

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

مریم رضائی^{*}، نعمت حسنی، احمد خورسندی، احمد رضایی؛
دانشگاه شهید بهشتی، پردیس فنی و مهندسی شهید عباس‌پور

تاریخ: دریافت ۹۲/۶/۲۰ پذیرش ۹۳/۲/۱۳

چکیده

تحقیقات متعدد نشان می‌دهند، آب‌زیرزمینی موجود در لایه‌های زمین هنگام زمین‌لرزه و پیش از آن دچار تحولات فیزیکی و شیمیایی می‌شود که دستگاه‌های اندازه‌گیری آن‌ها را ثبت می‌کند و با عنوان پیش‌نstanگرهای زمین‌آب‌شناختی از آن یاد می‌شود. هم‌چنین طبق بررسی‌های انجام شده، امواج میدان الکترومغناطیس زمین‌هنگام زمین‌لرزه و حتی در بازه زمانی پیش از آن دچار نوساناتی می‌شود که به آن ناهنجاری‌های مغناطیسی گفته می‌شود. این دسته از ناهنجاری‌ها در حوزه دانشی زلزله به عنوان پیش‌nstanگر زمین‌مغناطیس شناخته می‌شوند. بنا بر این هدف از انجام این بررسی امکان‌سنجی ایجاد ارتباط بین دو دسته از پیش‌nstanگرهای زلزله (پیش‌nstanگرهای زمین‌آب‌شناختی و زمین‌مغناطیس) است. در این تحقیق، مجموعه‌ای از آزمایش‌ها به منظور بررسی اثر میدان‌های مغناطیسی در مشخصات فیزیکی و شیمیایی آب شامل، هدایت الکتریکی^۱، کل مواد جامد محلول در آب^۲ و ارتفاع سطح آب^۳، در راستای استفاده در پیش‌بینی کوتاه‌مدت و میان‌مدت زلزله طراحی و اجرا شد. تجزیه و تحلیل نتایج آزمایش با استفاده از آزمون‌های آماری نشان می‌دهد که با ضریب اعتماد ۹۵ درصد، ارتباط معنی‌دار بخشی^۴ میان میدان‌های مغناطیسی (پیش‌nstanگر زمین‌مغناطیس) و مشخصات فیزیکی و شیمیایی آب (پیش‌nstanگر آب‌شناختی) وجود دارد.

واژه‌های کلیدی: زلزله، آب‌های زیرزمینی، میدان‌های مغناطیسی و الکترومغناطیس، ناهنجاری، پیش‌nstanگرهای

زلزله

maryamrezaei65@gmail.com

*نویسنده مسئول

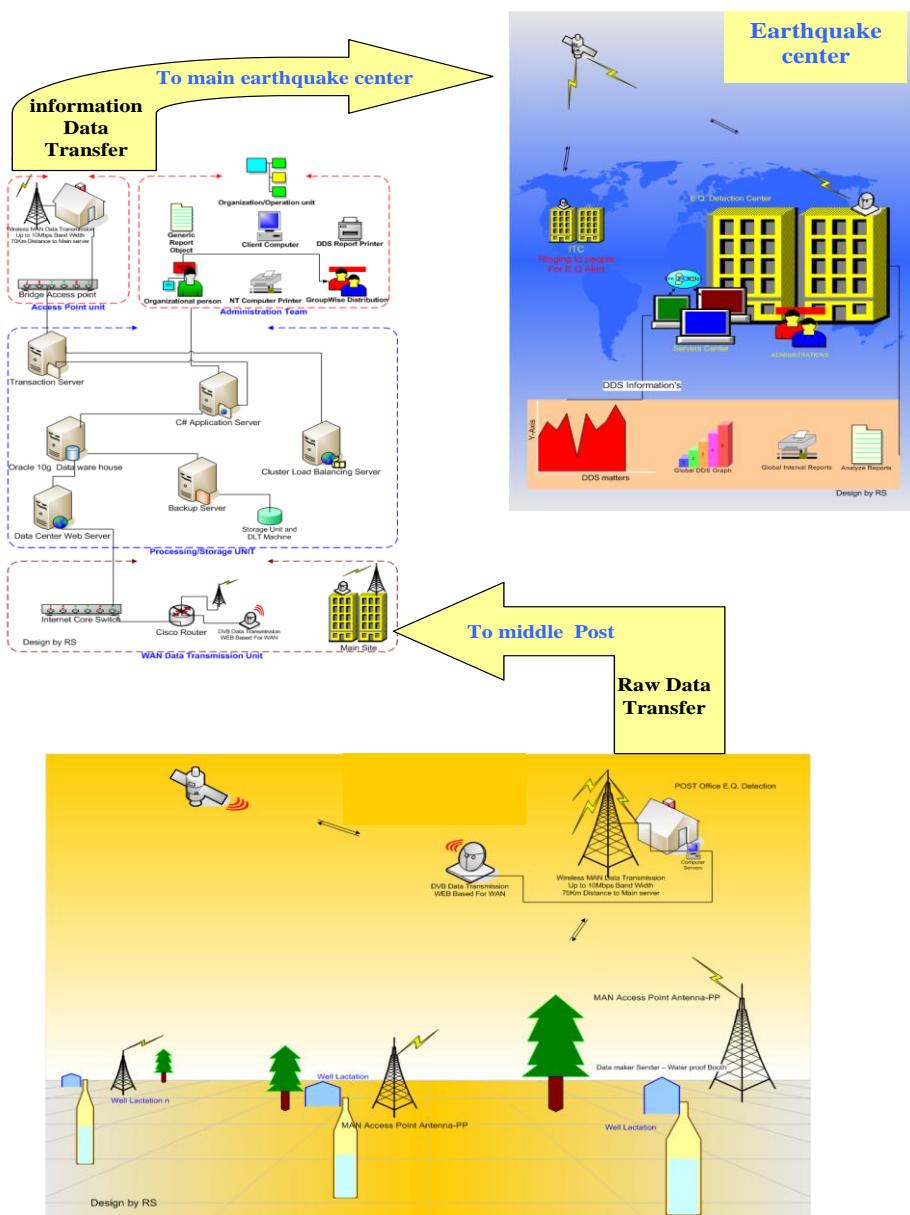
- | | |
|---------------------------------|---------------------------------|
| 1. Electrical Conductivity (EC) | 2. Total dissolved solids (TDS) |
| 3. Height of Water (HW) | 4. Partial |

مقدمه

زلزله پدیده‌ای است که از ابتدای پیدایش زمین با آن همراه بوده است؛ از این رو، 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 چند ثانیه و نهایتاً چند دقیقه در زلزله آزاد می‌شود و آثار تخریبی فراوانی از خود به جای می‌گذارد، از آن پدیده‌ای بسیار وحشتناک برای انسان‌ها ساخته است. تلاش‌هایی برای رصد و پیش‌بینی زلزله از طریق پدیده‌های طبیعی هم‌زمان با وقوع زلزله انجام شده است که از آن‌ها به عنوان پیش‌نstanگر تعبیر می‌شود [۱].

فلات ایران بخشی از کمر بند کوه‌زای آلپ- هیمالیا است که به عنوان آخرین و جوانترین ناحیه کوه‌زای جهان محسوب می‌شود. این ناحیه محصور در صفحات زمین‌ساختی منطقه، تحت تنشی‌های فشاری قرار می‌گیرد و در نتیجه خود به صورت صفحه‌ای فعال و مستعد برای وقوع زلزله در می‌آید. بر طبق بررسی‌های انجام گرفته، از ۱۵۳ زلزله مخرب جهان، ۳۰ زلزله (۱۷,۶٪) مربوط به ایران است [۲]. بنا بر این وجود سامانه‌ای که بتواند به عنوان پیش‌نstanگر زلزله عمل کند و از بروز خسارات شدید و غیرقابل جبران ناشی از این پدیده جلوگیری کند، امری ضروری به نظر می‌رسد.

