



بررسی امکانپذیری برداشت و ذخیره انرژی زمینلرزه

بهاره علی دادیانی^{۱*}، سید کیوان حسینی^۲، رضا خواجوی^۳

(۱) کارشناس ارشد زلزله شناسی، گروه فیزیک و مرکز تحقیقات زمینلرزه شناسی، دانشگاه فردوسی مشهد

Speciallady_b@yahoo.com

(۲) استادیار و عضو هیئت علمی مرکز تحقیقات زمینلرزه شناسی، دانشگاه فردوسی مشهد.

نویسنده مسئول: k-hosseini@um.ac.ir

(۳) استادیار و عضو هیئت علمی مرکز تحقیقات زمین لرزه شناسی، دانشگاه فردوسی مشهد

rezakhajavi@um.ac.ir

* درحال حاضر دانشجوی دکتری زلزله شناسی، دانشگاه آزاد تهران شمال

چکیده

کشور ایران یکی از لرزه خیزترین مناطق دنیا به شمار می رود. همراه با وقوع هر زمینلرزه انرژی جنبشی نسبتاً بزرگی در سطح زمین منتشر می گردد. در تاریخ ایران زمین وقوع هر زمین لرزه همیشه بعنوان یک مخاطره مهم ثبت گردیده است. با در نظر گرفتن اهمیت استفاده از انرژی های نو و کاهش استفاده از سوخت های فسیلی، در مناطق لرزه خیزی چون ایران می توان از انرژی حاصل از زمین لرزه ها بعنوان یک فرصت مناسب در تامین انرژی جایگزین استفاده نمود. با مهار این انرژی در جهت تولید برق می توان جایگزین مناسبی برای سوخت های فسیلی در مناطق لرزه خیز ایجاد نمود. با هدف توانایی برداشت انرژی جنبشی زمین و ذخیره سازی انرژی الکتریکی حاصل از لرزش های ناشی از هر زمین لرزه، طراحی نرم افزاری و سخت افزاری سامانه ای با نام سامانه سبز* با استفاده از نوع خاصی از حسگرهای پیزوالکتریک که دارای حساسیت نسبتاً بالایی هستند، صورت پذیرفت. نمونه آزمایشگاهی ساخته شده قابلیت خوبی را در ایجاد ولتاژ و جریان خروجی قابل استفاده بطور مستقیم و یا ذخیره سازی نشان می دهد.

*سامانه سبز: سامانه تولید برق از زلزله.

کلمات کلیدی: انرژی زلزله، انرژی نو، برداشت انرژی، پیزوالکتریک، ذخیره، زاگرس.

۱. مقدمه

خطرات ناشی از سیل، زلزله، سونامی، طوفان و گردباد در تمام نقاط جهان کم و بیش وجود دارد. بشر از بدو خلقت تاکنون همواره در معرض خطر وقوع بلایای طبیعی بوده و بدین خاطر تلاش نموده تا راهکارهای مناسب سازگاری با این تهدید را پیدا

کند. در این خصوص علم مهندسی نیز به صورت پویا و مستمر ساز و کارهای جدید ارائه می‌نماید. به عنوان مثال، می‌توان به احداث سد و مسیل برای کنترل سیل و یا طراحی مقاوم سازه‌ها در برابر زلزله، طوفان و گردباد اشاره کرد (بزرگنیا، ۲۰۰۴). به طور کلی در طول تاریخ، بشر سه مرحله تکاملی را در مواجهه با بلایای طبیعی سپری کرده است. ابتدا با وقوع هر رخداد، کسب تجربه نموده، سپس به راه‌حل‌های موقتی یا دائمی حفظ جان و مال خود دست یافته و در آخر پس از چیره شدن، اقدام به بهره‌برداری از آن نموده است. به عنوان نمونه خسارت‌های زیاد ناشی از سیل باعث شد تا بشر جریان شدید آب رودخانه‌ها را با احداث سد، سیل بند و مسیل مهار نموده و با تبدیل انرژی جنبشی آن به انرژی پتانسیل، برق تولید نماید و یا با مهار جریان آب و هدایت کنترل شده آن به پایین دست کشاورزی را توسعه دهد، همچنین با احداث آسیاب‌های بادی در مناطق بادخیز به تولید برق پرداخته است. بدین منوال واژه انرژی‌های نو وارد فرهنگ معاصر شده و احداث نیروگاه‌های اتمی و یا ایده

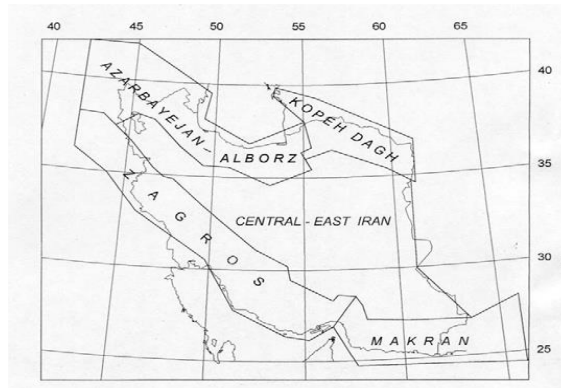
استفاده از انرژی گرمایی موجود در اعماق زیاد زمین را باید در همین راستا نگرینست (ای کیجکو، ۱۹۹۲). با گذر زمان و پیشرفت تکنولوژی آسیب‌پذیری ناشی از بلایای طبیعی کاهش یافته و در برخی حوزه‌ها وارد آخرین مرحله تکوینی این فرآیند یعنی کسب انرژی از آن شده‌ایم. در حال حاضر کشورهایی که از رودخانه‌های زیاد بهره‌مند هستند با مهار آب، تولید ملی خود را افزایش داده و بدین ترتیب نام بلای طبیعی به موهبت الهی تغییر یافته است. هر چند که بشر تاکنون موفق به مهار انرژی برخی از این پدیده‌های طبیعی شده است لیکن در مورد زمین لرزه هنوز در مرحله کسب تجربه و تلاش برای کاهش خسارت‌های ناشی از وقوع زلزله است. اما بدون شک بزودی وارد آخرین مرحله تکاملی این فرآیند یعنی مهار انرژی آن نیز خواهد شد. در صورتیکه بتوان انرژی جنبشی عظیم زلزله را که در گستره وسیعی رخ می‌دهد ذخیره کرد، این انرژی براهتی جایگزین سایر انرژی‌های فسیلی متداول خواهد شد (بزرگنیا، ۲۰۰۴).

