر متمرکز و موضعی و امکان سنجی اقتصادی [۳]، SGE نسبت به سایر انرژی‌های تجدید پذیر افزایش بیشتری یافته است.

براساس مستندات لوند و همکاران [۴]، اتحادیه اروپا پیش بینی کرده است که انرژی زمین گرمایی کم عمق، یک منبع انرژی با بیشترین رشد در سالهای ۲۰۰۹-۲۰۲۰ خواهد بود [۵]. این رشد مداوم در تعدادی از تاسیسات SGE منجر به تعارض بین کاربران به دلیل تاثیرات حرارتی بین استخراج زمین گرمایی کم عمق شده است؛ مشکلی که در حال حاضر در شهرهایی مانند برلین [۶]، بازل [۷]،و یا ساراگوسا [۸] رخ داده است. اوریچ و همکاران [۹] تاثیر الگوهای خانه‌سازی در استفاده از انرژی زمین گرمایی کم عمق برای سیستمهای حلقه باز با در نظر گرفتن فاصله نفوذ حرارتی و هیدرولیکی هر تاسیسات را تجزیه تحلیل کردند. تخمین زده شده است که این تداخل حرارتی با توجه به حالات مختلف پیشنهاد شده، می تواند تولید را فقط متناسب با ۱۰-٪۷۰ تقاضا، کاهش دهد. با توجه به این وضعیت، ایجاد یک سیستم مدیریتی برای کنترل بهره برداری از این منابع به شیوه‌ای کارآمدتر، ضروری است. بر خلاف انرژی خورشیدی یا بادی، مدیریت انرژی زمین گرمایی کم عمق (SGE) دشوار است چرا که این منابع و اثرات آن قابل مشاهده نبوده و برای تعیین مقدار آن، قابل دسترسی نیست. تعریف پارامترهای مختلف برای حفاظت از این منابع مانند حداقل فاصله از نقطه بهره برداری نسبت به منطقه بهره برداری بعدی و یا حداکثر اختلاف دمای گرمایش و سرمایش ، در قوانین بین المللی امری عادی است.

اولین تلاش برای مدیریت این منابع از لحاظ جغرافیایی در استکهلم و در سال ۲۰۱۰ از طریق وب سایتی توسعه یافت که در آن کاربران می‌توانستند درخواست اجازه برای حفاری تک چاه عمودی، سیستم‌های حلقه بسته داشته باشند[۱۰]. هنگام اجرا، کاربر می‌تواند دایره مناطق محافظت شده برای بهره‌برداری‌های موجود را، با توجه به شعاع مورد توافق در قوانین وضع شده بر روی یک نقشه ترسیم کند. با وجود این پیشرفت‌ها، دراین روش خواص حرارتی بوسیله زمین شناسی و بررسی آبهای زیرزمینی در نظر گرفته نشده است.

در مقاله حاضر، تاریخچه استفاده مستقیم از انرژی زمین گرمایی کم عمق برای بیش از ۲۵ کشور با استفاده از ذخایر گرمایی زمین بررسی شده است. اطلاعات ارائه شده، کاربردهای مستقیم از گرمای زمین در دوره ۲۰۱۰-۲۰۱۵ را پوشش می‌دهد. گزارش حاضر بر اساس مقالات به روزرسانی شده ۷۰ کشور و منطقه است که در ۶۵ عدد آن، برخی ازکاربردهای مستقیم انرژی زمین گرمایی گزارش شده است . ۱۷ کشور دیگر نیز بر اساس داده‌های سایر منابع اضافه شده است. بنابراین، درکل، کاربرد مستقیم انرژی زمین گرمایی ۸۲ کشور عبارت از ۷۸ گزارش در سال ۲۰۱۰ ، ۷۲ گزارش در سال ۲۰۰۵ ، ۵۸ گزارش در سال ۲۰۰۰ و ۲۸ در سال ۱۹۹۵ است.

۲. خلاصه داده‌های آماری کاربرد انرژی زمین گرمایی کم عمق (کاربرد مستقیم) در جهان

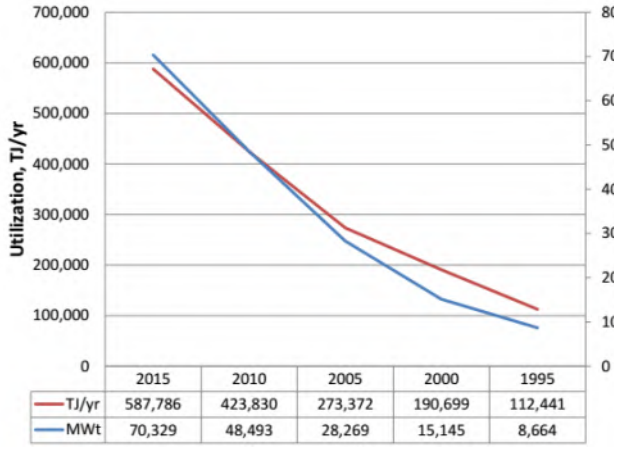
جدول ۱ وضعیت، ظرفیت حرارتی نصب شده (MWt) کشورها، مصرف سالانه انرژی (TJ / yr و GWh/yr) و فاکتور ظرفیت تا پایان سال ۲۰۱۴ را نشان می دهد. مجموع ظرفیت نصب شده، تا پایان سال ۲۰۱۴ برای کاربرد مستقیم از زمین گرمایی در سراسر جهان MWt ۷۰/۳۲ است که در مقایسه با نرخ تجمعی سالانه ۷,۷ درصد رشد داشته است. مجموع مصرف سالانه انرژیGWh ۱۶۳/۲۸ است که رشد تجمعی سالیانه آن ۶/۸٪ است. فاکتور ظرفیت جهانی ۰/۲۶۵ (معادل ۲/۳۲ ساعت کارکرد تحت بار کامل در سال)، کمتر از ۰/۲۸ در سال ۲۰۱۰، ۰/۳۱ در سال ۲۰۰۵ و ۰/۴ در سال ۲۰۰۰ است. فاکتور ظرفیت پایین‌تر و نرخ رشد برای مصرف سالانه انرژی به خاطر نصب پمپ زمین گرمایی افزایش یافته است؛ طوری که ضریب ظرفیت کمتر در سراسر جهان ۰/۲۱ است. میزان رشد ظرفیت نصب شده و مصرف سالانه انرژی ، برای بیش از ۲۰ سال گذشته در شکل ۱ نشان داده شده است.