پیش از این روی سامانه هشدار که براساس پایش آب‌های زیرزمینی است، به وسیله نویسنده و همکارانش تحقیق شده است [۳]. اساس کار این سامانه بر پایه ثبت مداوم تغییرات در چاههای آب است. به طوری که با نصب دکل مخابراتی در نزدیکی دهانه چاه، هر گونه تغییر در مشخصات چاه و آب درون چاه به صورت بی‌سیم به کامپیوتر سرور انتقال داده می‌شود و به پایگاه میانی که به عنوان سرور پشتیبان عمل می‌کند منتقل می‌شود. در صورت بروز ناهنجاری‌های غیرمتعارف، اطلاعات با سیستم بی‌سیم به فرستنده‌ای ماهواره‌ای منتقل و سپس به سرور اعلام اخطار فرستاده می‌شود و در دو مرحله مسئولان و ارگان‌ها و مردم را با عالائم هشداردهنده آگاه می‌کند. در شکل ۱ شمای کلی از این سامانه قابل مشاهده است.



شکل ۱. شماتی کلی سامانه پایش تغییرات آب‌های زیرزمینی به عنوان پیش‌نمازنگر زلزله

مروری بر پیش‌نstanگرهای زلزله

هر پارامتری که قبل از وقوع زمین‌لرزه تغییراتی در آن پدید آید، به‌گونه‌ای که بتوان با بررسی دقیق این تغییرات زمین‌لرزه را پیش‌بینی کرد، پیش‌نstanگر گفته می‌شود. پیش‌nstanگرها زلزله به چندین گروه تقسیم می‌شوند:

- پیش‌nstanگرها لرزه‌شناختی
- پیش‌nstanگرها زمین‌آب‌شناختی
- پیش‌nstanگرها تغییرات فیزیکی - شیمیایی آب
- پیش‌nstanگرها ژئوفیزیکی
- پیش‌nstanگرها زمین الکتریکی
- پیش‌nstanگرها الکترومغناطیسی
- پیش‌nstanگرها ژئودتیکی [۴]

از بین این پیش‌nstanگرها، به پیش‌nstanگرها ژئوفیزیکی (پیش‌nstanگرها زمین‌مغناطیس) و زمین‌الکتریک و الکترومغناطیس توجه بیش‌تری شده است. در برخی تحقیقات نیز با توجه به پیش‌nstanگرها زمین‌آب‌شناختی و پیش‌nstanگرها تغییرات فیزیکی-شیمیایی آب پژوهش‌هایی انجام شده است. هدف از انجام این تحقیق بررسی ارتباط میان این دو دسته از پیش‌nstanگرهاست. بررسی این رابطه با چند آزمایش که شرح مختصراً از آن در ادامه خواهد آمد، تبیین خواهد شد.

به‌نظر می‌رسد پیش‌nstanگرها الکترومغناطیسی زلزله بیش‌ترین فراوانی رویداد و بهترین پدیده بررسی شده برای پیش‌بینی زلزله را دارند [۵]. شاید علت اصلی این برتری در قابلیت ثبت تغییرات ناهنجاری‌ها در این پیش‌nstanگر نهفته باشد. زمین دارای میدان مغناطیسی متحرکی است که در حالت نرمال فرکانسی با طول موج بسیار کم دارد؛ بیش‌ترین شدت این میدان در نزدیکی قطب‌ها و ضعیف‌ترین مقدار آن در خط استوا ثبت شده است. اما این میدان در حالت‌هایی از جمله زمین‌لرزه دست خوش 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 انجام شده 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 مشبك زمین می‌شود و هنگامی که به حالت پایدار خود برمی‌گردد الکترون‌ها باند

وسيعی از امواج الکترومغناطیسی را ساطع می‌کنند. اما همه اين باندهای فرکانسى قابلیت

رسیدن و آشکارسازی در سطح زمین را ندارند.

- حرکت آهسته آب یونیزه در حال نفوذ به ترک‌های باز شده بهوسیله 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 بهوسیله فرآیند جفتگیری بارهای الکتریکی القا

شده با آزادسازی فشار تولید شوند. این مکانیسم فقط در مورد سنگ‌هایی که شامل

مقدار چشمگیری از چنین مؤلفه‌هایی هستند صادق است [۶].

- امواج الکترومغناطیسی بر حسب بسامدشان به نام‌های گوناگونی خوانده می‌شوند: امواج

رادیویی، ریزموچ، فروسرخ (مادون قرمز)، نور مرئی، فرابنفش، پرتو ایکس و پرتو گاما.

این امواج به ترتیب دارای افزایش بسامد هستند. ریزموچ‌ها به نوبه خود به دسته‌های

ریزتری تقسیم می‌شوند که شامل بسامدهای بالا و پایین است؛ هر کدام از این بسامدها

شامل چند زیرمجموعه است؛ فرکانس کم شامل ۳ دسته بسامد خیلی کم^۱، بسیار کم^۲ و

فوق العاده کم^۳ است [۷]. از جمله تغییرات ثبت شده در زمینه مغناطیس و الکترومغناطیس

زمین، تغییر در شدت میدان‌های موجود در حالت نرمال است که ناهنجاری‌هایی در

امواج VLF و ELF را شامل می‌شود؛ بیشتر باند فرکانسی محتمل این رویدادها

بر طبق اطلاعات منتشر شده در بازه ULF-ELF برای پیش‌نstanگرهای کوتاه‌مدت است

1. Very-low (VL) 2. Ultra-low (UL) 3. Extremely-low (EL)

و برای پیش‌نماگرهای میان مدت دوره‌هایی از چند ساعت تا چند ماه، دارند. مشکل اصلی در آشکارسازی این نوسانات دامنه کوتاه آن‌ها است که استخراج آن‌ها از نوسانات نویز زمینه که با منابع طبیعی دیگر ایجاد شده‌اند، به سختی انجام می‌شود [۸].

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 ریشر (۵ > M) در مناطق مختلف جهان گزارش شده‌اند. به عنوان مثال زلزله آلوم راک^۱ با بزرگی ۵/۴ ریشر در سال ۲۰۰۷ در نزدیکی سانفرانسیسکو نشان داد که نوسانات میدان مغناطیسی در شمار قابل توجه و با دامنه‌های معنی‌دار و در خلال دو هفته قبل از زلزله تا رویداد واقعه در منطقه وجود داشته است. این نوسانات مدت زمانی برابر ۱ تا ۳۰ ثانیه داشتند و دارای قطبیت‌های غیرمعمول بودند [۹]. همین‌طور در سال ۱۹۷۵ افزایشی در حد ۱/۵ گاما در شدت میدان کلی مغناطیسی از ۷ هفته قبل از رخداد زمین‌لرزه کالیفرنیا به بزرگای ۵ ریشر مشاهده شده است [۱۰]. هم‌چنین بی‌نظمی نوسانات میدان مغناطیسی ۳۵ روز پیش از زمین‌لرزه ۱۷ اکتبر ۱۹۸۹ در منطقه لوما پریتا^۲ در کالیفرنیا مرکزی و با بزرگای ۷/۱ ریشر، با دستگاه‌های اندازه‌گیری امواج ULF با فرکانس ۰/۰۱ تا ۱۰ هرتز در فاصله ۷ کیلومتری از مرکز زلزله و دستگاه‌هایی برای اندازه‌گیری امواج VLF/ELF با فرکانس ۱۰ تا ۳۲ هرتز و در فاصله ۵۲ کیلومتری از مرکز زلزله، ثبت شده و دو هفته قبل از زمین‌لرزه، اندازه‌گیری‌ها افزایش چشم‌گیری را گزارش کرده‌اند و دامنه این اختشاشات ۳ ساعت قبل از زمین‌لرزه به‌طور کاملاً غیرعادی و با شدت نسبتاً زیادی افزایش یافته است. (مقدار این تغییرات در سیگنال‌های ULF از حدود ۰/۰۵ تا ۰/۲ هرتز در ۱۲ سپتامبر شروع و در دامنه ۰/۲ تا ۵ هرتز در یک روز پیش از وقوع زلزله ادامه داشته است) [۱۱].

