

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک

گروه مهندسی نفت و ژئوفیزیک

**ارزیابی شرایط زیرسطحی منطقه فرونشست توس در غرب مشهد با برداشت مقاومت
ویژه حاصل از سیگنال‌های الکتریکی مربعی**

رویا متذکری

اساتید راهنما

دکتر علی مرادزاده

دکتر اصغر آزادی

استاد مشاور

دکتر ناصر حافظی مقدس

پایان نامه جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد

شهریور ۱۳۹۴

دانشگاه شاهرود

دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک

گروه مهندسی نفت و ژئوفیزیک

پایان نامه کارشناسی ارشد خانم رویا متذکری

تحت عنوان:

ارزیابی شرایط زیرسطحی منطقه فرونشست توس در غرب مشهد با برداشت مقاومت ویژه حاصل از سیگنال‌های
الکتریکی مربعی

مورد ارزیابی

توسط کمیته تخصصی زیر جهت اخذ مدرک کارشناسی ارشد
مورد پذیرش قرار گرفت.

در تاریخ
و با درجه

امضاء	اساتید مشاور	امضاء	اساتید راهنما
	نام و نام خانوادگی :		نام و نام خانوادگی :
	نام و نام خانوادگی :		نام و نام خانوادگی :

امضاء	نماینده تحصیلات تکمیلی	امضاء	اساتید داور
	نام و نام خانوادگی :		نام و نام خانوادگی :
			نام و نام خانوادگی :
			نام و نام خانوادگی :
			نام و نام خانوادگی :

تقدیم بہ پدر، مادر و ہمسر عزیزم

کہ از نگاہشان صلابت

از رفتارشان محبت

و از صبرشان ایستادگی را آموختم

مشکر و قدردانی

باتقدیر و درود فراوان خدمت پدر و مادر و بسیار عزیزان و دوستان و دوستانم که پیوسته جرحه نوش جام تعلیم و تربیت، فضیلت و انسانیت آنها بوده ام و نیز همسرم که در سایه همیاری و بهیوی او به این منظور نائل شدم.

از اساتید گرامی و ارجمند جناب آقایان دکتر علی مرادزاده و دکتر اصغر آزادی که با سه صدر و رهنمودهای ارزنده شان در تمام مراحل پایان نامه مشوق من بوده اند و با ارائه راهنمایی‌های بسیار ارزشمند سبب غنای این پژوهش گردیدند کمال تشکر و قدردانی را دارم. از جناب آقای دکتر حافظی مقدس که مشاوره این پروژه را بر عهده داشتند سپاسگزارم. از اساتید محترم گروه ژئوفیزیک دانشگاه مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک دانشگاه شاهرود که افتخار ساگردی ایشان را داشته‌ام و نیز عزیزانی که توفیق حضور در محضرشان میسر شد، قدردانی می‌نمایم و از خداوند مهربان برایشان توفیقات روز افزون خواستارم.

انجام این پایان نامه با حمایت مالی و اطلاعاتی شرکت مهندسین مشاور زمین فزیک پویا امکان پذیر گردید لذا از مدیرعامل محترم این شرکت، مسئولین طرح و کلیه کارشناسان این شرکت نهایت سپاس را دارم. از آقایان مهندس امانیان و مهندس جلادت کمال تشکر را می‌نمایم و برای تکلیک این عزیزان آرزوی سعادت و سربلندی دارم.

و با تشکر خالصانه خدمت همه کسانی که به نوعی مراد به انجام رساندن این مهم یاری نموده اند.



این پایان نامه با حمایت اطلاعاتی و پشتیبانی مالی شرکت

مهندسين مشاور زمين فيزيك پورا اجرا شده است

تعهد نامه

اینجانب رویا متذکری دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته ژئوفیزیک (ژئوالکتریک) دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک دانشگاه شاهرود نویسنده پایان نامه ارزیابی شرایط زیرسطحی منطقه فرونشست توس در غرب مشهد با برداشت مقاومت ویژه حاصل از سیگنالهای الکتریکی مربعی تحت راهنمایی آقایان دکتر علی مرادزاده و دکتر اصغر آزادی متعهد می شوم .

- تحقیقات در این پایان نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است .
- در استفاده از نتایج پژوهشهای محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است .
- مطالب مندرج در پایان نامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است .
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد و مقالات مستخرج با نام « دانشگاه شاهرود » و یا « Shahrood University » به چاپ خواهد رسید .
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان نامه تأثیرگذار بوده اند در مقالات مستخرج از پایان نامه رعایت می گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه ، در مواردی که از موجود زنده (یا بافتهای آنها) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است .
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل رازداری ، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است .

تاریخ

امضای دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

- کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج ، کتاب ، برنامه های رایانه ای ، نرم افزار ها و تجهیزات ساخته شده است) متعلق به دانشگاه شاهرود می باشد . این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود .
- استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی باشد.

چکیده

تعیین موقعیت مکانی و امتداد گسل‌های اصلی و شکستگی‌های فرعی ناشی از آن در توسعه شهرها و ساخت سازه‌ها و ابنیه اساسی به لحاظ شناسایی مناطق با پتانسیل لرزه‌خیزی بالا از اهمیت فوق العاده‌ای برخوردار است. یکی از مشکلات استفاده از روش‌های متداول مقاومت‌سنجی الکتریکی برای تعیین ساختارهای مورد مطالعه، تعیین وضعیت لایه‌ها و ساختارهای عمیق، نداشتن و یا کم بودن اختلاف پتانسیل الکتریکی می‌باشد. همچنین در بعضی موارد به علت وجود موانع طبیعی و محیط‌های شهری، گسترش کابل‌ها در مقیاس‌های وسیع امکان پذیر نمی‌باشد. در مطالعه حاضر هدف بر این است تا با استفاده از یک فرستنده جریان الکتریکی پر قدرت و تزریق سیگنال‌های مربعی، عمق نفوذ جریان‌های ارسالی افزایش داده شود و با ثبت طیف پیوسته اختلاف پتانسیل بین مجموعه الکترودهای پتانسیل با دستگاه‌های گیرنده دقیق چند کاناله عملکرد گسل‌های مدفون عمیق در منطقه توس مشهد مورد شناسایی قرار گیرند.

برای این منظور از یک نوع خاص آرایش مستطیلی با فرم دوقطبی‌های عمود بر هم با ۲۰ الکترودهای پتانسیل ثابت در ۴ پروفیل موازی و در راستای عمود بر خط واصل الکترودهای جریان استفاده شد. پس از برداشت داده‌ها، نوفه‌های تأثیر گذار شناسایی شده و بهترین روش‌ها برای حذف و یا کاهش اثر نوفه به کار برده شد. نتایج حاصل به صورت نقشه‌های مقاومت ویژه ترسیم شدند و محل عبور گسل-های احتمالی تشخیص داده شد. نتایج حاصل نشان می‌دهد که روش ژئوالکتریک بکار گرفته شده با توجه به نوع آرایش استفاده شده می‌تواند کمک مهمی در تعیین هندسه گسل‌ها مخصوصاً گسل-های پنهان در مناطق مسکونی بنماید و علاوه بر آن نتایج نشان می‌دهند که در محدوده مورد مطالعه دو گسل عمیق با روند تقریباً شمالی-جنوبی ساختارهای زمین شناسی منطقه را تحت تأثیر قرار داده‌اند؛ که در کارهای مهندسی باید مورد توجه ویژه قرار گیرند.

واژه‌های کلیدی: گسل‌های پنهان، مقاومت ویژه، جریان‌های مربعی، اختلاف پتانسیل،

نوفه، مقاومت ویژه الکتریکی

لیست مقالات مستخرج از پایان نامه

- ۱- پردازش الکترونگاشت های مربعی و روش های حذف نوفه از آن ها، کنفرانس بین المللی پژوهش در مهندسی، علوم و تکنولوژی، ۳۰ تیر ۹۴، استانبول، ترکیه
- ۲- اکتشاف گسل های پنهان با استفاده از سیگنال های مربعی (مطالعه موردی منطقه توس مشهد)، هفتمین همایش انجمن زمین شناسی اقتصادی ایران، ۱۸ و ۱۹ شهریور ۹۴، دانشگاه دامغان
- ۳- بررسی روش های حذف نوفه از سیگنال های الکتریکی مربعی، دومین کنفرانس بین المللی ژئوتکنیک و مهندسی لرزه ای، ۱۶ تا ۱۸ شهریور ۹۴، تبریز
- ۴- اکتشاف گسل های پنهان به روش مقاومت سنجی الکتریکی در منطقه توس مشهد، اولین همایش ملی مهندسی عمران و زمین شناسی، ۲۵ و ۲۶ شهریور ۹۴، دانشگاه آزاد اسلامی واحد الیگودرز

فهرست مطالب

فصل اول

- ۱-۱ مقدمه ۲
- ۲-۱ اهمیت و ضرورت انجام پژوهش ۳
- ۳-۱ بیان مسئله و هدف / انجام تحقیق ۴
- ۴-۱ بیان ساختار پایان نامه ۶

فصل دوم

- ۱-۲ مقدمه ۸
- ۲-۲ مبانی تئوری مقاومت ویژه ۸
- ۳-۲ ماهیت رسانایی الکتریکی مواد معدنی ۱۰
- ۴-۲ مقاومت ویژه مواد معدنی و سنگها ۱۱
- ۵-۲ پارامترهای ژئوالکتریکی ۱۴
- ۶-۲ معرفی انواع آرایه ها در روش مقاومت سنجی الکتریکی ۱۴
- ۷-۲ انواع برداشت های مقاومت ویژه ۲۰
- ۸-۲ تابع حساسیت دوبعدی - تفکیک پذیری قائم و جانبی ۲۰
- ۹-۲ تفکیک پذیری قائم و جانبی آرایش های الکترودی مختلف ۲۳
- ۱۰-۲ مطالعه گسلها به روش ژئوالکتریک ۲۸

فصل سوم

- ۱-۳ موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه ۳۴
- ۲-۳ ویژگی های زمین شناسی گستره مشهد ۳۵
- ۳-۳ گسل های مهم گستره پیرامون مشهد ۳۷
- ۴-۳ مطالعات ژئوالکتریک انجام شده در دشت مشهد ۴۰

فصل چهارم

- ۱-۴ مقدمه ۴۴
- ۲-۴ دستگاه های اندازه گیری ۴۴
- ۳-۴ محدوده کار و انتخاب پارامترهای دستگاه فرستنده جریان ۴۶

- ۴-۴ دستگاه گیرنده سایزموگراف pasi مدل 16s-12u ۴۶
- ۴-۵ دستگاه گیرنده سایزموگراف رقمی seistronix RAS-24 ۴۹
- ۴-۶ روش جمع آوری داده ها ۴۹
- ۴-۷ انواع نوفه های الکتریکی ۵۳
- ۴-۷-۱ نوفه پتانسیل خودزا ۵۳
- ۴-۷-۲ روش برانباشت داده ها برای کاهش اثر نوفه الکتریک ۵۶
- ۴-۷-۳ روش هموارسازی ۵۷
- ۴-۷-۴ نوفه تلوریک ۵۸
- ۴-۷-۵ نوفه پلاریزاسیون القایی ۵۸
- ۴-۷-۶ نوفه دستگاهی ۵۹
- ۴-۷-۷ نوفه های مرکب ۵۹
- ۴-۸ پردازش داده ها ۶۰

فصل پنجم

- ۵-۱ نتیجه گیری ۶۸
- ۵-۲ پیشنهادات ۶۹

فهرست شکل ها

صفحه	عنوان
۱۱.....	شکل ۱-۲- میدان الکتریکی موجود در مواد زمین
۱۳.....	شکل ۲-۲- مقاومت ویژه مواد زمین.....
۱۶.....	شکل ۳-۲- انواع آرایه های سطحی ژئوالکتریک.....
۱۷.....	شکل ۴-۲- آرایه های زیر گروه I.....
۱۸.....	شکل ۵-۲- آرایه های زیر گروه II.....
۱۹.....	شکل ۶-۲- آرایه های مورد استفاده جهت تعیین اختلاف پتانسیل و نحوه محاسبه ضریب هندسی.....
۲۱.....	شکل ۷-۲- نمای دوبعدی زمین لایه ای.....
۲۷.....	شکل ۸-۲- تابع حساسیت دوبعدی برای آرایه دوقطبی- دوقطبی و nهای ۱، ۲، ۴ و ۶.....
۳۳.....	شکل ۱-۳- موقعیت شهر مشهد در حوضه آبریز کشف رود و دشت مشهد.....
۳۴.....	شکل ۲-۳- نقشه هوایی شهر مشهد و منطقه مطالعاتی.....
۳۵.....	شکل ۳-۳- موقعیت شهر مشهد و گسلهای کشف رود، شاندیز، بینالود و توس.....
۳۶.....	شکل ۴-۳- برش عرضی ساده شده از ناهمواریها و واحدهای زمین شناسی گستره مورد مطالعه از کوههای بینالود تا کوههای هزارمسجد.....
۳۸.....	شکل ۵-۳- نقشه منطقه مورد مطالعه و گسل های منطقه.....
۴۳.....	شکل ۱-۴- دستگاه یکسو کننده جریان.....
۴۳.....	شکل ۲-۴- دستگاه فرستنده جریان الکتریکی.....
۴۴.....	شکل ۳-۴- دستگاه مورد استفاده برای انتخاب الکترودهای قرار گیرنده در مدار.....

- شکل ۴-۴- دستگاه سایزموگراف مدل 16 S-U..... ۴۵
- شکل ۵-۴- دستگاه سایزموگراف رقومی ras-24..... ۴۷
- شکل ۶-۴- نحوه چینش الکترودها در سیستم ۴۸ کاناله..... ۴۷
- شکل ۷-۴- موقعیت الکترودها و پروفیل های برداشت ۴۹
- شکل ۸-۴- نمایی واقعی از نحوه قرارگیری الکترودهای پتانسیل..... ۴۹
- شکل ۹-۴- نحوه چیدمان الکترودهای جریان و پتانسیل..... ۵۰
- شکل ۱۰-۴- تصویر الکتروود کلرید سربی و برنجی و نمودار مقایسه‌ای پتانسیل خودزا آن دو الکتروود..... ۵۲
- شکل ۱۱-۴- نمونه ای از نوفه برداشت شده توسط دستگاه ثبات (دیتالاگر) ۱۶ بیتی..... ۵۳
- شکل ۱۲-۴- نمونه ای از نگاشت برداشت شده در زیر دکل برق..... ۵۴
- شکل ۱۳-۴- نگاشت داده برداشت شده در منطقه مورد مطالعه؛ پایین: همان نگاشت پس از برانبارش داده ها..... ۵۵
- شکل ۱۴-۴- نمونه ای سیگنال خام بدست آمده در منطقه مورد مطالعه (پایین) همان سیگنال پس از هموارسازی..... ۵۶
- شکل ۱۵-۴- نمونه ای از تفکیک نگاشت‌های ترکیبی، (بالا) نمونه ای از نگاشت نوفه ترکیبی فرکانس پایین و بالا (وسط) نگاشت تفکیک شده، (پایین) نگاشت تصحیح شده..... ۵۷
- شکل ۱۶-۴- (بالا) نمونه ای از سیگنال خام به همراه نوفه مربوط به پروفیل EF (پایین) همان سیگنال پس از پردازش..... ۵۹
- شکل ۱۷-۴- (بالا) نمونه ای از سیگنال خام به همراه نوفه مربوط به پروفیل EF (پایین) همان سیگنال پس از پردازش..... ۵۹
- شکل ۱۸-۴- (بالا) نمونه ای از سیگنال خام به همراه نوفه ترکیبی مربوط به پروفیل CD (پایین) همان سیگنال پس از پردازش..... ۶۰
- شکل ۱۹-۴- الف : مقطع مقاومت ویژه ظاهری بر روی پروفیل CD..... ۶۲
- شکل ۱۹-۴- ب : مقطع هم مقاومت ویژه ظاهری بر روی پروفیل EF..... ۶۲
- شکل ۱۹-۴- ج : مقطع هم مقاومت ویژه ظاهری بر روی پروفیل GH..... ۶۳
- شکل ۱۹-۴- د: مقطع هم مقاومت ویژه ظاهری بر روی پروفیل KL..... ۶۳

- شکل ۴-۲۰- نقشه کلی از مقاطع بدست آمده در عمق ۱۵۰ متری..... ۶۵
- شکل ۴-۲۱- نقشه هوایی گسل‌های دشت مشهد..... ۶۵
- شکل الف-۱- شکل بالا سیگنال خام به همراه نوفه قبل از پردازش مربوط به پروفیل CD، شکل پایین همان سیگنال پس از پردازش..... ۷۰
- شکل الف-۲- شکل بالا سیگنال خام به همراه نوفه قبل از پردازش مربوط به پروفیل CD، شکل پایین همان سیگنال پس از پردازش..... ۷۰
- شکل الف-۳- شکل بالا سیگنال خام به همراه نوفه قبل از پردازش مربوط به پروفیل EF، شکل پایین همان سیگنال پس از پردازش..... ۷۱
- شکل الف-۴- شکل بالا سیگنال خام به همراه نوفه قبل از پردازش مربوط به پروفیل EF، شکل پایین همان سیگنال پس از پردازش..... ۷۱
- شکل الف-۵- شکل بالا سیگنال خام به همراه نوفه قبل از پردازش مربوط به پروفیل GH، شکل پایین همان سیگنال پس از پردازش..... ۷۲
- شکل الف-۶- شکل بالا سیگنال خام به همراه نوفه قبل از پردازش مربوط به پروفیل GH، شکل پایین همان سیگنال پس از پردازش..... ۷۲
- شکل الف-۷- شکل بالا سیگنال خام به همراه نوفه قبل از پردازش مربوط به پروفیل KL، شکل پایین همان سیگنال پس از پردازش..... ۷۳
- شکل الف-۸- شکل بالا سیگنال خام به همراه نوفه قبل از پردازش مربوط به پروفیل KL، شکل پایین همان سیگنال پس از پردازش..... ۷۳
- شکل الف-۹- شکل بالا سیگنال خام به همراه نوفه قبل از پردازش مربوط به پروفیل CD، شکل پایین همان سیگنال پس از پردازش..... ۷۴
- شکل الف-۱۰- شکل بالا سیگنال خام به همراه نوفه قبل از پردازش مربوط به پروفیل EF، شکل پایین همان سیگنال پس از پردازش..... ۷۴
- شکل (ب-۱): برازش مناسبترین خط بر روی نمودار..... ۷۷
- شکل (ب-۲): رسم نگاشت نهایی پس از انجام پردازشات مختلف..... ۷۸

فهرست جدول ها

عنوان	صفحه
جدول ۳-۱- غسل‌های جنبا و با توان جنبایی در گستره شعاع ۱۰۰ کیلومتری پیرامون مشهد	۳۸
جدول ۳-۲- تعداد سونداژ و پروفیل ژئوالکتریک محدوده مشهد.....	۴۰
جدول ۴-۱- ویژگی‌های فنی دستگاه سائزموگراف مدل 16S-u	۴۶
جدول ۴-۲- انواع نوفه‌ها، منشأ، شکل تقریبی و روش‌های حذف آنها.....	۵۸
جدول (ب-۱): استخراج داده ها.....	۷۴
جدول (ب-۲): تبدیل داده ها به اختلاف پتانسیل.....	۷۴
جدول (ب-۳): برآیند داده ها.....	۷۵
جدول (ب-۴): جمع داده های استک شده با نویز پس زمینه.....	۷۵
جدول (ب-۵): هموارسازی داده ها.....	۷۶
جدول (ب-۶): میانگین گیری هر یک ثانیه.....	۷۶
جدول (ب-۷): جایگزینی زمان در معادله خط.....	۷۷
جدول (ب-۸): تصحیح خط مبنا.....	۷۸

فصل اول

مقدمه و کلیات

۱-۱ مقدمه

روش‌های ژئوفیزیکی با بکارگیری برداشت‌های نسبتاً سریع، قادر به برطرف کردن کاستی‌های مهم موجود در اطلاعات زمین‌شناسی زیرسطحی می‌باشند. از میان روش‌های ژئوفیزیک روش ژئوالکتریک به عنوان یکی از آسان‌ترین و موثرترین تکنیک‌های قابل استفاده در شناسایی گسل‌های مدفون و پنهان می‌باشد. معمولاً شناسایی گسل‌ها با توجه به اختلاف خواص فیزیکی لایه‌های اطراف گسل امکان پذیر است. با توجه به اینکه این گسل‌ها اغلب عمودی یا تقریباً عمودی هستند، شناسایی آن‌ها به روش حفاری (حتی در مواردی که شبکه حفاری متراکم باشد) دشوار و گاهی غیر ممکن است. این نکته، نقش ارزشمند روش‌های ژئوالکتریک را در این مطالعات نشان می‌دهد.

از میان روش‌های مختلف که برای شناسایی گسل‌ها استفاده می‌شود، روش مقاومت‌ویژه به دلیل همبستگی خوب بین مقاومت‌ویژه الکتریکی و ساختار زمین‌شناسی و همچنین محتوای آب و دقت نسبتاً بالا مورد توجه قرار گرفته است (Zohdy, 1969). در روش مقاومت‌ویژه آرایه‌های الکترودی متفاوتی وجود دارند؛ که هر کدام دارای مزایا و محدودیت‌های مربوط به خود می‌باشند. از این رو هر کدام برای مقاصد خاصی مورد استفاده قرار می‌گیرند. بررسی منابع نشان می‌دهد که این روش‌ها در مطالعات مهندسی مختلفی برای شناسایی گسل‌های مدفون با موفقیت مورد استفاده قرار گرفته است.

استورز و همکاران برای بررسی لایه‌های عمیق زمین و کاهش نوفه‌ها از روش برداشت به صورت سری زمانی، با تأکید بر انباشت، تکرار و فیلتر کردن استفاده کردند (Storz et al, 2000). در این پژوهش در نظر است به بررسی منطقه فرونشستی توس در غرب مشهد پرداخته شود و با بکارگیری روش مقاومت ویژه و برداشت داده‌ها به صورت سری زمانی و استفاده از گونه خاصی از آرایش مستطیلی (گرادیان) با دوقطبی‌های عمود بر هم، گسل‌های احتمالی مدفون عبوری از منطقه مشخص شوند.

۲-۱ اهمیت و ضرورت انجام پژوهش

می‌توان انتظار داشت که اطلاع از فرایندهای زمین‌شناسی و زمین‌ساختی کنترل‌کننده ساختار سطحی زمین در نهایت به اهدافی تجربی‌تر نظیر اکتشاف منابع معدنی و پیش‌بینی زلزله کمک کند. از آنجا که ایران از لحاظ فعالیت‌های ژئودینامیکی منطقه فعالی است؛ بررسی این تغییرات به منظور پیشگیری از خسارت‌های احتمالی، یکی از مهمترین رویکردهایی است که باید مورد توجه قرار گیرد.