جدول ۱ خلاصه داده‌های آماری کاربرد انرژی زمین گرمایی کم عمق در جهان تا پایان ۲۰۱۴ [۴]

Country	MWt	TJ/yr	GWh/yr	Load Factor
Albania	16.23	107.59	29.89	0.21
Algeria	54.64	1699.65	472.25	0.99
Argentina	163.60	1,000.03	277.81	0.19
Armenia	1.50	22.50	6.25	0.48
Australia	16.09	194.36	53.99	0.38

[۱]- shallow geothermal energy

Slovenia	152.75	1,137.23	315.93	0.24
South Africa	2.30	37.00	10.28	0.51
Spain	64.13	344.85	95.80	0.17
Sweden	5,600.00	51,920.00	14,423.23	0.29
Switzerland	1,733.80	11,836.80	3,288.26	0.22
Tajikistan	2.93	55.40	15.39	0.60
Thailand	128.51	1,181.20	328.14	0.29
Tunisia	43.80	364.00	101.12	0.26
Turkey	2,886.30	45,126.00	12,536.00	0.50
Ukraine	10.90	118.80	33.00	0.35
United Kingdom	283.76	1,906.50	529.63	0.21
United States	17,415.91	75,862.20	21,074.52	0.14
Venezuela	0.70	14.00	3.89	0.63
Vietnam	31.20	92.33	25.65	0.09
Yemen	1.00	15.00	4.17	0.48
GRAND TOTAL	70,328.98	587,786.43	163,287.07	0.27

