

مروری بر جنبه‌های محیط‌زیستی نیروگاه‌های زمین‌گرمایی

امینه باقری^۱، اشکان عبدالی سوسن^{۲*}

۱- دانشجوی دکتری، مهندسی سیستم‌های انرژی، گروه مهندسی انرژی و اقتصاد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، تهران

۲- استادیار، مهندسی سیستم‌های انرژی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، تهران

دریافت: تابستان ۹۹ پذیرش: تابستان ۹۹

چکیده

فناوری انرژی‌های نوین در کنار حسن‌هایی که دارند هر یک به نوبه خود با مشکلات و چالش‌هایی نیز همراه است. انرژی زمین‌گرمایی نیز به عنوان یکی از انرژی‌های تجدید پذیر و پاک، در کنار مزایای زیست‌محیطی، آسیب‌هایی نیز از قبیل انتشار گازهای گلخانه‌ای، آلودگی صوتی، آلودگی آب‌های سطحی و زیرزمینی، نشست‌های سطحی، زمین لغزش‌های القایی و ارتعاشات القایی برای محیط زندگی انسان فراهم می‌کند. در این مقاله مروری مختصر بر برخی تأثیرات توسعه زمین‌گرمایی بروی هوا، آب و خاک انجام می‌شود. هرچند استفاده از این انرژی منجر به جلوگیری از مسائل مربوط به باران‌های اسیدی می‌شود و انتشار گازهای گلخانه‌ای و آلودگی‌های جوی را به نحو چشم‌گیری کاهش می‌دهد اما در شورآب‌های زمین‌گرمایی، در عملیات حفاری، نصب و راه اندازی و در خطوط لوله انتقال، موادی است که پتانسیل آسیب زدن به محیط‌زیست را دارد. در ادامه پس از بحث در مورد آسیب‌های زمین‌گرمایی بخشی از اقدامات نظارتی، قوانین برای کاهش اثرات زیست‌محیطی درمناطق مختلف را شرح می‌دهیم.

*عهده‌دار مکاتبات: A.abdali@srbiau.ac.ir

کلیدواژه‌گان: تداخل آب‌های سطحی و زیرزمینی، آلودگی صوتی، زمین لغزش‌های القایی

A Review on Environmental aspects of geothermal energy

Amineh Bagheri¹, Ashkan abdali^{2*}

1- Department of Natural Resources and Environment, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

2- Department of Natural Resources and Environment, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

* P.O.B.14515775 Tehran, Iran, A.abdali@srbiau.ac.ir

Abstract

New energy technologies, along with the benefits, are associated with challenges and Difficulties. Geothermal energy as one of the renewable energies is a clean and sustainable energy source, yet its development still has some impact on the environment such as: greenhouse gas emissions, noise pollution, surface and groundwater contamination, subsidence, and seismicity. This paper provides a brief description of some effects of geothermal development on the air, water and soil. Although, the use of this energy leads to the prevention of acid rain problems and dramatically reduces greenhouse gas emissions and atmospheric pollution, in geothermal brine, drilling operations, Installation and Laying of pipelines, contain materials which have the potential to damage the environment. In the following some of the measures to monitor and reduce environmental impacts in different regions are described. In addition to discussing the risks associated with the geothermal development, the paper describes some of the environmental monitoring and mitigation measures that have been maintained by European regulation.

Keywords: Air Emissions, Water Interference, Noise, Induced Seismicity

۱- مقدمه

استفاده از انرژی زمین‌گرمایی برای تولید برق به‌عنوان یک صنعت جدید شناخته شده است. ایتالیایی‌ها برای اولین بار [۱] در سال ۱۹۰۴ در منطقه لاردولو یک توربین ژئوتور را با استفاده از بخار طبیعی از زیرزمین طراحی کردند. [۲] در سال ۱۹۶۰ اولین عملیات موفقیت‌آمیز نیروگاه تولید برق در مقیاس بزرگ در آمریکای شمالی انجام شد. بسیاری از نیروگاه‌های انرژی زمین‌گرمایی در اطراف کالیفرنیا قرار دارند درحالی‌که بقیه نیروگاه در هاوایی، نوادا، اتاوا، ایدیهو و مونتانا قرار دارند. تبدیل انرژی زمین‌گرمایی به انرژی الکتریکی در نیروگاه انجام می‌شود. در نیروگاه‌ها با استفاده از بخار آب داغ ناشی از انرژی زمین‌گرمایی برای به چرخش درآوردن توربین‌ها و تولید برق استفاده می‌شود [۳].

از منابع زمین‌گرمایی در سه کاربرد کم‌عمق (فن‌آوری پمپ حرارتی) [۴] با عمق متوسط (دما بیشتر از ۹۰ درجه سانتی‌گراد) [۵] و چاه‌های با عمق زیاد (دما بیشتر از ۱۵۰ درجه سانتی‌گراد و حدوداً ۳ تا ۴ کیلومتر) استفاده می‌شود. [۶] لازم به ذکر است از اطلاعات این مراجع این نتیجه حاصل می‌شود که هر چه به‌طرف مرکز کره زمین نزدیک‌تر شویم دما افزایش می‌یابد به‌گونه‌ای که به‌طور طبیعی درازای هر ۱۰۰ متر افزایش عمق، تقریباً ۳ درجه سانتی‌گراد به دمای طبیعی زمین افزوده می‌شود. به‌طور کلی مناطقی از زمین که دارای سه ویژگی مهم زیر باشند می‌توانند دارای پتانسیل خوب جهت بهره‌برداری از انرژی زمین‌گرمایی باشند: ۱- منبع حرارتی، ۲- سیال حد واسط ۳- محیط متخلخل.

۱- مواد مذاب یا سنگ‌های داغ مجاور آن‌ها (به‌عنوان منبع حرارتی) به‌گونه‌ای نزدیک به سطح زمین قرار گرفته باشند که موجب گرم شدن آب‌های نفوذی شده و در نتیجه با حفاری چاه‌های تولیدی می‌توان با استخراج سیال گرم به حرارت مطلوب رسید.

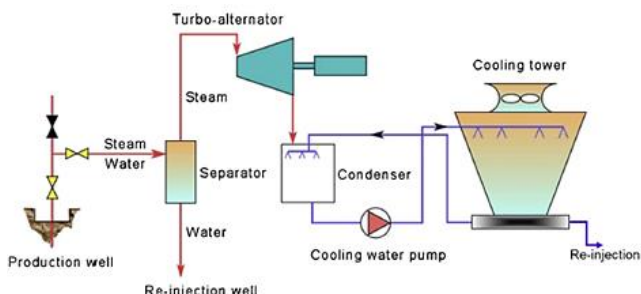
۲- وجود آب برای انتقال حرارت منبع حرارتی به سطح و زمین، آب‌های جوی، آب‌های ماگمایی و فسیل از جمله سیالات انتقال‌دهنده حرارت در یک سیستم زمین‌گرمایی هستند.

۳- لایه‌های مختلف زمین دارای خلل و فرج‌های زیاد داخل باشند تا آب‌های سطحی و نزولات جوی به‌خوبی زمین نفوذ کنند. آب‌های سطحی که بر اثر نیروی جاذبه زمین و از طریق خلل و فرج‌ها به داخل آن نفوذ می‌کنند پس از مدتی به لایه‌های گرم زمین نزدیک می‌شوند و حرارت آن‌ها را جذب می‌کنند بر اثر افزایش دما، چگالی خود را از دست داده و نسبت به آب‌های سرد سبک‌تر شده و به‌صورت طبیعی از طریق خلل و فرج‌ها مجدداً رو به سطح زمین حرکت می‌کنند و موجب پیدایش مظاهر حرارتی از قبیل چشمه‌های آبگرم در نقاط مختلف زمین می‌شوند. در حالت طبیعی سیال گرم از خلال درزها، شکاف‌ها و گسل‌ها به سطح زمین می‌رسد و ظهورهای سطحی ایجاد می‌کند؛ اما برای بهره‌برداری اقتصادی از یک سیستم زمین‌گرمایی با حفاری چاه‌های متعدد سیال بیشتری استحصال می‌شود. بهره‌برداری از انرژی زمین‌گرمایی به دو روش کلی امکان‌پذیر است که عبارت‌اند از:

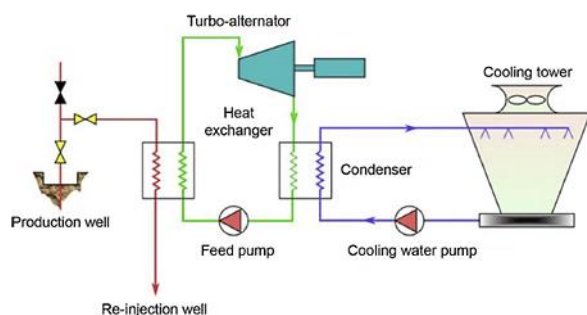
- ۱- استفاده غیرمستقیم یا نیروگاهی، نیروگاه زمین‌گرمایی با سیال دو فاز (بخار و مایع) و نیروگاه زمین‌گرمایی با سیال تک فاز (مایع) [۷].
- ۲- استفاده مستقیم یا غیر نیروگاهی (استخرهای آب گرم ۳۲٪، مراکز گلخانه‌ای ۶٪، گرمایش منازل ۱۰٪، حوضچه پرورش ماهی ۹٪، ذوب برف و پیشگیری از یخبندان معابر، پمپ حرارتی ۴۲٪) [۷].

