

بررسی تغییرات آب‌های زیرزمینی تحت تأثیر میدان‌های الکترومغناطیسی زمین با رویکرد پیش‌بینی وقوع زلزله

مریم رضائی*، نعمت حسنی، احمد خورسندی، احمد رضائی

- ۱- دانشجوی کارشناسی ارشد آب‌های زیرزمینی دانشکده‌های فنی و مهندسی شهید عباسپور، دانشگاه شهید بهشتی
- ۲- دانشیار گروه مهندسی آب و محیط زیست دانشکده‌های فنی و مهندسی شهید عباسپور، دانشگاه شهید بهشتی
- ۳- استادیار گروه مهندسی آب و محیط زیست دانشکده‌های فنی و مهندسی شهید عباسپور، دانشگاه شهید بهشتی
- ۴- مربی گروه مهندسی برق دانشکده‌های فنی و مهندسی شهید عباسپور، دانشگاه شهید بهشتی

maryam_rezaei@stud.pwut.ac.ir

چکیده

مطالعات متعدد نشان می‌دهند، آب زیرزمینی موجود در لایه‌های پوسته زمین در هنگام زمین لرزه و پیش از آن دچار تحولات فیزیکی و شیمیایی می‌گردد که دستگاه‌های اندازه‌گیری آنها را ثبت می‌نمایند. همچنین طبق مطالعات انجام شده امواج میدان مغناطیسی زمین نیز در هنگام زمین لرزه و حتی پیش از آن دچار نوساناتی می‌گردد. میدان مغناطیسی زمین میدانی است که از هسته درونی زمین گسترش یافته و تا محل برخورد با بادهای خورشیدی ادامه دارد. شدت این میدان در نقاط مختلف زمین متفاوت است، به طوری که در نزدیکی قطب‌ها بیشترین شدت و در خط استوا ضعیف‌ترین مقدار آن ثبت شده است. امواج میدان مغناطیسی زمین که به عنوان پیش‌نشانگر قابل مشاهده هستند در ۳ محدوده ELF, VLF, ULF (امواج با طول موج کوتاه) دسته بندی می‌شوند. در این مقاله کوشش شده است تا با انجام آزمایشات متعددی ارتباط مابین تغییرات میدان‌های مغناطیسی و الکترومغناطیس زمین با تغییرات به وجود آمده در آب‌های زیرزمینی بررسی گردد و نتایج حاصل از آن به عنوان یک پیش‌نشانگر زمین لرزه معرفی گردد. در این آزمایشات حتی المقدور سعی گردیده تا نمونه‌ها با محیط واقعی همخوانی داشته باشند. در نهایت پیشنهاداتی برای افزایش میزان کارایی این آزمایشات و بالا بردن ضریب اطمینان از نتایج حاصله، ارائه می‌گردد.

کلمات کلیدی: زلزله، آب‌های زیرزمینی، میدان‌های مغناطیسی و الکترومغناطیس، پیش‌نشانگرهای زلزله

۱- مقدمه

زلزله پدیده‌ای است که از ابتدای پیدایش زمین با آن همراه بوده؛ لذا درک آن توسط بشری که تاریخ زندگی عاقلانه در وی به ده هزار سال نمی‌رسد و دانش لرزه‌ای که عمری تنها نزدیک به یک قرن دارد، بسیار سخت و مشکل است. انرژی بسیار زیادی که تنها در طی چندثانیه و نهایتاً چند دقیقه در زلزله آزاد می‌شود و آثار تخریبی فراوانی از خود بجای می‌گذارد، از آن پدیده‌ای بسیار وحشتناک برای انسان‌ها ساخته است. تلاش‌هایی برای رصد و پیش‌بینی زلزله از طریق پدیده‌های طبیعی همزمان با وقوع زلزله که از آن‌ها به پیش‌نشانگر تعبیر می‌شود، صورت پذیرفته و در جریان می‌باشد.

مؤلف و همکارانش پیش از این بر روی یک سامانه هشدار زلزله که براساس پایش آب‌های زیرزمینی بوده است، تحقیق نموده‌اند. در این سامانه، تغییرات آب‌های زیرزمینی توسط سنسورهای ویژه پایش گردیده و اطلاعات آن از طریق شبکه مخابراتی مناسب و به‌هنگام، به مرکز کنترل داده‌ها فرستاده می‌شود تا توسط سخت‌افزار و نرم‌افزارهای مربوطه مورد بررسی، قضاوت و تحلیل قرار گیرد. (Hamodi J. and et al., 2008)

در همین راستا و برای درک هرچه بهتر رابطه مابین میدان‌های الکترومغناطیسی و تغییرات آب‌های زیرزمینی، پژوهش حاضر انجام شده و ادامه دارد.