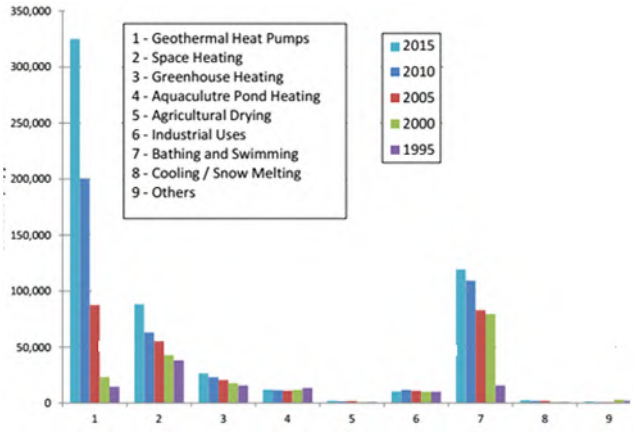


شکل ۱ ظرفیت نصب شده و مصرف سالانه انرژی زمین گرمایی کم عمق از ۱۹۹۵ تا ۲۰۱۵

Austria	903.40	6,538.00	1,816.26	0.23
Belarus	4.73	113.53	31.54	0.76
Belgium	206.08	864.40	24.01	0.13
Bosnia & Herzegovina	23.92	252.33	70.10	0.33
Brazil	360.10	6,622.40	1,839.70	0.58
Bulgaria	93.11	1,224.42	340.14	0.42
Canada	1,466.78	11,615.00	3,226.65	0.25
Caribbean Islands	0.10	2.78	0.77	0.85
Chile	19.91	186.12	51.70	0.30
China	17,870.00	174,352.00	48,434.99	0.31
Columbia	18.00	289.88	80.50	0.51
Costa Rica	1.00	21.00	5.83	0.67
Croatia	79.94	684.49	190.15	0.27
Czech Republic	304.50	1,790.00	497.26	0.19
Denmark	353.00	3,755.00	1,043.14	0.34
Ecuador	5.16	102.40	28.45	0.63
Egypt	6.80	88.00	24.45	0.41
El Savador	3.36	56.00	15.56	0.53
Estonia	63.00	356.00	98.90	0.18
Ethiopia	2.20	41.60	11.56	0.60
Finland	1,560.00	18,000.00	5,000.40	0.21
france	2,346.90	15,867.00	4,407.85	0.21
Georgia	73.42	695.16	193.12	0,30
Germany	2,848.60	19,531.30	5,425.80	0.22
Greece	221.88	1,326.45	368.49	0.19
Greenland	1.00	21.00	5.83	0.67
Guatemala	2.31	56.46	15.68	0.78
Honduras	1.93	45.00	12.50	0.74
Hungary	905.58	10,268.06	2,852.47	0.36
Iceland	2,040.00	26,717.00	7,422	0.42
India	986.00	4,302.00	1,195.10	0.14
Indonesia	2.30	42.60	11.83	0.59
Iran	81.50	1,103.12	306.45	0.43
Ireland	265.54	1,240.54	344.62	0.15
Israel	82.40	2,193.00	609.22	0.84
Italy	1,014.00	8,682.00	2411.90	0.84
Japan	2,186.17	26,130.08	7,258.94	0.38
Jordan	153.30	1,540.00	427.81	0.32
Kenya	22.40	182.62	50.73	0.26
Korea (South)	835.80	2,682.65	745.24	0.10
Latvia	1.63	31.81	8.84	0.62
Lithuania	94.60	712.90	198.04	0.24
Macedonia	48.68	601.11	166.99	0.39
Madagascar	2.81	75.59	21.00	0.85
Mexico	155.82	4,171.00	1,158.70	0.85
Mongolia	20.16	340.46	94.58	0.54
Morocco	5.00	50.00	13.89	0.32
Nepal	3.32	81.11	22.53	0.78
Netherlands	790.00	6,426.00	1,785.14	0.26
New Zealand	487.45	8,621.00	2,394.91	0.56
Norway	1,300.00	8,260.00	2,294.63	0.20
Pakistan	0.54	2.46	0.68	0.14
Papua New Guinea	0.10	1.00	0.28	0.32
Peru	3.00	61.00	16.95	0.64
Philippines	3.30	39.58	11.00	0.38
Poland	488.84	2,742.60	761.89	0.18
Portugal	35.20	478.20	132.84	0.43
Romania	245.13	1,905.32	529.30	0.25
Russia	308.20	6,143.50	1,706.66	0.63
Saudi Arabia	44.00	152.89	42.47	0.11
Serbia	115.64	1,802.48	500.73	0.49
Slovak Republic	149.40	2,469.60	686.05	0.52

رشد آگاهی‌ها و محبوبیت پمپ‌های حرارتی زمینی (زمین گرمایی) تا به حال بیشترین تأثیر را بر استفاده مستقیم انرژی زمین گرمایی داشته است. مصرف سالانه انرژی این واحدها به میزان ۱/۶۲ برابر نرخ تجمعی ۱۰/۳٪ رشد داشته است. رشد ظرفیت نصب شده ۱/۵۱ برابر با نرخ تجمعی سالانه ۸/۶۵٪ همراه بود. این امر، تا اندازه‌ای ناشی از گزارشات بهتر و توانایی پمپ‌های حرارتی زمین گرمایی برای استفاده از آبهای زیرزمینی یا حرارت زمینی کوپل شده در هر نقطه از جهان است (شکل ۲). پنج کشور پیشرو از لحاظ ظرفیت نصب شده (MW) عبارتند از: ایالات متحده آمریکا، چین، سوئد، آلمان و فرانسه، و از نظر مصرف سالانه انرژی (TJ / yr) عبارتند از: چین، ایالات متحده آمریکا، سوئد، فنلاند و کانادا . پنج کشور با بیشترین ظرفیت نصب شده (MW) کاربرد مستقیم (پمپ‌های حرارتی) عبارتند از: چین، ایالات متحده آمریکا، سوئد، ترکیه و آلمان که دارای ۶۵/۸٪ ظرفیت جهانی و پنج کشور با بیشترین مصرف سالانه انرژی (پمپ‌های حرارتی) عبارتند از: چین، ایالات متحده آمریکا، سوئد، ترکیه و ژاپن که ۶۳/۶٪ ظرفیت کاربرد جهانی استفاده می‌کنند. با این حال، بررسی داده‌ها در سطح زمین، تسلط کشورهای کوچکتر را نشان می‌دهد. پس از "پنج کشور در راس" ظرفیت نصب شده (MW / جمعیت): ایسلند، سوئد، فنلاند، نروژ و سوئیس ؛ و برای استفاده سالانه انرژی (TJ / سال / جمعیت): ایسلند، سوئد، فنلاند، نیوزیلند و نروژ قرار دارد. "پنج کشور در راس " از لحاظ سطح زمین برای ظرفیت نصب شده (MW / area) عبارتند از: سوئیس، ایسلند، هلند، سوئد و اتریش؛ و از لحاظ مصرف سالانه انرژی (TJ / yr / area) عبارتند از: سوئیس، ایسلند، هلند، سوئد و مجارستان است. بیشترین درصد افزایش ظرفیت نصب شده زمین گرمایی (MW) بعد از پنج سال گذشته در: تایلند، مصر، هند، کره جنوبی و مغولستان؛ و از لحاظ مصرف سالانه انرژی (TJ / yr) بعد از پنج سال گذشته در: تایلند، مصر، فیلیپین، آلبانی و بلاروس بوده است. بیشتر این افزایش‌ها به علت نصب و راه اندازی پمپ حرارتی زمین گرمایی و یا گزارش کاربرد بهتر در حمام و شنا کردن است.