منابع زمین‌گرمایی امروزه به‌طور عمده برای تولید برق و تهویه مطبوع با استفاده از سیستم گرمایش مرکزی و سیستم‌های پمپ حرارتی زمین‌گرمایی

استفاده می‌شود [۸]، از جمله سیستم‌های گرمایش مرکز که عمدتاً در توسکانی واقع در مرکز ایتالیا هستند و استفاده مستقیم از آن‌ها معمول است ۱۰۵۰۰ تراژول انرژی زمین‌گرمایی طریق استفاده مستقیم ۱۳۰۰ مگاوات گرما تولید می‌کند [۷]. همچنین انواع نیروگاه‌های زمین‌گرمایی به ترتیب زیر است: ۱. نیروگاه‌هایی که در آن سیال زمین‌گرمایی خارج شده از چاه‌های تولیدی مایع تک فاز با دمای پایین هستند و با انتقال حرارت سیال زمین‌گرمایی به سیال ثانویه می‌توان در دماهای کم سیال ثانویه را به بخار تبدیل و با عبور آن از توربین تولید برق نمود. ۲. نیروگاه‌هایی که سیال زمین‌گرمایی به‌صورت دو فاز مایع و بخار با دمای نسبتاً بالا از چاه‌های تولیدی خارج شده و سپس وارد یک جداکننده شده و بخار حاصل به سمت چاه‌های تزریقی و برج خنک‌کننده فرستاده می‌شود حال برحسب اینکه عمل جدایش آب از بخار در یک مرحله یا دو مرحله انجام می‌شود و برحسب وجود یا عدم وجود کندانسور به چند دسته تقسیم می‌شود. ۳. نیروگاه ترکیبی که از ترکیب دو نیروگاه به‌صورت سری و موازی تولید برق می‌کند. برای نمونه شکل ۱ و ۲.



شکل ۱ شماتیک فناوری سیکل مستقیم [۲]



شکل ۲ شماتیک فناوری سیکل باینری [۲]

گرما به‌عنوان یکی از اشکال انرژی محسوب می‌شود انرژی زمین‌گرمایی در معنای تحت‌اللفظی خود شامل گرمای درونی زمین و نیروی مولد طبیعی زمین خواهد بود، بعد از جنگ جهانی دوم توجه بیشتر کشورها معطوف به استفاده از انرژی زمین‌گرمایی شد نظر به آنکه این انرژی از لحاظ اقتصادی به‌صرفه‌تر و قابل‌رقابت با دیگر اشکال انرژی مانند سوخت‌های فسیلی بود. [۹] در اجلاس جهانی زمین‌گرمایی در سال ۱۹۹۲ هشدار داده شد که استفاده بی‌رویه از سوخت‌های فسیلی باعث صدمات جبران‌ناپذیری در محیط‌زیست می‌شود [۱۰] و برآورده شده است که به ازای هر کیلووات ساعت برق تولیدشده از سوخت زغال‌سنگ ۱۲ گاز دی‌اکسید کربن ایجاد و به اتمسفر راه می‌یابد این مقدار گاز دی‌اکسید کربن با جایگزین کردن زغال‌سنگ توسط نفت به ۰.۹ توسط گاز طبیعی و ۰.۴ و توسط انرژی

نتیجه در منطقه سبلان: نواحی مشکین شهر سرعین و بوشلی در منطقه دماوند: ناحیه نونال در منطقه ماکو_خوی: نواحی سیاه چشمه و قطور و در منطقه سهند پنج ناحیه کوچکتر جهت تمرکز فعالیت های فاز اکتشاف تکمیلی انتخاب شدند

پس از یک وقفه نسبتاً طولانی و با هدف فعال نمودن مجدد طرح گزارش های موجود مجدداً در سال ۱۳۶۹ کارشناسان UNDP بازنگری شده منطقه زمین گرمایی مشکین شهر به عنوان اولین اولویت جهت ادامه مطالعات اکتشافی معرفی شد در اولویت اول به منظور ادامه مطالعات قبلی و تکمیل نمودن فاز اکتشاف در ناحیه مشکین شهر در سال ۱۳۷۴ کارشناسان معاونت امور انرژی وزارت نیرو با هدف نصب اولین نیروگاه زمین گرمایی در کشور برنامه فاز اکتشاف تکمیلی را تهیه و بخش مطالعات سطح الارضی شامل عملیات ژئوفیزیکی زمین شناسی و بررسی های ژئوشیمیایی و ماهواره ای آغاز گردید این مطالعات توسط مهندسین مشاور کینگستون موریسون از کشور نیوزلند و با مدیریت سازمان انرژی های نو ایران طی سال ۱۳۷۷ به انجام رسید که حاصل این مطالعات منجر به تخمین درجه حرارت احتمالی مخزن در حد ۲۴۰ درجه سانتیگراد و تعیین نقاط حفاری های اکتشافی در دامنه های شمالی سبلان مشرف به جنوب شهرستان مشکین شهر گردید.

در سال های اخیر سازمان انرژی های نو ایران با همکاری سازمان بهره وری انرژی ایران و تجهیز آزمایشگاه و ایستگاه پایش صحرایی مطالعات سیستماتیک و گسترده را جهت پایش محیط زیست منطقه و کنترل اثرات زیست محیطی منطقه و کنترل اثرات زیست محیطی ناشی از اجرای طرح انجام داد پس از پایان یافتن تست چاه ها اطلاعات مورد نیاز جهت انجام مدلسازی و مطالعات مهندسی مخزن و در نتیجه برآورد پتانسیل حرارتی مخزن زمین گرمایی در منطقه مشکین شهر فراهم شد و بعد از آن مطالعات امکان سنجی طرح ضمن ارائه طرح توسعه و بهره برداری از میدان زمین گرمایی سبلان ادامه یافت و نهایتاً نصب و راه اندازی فاز اول از اولین نیروگاه زمین گرمایی کشور در این منطقه با ظرفیت ۵ مگاوات در آینده نزدیک انجام و به بهره برداری می رسد.

زمین گرمایی به ۰.۱۳ کیلوگرم تقلیل می یابد [۱۱]. همان طور که گفته شد پس از جنگ جهانی دوم توجه بسیاری از کشورها به انرژی را محدود با این پندار کرد که این نوع انرژی از نظر اقتصادی قادر به رقابت با سایر حامل های انرژی است، این انرژی یک کالای وارداتی قلمداد نمی شد و در برخی موارد تنها منبع انرژی موجود در یک منطقه به حساب می آمد جدول ۱ و ۲ بیانگر این میزان است [۱].

۲- انرژی زمین گرمایی در ایران

رشد روز افزون جمعیت توسعه شهری و نیز اقتصاد انرژی در کشور ما تولید ۹۰ هزار بار در سال ۲۰۲۰ را اجتناب ناپذیر ساخته است در حدود ۹۸ درصد ظرفیت تولید فعلی نیروگاه های برق کشور به کاربرد سوخت های فسیلی متکی است حال آنکه محدودیت منابع سوخت فسیلی رشد مصرف داخلی و نبود منابع کافی برای صادرات از یک سو موازین و معیارهای زیست محیطی و توسعه پایدار از سوی دیگر کاربرد انرژی های تجدیدپذیر در بستر تولید را اجتناب ناپذیر ساخته است

به رغم پتانسیل های بسیار مناسب به منظور کاربرد انرژی زمین گرمایی به دلیل نبود سیاست گذاری های کلان در زمینه به کارگیری انرژی تجدید پذیر و فقدان فناوری مناسب در خصوص حفاری عمیق مهندسی مخازن ساخت و بهره برداری از نیروگاه زمین گرمایی و بالاخره وجود رقیب سر سخت منابع ارزان سوخت های فسیلی بهره برداری از پتانسیل های مزبور کماکان جدی گرفته نشده است

کشور ما ایران از سال ۱۳۵۴ و به منظور شناسایی پتانسیل های منبع انرژی زمین گرمایی مطالعات گسترده ای توسط وزارت نیرو با همکاری مهندسین مشاور ایتالیایی انل گرین پاور در نواحی شمال و شمال غرب ایران در محدوده ای به وسعت ۲۶۰۰۰۰ کیلومتر مربع آغاز گردید نتیجه این تحقیقات مشخص نمود که مناطق سبلان دماوند خوی ماکو و سهند با مساحتی بالغ بر ۳۱ هزار کیلومتر مربع جهت انجام مطالعات تکمیلی و بهره برداری از انرژی زمین گرمایی مناسب می باشند در همین راستا برنامه اکتشاف مشتمل بر بررسی های زمین شناسی ژئوفیزیک ژئوشیمیایی برنامه ریزی شد در سال ۱۳۶۱ با پایان یافتن مطالعات اکتشاف مقدماتی در هر یک از مناطق ذکر شده نواحی مستعد با دقت بیشتری شناسایی شده و در

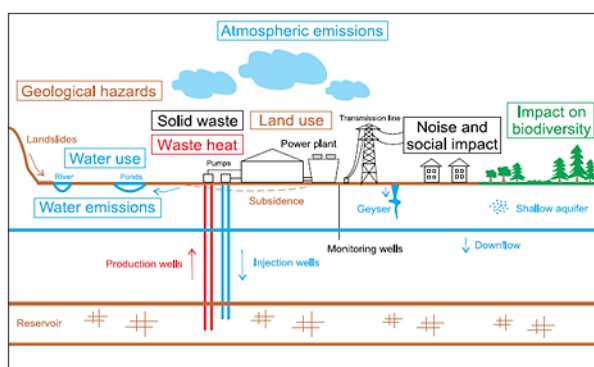
جدول ۱ مجموع ظرفیت جهانی نیروگاه های زمین گرمایی نصب شده از سال ۱۹۹۵ تا پایان سال ۲۰۱۵ و پیش بینی کوتاه مدت برای هر قاره تا سال ۲۰۲۰ [۱۲]