هم‌چنین بی‌هنجری‌های دیگر سیگنال‌های ULF که ممکن است مرتبط با زلزله باشد چند ساعت قبل از زلزله اسپیتاک^۳ با بزرگی ۶/۹ ریشر در ۷ دسامبر ۱۹۸۸ در ارمنستان و سیگنال‌های بی‌هنجری حدود دو هفته و چند روز قبل از زلزله گوام^۴ در تاریخ ۸ آگوست ۱۹۹۳ با بزرگی ۸ ریشر گزارش شده‌اند. [۱۲]

1 . Alum Rock

2. Loma Prieta

3. Spitak

4 . Guam

به علاوه در گزارش‌های 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 بررسی و کنترل حرارت آب‌های زیرزمینی به عنوان پیش‌ن Shanگر زلزله در مناطقی ثبت شده است. البته باید به این نکته توجه داشت که دامنه این نوسانات بهشدت فعالیت زمین‌ساختی منطقه، بزرگاً و فاصله از مرکز زمین‌لرزه‌ها وابستگی مستقیم دارد. این تغییرات چند روز قبل از رخداد زمین‌لرزه‌های کوچک و متوسط با بزرگای ۴-۵ ریشتر و نیز چند هفته قبل از زمین‌لرزه‌های نیرومند رخ می‌دهد [۱۳]. به عنوان مثال با توجه به بررسی‌های انجام گرفته در سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات امریکا^۱، در ۸۰٪ موارد پیش از وقوع زمین‌لرزه، سطح آب زیرزمینی در چاه‌ها و چشم‌های کاهش یافته و دمای آب در اکثر نقاط (البته با توجه به فاصله مکانی از مرکز زمین‌لرزه) افزایش داشته است [۱۴]. با توجه به رکوردهای ثبت شده از نوسانات در هر دو زمینه امواج مغناطیسی و تغییر در آب‌های زیرزمینی، توجه ما به این نکته جلب شد که هر دو دسته تغییرات به بزرگای زلزله و فاصله از مرکز رخداد زمین‌لرزه وابستگی شدیدی دارد؛ با توجه به این مسئله آیا ممکن است این دو پدیده با یکدیگر در ارتباط باشند؟ در ادامه، مؤلفان این تحقیق با شرح آزمایش‌های تعریف شده و انجام گرفته، سعی در یافتن پاسخی برای این پرسش دارند.

سؤالات تحقیق

تحقیقات پیشین در حوزه پیش‌بینی زلزله با استناد به پیش‌ن Shanگرهای زمین-آب‌ساختی معطوف به خروج گازهای مختلف از جمله رادون، هلیم، آرگون و غیره است و تغییرات و ناپایداری‌های موقت در سطح آب زیرزمینی، درجه حرارت و یون‌های محلول در آب است و پیش‌ن Shanگرهای زمین‌مغناطیس به بررسی تغییر میدان مغناطیسی زمین قبل، هم‌زمان و پس از رخداد زلزله و استفاده از ناهنجاری‌های ژئومغناطیسی می‌پردازد [۴]. از سوی دیگر هدایت الکتریکی آب نشان‌دهنده میزان املاح هادی موجود در آب است. از این رو، آن‌چه در این تحقیق به عنوان تلاشی نوآورانه به آن اهتمام شده است، بررسی رابطه میان پیش‌n Shanگرهای زمین‌آب‌ساختی (هدایت الکتریکی و کل مواد جامد محلول در آب) با پیش‌n Shanگرهای زمین-

مغناطیسی (میدان مغناطیسی ناشی از زلزله) است. سؤالاتی به عنوان مبنای انجام مراحل بعدی تحقیق و دستیابی به اهداف آن تدوین شده است که عبارتند از:

۱. آیا میدان مغناطیسی موجب تغییر در میزان هدایت الکتریکی (EC) آب می‌شود؟
۲. آیا میدان مغناطیسی موجب تغییر در میزان کل مواد جامد محلول در آب (TDS) می‌شود؟
۳. آیا میدان مغناطیسی موجب تغییر سطح و به تبع آن تغییر در حجم آب می‌شود؟
۴. آیا تغییر در فرکانس میدان در تغییرات میزان EC، TDS و سطح (حجم) آب نمونه‌ها تأثیر دارد؟

مواد و روش

با توجه به عدم وجود داده‌ها و آمارهای مناسب در مورد تغییرات آب‌های زیرزمینی قبل و بعد از زلزله، برای بررسی سؤالات مذکور، روش تحقیق آزمایشی، از نوع آزمایشگاهی انتخاب شد. طرح آزمایشی استفاده شده، طرح کاملاً تصادفی متعادل^۱ انتخاب شد. با توجه به نوع تحقیق، تشکیل گروه آزمایشی و گروه گواه ضروری است. از این رو، به منظور آماده‌سازی نمونه‌ها برای گروه‌های گواه و آزمایش، از روش انتخاب همگن استفاده شد. با توجه به منع یکسان تأمین نمونه‌ها و اندازه‌گیری‌های انجام شده پیش از شروع آزمایش‌ها، میزان متغیرهای وابسته در هر دو گروه گواه و آزمایش یکسان بوده است. با توجه به سؤالات تحقیق ۳ فرکانس برای میدان مغناطیسی به عنوان تیمارهای گروه آزمایش (متغیر مستقل) و یک نمونه گواه به عنوان تیمار چهارم در نظر گرفته شد. براساس مرور تحقیقات پیشین و امکانات آزمایشگاهی موجود، سه متغیر هدایت الکتریکی، کل مواد جامد محلول در آب، سطح و حجم آب به عنوان متغیرهای وابسته لحاظ شد. با توجه به این‌که افزایش دقت آزمایش و کاهش خطای واریانس آزمایشی رابطه مستقیمی با تعداد نمونه آزمایشی دارد [۱۵] از این رو، ۳ تکرار برای هریک از تیمارها انجام شد.

حجم نمونه در این تحقیق، متغیر کنترل است. با توجه به این‌که تغییر میزان حجم نمونه می‌تواند اثرات متغیر مستقل را بر روی متغیرهای وابسته دگرگون کند، از این رو، با انجام چند مرحله آزمایش مقدماتی، حجم نمونه‌ای متناسب با میزان تیمارها برآورد و انتخاب شد. مقیاس اندازه‌گیری متغیرهای وابسته مقیاس فاصله‌ای در نظر گرفته شده است.

1 . Completely Randomized Design

روش گردآوری اطلاعات، بر پایه روش مشاهده استوار است. در جریان مشاهدات از سه ابزار برای اندازه‌گیری بدین شرح استفاده شده است:

۱. خودکار اندازه‌گیری و سنجش کیفیت آب، مدل ۸۳۶۱ و دارای Cond. Meter &

TDS Meter، برای اندازه‌گیری EC، TDS و دمای آب.

۲. کولیس: برای اندازه‌گیری تغییرات سطح آب

۳. فرکانس متر: برای اندازه‌گیری فرکانس میدان مغناطیسی

 میدان مغناطیسی زمین با نزدیک شدن به زمان وقوع زلزله و نزدیکی به مرکز آن تغییر می‌کند. از این‌رو با توجه به امکانات موجود در آزمایشگاه، بازه‌های ۲۵ هرتزی در دوره‌های زمانی ۱۰ روزه برای انجام آزمایش درنظر گرفته شد. بدین منظور با استفاده از مولد فرکانس متغیر، فرکانس‌های ۲۵، ۵۰ و ۷۵ هرتز ایجاد شد و نمونه اشباع شده، تشکیل و بدین‌شرح درون مدار قرار گرفت:

به‌منظور نزدیک بودن شرایط آزمایشگاهی با شرایط واقعی محیطی از نمونه‌های آب و خاک موجود در عمق‌های پایین‌تر از سطح استفاده شده است. بر اساس پیش‌آزمایش‌های انجام شده، برای رسیدن به ابعاد مطلوب نمونه و آمپر مناسب برای ایجاد میدان مغناطیسی، نمونه‌ای با این مشخصات تشکیل شد:

- نمونه‌ای استوانه‌ای با قطر و ارتفاع ۱۵ سانتی‌متر (شکل ۲)

- میدان مغناطیسی ۴، ۸ و ۱۲ میلی‌تسلا^۱



شکل ۲. تصویری از نمونه تهیه شده
شکل ۳. سیم پیچ ایجاد شده برای تولید جریان الکترومغناطیس

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

- لوله‌ای با اسکرین ۲۰٪ سطح به عنوان چاه تعییه شد تا تغییرات سطح آب از طریق آن ثبت شود.