در سال ۱۹۸۵، تنها ۱۱ کشور گزارش ظرفیت نصب شده بیش از ۱۰۰ مگاوات را داده اند؛ تا سال ۱۹۹۰، این تعداد به ۱۴ کشور، در سال ۱۹۹۵ به ۱۵ کشور، درسال ۲۰۰۰ به ۲۳ کشور، در سال ۲۰۰۵ ۳۳ کشور، و تا سال ۲۰۱۰ به ۳۶ کشور افزایش یافته است. در پایان سال ۲۰۱۴، این ۳۶ کشور گزارش بیش از ۱۰۰ مگاوات را نیز داشتند.



شکل۲ مقایسه مصرف سالانه انرژی زمین گرمایی کم عمق در سالهای ۱۹۹۵ تا ۲۰۱۵

۳. ایجاد یک بازار صحیح استفاده از مدیریت انرژی زمین گرمایی کم عمق (SGE)

هدف از بازار SGE واگذاری عادلانه و پایدار منابع در میان نهادهای درگیر، از جمله مسائل حفاظت از محیط زیست است. ملزومات بازار SGE عبارتند از: ترویج استفاده از SGE ، ارائه مناسب‌ترین گزینه برای همه طرف‌های درگیر با اصول منصفانه و کارآمد ، در نظر گرفتن پیامدهای جانبی مرتبط با اثرات حرارتی این منابع که باید با توجه به معیارهای فنی تعریف شود، تسهیل ارتباط بین طرف‌های درگیر برای رسیدن به توافق و تعادل بین کنترل قدرتمند بازار و تسهیل معاملات. اصل اساسی تخصیص منابع، بر اساس ویژگی زمین خواهد بود. بهره برداری SGE باید به مرز نقشه مالک محدود باشد . در مواردی که منطقه در دسترس برای استخراج یا توزیع انرژی مورد نیاز کافی نباشد، ذینفعان می توانند درخواست نقل و انتقال صحیح برای تغییر نقشه مجاور دهند. به منظور سنجش کمّی SGE، یک واحد مقایسه پایه یعنی نقشه های حرارتی پیشنهاد می‌شود. نقشه های حرارتی به عنوان بخشی

از زمین است که در آن ذینفعان می‌توانند SGEرا استخراج و یا توزیع کنند. واحد اندازه‌گیری نقشه های حرارتی نواحی سطحی است. هر نقشه حرارتی باید به صورت جداگانه به منظور تعریف پتانسیل بهینه SGE و تجزیه و تحلیل اختلالات حرارتی باقی مانده در داخل نقشه حرارتی تهیه شود. برای انجام این کار، باید روش‌ها و ابزارهای تخصصی برای ارزیابی حالتهای ممکن مصرف SGE در دسترس باشد. در ابتدا، نقشه حرارتی می تواند با نقشه مربوط به مالکین املاک متعلق به ذینفعان منطبق باشد، اگر چه می توان آن را با توسعه دادن به مناطق عمومی مجاور (به عنوان مثال، خیابان ها، پارک ها، میادین) افزایش داد. مناطق عمومی می تواند در میان نقشه های حرارتی مجاور منطقه بهره برداری اصلی توزیع شود. به عنوان مثال، زمانی که نقشه مربوط به مرزهای املاک با یک خیابان، مرز نقشه های حرارتی می تواند به محور خیابان گسترش یابد. این مرز با نقشه حرارتی واقع در سمت دیگر خیابان به اشتراک گذاشته خواهد شد. شکل نهایی نقشه حرارتی بستگی به سطح پیزومتری و جهت جریان آبهای زیرزمینی به منظور بهینه سازی بهره برداری از منابع دارد.

در ادامه، الجاراز و همکاران [۱۲] رتبه بندی وضعیت نقشه‌های حرارتی به عنوان فعال یا غیر فعال را پیشنهاد دادند. نقشه های حرارتی فعال، نقشه حرارتی مورد بهره برداری است که انرژی استخراج شده با درخواست مالک آن است. اگر SGE عرضه شده بوسیله نقشه حرارتی فعال متناسب تقاضا نباشد، سهامداران می تواند از بازار مصرف صحیح SGE استفاده کنند و برای به دست آوردن مصرف صحیح از نقشه های حرارتی مجاور توافق کنند. این نقشه های حرارتی، که پتانسیل SGE منتقل شده است، می‌تواند به عنوان نقشه‌های غیرفعال تعریف شود. باید تلفات بالقوه SGE از نقشه‌های غیرفعال بوسیله واگذاری مصرف صحیح نقشه‌های فعال مالکین شناسایی و پذیرفته شود. مزایا و معایب هر بخش، و همچنین مدت زمان انتقال، باید ثبت و اندازه گیری شود. برای به اشتراک‌گذاری مصرف صحیح SGE، مالک زمین های غیرفعال می‌تواند مزایایی دریافت کند.