ناحیه زاگرس در ایران با نرخ وقوع زیاد زمین لرزه سالانه، بیشترین پتانسیل ایجاد شبکه تأمین انرژی برق از انرژی زلزله در ایران را دارا است. در این صورت با توجه به این پتانسیل عظیم انرژی می‌توان با ایجاد شبکه‌های جاذب انرژی و تغییر ماهیت انرژی کرنشی به سایر انرژی‌ها نظیر الکتریسیته، مغناطیس، گرما و یا تبدیل آن به نوع دیگری از انرژی جنبشی نسبت به تأمین برق اقدام نمود. در ابتدا نسبت به بررسی و مطالعه مناطق مختلف ایران از لحاظ لرزه زمین‌ساختی اقدام گردیده است و استان لرزه زمین‌ساختی زاگرس به عنوان منطقه مورد نظر جهت طرح آزمایشی انتخاب گردید. **که دارای شرایط مورد نیاز جهت احداث شبکه‌ای از ایستگاه‌های جاذب انرژی را شامل شود (یونسی، ۱۳۹۵).**

با بررسی و مطالعه بر روی انواع روشهای برداشت و ذخیره انرژی، ترانس‌دیوسرهای پیزوالکتریک انتخاب گردیده و مورد بررسی واقع شده است. در طی این بررسی‌ها، مطالعات قبلی درباره روش انتخاب شده راهنمای مسیر این پژوهش بوده است. با توجه به مقادیر جداول انرژی، مدار الکترونیکی مناسب به صورت نرم افزاری طراحی گردیده است و پس از آزمایش و بدست آمدن پاسخ‌های نرم افزاری بهینه، نسبت به ساخت و شبیه‌سازی مدار در محیط آزمایشگاهی با توجه به محدودیت‌های بازار داخلی اقدام گردیده است و نتایج حاصل از مراحل آزمایشگاهی مدار به صورت کامل به منظور ارائه روشهای پیشنهادی برای ادامه مسیر این پژوهش ارائه گردیده است. **در این پژوهش سعی بر آن است که نسبت به امکان سنجی این ایده اقدام نمایند و مزایا و محدودیت‌های آن به دقت بررسی گردد (ای کیجکو، ۱۹۶۸).**

۲. پتانسیل لرزه خیزی در ایران

رژیمهای ژئودینامیکی کنونی که دارای جایگاه تکتونیکی همانند و الگوی لرزه خیزی یکسان باشند، تحت عنوان استان‌های لرزه زمین‌ساختی شناخته می‌شوند. با توجه به این مفهوم ایران به پنج استان لرزه زمین‌ساختی عمده شامل: ۱- البرز و آذربایجان ۲- کپه داغ ۳- زاگرس ۴- ایران مرکزی و شرق ایران ۵- مکران تقسیم می‌شود (شکل ۱) (میرزایی و همکاران، ۱۹۹۸).

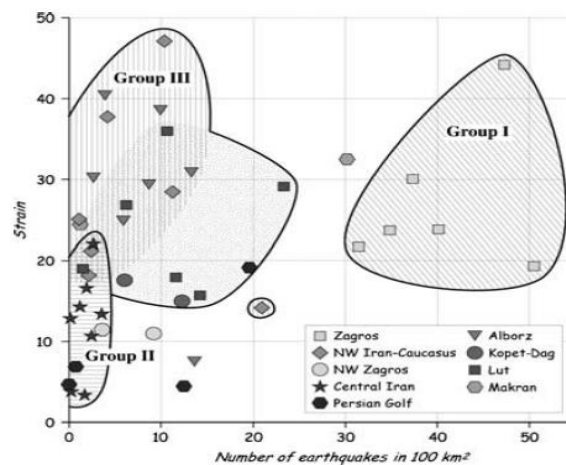


شکل ۱: استان های اصلی لرزه زمینساختی ایران (میرزایی و همکاران، ۱۹۹۸)

در شکل ۲ محدوده بندی ایران بر اساس نرخ کرنش ژئودتیکی هر منطقه و تعداد زلزله های رخ داده بین سالهای ۱۹۶۴ تا ۱۹۹۹ برای مساحت ۱۰۰ کیلومتر مربع ترسیم شده است، که بیانگر سه گروه زیر است:

- I. مناطق لرزه زمینساختی زاگرس که دارای فعالیت لرزه ای بالا و کرنش بالای ژئودتیکی می باشند.
- II. مناطق لرزه زمینساختی ایران مرکزی که دارای فعالیت پایین لرزه ای و کرنش ژئودتیکی خیلی پایین می باشد.
- III. مناطق لرزه زمینساختی شمال ایران، البرز، کپه داغ و کویر لوت که دارای فعالیت کم و یا متوسط لرزه ای و کرنش بالای ژئودتیکی می باشند.

لازم به ذکر است که بر اساس تعداد زمینلرزه های رخ داده و بزرگی آنها، در این گروه می توان منطقه البرز و شمال غرب ایران را در یک زیر گروه و منطقه کپه داغ و کویر لوت را در زیرگروهی دیگر نیز طبقه بندی کرد، که تعداد و بزرگی زمینلرزه ها در مناطق البرز و غرب ایران بزرگتر از مناطق کپه داغ و کویر لوت می باشد (میسون و همکاران، ۲۰۰۵).