- برای ایجاد فرکانس‌های مختلف (در بازه ۲۵ تا ۷۵ هرتز) از مولد فرکانس متغیر استفاده شد.

- نمونه خاک استفاده شده از عمق ۸ متری زمین اطراف گسل شرق تهران و با مشخصات ذیل انتخاب شد:

درصد رطوبت ۷/۴۶، وزن مخصوص مرطوب $1/۹۹ \text{ gr/cm}^3$ ، وزن مخصوص خشک $1/۸۵ \text{ gr/cm}^3$ ، نوع خاک براساس طبقه‌بندی یونیفاید SW (ماسه خوب دانه‌بندی شده)، ضریب تغییر حجم ۰/۷۵ (برای اطمینان)، رطوبت بهینه ۱۰٪، زاویه اصطکاک داخلی ۳۵°، مقاومت چسبندگی خاک $0/۲ \text{ kg/cm}^2$ و مدول الاستیسیته خاک 500 kg/cm^2 برای اشباع نمودن نمونه خاک،

از آب با این مشخصات استفاده شد:

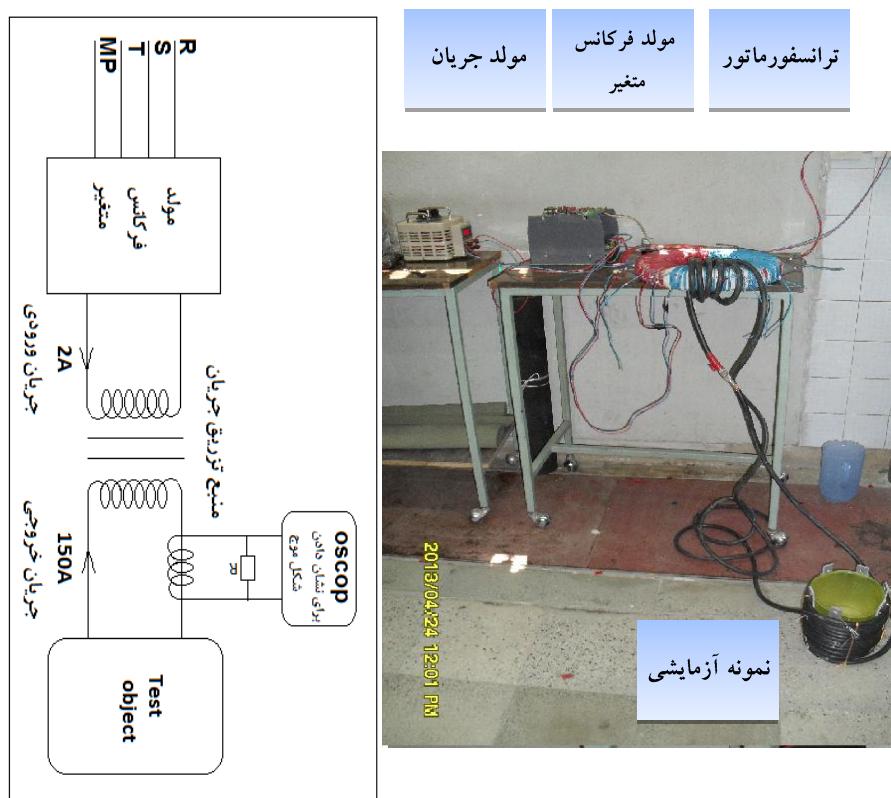
هدایت الکتریکی (EC) آب ۳۲۸ میکروزیمنس، کل مواد جامد محلول در آب (TDS)، ppm ۱۶۴ و دمای اولیه حدود ۲۱ درجه سانتی‌گراد. مدار ایجاد شده و نمای شماتیک از آن در شکل ۴ و شکل ۵ مشاهده می‌شود.

صفات بررسی شده شامل هدایت الکتریکی، کل مواد جامد محلول و تغییر در سطح آب است که تعریف کوتاهی از هریک عترت است از:

- هدایت الکتریکی: قابلیت انتقال جریان برق نشانگر میزان هدایت الکتریکی است. هدایت یک محلول را به صورت عکس مقاومت تعریف می‌کنند، بنا بر این واحد هدایت الکتریکی $1/\text{ohm}$ و واحد هدایت ویژه mho/cm یا S/cm (زیمنس بر سانتی‌متر) است. به دلیل این که مقادیر هدایت ویژه کوچک است معمولاً آن را در 10^{-7} ضرب کرده و بر حسب Ms/cm (میکروزیمنس بر سانتی‌متر) گزارش می‌کنند.

مقدار هدایت الکتریکی ویژه آب نشان‌دهنده میزان وجود املاح در آب است. دلیل کاهش

مقدار مقاومت الکتریکی و در نتیجه افزایش هدایت الکتریکی این است که با



شکل ۵. تصویری شماتیک از مدار ایجاد شده

- افزایش املاح حرکت یون‌ها روی یکدیگر اثر منفی می‌گذارند و هدایت الکتریکی محلول همانند محلول‌های رقیق با تعداد یون‌ها متناسب نیست.
- کل مواد جامد محلول در آب: مقدار کل مواد غیرفرار حل شده در آب را که شامل یون‌های مختلف است به نام کل مواد جامد محلول در آب می‌خوانند و با علامت T.D.S نشان می‌دهند.

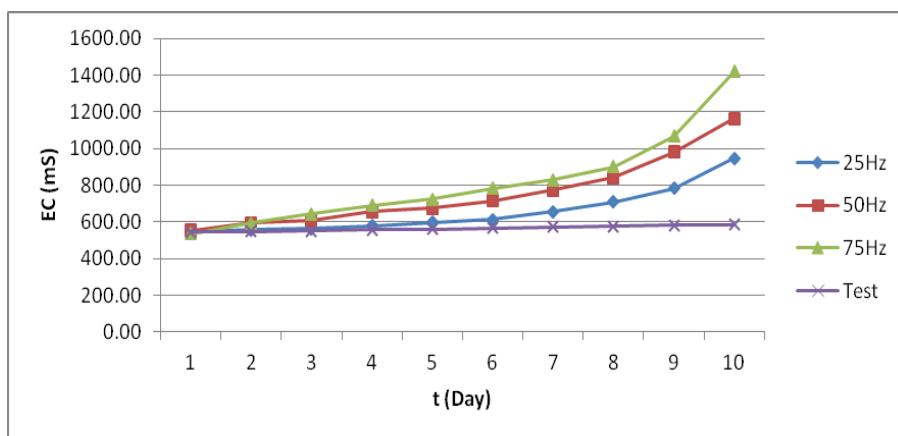
به این دلیل که یون‌ها عامل انتقال جریان برق در محلول‌ها هستند و میزان هدایت الکتریکی را مشخص می‌کنند، رابطه نزدیکی بین هدایت الکتریکی (E.C) و کل مواد جامد محلول در آب (T.D.S) وجود دارد که بدین صورت است: (K ضریب تبدیل است).

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

با توجه به محدوده هدایت الکتریکی، در رابطه (۱) ضریب K در دامنه $(1/2 - 0/55)$ تغییر می‌کند [۱۶].