Continent	Installed in 1995 MW	Energy in 1995 GWh	Installed in 2000 MW	Energy in 2000 GWh	Installed in 2005 MW	Energy in 2005 GWh	Installed in 2010 MW	Energy in 2010 GWh	Installed in 2015 MW	Energy in 2015 GWh	Forecasting for 2020 MW
EUROPE	722	3.881	1.019	5.864	1.124	7.209	1.643	11.371	2.133	14.821	3.385
AFRICA	45	366	52	397	136	1.088	209	1.440	601	2.858	1.601
AMERICA	3.800	21.303	3.390	23.342	3.911	25.717	4.565	26.803	5.089	26.353	8.305
ASIA	1.980	10.129	3.075	17.390	3.290	18.903	3.661	23.127	3.756	22.084	6.712
OCEANIA	286	2.353	437	2.269	441	2.792	818	4.506	1.056	7.433	1.440
TOTAL	6.832	38.032	7.973	49.261	8.903	55.709	10.897	67.246	12.635	73.549	21.443

جدول ۲ ظرفیت نیروگاه‌های زمین گرمایی نصب شده در سال ۲۰۱۰ و ۲۰۱۵ و پیش بینی کوتاه مدت برای کشورهایی که تا کنون از نیروگاه زمین گرمایی استفاده کرده اند در سال ۲۰۲۰ [۱۲]

COUNTRY	Installed in 2010	Energy in 2010	Installed in 2015	Energy in 2015	Forecast for 2020	Increase since 2010			
	MWe	GWh	MWe	GWh	MWe	MWe	GWh	Capacit y %	Energy %
ALGERIA					1				
ARGENTINA					30				
ARMENIA					25				
AUSTRALIA	0.1	0.5			20	1			
AUSTRIA	1.4	3.8			6				
BOLIVIA					40				
CANADA					20				
CHILE					150				
CHINA	24	150			100	3		12%	
COSTA RICA	166	1131			260	42	380	25%	34%
CZECH REPUBLIC					5				
DJIBUTI					50				
DOMINICA					10				
ECUADOR					40				
EI SALVADOR	204	1,422	204	1,442	300		20		
ETHIOPIA	7.3	10	7.3	10	50				
FRANCE	16	95	16	115	40		20		21%
GERMANY	6.6	50	27	35	60	20	-15	280%	-30%
GREECE					40				
GUATEMALA	52	289	52	237	140				
HONDURAS					35				
HUNGARY					5				
ICELAND	575	4,597	665	5,245	1300	90	648	16%	14%
INDIA					10				
INDONESIA	1197	9,600	1,340	9,600	3500	143		12%	
IRAN					5				
ITALY	843	5,520	916	5,660	1000	74	140	9%	3%
JAPAN	536	3,064	519	2,687	570	-16	-377	-3%	-12%
KENYA	202	1,430	594	2,848	1500	392	1,418	194%	99%
LATVIA					5				
MEXICO	958	7,047	1,017	6,071	1400	59	-976	6%	-14%
MONTSERRAT					5				
NETHERLAND					5				
NEVIS					35				
NEW ZEALAND	762	4,055	1,005	7,000	1350	243	2,945	32%	73%
NICARAGUA	88	310	159	492	200	72	182	82%	59%
PAPUA-NEW GUINEA	56	450	50	432	70	-6	-18	-11%	-4%
PERU					40				
PHILIPPINES	1904	10,311	1,870	9,646	2500	-34	-665	-2%	-6%
POLAND					1				
PORTUGAL	29	175	29	196	60		21		12%
ROMANIA					5	0.1	0.4		
RUSSIA	82	441	82	441	190				
SLOVAKIA					5				
SPAIN					40				
SWITZERLAND					3				
TAIWAN			0.1		1	0.1			
THAILAND	0.3	2.0	0.3	1.2	1				
TURKEY	91	490	397	3127	600	306	2,637	336%	539%
UK					15				
USA	3098	16603	3450	16600	5600	352		11%	
TOTAL	10,897	67,246	12,635	73,549	21443				

آلودگی هوا به هنگام تولید برق در نیروگاه‌های متداول می‌تواند به‌عنوان یک معضل محیط‌زیستی عمده قلمداد شود، سولفید هیدروژن یکی از آلاینده‌های اصلی است با این حال می‌توان با استفاده از فرایندهای گوناگون میزان انتشار این گاز را به حداقل رساند واحدهای نیروگاهی سیکل دو سیاله و همچنین واحدهای گرمایش منطقه‌ای نیز ممکن است باعث ایجاد معضلات کوچک شوند که با استفاده از سیستم‌های حلقه بسته که مانع از انتشار گازها می‌شوند می‌توان آن‌ها را برطرف نمود.



شکل ۳ چرخه زندگی تأثیرات مستقیم زیست‌محیطی تولید انرژی زمین‌گرمایی

پساب‌های خروجی نیز یکی از منابع پتانسیل آلودگی شیمیایی قلمداد می‌شوند استخراج مقادیر فراوانی از سیالات زمین‌گرمایی از منابع آبی زیرزمینی می‌تواند باعث وقوع پدیده نشست یا به عبارتی فرونشست تدریجی سطح زمین شود. آلودگی صوتی ناشی از فعالیت واحدهای زمین‌گرمایی را می‌توان در مواردی که واحد به تولید انرژی می‌پردازد هم به یک معضل زیست‌محیطی قلمداد نمود.

در هر پروژه زمین‌گرمایی حفاری‌های اکتشافی و توسعه‌ای از قبیل حفر چاه‌های کم‌عمق برای اندازه‌گیری شیب حرارتی و یا حفاری چاه‌های عمیق موجب اندکی آلودگی در محیط می‌گردد. نصب و برقراری دکل‌های حفاری و دسترسی به آن‌ها مستلزم تسطیح راه ساخت‌های سکوها حفاری، انبار، محل سکونت کارکنان و غیره است و لازم است تسطیح راه‌ها جهت حمل تجهیزات سنگین با تریلرهای بزرگ را در نظر گرفت جهت نصب دکل‌های متحرک مستقر بر روی تراک‌های کوچک که قادر به حفاری چاه‌های ۳۰۰ تا ۷۰۰ متری است محلی در حدود ۳۰۰ تا ۵۰۰ مترمربع زمین مورد نیاز است. برای حفاری‌های عمیق بالاتر از ۲ هزار متر نیاز به محلی با مساحت ۱۲۰۰ تا ۱۵۰۰ مترمربع است.

در عملیات تسطیح آماده‌سازی محل اصلاح پستی بلندی‌های توجه به حفظ طبیعت موجود در صنعت گیاهان و جانوران موجود الزامی است، در مواردی که حفاری چاه مواجه با سفره‌های آبی شود، لازم است در آن لایه لوله جداری گذاشته شود تا از نفوذ مواد گل حفاری به آب‌های زیرزمینی جلوگیری شود و در صورت فوران چاه زمین‌گرمایی آلودگی آب‌های سطحی و زیرزمینی دور از انتظار نیست، لذا نصب فوران گیر در حفاری‌های زمین‌گرمایی الزامی است. در طول زمان حفاری و زمان آزمایش ممکن است گازهای ناخوشایند و بد بو به هوا بخش گردد که لازم است اقدامات لازم در خصوص کاهش میزان این گازها صورت گیرد مواد گل حفاری ترکیبی از بنتونیت و سایر مواد افزودنی زبان به برای محیط‌زیست می‌باشند و لذا پس از اتمام کار باید گل حفاری از سیال جداسازی شده و دوباره به مصرف برسد اما

۳- تأثیرات محیط‌زیستی

بعد از این معرفی مختصر از فناوری زمین‌گرمایی در ادامه مطالب به تأثیرات محیط‌زیستی آن می‌پردازیم. محیط‌زیست کره زمین در سال‌های ۱۹۶۰ میلادی نسبت به امروز بسیار سالم‌تر بود متأسفانه با پیشرفت سریع علوم و فناوری بشر توجهی به عواقب آلاینده‌های حاصل از پیشرفت صنایع به‌ویژه تولیدکننده‌های انرژی نکرده است. در این راستا می‌توان انرژی زمین‌گرمایی را نسبت به سایر انرژی‌ها کم آلاینده‌تر دانست.

توربین‌های که برای نیروگاه‌های زمین‌گرمایی ساخته می‌شوند باید از موادی که دارای مقاومت بالایی در برابر خوردگی و پوسیدگی هستند ساخت شود زیرا سولفید هیدروژن موجود در گازهای خروجی از زمین باعث خوردگی فولادهای معمولی می‌شود [۱۰].

واحدهای نیروگاهی بر دو قسمت ۱. واحدهای نیروگاهی سر چاهی این واحدها در مجاورت یک یا چند واحد تولیدی راه‌اندازی شده معمولاً با آب داغ یا بخار آب خروجی از آن‌ها تغذیه می‌شوند این واحدها دارای ساختاری مودلار بوده و در مقیاس‌های معین ساخته می‌شود. ۲. نیروگاه‌های مرکزی شامل خطوط انتقال به‌هم‌پیوسته و طبیعی هستند که بخار آب را از مجموعه چاه‌های متعدد به واحد مرکزی منتقل می‌کند هر یک از این واحدها دارای مزایا و معایب خاص خود بوده که با توجه به میزان تقاضا عوامل محیطی و انتخاب می‌شود. انرژی زمین‌گرمایی امروزه یکی از تمیزترین انرژی‌های مورد استفاده در جهان است استفاده از این منبع انرژی با انتشار نسخه‌ی کم کربن اثرات سودمندی بر محیط‌زیست دارد. به حقیقت باید قبول کرد که تا به امروز انرژی شناخته‌نشده است که کاربرد مستقیم و غیرمستقیم آن به این میزان دارای آلودگی‌های زیست‌محیطی ناچیزی باشد. همان‌گونه که اشاره شد بهره‌برداری از انرژی زمین‌گرمایی نیز از آلودگی‌های زیست‌محیطی مبرا نیست ولی میزان این آلودگی‌ها نسبت به منابع انرژی دیگر بسیار ناچیز است.