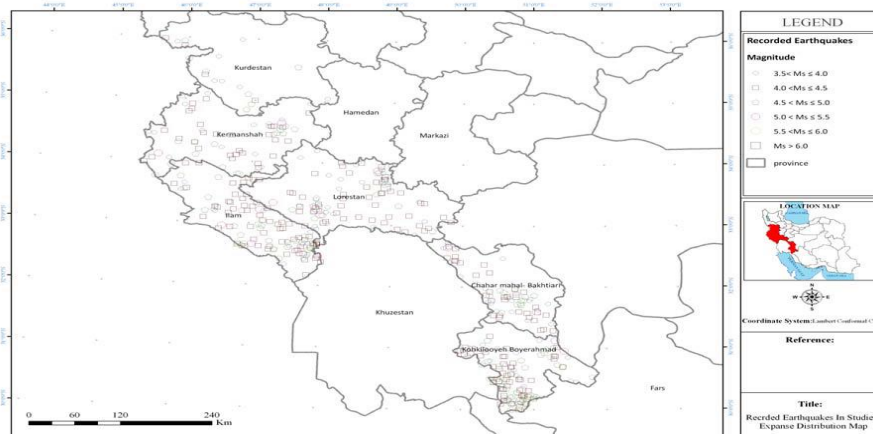


شکل ۲: نرخ لرزه خیزی بر اساس تعداد و بزرگی زلزله ای رخ داده در استان های لرزه زمین ساختی ایران بین سالهای ۱۹۶۴ تا ۱۹۹۹ (میسون و همکاران، ۲۰۰۵)

شبکه طراحی شده باید به صورت یکپارچه عمل کند به نحوی که بتواند انرژی های جذب شده هر ایستگاه را جمع کرده و به تاسیسات بالادستی منتقل نماید. (چوپرا، ۲۰۰۶).

۱-۲. توزیع انرژی در محدوده زاگرس

با توجه به وضعیت آماری نرخ لرزه خیزی استان های لرزه زمینساختی مختلف ایران و هدف نهایی که جذب تغییر مکان حاصل از انرژی زلزله است به بررسی مشخصات زلزله های رخ داده در ناحیه زاگرس و تخمین انرژی آزاد شده با توجه به فعالیت بالای لرزه ای و کرنش بالای ژئودتیکی در این منطقه می پردازیم (شکل ۳).



شکل ۳: توزیع زمینلرزه های رخ داده در شش استان ناحیه زاگرس بین ۱۹۶۴ تا ۲۰۰۹ میلادی (نوگل سادات، ۱۹۹۳)

با نگاهی به آمار زمین لرزه های ثبت شده دستگامی با بزرگای بیش از ۳/۵ (بدون حذف پیش لرزه ها و پس لرزه ها) بین سال های ۱۹۹۶ میلادی تا ۲۰۰۹ میلادی در ناحیه ای از زاگرس که در برگزیده شش استان کردستان، ایلام، کرمانشاه، لرستان، کهگیلویه و بویراحمد و چهارمحال و بختیاری است به جدول ۱ که نشان دهنده توزیع وزنی زمینلرزه های رخ داده در این شش استان می باشد، خواهیم رسید (ولز و کوپر اسمیت، ۱۹۹۴).

جدول ۱: مشخصات زلزله های رخ داده در شش استان ناحیه زاگرس بین سالهای ۱۹۶۴ الی ۲۰۰۶ (ولز و کوپر اسمیت، ۱۹۹۴).

بزرگای زلزله	تعداد وقوع	درصد وزنی
۴/۰ - ۳/۵	۱۱۵	۲۳/۸
۴/۵ - ۴/۰	۲۳۲	۴۷/۹
۵/۰ - ۴/۵	۱۱۵	۲۳/۸
۵/۵ - ۵/۰	۱۸	۳/۷
۶/۰ - ۵/۵	۳	۰/۶
بیش از ۶/۰	۱	۰/۲
مجموع	۴۸۴	۱۰۰

با توجه به اینکه در هنگام وقوع زمین لرزه، گسیختگی در سطحی از یک گسل بوجود می آید و بنابراین می توان از طیف گسترده ای از مقدار انرژی بهره برداری نمود. بنابراین با استفاده از بزرگای گشتاوری زلزله (M_w) می توان به برآورد مناسبی از مقدار جابجایی رخ داده دست یافت (روابط ۱ و ۲). یونسی، ۱۳۹۵:

$$M_w = \log M_0 / 1.5 - 10.7 \quad (\text{رابطه ۱})$$

و

$$M_0 = A.D.\mu \quad (\text{رابطه ۲})$$

که در آن M_0 گشتاور لرزه ای، A سطح گسیختگی، D جابجایی متوسط در سطح گسل و μ سختی سطح گسل می باشد. همچنین روابط متعدد تجربی بین بزرگای زلزله و طول گسیختگی یک چشمه لرزه زای خطی یا گسل وجود دارند. به عنوان نمونه (ولز و کوپر اسمیت، ۱۹۹۴) رابطه ۳ را ارائه نموده اند:

$$\log R = -5.46 + 0.82M_w \quad (\text{رابطه ۳})$$

که در آن R طول گسیختگی گسل بر حسب کیلومتر است.

انرژی حاصل از وقوع یک زلزله که با واحد ارگ سنجیده می شود رابطه مستقیم با بزرگای زلزله دارد. به طوریکه هر چه انرژی یک زمین لرزه بیشتر باشد بزرگای آن هم افزایش می یابد. در سال ۱۹۵۱ میلادی محققینی نظیر گوتنبرگ و ریشر رابطه ای تجربی (رابطه ۴) بین بزرگای زلزله و لگاریتم انرژی بر حسب ارگ برای زلزله های کم عمق ارائه کردند.

$$\log E = 11.8 + 1.5M_w \quad (\text{رابطه ۴})$$

جدول ۲: تغییرات انرژی رها شده زلزله برحسب بزرگی (گوتنبرگ و ریشر، ۱۹۵۴)