تجزیه و تحلیل نتایج بررسی سوالات

شکل‌های ۶ تا ۸ نمودار نتایج بهدست آمده از این آزمایش‌ها را به تصویر می‌کشد.



شکل ۶. نمودار تغییرات EC در نمونه‌ها

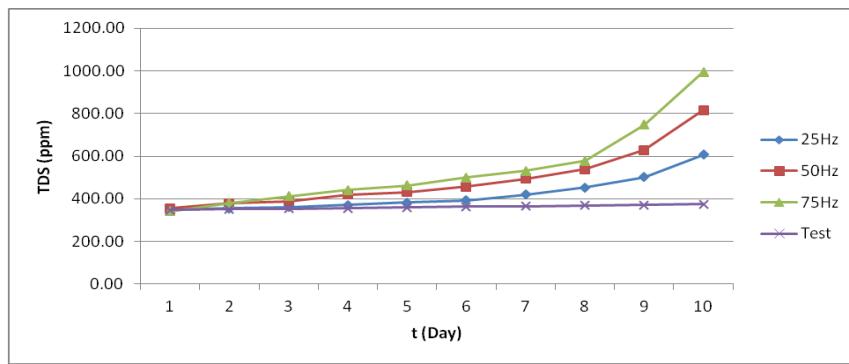
$$R^2 = 0.9647, \quad y = 6.8409x^2 - 37.793x + 598.8 \quad \text{معادله نمودار } 25\text{Hz} \text{ در EC}$$

$$R^2 = 0.976, \quad y = 8.1919x^2 - 30.893x + 610.22 \quad \text{معادله نمودار } 50\text{Hz} \text{ در EC}$$

$$R^2 = 0.9375, \quad y = 11.112x^2 - 43.153x + 628.85 \quad \text{معادله نمودار } 75\text{Hz} \text{ در EC}$$

$$R^2 = 0.9976, \quad y = 0.048x^2 + 4.2359x + 538.99 \quad \text{معادله نمودار گواه (تست) در EC}$$

با توجه به اعداد و نمودارهای بهدست آمده، روند افزایش هدایت الکتریکی در تمامی نمونه‌ها طی روزهای آزمایش ادامه داشته و در پایان هر آزمایش میزان هدایت الکتریکی در بالاترین حد خود قرار دارد. همچنین نمودار خطی هریک از معادلات درجه ۲ مذکور، نشان می‌دهد که شبیخ طی در نمونه ۲۵ هرتز برابر با $457/37$ و در نمونه ۵۰ هرتز برابر با $218/59$ و در نمونه ۷۵ هرتز عددی برابر $83/79$ است و در مقایسه با نمونه گواه با شبیخ طی برابر $763/4$ روند افزایشی رو به رشد را تجربه می‌کنند.



شکل ۷. نمودار تغییرات TDS در نمونه‌ها

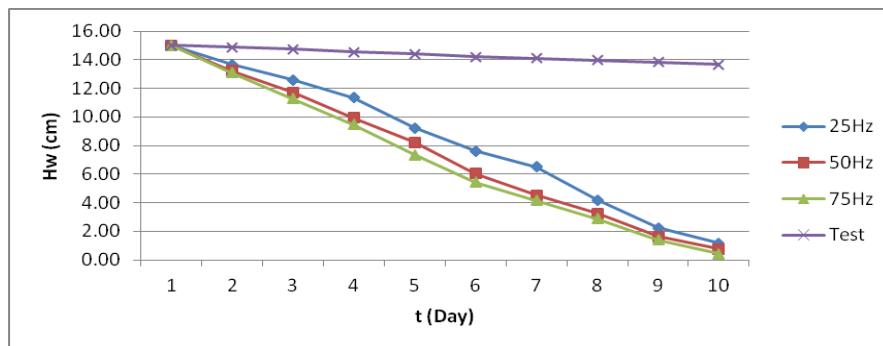
معادله نمودار 25Hz در TDS: $R^2 = 0.9643, y = 4.3902x^2 - 24.322x + 383.58$

معادله نمودار 50Hz در TDS: $R^2 = 0.949, y = 6.8497x^2 - 33.662x + 412.09$

معادله نمودار 75Hz در TDS: $R^2 = 0.9319, y = 9.5455x^2 - 46.964x + 430.07$

معادله نمودار Test در TDS: $R^2 = 0.9971, y = 0.0341x^2 + 2.6654x + 344.99$

چنان‌که در شکل ۷ دیده می‌شود، تغییرات همگام با تغییرات هدایت الکتریکی نمونه‌ها روند رو به افزایشی را تجربه می‌کند؛ به طوری که میزان مواد جامد محلول از مقدار اولیه در هر نمونه به میزان چشم‌گیری افزایش و در پایان دوره آزمایش به بالاترین حد خود می‌رسد. در نمودار TDS نیز این مطلب مشهود است که روند رو به رشد میزان TDS در نمونه‌های آزمایش شده شبی خط به ترتیب برای نمونه ۵۰، ۷۵ و ۲۵ هر تر برابر با ۲۳/۹۷، ۴۱/۶۸ و ۵۸/۰۳ دارد و با شبی خط TDS در نمونه گواه (۳۰۴) متفاوت است و دارای نرخ رو به رشد هستند.



شکل ۸. نمودار تغییرات سطح آب در نمونه‌ها

$R^2 = 0.9932, y = -1.5922x + 17.119$	معادله نمودار 25Hz در H_w
$R^2 = 0.9949, y = -1.6372x + 16.437$	معادله نمودار 50Hz در H_w
$R^2 = 0.9907, y = -1.6559x + 16.156$	معادله نمودار 75Hz در H_w
$R^2 = 0.9966, y = -0.1489x + 15.154$	معادله نمودار Test در H_w

با توجه به نمودار مذکور، کاهش سطح و به تبع آن کاهش حجم آب در نمونه‌های آزمایش شده به یکدیگر نزدیک و شبیه این کاهش برای نمونه ۲۵ هرتزی برابر $1/59$ - و برای نمونه ۵۰ هرتزی برابر $1/63$ - و برای نمونه ۷۵ هرتزی $1/66$ - است و در مقایسه با شبیه همین خط در نمونه گواه که برابر با $1/14$ - است کاهش چشمگیری را نشان می‌دهد. از این رو می‌توان نتیجه گرفت میدان مغناطیسی در کاهش حجم آب نمونه‌ها تأثیر زیادی دارد و هر میدان مغناطیسی با هر شدت و فرکانسی قادر به تجزیه آب خواهد بود. البته این کاهش سطح می‌تواند توأم با گرمای حاصل از میدان مغناطیسی و اثر یونیزاسیون آن باشد. برای درک بهتر این موضوع باید آزمایش‌هایی با آب دی‌یونایز طراحی و میزان تغییرات در آن سنجیده شود.

چنان‌چه نتایج آزمایش‌های فوق و نمودارهای مطابق با این نتایج نشان می‌دهد، آب در اثر عبور میدان مغناطیسی دستخوش تغییر و تحولاتی می‌شود 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، شبیه افزایش فاکتورهای EC و TDS نیز افزایش می‌یابد و شبیه کاهش سطح و حجم آب درون مخزن (که می‌تواند ارتباط مستقیمی با یونیزه شدن آب در اثر عبور جریان داشته باشد) نیز به طور نسبی افروده می‌شود. برای توضیح این پدیده باید گفت بر اثر وجود شار مغناطیسی متغیر درون خاک مرطوب، جریان الکتریکی جاری می‌شود، 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 در آب و در نتیجه افزایش هدایت الکتریکی می‌شود.