۲- مروری بر پیش‌نشانگرهای زلزله

هر پارامتری که قبل از وقوع زمین‌لرزه تغییراتی در آن پدید آید، بگونه‌ای که بتوان با بررسی دقیق این تغییرات زمین‌لرزه را پیش‌بینی نمود، پیش‌نشانگر گفته می‌شود. پیش‌نشانگرهای زلزله به چندین گروه تقسیم می‌شوند:

- ✓ پیش‌نشانگرهای لرزه‌شناختی
- ✓ پیش‌نشانگرهای زمین‌آب‌شناختی
- ✓ پیش‌نشانگرهای تغییرات فیزیکی-شیمیایی آب
- ✓ پیش‌نشانگرهای ژئوفیزیکی
- ✓ پیش‌نشانگرهای زمین‌الکتریکی
- ✓ پیش‌نشانگرهای الکترومغناطیسی
- ✓ پیش‌نشانگرهای ژئودتیکی (مختاری م. و همکاران، ۱۳۸۷)

در مطالعات گوناگون، پیش‌نشانگرهای ژئوفیزیکی (پیش‌نشانگرهای زمین‌مغناطیس) و زمین‌الکتریک و الکترومغناطیس مورد توجه بیشتری قرار گرفته‌اند. در برخی مطالعات نیز با توجه به پیش‌نشانگرهای زمین‌آب‌شناختی و پیش‌نشانگرهای تغییرات فیزیکی-شیمیایی آب پژوهش‌های میدانی انجام شده است. هدف از انجام این تحقیق، بررسی ارتباط میان این دو دسته از پیش‌نشانگرها می‌باشد. بررسی این رابطه از طریق انجام چند آزمایش که شرح مختصری از آن در ادامه خواهد آمد، تبیین و تشریح خواهد شد.

به نظر می‌رسد پیش‌نشانگرهای الکترومغناطیسی زلزله دارای بیشترین فراوانی رویداد و بهترین پدیده مطالعه شده جهت پیش‌بینی زلزله باشند. (حسینی ن. و همکاران، ۱۳۸۸) شاید علت اصلی این برتری در قابلیت ثبت تغییرات ناهنجاری‌ها در این پیش‌نشانگر نهفته باشد. زمین دارای میدان مغناطیسی متحرکی است که در حالت نرمال دارای فرکانسی با طول موج بسیار پایین می‌باشد؛ بیشترین شدت این میدان در نزدیکی قطب‌ها و ضعیف‌ترین مقدار آن در خط استوا ثبت شده است. اما این میدان در حالت‌هایی از جمله زمین لرزه دست‌خوش تغییراتی شده و فرکانس حاصل از آن افزایش می‌یابد. این افزایش در برخی موارد ۶۰ تا ۷۰ برابر شدت میدان در حالت نرمال است. بر اساس تحقیقات صورت گرفته فرضیه‌های مختلفی برای مکانیسم تولید سیگنال‌های الکترومغناطیسی مرتبط با زلزله ارائه شده است که برخی از آنها عبارتند از:

- شکستن سنگ بلورین (مانند گرانیت) در زون گسل که باعث گسیخته شدن الکترونها از پوسته مشبک زمین می‌شود و هنگامی که به حالت پایدار خود برمی‌گردد الکترونها باند وسیعی از امواج الکترومغناطیسی را ساطع می‌کنند. اما همه این باندهای فرکانسی قابلیت رسیدن و آشکارسازی در سطح زمین را ندارند.
- حرکت آهسته آب یونیزه در حال نفوذ به ترک‌های باز شده به وسیله شکاف سنگ‌های نزدیک سطح و رسانای در حال حرکت در میدان مغناطیسی، میدان مغناطیسی ULF تولید می‌کند.
- اثر پیزومغناطیس: فشار در حال اعمال به نوع خاصی از سنگ‌ها میدان مغناطیسی تولید می‌کند.
- اثر پیزوالکتریک: در مورد سنگ‌هایی که مؤلفه‌های پیزوالکتریک دارند مانند کوارتز، تابش‌های الکترومغناطیسی می‌توانند بوسیله فرآیند جفت‌گیری بارهای الکتریکی القا شده توسط آزادسازی فشار تولید شوند (Matsuda, 2001). این مکانیسم فقط در مورد سنگ‌هایی که شامل مقدار قابل توجهی از چنین مؤلفه‌هایی هستند می‌تواند صادق باشد. (صداقت ر. و اسکویی ب، ۱۳۸۶)