میزان اثرات مخرب زیست‌محیطی تولید نیرو از انرژی زمین‌گرمایی وابسته به حجم و مقدار بهره‌برداری از سیال موجود در مخزن است و مقررات زیست‌محیطی بر اساس قوانین موجود در هر کشور مشخص می‌گردد. هدایت‌کنندگان نیروگاه‌های زمین‌گرمایی موظف به رعایت قوانین کشور خود است در برخی از کشورها دستورالعمل‌های زیست‌محیطی بسیار جدی مصوب شده است و تخفیفی برای سرمایه‌گذاران وجود ندارد.

سازمان‌های تولید انرژی قبل از هر اقدامی باید تغییرات زیست‌محیطی را به‌دقت مورد نظر قرار دهند و قوانین مربوط به آن را به‌طور کامل رعایت نمایند به‌طوری‌که گفته شد در برخی کشورها بی‌توجهی به مسائل زیست‌محیطی موجب توقف کامل پروژه از سوی مسئولین شده است. در شکل ۳ برخی از انواع تأثیرات مستقیم ناشی از استفاده انرژی گرمایی نشان داده شده [۱۴]

نخستین اثر مشهود زیست‌محیطی واحدهای نیروگاهی یا غیر نیروگاهی زمین‌گرمایی ناشی از عملیات حفاری است و اساساً به‌محض اتمام عملیات حفاری تبعات مخرب زیست‌محیطی آن نیز به پایان می‌رسد مرحله بعدی یعنی نصب و راه‌اندازی خطوط لوله‌ای است که کار انتقال سیالات زمین‌گرمایی را به عهده خواهند داشت و ساخت واحدهای بهره‌برداری نیز بر حیات حیوانات و گیاهان و شکل ظاهری منطقه تأثیر خواهد گذاشت [۱۵] مسائل زیست‌محیطی در حین فعالیت واحد بهره‌برداری نیز به وجود می‌آیند سیالات زمین‌گرمایی معمولاً حاوی گازهای نظیر دی‌اکسید کربن سولفید هیدروژن، متان و مواد محلول است که باعث آلودگی محیط‌زیست می‌شوند.

برای نیروگاه زمین‌گرمایی معمولی که به سیستم کاهش، اکسیدهای نیتروژن و دی‌اکسید گوگرد مجهز نیست تخمین زده می‌شود که تولید گازهای گلخانه‌ای در آن ۱ درصد تولید گازهای گلخانه‌ای در یک نیروگاه سوخت فسیلی با توان یکسان است [۱۸].

غلظت گاز در سیال زمین‌گرمایی با توجه به ویژگی‌های مخزن متفاوت است. دی‌اکسید کربن و سولفید هیدروژن که فراوان‌ترین گازها هستند، به ترتیب به میزان ۹۵٪ و حداکثر ۱ تا ۲٪ از گازهای غیرقابل تراکم^۲ موجود در مایعات زمین‌گرمایی هستند. آمونیاک و اسید بوریک که بسیار محلول در آب هستند، عمدتاً در فاز آبی یافت می‌شوند و از برج‌های خنک‌کننده به اتمسفر منتقل می‌شوند.

پراکندگی انتشار گازها بستگی به شرایط آب‌وهوا از منظر کوه‌شناسی (ارتفاع نقاط و دمای گاز) دارد. اگر سیستم جمع‌آوری کارآمدی به‌منظور تغییر مسیر سیال زمین‌گرمایی به نیروگاه دیگر در دسترس نباشد، میزان قابل‌توجهی از رها شدن گازهای گلخانه‌ای در طول حفاری چاه (تخلیه و گاز زدایی) و در طول خاموش کردن نیروگاه (تخلیه بخار آزاد) رخ می‌دهد. کیفیت هوا در مناطق زمین‌گرمایی (بدون توجه به اینکه از نوع آتشفشانی هستند) بستگی به سیال زمین‌گرمایی دارد و همچنین با نیروگاه‌های زمین‌گرمایی و ابرازات طبیعی زمین مرتبط است.

سیلیس نیز یکی از مهم‌ترین محصولات مشکل‌ساز در میدان‌های زمین‌گرمایی مایع غالب است و اغلب در محلول‌های اشباع همراه با آب زمین‌گرمایی در عمق ایجاد می‌شود در نتیجه کاهش فشار خروج گاز، سیلیس یا بلافاصله رسوب می‌کند یا اینکه برای مدت‌زمان کوتاهی در محلول باقی می‌ماند، هر ساله مقادیر زیادی سرمایه صرف پاک‌سازی سیلیس از کانال‌های روباز تخلیه آب در میدان زمین‌گرمایی وایراکی می‌گردد در تجهیزیات گرم‌کننده‌ای که آب حاوی سیلیس برای مدت‌زمان زیادی در لوله‌ها گردش می‌کند رسوب‌گذاری درون لوله‌ها مشکلات جدی ایجاد می‌نماید ترس از رسوب‌گذاری زیرزمینی سیلیس همواره به‌عنوان یک عامل بازدارنده برای تزریق مجدد سیالات مطرح بوده است [۱۵].

۳-۱-۲- قوانین انتشار گازها و کیفیت هوا در اتحادیه اروپا

با توجه به مواد منتشرشده توسط نیروگاه زمین‌گرمایی، مقررات اتحادیه اروپا و ایتالیا در مورد استانداردهای کیفیت هوا فقط برای جیوه و آرسنیک است و ارزش‌های محدودکننده انتشار را به‌عنوان جریان جرمی یا به‌عنوان ترکیبی از جرم و غلظت جرمی تعریف می‌کنند. در غیاب استانداردهای نظارتی برای آلاینده‌های دیگر، مرجع ایجادشده توسط سازمان‌های بین‌المللی (مانند سازمان جهانی بهداشت^۳) یا سایر مقامات در این زمینه (مانند کنفرانس بهداشت و درمان صنعتی دولتی آمریکا^۴) می‌توان به‌عنوان عمل خوب توسط مقامات منطقه‌ای مورد استفاده قرار گیرد. جدول ۳ مقادیر مرجع که در توسکانی و ارجاعات اصلی بین‌المللی ترسیم‌شده است را نشان می‌دهد. به‌منظور کاهش انتشار آلاینده‌ها در جو، دولت منطقه‌ای در توسکانی اقدامات ذیل را انجام داده است [۲]:

۱. تعیین معیار انتشار مرجع، مطابق با نوآوری‌های تکنولوژیکی
۲. معرفی سیستم‌های جدید مانیتورینگ خطی و بهبود کیفیت موجود در هوا
۳. تحقیق و تدارکات فناوری‌های جدید جهت کاهش سایر آلاینده‌ها.

مواد جامد گل حفاری و خرده‌سنگ‌های خارج‌شده است را باید در چاله مخصوص جمع‌آوری کرد.

احداث خطوط لوله انتقال سیال زمین‌گرمایی ساخت نیروگاه‌ها و محل‌های مصرف با تغییراتی که در پستی‌وبلندی سطح زمین ایجاد می‌کند موجب از بین رفتن درختان و گیاهان طبیعی شده و به محیط وحش نیز آسیب می‌رساند. نیروگاه و تأسیسات زمین‌گرمایی باعث تغییر منظر محیط می‌شود، چنانچه در لاردلو ایتالیا شبکه‌های لوله‌کشی از چاه‌ها به نیروگاه‌ها کاملاً در نمایی محل اثر کرده و بالاخره منظر نیروگاه و برج خنک‌کننده آن منظره‌ی ویژه‌ای به وجود آورده که بازدیدکنندگان و جهانگردان را به خود جلب می‌کند. در ادامه برخی از آسیب‌های محیطی زیست و راهکارهای مقابل با آن و برخی قوانین به‌اختصار توضیح داده می‌شود.

۳-۱-۱- انتشار گازها و نظارت بر آن در اتمسفر

با آغاز کار نیروگاه مسائل زیست‌محیطی دیگری نیز ظاهر می‌شود به‌طورمعمول استخراج سیال زمین‌گرمایی حامل گازهایی از قبیل دی‌اکسید کربن سولفید هیدروژن متان و برخی مواد محلول هستند که معمولاً در دماهای بالا غلظت آن‌ها بیشتر می‌شود برای مثال آرسنیک و جیوه از مواد آلاینده هستند که به همراه سیال‌های زمین‌گرمایی به محیط‌زیست وارد می‌شود در عوض در برخی از آب‌های زمین‌گرمایی مانند سیالات زمین‌گرمایی مصرفی در گرمایش منازل کشور ايسلند غلظت مواد محلول آن‌قدر ناچیز است که هیچ‌گونه آلودگی زیست‌محیطی ایجاد نمی‌کند و به‌صورت مستقیم به مصرف می‌رسد [۱۶].