به‌منظور تحلیل و بررسی دقیق داده‌های به‌دست آمده و وضعیت تعمیم‌پذیری نتایج، از تحلیل‌های آماری استفاده شده است. با توجه به عدم انجام نمونه مشابه تحقیق، چهار سوال در ابتدای تحقیق مطرح شد و محقق به‌منظور حفظ جانب احتیاط از طرح فرضیه برای پژوهش

اجتناب کرد و صرفاً به دنبال یافتن پاسخ سوالات تحقیق است [۱۷]. لیکن به منظور پاسخ به سوالات ناچار به استفاده از آزمون فرض هستیم. از این‌رو، فرضیه پژوهشی زیر به عنوان مبنای انجام تحلیل‌های آماری، تدوین شد.

فرض H_0 : تفاوت معنی‌داری بین میانگین‌های مقادیر EC در چهار تیمار وجود ندارد.

فرض H_1 : تفاوت معنی‌داری بین میانگین‌های مقادیر EC در چهار تیمار وجود دارد.

این فرضیات برای متغیرهای TDS و Hw نیز به طور مشابه تکرار می‌شود. بر اساس فرضیات

فوق، فرض آماری زیر برای بررسی در تحلیل‌های آماری تدوین شد.

$$H_0(\text{EC}): \mu f1 = \mu f2 = \mu f3 = \mu f4$$

$$H_1(\text{EC}): \mu f1 \neq \mu f2 \neq \mu f3 \neq \mu f4$$

فرضیات آماری فوق برای TDS و Hw نیز به همین صورت تکرار خواهد شد.

ابتدا از مقادیر ۳ بار تکرار برای هر آزمایش میانگین ساده گرفته شد. با استفاده از نتایج

نرم‌افزار SPSS، نرمال بودن توزیع هر یک از متغیرهای وایسته (EC، TDS و Hw) بررسی شد. بدین‌منظور از آزمون کلموگورف-اسمیرنوف^۱ استفاده شد. آماره^۲ محاسبه شده برای آزمون

مزبور به ترتیب برای EC، TDS و Hw بدین‌شرح است:

جدول ۱. جدول وضعیت تابع توزیع متغیرها

متغیر	تیمار	سطح معنی‌داری (p value)	وضعیت توزیع
هدایت الکتریکی	فرکانس ۲۵ هرتز	۰/۱۵۲	نرمال
	فرکانس ۵۰ هرتز	۰/۲	نرمال
	فرکانس ۷۵ هرتز	۰/۲	نرمال
	نمونه شاهد	۰/۲	نرمال
کل مواد جامد محلول در آب	فرکانس ۲۵ هرتز	۰/۱۴۷	نرمال
	فرکانس ۵۰ هرتز	۰/۲	نرمال
	فرکانس ۷۵ هرتز	۰/۱۶۸	نرمال
	نمونه شاهد	۰/۲	نرمال
ارتفاع سطح آب	فرکانس ۲۵ هرتز	۰/۲	نرمال
	فرکانس ۵۰ هرتز	۰/۲	نرمال
	فرکانس ۷۵ هرتز	۰/۲	نرمال
	نمونه شاهد	۰/۲	نرمال

1. Kolmogorov-Smirnov

2. Statistic

با توجه به مقایسه آماره آزمون با مقدار منطقه بحرانی با در نظر گرفتن سطح اطمینان ۹۵٪، همه مشاهده‌های ثبت شده تابع توزیع نرمال دارد.

$$\{i=EC, TDS, Hw; j=25_{Hz}, 50_{Hz}, 75_{Hz}, 0_{Hz}\} (sig_{i,j}>0.05)$$

از آنجا که در طراحی آزمایش ۳ فرکانس متفاوت و یک واحد آزمایشی (نمونه آب و خاک) به عنوان نمونه شاهد در نظر گرفته شد، و از سوی دیگر بررسی مشاهدات حاصل از ۴ نمونه آزمایشی موجب افزایش احتمال این‌که اختلاف بین دو تیمار به‌طور تصادفی معنادار شد را افزایش می‌دهد، از این رو، از روش تجزیه و تحلیل واریانس با استفاده از آزمون آنوای یک طرفه^۱ استفاده شد. با توجه به‌این‌که فرض تساوی واریانس‌های نمونه‌های مستقل در این آزمون اهمیت فراوانی دارد، بنا بر این با استفاده از آماره لون^۲، آزمون یکسان بودن واریانس‌ها انجام شد. در سطح اطمینان ۹۵٪، مقدار آماره آزمون برای متغیرهای EC، TDS و Hw به ترتیب ۰/۰۰۷، ۰/۰۰۷ و ۰/۰۰۰ برآورد شد. با توجه به‌این‌که مقدار آماره‌های آزمون کمتر از ۰/۰۵ است از این رو، فرض یکسان بودن واریانس نمونه‌ها رد می‌شود. رد فرض یکسانی واریانس‌ها، استفاده از آزمون ولچ و براون-فورسایت^۳ را اجتناب‌ناپذیر می‌سازد. این آزمون در حقیقت آزمون توانمندی یکسان بودن میانگین‌ها است. با توجه به آماره آزمون مذکور برای هر یک از متغیرهای EC، TDS، Hw فرض H_0 این آزمون دال بر یکسان بودن میانگین‌های نمونه‌ها رد می‌شود. جدول ۱ بیان‌گر برقراری رابطه $\{i=EC, TDS, Hw\} (sig_{i,j}>0.05)$ است.

جدول ۲. آزمون توانمندی یکسان بودن میانگین‌ها^۴- آزمون ولچ و براون - فورسایت

متغیر	آماره	درجه آزادی ۱	درجه آزادی ۲	Sig
هدایت الکتریکی	۷/۳۳۷	۳	۱۵/۲۰۸	۰/۰۰۳
کل مواد جامد	۶/۵۵۴	۳	۲۱/۰۹۹	۰/۰۱۹
محلول در آب	۳/۷۷۶	۳	۱۵/۱۸۴	۰/۰۰۵
ارتفاع سطح آب	۱۶/۶۱۵	۳	۱۹/۷۵۵	۰/۰۲۷
	۶/۳۰۷	۳	۱۵/۲۴۶	۰/۰۰۰
		۳	۲۷/۱۲۱	۰/۰۰۲

1. One-Way ANOVA

2. Levene

3. Welch and Brown-Forsythe test

4. Robust Tests of Equality of Means

جدول ۳. مقایسه‌های چندگانه میانگین‌ها

Sig.	خطای استاندارد	تفاوت میانگین	تیمار	متغیر وابسته
۰/۵۷۳	۷۸/۲۴۰۷۶	-۱۰۱/۲۵	F ₂	هدایت الکتریکی
۰/۱۷	۷۸/۲۴۰۷۶	-۱۸۴/۸۵	F ₃	
۰/۶۵۹	۷۸/۲۴۰۷۶	۹۰/۲۵	F ₄	
۰/۵۷۳	۷۸/۲۴۰۷۶	۱۰۱/۲۵	F ₁	
۰/۸۴۸	۷۸/۲۴۰۷۶	-۶۳/۶	F ₃	
۰/۰۸۶	۷۸/۲۴۰۷۶	۱۹۱/۵	F ₄	
۰/۱۷	۷۸/۲۴۰۷۶	۱۶۴/۸۵	F ₁	
۰/۸۴۸	۷۸/۲۴۰۷۶	۶۳/۶	F ₂	
۰/۰۱۲	۷۸/۲۴۰۷۶	*۱۵۵/۱	F ₄	
۰/۶۵۹	۷۸/۲۴۰۷۶	-۹۰/۲۵	F ₁	
۰/۰۸۶	۷۸/۲۴۰۷۶	-۱۹۱/۵	F ₂	
۰/۰۱۲	۷۸/۲۴۰۷۶	-۲۵۵/۱	F ₃	
۰/۵۹۵	۵۷/۱۱۲۶۱	-۷۱/۸	F ₂	کل مواد جامد محلول در آب
۰/۱۶۹	۵۷/۱۱۲۶۱	-۱۲۰/۵	F ₃	
۰/۷۴۴	۵۷/۱۱۲۶۱	-۵۷/۷	F ₄	
۰/۵۹۵	۵۷/۱۱۲۶۱	۷۱/۸	F ₁	
۰/۸۲۹	۵۷/۱۱۲۶۱	-۴۸/۷	F ₃	
۰/۱۲۵	۵۷/۱۱۲۶۱	۱۲۹/۵	F ₄	
۰/۱۶۹	۵۷/۱۱۲۶۱	۱۲۰/۵	F ₁	
۰/۸۲۹	۵۷/۱۱۲۶۱	۴۸/۷	F ₂	
۰/۰۱۸	۵۷/۱۱۲۶۱	*۱۷۸/۲	F ₄	
۰/۷۴۴	۵۷/۱۱۲۶۱	-۵۷/۷	F ₁	
۰/۱۲۵	۵۷/۱۱۲۶۱	-۱۲۹/۵	F ₂	
۰/۰۱۸	۵۷/۱۱۲۶۱	-۱۷۸/۲	F ₃	
۰/۹۶۲	۱/۹۱۹۶۲	۰/۹۲۹	F ₂	ارتفاع سطح آب
۰/۹۰۳	۱/۹۱۹۶۲	۱/۳۱۲	F ₃	
۰/۰۱۸	۱/۹۱۹۶۲	-۵/۹۸۱	F ₄	
۰/۹۶۲	۱/۹۱۹۶۲	-۰/۹۲۹	F ₁	
۰/۹۹۷	۱/۹۱۹۶۲	۰/۳۸۳	F ₃	
۰/۰۰۵	۱/۹۱۹۶۲	-۶۰۹۱	F ₄	
۰/۹۰۳	۱/۹۱۹۶۲	-۱/۳۱۲	F ₁	
۰/۹۹۷	۱/۹۱۹۶۲	-۰/۳۸۳	F ₂	