امواج الکترومغناطیسی بر حسب بسامدشان به نام‌های گوناگونی خوانده می‌شوند: امواج رادیویی، ریزموج، فرسوخ (مادون قرمز)، نور مرئی، فرابنفش، پرتو ایکس و پرتو گاما. این امواج به ترتیب دارای افزایش بسامد هستند. ریز موج‌ها به نوبه خود به دسته‌های ریزتری تقسیم می‌شوند که شامل بسامدهای بالا و پایین هستند؛ هر کدام از این بسامدها شامل زیرمجموعه‌های متعددی می‌باشند. فرکانس پایین شامل ۳ دسته بسامد خیلی پایین (Very-low)، بسیار پایین (Ultra-low) و فوق‌العاده پایین (Extremely-low) است. (Merril R.T. and et al., 1998) از جمله تغییرات ثبت شده در زمینه مغناطیس و الکترومغناطیس زمین، تغییر در شدت میدان‌های موجود در حالت نرمال بوده که ناهنجاری‌هایی در امواج VLF، ULF و ELF را شامل می‌شود؛ بیشتر باند فرکانسی محتمل این رویدادها برطبق اطلاعات منتشر شده در بازه ULF-ELF برای پیش‌نشانگرهای کوتاه مدت است و برای پیش‌نشانگرهای میان مدت دوره‌هایی از چند ساعت تا چند ماه، دارند. مشکل اصلی در آشکارسازی این نوسانات دامنه کوتاه آنها است که استخراج آنها را از نوسانات نویز زمینه که توسط منابع طبیعی دیگر ایجاد شده اند، بسیار دشوار می‌سازد. (Griffiths D.J., 1989)

شواهد عملی زیادی مبنی بر نوسانات خاص مغناطیسی و الکتریکی قبل از وقوع زلزله وجود دارد. ناهنجاری‌های ULF در میدان‌های مغناطیسی قبل از چندین زلزله با بزرگی بیش از ۵ ریشتر ($M > 5$) در مناطق مختلف جهان گزارش شده‌اند. به عنوان مثال زلزله آلوم راک^۱ با بزرگی ۵.۴ ریشتر در سال ۲۰۰۷ در نزدیکی سانفرانسیسکو، نشان داد که نوسانات میدان مغناطیسی در شمار قابل توجه و با دامنه‌های معنی دار و در خلال دو هفته قبل از زلزله تا رویداد واقعه در منطقه وجود داشته است. این نوسانات دارای مدت زمانی برابر ۱ تا ۳۰ ثانیه و دارای قطبیت‌های غیرمعمول بوده‌اند (Bleier C. And et al. 2010). همین‌طور در سال ۱۹۷۵ افزایشی در حد ۱.۵ گاما در شدت میدان کلی مغناطیسی از ۷ هفته قبل از رخداد زمین‌لرزه کالیفرنیا به بزرگی ۵ ریشتر مشاهده شده است (Maxwell R. and et al. 2001)؛ همچنین ناهنجاری‌های نوسانات میدان مغناطیسی ۳۵ روز پیش از زمین‌لرزه ۱۷ اکتبر ۱۹۸۹ لوما پریتا^۲ در کالیفرنیا مرکزی و با بزرگی ۷.۱ ریشتر، توسط دستگاه‌های اندازه‌گیری امواج ULF با فرکانس ۰.۰۱ تا ۱۰ هرتز در فاصله ۷ کیلومتری از مرکز زلزله دستگاه‌هایی برای اندازه‌گیری امواج VLF/ELF با فرکانس ۱۰ تا ۳۲ هرتز و در فاصله ۵۲ کیلومتری از مرکز زلزله واقع شده بودند، ثبت شده و دو هفته قبل از زمین‌لرزه، اندازه‌گیری‌ها افزایش قابل توجهی را گزارش کرده‌اند و دامنه این اغتشاشات ۳ ساعت قبل از زمین‌لرزه به طور کاملاً غیرعادی و با شدت نسبتاً زیادی افزایش یافته است. این روند تا زمان زمین‌لرزه اصلی به طور پیوسته ادامه یافته، به گونه‌ای که عملاً کار دستگاه‌های اندازه‌گیری را با اختلال روبرو کرد. (مقدار این تغییرات در سیگنال‌های ULF از حدود ۰.۱-۰.۲ هرتز در اول اکتبر به میزان قابل توجه ۱.۵ میلی‌تسلا^۳ رسید.) (Fraser A.C. and et al, 1990)