تخلیه آب‌های هزر زمین‌گرمایی به محیط نیز یکی از مسائل مهم آلودگی محیط‌زیست است سیال‌های زمین‌گرمایی حامل مواد شیمیایی مثل بر، فلوراید آرسنیک نیز باید تصفیه‌شده و دوباره به مخزن تزریق شود. سیال‌های کم‌دما برای مصارف مستقیم استفاده می‌شود اکثراً از نظر زیست‌محیطی چندان آلاینده نبوده و تخلیه آن در محیط آلودگی چندانی ایجاد نمی‌کند [۱۷].

استخراج حجم زیادی از سیال ممکن است باعث فرونشستن زمین شود و پایین رفتن تدریجی حادثه ناگهان و خطرآفرین نیست بلکه یک عارض تدریجی و ملایم است که در یک محل به‌طور یکنواخت ظاهر می‌شود برای جلوگیری از این عارضه می‌توان سیال زمین‌گرمایی را پس از استفاده دوباره به مخزن مربوطه تزریق کرد تا میزان فرونشست به حداقل ممکن کاهش پیدا کند.

۳-۱-۱- کیفیت هوا در مناطق زمین‌گرمایی

سیالات زمین‌گرمایی دارای درجه حرارت بالا هستند و معمولاً حاوی گازهایی باکیفیت متغیر هستند، مقادیر با درصد وزنی بین ۲ تا ۱۰، شامل دی‌اکسید کربن، سولفید هیدروژن، متان، گاز هیدروژن، سایر عناصر کمیاب جیوه، آرسنیک، بور، رادون، آنتیموان، فلزات سنگین مانند سرب، آلومینیوم، آهن، روی، کادمیم و همچنین آمونیاک است [۱۵]. ذرات جامد یا گاز محلول در آب ممکن است در ذرات آئروسول (گردوغبار) منتشرشده از برج‌های خنک‌کننده، به خاک فرو رود و یا توسط باران شسته شوند. اکسیدهای نیتروژن، دی‌اکسید گوگرد و ذرات اولیه^۱ به‌طور مستقیم توسط نیروگاه زمین‌گرمایی ساطع نمی‌شود. ذرات ثانویه ممکن است از اکسیداسیون سولفید هیدروژن و آمونیاک تشکیل شوند.

^۲ Non-Condensable Gases

^۳ World Health Organization (WHO)

^۴ ACGIH

^۱ Particulate Matter (PM)

جدول ۳ مقادیر مرجع گازهای موجود در واحد زمین گرمایی [۲]

Parameter	Concentration	Reference
Hydrogen	150 µg/m ³ daily average	(1)
Sulphide (H ₂ S)	100 µg/m ³ for 1–14 days (average over the period)	(2)
	20 µg/m ³ up to 90 days (average over the period)	
Arsenic (As)	6 ng/m ³ yearly average	
Mercury (Hg)	0.2 µg/m ³	
Boron (B)	20 µg/m ³ daily average	
Ammonia (NH ₃)	10 µg/m ³ for 1–14 days (average over the period)	(3) December 2007
	170 µg/m ³ daily average	Confidence interval 100 with respect to
	70 µg/m ³ for 1–14 days (average over the period)	TLV-TWA of 17 mg/m ³ reported in (4) (ammonia)
		(3) Reference year 2004
Antimonium (Sb)	5 µg/m ³ daily average	Confidence interval 100 with respect to
		TLV-TWA of 0.5 mg/m ³ reported in (4) (antimonium)

TLV-TWA = Time Weighted Average.

Ref: (1) WHO (2000); (2) WHO – IPCS; (3) MRL Minimal Risk Level (ATSDR); (4) ACGIH, (2006).

خود را بر اساس ویژگی صوتی، نقشه برداری منطقه خود را طبقه بندی کند و مجوزهای لازم را دریافت کند.

۳-۱-۱- راهکارهای کاهش انتشار گازها

بهترین فناوری برای کاهش انتشار هوا بستگی به نوع و تخمین طول عمر نیروگاه و میزان غلظت آلاینده ها در سیال دارد. در ایتالیا به طور متداول از تزریق مجدد سیالات به استثنای گازهای غیرقابل چگالش^۱ و پذیرش سیستم های مخرب استفاده می شود. به عنوان نمونه در نیروگاه های ایتالیا تولید توان از سیالات زمین گرمایی با محتوای بالای گازی سبب دست یافتن به فاکتورهای پایین انتشار آلاینده گی در کنار استفاده از تکنولوژی های کاهش دهنده شده است. همچنین در حال حاضر در برخی مناطق ایسلند با تزریق مجدد گاز همان طور که در بعضی از پروژه های زمین گرمایی پیشنهاد شده است انتشار گازها کنترل می شود شکل ۴ [۱۹] البته در مواردی خطر استفاده از تزریق گاز وجود دارد زیرا افزایش فشار باعث افزایش انتشار سیالات ثانویه می شود (از جمله هیدروکربن ها و نفت سنگین با ویژگی بالقوه افزایش حرارت جهانی زمین) [۱۴].

۳-۱-۲- آلودگی صوتی

آلودگی صوتی ناشی از فعالیت واحدهای زمین گرمایی را می توان در مواردی که واحد به تولید انرژی می پردازد نیز به عنوان یک معضل زیست محیطی قلمداد نمود. آلودگی های صوتی در طول مراحل برپایی و کارکرد نیروگاه های زمین گرمایی شامل حفاری (۹۰ تا ۱۲۰ دسی بل) و خروج سیال از خطوط لوله (حدود ۱۲۰ دسی بل) می شود [۱۵].

۳-۱-۱- قوانین

تولید سروصدا به عنوان یک نوع آلودگی شامل قوانینی می شود که در آن حداکثر سطح سروصدا مجاز با توجه به منطقه محلی و ارزیابی منابع تولید سروصدا مطرح می شود. یا بر اساس ساعات مختلف کارکرد، شبانه (ساعت ۲۲:۰۰ تا ۶:۰۰ صبح) و روزانه (ساعت ۶ صبح تا ۲۲:۰۰) قوانینی را تنظیم می کند. مثلاً بر اساس مرجع [۲] هر شهرداری باید از جدول ۴ منطقه محلی

۳-۱-۲- راهکار کاهش میزان آلودگی صوتی

فناوری کاهش سروصدا در ایتالیا به طور گسترده ای کاربرد دارد، به عنوان مثال موانع صدا، سپرهای صوتی در موتورها و به کارگیری تجهیزات کم سروصدا در موقع تست چاه ها. حفاری یک فعالیت موقت است و معمولاً در مناطقی با تعداد سکنه پایین انجام می شود، سروصدا بسیار کمتر از حد مجاز برای این مناطق است. خطوط لوله از تجهیزات با اثر غیر آکوستیک محسوب می شود که نیاز به تعمیر و نگهداری دارد. پس از ساخت نیروگاه تمام فناوری های مورد استفاده در نیروگاه زمین گرمایی با بهبود مستمر عملکرد تجهیزات نیروگاهی به پایین ترین استانداردهای نوع طبقه ۱^۲ محدود می شود. همچنین کاهش قابل توجه سروصدا توسط عایق های حرارتی توربین و قفس های ضد صدا در اطراف توربین و ژنراتور به دست می آید. برج های خنک کن بالاترین سروصدا را ایجاد می کند. بر اساس گزارش داخلی شرکت چندملیتی و ایتالیایی تولیدکننده انرژی های تجدیدپذیر انل گرین پاور^۳، اثر آکوستیک تا مرز ۷۵ تا ۹۰ دسی بل به وسیله مفروش کردن سطح آب و استفاده از سازه های چوبی و فن های ضد صدا و استفاده از موتورهای محور عمودی باهدف خاص، کاهش می یابد.

۳-۲- تداخل آب های سطحی و زیرزمینی

آب به طور قابل توجهی یک منبع کلیدی است. اگر معیار مناسب جهت ساخت و ساز و عملیات بهره برداری نیروگاه اعمال نشود، می تواند تأثیرات منفی بر کیفیت آب، کمیت و چرخه زیرزمینی آب ایجاد کند.

۳-۲-۱- کاربرد و مصرف آب

تمام نیروگاه های زمین گرمایی از مقادیر قابل توجهی از سیالات زمین گرمایی استفاده می کنند. پس از تولید برق و چگالش، این سیالات قبل از تزریق مجدد

جدول ۴ محدوده مقدار سروصدا در محیط‌زیست بر اساس مقصد هر سایت در واحد دسی‌بل

حوزه طبقه‌بندی	مقادیر سطح انتشار (دسی‌بل)		مقادیر سطح مصرف (دسی‌بل)		مقادیر استاندارد کیفیت (دسی‌بل)	
	روز	شب	روز	شب	روز	شب
نوع طبقه						
(۱) مناطق با حفاظت ویژه: بیمارستان‌ها، مدارس، مناطق مسکونی روستایی، پارک‌ها و غیره	۴۵	۳۵	۵۰	۴۰	۴۷	۳۷
(۲) مناطق بیشتر مسکونی، با فعالیت‌های تجاری و صنعتی	۵۰	۴۰	۵۵	۴۵	۵۲	۴۲
(۳) مناطق فعال در زمینه تولید محصولات غیر صنعتی و مسکونی	۵۵	۴۵	۶۰	۵۰	۵۷	۴۷
(۴) مناطق به شدت مسکونی	۶۰	۵۰	۶۵	۵۵	۶۲	۵۲
(۵) مناطق بیشتر صنعتی و به ندرت مسکونی	۶۵	۵۵	۷۰	۶۰	۶۷	۵۷
(۶) مناطق منحصراً صنعتی	۶۵	۶۵	۷۰	۷۰	۷۰	۷۰

برای کاربردهای دیگر قابل استفاده است. آب در مراحل حفاری و ساخت و ساز مورد نیاز است. اگر سیال زمین گرمایی در دسترس نباشد برای سیمان و گل حفاری دیواره چاه تازه مورد نیاز است. برای خطوط لوله و محوطه سازی نیز در هنگام ساخت نیروگاه نیاز به آب دارد. از آنجاکه آب حدود ۱۰ درصد وزن سیمان است، مقدار تخمین زده شده برای سیمان کاری به ازای هر یک کیلومتر ۱۵-۱۰ مترمکعب آب نیاز است. در حالی که در طول مدت بهره‌برداری نیروگاه آب اضافی مورد نیاز نیست.