مطالعه گسل‌ها در علوم مهندسی از جهات مختلف حائز اهمیت می‌باشد. تعیین موقعیت مکانی و امتداد گسل‌های اصلی و شکستگی‌های فرعی ناشی از آن، در توسعه شهرها و ساخت سازه‌ها و ابنیه اساسی به لحاظ شناسایی مناطق با پتانسیل لرزه‌خیزی بالا از اهمیت فوق العاده‌ای برخوردار است. همچنین تعیین تغییرات جانبی ساختارهای درون زمین به منظور تشخیص اثرات ناشی از آن بر روی سازه‌های عظیم همچون سدها و مخازن بر کسی پوشیده نیست. به علاوه نقش گسل‌ها در زهکشی منابع آب زیرزمینی، ایجاد سدهای طبیعی زیرزمینی و منابع آب جمع شده در درزه و شکستگی‌ها به منظور تأمین آب مورد نیاز شرب، صنعت و کشاورزی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است.

با توجه به اینکه مشهد مقدس، یکی از کلان شهرهای ایران، علاوه بر ازدیاد تراکم جمعیت ساکن و زائرین چند میلیونی، با بافت فرسوده ابنیه‌های مسکونی روبرو است، اهمیت شناسایی گسل‌های فعال در این شهر محرز و اجتناب ناپذیر است. ناکافی بودن اطلاعات لرزه‌ای دستگاهی برای بازه‌های زمانی بسیار طولانی و هم‌چنین آگاهی اندک از چشمه‌های زمین‌لرزه‌ها و وضعیت نامشخص روند گسل‌ها، متخصصین لرزه زمین‌ساخت و زلزله‌شناسی را بر آن داشته است تا برای شناسایی و تعیین هندسه گسلها از روشهای اکتشافی ژئوفیزیک استفاده کنند. روش مقاومت ویژه نسبت به سایر روشها ارزان‌تر و دارای تنوع آرایش برداشت بیشتری می‌باشد. با به کارگیری تجهیزات جدید مانند فرستنده جریان پر قدرت و ثبت داده با دستگاه‌های ثبت رقومی داده‌ها (دیتالاگر)، حذف کابل‌های طولیل و برداشت به صورت دو بعدی، سه بعدی، القایی و طیفی می‌توان وضعیت هندسه گسل را تا اعماق زیاد مشخص

کرد. اهمیت به کارگیری این روش ژئوفیزیکی زمانی مشخص می‌شود که قصد مطالعه و شناسایی روند گسل‌ها را در مناطق شهری داشته باشیم زیرا در مناطق شهری پهن کردن کابل‌های طویل بسیار زمانبر و پرهزینه می‌باشد به خصوص اگر قصد شناسایی گسل‌هایی را داشته باشیم که چندین کیلومتر طول دارند.

۱-۳ بیان مسئله و هدف از انجام تحقیق

یکی از مشکلات استفاده از روش‌های متداول مقاومت سنجی الکتریکی برای تعیین وضعیت لایه‌های عمیق، نداشتن و یا کم بودن اختلاف پتانسیل الکتریکی اندازه‌گیری شده بین دو الکتروود پتانسیل می‌باشد. وجود نوفه‌های الکتریکی مسیر خطوط انتقال نیرو، جریانهای سرگردان الکتریکی زمین (تلوریک)، پتانسیل خودزا و پتانسیل القایی باعث می‌شود که پتانسیل الکتریکی اندازه‌گیری شده به شدت تحت تأثیر قرار گیرد. دقت دستگاه‌های ژئوالکتریک معمولی ثبت اختلاف پتانسیل در حدود ۱۰ میلی‌ولت می‌باشد. برای بالا بردن دقت اندازه‌گیری بایستی از دستگاه‌های دقیق‌تری استفاده کرد.

برای از بین بردن این نوفه‌ها همچنین می‌توان از روش انباشت (برانبارش)، تکرار و فیلترینگ به شیوه مناسب استفاده کرد. علاوه بر آن با استفاده از فرستنده پر قدرت جریان الکتریکی می‌توان کیفیت سیگنال‌های دریافتی را افزایش داد. هم‌چنین با استفاده از روش‌های تحلیلی پیشرفته براحتی می‌توان وضعیت هندسی گسل‌ها را مشخص کرد.

از مشکلات دیگر در روش‌های برداشت متداول مقاومت سنجی الکتریکی گسترش طویل کابل‌ها از طرفین می‌باشد. در بعضی موارد بعلت وجود موانع طبیعی و محیط‌های شهری، گسترش کابل‌ها در مقیاس چند کیلومتر امکان‌پذیر نمی‌باشد؛ حتی در صورتی که این موانع وجود نداشته باشد، مدت زمان پهن کردن و مراقبت از کابل در حین برداشت باعث بالا رفتن هزینه و مشکلات برداشت می‌شود؛ بویژه زمانی که ارسال جریان الکتریکی با ولتاژ بالا برای افزایش عمق نفوذ ضرورت داشته باشد. بنابراین استفاده از آرایه‌ای که نیاز به پهن کردن طویل کابل‌ها نباشد در اولویت می‌باشد.

هدف از انجام این پژوهش، ارزیابی شرایط زیرسطحی در منطقه فرونشست توس در غرب مشهد به کمک برداشت داده‌های مقاومت ویژه حاصل از ارسال جریان مربعی با دستگاه فرستنده قوی و گیرنده دیجیتال است. منظور از شرایط زیرسطحی، عوارض ساختاری مانند گسل‌ها، مکانیسم حرکت آن‌ها، جنس و ضخامت لایه‌ها، سنگ کف، حفرات، آبهای زیرزمینی و ... است.

به منظور نیل به اهداف مورد نظر، روشی استفاده خواهد شد که تاکنون در ایران تنها یک بار مورد استفاده قرار گرفته است (جوان دولویی و همکاران، ۱۳۸۷). آنها برای مشخص کردن هندسه گسل توس از آرایش چهارگوش دوقطبی - دوقطبی استفاده شد. در پایان نامه حاضر برای برداشت داده های مقاومت ویژه ساختارهای زیرسطحی، از آرایشی استفاده می‌شود که می‌توان تا حداکثر ۲۴ الکترو پتانسیل را روی زمین قرار داد. برای مثال برای اندازه گیری اول، ۱۰ جفت الکترو پتانسیل و سپس ۱۰ جفت الکترو پتانسیل در مدار قرار می‌گیرند. مزیت منحصر به فردی که در این روش برای اندازه گیری داده‌ها وجود دارد این است که می‌توان جریان ورودی به زمین را تبدیل به پالس مربعی با پهنای مشخص و تعداد سیکل مطلوب کرد و سپس با استفاده از یک دستگاه گیرنده رقمی اختلاف پتانسیل اندازه گیری شده را به صورت نگاشت پیوسته دریافت نموده و با پردازش لازم روی آنها، مقادیر مقاومت ویژه ظاهری را بدست آورد. دستگاه‌های مورد استفاده، دارای دقت خیلی بالاتری نسبت به سایر دستگاه‌های ژئوالکتریک می‌باشند. همچنین با استفاده از فرستنده پر قدرت جریان، به منظور بررسی لایه‌های عمیق تر عمق نفوذ جریان به داخل زمین افزایش داده خواهد شد.

۱-۴ بیان ساختار پایان نامه

این پایان نامه در ۵ فصل به شرح زیر تدوین شده است.

در فصل اول، مقدمه ای درباره نقش روش‌های ژئوالکتریک در بررسی گسل‌ها ارائه شد. همچنین در ادامه ضمن بیان مسئله، به اهمیت، ضرورت، اهداف مطالعه و روش تحقیق پرداخته شده است. در فصل دوم، مبانی نظری مقاومت ویژه، انواع آرایش‌های الکترودی، مزایا و معایب آنها و سوابق مطالعات قبلی، هر یک مورد بررسی قرار گرفته است. در فصل سوم، منطقه مورد مطالعه از لحاظ موقعیت جغرافیایی، ویژگی‌های زمین شناسی، گسل‌های موجود در منطقه و مطالعات ژئوالکتریک انجام شده مورد بررسی قرار گرفته است. در فصل چهارم، نحوه برداشت داده‌ها، بررسی انواع نوفه‌های الکتریکی و روش‌های حذف آنها بیان می‌شود. همچنین چگونگی پردازش نگاشت‌ها برای رسیدن به سیگنال مطلوب و چگونگی تفسیر داده‌ها بیان می‌شود. در انتهای این فصل داده‌های برداشت شده به صورت نقشه‌های عمقی مقاومت ویژه مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرند.

در فصل پنجم خلاصه نتایج و پیشنهادات بیان می‌شود.

فصل دوم

مبانی نظری روش مقاومت ویژه

۱-۲ مقدمه

خصوصیات الکتریکی مواد تشکیل دهنده زیر سطح زمین را می‌توان به صورت الکتریکی یا الکترومغناطیسی مورد بررسی قرار داد. به طور کلی، روش‌های الکتریکی بر مبنای شارش جریان پایدار در زمین (جریان مستقیم یا متناوب) استوار می‌باشند. در این فصل ابتدا به مبانی تئوری مقاومت ویژه، ماهیت رسانایی الکتریکی مواد معدنی و مقاومت ویژه سنگ‌ها پرداخته می‌شود. سپس انواع آرایش‌های مختلف الکترودی بیان شده و مزایا و معایب هر کدام عنوان می‌شود و با توجه به این مزایا و معایب، به معرفی بهترین آرایش و مناسب‌ترین روش برداشت به منظور اکتشاف گسل‌ها خواهیم پرداخت.

۲-۲ مبانی تئوری مقاومت ویژه

هدف کاوش‌های مقاومت ویژه، تعیین توزیع زیرسطحی مقاومت ویژه با انجام یک سری اندازه‌گیری‌های سطحی است. از طریق این اندازه‌گیری‌ها می‌توان مقاومت ویژه واقعی مواد زیرسطحی را به دست آورد. مقاومت ویژه زمین تحت تأثیر پارامترهای زمین‌شناسی مختلفی از جمله محتوی سیال، نوع کانی و درصد کانی‌های تشکیل دهنده، وضعیت رطوبت، درصد اشباع، سطح آب‌های زیرزمینی، درصد شوری آب و تخلخل قرار دارد. در دهه‌های اخیر از کاوش‌های مقاومت ویژه الکتریکی بیشتر در اکتشاف معادن، بررسی‌های هیدروژئولوژی و مطالعات ژئوتکنیکی استفاده شده است و همچنین در کاوش‌های زیست محیطی نیز تبدیل به ابزاری قدرتمند شده است (Dey and Morrison, 1979a).

در کاوش‌های مقاومت ویژه، حداقل از دو الکتروود جریان، یکی مثبت (چشمه جریان) و دیگری منفی (چاهک جریان) استفاده می‌شود. اختلاف پتانسیل بین دو نقطه نیز توسط یک جفت الکتروود دیگر اندازه‌گیری می‌گردد. اختلاف پتانسیل اندازه‌گیری شده در چنین سیستمی برابر خواهد بود با (Knodel, 2008):

$$\Delta\phi = \frac{\rho I}{2\pi} \left(\frac{1}{r_{c1p1}} - \frac{1}{r_{c2p1}} - \frac{1}{r_{c1p2}} + \frac{1}{r_{c2p2}} \right) \quad (1-2)$$

که در آن I شدت جریان تزریقی، ρ مقاومت ویژه ظاهری زمین، r_{CiPi} فاصله الکترودهای جریان و پتانسیل از هم می‌باشد. معادله فوق، پتانسیل الکتریکی اندازه‌گیری شده با چهار الکتروده را روی یک نیم فضای همگن و همسانگرد نشان می‌دهد.

در یک برداشت صحرائی واقعی، با یک زمین ناهمگن، ناهمسانگرد و سه بعدی مواجه می‌باشیم، ولی سیستم اندازه‌گیری چهارالکترودی تفاوتی نمی‌کند و جریان را با دو الکتروده به درون زمین فرستاده و با دو الکتروده دیگر پتانسیل اندازه‌گیری می‌شود. با داشتن مقادیر جریان و اختلاف پتانسیل الکتریکی، می‌توانیم مقاومت ویژه ظاهری (ρ_a) را محاسبه کنیم:

$$\rho_a = k \frac{\Delta\phi}{I} \quad (2-2)$$

که در آن، I جریان ورودی به زمین و K ضریب هندسی است و برابر است با:

$$K = \frac{2\pi}{\left(\frac{1}{r_{c1p1}} - \frac{1}{r_{c2p1}} - \frac{1}{r_{c1p2}} + \frac{1}{r_{c2p2}}\right)} \quad (3-2)$$

ضریب هندسی، تابعی از نوع آرایه است و برای هر آرایه‌ای بسته به شکل قرارگیری الکترودها قابل محاسبه است. مقدار $\frac{\Delta\phi}{I}$ ، مقاومت الکتریکی (R) است و دستگاه اندازه‌گیری در واقع این مقدار را بدست می‌آورد که با ضرب آن در یک ضریب هندسی، مقاومت ویژه ظاهری (ρ_a) بدست می‌آید ($\rho_a = k \cdot R$). ρ_a ، مقاومت ویژه واقعی زمین نخواهد بود، بلکه یک مقاومت ویژه "ظاهری" است، یعنی مقاومت ویژه یک زمین همگن و همسانگرد. پاسخ مقاومتی^۱ چنین زمینی به عبور جریان برای آرایه‌های مختلف یکسان است. برای یک زمین واقعی، رابطه بین مقاومت ویژه ظاهری (ρ_a) و مقاومت ویژه واقعی (ρ)، رابطه‌ای پیچیده است. تعیین مقاومت ویژه واقعی از روی مقادیر مقاومت ویژه ظاهری یک مسئله "وارون"^۲ است.

¹ Resistance Response

² Inversion

۳-۲ ماهیت رسانایی الکتریکی مواد معدنی

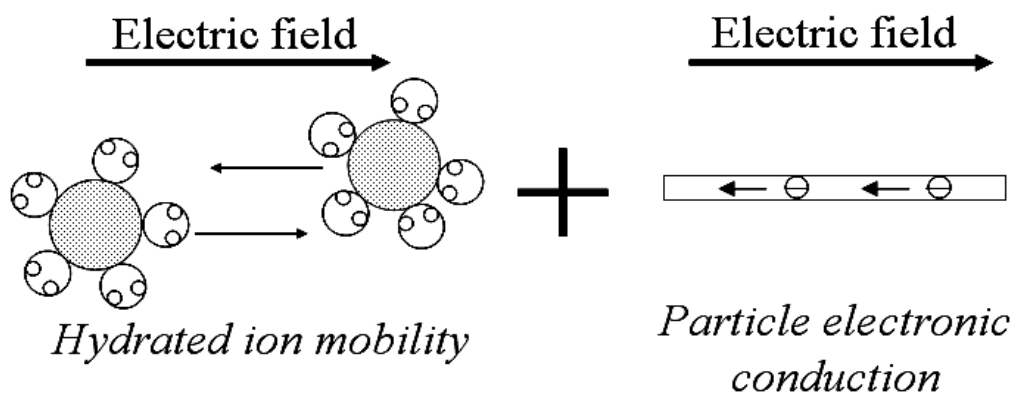
ساختار مواد معدنی عموماً از بخش جامد و فضاهای خالی تشکیل شده است. فضاهای خالی اغلب با آب زیرزمینی، نفت و گاز، مواد فلزی و غیرفلزی پر شده اند. میزان پرشدگی فضاهای خالی سنگ به عوامل زیادی بستگی دارد که از آن جمله می‌توان به عمق، فشار، تخلخل، درزه و شکستگی‌ها، درجه حرارت، وضعیت دینامیکی سنگ و غیره اشاره کرد. مواد معدنی را از نظر الکتریکی می‌توان محیط دوفازی در نظر گرفت که از کانی‌ها و آب تشکیل شده است. مواد تشکیل دهنده فاز جامد سنگ می‌تواند از مواد رسانای الکتریکی مانند کانی‌های فلزی، گرافیت و لایه‌های زغال و یا رسانا مانند کوارتز، آهک و غیره تشکیل شده باشد. مدل دوفازی جامد-مایع را می‌توان مدل اصلی در رسانایی الکتریکی مواد معدنی دانست.

مایعاتی که فضای خالی سنگ را پر می‌کنند، اغلب به صورت الکترولیت هستند و مولکول‌های آنها کاملاً یونیزه است. بنابراین قسمتی از رسانایی الکتریکی محیط دوفازی ناشی از جابجایی یون‌ها در آب موجود در فضای خالی سنگ می‌باشد. اما بیشتر رسانایی الکتریکی محیط دوفازی در اثر تبادل یونی بین فاز جامد سنگ و محلول الکترولیت در اثر تشکیل لایه دوگانه الکتریکی می‌باشد. ضخامت لایه دوگانه الکتریکی، بی‌نهایت نازک است و دارای بار الکتریکی است. وقتی در مواد معدنی تخلخل مفید وجود داشته باشد، فضای تخلخل مانند لوله موئین عمل می‌کند و در اثر وجود آب موجود در خلل و فرج سنگ، لایه دوگانه الکتریکی تشکیل می‌شود.

رسانایی الکتریکی مواد معدنی به عوامل ثانویه و ساختار سنگ نیز بستگی دارد و این عوامل نقش مستقیم در مقاومت الکتریکی مواد دارند. مقاومت الکتریکی یکی از پارامترهای مهم پتروفیزیکی است و از تباین آن در بین لایه‌های زمین‌شناسی برای شناسایی رسوبات، تفکیک زون‌های غنی سازی فلزی، زون‌های خرد شده، شکسته و تکتونیزه، شناسایی سطح و جریان آب زیرزمینی استفاده می‌شود. در مطالعات ژئوالکتریکی بیشتر از مقاومت الکتریکی ویژه استفاده می‌شود و آن را با ρ نشان می‌دهند (صمدی، ۱۳۹۱).

۴-۲ مقاومت ویژه مواد معدنی و سنگ‌ها

الکتریسیته به دو طریق اصلی در اعماق کم جریان می‌یابد: رسانش الکترونی و رسانش الکترولیتی شکل (۱-۲). در رسانش الکترونی، شار جریان از طریق الکترون‌های آزاد ایجاد می‌شود. مانند آنچه که در فلزات رخ می‌دهد. در رسانش الکترولیتی، شار جریان به دلیل حرکت یون‌های موجود در آب زیرزمینی به وجود می‌آید. در اکتشاف کانسارهای فلزی سازوکار الکترونی اهمیت دارد و در کاوش‌های مهندسی و زیست محیطی بیشتر به سازوکار الکترولیتی توجه می‌شود. مقاومت ویژه مواد عمده تشکیل‌دهنده پوسته فوقانی زمین، در شکل (۲-۲) نشان داده شده است. سنگ‌های آذرین و دگرگونی به طور شاخص مقاومت ویژه‌های بزرگی دارند. از طرفی، مقاومت ویژه این سنگ‌ها بسیار وابسته به شکستگی‌ها و درصد آب زیرزمینی درون آنها می‌باشد. از اینرو بر اساس درصد آب موجود در شکستگی‌ها، محدوده مقاومت ویژه سنگ‌های آذرین می‌تواند بین ۱۰۰۰ تا ۱۰ میلیون اهم متر قرار گیرد. این خاصیت در مطالعات مهندسی و اکتشاف آب برای تشخیص زون‌های شکستگی و اشکال هوازده بسیار مورد توجه است (Fratta, 2006).



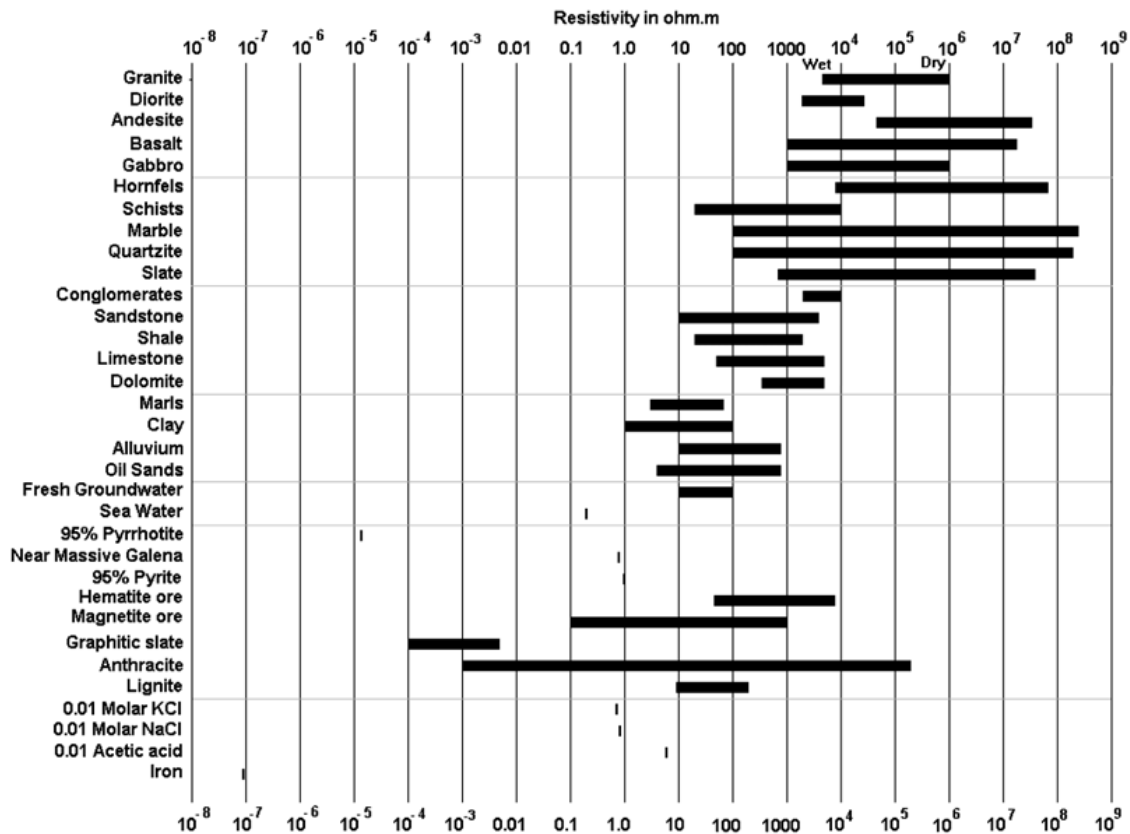
شکل (۱-۲): میدان الکتریکی موجود در مواد زمین عمدتاً به واسطه دو پدیده رسانش ایجاد می‌گردد. رسانش الکترونی (سمت راست) و تحرک یونی در محیط‌های آبی (سمت چپ) یا همان رسانش الکترولیتی. میدان الکتریکی کل، حاصل جمع میدان‌های حاصل از اثر این دو پدیده اند (fratta, 2006).

از آنجا که سنگ‌های رسوبی نسبت به آذرین‌ها و دگرگونی‌ها متخلخل ترند و آب بیشتری را در خود جای می‌دهند، مقادیر مقاومت ویژه کمتری نیز دارند. محدوده مقاومت ویژه سنگ‌های رسوبی بین ۱۰ تا ۱۰ هزار اهم متر قرار دارد، ولی اغلب این مقدار زیر ۱۰۰۰ اهم متر است. مقادیر مقاومت ویژه سنگ‌های رسوبی به شدت تحت تأثیر تخلخل و نفوذپذیری آنها و شوری آب درون منفذی شان است. رسوبات تحکیم نیافته و خاک‌ها، مقاومت ویژه بازهم کمتری را نسبت به سنگ‌های رسوبی نشان می‌دهند (بین ۱۰ تا ۱۰۰۰ اهم متر). در این مواد، مقاومت ویژه، علاوه بر تخلخل و درصد آب بین منفذی، به مقدار رس نیز بستگی دارد. خاک‌های رسی مقاومت ویژه پایین تری را نشان می‌دهند. ولی به هر حال به دلیل چند متغیره بودن شرایط تعیین کننده مقاومت ویژه خاک، نظیر تخلخل، درجه اشباع آب، غلظت نمک‌های محلول و ترکیب شیمیایی تشکیل دهنده‌های خاک، محدوده مقاومت ویژه خاک‌ها بسیار متغیر می‌باشد (Loke, 2004).