۴. علم زمین گرمایی:

۱،۴ پلت فرم مبتنی بر GIS

ارائه مشخصات زیر برای اجرای یک بازار مصرف صحیح SGE به عنوان یک راهنما برای توسعه آن است:

(۱) ذخیره‌سازی داده، پایگاه داده‌های مکانی: ذخیره سازی، استاندارد سازی، استنتاج داده ها به صورت دستی خودکار از صفحات گسترده و مدیریت و ویرایش فرمت های مختلف داده ها

(۲) پردازش کلی داده‌ها و تجزیه و تحلیل مکانی در محیط GIS

(۳) تعریف مدل جامع زمین شناسی و هیدروژئولوژیکی مفهومی‌گرا

(۴) پردازش داده ها و تجزیه و تحلیل مکانی ویژه برای اجرای یک بازار مصرف صحیح SGE

۱،۴ پلت فرم زمین گرمایی

پلت فرم زمین گرمایی از پایگاه داده‌های مکانی به همراه مجموعه‌ای از ابزار، به نام تجهیزات زمین گرمایی، به طور خاص برای پشتیبانی تحلیلی و گرافیکی مدیریت SGEطراحی شده است. از ویژگی های این پلت فرم به شرح زیر است:

- داده های ورودی

پارامترهای ورودی باید از تجزیه و تحلیل هیدروژئولوژیکی منتج شده باشد. معمولا پارامتر اصلی مورد نیاز، زمین با سطح پیزومتریک است. با

توجه به قانون دارسی، برای به دست آوردن سرعت آب زیرزمینی منطقه، می توان شیب هیدرولیکی منطقه [۱۳] منتج از سطح پیزومتری را در هدایت هیدرولیکی زمین ضرب کرد. متناوبا، پارامتر اخیر را می توان از یک مدل مفهومی یا عددی به دست آورد.

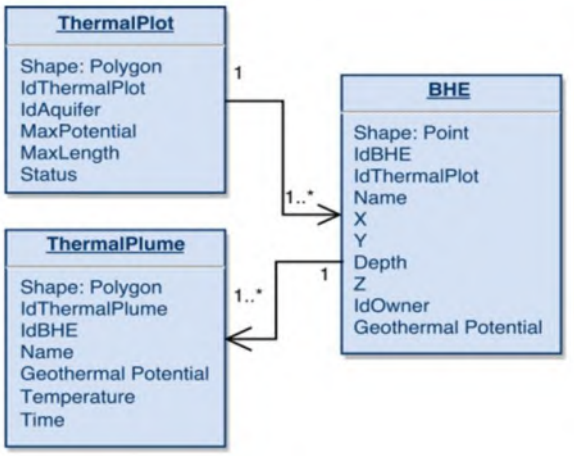
- معیارهای فنی

کمیتی از یک نقشه حرارتی مثل تاثیرات حرارتی تولید شده بوسیله بهره برداری آن، براساس راه حل‌های تحلیلی معادله انتقال حرارت در محیط متخلخل محاسبه شده است [۱۴]. برای حل این معادله مدل منبع متحرک خطی بی نهایت در نظر گرفته شده است. منطقه حرارتی توصیف شده، مناطق واسطه یکنواختی است که سرتاسر یک منبع خطی حرارت ثابت حرکت می‌کند. این رویکرد تحلیلی به طور گسترده ای برای حل تغییرات درجه حرارت ناشی از سرویس های مبدل های حرارتی گمانه(BHE) است که، رایج ترین آنها منابع زیرزمینی سیستم پمپ های حرارتی (GSHP) است [۱۴]. در پایگاه داده های جغرافیایی، هر استخراج با یک نمودار نقطه ای بنام BHEs اصلاح می شوند.

- پایگاه داده مکانی

ساختار داده‌های مکانی بوسیله نرم افزار ArcGIS ارائه شد. در پایگاه داده، داده‌های زمین‌شناسی، هیدروژئولیکی، هیدروشیمی و هیدروفیزیکی و تجزیه تحلیل آنها ذخیره شده است. طرح اولیه اجزای پایگاه داده های زمین گرمایی در شکل نشان ۳ داده شده است .در پایگاه داده های جغرافیایی، هر بهره برداری را با یک نمودار نقطه ای بنام BHEs اصلاح می شوند.

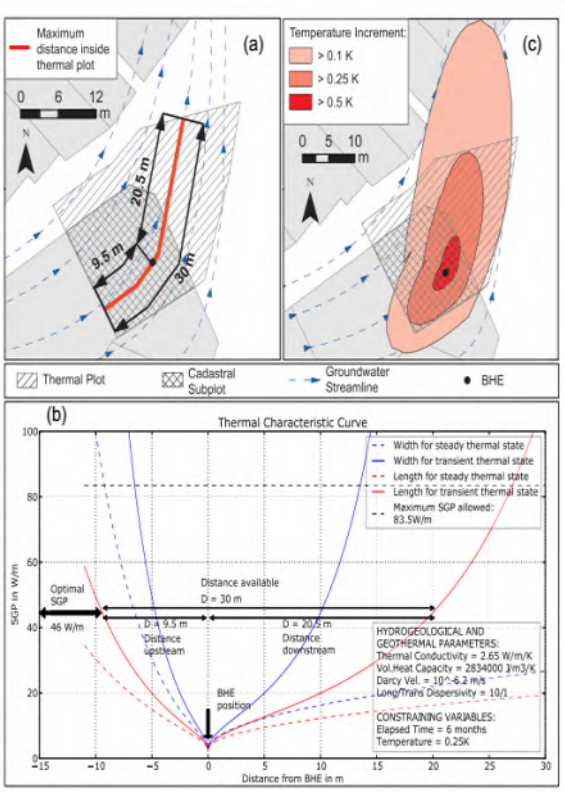
ویژگی اصلی مختصات جغرافیایی، پتانسیل استخراج انرژی زمین گرمایی کم عمق (SGP) و دیگر اطلاعات اجرایی هستند. با توجه به منطقه تحت تاثیر هر بهره برداری، باید دو نمودار نوع چند ضلعی درگزارش مد نظر باشد. این نمودار نقشه حرارتی نام دارد. قبل از انجام مدیریت SGE از طریق یک بازار مصرف صحیح، معیارهای علمی و فنی باید پارامترهای هیدروژئولوژیکی و زمین گرمایی، محدوده متغیرهای و بهره برداری های موجود SGE، ایجاد شود. بنابراین، این داده ها باید در پایگاه داده در دسترس باشد. در شکل ۳ مراحل مورد نیاز برای جمع آوری داده ها و اجرای یک بازار مصرف صحیح SGE را نشان می‌دهد.