۳-۲-۱- آلودگی آب‌های سطحی و زیرزمینی

سیال زمین گرمایی متشکل از طیف گسترده‌ای از یون‌های حل شده در فاز مایع آن است شامل استرانسیم، آنتیموان، منیزیم، بور، لیتیم، کلسیم، پتاسیم، سدیم، آرسنیک، فلور، سلنیم، روبیدیم، کلرایدها، بی‌کربنات‌ها و سولفات‌ها، بخار فوق گرم به‌طور عمده حاوی کلرایدها و بی‌کربنات‌های اسید بوریک و

مقادیر جزئی از آرسنیک و جیوه است؛ که همین کانی سازی و بهره‌برداری از منابع زمین گرمایی ممکن است بر کیفیت آب سطحی نزدیک به منابع زمین گرمایی تأثیر بگذارد و باعث آلودگی آب‌های زیرزمینی شود، (۱) حوادث حین عملیات حفاری چاه، (۲) نشت‌های کوچک ولی مستمر در خطوط لوله در چاه‌ها و سایر بخش‌های زمین گرمایی و (۳) نشت‌های تصادفی از گل و سیال زمین گرمایی که قبل از تزریق مجدد به‌طور موقت در مخازن ذخیره می‌شود.

ترک خوردن خط لوله، نشت خطوط لوله و سایر نشت‌های سطحی که می‌تواند مسیر آب‌های سطحی و زیرزمینی را آلوده کند. علاوه بر این جریانی که از برج خنک‌کننده خارج می‌شود می‌تواند باعث آلودگی خاک، آب و همین‌طور رسوب گذاری شود. هرچه چرخه گردش سیال عمیق‌تر در زمین باشد شناسایی اثرات احتمالی چرخه بر کیفیت آب سخت‌تر حاصل می‌شود [۲].

۳-۲-۲- مداخله در مخازن زیرزمینی

زمانی که تعداد چاه‌ها و اطلاعات مستقیم کمی وجود داشته باشد درک چرخه سیال زیرزمینی پیچیده است. آزمایش‌های هیدرولیکی در چاه‌های موجود جهت مشخصه نفوذپذیری انجام می‌شود و مدل سازی عددی هیدرولوژیکی اصلی ترین ابزار کارآمد و پایدار جهت مدیریت زمین گرمایی است. اثر خروج آب از مخازن زمین گرمایی می‌تواند تا حد زیادی توسط تزریق مجدد به مخزن زمین گرمایی جبران می‌شود. البته به دلیل تلفات سیال زمین گرمایی و گازهای غیر قابل تراکم به‌طور کامل این بازگشت اتفاق نمی‌افتد. تلفات جرم در سیستم‌های حاوی سیال دو فاز (گاز و مایع) باعث کاهش فشار مخزن می‌شود. [۲۰] بنابراین طرح‌های دقیق برای تزریق مجدد با استفاده از مدل پیش‌بینی برای تکامل مخزن و نظارت بر اقدامات اصلاحی لازم است. [۲۱]

۳-۳- فرونشست زمین

فرونشست زمین، حرکت عمودی به سمت پایین سطح زمین است که از فرایندهای طبیعی، از جمله حرکات زمین‌شناسی و پدیده‌های آتشفشانی، یا از طریق فعالیت‌های انسانی ناشی می‌شود. استخراج سیال از منابع زیرزمینی، شایع ترین علت تخریب انسانی است که منجر به تغییر در ناحیه تنش مخزن و مناطق اطراف آن (تغییر شکل الاستیک و الاستیسیته) و در نتیجه باعث تغییر شکل سنگ می‌شود. بسته به ضخامت و خواص مکانیکی سنگ‌ها، این تغییر شکل می‌تواند با حرکت عمودی و / یا افقی باعث تغییر شکل سطح زمین شود [۲۲].

۳-۳-۱- قوانین

قوانین باید متضمن حفاظت و ترمیم خاک‌های سطحی و زیرزمینی باشد که شامل مواردی جهت بازسازی هیدرولوژیکی منطقه آسیب دیده از طریق پیشگیری از پدیده بی‌ثباتی، ایمن سازی شرایط خطر ساز و مبارزه با بیابان‌زایی تصویب شود.

۳-۳-۲- راهکار کاهش میزان نشست

یکی از راهکارهای برای جلوگیری، کنترل یا کاهش فروپاشی و نشست زمین تزریق و بازتزریق مجدد سیالات به سیستم زمین گرمایی است، در بسیاری از موارد این روش جهت جبران کمبود و کاهش فشار ناشی از استخراج سیالات را می‌کند. تأثیر تزریق و بازتزریق مجدد برای حمایت از فشار، پایداری منابع

تحریک شده می نامند که ناشی از عوامل طبیعی نبوده و در دهه های اخیر به دلیل عملکردهای بشر روی پوسته زمین رخ داده اند. [۲۳]

بنابراین باید انتظار داشت که مراکز این نوع زلزله های کاذب در نواحی فعالیت های انسان ها و حوالی آن قرار گیرد شکل ۵ این حرکات معمول با آشفستگی و بر هم زدن موازنه طبیعت همراه بوده است و نسبت مستقیمی بین زلزله های تحریک شده و فعالیت های انسانی وجود دارد. از آن جمله استخراج سیال زمین گرمایی و تزریق مجدد آن است؛ که ممکن است به علت ایجاد تغییر فشار در منافذ، عدم تعادل ایزو استاتیک و اثرات ترموالاستیته ایجاد زمین لرزه های القایی می کند [۲۴]

گردشگری فناوری در نظر گرفته شده است.

برای نمونه برخی ساختمان های لاردرو که به اوایل دهه ۱۸۰۰ از لحاظ تاریخی و هنری مورد توجه هستند؛ و همین طور روستای جدید لاردرو توسط معمار معروف جهان جیووانی میچلوچی طراحی شده است شکل ۶ و ۷ به خاطر سبک منحصر به فرد او دارای چشم انداز بسیار غیر معمولی است.

۳-۶- ضایعات

نیروگاه های زمین گرمایی هم ضایعات مایع و هم جامد که به دنبال حفاری چاه ها، ساخت و ساز، بهره برداری و نگهداری از نیروگاه و نیز پسماندهای شهری کارکنان، تولید می کند. از جمله (۱) گل حفاری و دیگر مواد افزودنی مایع حفاری مانند دوغاب سیمان، گازوئیل و روان کننده ها مواد مایع تمیز کننده و آب شور زمین گرمایی (۲) برش ها، خورده سنگ ها، ضایعات صنعتی از انواع مختلف آن. سایر ضایعات ناشی از ساخت و ساز یک نیروگاه عبارتند از: ضایعات باقیمانده از ساخت و ساز مسیرهای دسترسی و لوله گذاری، پلاستیک های بسته بندی، زباله های فلزی، زباله های چوبی، مواد لاستیکی، فیلترها و...

۳-۶-۱- راهکارهای کاهش میزان ضایعات

برای به حداقل رساندن مقدار ضایعات در حین حفاری، نخاله های جامد به طور جداگانه در مخازن خاص ذخیره می شوند. مایعات حفاری برای استفاده

و کنترل سیلاب ها اثبات شده است و به سرعت به بخش جدایی ناپذیر از بهره برداری از سیستم های زمین گرمایی پایدار و سازگار با محیط زیست شده است. [۲۰]