(*) در بالای اعداد جدول بیانگر وجود اختلاف معنی‌دار بین میانگین تیمارها است.

به منظور بررسی و پاسخ به این پرسش که کدام یک از میانگین تیمارها تفاوت معنی‌داری با یکدیگر دارند از آزمون‌های تعقیبی^۱ استفاده می‌کنیم [۱۸]. با توجه به این که تعداد تیمارها بیش از دو است و همچنین مقایسه‌های دوبه‌دو غیرمستقل انجام شده است، از آزمون توکی^۲ برای تعیین تیمارهایی که میانگین آن‌ها با یکدیگر اختلاف دارند، استفاده می‌شود. جدول مقایسه‌های چندگانه میانگین‌ها نشان می‌دهد که تفاوت ایجاد شده بین میانگین‌ها در متغیر EC و TDS ناشی از تفاوت بین میانگین‌های فرکانس ۷۵ هرتز با نمونه شاهد است. تفاوت معنی‌داری میان میانگین در فرکانس‌های ۲۵ هرتز و ۵۰ هرتز با یکدیگر و با فرکانس ۷۵ هرتز و همچنین نمونه شاهد وجود ندارد. لیکن در متغیر Hw تفاوت میانگین‌ها ناشی از تفاوت میان میانگین ارتفاع آب در نمونه شاهد با نمونه‌های استفاده شده در تیمارهای ۲۵، ۵۰ و ۷۵ هرتز است.

(تفاوت معنی‌داری بین میانگین‌های دو تیمار بررسی شده وجود دارد) $\rightarrow \text{If } \text{sig} > 0.05$

گروه‌بندی تیمارها بر اساس جدول همگنی^۳ (جدول ۴)، نشان می‌دهد که:

در متغیر میزان هدایت الکتریکی (EC)

۱. تیمارهای فرکانس‌های ۲۵، ۵۰ و ۷۵ هرتز (f_3, f_2, f_1) از نظر میزان همگنی میانگین‌ها در یک گروه قرار دارند.

۲. تیمارهای فرکانس‌های ۲۵، ۵۰ (f_2, f_1) و نمونه شاهد از نظر میزان همگنی میانگین‌ها در یک گروه قرار دارند.

نتیجه این که تفاوت میانگین‌ها در چهار تیمار، ناشی از تفاوت بین میانگین فرکانس ۷۵ هرتز و نمونه شاهد است. از این رو، پاسخ سؤال اول تحقیق مبنی بر اثر میدان‌مغناطیسی بر میزان آب مثبت است و این اثر در فرکانس ۷۵ هرتز به خوبی نشان داده شده است.

جدول ۴. جدول همگنی

تیمار (F_i)	هدایت الکتریکی	کل مواد جامد محلول در آب	ارتفاع سطح آب	گروه ۱	گروه ۲	گروه ۱	گروه ۲	$\alpha = 0.05$
				گروه ۱	گروه ۲	۱	۲	
۷/۰۴۶					۳۶۱/۱		۵۶۴/۲	f4
۷/۴۲۹		۴۱۸/۸		۴۱۸/۸		۶۵۴/۴۵	۶۵۴/۴۵	f1
۸/۳۵۸		۴۹۰/۶		۴۹۰/۶		۷۵۵/۷	۷۵۵/۷	f2
۱۴/۳۳۹		۵۳۹/۳				۸۱۹/۳		f3

در متغیر میزان کل مواد جامد محلول در آب (TDS)

۱. تیمارهای فرکانس‌های ۲۵، ۵۰ و ۷۵ هرتز (f_3, f_2, f_1) از نظر میزان همگنی میانگین‌ها

در یک گروه قرار دارند.

۲. تیمارهای فرکانس‌های ۲۵، ۵۰ (f_2, f_1) و نمونه شاهد از نظر میزان همگنی میانگین‌ها

در یک گروه قرار دارند.

نتیجه این که تفاوت میانگین‌ها در چهار تیمار، ناشی از تفاوت بین میانگین فرکانس ۷۵ هرتز

و نمونه شاهد است. پاسخ به سؤال دوم تحقیق مبنی بر اثر میدان مغناطیسی بر میزان TDS

آب نیز مثبت و این اثر در فرکانس ۷۵ هرتز به خوبی نشان داده شده است.

در متغیر میزان ارتفاع آب (Hw)

۱. تیمارهای فرکانس‌های ۲۵، ۵۰ و ۷۵ هرتز (f_3, f_2, f_1) از نظر میزان همگنی میانگین‌ها

در یک گروه قرار دارند.

۲. تیمار نمونه شاهد از نظر میزان همگنی میانگین‌ها در یک گروه قرار دارد.

نتیجه این که تفاوت میانگین‌ها در چهار تیمار، ناشی از تفاوت بین میانگین فرکانس‌های ۲۵،

۵۰ و ۷۵ هرتز و نمونه شاهد است. از این رو، پاسخ به سؤال سوم تحقیق مبنی بر اثر میدان

مغناطیسی بر کاهش ارتفاع سطح آب مثبت و این اثر در هر ۳ فرکانس مشاهده شده است.

برای بررسی میزان اثر تیمارهای سه‌گانه گروه ۱ براساس آزمون توکی در متغیر Hw از رابطه ۲

استفاده می‌کنیم [۱۹].

$$ES = \frac{\bar{X}_i - \bar{X}_j}{\sqrt{MSW}} \quad (2)$$

صورت کسر در رابطه ۲ نشان‌دهنده اختلاف میانگین‌های دو گروه مقایسه شده و مخرج کسر

نشان‌دهنده ارزش مریع میانگین‌های درون گروهی است. این مقدار برای تغییر در ارتفاع آب

برابر است با:

$$Es \text{ For } f1/f4 \rightarrow 1.393$$

$$Es \text{ For } f2/f4 \rightarrow 1.61$$

$$Es \text{ For } f3/f4 \rightarrow 1.69$$

نتایج محاسبه میزان ES برای تفاوت معنی‌دار شده میانگین‌ها در متغیر Hw نشان می‌دهد

که سهم فرکانس ۷۵ هرتز در ایجاد این تفاوت از سهم فرکانس ۵۰ هرتز و به طور مشابه سهم

فرکانس ۵۰ هرتز از سهم فرکانس ۲۵ هرتز بیشتر است.