همچنین بی‌هنجاری‌های دیگر سیگنال‌های ULF که ممکن است مرتبط با زلزله باشد چند ساعت قبل از زلزله اسپیتاک^۴ با بزرگی ۶.۹ ریشتر در ۷ دسامبر ۱۹۸۸ در ارمنستان و سیگنال‌های بی‌هنجاری حدود دو هفته و چند روز قبل از زلزله گوام^۵ در تاریخ ۸ آگوست ۱۹۹۳ با بزرگی ۸ ریشتر گزارش شده‌اند.

همچنین در گزارشات ثبت شده از تغییرات فیزیکی-شیمیایی آب به تغییر در سطح ایستابی آب (عمدتاً کاهش) در دوره‌های زمانی مختلف پیش از وقوع زمین‌لرزه و وجود ناپایداری حرارتی در بخش‌های ژرف زمین و نیز مطالعه و کنترل حرارت آب‌های زیرزمینی به عنوان پیش‌نشانگر زلزله در مناطقی ثبت گردیده است. البته باید به این نکته توجه داشت که دامنه این

1. Alum Rock
2. Loma Prieta

4. Spitak
5. Guam

۳. میدان مغناطیسی با فرکانس ۵۰ هرتز شدتی معادل ۸ میلی‌تسلا دارد.

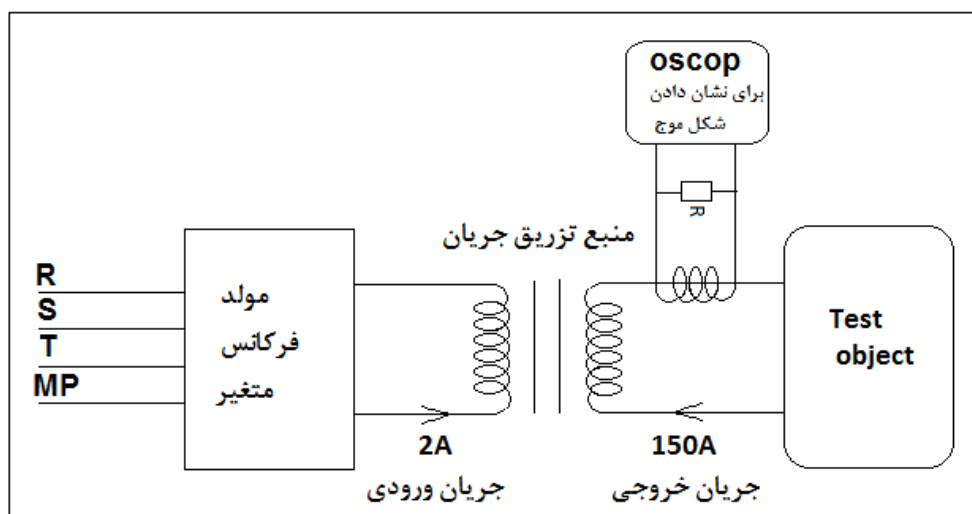
نوسانات به شدت فعالیت زمین ساختی منطقه، بزرگا و فاصله از مرکز زمین لرزه‌ها وابستگی مستقیم دارد. این تغییرات چند روز قبل از رخداد زمین لرزه‌های کوچک و متوسط با بزرگای ۴-۵ ریشتر و نیز چند هفته قبل از زمین لرزه‌های نیرومند رخ می‌دهد. به عنوان مثال با توجه به مطالعات انجام گرفته در سازمان زمین شناسی و اکتشافات امریکا (USGS) در ۸۰٪ موارد پیش از وقوع زمین لرزه، سطح آب زیرزمینی در چاه‌ها و چشمه‌ها کاهش یافته و دمای آب در اکثر نقاط (البته با توجه به فاصله مکانی از مرکز زمین لرزه) افزایش داشته است. (USGS. 2011)