۳-۴- زمین لغزش های القایی

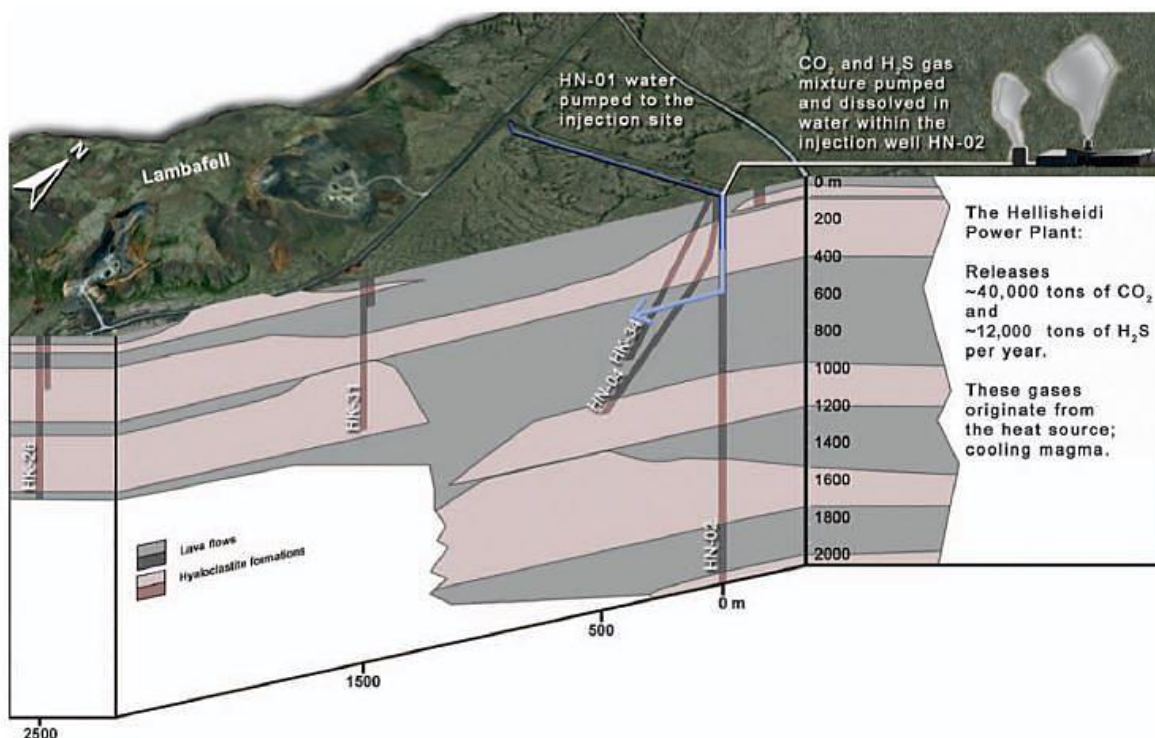
بر اساس علم زلزله شناسی، زمین لرزه ها هنگامی بروز می کنند که تنش های زمین ساختی در طول یک گسل انباشته شوند تا به یک نقطه بحرانی برسند و ناگهان تنش ها تخلیه می شوند. زلزله های مصنوعی را زلزله های القایی یا آزمایش ها نشان می دهد شروع و میزان حوادث لرزه ای از حجم تزریق سیالات و فشارهای آن ناشی می شود بنابراین امروزه از هرگونه روش و فناوری که تحریکات سخت و سنگین مانند پمپاژ حجم زیادی سیال زیر زمین داشته باشد جهت به حداقل رساندن خطر ناشی از لرزه های القایی، خودداری می شود.

۳-۴-۱- راهبردها

همچنین در مناطق زمین گرمایی عموماً از توازن قابل توجهی بین مقدار سیال تولید شده و سیال مجدداً تزریق شده برقرار است که مانع از کاهش فشار انبساط می شود و علاوه بر آن به خاطر اختلاف دمای محدود بین این دو سیال اثرات خنک سازی کاهش می یابد و نیاز برای توسعه تکنیک های جلوگیری از لرزه های القایی را به طور قابل توجهی کاهش می دهد. [۲۵]

۳-۵- تأثیرات بصری

تأثیر بصری یک عامل کلیدی در تولید صنعت زمین گرمایی است. کاهش تأثیرات بصری به طور فزاینده ای اهمیت دارد و تمام نیروگاه های جدید در هماهنگی با چشم اندازهای طبیعی طراحی می شود. در بعضی موارد، مراقبت های ویژه ای برای ایجاد مسیرهای پیاده روی در اطراف نیروگاه برای ترویج



شکل ۴ برش مقطع عرضی از سایت تزریق مجدد، دی اکسید کربن و سولفید هیدروژن که به طور کامل در آب حل شده اند از طریق چاه HN-02 به عمق ۴۰۰ تا ۴۵۰ متر تزریق می شود [۱۹]

است: مطالعه اول، درزمینه زمین‌گرمایی پیشرفته در کوه آمیاتا انجام شد، مطالعه دوم با طرح تحقیق و روش‌شناسی یکسان در ایالت پالمو در جنوب



شکل ۶ نیروگاه سن مارتینو [۲]



شکل ۷ دید از بالای نیروگاه باگنور ۳ [۲]

ایتالیا انجام گردید، که در این منطقه هیچ توسعه زمین‌گرمایی طرح‌ریزی نشده بود و سومین مورد ویترو در مرکز ایتالیا بود که در آن توسعه زمین‌گرمایی مطرح‌شده ولی با مخالفت‌هایی مواجه شده است [۲۹].

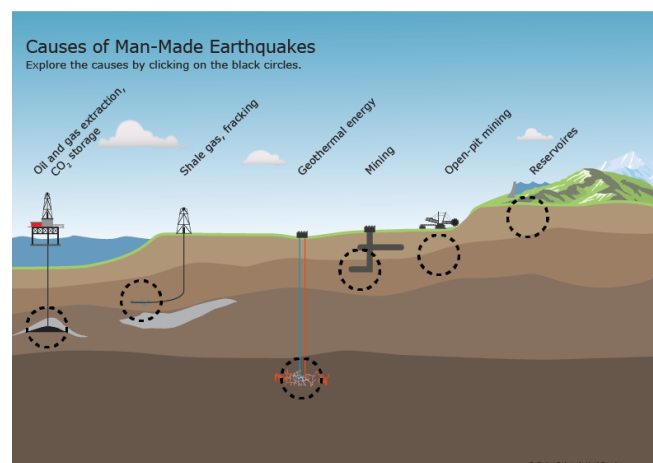
۴-۱-۱- مزایای اجتماعی و محلی بهره‌وری از انرژی زمین گرمایی
تولید ارزش‌افزوده طولانی‌مدت یکی از اهداف شرکت چندملیتی تولیدکننده انرژی‌های تجدیدپذیر اتل گرین پاور برای جوامع در مناطق زمین‌گرمایی است [۱۲]؛ بنابراین بهبود رشد اقتصادی و اجتماعی ناشی از توسعه زمین‌گرمایی خواهد بود. اگر اشتغال مستقیم و غیرمستقیم افراد را در نظر بگیریم صنعت زمین‌گرمایی در یک منطقه مشخص بر زندگی بیش از ۲۰۰۰ نفر تأثیر می‌گذارد، حدود یک‌سوم در استخدام مستقیم شرکت هستند و بقیه در بخش‌های مختلف کسب‌وکار مانند خدمت، کارهای شهری، صنعت الکترومکانیک و نجاری فعال هستند. همچنین اتل گرین پاور از ابتکارات کسب‌وکار محور پشتیبانی می‌کند درحالی‌که هم‌زمان از قابلیت دسترسی به سیالات زمین‌گرمایی از راه همکاری نزدیک با مدارس حرفه‌ای، دانشگاه‌های محلی و مؤسسات تحقیقاتی بهره می‌برد، مانند کشت اخیر جلبک دریایی یا استارت‌آپ‌هایی که نیازمند صنعت مکانیکی دقیق هستند.

مجدد و بازیافت آن در مخازن مهرموم شده جمع‌آوری و ذخیره می‌شود. برای استفاده مجدد و بازیافت گل حفاری باید به‌طور صحیح حمل شود. ابتدا در مخازن رسوب ضد آب برای جداسازی زباله‌های درشت، سپس صفحه‌های ارتعاشی و فیلترهای فشاری استفاده می‌شود. بعد از جداسازی زباله‌های درشت گل را به مدار حفاری منتقل می‌کند. هنگامی که گل حفاری دیگر قابل‌استفاده مجدد نیست، پس از جدا شدن ضایعات برش در یک فیلتر فشاری خشک می‌شود و آب به یک تصفیه‌خانه فاضلاب ارسال می‌شود و فاز جامد به محل‌های دفن زباله منتقل می‌شود. آب شور استخراج‌شده در حین حفاری دوباره تزریق می‌شود و یا آب آن را جدا می‌کنند و مواد جامد را به محل دفن زباله می‌فرستند. دیگر مواد زائد (مواد ناکارآمد، چوب، فلز، کارتن، پلاستیک و غیره) در سطل‌ها یا کانتینرهای مناسب قرار می‌گیرند. زباله‌های خطرناک (مانند روغن‌ها و باتری‌ها) در ظروف جداشده و برچسب‌گذاری می‌شوند. یک منطقه ذخیره‌سازی خاص در نیروگاه وجود دارد و دارای مجوز مدیریت زباله و حمل است.

۴- ابعاد اجتماعی و اقتصادی زمین‌گرمایی

۴-۱- تأمین انرژی امن و پایدار

یکی از مقولات پیچیده، فوری، نامحدود و همچنان مطرح جهت تأمین انرژی امن و پایدار، چالش‌های فنی، سیاسی، اقتصادی، اجتماعی و حتی اخلاقی آن است. سیستم‌های انرژی و ساختار اجتماعی به‌طور پیچیده‌ای درهم‌تنیده



شکل ۵ فعالیت‌های انسانی که باعث ایجاد زمین‌لغزش‌های بالقوی می‌شود [۲۶]

است و این بدین معناست که هیچ نوآوری موفق انرژی نمی‌تواند بدون تغییرات جامع و اجتماعی باشد. نوآوری زمانی قدرتمند و جامع محسوب می‌شود که از نظر اجتماعی پایدار باشد [۲۷]. حرکت به سمت آینده انرژی کم‌کربن به‌طور غیرقابل‌اجتنابی پیچیده است و صور نوینی از حکومت را در بردارد. تغییر از دولت به حکومت^۱ (سبک جدیدی از حکومت‌داری که در آن مرز بین بخش‌های عمومی و خصوصی و سطوح ملی و بین‌المللی کم‌رنگ شده است) [۲۸] ازجمله تمام ذینفعان مرتبط در توسعه انرژی تجدیدپذیر متضمن فناوری‌های جدید است؛ اما مطالعات درزمینه ساختار حکومت ابعاد اجتماعی و سیاسی انرژی زمین‌گرمایی تا سال‌های اخیر به‌ندرت در ادبیات بین‌المللی یافت می‌شود. البته در ایتالیا تحقیقاتی چند در این زمینه صورت گرفته است. [۲] ازجمله سه مطالعه بحث برانگیز در قلمرو عمومی به‌قرار زیر

^۱ Government to Governance

۵- نتیجه

پس از جمع‌آوری و سازمان‌دهی اطلاعات ارائه‌شده توسط سوابق رسمی و مقالات علمی، این مقاله جنبه‌های زیست‌محیطی توسعه زمین‌گرایی را در رابطه با هوا، سروصدا، آب، نشست زمین و لرزه‌های القایی، تأثیرات بصری و ضایعات جهت استفاده برای تولید برق مورد تجزیه و تحلیل قرار داد. خطرات مرتبط با آن، قوانین و اقدامات لازم جهت کاهش اثرات مورد بحث قرار گرفت. مراقبت از محیط‌زیست و کاهش اثرات بالقوه انرژی زمین‌گرایی در سطح ایمن و مدنظر داشتن آن در سیاست‌گذاری‌ها اساسی است.