مقاومت ویژه آب‌های زیرزمینی، بسته به مقدار نمک محلول در آنها، از ۱۰ تا ۱۰۰ اهم متر متغیر است. اغلب سنگ‌های رسوبی تخلخل دارند و آب زیرزمینی از درون آنها عبور می‌کند. این امر مقاومت ویژه این سنگ‌ها را دچار تغییر می‌کند. مقاومت ویژه یک سنگ متخلخل، متأثر از تخلخل، مقاومت ویژه سیال منفذی و درصد اشباع از آن سیال است. طبق قانون آرچی، اگر ρ ، مقاومت ویژه یک سنگ متخلخل، ρ_w مقاومت ویژه آب منفذی، S اشباع آب و ϕ تخلخل باشد، داریم (Loke, 2004):

$$\rho = a\rho_w S^{-n} \phi^{-m} \quad (4-2)$$

که در آن a و $m \cdot n$ ضرایب تجربی هستند که برای هر نوع سنگی با آزمایش تعیین می‌شوند. معمولاً $1.2 \leq n \leq 1.8$ ، $1.3 \leq m \leq 2$ و $0.5 \leq a \leq 2.5$ می‌باشد. این معادله برای این مقادیر اندک رس تقریب خوبی از مقاومت ویژه یک سنگ متخلخل بدست می‌دهد.



شکل (۲-۲) مقاومت ویژه مواد زمین (Loke, 2004)

سولفیدهای فلزی (نظیر پیروتیت، گالن و پیریت) معمولاً مقاومت ویژه‌ای کمتر از ۱ اهم متر را نشان می‌دهند. باید توجه داشت که مقاومت ویژه یک توده معدنی مشخص، می‌تواند متفاوت از مقاومت ویژه تک تک بلورهای تشکیل دهنده آن باشد. عوامل دیگر نظیر توده ای بودن یا افشان بودن کانسار نیز در مقاومت ویژه آن اثر می‌گذارند. وجود کانی‌های غیر فلزی رسانا نظیر گرافیت در یک تجمع کانساری، مشکل اساسی کاوش‌های الکتریکی در چنین مواردی است. زیرا کاوش‌های مقاومت ویژه، نمی‌توانند تفاوتی بین گرافیت و مثلاً پیریت قائل شوند. اغلب اکسیدها نیز مقاومت ویژه‌های کم از خود نشان نمی‌دهند. در این میان مگنتیت یک استثناست.

۲-۵ پارامترهای ژئوالکتریکی

یک مقطع زمین‌شناسی کلاً با یک مقطع ژئوالکتریک فرق دارد. مرز بین لایه‌های مختلف زمین‌شناسی ممکن است منطبق با مرز لایه‌های ژئوالکتریک باشد و یا نباشد. برای نمونه، موقعی که شوری آب زیرزمینی در یک نوع سنگ و یا رسوب معین (که از نظر لیتولوژیکی همگن می‌باشد) با عمق تغییر کند، چند لایه ژئوالکتریک ممکن است در داخل آن قابل تشخیص باشند. عکس این حالت موقعی است که چند لایه با لیتولوژی و یا سن متفاوت (یا هر دو حالت)، ممکن است مقاومت ویژه یکسانی داشته باشند و تشکیل یک لایه ژئوالکتریک را بدهند. بنابراین یک لایه ژئوالکتریک توسط دو پارامتر اساسی، یکی مقاومت ویژه ظاهری (ρ_a) و دیگری ضخامت (h) قابل توصیف می‌باشد.

۲-۶ معرفی انواع آرایه‌ها در روش مقاومت سنجی الکتریکی

اولین بار خلاصه‌ای از انواع آرایش‌های الکترودی ژئوالکتریکی توسط (Whiteley, 1973) منتشر شد. از آن زمان به بعد تعداد آرایش‌های الکترودی به طور قابل توجهی افزایش یافته است.

در سال ۲۰۰۸، انواع آرایه‌های مورد استفاده در ژئوالکتریک جمع‌آوری شد که بالغ بر صد آرایه می‌باشد (Szalai and Szarka, 2008). در این تقسیم‌بندی دو الکتروود جریان و پتانسیل، الکتروودهای نقطه‌ای هستند و همه آنها روی سطح زمین قرار می‌گیرند.

تقسیم‌بندی آرایه‌ها بر اساس سه پارامتر است:

الف) جانشینی: اگر تعداد اندازه‌گیری‌های مختلف پتانسیل از یک بار بیشتر باشد گفته می‌شود که آرایه "جانشینی" است. در غیر این صورت آرایه "غیرجانشینی" است.

ب) تمرکز: اگر بیشتر از یک مدار جریان به کار گرفته شده باشد، آرایه "متمرکز" نامیده می‌شود در غیر این صورت آرایه "غیر متمرکز" نامیده می‌شود.

ج) خطی بودن : اگر جهت الکترودها در یک خط باشد، آرایه را "خطی" می‌نامند. در غیر این صورت آرایه "غیر خطی" است.

در این روش در کل $2^3 = 8$ گروه وجود دارند. آرایه‌های ساده تر با ۱ و آرایه‌های پیچیده تر با m مشخص شده اند. ۸ گروهی که در شکل (۳-۲) نشان داده شده اند به شرح زیر هستند.

آرایه‌های غیر جانشینی، غیر متمرکز، خطی (۱-۱-۱) (ساده ترین آرایه‌ها)

آرایه‌های غیر جانشینی، غیرمتمرکز، غیرخطی (1-1-m) (آرایه‌های غیر خطی ساده)

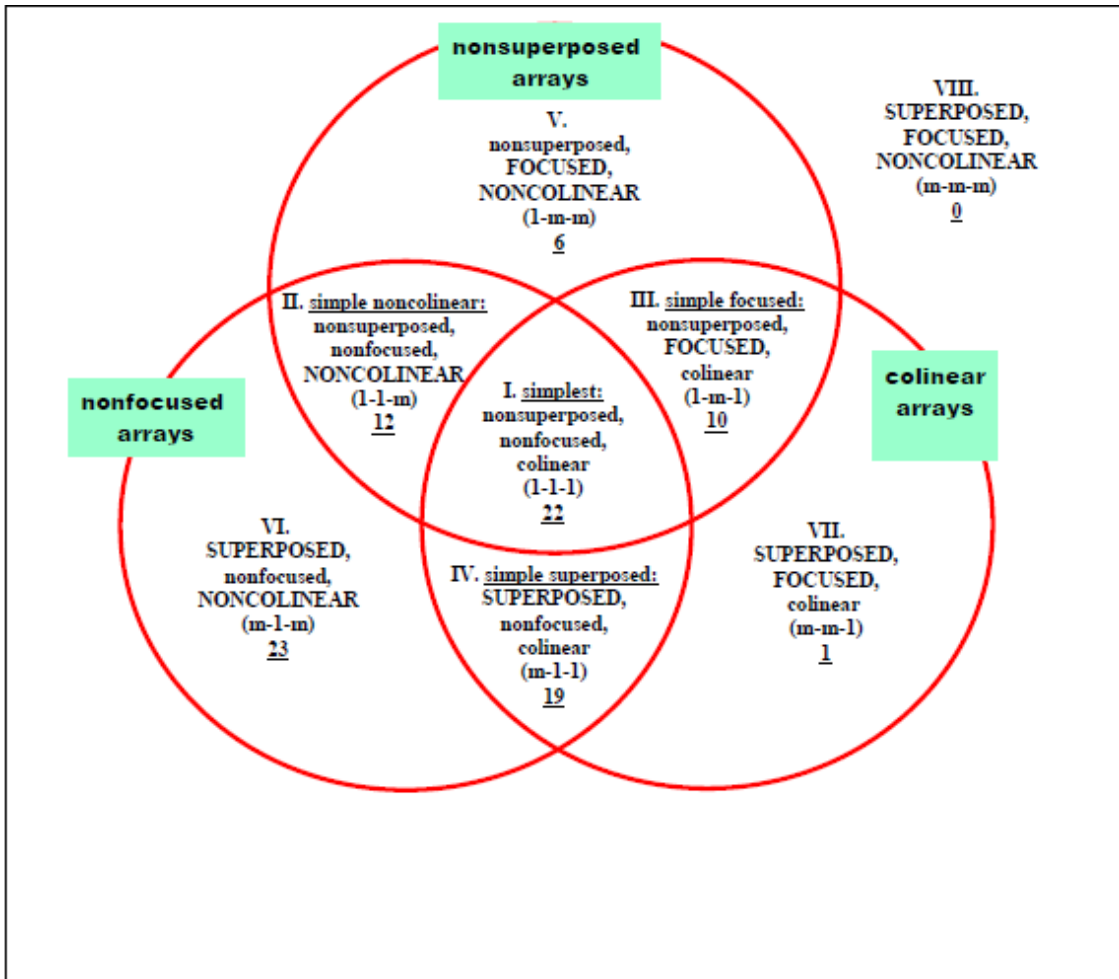
آرایه‌های غیر جانشینی، متمرکز، خطی (1-m-1) (آرایه های متمرکز ساده)

آرایه‌های جانشینی، غیرمتمرکز، خطی (m-1-1) (آرایه‌های جانشینی ساده)

آرایه‌های جانشینی، غیرمتمرکز، غیرخطی (m-1-m)

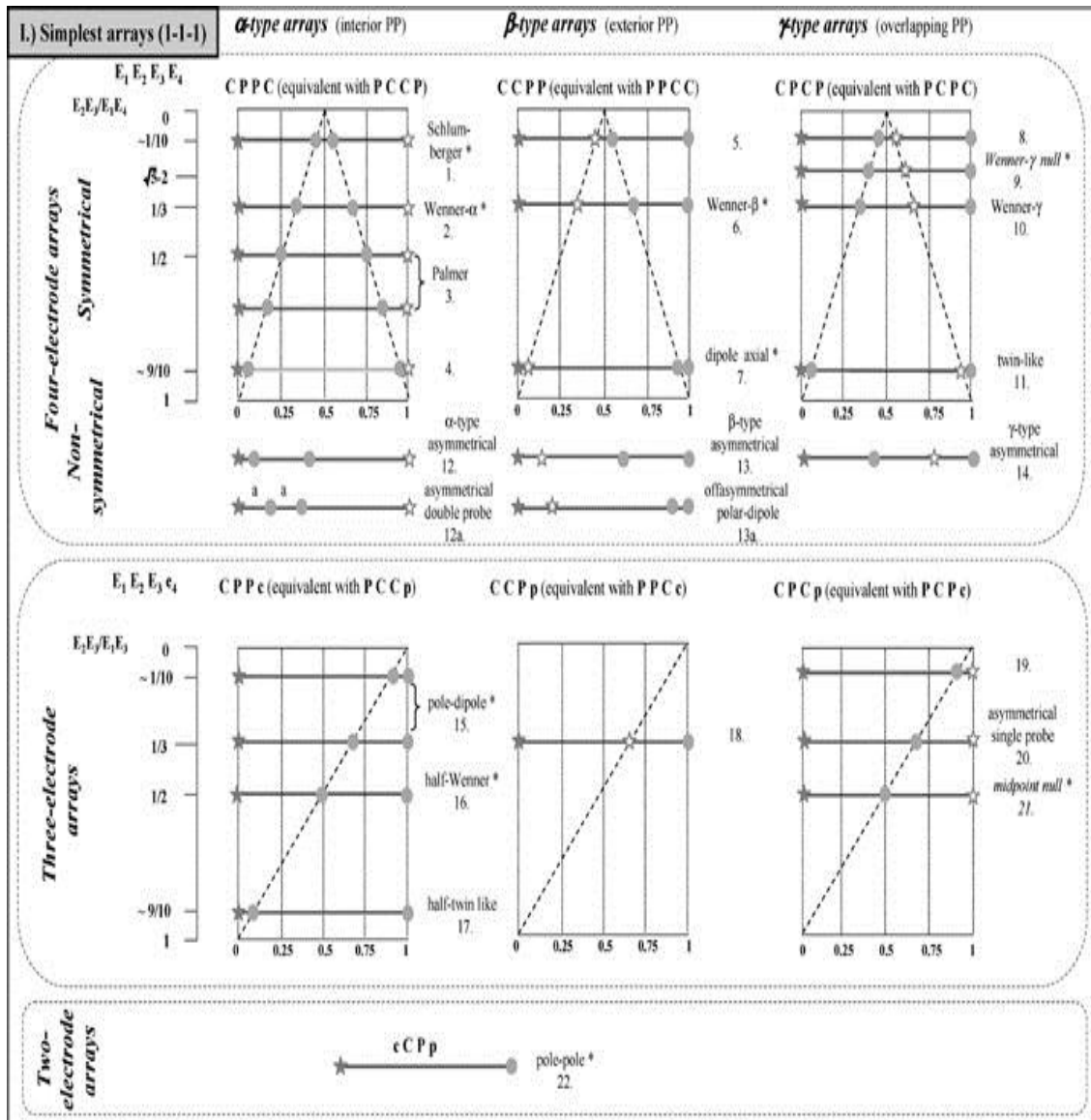
آرایه‌های جانشینی، متمرکز، خطی (m-m-1)

آرایه‌های جانشینی، متمرکز، غیرخطی (m-m-m) (Szalai and Szarka,2008).



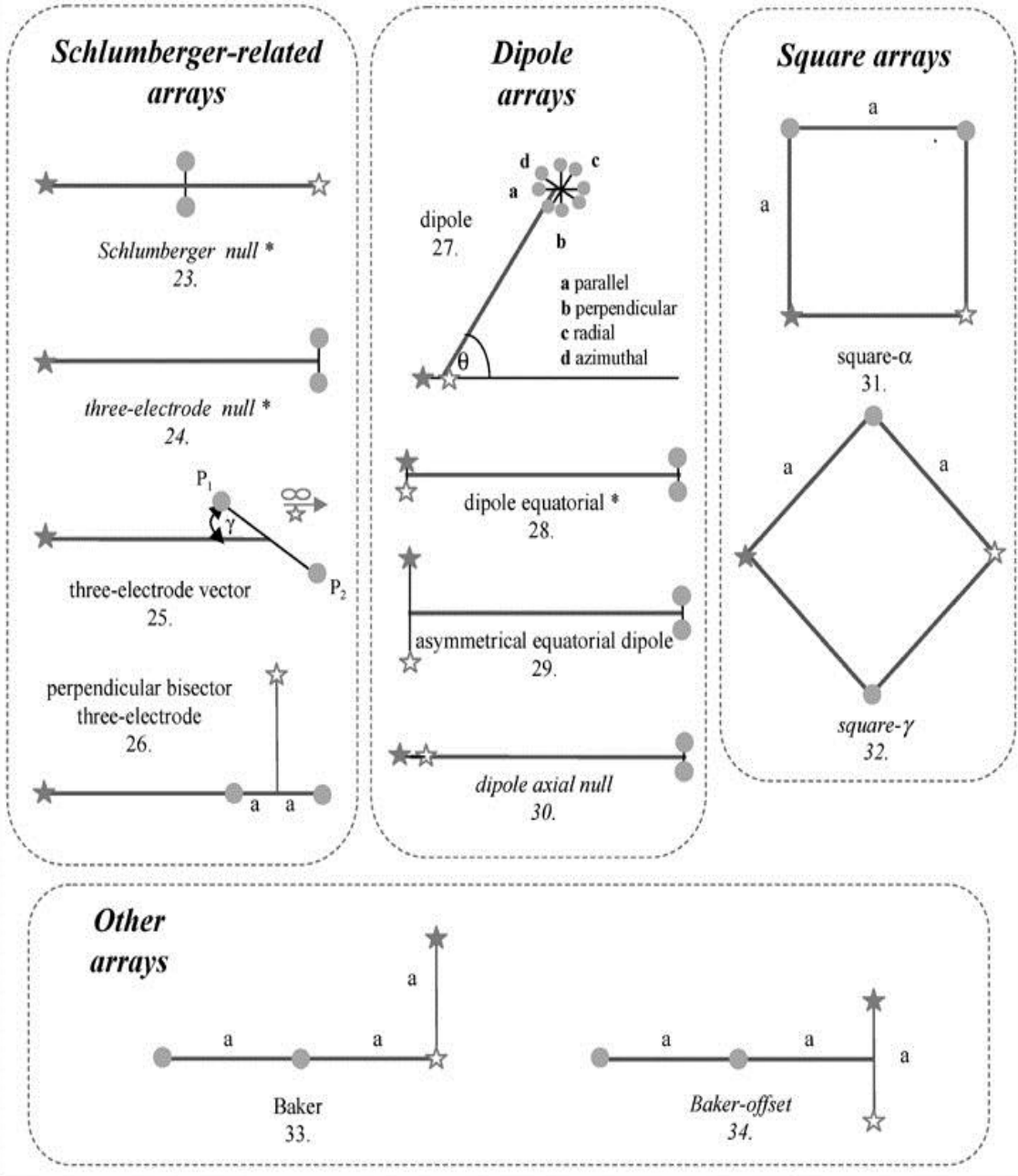
شکل (۲-۳): انواع آرایه های سطحی ژئوالکتریک (Szalai and Szarka, 2008) در این شکل حرف اول به اختصار (متمرکز m ، غیرمتمرکز 1)، حرف دوم به اختصار (جانشینی m ، غیرجانشینی 1) و حرف سوم به اختصار (غیرخطی m ، خطی 1) می باشد. $1-1-1$ (زیرگروه I)، $1-1-m$ (زیرگروه II)، $1-m-1$ (زیرگروه III)، $m-1-1$ (زیرگروه IV)، $1-m-m$ (زیرگروه V)، $m-1-m$ (زیرگروه VI)، $m-m-m$ (زیرگروه VIII) می باشد.

در این جا بعضی از گروه ها را به عنوان مثال آورده ایم: گروه I در شکل (۲-۴)، گروه II در شکل (۲-۵). در این شکل ها از علائم واحدی استفاده شده است. دایره های کامل، الکترودهای پتانسیل (P) هستند، ستاره های توپر/توخالی، الکترودهای جریان (C) را مشخص می کنند. همچنین بزرگی ستاره-ها، شدت جریان را نشان می دهد. شدت جریان در تمام آرایه ها یکسان است. در شکل (۲-۶)، آرایه-های عمومی مورد استفاده جهت تعیین اختلاف پتانسیل به همراه نحوه محاسبه ضریب هندسی k نشان داده شده است. در این آرایه ها c_1 و c_2 الکترودهای جریان p_1 و p_2 الکترودهای پتانسیل، a فاصله و n مضربی از فواصل $p_1 p_2$ می باشد.



شکل (۲-۴): آرایه‌های زیر گروه I (Szalai and Szarka, 2008).

**II.) Simple noncolinear arrays
(1-1-m)**



شکل (۲-۵): آرایه های زیر گروه II (Szalai and Szarka, 2008).

۲-۷ انواع برداشت‌های مقاومت ویژه

انجام برداشت‌های مقاومت ویژه الکتریکی به یکی از دو صورت کلی زیر (ویا ترکیب آنها) امکان پذیر می‌باشد:

الف) مطالعات عمقی به منظور تعیین عمق فصل مشترک‌های جداکننده لایه‌های با مقاومت ویژه متفاوت و تخمین مقاومت ویژه لایه‌ها

ب) مطالعات جانبی به منظور تعیین محل مناطق با مقاومت ویژه متفاوت از محیط اطراف

انتخاب هر کدام از روش‌های فوق، به هدف مطالعه بستگی دارد. روش اول، سونداژزنی قائم الکتریکی^۳ و روش دوم نیز پروفیل زنی الکتریکی^۴ نامیده می‌شوند.

در برداشت‌های صحرائی، مقدار جریان و پتانسیل (و گاهی نیز نسبت آنها) در هر ایستگاه اندازه گیری می‌شود. در گام اول، این مقادیر باید با استفاده از فرمول (۲-۲) به مقاومت ویژه ظاهری تبدیل شوند. پس از محاسبه مقدار مقاومت ویژه ظاهری برای هر قرائت، نتایج به صورت گرافیکی ارائه می‌شوند (حجت و رنجبر، ۱۳۹۰)

۲-۸ تابع حساسیت دوبعدی - تفکیک پذیری^۵ قائم و جانبی

از روی تابع حساسیت، می‌توان دو خصوصیت اولیه هر آرایه را برای یک زمین همگن و همسانگرد بدست آورد. تابع حساسیت به ما نشان می‌دهد که تغییر مقاومت ویژه یک مقطع زیرسطحی تا چه اندازه می‌تواند مقادیر پتانسیل اندازه‌گیری شده با یک آرایه خاص را تحت تأثیر قرار دهد. به زبان ریاضی، تابع حساسیت با مشتق فرشت^۶ بیان می‌شود (Mcgillivray and oldenburg, 1990). همانطور که انتظار می‌رود، تابع حساسیت آرایش‌های ژئوالکتریک بستگی به موقعیت نسبی الکترودها دارد. از لحاظ وضوح و عمق بررسی، هر کدام از آرایش‌ها، مزیت‌ها و محدودیت‌های خاص خود را دارد.

³ Vertical Electrical Sounding

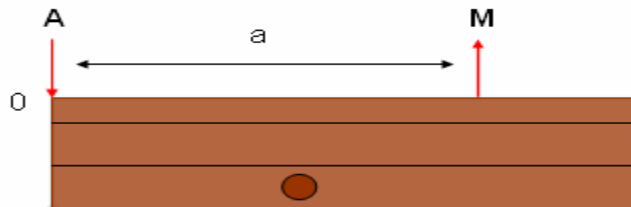
⁴ Electrical Profiling

⁵ resolution

⁶ Frechet

هرچه مقدار تابع حساسیت بالاتر باشد، اندازه گیری منطقه به دلیل تغییرات مقاومت ویژه ایجاد شده در حجم کوچکی از خاک، بزرگتر است. مشتق فرشت با در نظر گرفتن تزریق جریان الکتریکی با استفاده از تنها یک الکتروود غیر خطی و همچنین با در نظر گرفتن تنها یک الکتروود دریافت کننده، توسط معادله (۵-۲) داده می‌شود (Loke, 2004).

در شکل (۷-۲) تنها یک الکتروود جریان در مبدأ مختصات (0,0,0) و یک الکتروود پتانسیل در (a,0,0) قرار داده شده است. از طریق الکتروود A، جریان ۱ آمپر را به درون زمین می‌فرستیم و در نتیجه آن، پتانسیل ϕ در محل الکتروود M ایجاد می‌گردد.



شکل (۷-۲): نمای دوبعدی زمین لایه‌ای، نحوه قرارگیری الکتروودها و حجمی که تابع حساسیت برای آن مشخص می‌شود را نشان می‌دهد (Chitea, 2009).