بزرگی زلزله در مقیاس ریشر M	۳/۵	۴/۰	۴/۵	۵/۰	۵/۵
انرژی زلزله (E (* 10^{15} erg)	۱۱۲	۶۳۱	۳۵۴۸	۱۹۹۵۳	۱۱۲۲۰۲
انرژی زلزله (E (Kilowatt-hr)	۳۱۱۱	۱۷۵۲۷	۹۸۵۵۶	۵۵۴۲۵۰	۳۱۱۶۷۲۴

به عنوان نمونه فرض می شود که ده ایستگاه جاذب انرژی به فواصل ۲/۵ کیلومتر از یکدیگر به صورت خطی در فاصله عرضی پنج کیلومتری رومرکز یک زلزله با بزرگای ۵/۰ قرار داشته باشند. همچنین متصور است که لایه های خاک زیر ایستگاهها از شن و ماسه متراکم با سرعت موج برشی متوسط ۵۰۰ متر بر ثانیه تا عمق ۳۰ متر از سطح زمین (معادل زمین نوع II آئین نامه های ۲۸۰۰ ایران و یا IBC) تشکیل یافته باشد. عمق کانونی زلزله نیز در ۱۰ کیلومتری از سطح زمین فرض می شود. همچنین متصور است که گسل به صورت عمود بر سطح زمین قرار داشته تا مسئله وارد بحث زاویه شیب گسل (شرایط فرادیواره و فرودیواره) نسبت به ایستگاهها نشود. در اینجا از رابطه کاهندگی شتاب افقی استفاده شده (زارع، ۲۰۰۶) و شتاب افقی حاصل از زلزله در سطح زمین برای حالت میانگین همراه با انحراف معیار آن محاسبه شد و در جدول ۳ به همراه مقدار انرژی تقریبی ورودی به هر ایستگاه ارائه گردیده است. $\text{Log}(PGA) = 0.5781M - 0.0317M2 - 0.4352\text{Log}(R) - 2.5154; \sigma = 0.2768; \text{Zare } 2006$

جدول ۳: انرژی تقریبی ورودی مولفه افقی زلزله به ایستگاههای جاذب انرژی در مثال ذکر شده (یونسی، ۱۳۹۵)

شماره ایستگاه	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
فاصله افقی رومرکز (Km)	0	2.5	5.0	7.5	10	12.5	15	17.5	20	22.5
(PGA)(g)	0.25	0.25	0.24	0.23	0.22	0.21	0.20	0.19	0.19	0.18
انرژی تقریبی (erg)	2.0E19	2.0E19	1.4E19	1.2E19	1.0E19	7.1E18	5.0E18	4.2E18	4.2E18	3.6E18
انرژی (KW-hr)	5.5E05	5.5E05	3.9E05	3.3E05	2.8E05	2.0E05	1.4E05	1.2E05	1.2E05	9.9E04

در صورتیکه خاک همگن باشد به همین مقدار انرژی از مؤلفه دیگر افقی انرژی وارد خواهد شد. همچنین ۵۰ تا ۷۰ درصد انرژی را نیز می توان برای مؤلفه قائم زمین لرزه متصور شد. به منظور برداشت انرژی لازم است تجهیزات در مکانی نصب شوند که آن منطقه از نظر نرخ لرزه خیزی و تواتر آن دارای پیوستگی باشد تا بتواند توجیه اقتصادی حاصل از نصب و راه اندازی ایستگاههای جاذب را فراهم نماید و به دلیل تداوم آزادسازی انرژی بستر مناسبی جهت پیاده سازی و استفاده بهینه را داشته باشد بنابراین می توان در نهایت نتیجه گرفت که نرخ لرزه خیزی استان لرزه زمینساختی زاگرس با توجه به تعداد زمینلرزه هایی که در یک بازه زمانی مشخص رخ می دهد در مقایسه با سایر استان های لرزه زمینساختی ایران بسیار بالاتر است و شایان توجه است که بزرگای زلزله های رخ داده در این ناحیه در مقایسه با سایر نواحی ایران کمتر است که این خود سبب مناسب سازی بستر سازه ای جهت نصب تجهیزات ایستگاهی را می شود. البته این بدان معنا نیست که استان های لرزه زمینساختی دیگر بستر مناسبی جهت این امر نیستند اما با توجه به محدودیتهای اقتصادی و سازه ای، استان لرزه زمینساختی زاگرس گزینه بسیار مناسبتری می باشد (یونسی، ۲۰۰۵).

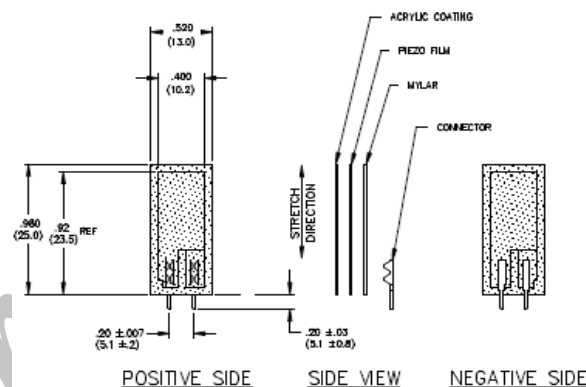
۳. اثر پیزوالکتریک

اثر پیزوالکتریک، قابلیت بعضی مواد برای تبدیل انرژی مکانیکی به انرژی الکتریکی و تبدیل انرژی الکتریکی به انرژی مکانیکی است. تولید اختلاف پتانسیل الکتریکی در برخی بلورهای نارسانا مثل کوارتز تحت کشش یا فشار، علامت پتانسیلهای دو وجه بلور در دو حالت فشردگی یا کشیدگی معکوس هم ارزند و هر چه میزان فشار یا کشش بیشتر باشد، اختلاف پتانسیل تولید شده بیشتر خواهد بود. اثر معکوس پیزوالکتریک نیز در این معنی، تغییر شکل آنها بر اثر اعمال اختلاف پتانسیل الکتریکی بین دو وجه روبروی آنهاست. اگر دو وجه روبروی در هر یک از این بلورها را به اختلاف پتانسیل متناوب الکتریکی وصل کنیم، تغییر شکل متناوبی در آن رخ می دهد و به ارتعاش در می آید (لی، ۲۰۱۰).