رکوردهای ثبت شده از نوسانات در هر دو زمینه امواج مغناطیسی و تغییر در آبهای زیرزمینی، توجه محققین را به این نکته جلب نمود، که این تغییرات به بزرگای زلزله و فاصله از مرکز رخداد زمین لرزه وابستگی شدیدی دارد. با توجه به این مسئله آیا ممکن است این دو پدیده با یکدیگر در ارتباط باشند؟ در ادامه، این تحقیق با شرح آزمایشات تعریف شده و انجام گرفته توسط مؤلفین سعی در یافتن پاسخی برای این پرسش دارد.

۳- شرح آزمایشات

در این تحقیق، به منظور نزدیک بودن شرایط آزمایشگاهی با شرایط واقعی محیطی از نمونه‌های آب و خاک موجود در عمق‌های پایین تر از سطح استفاده شده است. پس از چندین بار سعی و خطا در یافتن ابعاد نمونه و آمپر مناسب جهت ایجاد میدان مغناطیسی سرانجام بهترین نمونه با مشخصات ذیل تشخیص داده شد:

- ✓ نمونه‌ای استوانه‌ای با قطر و ارتفاع ۱۵ سانتیمتر
 - ✓ میدان مغناطیسی ۴، ۸ و ۱۲ میلی تسلا
 - ✓ همچنین لوله‌ای با اسکرین ۲۰٪ سطح به عنوان چاه تعبیه گردید تا تغییرات سطح آب از طریق آن ثبت گردد.
 - ✓ برای ایجاد فرکانس‌های مختلف (در بازه ۲۵ تا ۷۵ هرتز) از یک مولد فرکانس متغیر استفاده شد.
- شکل زیر تصویری شماتیک از مدار ایجاد شده را نشان می‌دهد.



شکل ۱- تصویر شماتیک از مدار ایجاد شده

نمونه خاک مورد استفاده در این آزمایشات از عمق ۸ متری و با مشخصات ذیل انتخاب گردید:

درصد رطوبت ۷.۴۶، وزن مخصوص مرطوب 1.99 gr/cm^3 ، وزن مخصوص خشک 1.85 gr/cm^3 ، نوع خاک براساس طبقه بندی یونیفاید SW (ماسه خوب دانه بندی شده)، ضریب تغییر حجم ۰.۷۵ (درجهت اطمینان)، رطوبت بهینه ۱۰٪، زاویه اصطکاک داخلی ۳۵، مقاومت چسبندگی خاک 0.2 kg/cm^2 و مدول الاستیسیته خاک 500 kg/cm^2

برای اشباع نمودن نمونه خاک، از آب با مشخصات ذیل استفاده شده:

هدایت الکتریکی (EC) آب ۳۲۸ میکروزیمنس، کل مواد جامد محلول در آب (TDS) 164 ppm و دمای اولیه حدود ۲۱ درجه سانتیگراد. البته لازم به ذکر است که این مشخصات پس از اضافه نمودن آب به خاک تغییر کرده و بر روی نمودارها قابل رؤیت است.

آیتم های مورد بررسی شامل هدایت الکتریکی، کل مواد جامد محلول و تغییر در سطح آب می باشد که تعریف کوتاهی از هر یک در ادامه آمده است؛

هدایت الکتریکی (Electrical Conductivity): قابلیت انتقال جریان برق نشانگر میزان هدایت الکتریکی است؛ هدایت یک محلول را به صورت عکس مقاومت تعریف می کنند، بنابراین واحد هدایت الکتریکی $1/\text{mho}$ و واحد هدایت ویژه mho/cm یا S/cm (زیمنس بر سانتی متر) می باشد. به دلیل اینکه مقادیر هدایت ویژه کوچک است معمولاً آن را در 10^6 ضرب کرده و بر حسب Ms/cm (میکروزیمنس بر سانتی متر) گزارش می کنند.

مقدار هدایت الکتریکی ویژه آب نشان دهنده میزان وجود املاح در آب است؛ دلیل کاهش مقدار مقاومت الکتریکی در این است که با افزایش املاح حرکت یونها روی یکدیگر اثر منفی می گذارند و هدایت الکتریکی محلول همانند محلول های رقیق با تعداد یونها متناسب نمی باشد.