با توجه به نقش استراتژیکی که انرژی زمین‌گرایی می‌تواند داشته باشد، می‌بایست قوانین ملی توسط مدیران اجرایی و دولت به‌طور کامل اجرا شود و دستورالعمل‌هایی برای اکتشاف، بهره‌برداری و مدیریت منابع زمین‌گرایی ارائه شود. و کنترل سختگیرانه‌ای در مورد جنبه زیست محیطی باید انجام شود، با اینکه همواره این واقعیت وجود دارد که یکی از کنترل‌شده‌ترین و سازگارترین صنعت تولید برق از لحاظ محیط‌زیستی انرژی زمین‌گرایی است، اما اختلافات و نگرانی‌هایی با توسعه انرژی زمین‌گرایی مطرح است از آن جمله به تأثیرات بصری تا انتشار آلودگی در هوا و تخلیه پساب‌ها می‌شود اشاره کرد، که گروه‌های مخالف اکنون فناوری‌های نوینی از جمله نیروگاه‌های با آلودگی صفر را پیشنهاد می‌کنند. همچنین بحث در مورد انرژی زمین‌گرایی به بحث در مورد سایر فناوری‌های انرژی (انرژی‌های تجدیدپذیر، هسته‌ای، نفت شیل) وابسته است. مثلاً در ایتالیا موضوع حفاری عمیق باعث شد تا این سوال مطرح شود که آیا زلزله‌ای که در سال ۲۰۱۲ رخ داد آیا ناشی از فعالیت‌های بشری در خصوص استهسال انرژی است؟ همچنین بحثی در مورد نفت شل در آمریکا مطرح شده بود هرچند در حوزه زمین‌گرایی مطرح نبود اما همین باعث ایجاد تردید در سایر مناطق شد. اطلاعات ارائه شده جزئی و نادرست بیانگر یک مساله جدی در طرح توسعه انرژی زمین‌گرایی است. در عرصه اجتماعی، ارتباطات بهبود یافته و دقیق که مبتنی بر واقعیت و داده‌های حقیقی است نقش استراتژیکی در رفع این مخالفت‌ها در سراسر جهان دارد. بررسی‌های منظم و جامع از رژیم‌های زیست محیطی و امنیتی توسعه انرژی زمین‌گرایی مطمئن‌ا به نفع بخش زمین‌گرایی است.

یکی دیگر از مسائل کلیدی این است که بخش زمین‌گرایی چگونه می‌تواند درگیری مؤثرتری با جامعه داشته باشد و ارزش‌های اجتماعی را در روند نوآوری قرار دهد؟ به‌جای تمرکز تنها بر ترس عمومی از خطرات بالقوه، عامل کلیدی تعیین‌کننده در پذیرش تحولات زمین‌گرایی، این است که به‌وضوح مزایا برای عموم مردم توضیح داده شود، به‌عنوان مثال کاهش نرخ وسایل و مالیات بر آن، افزایش اشتغال و توسعه نوآوری. پذیرش محصول (انرژی زمین‌گرایی) به‌شدت تحت تأثیر پذیرش فرایند (تصمیم‌گیری، معیارهای توزیع مزایا ...) است، بنابراین توجه به جنبه‌های اجتماعی و زیست‌محیطی، دو ستون مهم برای توسعه هرگونه استفاده از انرژی است.

۶- مراجع

- Nemet, and R. C. Pietzcker, "The underestimated potential of solar energy to mitigate climate change," *Nat. Energy*, vol. 2, no. 9, 2017.
- [4] K. P. Tsagarakis, "Shallow geothermal energy under the microscope: Social, economic, and institutional aspects," *Renew. Energy*, 2019.
- [5] M. Malo, B. Karine, and J. Raymond, "Public Perception Regarding Deep Geothermal Energy and Social Acceptability in the Province of Qu é bec , Canada," pp. 91–103, 2019.
- [6] A. Santilano *et al.*, "Convective , intrusive geothermal plays : what about tectonics ?," no. i, pp. 51–59, 2015.
- [7] P. Conti, M. Cei, and F. Razzano, "Geothermal Energy Use , Country Update for Italy (2010-2015)," no. July 2012, pp. 19–24, 2016.
- [8] M. H. Ahmadi, A. Ahmadi, M. S. Sadaghiani, and M. Ghazvini, "Ground Source Heat Pump Carbon Emissions and Ground-Source Heat Pump Systems for Heating and Cooling of Buildings : A Review," vol. 00, no. 00, 2017.
- [9] M. H. Dickson and M. Fanelli, "What is geothermal energy ?," 1965.
- [10] A. Foley and A. G. Olabi, "Renewable energy technology developments, trends and policy implications that can underpin the drive for global climate change," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 68, pp. 1112–1114, 2017.
- [11] R. Bertani, "World geothermal power generation in the period 2001 – 2005," vol. 34, pp. 651–690, 2005.
- [12] R. Bertani, "Geothermal Power Generation in the World 2010-2014 Update Report," no. April, pp. 19–25, 2015.
- [13] E. Rodríguez, W. S. Harvey, and E. J. Ásbjörnsson, "Review of H 2 S Abatement Methods in Geothermal Plants," no. April, pp. 19–25, 2015.
- [14] P. Bayer, L. Rybach, P. Blum, and R. Brauchler, "Review on life cycle environmental effects of geothermal power generation," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 26, pp. 446–463, 2013.
- [15] A. Berardy and M. V. Chester, "Climate change vulnerability in the food, energy, and water nexus: Concerns for agricultural production in Arizona and its urban export supply," *Environ. Res. Lett.*, vol. 12, no. 3, 2017.
- [16] I. Dincer and C. Acar, "A review on clean energy solutions for better sustainability," 2015.
- [17] H. Kristmannsdo, "Environmental aspects of geothermal energy utilization," vol. 32, pp. 451–461, 2003.
- [18] "Promoting Geothermal Energy : Air Emissions Comparison and Externality Analysis Promoting Geothermal Energy : Air Emissions Comparison and Externality Analysis," no. April, pp. 1–19, 2013.
- [19] S. R. Gislason *et al.*, "carbon dioxide emissions," vol. 352, no. 6291, pp. 10–13, 2016.
- [20] A. R. Diaz, E. Kaya, and S. J. Zarrouk, "Reinjection in geothermal fi elds Á A worldwide review update," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 53, pp. 105–162, 2016.
- [21] E. Kaya, S. J. Zarrouk, and M. J. O. Sullivan, "Reinjection in geothermal fields : A review of worldwide experience," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 15, no. 1, pp. 47–68, 2011.

- [1] R. Bertani, "Geothermics Geothermal power generation in the world 2010 – 2014 update report," *Geothermics*, vol. 60, pp. 31–43, 2016.
- [2] A. Manzella *et al.*, "Geothermics Environmental and social aspects of geothermal energy in Italy," *Geothermics*, vol. 72, no. April 2017, pp. 232–248, 2018.
- [3] F. Creutzig, P. Agoston, J. C. Goldschmidt, G. Luderer, G.

- [22] L. Berkeley, "TWO-WEEK LOAN COPY This is a Library Circulating Copy," 2013.
- [23] D. Elsworth, K. Im, Y. Fang, and T. Ishibashi, *Induced Seismicity and Permeability Evolution in Gas Shales , CO 2 Storage and Deep Geothermal Energy*, vol. 1. Springer Singapore, 2018.
- [24] L. I. Lubis, M. Kanoglu, I. Dincer, and M. A. Rosen, "Geothermics Thermodynamic analysis of a hybrid geothermal heat pump system," *Geothermics*, vol. 40, no. 3, pp. 233–238, 2011.
- [25] G. Kwiatek, P. Martínez-garzón, G. Dresen, M. Bohnhoff, H. Sone, and C. Hartline, "Journal of Geophysical Research : Solid Earth," pp. 7085–7101, 2015.
- [26] A. Thomas, B. Simone, and C. Daniela, "Ac ce p t," *Biochem. Pharmacol.*, 2018.
- [27] S. Andy, "Towards Innovation Democracy? Participation, Responsibility andPrecaution in Innovation Governance," vol. 24, 2014.
- [28] A. Jordan, R. K. W. Wurzel, and A. R. Zito, "' New ' Instruments of Environmental Governance: Patterns and Pathways of Change," no. November 2014, pp. 37–41, 2010.
- [29] A. Pellizzone, A. Allansdottir, R. De Franco, G. Muttoni, and A. Manzella, "Geothermal energy and the public : A case study on deliberative citizens ' engagement in central Italy," *Energy Policy*, no. November, pp. 0–1, 2016.