هر مدار برداشت کننده انرژی به منظور تولید نهایی الکتروسیسته نیاز به طراحی ویژه ای دارد که شامل طبقات لازم در آن به جهت دریافت پاسخ نهایی دارای قابلیت استفاده و ذخیره سازی می باشد. مدار برداشت کننده طراحی شده دارای سه بخش اصلی شامل : یکسوکننده دیودی، فیلتر و تنظیم کننده ولتاژ است. که یکسو کننده دیودی استفاده شده از نوع تمام پل و به منظور یکسو سازی هارمونیک های موج AC ورودی است، فیلتر بکاررفته به جهت رفع نویز حاصل از ارتعاشات و تنظیم کننده ولتاژ برای هماهنگ سازی و تقویت پاسخ خروجی مدار و قابل استفاده و ذخیره سازی نمودن آن بکار برده شده است.

۳-۱. معرفی حسگر پیزوالکتریک

این حسگر یک قطعه انعطاف پذیر با نوار پلیمری پیزوالکتریک (PVDF) و ضخامت ۲۸ میکرومتر می باشد و دارای الکترودهای Ag-ink با صفحه پرینت شده و با پلی استری ۰,۱۲۵ میلیمتری لایه لایه می باشد که با دو رابط خمیده ثابت گردیده است. از آنجا که پوسته پیزو از محور خنثای مکانیکی جدا است، خمش یا ارتعاش لحظه ای سبب خلق کرنش زیادی درون پیزوپلیمر می شود و بنابراین ولتاژهای بالایی تولید می شوند. زمانی که دستگاه با تماسی مستقیم خم می شود یا با ضربه ای ناگهانی می لرزد، دستگاه به شکل سوئیچ انعطاف پذیری عمل می کند. اگر دستگاه با رابط های خود پشتیبانی شود و در فضایی آزاد دچار ارتعاش شود (با سکون پرتو آزاد که فشار خمش یا ارتعاش لحظه ای تولید کرده است) دستگاه به شکل شتاب سنج یا سنسور ارتعاش عمل خواهد کرد. افزایش ارتعاش یا تغییر طول آزاد جزء می تواند فرکانس رزونانت را تغییر دهد و همچنین حساسیت حسگر به ابزار ویژه نیز تغییر خواهد نمود. واکنش چندمحوری می تواند با قراردادن جرم در مرکز سنسور بدست آید. LDTM-028K یک سنسور ارتعاش است که در آن، جزء حسگر یا ردیاب در بردارنده پرتوی است که با جرمی بیشتر بارگذاری می شود تا حساسیت بالا در فرکانس های پایین ارائه شود. شکل ۴، نشان دهنده ساختمان و ابعاد سنسور بکار رفته در این پژوهش می باشد.



شکل ۴: نمایش ابعاد و ساختمان سنسور پیزوالکتریک (LDTM-028K)

۳-۲. شاخصه ها

- ۱- ارتباط Solder Tab
- ۲- امکان نسخه بدون جرم و با جرم
- ۳- دمای عملکردی ۰ تا ۸۵ درجه سانتیگراد
- ۴- دمای ذخیره سازی ۴۰- تا ۸۵ درجه سانتیگراد
- ۵- امکان نسخه دمای بالاتر تا ۱۲۵ درجه سانتیگراد که بر اساس تنظیمات وجود دارد.

۳-۳. کاربردهای رایج

- ۱- ردیابی ارتعاش در دستگاه شست و شو (ماشین لباسشویی)
- ۲- سوئیچ یا کلید بیدارباش کم توان
- ۳- ردیاب ارتعاشی کم هزینه

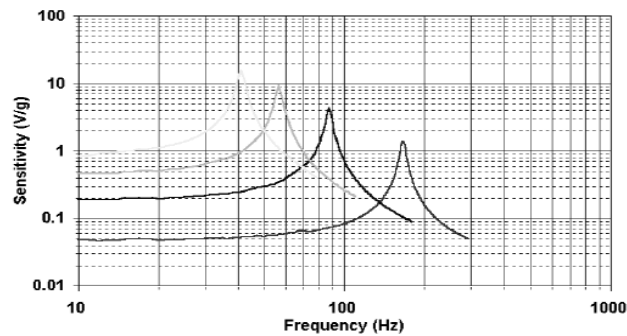
- ۴- بوق ماشین
- ۵- حرکت بدن
- ۶- سیستم های امنیتی

۳-۴. آزمون مداری

برای نمایش شاخصه های مختلف این سیستم ساده اما انعطاف پذیر چهار آزمون وجود دارد:

۱- آزمون اول:

حسگر پیزوالکتریک با دقت به رابط های خمیده که از یک صفحه با مدار پرینت شده تشکیل گردیده است ، متصل می شود. یک آمپلی فایر برای یافتن سیگنال خروجی به کار گرفته شده است، ارتعاش با استفاده از آمپلی فایر شارژر که امکان محاسبه ثابت زمان ارزیابی و بنابراین امکان محاسبه واکنش ولتاژ مدار باز را حاصل می آورد (شکل ۵). جرم های کوچک (به اندازه حدود ۰,۲۶ گرم) به راس حسگر وصل می شوند و ارزیابی تکرار می شود. نتایج در جدول ۴ آورده شده اند. بدون افزودن جرم، سنسور نشان دهنده رزونانسی حدود ۱۸۰ هرتز است. افزودن جرم به راس رزونانس سبب کاهش فرکانس رزونانس و افزایش حساسیت می شود.