شکل ۳ ساختار مدل UML ویژگی‌های ژئوترمال

مجموعه ادوات تجزیه و تحلیل مکانی محاسبه خصوصیات بهره‌برداری‌های زمین گرمایی مانند حداکثر پتانسیل زمین گرمایی کم عمق (SGP) و موقعیت BHE، و همچنین پیش‌بینی اثر حرارتی جغرافیایی را مقدور می‌سازد . این تکنیک‌ها اجازه دست‌یابی به مدیریت بهینه بازارهای مصرف صحیح SGE را می دهد. این مجموعه ابزار در داخل نرم افزار ArcGIS ۱۰,۰ بروی دسکتاپ به عنوان یک نوار ابزار قرار دارد. رابط کاربری گرافیکی می‌تواند به عنوان وسیله مکمل در نظر گرفته شود.

برای نشان دادن عملکرد تجهیزات زمین گرمایی، یک مثال ترکیبی در شکل ۴ ارائه شده است. قبل از استفاده از TCC، نقشه حرارتی، مانند حداکثر فاصله موجود در داخل آن، باید تعریف شود (شکل ۴-a). حداکثر فاصله قابل استفاده در این طرح حرارتی ۳۰ متر است. حداکثر SGP برای BHE در این طرح را می توان با TCC به دست آورد (شکل ۴-b). خط افقی یک فاصله ۳۰ متری، SGP 46 W/m را نمایش می دهد. همچنین فاصله بالادست و پایین دست BHEبه صورت گرافیکی تعریف شده است (۹,۵ و ۲۰,۵ متر). TCC را می‌توان در هر دو جهت بکار برد. از طرف دیگر، اگر حداکثر ابعاد طول و عرض در دسترس در طرح های حرارتی شناسایی شوند می توان حداکثر SGP بی اثر روی طرحهای مجاور را بدست آورد. این فواصل را با توجه به جهت آب های زیرزمینی و جهت یابی نقشه می توان با ابزار GIS محلی بر روی نقشه، بدست آورد. ابزار ستون حرارتی بوسیله یک BHEرسم می شود. سه متغیر محدود کننده برای محاسبه شکل ستون های حرارتی باید تعیین شود: افزایش درجه حرارت (DT) در زمان سپری شده (T) بعلت پتانسیل استخراج (SGP). در دو مورد اول بقیه متغیرهای محدود کننده همان آنهایی است که برای ایجاد TCC مورد استفاده قرار می‌گیرد. هنگامی که این سه متغیر محدود کننده تخمین زده شد، با توجه به فاصله بالادست و پایین دست می‌توان یک نقطه ممکن برای حفاری BHE در داخل نقشه حرارتی انتخاب کرد (شکل ۴-a). اثرات حرارتی را می توان برای افزایش دمای حدی متفاوت ترسیم کرد، (شکل۴-c). بعد از انجام تصمیم‌گیری و بهره‌برداری BHE، ستونهای حرارتی همراه با نقطه نمایشی BHEدر نمودار BHEsبه عنوان ویژگی‌های جغرافیایی قطعی ترسیم شده و در پایگاه داده‌های مکانی ذخیره می‌شود.



شکل ۴ عملکرد تجهیزات زمین گرمایی: (a) حداکثر فاصله قابل استفاده در داخل طرح حرارتی که ۳۰ متر است؛ (b)منحنی مشخصه حرارتی TCC و (c) اثرات حرارتی برای آستانه‌های مختلف دمایی.

نتیجه‌گیری

در پاسخ به کمبود سیستم های مدیریت SGE ، روش ایجاد یک چارچوب کلی برای مدیریت این منابع بر اساس اجرای یک بازار مصرف صحیح SGE پیشنهاد می‌شود. این به برآورد مشخصات این منابع در مقیاس محلی کمک کرده و نشان دهنده یک روش ساده توزیع و تخصیص SGE است.

برای توسعه این نوع بازار مصرف صحیح، این روش در پلت فرم GIS اجرا شده است. نخستین اصل این پلت فرم پایگاه داده های مکانی است. اصل دوم این پلت فرم مجموعه ای از ابزار GIS است که اجازه تولید و ذخیره سازی روشهای مختلف، برای مصرف منابع زمین گرمایی کم عمق را می‌دهد. بهره برداری‌های موجود و آینده از طریق اجرای راه حل‌های مختلف تحلیلی عبارتند از:

۱) رفتار هیدروژئولوژیکی و زمین گرمایی

۲) ملاحظات جغرافیایی.