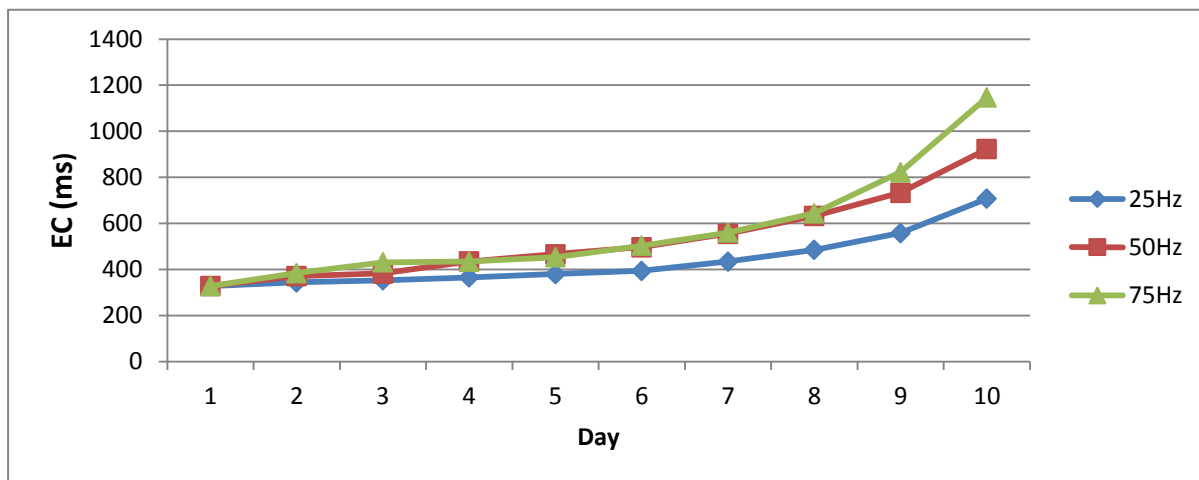
کل مواد جامد محلول در آب (Total Dissolved Solids): مقدار کل مواد غیر فرار حل شده در آب را که شامل یون های مختلف می باشد به نام کل مواد جامد محلول در آب می خوانند و با علامت T.D.S نشان می دهند. به دلیل آنکه یونها عامل انتقال جریان برق در محلول ها هستند و میزان هدایت الکتریکی را مشخص می کنند رابطه نزدیکی بین هدایت الکتریکی (E.C) و کل مواد جامد محلول در آب (T.D.S) وجود دارد که به صورت زیر می باشد: K در این رابطه نشان دهنده ضریب تبدیل است)

$$E.C \times K = T.D.S \quad (1)$$

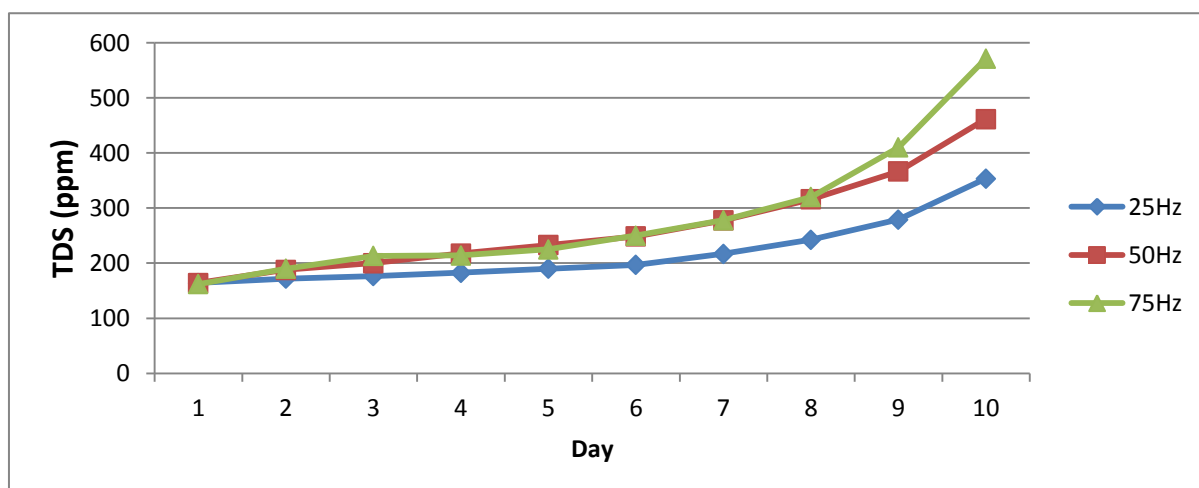
که با توجه به محدوده هدایت الکتریکی، ضریب موجود در فرمول فوق ($1/2 - 0/5$) تغییر می کند. (Chaplin M., 2012)