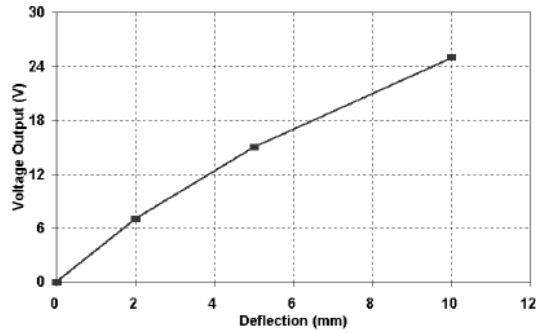
شکل ۵: نمایش حساسیت سنسور با افزودن جرم

جدول ۴: استفاده از حسگر در حالت ارتعاشی

Added Mass	Baseline Sensitivity	Sensitivity at Resonance	Resonant Frequency	+3 Db Frequency
0	50 mV/g	1.4 V/g	180 Hz	90 Hz
1	200 mV/g	4 V/g	90 Hz	45 Hz
2	400 mV/g	8 V/g	60 Hz	30 Hz
3	800 mV/g	16 V/g	40 Hz	20 Hz

۲- آزمون دوم:

حسگر به عنوان سوئیچ انعطاف پذیر- با استفاده از آمپلی فایر شارژر برای بدست آوردن حساسیت مدار باز، خروجی برای خمش های کنترل شده راس محاسبه می شود که در حسگر به کار گرفته شدند، پشتیبانی شده با رابط های خمیده (جدول ۵). خمش ۲ میلیمتری برای تولید حدود ۷ ولت کافی خواهد بود. ولتاژهای بالای ۷۰ ولت با خم کردن راس حسگر تا ۹۰ درجه بدست می آیند (شکل ۶).



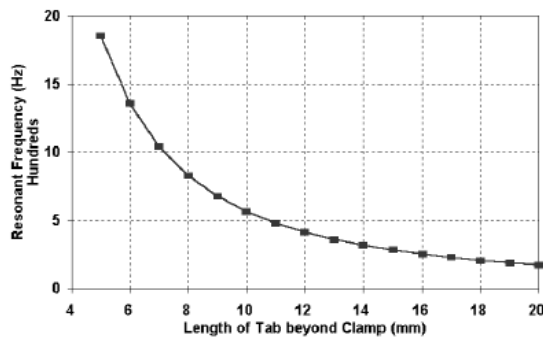
شکل ۶: ولتاژ خروجی حسگر در حالت خمش

جدول ۵: استفاده از حسگر به عنوان سوئیچ انعطاف پذیر

Tip Deflection	Charge Output	o/c Voltage Output
2 mm	3.4 nC	7 V
5 mm	7.2 nC	15 V
10 mm	10 - 12 nC	20 - 25 V
max (90E)	> 30 nC	> 70 V

۳- آزمون سوم:

حسگر خمیده شده در زاویه های مختلف - با استفاده از خمش، حساسیت ارتعاشی ارزیابی شد، زمانیکه گیره حرکت داده شد تا امکان ارتعاش طول های مختلف بدست آید. حسگر می تواند گونه ای تنظیم شود تا نیازمندی های واکنش فرکانس ویژه بدست آید (جدول ۶ و شکل ۸).



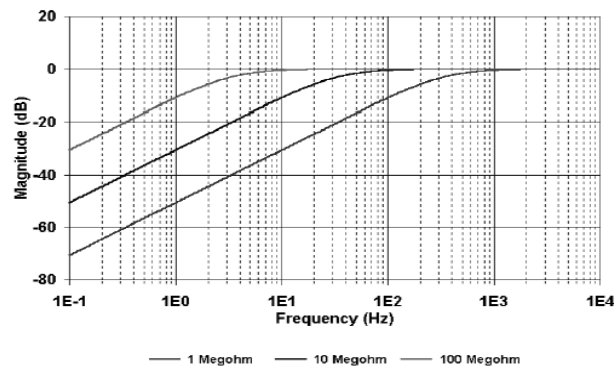
شکل ۷: نمودار فرکانس رزونانس حسگر

جدول ۶: فرکانس الکتریکی واکنش حسگر

Length Beyond Clamp	Resonant Frequency	Settling Time (5 cyc)
20 mm (no clamp)	180 Hz	28 msec
16 mm	250 Hz	20 msec
11 mm	500 Hz	10 msec
7 mm	1000 Hz	5 msec

۴- آزمون چهارم:

واکنش فرکانس الکتریکی سنسور زمانیکه خازن منبعی حدود 480 Pf به بار ورودی مقاوم وصل می شود، یک فیلتر بالاگذر بدست می آید. با استفاده از یک منبع پارازیت الکتریکی برای تولید سیگنال های پهنای صفحه، تاثیر مقاومت های بارهای مختلف ارزیابی شد و نقطه -3 dB در فیلتر R-C مشخص گردید (جدول ۷ و شکل ۸).



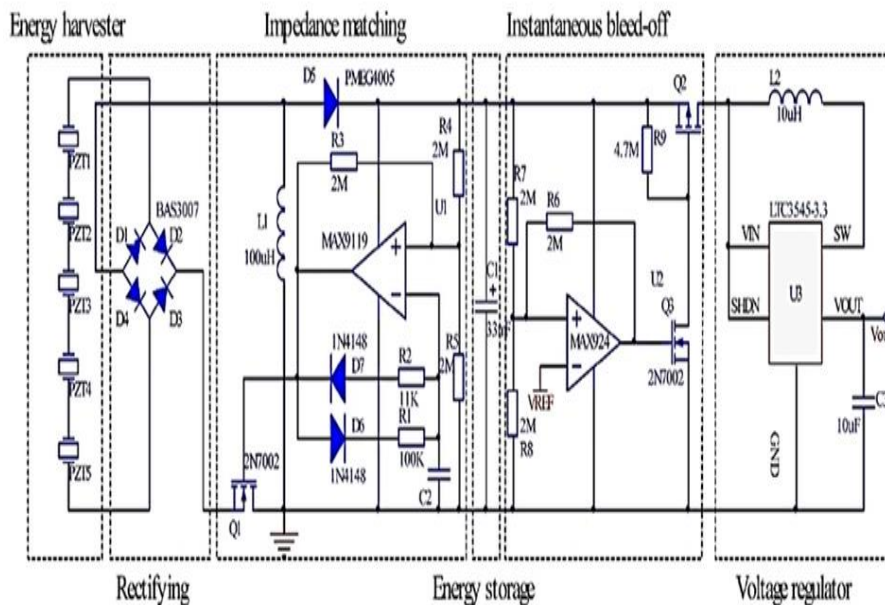
شکل ۸: نمودار پاسخ فرکانسی سنسور

جدول ۷: پاسخ فرکانسی سنسور

Load Resistance	-3 db Frequency
1 Megohm	330 Hz
10 Megohm	33 Hz
100 Megohm	3.3 Hz