در پاسخ به سؤال چهارم، نتایج آزمایش‌ها نشان می‌دهد که تغییر در فرکانس موجب ایجاد تغییرات بخشی در EC و TDS و تغییر کامل در ارتفاع سطح آب می‌شود. شایان ذکر است که تغییرات بخشی یافت شده در این تحقیق در دامنه ۳ فرکانس مورد استفاده در آزمایش‌ها است.

نتیجه‌گیری و پیشنهادات

با استناد به نتایج به دست آمده از نمونه‌های آزمایشگاهی، وجود میدان مغناطیسی در مشخصه‌های آب از جمله هدایت الکتریکی، میزان مواد جامد محلول در آب و سطح و حجم آب که به عنوان متغیرهای وابسته از آن‌ها یاد می‌شود، تأثیرگذار است، همچنین ایجاد تغییر در فرکانس میدان‌های مغناطیسی و الکترومغناطیسی و افزایش شدت آن سبب افزایش دامنه تغییرات در متغیرها می‌شود. علت این امر را می‌توان در یونیزه شدن آب تحت تأثیر میدان و به تبع آن افزایش غلظت املاح در آب دانست. عدم تفاوت در میانگین نمونه ۲۵ و ۵۰ هرتز با نمونه شاهد و وجود تفاوت معنی‌دار بین میانگین نمونه ۷۵ هرتز و نمونه شاهد در متغیرهای هدایت الکتریکی و مواد جامد محلول، گواه بر این مدعای است که میزان تأثیر هر فرکانس در متغیرهای وابسته، تابع شرایط و متغیرهای مداخله‌گر از جمله حجم نمونه مورد آزمایش، نوع آب موجود در نمونه، دمای محیط و غیره است. وجود شبکه نسبتاً متراکم دستگاه‌های اندازه‌گیری EC و TDS به همراه تجهیزات مناسب برای ثبت تغییرات و برداشت‌های دقیق در نواحی لزه‌خیز و بالاخص در نواحی سطحی و عمقی زردیک به مرکز زلزله در کنار ثبت دقیق سایر پیش‌نشان‌گرهای زلزله از جمله ناهنجاری‌های میدان‌مغناطیسی، می‌تواند کمک شایانی در پیش‌بینی کوتاه مدت و در برخی موارد میان مدت زلزله داشته باشد و از ایجاد خسارت‌های جبران‌ناپذیر ناشی از این پدیده جلوگیری کند.

از آن‌جا که نمودار β نسبت به δ منحنی مشخصه عمل کرد آزمون حجم نمونه خاص است و خطای β تابعی از حجم نمونه است [۱۸]، از دلایلی که سبب عدم تفاوت بین میانگین تیمارهای ۱، ۲ و ۳ در متغیرهای EC و TDS نمونه‌ها می‌شود، می‌تواند ناشی از خطای نوع دوم (β) و حجم نمونه باشد از این رو، پیشنهاد می‌شود تحقیقات آتی با حجم متفاوتی از نمونه‌ها و تیمارها انجام پذیرد.

زمانی که تیمارها با شاهد مقایسه می‌شوند، در نظر گرفتن مشاهدات بیشتر برای تیمار شاهد نسبت به تیمارهای دیگر، سبب کاهش خطا در اندازه‌گیری تیمار شاهد شده و دقت عملیات را افزایش می‌دهد [۲۰]. از این‌رو، پیشنهاد می‌شود در تحقیقات آتی تعداد تیمار شاهد را افزایش و با استفاده از میانگین داده‌های به‌دست آمده از آن، به بررسی تفاوت میان نمونه شاهد و سایر تیمارها پرداخته شود.

همچنین با ایجاد مداری که فرکانس متغیر در طول زمان دارد، به‌طوری‌که در بازه زمانی ۱۰ روزه فرکانس میدان بین ۳۰۰،۰۱ تا ۳۰ هرتز تغییر یابد و هر دامنه فرکانسی نیز به‌مدت ۱ تا ۳۰ ثانیه در مدار ایجاد شود، می‌توان به نتایج آزمایشگاهی بهتر و مستندتری دست یافت.

قدردانی

از همکاری صمیمانه خانم دکتر عارفه رزازی در تحلیل بهتر نتایج به‌دست آمده از آزمایش‌ها و گزاره‌های آماری موجود در تحقیق، تشکر و قدردانی می‌شود.

منابع

۱. موتوهیکو، حسنی ن، اسلامی م، زلزله در آلبوم تجربه (فرآگیری مهندسی زلزله با مشاهده خرابی-های، انتشارات شرکت یادمان سازه (۱۳۸۲).
۲. رئوفی ع، مبانی مهندسی زلزله، انتشارات آستان قدس رضوی، چاپ دوم (۱۳۸۸).
۳. Hamodi J., Sadeqi R., Hassani N., "Aquifer's Anomalies a Tool for Earthquake Prediction" International Conference on New Advances in Civil Engineering, Cyprus, Sep. (2008).
۴. مختاری م، شاهپسند م، یمینی‌فرد ف، مهشادنیا ل، شیرزادی م، میین پ، اکبری م، مقدمه‌ای بر مطالعات پیش‌بینی زمین‌لرزه، انتشارات ناقوس (۱۳۸۷) ۵۳-۸۴.
۵. حسنی ن، و همکاران، مقدمه‌ای بر پیش‌نشانگرها و پیش‌بینی زلزله (۱۳۸۸).
۶. صداقت ر، اسکوبی ب، معرفی پیش‌نشانگرهای الکترومغناطیسی، مؤسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران، اولین همایش پیش‌نشانگرهای زلزله (۱۳۸۶).
7. Merril R.T., McElhinny M.W., McFadden P.L., "The magnetic field of the earth", 1st edition, Academic Press (1998) 67-68.

8. Griffiths D.J. "Introduction to Electrodynamics" , 2nd edition, Pearson (1989) 100-107.
9. Bleier T., Dunson C., Alvarez C., Freund F., Dahlgren R., "Correlation of Pre-earthquake Electromagnetic Signals with Laboratory and Field Rock Experiments", Nat. Hazards Earth Syst. Sci. (2010).
10. Maxwell R., Carle S., Seitz G., "Environmental Research in California and Beyond", California environmental project (2001).
11. Fraser-Smith A.C., Bernardi A., McGill P.R., Ladd M.E., Helliwell R.A. Villard Jr. O.G., "Low-Frequency Magnetic Field Measurements Near the Epicenter of the Ms 7.1 Loma Prieta Earthquake, Geophysical Research Letters" (1990).
12. Thomas J.N., Love J.J., Johnston M.J., Yumoto K., "On the reported magnetic precursor of the 1993 Guam earthquake", Geophysical Research Letters Vol.36, L16301 (2009).
13. Hartmann J., Levy J.K., "Hydrogeological and Gas Geochemical Earthquake Precursors-A Review for Application Natural Hazards", Vol.34 (2005) 279-304.
14. "Select USGS Virginia Monitoring Wells"- "Groundwater-Level Response to Virginia Earthquake", August 23th (2011) <http://water.usgs.gov/ogw/>.
۱۵. فارسی م، طرح‌های آزمایشی در علوم کشاورزی، انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد (۱۳۸۷).
16. Chaplin M., "Water Structure and Science", E-Book, LSBU (2012).
۱۷. سرمهد ز، بازرگان ع، حجازی ا، روشن‌های تحقیق در علوم رفتاری، انتشارات آگاه (۱۳۸۴).
۱۸. مونت گمری د، ترجمه: شاهکار غ، طرح و تحلیل آزمایش‌ها، انتشارات مرکز دانشگاهی، ۹۲-۹۱ (۱۳۸۰).
19. Christensen R., "Analysis of Variance, Design and Regression" (1998) 156.
۲۰. مونت گمری د، ترجمه: شاهکار غ، طرح و تحلیل آزمایش‌ها، انتشارات مرکز دانشگاهی (۱۳۸۰).