فرض کنید در محدوده کوچکی از مختصات (x,y,z)، مقاومت ویژه به مقدار جزئی $\delta\rho$ تغییر کند. در این صورت تغییر پتانسیل مشاهده شده در M برابر خواهد بود با (Loke, 2005):

$$\delta\phi = \frac{\delta\rho}{\rho^2} \int \delta\phi \cdot \Delta\phi' d\tau \quad (5-2)$$

که در آن، تغییر مقاومت در عنصر حجمی $d\tau$ مقداری ثابت است. پارامتر ϕ' ، عبارت است از پتانسیل حاصل از یک الکتروود جریان که در محل الکتروود پتانسیل M قرار داده شده باشد. برای حالت خاصی که زمین یک نیم فضای همگن و همسانگرد باشد، در هر نقطه از نیم فضا، پتانسیل ϕ حاصل از یک چشمه جریان واحد روی سطح زمین برابر خواهد بود با:

$$\phi = \frac{\rho}{2\pi[x^2+y^2+z^2]^{0.5}} \quad (6-2)$$

ونیز:

$$\phi' = \frac{\rho}{2\pi[(x-a)^2+y^2+z^2]^{0.5}} \quad (7-2)$$

با جایگزینی معادلات (6-2) و (7-2) در معادله (5-2)، داریم:

$$\frac{\delta\phi}{\delta\rho} = \int \frac{1}{4\pi^2} \frac{x(x-a)+y^2+z^2}{[x^2+y^2+z^2]^{1.5}[(x-a)^2+y^2+z^2]^{1.5}} dx dy dz = \int_V F_{3D}(x, y, z) dx dy dz \quad (8-2)$$

$F_{3D}(X, Y, Z)$ ، عبارت است از مشتق فرشت سه بعدی، یا تابع حساسیت برای آرایه قطبی-قطبی. برای بدست آوردن مشتق فرشت برای آرایه‌های 4 الکترودی، باید سهم هر چهار الکتروود را در نظر گرفت.

برای بررسی قابلیت آرایه‌ها در کاوش‌های دوبعدی، باید شکل دوبعدی تابع حساسیت را در نظر داشته باشیم. برای نقطه‌ای به مختصات (X, Y) ، سهم تمام نقاط را برای مقادیر Y از $-\infty$ تا $+\infty$ حساب می‌کنیم. در واقع، انتگرال تابع حساسیت سه بعدی را نسبت به متغیر Y از $-\infty$ تا $+\infty$ حساب می‌کنیم:

$$F_{2D}(X, Z) = \int_V F_{3D}(X, Y, Z) dy = \frac{1}{4\pi^2} \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{x(x-a)+y^2+z^2}{[x^2+y^2+z^2]^{1.5}[(x-a)^2+y^2+z^2]^{1.5}} dy \quad (9-2)$$

حل تحلیلی این انتگرال توسط (Loke and Barker, 1995) ارائه شده است. حل کامل به صورت زیر است:

$$F_{2D}(X, Z) = \frac{2}{\alpha\beta^2} \left\{ \frac{\alpha^2 E(k) - \beta^2 K(k)}{(\alpha^2 - \beta^2)} - \frac{\gamma[(\alpha^2 + \beta^2)E(k) - 2\beta^2 K(k)]}{(\alpha^2 - \beta^2)^2} \right\} \quad (10-2)$$

که در آن k عبارت است از:

$$k = \frac{(\alpha^2 - \beta^2)^{0.5}}{\alpha} \quad (11-2)$$

برای $x > 0.5a$ ، داریم:

$$\alpha^2 = x^2 + z^2, \beta^2 = (x - a)^2 + z^2, \gamma = xa \quad (12-2)$$

و برای $x < 0.5a$ ، داریم:

$$\beta^2 = x^2 + z^2, \alpha^2 = (x - a)^2 + z^2, \gamma = a(x - a) \quad (13-2)$$

و برای $x=0.5a$

$$F_{2D}(x, z) = \pi \left[\frac{1}{2\alpha^3} - \frac{3\alpha^2}{16\alpha^5} \right] \quad (14-2)$$

که در آن α برابر است با:

$$\alpha = 0.25a^2 + z^2$$

۹-۲ تفکیک پذیری قائم و جانبی آرایش‌های الکترودی مختلف

به طور مثال یک محل مشخص (x, y) را در نظر بگیریم، انتگرال تابع حساسیت سه بعدی را فقط در جهت y می‌توان به صورت زیر نوشت.

$$F_{2d}(x, z) = \frac{1}{4\pi^2} \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{x(x-a)+y^2+z^2}{[x^2+y^2+z^2]^{1.5}[(x-a)+y^2+z^2]^{1.5}} dy \quad (15-2)$$

تابع حساسیت درجه ای از تغییرات پتانسیل اندازه‌گیری شده را در اثر تغییر مقاومت الکتریکی ناحیه ای از یک مقطع لایه‌های زیر سطحی را نشان می‌دهد. مقادیر بزرگتر تابع حساسیت اثر بیشتری بر روی اندازه‌گیری‌های منطقه دارد.

آرایه ونر، از اصلی‌ترین آرایه‌های الکتریکی است. آرایه ونر بیشتر به تغییرات قائم مقاومت ویژه در نقطه برداشت داده حساس است. به طور کلی آرایه ونر تغییرات قائم (ساختارهای افقی) را خوب تشخیص می‌دهد ولی در تشخیص تغییرات افقی (ساختارهای قائم) با مشکل مواجه می‌شود. عمق

میانۀ کاوش برای آرایه ونر آلفا، تقریباً نصف فاصله الکترودی مورد استفاده (a) است. نسبت به دیگر آرایه‌ها، عمق کاوش آرایه ونر آلفا، متوسط است. قدرت سیگنال به طور وارون با ضریب هندسی متناسب است. ضریب هندسی برای آرایه ونر $2\pi a$ است. این مقدار، کوچکترین ضریب هندسی ممکن در بین تمام آرایه‌هاست. از اینرو، در بین تمام آرایه‌ها، آرایه ونر بالاترین نسبت سیگنال به نوفه را داراست (Barker, 1991). یکی از معایب این آرایه در کاوش‌های دوبعدی، پوشش افقی ضعیف آن با افزایش فاصله الکترودی است (یعنی پوشش افقی داده‌ها با افزایش فاصله الکترودی به سرعت کاهش می‌یابد).

آرایه ونر - شلومبرژر برای n های کوچک به ساختارهای افقی حساس است و برای n های بزرگ به ساختارهای قائم. ضریب n در این آرایه عبارت است از نسبت فاصله بین c_1-p_1 (یا c_2-p_2) به فاصله p_1-p_2 . برای n های بزرگتر از ۳ و فواصل مساوی بین الکترودهای خارجی (c_1 و c_2) عمق میانۀ کاوش در این آرایه ۱۰٪ بیشتر از عمق میانۀ کاوش در آرایه ونر است. قدرت سیگنال در این آرایه، تقریباً متناسب با وارون مربع مقدار n است. قدرت سیگنال نسبت به آرایه ونر کمتر، نسبت به آرایه دوقطبی - دوقطبی بیشتر و دوبرابر آرایه قطبی - دوقطبی است. پوشش افقی آرایه ونر - شلومبرژر بهتر از آرایه ونر است با این حال پوشش افقی آرایه دو قطبی - دوقطبی از این آرایه بیشتر است (Pazdirek and Blaha, 1996).

کاربرد آرایه قطبی - قطبی مانند آرایه‌های ونر، ونر - شلومبرژر و دوقطبی - دوقطبی متداول نمی‌باشد. یکی از معایب این آرایه آن است که به دلیل فاصله بزرگ بین p_1 و p_2 ، نوفه تلوریک زیادی وارد اندازه‌گیری‌ها می‌شود. بنابراین، بهتر است از این آرایه در فواصل الکترودی کوچک استفاده کرد. از اینرو این آرایه بیشتر در کاوش محوطه‌های باستانی بسیار مورد توجه است. این آرایه بالاترین پوشش افقی و بیشترین عمق نفوذ را دارد. با این حال تفکیک پذیری آن در مقایسه با دیگر آرایه‌ها کمترین است (Li and Oldenburg, 1992).

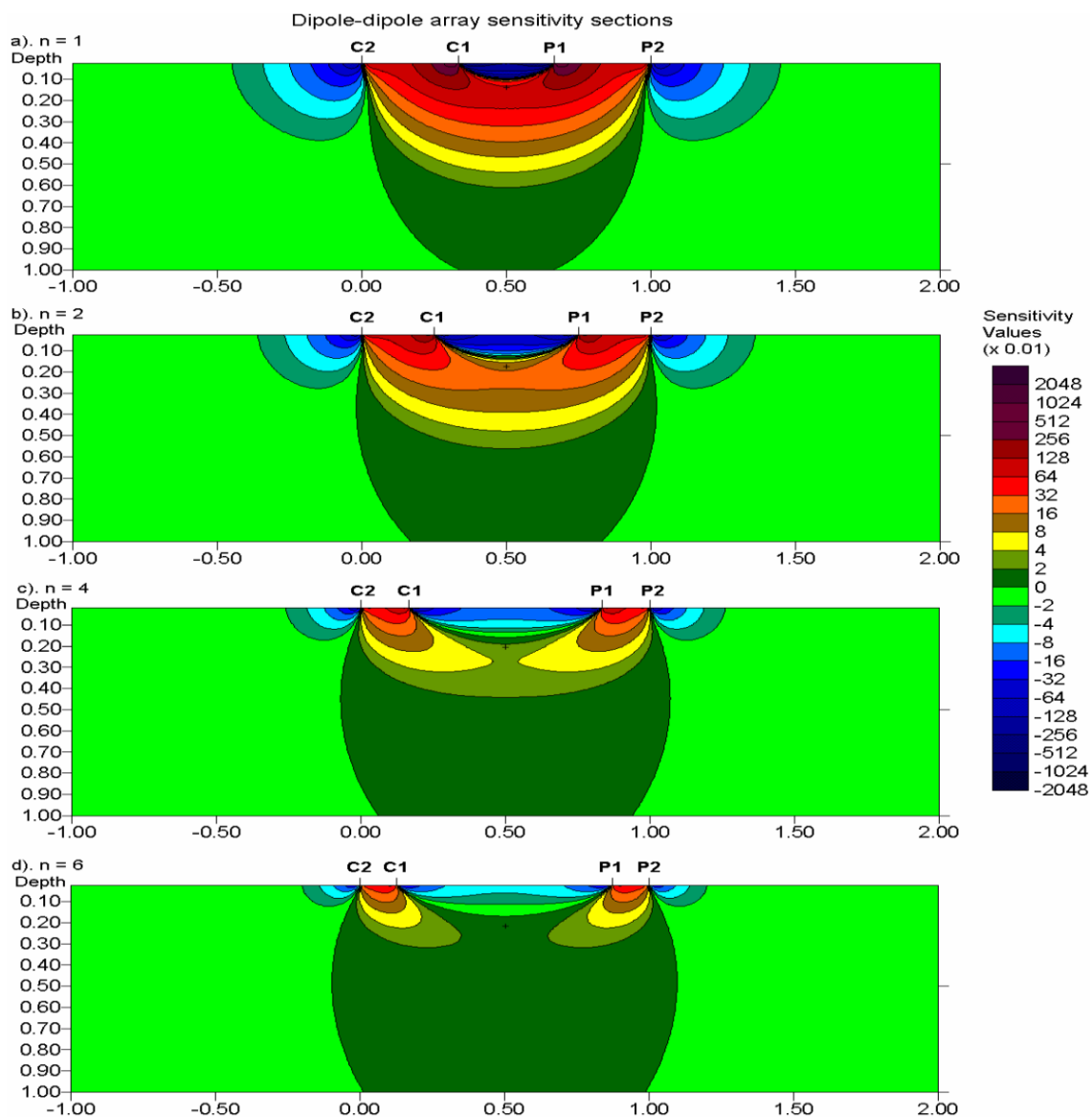
پوشش افقی آرایه قطبی- دوقطبی نسبتاً خوب است و قدرت سیگنال در آن، در قیاس با آرایه دو قطبی - دوقطبی، بیشتر است. از طرفی مانند آرایه قطبی - قطبی به نوفه تلوریک حساس نمی- باشد. این روش تعداد نقاط، و در نتیجه زمان کاوش را دوبرابر می کند. همانند آرایه دوقطبی - دوقطبی، این آرایه نیز به ساختارهای قائم حساس است (به ویژه برای n های بزرگتر از ۴). پوشش افقی خوب آرایه قطبی - دو قطبی، این آرایه را برای سیستم‌های چند کاناله با تعدادگره های کم مناسب می سازد. قدرت سیگنال در قیاس با آرایه‌های ونر و ونر - شلومبرژر کمتر، و در مقایسه با آرایه دوقطبی - دوقطبی بیشتر است. بالاتر بودن قدرت سیگنال (نسبت به آرایه دو قطبی - دوقطبی) و پایین تر بودن جفت شدگی الکترومغناطیسی، به دلیل جدایش مدارهای فرستنده و گیرنده (نسبت به آرایه‌های ونر و ونر- شلومبرژر)، این آرایه را بهترین گزینه برای کاوش‌ها IP ساخته است.

آرایش دوقطبی - دوقطبی در حکم یکی از کارآمدترین آرایش‌های ژئوالکتریک برای شناسایی گسل‌ها می‌باشد. این آرایش نسبت به روش سونداژزنی و ونر برای شناسایی شکستگی‌ها و گسل‌ها، کارایی بهتری دارد (Busby,2000). آرایش دوقطبی- دو قطبی هنوز هم به صورت گسترده ای در اندازه‌گیری مقاومت الکتریکی و پتانسیل القایی به کار برده می‌شود. زیرا بین الکترودهای پتانسیل و جریان کمترین مقدار امواج الکترومغناطیسی وجود دارد. در این آرایه، فاصله الکترودی واحد (a)، فاصله بین دو الکترود جریان c_1 و c_2 است. فاصله بین p_1 و p_2 نیز برابر a در نظر گرفته می‌شود. در برخی موارد، وقتی طول کل آرایه زیاد می‌شود، قدرت سیگنال کم می‌شود. برای افزایش قدرت سیگنال باید فاصله بین p_1 و p_2 را زیادتر کرد (Loke,2004). در شکل (۲-۸)، مقاطع حساسیت برای این آرایه، با n های ۱، ۲، ۴ و ۶ نشان داده شده است. بزرگترین مقادیر حساسیت بین جفت الکترودهای جریان و پتانسیل واقع اند. یعنی این آرایه، به تغییرات مقاومت ویژه نواحی زیر الکترودها حساس تر است. با افزایش ضریب n ، ناحیه حساسیت بالا به سمت الکترودها متمرکز می‌شود و از حساسیت ناحیه مابین آرایه، بین c_1 و p_1 کاسته می‌شود. برای مقادیر n بزرگتر از ۲، حساسیت قابل اغماض است و شکل کنتورهای حساسیت، تقریباً قائم می‌شود. لذا این آرایه به تغییرات افقی مقاومت ویژه حساس تر است.

از اینرو آرایه دوقطبی- دوقطبی، برای به نقشه درآوردن تغییرات قائم، نظیر دایک‌ها و حفرات زیرسطحی مناسب تر است. عمق میانه کاوش در این آرایه، هم به a بستگی دارد و هم به ضریب n . به طور کلی، عمق کاوش در این آرایه کمتر از عمق کاوش آرایه وئر است. برای کاوش‌های دوبعدی، پوشش افقی این آرایه بهتر از آرایه وئر است.

یکی از معایب این آرایه، کاهش شدید قدرت سیگنال برای n های بزرگ است. ولتاژ ثبت شده در این آرایه، متناسب با وارون مکعب ضریب n است، یعنی با افزایش n از ۱ تا ۶، قدرت سیگنال ولتاژ اندازه گیری شده به میزان ۵۶ برابر افت پیدا می‌کند. یک روش برای غلبه بر این مشکل، افزایش فاصله a بین $c1-c2$ و $p1-p2$ است (Loke,2004). در استفاده از این آرایه، دستگاه اندازه گیری مقاومت ویژه باید حساسیت نسبتاً بالایی داشته باشد و از مدار حذف نوفه^۷ خوبی برخوردار باشد. همچنین تماس الکتریکی بین الکترودها و زمین باید خوب باشد. از آنجا که قدرت تفکیک افقی حاصل از این آرایه بالاست، با استفاده از ابزارهای صحرایی و روش‌های کاوش مناسب، از این آرایه می‌توان در تشخیص ساختارهای قائم نظیر حفرات و گسل‌ها، بخوبی استفاده کرد. در شکل (۲-۸)، محل رسم نقطه برداشت داده (بر اساس عمق میانه کاوش) با علامت + نشان داده شده است. توجه شود که محل رسم داده برای n های بالاتر از ۴، در ناحیه‌ای با حساسیت بسیار کم قرار می‌گیرد. برای آرایه دوقطبی- دوقطبی، ناحیه با حساسیت بالا در حوالی دوقطبی‌های جریان و پتانسیل قرار می‌گیرد.

⁷ Noise rejection circuitry



شکل (۸-۲): تابع حساسیت دوبعدی برای آرایه دوقطبی-دوقطبی و n های ۱، ۲، ۴ و ۶ (Loke, 2004)

۲- ۱۰ مطالعه گسل‌ها به روش ژئوالکترونیک

به منظور مطالعه بهتر سه گسل کوارترنری در آرژانتین غربی، یک برداشت ERT کم عمق در طول ۷ مقطع عرضی کوتاه، عمود بر آثار گسل انجام گرفت. در طول برداشت، آرایش‌های الکتریکی دوقطبی - دوقطبی و ونر- شلومبرژه به کار برده شدند تا مشخصات بهتری از هندسه و سازوکار این گسل‌ها را فراهم نمایند (Fazzito, et all, 2009).

یک مطالعه ژئوالکترونیک در سوئیس انجام شد. در این پژوهش سه پروفیل ERT با هدف تعیین موقعیت گسل فعال Tierra Balanca زده شد. اثر این گسل توسط مدل‌سازی پیشرو شناسایی و تأیید شد. همچنین ضخامت و جنس نهشته‌های اخیر که بیشتر شهر روی آن ساخته شده نیز ارزیابی شد (Suski, et all, 2010).

به منظور مطالعه گسل Yalguaraz در آرژانتین یک دستگاه مقاومت سنج Syscal به کار گرفته شد. یک پروفیل با ۴۸ الکتروود با فواصل ۱۰، ۲۰، ۳۰ متر در نظر گرفته شد که به دستگاه مقاومت سنج متصل می‌شدند و برداشت به صورت دوقطبی - دوقطبی انجام شد و سازوکار گسل مورد بررسی قرار گرفت (Terrizzano, et all, 2012).

برای تعیین مشخصات گسل زیرسطحی حوزه رودخانه catu در شمال شرقی برزیل، از روش سونداژنی الکتریکی در طول دو پروفیل متقاطع و همچنین اطلاعات چاه‌ها استفاده شد (Fagundes, et all, 2013).

حلاج فرد و باقری برای شناسایی گسل‌ها، درزه‌ها و شکستگی‌های ناشی از آنها در قسمت‌های مدفون در زیر آبرفت‌ها، تعداد ۵۰ سونداژ الکتریکی قائم بر روی ۹ پروفیل در شبکه‌ای تقریباً مستطیلی به ابعاد $3/5 \times 2/3$ کیلومتر مربع را اجرا کردند (حلاج فرد و باقری، ۱۳۹۰).

آزادی و همکاران برای شناسایی گسل رازک در ۸ کیلومتری شرق بندر مقام، یک مقطع شرقی- غربی شامل ۴۰ سونداژ با فاصله بین سونداژی ۲۰۰ متری برداشت کردند و سه گسل پوشیده شناسایی شدند (آزادی و همکاران، ۱۳۸۶).

آشکارسازی ساختارهای زمین شناسی سه بعدی با استفاده از روش مقاومت ویژه و مدل تفسیر سه بعدی اطلاعات دقیقی را از ساختارهای زیر سطحی ارائه می‌دهد. یکی از روش‌های متداول در اکتشافات سه بعدی آرایش قطبی-قطبی می‌باشد. برای نشان دادن توانایی‌های این آرایش جهت آشکارسازی شکستگی و گسل‌ها، در منطقه انارک از توابع استان اصفهان، این داده برداری انجام شد. (استواری و مشین چی، ۱۳۸۶)

آزادی و همکاران هندسه و مسیر گسل توس در شهر مشهد را بررسی کردند. تعداد ۱۴ سونداژ الکتریکی در شمال شهر مشهد برداشت شد. همچنین آرایش چهارگوش دوقطبی- دوقطبی در شبکه ای به ابعاد ۸۰×۹۰ متر مربع با فواصل ۱۰ متر روی محدوده گسل طراحی شد و مقطع ژئوالکتریک گسل مشخص گردید. در این برداشت از یک دستگاه فرستنده پر قدرت جریان و یک دستگاه گیرنده رقمی استفاده شد و داده‌ها به صورت سری زمانی برداشت شد و پس از پردازش، مقطع ژئوالکتریک گسل شناسایی شد (آزادی و همکاران، ۱۳۸۸).

علیان نژاد و همکاران به منظور بررسی پهنه گسلی آزادشهر در تهران، یک پروفیل ژئورادار (GPR) با طول تقریبی ۳۰۰ متر، دو پروفیل ژئوالکتریک با آرایه قطبی- دوقطبی به طول ۱۵۰ متر و ۱ پروفیل با آرایش ونر به طول ۱۵ متر برداشت کردند. تمامی این پروفیل‌ها عمود بر امتداد گسل‌ها می‌باشند و به این ترتیب ساز و کار گسل‌ها تشخیص داده شد (علیان نژاد و همکاران، ۱۳۹۲).

عرشیان و مشین چی به منظور بررسی محل شکستگی‌ها و گسل‌ها در دامنه جنوبی کوه آب مرغان شهر شیراز از عملیات صحرائی با آرایش مربعی استفاده کردند و مشخص شد که آرایش مربعی و

مربعی متقاطع یکی از بهترین روش‌ها برای شناسایی محل دقیق شکستگی‌ها و گسل‌ها می‌باشد (عرشیان و مشین چی، ۱۳۹۳).

در مناطق شهری، برداشت داده‌های لرزه‌ای مشکل می‌باشد و برای استفاده از چشمه‌های لرزه‌ای (انفجار و ویبروسایز) نیاز به اخذ مجوز از ارگانهای مختلف می‌باشد؛ علاوه بر آن هماهنگی‌های لازم بین سازمان‌های مختلف اداری، انتظامی برای توقف عبور و مرور خودروها باید صورت گیرد. بنابراین برداشت پروفیل لرزه‌ای نیاز به زمان و هزینه زیادی دارد. از میان روش‌های ژئوفیزیکی، روش مقاومت ویژه نسبت به دیگر روش‌ها ارزان‌تر و در عین حال دارای تنوع بیشتری در آرایش برداشت می‌باشد.

در مواردی که گسل در اعماق زیاد واقع شده باشد، تمامی آرایش‌های ذکر شده نمی‌توانند پاسخ مناسبی از گسل را ارائه دهند؛ زیرا اختلاف پتانسیل اندازه‌گیری شده در این اعماق بسیار پایین بوده و عملاً پاسخ گسل محو خواهد شد. علاوه بر آن در سیستم‌های برداشت با دستگاه‌های معمولی، دقت اندازه‌گیری اختلاف پتانسیل الکتریکی بین دو الکتروود برنجی حدود ۱ میلی‌ولت می‌باشد که این موضوع نیز باعث می‌شود پاسخ گسل را به خوبی مشاهده نکنیم (آزادی، ۱۳۸۸).