از آنجایی که بازه فرکانسی امواج مغناطیسی زمین در رابطه با زلزله از ۰.۰۱ تا ۳۰۰ هرتز (با توجه به نزدیک شدن به زمان وقوع زمین لرزه و نزدیکی به مرکز زلزله) تغییر می کند و با توجه به امکانات موجود در آزمایشگاه، بازه های ۲۵ هرتزی در دوره های زمانی ۱۰ روزه برای انجام آزمایش تعریف شده است؛ بدین منظور با استفاده از مولد فرکانس متغیر، فرکانس های ۲۵، ۵۰ و ۷۵ هرتز را ایجاد گردید و نمونه اشباع شده درون مدار قرار گرفت.

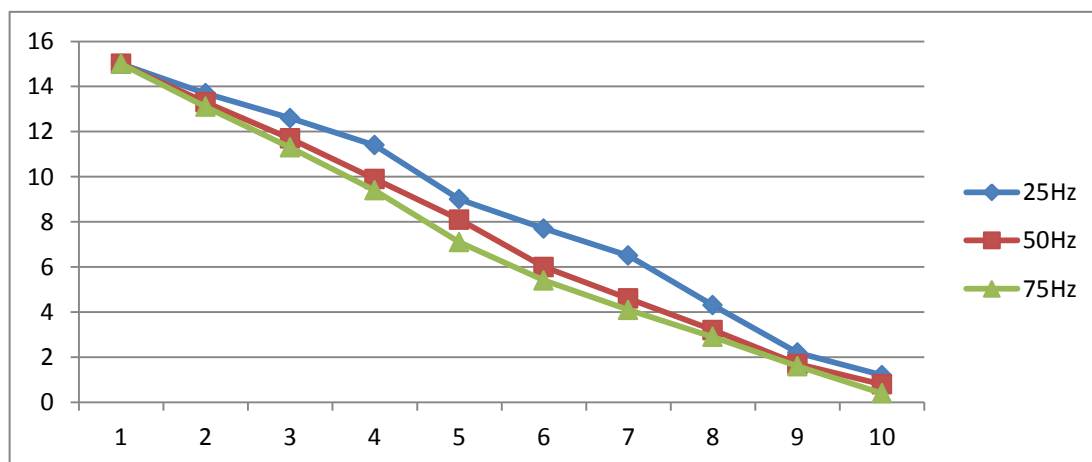
نمودارهای زیر نتایج بدست آمده از این آزمایشات را به تصویر می کشد:



شکل ۲- نمودار تغییرات EC در نمونه‌ها



شکل ۳- نمودار تغییرات TDS در نمونه‌ها



شکل ۴- نمودار تغییرات سطح آب در نمونه‌ها

چنانچه نتایج آزمایشات فوق و نمودارهای مطابق با این نتایج نشان می‌دهد، آب در اثر عبور میدان مغناطیسی دست‌خوش تغییر و تحولاتی می‌گردد که از آن جمله می‌توان به کاهش سطح آب، بالارفتن EC و متناسب با آن افزایش میزان TDS آب موجود در نمونه‌ها اشاره کرد. همچنین مشاهده می‌شود که با افزایش شدت میدان از ۲۵ به ۵۰ هرتز و ۷۵ هرتز، شیب افزایش فاکتورهای EC و TDS نیز افزایش می‌یابد و شیب کاهش سطح و حجم آب درون مخزن (که می‌تواند ارتباط مستقیمی با یونیزه شدن آب در اثر عبور جریان داشته باشد) نیز افزوده می‌شود. برای توضیح این پدیده باید گفت بر اثر وجود شارمغناطیسی متغیر درون خاک مرطوب، جریان الکتریکی جاری می‌گردد، که به عنوان جریان سرگردان نامیده می‌شود، جاری شدن این جریان باعث افزایش دمای آب و تبخیر آن و در نتیجه کاهش سطح آب شده و همچنین باعث یونیزه شدن آب و افزایش غلظت املاح موجود و در نتیجه افزایش هدایت الکتریکی می‌گردد. لازم به ذکر است طبق تحقیقات صورت گرفته پیشین، در قسمت‌های لایه‌های آبدار خاک، آب موجود در اثر وجود جریان، یونیزه می‌شود و مولکول‌های آب در حین عبور جریان، یونیزه شده و هدایت الکتریکی زمین و آب را افزایش می‌دهند.