بنابراین انطباق شکل حرارتی از طرح حرارتی، جهت و سرعت از آب‌های زیرزمینی و برآورد اولیه تقاضای انرژی امکانپذیر است .

معیارهای مدیر و نصّاب در هنگام برخورد با عوامل مختلف، به عنوان مثال سناریوهای در دسترس در هنگام محاسبه هندسه ستونهای حرارتی تولید شده و توزیع فضایی آن در طرح حرارتی، یا هنگام تعریف مقادیر حدّ، بسیار مهم می‌باشد. این روش باعث کاهش هزینه‌های مدیریت منابع SGE در مقیاس شهری برای بهره‌برداری های کوچک متعدد با اجتناب از تکنیک‌های مدل‌سازی عددی است. با این حال، برای توسعه بیشتر مدیریتSGE و یا طراحی و راه اندازی شبکه زمین گرمایی پیچیده، مانند حفرچاه / مناطق آبخیز، سیستمهای ذخیره‌سازی حرارتی، رویکرد عددی برای در نظر گرفتن ویژگی‌های خاص زمین‌شناسی و هیدروژئولوژیکی رسانه‌ها ضروری می شود .

همانطور که در سالهای ۱۹۹۵، ۲۰۰۰، ۲۰۰۵ و ۲۰۱۰ چند کشور به عنوان مصرف کننده اصلی سیالات زمین گرمایی برای کاربرد مستقیم (چین، ایالات متحده آمریکا، ژاپن، ایسلند و آلمان) بودند ؛ با این حال، در بسیاری از کشورهای توسعه آن به آرامی انجام می‌شود. عجیب نیست که سوختهای فسیلی رقیب اصلی هزینه‌های سرمایه‌گذاری اولیه پروژه های زمین گرمایی هستند. بهرحال ، در بسیاری از کشورها؛ وقتی شرایط اقتصادی بهتر بوده و دولتمردان و سرمایه‌گذاران خصوصی مزایای ایجاد یک منبع انرژی نو داخلی را می‌بینند، اقدامات لازم در داخل زمین، مدیریت هزینه‌ها و محدودیت منابع در ایجاد توسعه، انجام داده‌اند. در حال حاضر با افزایش علاقه‌مندی به پمپ‌های حرارت زمینی (زمین گرمایی)، می‌توان انرژی ژئوترمال را در هر نقطه‌ای، برای گرمایش و سرمایش توسعه داد. منابع زمین گرمایی کم دما تا دمای متوسط نیز در نیروگاههای سیکل ترکیبی گرما و توان مورد استفاده قرار می گیرند (CHP)، که در آن معمولا آبهای داغ با درجه حرارت کمتر از ۱۰۰ درجه سانتیگراد ، ابتدا وارد یک نیروگاه سیکل دوگانه (چرخه رانکین ارگانیک) شده سپس برای گرمایش فضا، استخرهای شنا، گلخانه ها و یا گرمایش استخر آبزیان، قبل تزریق مجدد به چاه استفاده می‌شود.

مراجع

[1] H. Safaei, D.W. Keith, Bulk energy storage needed to decarbonizes electricity, *Energy Environ Sci,* Vol. 8, No.12, pp. 3409-3417, 2015.

[2] K. Tokimatsu, S. Konishi, K. Ishihara, T. Tezuka, R. Yasuoka, M. Nishio. Role of innovative technologies under the global zero emissions scenarios. *Appl Energy*. Vol.162, pp.1483-1493, 2016.

[3] S.K. Soni, M. Pandey, V.N. Bartaria. Ground coupled heat exchangers: a review and applications. Renew Sustain *Energy Rev,* Vol.47, *PP.* 83–92, 2015.

[4] J.W. Lund, D.H. Freeston, T.L. Boyd. Direct utilization of geothermal energy 2010 worldwide review. *Geothermics* ,Vol.40, No. 3, PP.159–80, 2011.

[5] EREC. Mapping renewable energy pathways towards 2020. European Renewable Energy Council. EU ROADMAP; 2011.

[6] K. Menberg, P. Bayer,K. Zosseder, S. Rumohr, P. Blum. Subsurface urban heat islands in German cities. Sci Total Environ, review. *In: Proceedings world geothermal congress, Melbourne,Australia*; PP:19–25, 2015.

[7] A. García-Gil, E. Vázquez-Suñe, E.G. Schneider, J. A. Sánchez-Navarro, J. Mateo-Lázaro, The theral consequences of river-level variations in an urban groundwater body highly affected by groundwater heat pumps. *Sci Total Environ*, PP.485–486, 2014

[8] J. Epting, P. Huggenberger. Unraveling the heat island effect observed in urban groundwater bodies – definition of a potential natural state. *Hydrol*. Vol. 501, PP.193–204, 2۰۱۳.

[9] C. Urich, R.Sitzenfrei, M. Möderl,W. Rauch. Einfluss der Siedlungsstruktur auf das thermische Nutzungspotential von oberflächennahen Aquiferen. Osterreichische Wasser- Und Abfallwirtschaft, Vol.62, PP.113–9, 2010.