بنابراین ضرورت دارد عمق نفوذ جریان‌های ارسالی به زمین را افزایش دهیم و برای این منظور باید از آرایشی استفاده کنیم که بدون پهن کردن کابل‌های طویل، الکتروودهای فرستنده جریان را در فاصله مناسبی قرار داد به گونه‌ای که بتوان تا عمق زیادی را مطالعه کرد.

اخیراً برای بررسی لایه‌های عمیق زمین و کاهش نوفه‌ها از روش برداشت به صورت سری زمانی، با تأکید بر انباشت، تکرار و فیلتر کردن استفاده می‌شود (Storz et al, 2000). جوان دولویی و همکاران نیز از این شیوه در مناطق شهری که نوفه‌های بسیاری اندازه‌گیری‌ها را تحت تأثیر قرار می‌دهند، استفاده کردند (جوان دولویی و همکاران، ۱۳۸۷).

در مطالعه حاضر سعی شده با به کارگیری تجهیزاتی مانند فرستنده جریان پر قدرت، برداشت داده با دستگاه ثبات رقومی داده ها (دیتالاگر) و سیستم چند الکترودی، کیفیت سیگنال‌های برداشت شده در روش مقاومت سنجی الکتریکی برای شناسایی گسل‌های مدفون افزایش داده شود و امکان مطالعه عمق‌های بیشتر فراهم گردد. دقت دستگاه دیتالاگر بسیار بیشتر (حدود ۰/۱ میکرو ولت) از دستگاه‌های ژئوالکتریک معمولی می باشد و اختلاف پتانسیل همزمان در چند الکتروود قابل اندازه گیری است.

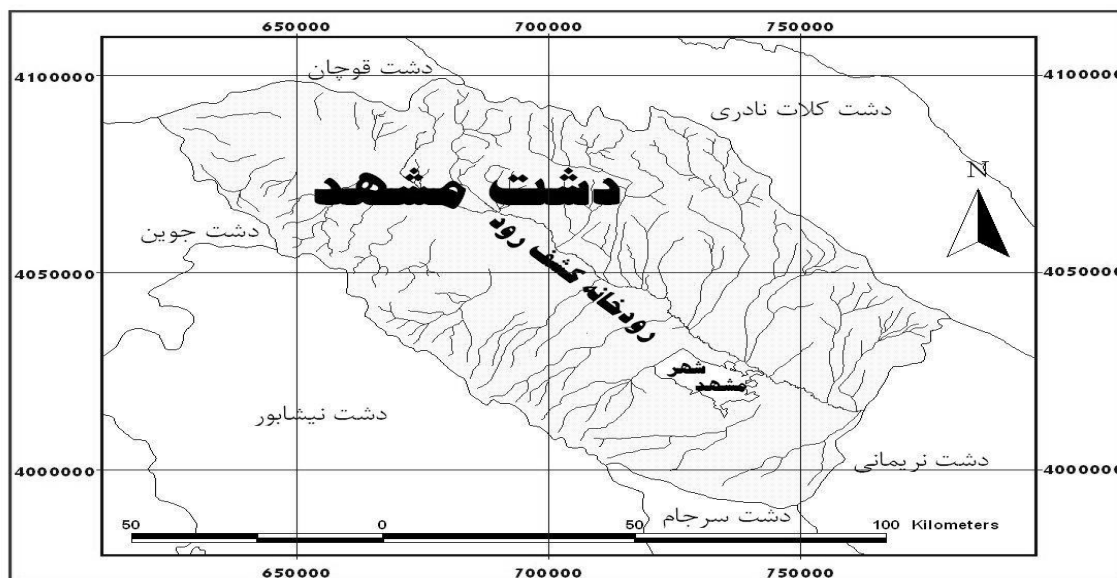
فصل سوم

معرفی منطقه مطالعاتی

۱-۳ موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

شهر مشهد به عنوان مرکز استان خراسان رضوی ما بین رشته کوه هزار مسجد و بینالود در منتهی الیه دشت مشهد در ارتفاع حدود ۹۶۰-۱۱۱۰ متر از سطح دریا قرار گرفته است. وسعت این شهر ۲۸۰ کیلومتر مربع و ارتفاع متوسط آن از سطح دریا ۹۸۰ متر است. همچنین شهر مشهد از نظر هیدرولوژیکی جزء دشت مشهد و حوضه آبریز رودخانه کشف رود می باشد شکل (۱-۳).

(تندیسه، ۱۳۹۲)



شکل (۱-۳): موقعیت شهر مشهد در حوضه آبریز کشف رود و دشت مشهد (علیزاده، ۱۳۸۳)

محدوده مورد مطالعه بخش غربی دشت مشهد بوده که در فرا دست و فرو دست جاده مشهد- چناران

بین طولهای جغرافیایی $39^{\circ} 29'$ ، $39^{\circ} 29'$ ، $39^{\circ} 29'$ ، $39^{\circ} 29'$ واقع گردیده است.

و از شمال به خط الرأس ارتفاعات هزارمسجد، از جنوب به حوضه آبریز جام رود و از غرب به حوضه

آبریز رودخانه اترک محدود می شود. مساحت کل دشت تا محل خروجی آن یعنی النگ اسدی حدود

۵۰۰۰ کیلومتر مربع می باشد که ۳۳۵۱ کیلومتر مربع آن را آبخوان دشت مشهد تشکیل می دهد. طول

کشیدگی حوضه کشف رود ۱۵۰ کیلومتر که از اراضی آبرگ و دالو واقع در ۹ کیلومتری جاده قوجان

– مشهد شروع و به کال تنگل شور در شرق حوضه ختم می‌گردد. بلندترین نقطه ارتفاعی حوضه ۳۳۰۰ متر در قله بینالود در جنوب غربی حوضه و پایین‌ترین ارتفاع ۸۸۰ متر در خروجی دشت در تنگل شور است (تندیسه، ۱۳۹۲).

در شکل (۲-۳) شهر مشهد، منطقه مورد مطالعه و گسل احتمالی نشان داده شده است. بر اساس آثار و شواهد، این گسل روندی شمالی-جنوبی دارد و از ارتفاعات هزار مسجد آغاز شده تا ارتفاعات بینالود ادامه دارد.

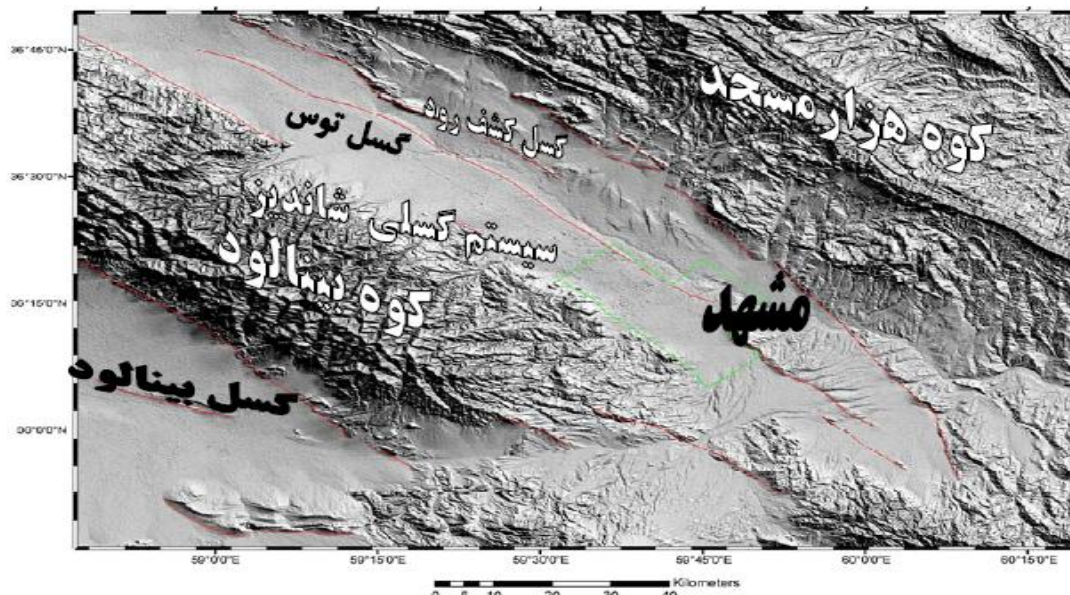


شکل (۲-۳): نقشه هوایی شهر مشهد و منطقه مطالعاتی (گسل احتمالی با رنگ قرمز نشان داده شده است)

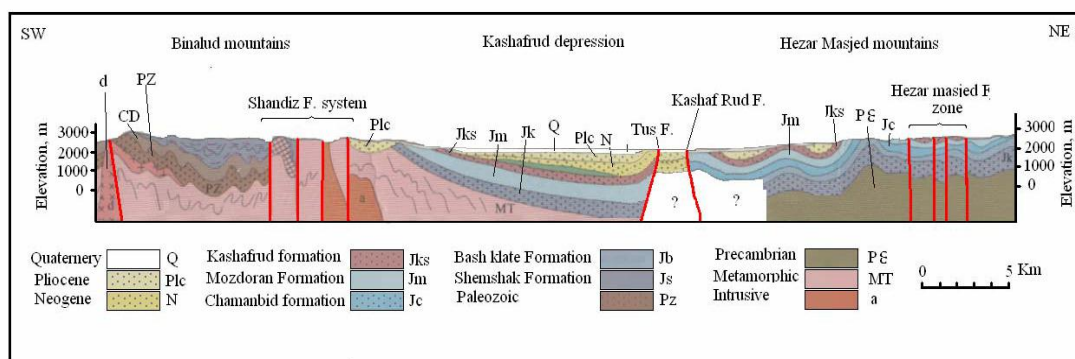
۲-۳ ویژگی‌های زمین‌شناسی گستره مشهد

از دیدگاه زمین‌شناسی و زمین‌ریخت‌شناسی، گستره مشهد به ترتیب از شمال شرقی به سمت جنوب غربی در پهنه کپه داغ، پهنه افیولیتی و ایران مرکزی قرار می‌گیرد (بربریان و همکاران، ۱۳۷۸). پهنه کپه داغ خود شامل سه بخش پیش‌گودال کپه داغ، کوه‌های چین‌خورده-رانده شده و فرونشست مشهد – قوچان است. پیش‌گودال کپه داغ بخش فروافتاده کوه‌های چین‌خورده-رانده شده کپه داغ است که پی‌سنگ آن به سبب رخداد کوهزایی هرسینی سخت شده است. کوه‌های چین‌خورده-رانده شده کپه داغ از رسوبات شیلی، آهکی، مارنی و ماسه سنگ ژوراسیک تا الیگوسن تشکیل شده است. ضخامت این رسوبات حدود ۸۰۰ متر برآورد می‌گردد؛ که روی آن را سنگ‌های

آواری قرمز رنگ قاره‌ای میوسن و پلیوسن پوشانده است. مرز جنوبی پهنه کپه داغ به گسل کشف رود و فرونشست مشهد- قوچان ختم شده است (آقائباتی، ۱۳۸۳). پهنه افیولیتی به صورت برونزدهایی از سنگ‌های اولترابازیک، رادیولاریتی و اسلیت در جنوب مشهد گسترش دارند که نشان دهنده فرورانش اقیانوس پارینه تیتیس به سمت شمال است (Berberian and king, 1981). این پهنه افیولیتی توسط گسل‌های جنوب مشهد و چناران از فرونشست مشهد- قوچان جدا می‌شود. کوه‌های چین خورده- رانده شده بینالود در جنوب پهنه افیولیتی در زون ایران مرکزی قرار می‌گیرد. این پهنه در جنوب غربی با گسل بینالود محدود شده است (شکل ۳-۳). برش عرضی ساده شده از ناهمواری‌ها و واحدهای زمین شناسی گستره مورد مطالعه از کوه‌های بینالود تا کوه‌های هزار مسجد در شکل (۳-۴) نشان داده شده است. در این شکل موقعیت گسل‌های کشف رود و توس با خط قرمز مشخص شده است.



شکل (۳-۳): موقعیت شهر مشهد و گسل‌های کشف رود، شانددیز، بینالود و توس (آزادی، ۱۳۸۸)



شکل (۳-۴): برش عرضی ساده شده از ناهمواری‌ها و واحدهای زمین‌شناسی گستره مورد مطالعه از کوه‌های بینالود تا کوه‌های هزارمسجد (برگرفته از برش عرضی KK با تغییر مختصر نسبت به نسخه اصلی شرکت ملی نفت ایران، ۱۳۵۶). موقعیت گسل کشف رود و توس با خطوط قرمز نشان داده شده است

۳-۳ گسل‌های مهم گستره پیرامون مشهد

گسل‌ها عبارت از شکستگی‌هایی هستند که در آنها، سنگ‌های طرفین صفحه شکستگی، بموازات این صفحه، لغزش^۸ پیدا می‌کنند و به کمک همین مشخصه، می‌توان آنها را از درزه‌ها تشخیص داد. لغزش گسل‌ها در انواع مختلف، متفاوت است و از چند میلیمتر تا چندین کیلومتر تغییر می‌کند.

در بعضی از موارد، یک گسل به صورت مجزا دیده می‌شود ولی در پاره‌ای حالات، چندین گسل موازی و نزدیک به هم دیده می‌شوند که به نام منطقه گسلی^۹ نامیده می‌شوند. گاهی نیز بدون اینکه یک شکستگی مشخص در سنگها دیده شود، سنگها نسبت به هم تغییر مکان می‌یابند که منطقه بین آنها، به نام منطقه برشی^{۱۰} موسوم است (تندیسه، ۱۳۹۲).

از آنجا که حرکت زمین در دو طرف سطح گسل در بسیاری موارد با زمین لرزه همراه است، بررسی گسل‌های فعال می‌تواند پایه ای برای بررسی‌های لرزه زمین‌ساختی باشد. گسل‌هایی که حداقل دارای یکی از ویژگی‌های اصلی و شش‌گانه زیر باشند، در حکم گسل فعال یا گسل دارای توان جنبایی در نظر گرفته می‌شوند. (بربریان و همکاران، ۱۳۶۴)

⁸ slide

⁹ Fault zone

¹⁰ Shear zone

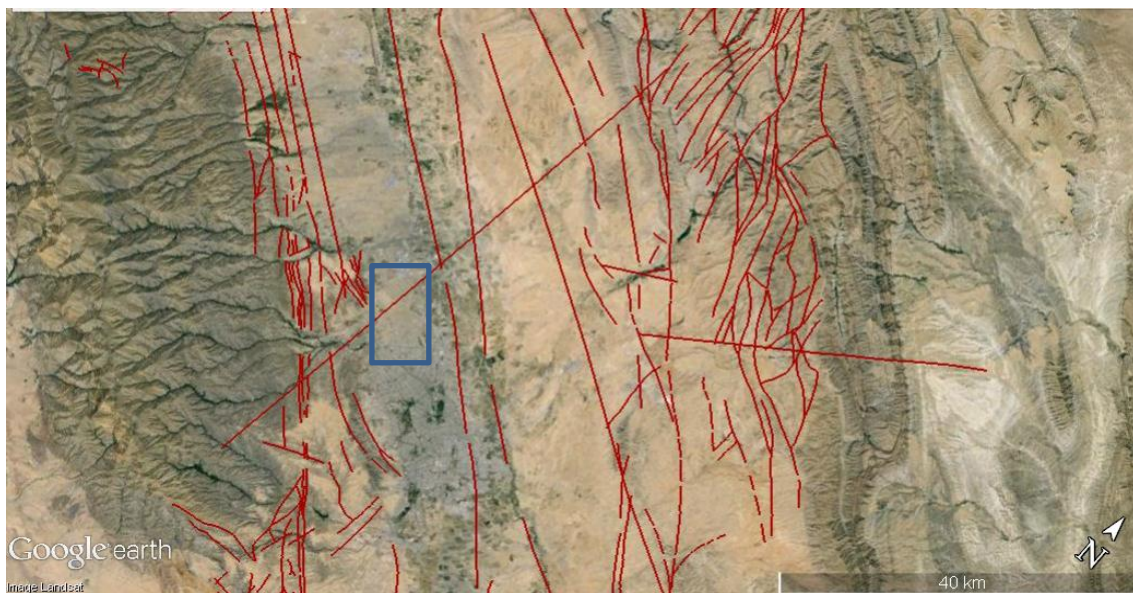
الف) رخداد زمین لرزه های تاریخی در بخشی از امتداد گسل؛ ب) مکان‌بایی زمین‌لرزه‌های بزرگ با خطای کم در نقطه‌ای از امتداد گسل‌های امتداد لغز و یا فرادیواره گسل‌های فشاری و یا کششی؛ ج) گسلش در رسوبات کواترنر پسین: یک جنبش در ۳۵۰۰۰ سال و یا دو جنبش یا بیشتر در ۵۰۰۰۰۰ سال گذشته؛ د) دیواره گسل‌های فعال در روی زمین که با فرسایش از میان نرفته باشند؛ ه) رویداد خرد زمین لرزه زیاد همبسته با سطح گسل که از سوی شبکه لرزه‌نگاری محلی با خطای کم در کانون روی زمین و کانون ژرفی برداشت می‌شوند؛ و) همبستگی زمین‌ساختی یک گسل با گسل شناخته شده فعال که به سبب جنبش گسل فعال، جنبشی در گسل مجاور روی دهد.

تریفونوف و ماچت (۱۹۹۳) گسل‌های دارای آخرین نشان جنبایی در هولوسن را به منزله گسل جنبا و در پلیستوسن در حکم گسل‌های دارای توان جنبایی در نظر گرفته‌اند. بنا براین تعریف، گسل‌های دارای توان جنبایی، قادر به ایجاد جابه‌جایی‌های عهد حاضر هستند، اما احتمال فعالیت آنها در زمان حاضر کمتر از گسل‌های جنبا است. گسل‌هایی که از نظر ساختاری و زمین‌شناسی اهمیت داشته‌اند اما نشانی از جنبایی یا گواهی بر رد جنبایی آنها وجود ندارد را در رده گسل‌های دارای فعالیت نامشخص دسته بندی می‌کنند. به مجموعه‌ای از گسل‌ها که اهمیت ساختاری ویژه‌ای نداشته باشند و در پیوند با ساختارهای اصلی نیز قابل تفسیر نباشند، گسل‌های به احتمال ناجنبا(غیرفعال) گفته می‌شود (Trifonov and Machette, 1993). حسامی آذر (۱۳۸۵)، گسل‌های ناحیه مشهد را بر اساس تعریف تریفونوف و ماچت (۱۹۹۳) به دو دسته گسل‌های جنبا و با توان جنبایی مطابق جدول (۳-۱) تقسیم بندی کرده است. مهم ترین گسل‌های فعال در این تقسیم بندی، گسل‌های توس، کشف رود، شاندریز، شمال نیشابور، خیرآباد و بالهر هستند .

جدول (۱-۳): گسل‌های جنب‌با و با توان جنبایی در گستره شعاع ۱۰۰ کیلومتری پیرامون مشهد (حسامی آذر، ۱۳۸۵)

طول (km)	گسل‌های جنب‌با	طول (km)	گسل‌های با توان جنبایی
۷۷	سیستم شاندیز	۷۰	مزدوران
۱۰۰	توس	۵۲	سرخ‌ده
۱۲۰	کشف رود	۱۵۰	گوچکی
۵۱	خیرآباد	۵۷	تبادکان
۹۵	بینالود	۱۵۱	امروداک
۵۰	شمال نیشابور	۴۱	آغار
۵۲	نیشابور	۱۱۰	الله اکبر
۱۳۶	بالهر	۸۰	فریمان

در شکل (۳-۵) گسل‌های دشت مشهد با رنگ قرمز نشان داده شده‌اند. همچنین در این شکل منطقه مورد مطالعه (کادر مستطیلی) و گسلی که از این منطقه عبور کرده است، مشخص شده است. خطواره این گسل بر روی ارتفاعات هزار مسجد و بینالود مشاهده شده است و در مطالعه حاضر هدف این است که ادامه روند گسل را در دشت بررسی کنیم.



شکل (۳-۵): منطقه مورد مطالعه با مستطیل آبی و گسل‌های موجود در منطقه با رنگ قرمز نشان داده شده‌اند.

۴-۳ مطالعات ژئوالکتریک انجام شده در دشت مشهد

تاکنون شش مرحله مطالعات ژئوالکتریک در سطح محدوده مشهد انجام شده و جمعاً ۳۷۲ سونداژ الکتریک در قالب ۴۱ پروفیل برداشت گردیده است (جدول ۲-۳). اولین مرحله مطالعات در سال ۱۳۴۲ توسط شرکت ژنرال ژئوفیزیک (CGG) با برداشت ۵۶ سونداژ صورت گرفته است. در ادامه در سال ۱۳۴۸ توسط همین شرکت ۹۰ سونداژ الکتریکی دیگر برداشت گردیده است (گزارش بهنگام سازی تلفیق مطالعات منابع آب، ۱۳۹۰). در سال ۱۳۴۹ بخش غربی محدوده مشهد توسط مهندس مشاور ست کوپ با برداشت ۱۱۴ سونداژ الکتریکی در قالب ۱۱ پروفیل مورد بررسی قرار گرفته است. در ادامه در سال ۱۳۵۲ شرکت مهندسی مشاور آبکاو شرق با برداشت ۴۸ سونداژ در قالب ۹ پروفیل، خصوصیات آبخوان آبرفتی دشت مشهد را مورد بررسی قرار داده است (شرکت آب منطقه‌ای خراسان رضوی، ۱۳۹۰). مطالعات ژئوفیزیکی در سازندهای آهکی برای اولین بار در این محدوده با روش ژئوالکتریک در سال ۱۳۷۶ در بخشی از ارتفاعات شمالی دشت مشهد (حد واسط شمال شهر مشهد تا شرق قوچان، ناحیه بهمن جان علیا و ده بار) توسط شرکت مهندسی مشاور زمین فیزیک در قالب مطالعات نیمه تفصیلی سازندهای حوضه آبریز کشف رود، صورت گرفته که متأسفانه گزارش و نتایج حاصل از این عملیات موجود نمی‌باشد. جدول شماره (۲-۳) تعداد سونداژ و پروفیل‌های ژئوالکتریک را برای محدوده مطالعاتی مشهد نشان می‌دهد.

در قالب مطالعات ژئوفیزیک، نقشه‌های مقاومت ویژه ظاهری با طول فرستنده‌های جریان ۳۰۰ و ۱۰۰۰ متر در دشت مشهد تهیه شده است. طول فرستنده جریان برای بخش شرقی دشت مشهد ۱۰۰۰ متر و برای قسمت‌های شمالی دشت مشهد (چشمه گیلاس تا شهر توس) ۳۰۰ متر انتخاب شده است (شرکت آب منطقه‌ای خراسان رضوی، ۱۳۹۰).

عمق بررسی در دشت مشهد- چناران تا عمق تقریبی ۲۵۰ متر و در شمال دشت مشهد، تا عمق ۷۵ متر بوده است. بدیهی است عمق بررسی، متناسب با عمق سطح ایستایی و ضخامت لایه اشباع در دشت‌های فوق می‌باشد.