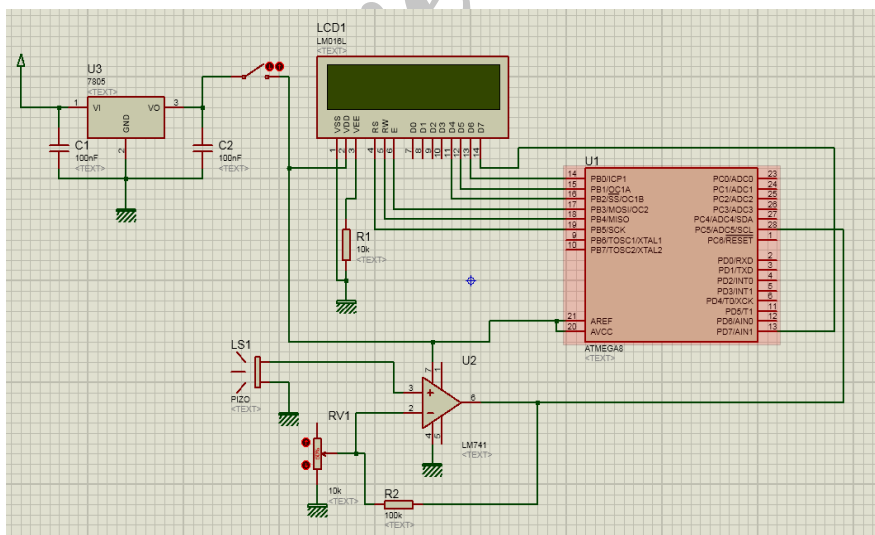
۳-۵. طراحی مدار پیزوالکتریک

مدار شکل ۹، با استفاده از نرم افزار شبیه ساز الکترونیکی پرتئوس که یک محیط نرم افزاری گرافیکی با کتابخانه کامل قطعات به روز الکترونیکی می باشد انجام شده است و در کلیه مراحل طراحی فرکانس مورد نظر با توجه به بازه فرکانس زمینلرزه ها بین ۰ تا ۱۰۰ هرتز در نظر گرفته شده است. در طرح نرم افزاری مدار از پنج حسگر لرزشی و فشارشی پیزوالکتریک (LDTM-028K)، یک قطعه انعطاف پذیر با نوار پلیمری پیزوالکتریک (PVDF) با ضخامت ۲۸ میکرومتر، می باشد و دارای الکترودهای Ag-ink با صفحه پرینت شده و با پلی استری ۰.۱۲۵ میلیمتری به صورت لایه لایه می باشد و همراه با دو رابط خمیده جهت ثابت کردن آنها، تشکیل گردیده است، که با تقویت ولتاژ خروجی و عبور آن از طبقات مختلف، مدار طراحی به شکل زیر ارائه شده است:



شکل ۹: مدار طراحی شده در پرتئوس

پس از طراحی با در نظر گرفتن محدودیت بازار و عدم موجود بودن برخی از قطعات الکترونیکی در بازار حال حاضر ایران شکل مدار در مراحل نهایی با حفظ کیفیت قبلی به شکل ۱۰ تغییر یافت.



شکل ۱۰: مدار نهایی طراحی شده در پرتئوس

روش کار مدار مورد نظر به شکل یک برداشت کننده و ذخیره کننده دو طبقه تقویت ولتاژ به منظور بالاترین میزان ولتاژ خروجی است که به منظور هماهنگ سازی بخشهای مختلف آن یک میکروکنترلر ATMEGA8 دارای ۲۸ پایه عملیاتی و ۸ کیلو بایت حافظه داخلی استفاده گردید و پس از نصب کلیه قطعات مدار بر روی فیبر مدار چاپی نسبت به تست آزمایشگاهی آن اقدام گردید که قابلیت دریافت پاسخ نهایی ۳ تا ۴ ولت و ۵ تا ۶ آمپر در خروجی در ازای یک عدد حسگر پیزوالکتریک دریافت گردید.

که شایان توجه است این مقدار در صورت افزایش تعداد حسگر به صورت سری به دلیل بالا رفتن خروجی ولتاژ در حالت سری حسگرهای پیزوالکتریک قابلیت افزایش بسیار چشم گیری را دارا خواهد بود.

همچنین این مدار قابلیت جایگزینی منبع تغذیه طبقه راه انداز را با حسگر و بخش ذخیره سازی دارا می باشد که در این پژوهش صرفاً از منبع تغذیه مجزا به دلیل تعداد کم حسگرها استفاده شده است. از یکسو مدار طراحی شده در این پژوهش قابلیت پاسخ گویی و راه اندازی تعداد نامحدود حسگرهای پیزوالکتریک را دارا می باشد و به دلیل بخش فیلترینگ قابلیت اتصال مستقیم به باتری ذخیره ساز یا مصرف کننده را نیز دارد.

با توجه به طراحی مدار برداشت و ذخیره پیزوالکتریک و دریافت پاسخ مطلوب از طراحی اولیه و تست آن در محیط آزمایشگاهی می توان به صورت قطعی توانایی برداشت و ذخیره انرژی زمینلرزه را به صورت عملی اجرا نمود و از این قابلیت مدار به عنوان برداشت کننده، ذخیره ساز و همچنین راه انداز شبکه اضطراری در شرایط بحرانی بخصوص در مناطق زلزله زده و آسیب دیده در مواقع عدم دسترسی به شبکه معمول انرژی استفاده کرد و یا در بخش نیرو به عنوان جایگزینی برای سوختهای فسیلی از آن به عنوان یک تولید کننده انرژی با منبع نامحدود و پاک استفاده نمود.