[10] F. Jaudin, A. Latham, S. Bezelgues, A. Poux, L. Angelino, REGEOCITIES UE Project: IEE/11/041. D2.2: general report of the current situation of the regulative framework for the SGE systems; 2013.

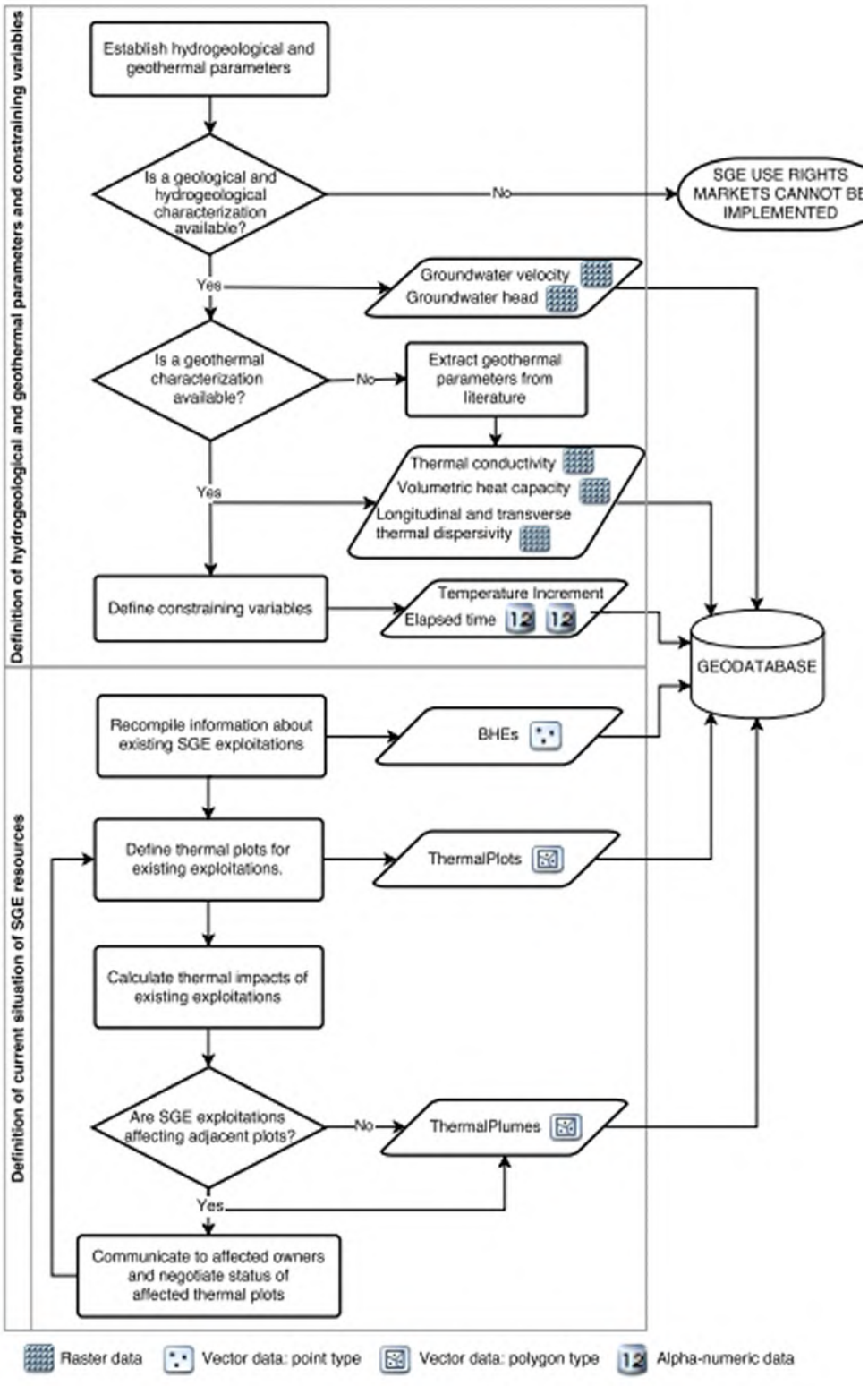
[11] S. Hähnlein, P. Bayer, G. Ferguson, P. Blum. Sustainability and policy for the thermal use of shallow geothermal energy. *Energy Policy*, Vol. 59, PP.914–925, 2013.

[12] A. Alcaraz, G. García-Gil, V. Enric, V.Violeta. Use rights markets for shallow geothermal energy management. *Applied Energy,* Vol.172, pp. 34–4, 2016.

[13] M.Z.Jacobson, M.A. Delucchi, G. Bazouin, Z.A. Bauer, C. Heavey, E. Fisher. Clean and renewable wind, water, and sunlight (WWS) all-sector energy roadmaps for the 50 United States. *Energy Environ Sci*, 2015.

[14] H.S. Carslaw, J.C. Jaeger. *Conduction of heat in solids*. Oxford: Claremore Press;1959.

[15] H. Yang, P. Cui, Z. Fang. Vertical-borehole ground-coupled heat pumps: a review of models and systems. *Appl Energy*, Vol. 87, No. 1, PP.16–27, 2010.



شکل ۵ مراحل مورد نیاز برای جمع آوری داده‌ها و اجرای یک بازار مصرف صحیح SGE