بررسی منحنی‌های مقاومت ویژه ظاهری در محدوده مشهد نشان دهنده آن است که حداکثر مقاومت ویژه ظاهری، ۳۰۰ اهم متر (به دلیل دانه درشت بودن و از طرفی حاوی آب شیرین) در محل مخروط افکنه‌های پایین ارتفاعات بینالود در جنوب دشت مشهد می‌باشد (شرکت آب منطقه‌ای خراسان رضوی، ۱۳۹۰).

در محدوده مطالعاتی مشهد با دورشدن از مخروط افکنه‌های بینالود (دارای مقاومت ویژه ۱۰۰ تا ۳۰۰ اهم متر) به طرف رودخانه کشف رود به دلیل ریزش تدریجی رسوبات و پایین آمدن کیفیت آب زیرزمینی، مقاومت ویژه نیز بتدریج کم شده و به ۲۰ اهم متر می‌رسد. در آبرفت‌های حاشیه هزار مسجد (ارتفاعات شمال کشف رود) مقاومت ویژه ظاهری بین ۲۰ تا ۱۰۰ اهم متر متغیر می‌باشد (شرکت آب منطقه‌ای خراسان رضوی، ۱۳۹۰).

جدول (۲-۳) : تعداد سونداژ و پروفیل ژئوالکتریک محدوده مشهد (شرکت آب منطقه‌ای خراسان رضوی، ۱۳۹۰).

ردیف	وسعت دشت کیلومتر مربع	تعداد سونداژ	تراکم سونداژ در هر ۲۵ کیلومتر مربع	تعداد پروفیل	ملاحظات
۱	۳۷۷۶	۵۶	۲/۶	۷	اطلاعات ۵ دوره موجود می‌باشد. یک دوره مربوط به سازندسخت که اطلاعات موجود نیست.
		۹۰		۱۰	
		۱۱۴		۱۱	
		۴۸		۹	
		۶۴		۴	

فصل چهارم

۴-۱ مقدمه

همان طور که در انتهای فصل ۲ عنوان شد، در سیستم‌های برداشت با دستگاه‌های معمولی، دقت اندازه گیری اختلاف پتانسیل حدود یک میلی ولت می‌باشد و علی رغم وجود نوفه های بالای محیط- های شهری باید بتوان پاسخ مناسبی از گسل در اعماق زیاد دریافت کرد. بنابراین در این فصل نتایج برداشت مقاومت ویژه به کمک دستگاه‌های دقیق تری برای شناسایی گسل‌های عمیق مدفون صورت می‌گیرد. همچنین روش جمع آوری داده‌ها با استفاده از سیستم چند الکترودی بیان می‌شود. از آنجایی که نوفه‌های الکتریکی بسیاری از اندازه گیری ها را تحت تأثیر خود قرار می‌دهند؛ بنابراین با استفاده از پردازش‌های مناسب اثر این نوفه‌ها روی داده‌ها کاهش می‌یابد و پس از دستیابی به سیگنال مطلوب، مقاومت ویژه زمین در نقاط مختلف محاسبه خواهد شد و نتایج بصورت نقشه‌های هم مقاومت ویژه ظاهری تهیه می شوند و با تفسیر این مقاطع می‌توان موقعیت، ساز و کار، شیب و امتداد گسل احتمالی را تشخیص داد.

۴-۲ دستگاه‌های اندازه گیری

در این برداشت از یک فرستنده قوی جریان ، یکسو کننده جریان و دستگاه گیرنده سائزموگراف pasi و RAS-24 استفاده شد(جوان دولویی و همکاران، ۱۳۸۷). جریانی که توسط فرستنده ارسال می‌شود به وسیله دستگاه یکسو کننده ، یک سو شده و تبدیل به پالس مربعی می‌شود که می‌توان مدت زمان ارسال جریان، پهنای پالس مربعی و زمان نمونه برداری را تعیین نمود.

آنچه دستگاه با زمان اندازه می‌گیرد شمارش^{۱۱} نام دارد که تبدیل به اختلاف پتانسیل خواهد شد. می‌توان محدوده اختلاف پتانسیل ورودی به دستگاه را تنظیم نمود برای مثال وقتی ضریب تقویت^{۱۲} دستگاه را روی ۵۰ تنظیم کنیم دستگاه تا ± 250 میلی ولت را می‌خواند. دستگاه یکسو کننده و دستگاهی که با استفاده از آن می‌توان هر تعداد الکترو پتانسیل را در مدار قرار داد در شکل های (۴-۱) و (۴-۲) نشان داده شده اند.

¹¹ count

¹² Gain



شکل (۴-۱): دستگاه یکسو کننده جریان



شکل (۴-۲): دستگاه مورد استفاده برای انتخاب الکترودهای قرارگیرنده در مدار

۳-۴ محدوده کار و انتخاب پارامترهای دستگاه فرستنده جریان

پارامترهای مهم در کارکرد دستگاه فرستنده جریان الکتریکی را می‌توان پریود پالس، ولتاژ و شدت جریان برحسب آمپر دانست. از دیگر عوامل تأثیر گذار می‌توان پاسخ زمین را نیز در نظر گرفت. با توجه به این که پاسخ زمین برای خاک و سنگ‌های مختلف، متفاوت می‌باشد؛ باید محافظه کارانه‌ترین حالت را در نظر گرفت. براساس تجربیات بدست آمده از آزمایش‌های صحرائی، اثر پتانسیل القایی بر روی ولتاژ تزریقی به زمین حداکثر پریود ۱ ثانیه دارد (آزادی، ۱۳۸۸). بنابراین مدت زمان ارسال سیگنال یا پریود پالس تزریقی باید بیشتر از ۱ ثانیه باشد. هم چنین هر چه ولتاژ تزریقی بیشتر باشد، مدت زمان اثر پتانسیل القایی بیشتر است. در صورتی که طول پالس ارسالی به زمین زیاد باشد، اثر القایی در الکترودهای فرستنده جریان بوجود می‌آید و تا اندازه ای جریان تزریقی در محیط اطراف الکترودها به حالت اشباع در می‌آید. علاوه بر آن هر چه طول پالس زیادتر باشد، ثابت نگه داشتن مقدار جریان تزریقی به زمین مشکل‌تر می‌شود. بر اساس تجربیات بدست آمده از آزمایش‌های صحرائی برای ولتاژهای ۱۲۰۰ ولت حداکثر طول پالس نباید بیشتر از ۳۰ ثانیه باشد (آزادی، ۱۳۸۸). در ولتاژهای پایین تر مانند ۵۰۰ ولت با توجه به قدرت ژنراتور تأمین کننده برق می‌توان طول پالس را تا ۵۰ ثانیه نیز انتخاب کرد.

۴-۴ دستگاه گیرنده سایزموگراف pasi مدل 16s-12u

این دستگاه نسخه ای از سری سایزموگراف 16s می‌باشد. این ابزارهای جدید اکنون در نسخه 16s-u (با رابط USB برای یک کامپیوتر خارجی) و در نسخه 16S-P (با کامپیوتر داخلی) در دسترس هستند شکل (۳-۴). دستگاه مورد استفاده در این پژوهش، مدل 16s-12u می‌باشد. سایزموگراف pasi مدل 16s-u نسخه فوق سبک از سری 16S-N می‌باشد. می‌توان آن را به سادگی از طریق یک USB به یک کامپیوتر قابل حمل متصل کرد. به کمک نرم افزار فراهم شده به همراه دستگاه، می‌توان پارامترهای

برداشت داده را تنظیم کرد و داده‌های برداشت شده را نمایش داده و همچنین آنها را در نگاهی مختصر بازبینی نمود.

مراحل منطقی پیشنهاد شده برای تنظیمات هر نوع پروفیل توسط نرم افزار پیشرفته همراه با دستگاه، به کاربر اجازه می‌دهد تا همواره موقعیت را تحت کنترل بگیرد. تمامی داده‌ها روی هارد دیسک داخلی ذخیره می‌شوند و برای انتقال به کامپیوتر از طریق USB به منظور اعمال پردازش آماده هستند (برگرفته از سایت pasisrl.it). ویژگی‌های فنی این دستگاه در جدول (۴-۱) ذکر شده است.



شکل (۴-۳) : دستگاه سائزموگراف مدل 16 S-U

جدول (۱-۴): ویژگی‌های فنی دستگاه سایزموگراف مدل 16s-u (www.pasisrl.it)

مدل	16S-12U
PC متصل	ندارد
تعداد کانال	۱۲
زمان نمونه برداری	از $125 \mu\text{s}$ تا 2 ms
طول رکورد	از 32 ms تا 65536 ms
برانبارش	با/بدون پیش نمایش کلی/جزئی
تأخیر	$0 - 8000 \text{ ms}$
معکوس سازی قطبش ژئوفون	بله
نمایش موج سایزمیک	تریس wiggle / نواحی متغیر
نمایش نوفه	بله، با نمایش آبخاری زمان واقعی
اندازه تریس	خودکار یا دستی برای هر کانال
تولید داده خروجی	USB برای اتصال یک کامپیوتر خارجی
کالیبراسیون خودکار	بله
فرمت داده	PASI، SEG-2
منبع تغذیه	باتری 12V خارجی
ابعاد	$24 \times 27 \times 17.4 \text{ cm}$
وزن	$< 3 \text{ kg}$

۵-۴ دستگاه گیرنده سائزموگراف رقومی seistronix RAS-24

این دستگاه نیز همانند دستگاه سائزموگراف PASI عمل می‌کند که برای برداشتهای لرزه نگاری انکساری و انعکاسی طراحی شده است. بسط پذیری دستگاه RAS-24 در هیچ دستگاه دیگری فراهم نشده است. این دستگاه به یک لپ تاپ متصل می‌شود و یک سائزموگراف ۲۴کاناله را ایجاد می‌کند. شکل (۴-۴) (برگرفته از سایت www.seistronix-RAS-24).



شکل (۴-۴): دستگاه سائزموگراف رقومی ras-24

۶-۴ روش جمع آوری داده‌ها

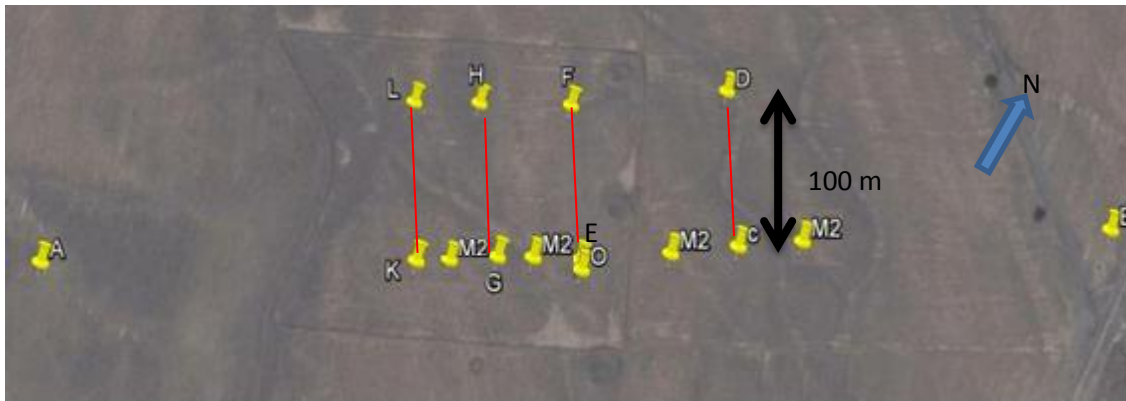
در روز ۲۵ اردیبهشت ماه سال ۱۳۹۳ تیم تحقیقاتی شرکت مشاوران زمین، فیزیک، پویا به منظور انجام این کار صحرایی و برداشت داده‌ها به منطقه‌ای فرونشستی در توس مشهد عزیمت نمودند. در ابتدا با توجه به خطواره گسل که بر روی ارتفاعات مشاهده گردیده بود، حدس زده شد که روند گسل در دشت نیز ادامه داشته باشد. طراحی پروفیل‌ها نیز تقریباً عمود بر امتداد گسل طراحی شد. بر اساس شواهد موجود این گسل بر روی ارتفاعات هزار مسجد و بینالود، نتیجه می‌شود که امتداد این

گسل زیاد می‌باشد و معمولاً نصف این امتداد را برای عمق گسل در نظر می‌گیرند. بنابراین باید روشی به کار برده شود که تا اعماق زیاد را بررسی کند.

در ابتدای کار نويز زمينه را ثبت کردیم و پس از آن یک آرایش خطی و نر ساده را برای آزمایش دستگاه‌ها به کار بردیم. پس از آن آرایش مورد نظر را استفاده کردیم به این صورت که برای شناسایی موقعیت احتمالی گسل پنهان با روند شمالی- جنوبی از دو الکتروود جریان ثابت با طول ۶۰۰ متر، یک الکتروود پتانسیل ثابت و ۲۰ الکتروود پتانسیل با فواصل ۵ متری از یکدیگر که در راستای عمود بر خط واصل الکتروودهای جریان قرار می‌گرفتند، در هر پروفیل استفاده شد. چهار پروفیل با امتداد شمال غرب-جنوب شرق تقریباً عمود بر امتداد گسل احتمالی با فواصل ۵۰ متر از یکدیگر برای برداشت طراحی و انتخاب شدند. فاصله الکتروود M تا اولین الکتروود N برای هر پروفیل، حدوداً ۵۰ متر می‌باشد. برداشت به صورتی بود که ابتدا ۱۰ جفت الکتروود پتانسیل اول و سپس ۱۰ جفت دوم به دستگاه گیرنده وصل می‌شدند و هر بار جریان به مدت ۱ دقیقه به زمین تزریق می‌شد. در شکل (۴-۵) موقعیت الکتروودهای جریان و پروفیل‌ها نشان داده شده است. در شکل (۴-۶) نیز نمایی واقعی از طرز چیدمان الکتروودهای پتانسیل آورده شده است.

جریان با استفاده از یک فرستنده پرقدرت وارد دستگاه یکسو کننده جریان شده و تبدیل به پالس مربعی با پهنا و تعداد سیکل مشخص می‌شود. برای این برداشت، جریان ۲۶۰ میلی آمپر انتخاب شد. همچنین زمان نمونه برداری ۰/۰۰۲ ثانیه و مدت زمان کل ارسال جریان ۶۰ ثانیه و ولتاژ ۲۰ میلی ولت در نظر گرفته شد. پس از ارسال سیگنال به زمین، با استفاده از دستگاه گیرنده pasi که توانایی ثبت رقمی را دارد، این سیگنال به صورت یک نگاشت دریافت می‌گردد (در این پژوهش از هر دو دستگاه pasi و ras-24 استفاده شد) تا در مراحل بعد، حذف نوفه و پردازش‌های لازم روی آن صورت

گیرد. نگاشت الکتریکی ثبت شده در این پژوهش را می‌توان الکترونگاشت (در تشابه با لرزه نگاشت) نام‌گذاری کرد.



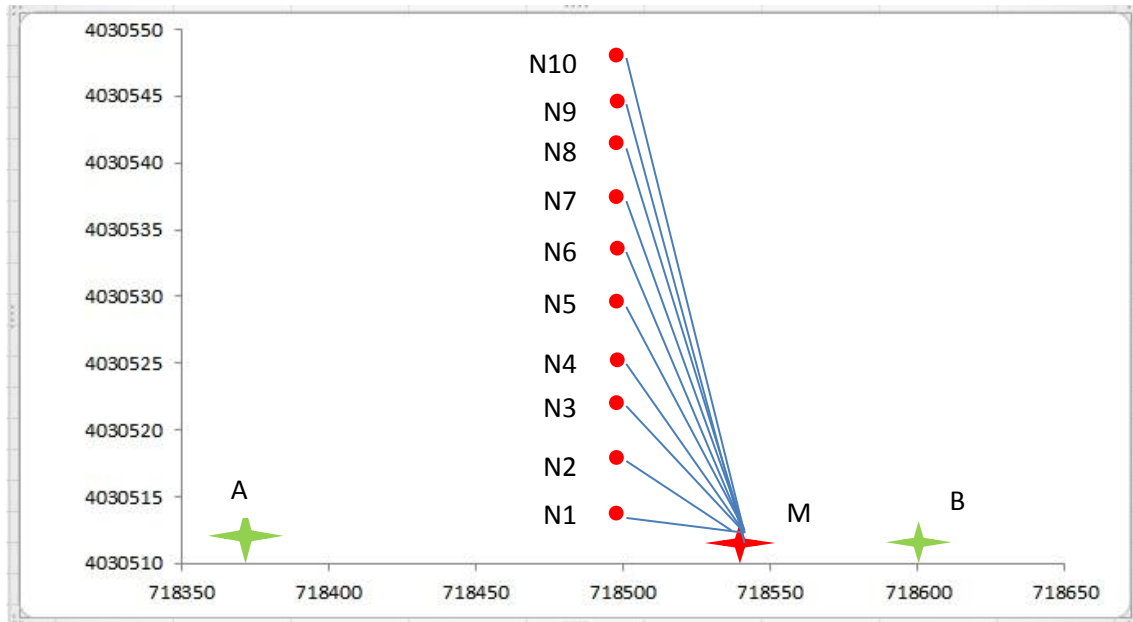
شکل (۴-۵): موقعیت الکترودها و پروفیل‌های برداشت



شکل (۴-۶): نمایی واقعی از نحوه قرارگیری الکترودهای پتانسیل

در شکل (۴-۷) ، نحوه قرارگیری الکترودهای پتانسیل و الکترودهای جریان نشان داده شده است. آرایش مورد استفاده در این روش، آرایش مستطیلی (گرادیان) با الکترودهای جریان و پتانسیل عمود بر هم می‌باشد. دلیل انتخاب چنین آرایشی کمبود فضا برای چینش الکترودها بود. این آرایش بهترین انتخاب برای این محیط شهری می‌باشد.

عمق نفوذ جریان ارسالی به زمین با توجه به این که L را فاصله بین الکترودهای جریان در نظر می-گیریم، $L/4$ می‌باشد. که در این صورت با توجه به فاصله ثابت ۶۰۰ متری الکترودهای جریان، عمق نفوذ جریان ۱۵۰ متر بدست می‌آید. و این عمق برای تمامی پروفیل‌ها همین مقدار می‌باشد.



شکل (۴-۷): نحوه چیدمان الکترودهای جریان و پتانسیل (الکترودهای جریان A و B و یک الکترو پتانسیل M با ستاره و الکترودهای پتانسیل دیگر با دایره مشخص شده اند).

فاکتور هندسی آرایش با استفاده از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$K = \frac{2\pi}{\frac{1}{AM} + \frac{1}{AN_1} + \frac{1}{BM} + \frac{1}{BN_1}} \quad (۴-۱)$$

که در شکل برای کانال اول پروفیل EF با توجه به اینکه $AM=350$ ، $AN_1=300.04$ ، $BM=250$ و $BN_1=300.04$ مقدار فاکتور هندسی ۵۴۹۵ بدست می‌آید و این مقدار برای کانال‌های دیگر نیز یکسان است.

مقادیر اختلاف پتانسیلی که از هر الکترون‌گاشت بدست می‌آید با استفاده از فرمول زیر تبدیل به مقاومت ویژه ظاهری می‌گردد. جریان به طور متوسط ۲۶۱ میلی آمپر در نظر گرفته می‌شود:

$$\rho = K \frac{V}{I} \quad (۴-۲)$$

برای افزایش دقت اندازه گیری نگاشت‌های الکتریکی (الکترونگاشت)، در ابتدا شناسایی انواع نوفه ضروری است. پس از شناخت انواع نوفه‌ها، بررسی روش‌های پردازش برای حذف و یا کاهش اثر نوفه‌ها به کار گرفته می‌شود. این روش‌ها باید باعث افزایش نسبت سیگنال به نوفه گردد و کمترین صدمه را به سیگنال مورد نیاز وارد نماید.

۴-۷ انواع نوفه‌های الکتریکی

نوفه‌ها می‌توانند منظم یا نامنظم باشند. نوفه‌های منظم شکل و فاز همسانی دارند و دامنه آنها نسبت به زمان به تدریج تغییر می‌کند. دامنه و فاز نوفه‌های تصادفی به طور سریع و ناگهانی نسبت به زمان تغییر می‌کند. نسبت سیگنال به نوفه (S/N) به عوامل متعددی بستگی دارد که از آن جمله می‌توان به ساختار زمین شناسی منطقه، شرایط لرزه‌ای-زمین شناسی، شرایط آب و هوایی، کیفیت دستگاه برداشت (سایزموگراف)، قدرت چشمه و روش‌های اجرا اشاره کرد.

نوفه‌های الکتریکی چشمه‌های مختلف دارند. منشأ این نوفه‌ها می‌تواند نوع زمین، پتانسیل خودزا، پتانسیل القایی، کابل‌ها، دکل‌های برق، ریل‌های راه آهن، مترو، فعالیت پمپ‌های آب، امواج سیسموالکتریک، سیستم کاتدیک خطوط لوله های نفت و گاز و جریان‌های الکترومغناطیس باشد. در بعضی موارد تفکیک این چشمه‌ها امکان پذیر نمی باشد. مطالعه نوفه اهمیت زیادی دارد و در جاهایی که سطح نوفه بالا باشد با ایجاد تغییراتی در آرایش الکترودها، زمان برداشت و روش مناسب پردازش می‌توان اثر نوفه‌ها را در برداشت مقاومت سنجی عمیق کاهش داد.