۴. نتیجه گیری

نرخ لرزه خیزی استان لرزه زمین ساختی زاگرس، در مقایسه با سایر استان های لرزه زمین ساختی ایران بسیار بالاتر است و شایان توجه است که بزرگای زلزله های رخ داده در این ناحیه، در مقایسه با سایر نواحی ایران، کمتر است. علاوه بر آن با بالا بودن تعداد زمینلرزه های رخ داده نرخ لرزه خیزی در این استان لرزه زمین ساختی موید آن است که ناحیه زاگرس می توان آن را به عنوان بهترین منطقه جهت اجرای این پژوهش معرفی نمود تبدیل کند.

پاسخ نرم افزاری مدار خروجی طراحی شده به میزان ۵ ولت در بازه فرکانسی ۰ تا ۱۰۰ هرتز می باشد، که این پاسخ با تعمیم به فرکانس های بالاتر توانایی ارتقا تا ده برابر در بخش پاسخ فرکانسی و پاسخ ولتاژ را دارا است.

خروجی نهایی مدار طراحی و ساخته شده، پس از چندین بار آزمایش بطور متوسط ۳-۴ ولت در ازای هر عدد حسگر پیزوالکتریک می باشد.

لازم به ذکر است از نظر سخت افزاری مدار مربوطه قابلیت افزایش حسگر ورودی از یک عدد به تعداد نامحدود می باشد، و همچنین قابلیت پاسخ یابی برای انواع نمونه های حسگر پیزوالکتریک شامل: فشارشی، گرمایی و ... را دارا می باشد.

مراجع

- بوایل اشتایل، رابرت؛ نشلسکی، لوئیس؛ ۱۳۸۳؛ ترجمه: سپیدنام. قدرت، باغانی. خلیل؛ قطعات مدارات الکترونیک؛ ویرایش هشتم؛ ص: ۵۷۶.
سدر، اسمیت؛ ۱۳۸۹؛ ترجمه: باغانی. خلیل، رضایی نیا. حمیدرضا؛ مدارهای میکروالکترونیک؛ ویرایش پنجم؛ ص: ۸۰۰.
میرعشقی، سید علی؛ ۱۳۸۴؛ مبنای الکترونیک، جلد دوم، ویرایش دوم؛ ص: ۳۲۶.
یونس، کوروش، ۱۳۹۵، ایده ای نوین برای جایگزینی انرژی فسیلی، مجله علمی ترویجی مهندسیین ماندرو، ص: ۱۵۹-۱۶۸.
Bozorgnia, Y., Bertero, V. V.; 2004; CRS press, Earthquake engineering from engineering seismology to performance-based engineering.
Chopra, kumar. a, 2006, Dynamic of Structures, first edition, p:992.
Gutenberg, B, Richter, C. F., 1954, "Seismicity of the earth and Associated Phenimena", Princeton Univ. Press. Princeton, New Jersey, U.S.A.
Kijko, A., 2005, Some Elements of Probabilistic Seismic Hazard and Risk Analysis, Council for Geoscience Pretoria, South Africa.
Kijko, A., 1992, Estimation of Earthquake Hazard Parameters, Bultein of Seismological Society of America, Vol. 82, No.1.
Lei Gu, 2010, low frequency piezoelectric energy harvester prototype suitable for the MEM Simplementation, 0026-2692/\$-2010 Elsevier Ltd. doi:10.1016/j.mejo.2010.10.007.
Masson. F, , Chery. J, Hatzfeld. D, Martinod. J, Vernant. P, Tavakoli. F, Ghafory. M, Ashtiani, 2005, Seismic versus aseismic deformation in Iran inferred from earthquakes and geodetic data, Accepted 2004 August 25.
Mirzaei, N., Gao, M., Chen, Y. T., 1998, Seismic source regionalization for seismic zoning of Iran: major seismotectonic provinces. J. Earthquake prediction Research, 7, 465-495.

Wells. D. L., Coppersmith. K.J.; 1994; Bulletin of the seismological society of America, vol. 84. no.4, pp.974-1002.
Zare. M., Sabzali. S., 2006 ,Spectral attenuation of strong motions in Iran, Third international symposium on the effects of surface geology on seismic motion, France.

The Possibility of Harvesting and Saving the Energy of Earthquake

Bahareh Alidadiyani

Master of Science in Seismology, Department of Physics and also at Earthquake Research Center, Ferdowsi University of Mashhad
Speciallady_b@yahoo.com

Sayed Keivan Hosseini

Assistant Professor and Faculty Member of Earthquake Research Center, Ferdowsi University of Mashhad.
Corresponding author: k-hosseini@um.ac.ir

Reza Khajavi

Assistant Professor and Faculty Member of Earthquake Research Center, Ferdowsi University of Mashhad
rezakhajavi@um.ac.ir

Abstract.

Iran is one of the world's seismic regions. Along with the occurrence of any earthquake, a fairly large movement of energy is released on the surface of the earth. In earth history, earthquakes have always been recorded as a major hazard. Considering the importance of using new energies and reducing the use of fossil fuels, seismic zones such as Iran can use energy from earthquakes as an opportunity to provide alternative energy. By controlling this energy for generating electricity, a suitable alternative can be created for fossil fuels in seismic areas. With the purpose of capturing the kinetic energy of the earth and storing electrical energy from the vibration caused by each earthquake, the design of software and hardware systems called the Green System * are using a special kind of piezoelectric sensors that have a relatively high sensitivity, occurred. The laboratory sample made has a good ability to create voltage and direct current output or storage capacity.

* Green system: Power generation system from the earthquake

Keywords. Earthquake energy, New energy, Energy harvesting, Piezoelectric, Storage, Zagros.