۴- نتیجه گیری

با استناد به نتایج بدست آمده از نمونه‌های آزمایشگاهی، ایجاد تغییر در فرکانس میدان‌های مغناطیسی و الکترومغناطیسی سبب بروز تغییر در فاکتورهای فیزیکی و شیمیایی آب از جمله EC و TDS، سطح آب موجود و دمای نمونه‌ها می‌گردد. علت این امر را می‌توان در یونیزه شدن آب تحت تأثیر میدان و به تبع آن افزایش غلظت املاح در آب دانست. این افزایش غلظت، هدایت الکتریکی آب را بالا برده، بطوریکه دستگاه‌های اندازه‌گیری قادر به ثبت آن هستند. وجود شبکه نسبتاً متراکم دستگاه‌های اندازه‌گیری EC و TDS به همراه تجهیزات مناسب جهت ثبت تغییرات و برداشت‌های دقیق در نواحی لرزه‌خیز و بالاخص در نواحی سطحی و عمقی نزدیک به مرکز زلزله، می‌تواند کمک شایانی در پیش‌بینی کوتاه مدت و در برخی موارد میان‌مدت زلزله داشته باشد و از ایجاد خسارت‌های جبران‌ناپذیر ناشی از این پدیده جلوگیری نماید.

همچنین با ایجاد مداری که دارای فرکانس متغیر در طول زمان باشد، به طوریکه در بازه زمانی ۱۰ روزه فرکانس میدان بین ۰.۰۱ تا ۳۰۰ هرتز تغییر یابد و هر دامنه فرکانسی نیز به مدت ۱ تا ۳۰ ثانیه در مدار ایجاد شود، می‌توان به نتایج آزمایشگاهی بهتر و مستندتری دست یافت.

منابع

- حسینی ن و همکاران، (۱۳۸۸). "مقدمه‌ای بر پیش‌نشانگرها و پیش‌بینی زلزله".
صداقت ر، اسکویی ب، (۱۳۸۶). "معرفی پیش‌نشانگرهای الکترومغناطیسی"، مؤسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران، اولین همایش پیش‌نشانگرهای زلزله.
مختاری م. شاه‌پسندزاده م. یمینی فرد ف. مهشادنیال. شیرزائی م. مبین پ. اکبری م، (۱۳۸۷). "مقدمه‌ای بر مطالعات پیش‌بینی زمین لرزه؛ انتشارات ناقوس"
صفحات ۵۳-۸۴
- Bleier, T. Dunson, C. Alvarez, C. Freund, F. and Dahlgren, R. (2010). "Correlation of pre-earthquake electromagnetic signals with laboratory and field rock experiments", Nat. Hazards Earth Syst. Sci.
- Chaplin, M. (2012). "water structure and science".
- Fraser-Smith, A.C. Bernardi, A, McGill, P.R. Ladd, M.E. Helliwill, R.A. and Villard, O.G.Jr. (1990) "Low-frequency magnetic field measurements near the epicenter of the Ms 7.1 Loma Prieta earthquake", Geophysical Research Letters
- Griffiths, D.J. (1989). "Introduction to Electrodynamics (2nd Edition)".
- Hamodi, J. Sadeqi, R. and Hassani, N. (2008). "Aquifer's Anomalies A Tool For Earthquake Prediction", International Conference on New Advances in Civil Engeeing, Cyprus, Sep. 15-17, 2008
- <http://water.usgs.gov/ogw/Groundwater-Level-Response-to-Virginia-Earthquake>, August 23, 2011: "Selected USGS Virginia Monitoring Wells"
- Merril, R.T. McElhinny, M.W and McFadden, P.L (1998). "The magnetic field of the earth (3rd edition)".
- Maxwell, R. Carle, S. and Seitz, G (2001). "Environmental research in California and beyond", California environmental project