۴-۷-۱ نوفه پتانسیل خودزا^{۱۳}

این نوفه بر اثر وجود مصالح مختلف در تماس با الکترودهای پتانسیل به وجود می‌آید. این نوفه معمولاً در حالتی که جنس زمین در تماس با دو الکتروده متفاوت باشد، باعث تشکیل پیل‌های الکتریکی بین دو الکتروده پتانسیل می‌گردد. در محیط‌های معمولی مقدار پتانسیل خودزا بین 10 تا 400 میلی

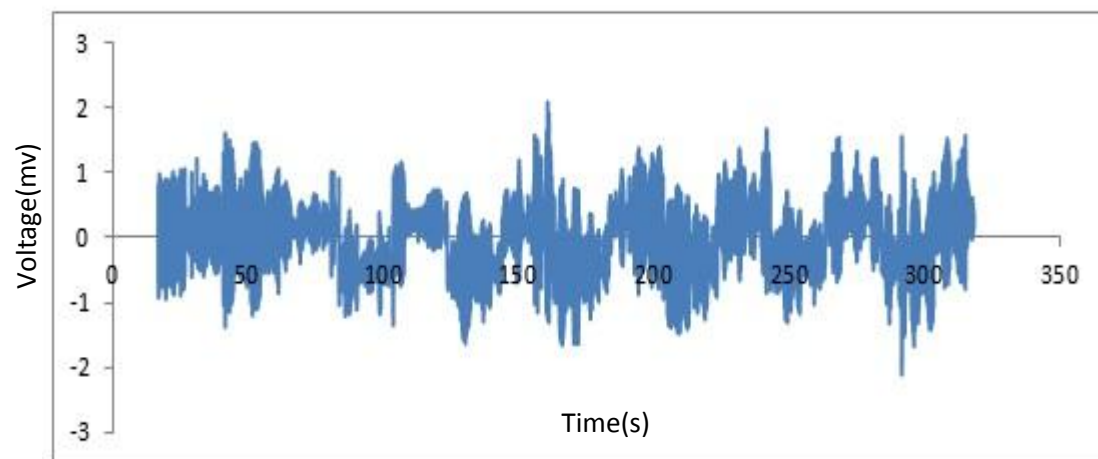
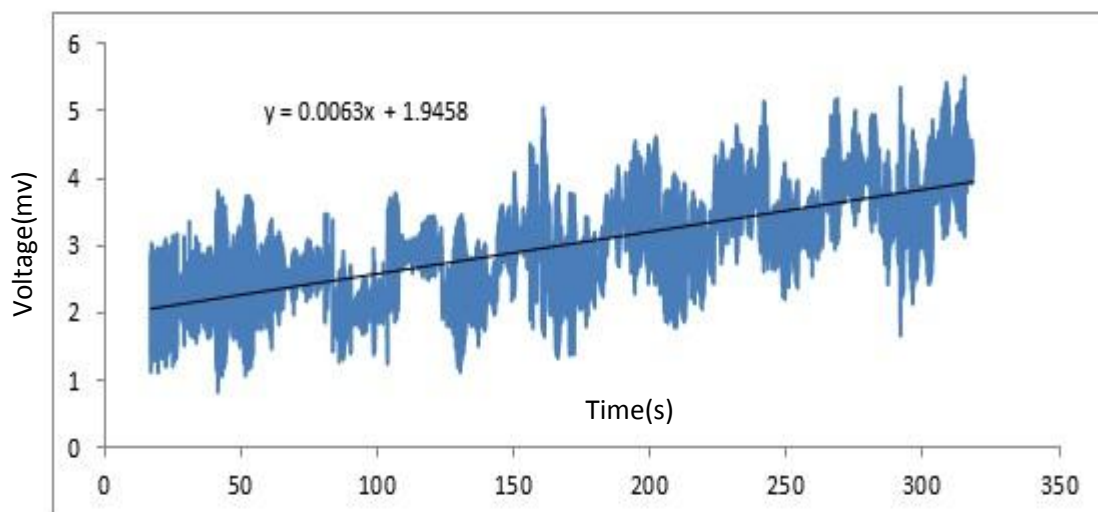
¹³ Self Potential

ولت و در بعضی مناطق بیشتر از 1 ولت نیز مشاهده شده است (جوان دولویی و همکاران، ۱۳۸۷).
روش پتانسیل خودزا کاربرد زیادی در اکتشاف معادن سولفیدی دارد. برای حذف این نوفه ها در بعضی از دستگاه های معمولی ژئوالکتریک با ارسال ولتاژی معکوس، اختلاف پتانسیل بین دو الکتروود را صفر می کنند.

در بعضی از دستگاه های دیگر از روش انباشت استفاده می کنند. در این روش حداقل دو بار با تعویض قطب های جریان در دو الکتروود جریان، اختلاف پتانسیل بین دو الکتروود های پتانسیل اندازه گیری می شود. هر دو روش در هنگامی که نوفه ها نسبت به زمان تغییر می کنند دقت خوبی ندارد. در روش ثبت رقومی می توان از روش تصحیح خط مبنا^۴ استفاده کرد (جوان دولویی و همکاران، ۱۳۸۷).

به منظور انجام تصحیح خط مبنا، ابتدا باید خط یا منحنی که بهترین برازش را با نمودار مورد نظر ما دارد انتخاب کنیم و معادله آن خط یا منحنی را بدست آوریم، سپس داده ها را در معادله خط یا منحنی قرار داده و در آخر این مقادیر را از مقادیر داده های اصلی کم کرده و نمودار جدید رسم می - شود. یک نمونه از این پردازشات در شکل (۴-۸) و همچنین در جدول (۴-۲) نشان داده شده است.

¹⁴ Base line correction



شکل (۴-۸): نمونه ای از سیگنال قبل و بعد از تصحیح خط مبنا مربوط به پروفیل EF

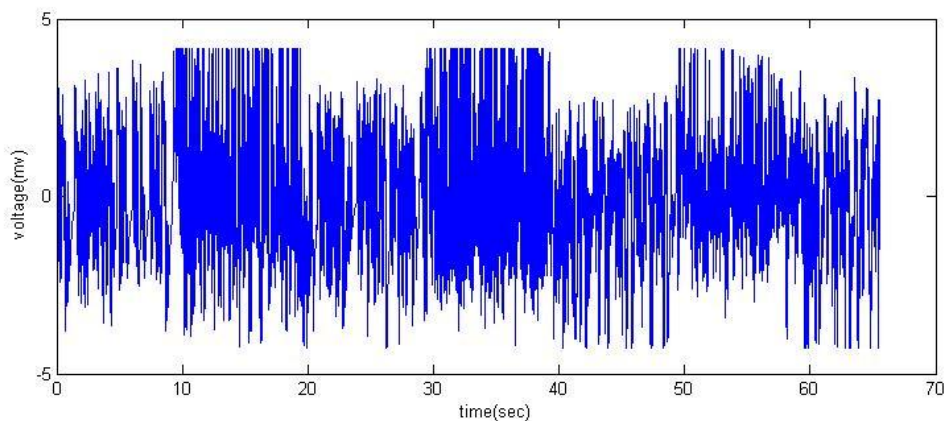
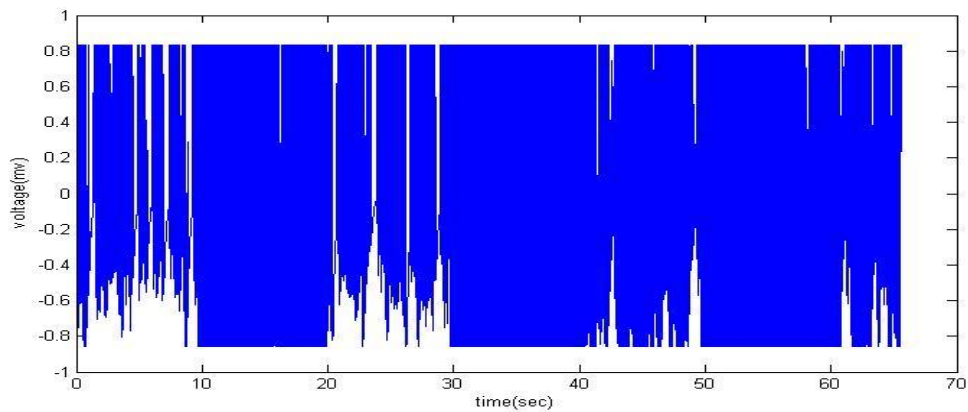
جدول (۴-۲): مراحل انجام محاسبات برای تصحیح خط مبنا

زمان	مقادیر اختلاف پتانسیل	جایگزینی زمان در معادله خط برازش داده شده	تفریق مقادیر اصلی از مقادیر تابع بدست آمده
۱۷/۰۱	۱/۴۳۵۶۴۷	$1/9458 + 17/01 \times 0/063$ $2/052963 =$	$1/435647 - 2/052963$ $-0/61732 =$
۱۷/۰۲	۲/۸۵۴۷۱۴	$1/9458 + 17/02 \times 0/063$ $2/053026 =$	$2/854714 - 2/053026$ $0/801688 =$
۱۷/۰۳	۱/۳۵۲۴۳۹	$1/9458 + 17/03 \times 0/063$ $2/053089 =$	$1/352439 - 2/053089$ $-0/70065 =$

محاسبات کامل تصحیح خط مبنا با استفاده از excel در پیوست ب آمده است.

۲-۷-۴ روش برانباشت داده‌ها^{۱۵} برای کاهش اثر نوفه الکتریک

برای افزایش نسبت سیگنال به نوفه از روش تکرار اندازه گیری ها و جمع کردن آنها استفاده می‌شود که به آن برانبارش می‌گویند. در محاسبات مربوط به برانباشت داده، مقادیر اختلاف پتانسیل را ۵ تا ۵ تا با یکدیگر جمع کردیم و بر این اساس زمان نمونه برداری نیز مقدار ۰/۰۱ بدست آمد. شکل (۴-۹) نمونه ای از برانبارش داده ها را نشان می‌دهد.



شکل (۴-۹) : بالا: یک نمونه نگاشت مربوط به پروفیل EF؛ پایین: همان نگاشت پس از برانبارش داده ها

¹⁵ stacking

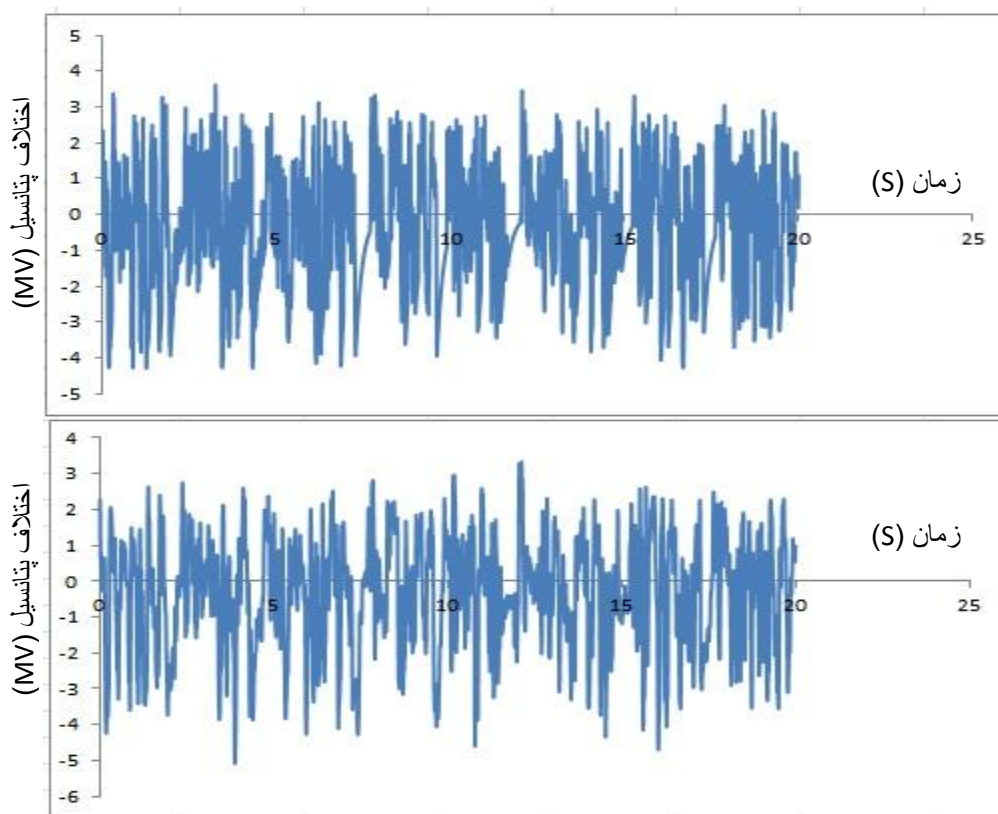
۳-۷-۴ روش هموارسازی

استفاده از روش هموار سازی نیز برای کاهش اثر نوفه‌های تلوریک موثر است. در شکل (۴-۱۰) نمونه ای از اعمال این روش بر روی داده‌ها نشان داده شده است. نحوه انجام پردازشات برای هموارسازی در جدول (۳-۴) نشان داده شده است.

جدول (۳-۴): نحوه انجام محاسبات به منظور هموارسازی داده ها

زمان	اختلاف پتانسیل	محاسبات مربوط به هموارسازی	مقدار نهایی
۱۷/۰۱	-۰/۶۱۷۳۲		
۱۷/۰۲	۰/۸۰۱۶۸۸	$[0/801688 \times 2 + (-0/61732) + (-0/70065)] / 4$	۰/۰۷۱۳۵۳
۱۷/۰۳	-۰/۷۰۰۶۵	$[0/70065 \times 2 + 0/801688 + (0/787973)] / 4$	۰/۰۴۷۰۹
۱۷/۰۴	۰/۷۸۷۹۷۳	مانند بالا عمل می شود.	

محاسبات کامل مربوط به هموارسازی که در excel انجام شده است در پیوست ب آورده شده است.



شکل (۴-۱۰) نمونه ای از سیگنال مربوط به پروفیل CD قبل (شکل بالا) و بعد (شکل پایین) از هموارسازی

۴-۷-۴ نوفه تلوریک^{۱۶}

این نوفه بر اثر جریان‌های طبیعی تلوریک زمین بوجود می‌آید و با نوفه‌های مصنوعی حاصل از عبور و مرور، کارکردن دستگاه‌ها، امواج دریا، پمپ‌های آب تداخل می‌کنند. تفکیک این نوفه‌ها با توجه به منشأ آنها مشکل می‌باشد. با استفاده از روش‌های پردازش پیشرفته (روش فیلتر کردن موجک، وانباشت) اثر آن را می‌توان کم کرد.

۴-۷-۵ نوفه پلاریزاسیون القایی^{۱۷}

زمین، مانند یک خازن عمل می‌کند بنابراین هنگامی که جریانی مربعی به زمین داده شود زمین مقداری از انرژی را در خود ذخیره می‌کند و هنگامی که جریان قطع می‌شود این جریان را پس می‌دهد. این روش در شناسایی معادن سولفیدی کاربرد زیادی دارد ولی در برداشت داده‌های مقاومت

¹⁶ -Telluric

¹⁷ - Inductive polarization

ویژه به صورت رقومی، نوفه شناخته می‌شود. به طور معمول مدت زمان فراز (وصل جریان) طولانی تر از مدت زمان فرود (قطع جریان) می‌باشد . برای حذف این نوفه پریود قطع و وصل جریان را افزایش داده و در پردازش داده ها برای اطمینان، یک ثانیه هنگام قطع و وصل در نظر گرفته نمی شود (آزادی،۱۳۸۸).

۴-۷-۶ نوفه دستگاہی

نوفه‌های دستگاہی شامل نوفه دستگاہ گیرنده (دیتالاگر)، کابل ، قرقره و گیره ها می‌باشد . برای اندازگیری نوفه دستگاہی دو سر ورودی هر کانال از دیتالاگر را به هم وصل کرده و نوفه برداشت می شود .

۴-۷-۷ نوفه‌های مرکب

این نوفه ها از ترکیب نوفه های مختلف تشکیل می شود و تفکیک این نوفه ها تا اندازه ای مشکل می باشد . با استفاده از روش‌های اجرایی و تغییر زمان برداشت داده، تا اندازه ای می توان اثر این نوع نوفه-ها را کاهش داد(جوان دولویی و همکاران،۱۳۸۷).

در جدول (۴-۴) خلاصه‌ای از انواع نوفه‌های مهم و تأثیر گذار بر اندازه گیری پتانسیل آورده شده است.

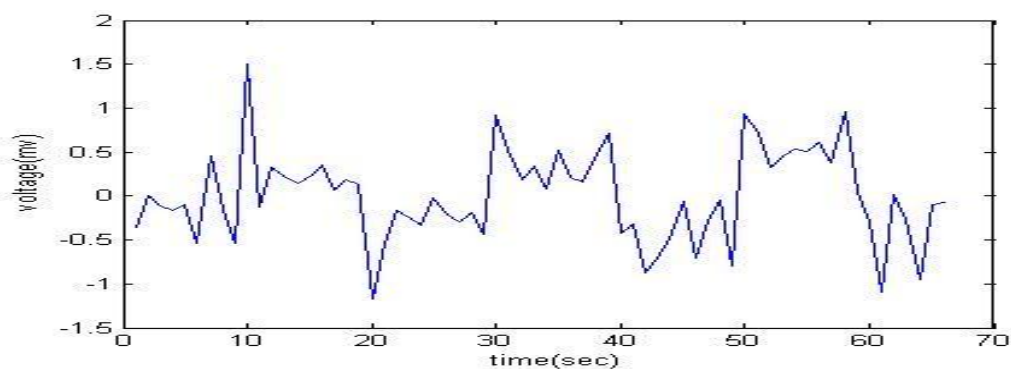
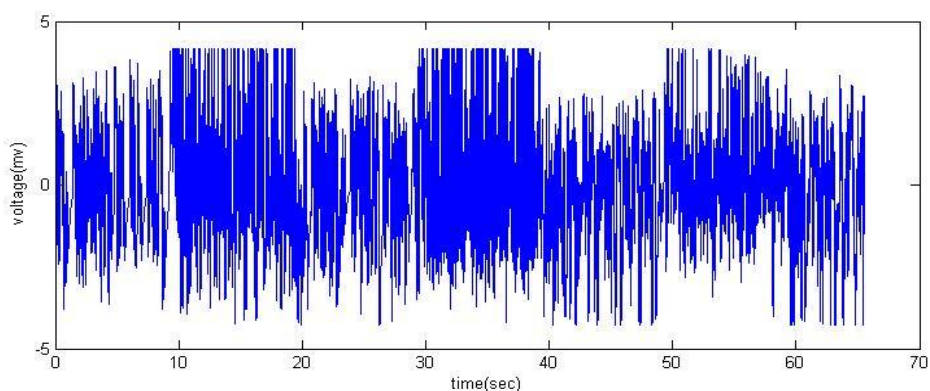
جدول (۴-۴): انواع نوفه‌ها، منشأ، شکل تقریبی و روش‌های حذف آنها (جوان دولویی و همکاران، ۱۳۸۷)

نوع نوفه	منشأ	شکل نوفه	طریقه حذف نوفه
پتانسیل خودزا	اختلاف جنس زمین در دو الکتروود پتانسیل	خطی تا تابع درجه ۵	تصحیح خط مبنا، استفاده از الکترودهای قطبش ناپذیر
نوفه الکتریک	کابل‌ها و دکل‌های برق	سینوسی ۵۰ هرتز	اعمال فیلتر ناچ، هموارسازی و فاصله گرفتن از کابل‌ها و دکل‌ها
نوفه تلوریک	تلوریک طبیعی زمین	نامنظم	استفاده از روش فیلتر کردن موجک، انباشت و آرایش مناسب الکترودهای پتانسیل
قطبش القایی	خاصیت خازنی زمین هنگام اتصال و یا قطع جریان الکتریکی	کاهش دهنده	استفاده از سیگنال‌های مربعی با دوره بیش از ۱۰ ثانیه
نوفه دستگاهی	نوفه دستگیرنده، کابل‌ها و گیره‌ها	نامنظم	استفاده از دستگاه یا محافظ مخصوص، گیره‌های با روکش پلاستیکی
نوفه‌های ترکیبی	ترکیب از منشأ متفاوت	ترکیبی از شکل‌های متفاوت	رعایت مرحله خاص حذف هر نوفه

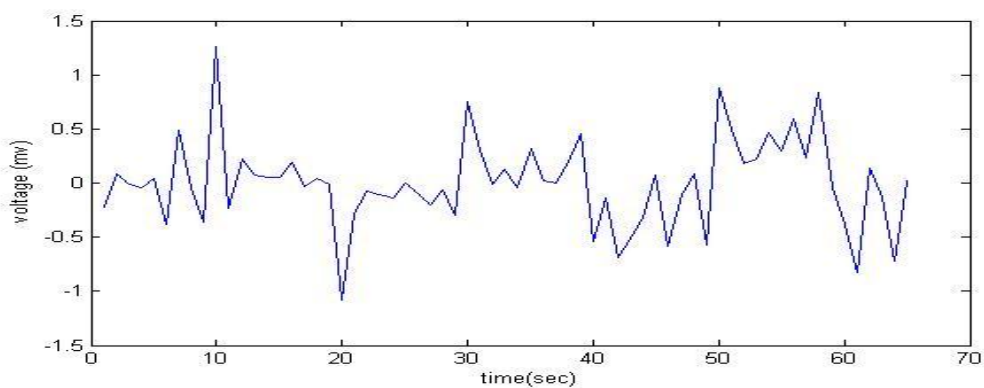
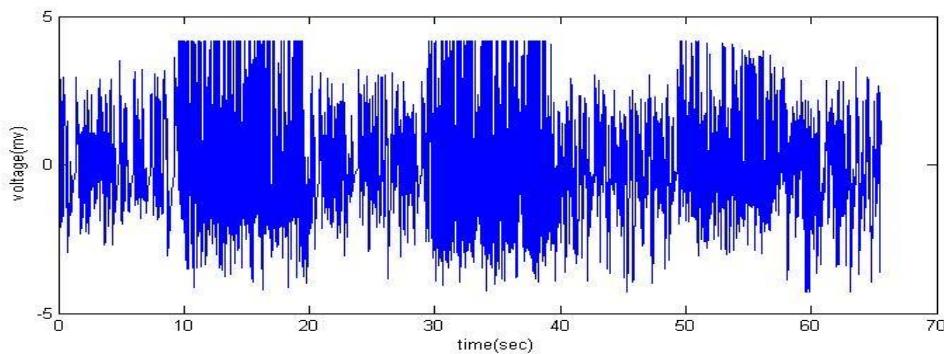
۴-۸ پردازش داده‌ها

ابتدا داده‌های برداشت شده توسط نرم افزار seistronix ras-24 (www.seistronix.com) به فرمت اسکی^{۱۸} درآمدند. سپس روی الکتروننگاشت‌ها پردازش‌های لازم در محیط اکسل و متلب (هموار سازی، برانباشت و تصحیح خط مبنا) به منظور حذف و یا کاهش اثر نوفه، صورت گرفت. پس از آن داده‌ها هر یک ثانیه متوسط گیری شدند. محاسبات کامل مربوط به پردازش داده‌ها در پیوست شماره ۲ آمده است. در شکل‌های (۴-۱۱) و (۴-۱۲) دو نمونه از الکتروننگاشت مربوط به پروفیل EF، قبل و بعد از پردازش نشان داده شده است. مقدار اختلاف پتانسیل اندازه گیری شده حدود ۰/۹ و ۰/۸۳ میلی ولت می باشد.

¹⁸ asci

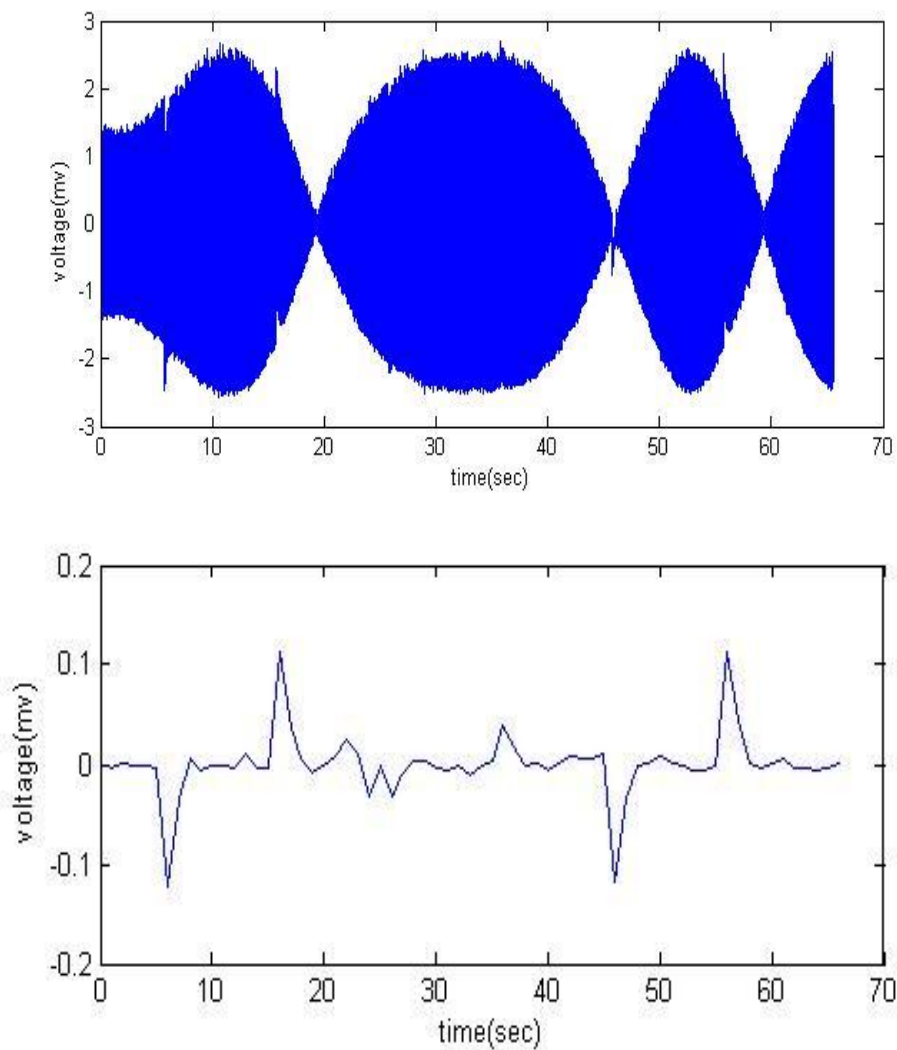


شکل (۴-۱۱): (بالا) نمونه ای از سیگنال خام به همراه نوفه مربوط به پروفیل EF (پایین) همان سیگنال پس از انجام تمامی پردازشات، اختلاف پتانسیل حدود ۰/۹ میلی ولت می باشد.



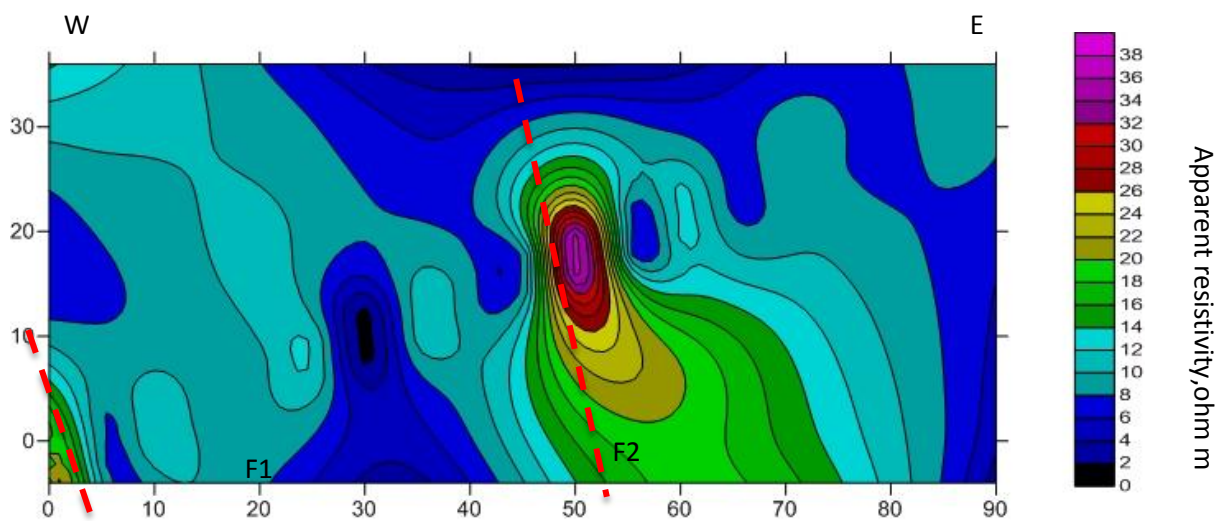
شکل (۴-۱۲): (بالا) نمونه ای از سیگنال خام به همراه نوفه مربوط به پروفیل EF (پایین) همان سیگنال پس از انجام تمامی پردازشات، اختلاف پتانسیل حدود ۰/۸۳ میلی ولت می باشد.

در شکل (۴-۱۳) نمونه ای از سیگنال برداشت شده در مطالعه حاضر به همراه نوفه ترکیبی مشاهده می شود که پس از پردازش های لازم مقدار اختلاف پتانسیل اندازه گیری شده حدود ۰/۱ میلی ولت می باشد.

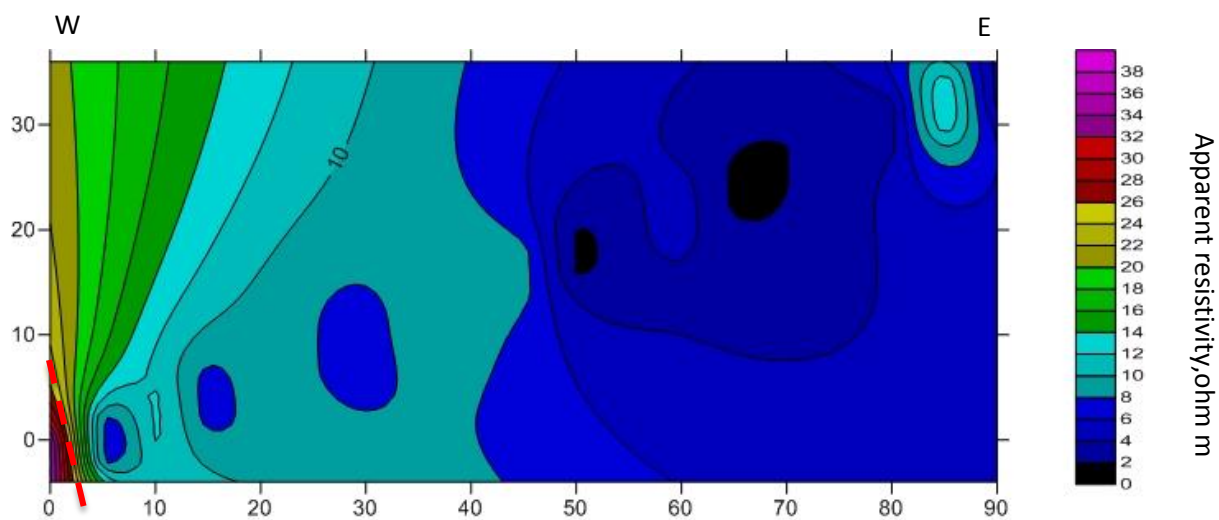


شکل (۴-۱۳): (بالا) نمونه ای از سیگنال خام به همراه نوفه ترکیبی مربوط به پروفیل CD (پایین) همان سیگنال پس از انجام تمامی پردازشات، اختلاف پتانسیل حدود ۰/۱ میلی ولت می باشد.

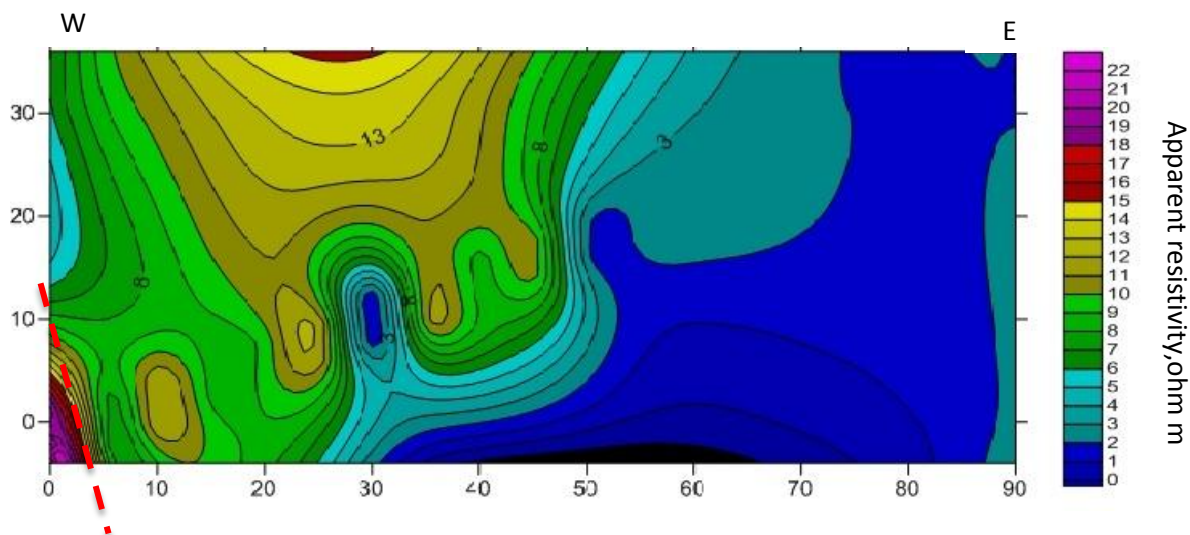
پس از پردازش الکترونیک های برداشت شده و حذف نوفه از آنها، مقادیر مقاومت ویژه ظاهری به صورت کنتورهای هم مقاومت ویژه ظاهری رسم شدند. نقشه های مربوط به پروفیل های CD، EF، GH و KL در شکل های (۴-۱۴) تا (۴-۱۷) نشان داده شده اند.



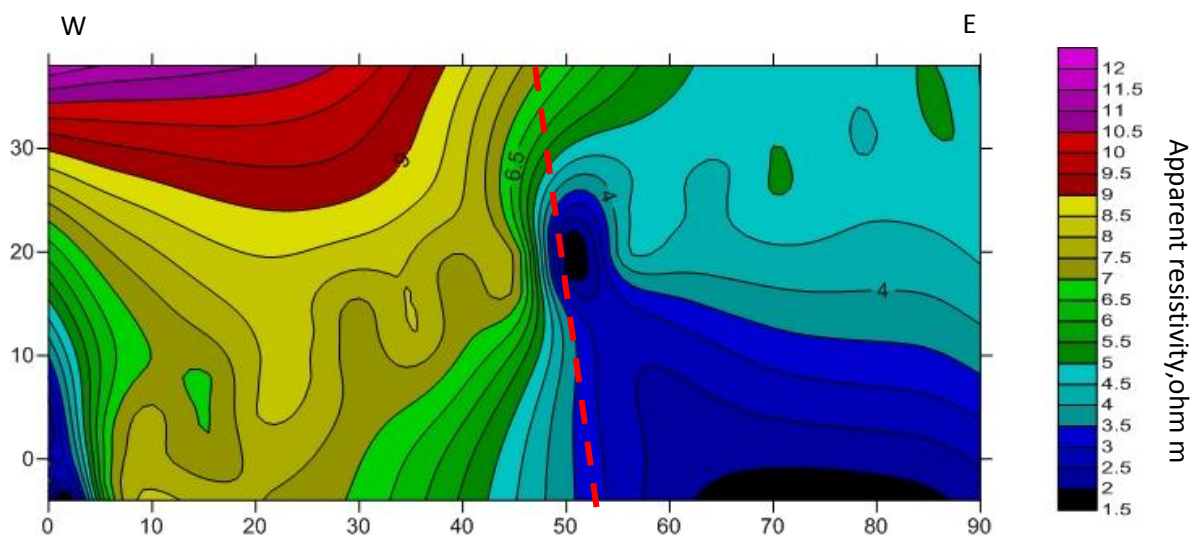
شکل (۴-۱۴) نقشه هم مقاومت ویژه ظاهری بر روی پروفیل CD



شکل (۴-۱۵) نقشه هم مقاومت ویژه ظاهری بر روی پروفیل EF



شکل (۴-۱۶) نقشه هم مقاومت ویژه ظاهری بر روی پروفیل GH



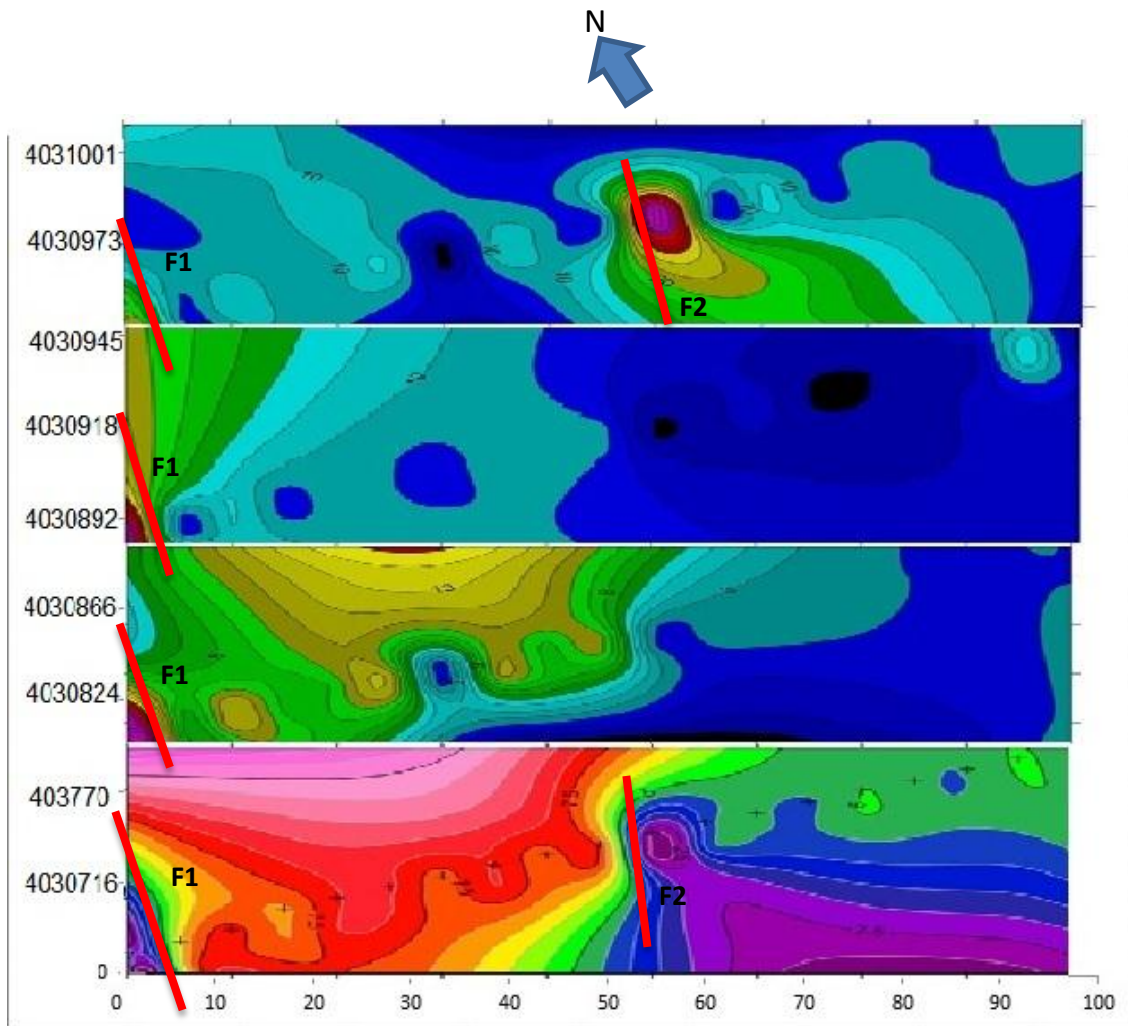
شکل (۴-۱۷) نقشه هم مقاومت ویژه ظاهری بر روی پروفیل KL

در شکل (۴-۱۴) مشاهده می‌شود که یک زون با مقاومت ویژه نسبتاً بالا در فاصله ۴۷ تا ۵۸ متری، در میان دو زون با مقاومت ویژه پایین قرار گرفته است. این تغییر ناگهانی در مقاومت ویژه نشان دهنده یک پهنه گسلی می‌باشد که در شکل نشان داده شده است. علاوه بر آن به نظر می‌رسد گسل دیگری در گوشه سمت چپ در حد فاصل ۰ تا ۱۰ متری قرار دارد.

در شکل های (۴-۱۵) و (۴-۱۶) گسلی در غرب ناحیه و در حد فاصل ۰ تا ۱۰ متری ملاحظه می شود که احتمالاً ادامه همان گسل آشکار شده در غرب پروفیل CD می باشد.

در شکل (۴-۱۷) ، علاوه بر گسترش گسل احتمالی در غرب ناحیه، گسلی دیگر در وسط پروفیل در ۴۵ متری مبدأ پروفیل مشاهده می شود که احتمالاً می تواند ادامه گسل آشکار شده در بخش مرکزی پروفیل CD باشد.

به منظور مشاهده بهتر روند گسل، این نقشه‌ها بر روی یک نقشه واحد کنار یکدیگر در شکل (۴-۱۸) رسم شدند . همانطور که مشاهده می‌شود گسل F1 در تمامی مقاطع در یک امتداد دیده می‌شود پس به طور قطع می‌توان این منطقه را به عنوان زون گسلی در نظر گرفت. گسل F2 که روند آن تنها بر روی نقشه پروفیل CD و پروفیل KL مشاهده می‌شود نیز می‌تواند به عنوان گسل دوم در این منطقه در نظر گرفته شود. مشاهده نشدن روند این گسل در نقشه های میانی می‌تواند به دلیل قرار گرفتن این گسل در عمق‌های بیشتر باشد که در این برداشت پاسخ آن قابل مشاهده نبوده است. مقایسه نتایج این پژوهش با شکل (۴-۱۹) که گسل‌های منطقه را نشان می‌دهد، تأییدی بر صحت یافته های این پژوهش می‌باشد. بر اساس این مشاهدات، گسل F1 را می‌توان گسلی نرمال دارای امتداد شمالی- جنوبی در نظر گرفت که مولفه قائم آن در سمت راست بالا آمده و در سمت چپ پایین رفته است .



شکل (۴-۱۹): نقشه کلی از مقاطع بدست آمده (شکل بالایی مربوط به پروفیل CD ، شکل دوم مربوط به پروفیل EF، شکل سوم مربوط به پروفیل GH و شکل آخر مربوط به پروفیل KL می باشد)



شکل (۴-۲۰): نقشه هوایی گسل های دشت مشهد (منطقه مورد مطالعه و پروفیل ها مشخص شده اند)

فصل پنجم

نتیجه گیری و پیشنهادات

۵-۱ نتیجه گیری

نتایج حاصل از این مطالعه نشان می دهند که گسل های پوشیده (که امکان ثبت داده های لرزه ای به خاطر بالا بودن سطح نوفه محیطی وجود ندارد) از طریق ثبت داده های الکتریکی، قابل شناسایی و مطالعه است. در این پژوهش به دلیل ضرورت مطالعه عمق های بیشتر، از یک فرستنده پر قدرت جریان استفاده شد که توانایی کنترل و هدایت ارسال جریان به صورت پالس مربعی با پهنای مشخص و به تعداد مطلوب را دارد. دستگاه های گیرنده pasi و RAS-24 با توجه به رقمی بودن قادر بودند پالس مربعی فرستاده شده به زمین را به صورت نگاشت پیوسته دریافت کنند. این امر در واقع قابلیت تکرار پذیری ارسال سیگنال را فراهم نموده است که منجر به افزایش دقت برداشت ها می شود. به منظور فایق آمدن بر مشکلات گسترش کابل ها در منطقه شهری مورد نظر که گسترش وسیع کابل ها امکان پذیر نمی باشد از آرایش خاص مستطیلی استفاده شد. در این آرایش با توجه به ثابت بودن الکترودها، برداشت ها به آسانی و با سرعت بیشتری صورت گرفته است.

با استفاده از روش های پردازش سیگنال (شامل برانبارش، هموارسازی، تصحیح خط مبنا)، حذف نوفه- های محیطی سیستماتیک و غیر سیستماتیک از سیگنال دریافت شده امکان پذیر شده است. پس از پردازش الکترونگاشت ها با استفاده از روش های تکرار، برانبارش، هموارسازی و تصحیح خط مبنا و افزایش نسبت سیگنال به نوفه، مقاومت ویژه های ظاهری در نقاط مختلف پروفیل حاصل شد و سپس با استفاده از نرم افزار surfer، نقشه های هم مقاومت ویژه ظاهری رسم شدند. نتایج حاصل توانسته آثار دو گسل احتمالی را در منطقه مورد نظر در عمق حدود ۱۵۰ متری شناسایی کند.

بر اساس نتایج حاصل، گسلی که از این منطقه عبور کرده است گسلی نرمال و قائم است که از روی دشت عبور کرده و تا ارتفاعات بینالود ادامه دارد و دارای روند شمال - جنوب می باشد.

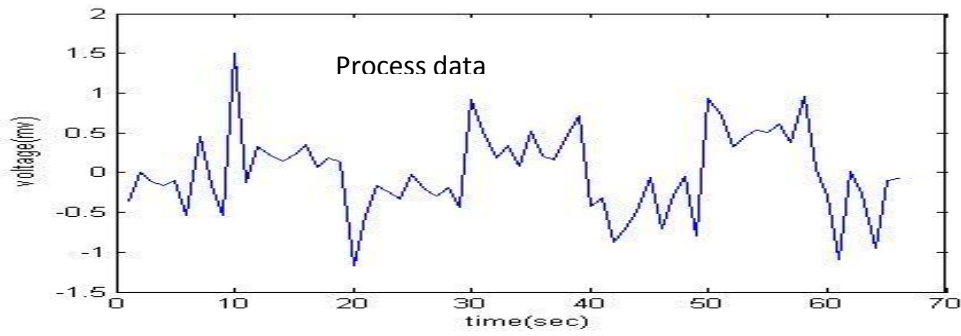
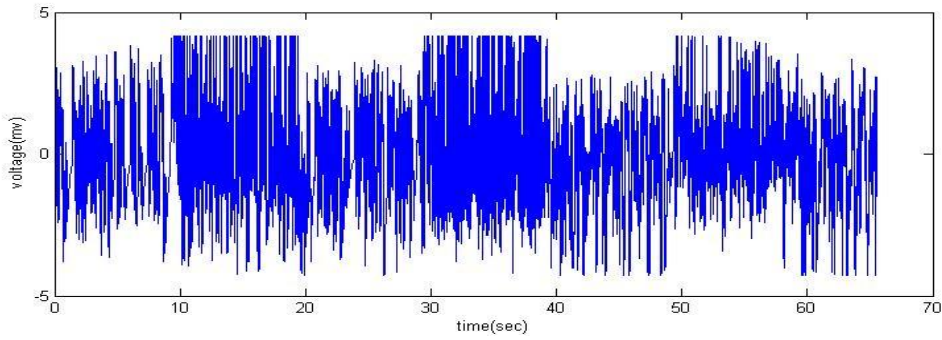
۵-۲ پیشنهادات

- طراحی و ساخت تجهیزات مشابه به تعداد کافی برای انجام عملیات مقاومت سنجی الکتریکی به صورت خوشه ای با هدف پردازش سه بعدی در تشابه با عملیات لرزه نگاری سه بعدی؛
- به کارگیری این تجهیزات برای توسعه میادین نفت و گاز؛
- استقرار گیرنده های رقمی طراحی شده این پژوهش در ایستگاه های لرزه نگاری به منظور ثبت تغییرات میدان الکتریکی زمین؛
- توسعه روش های ثبت و پردازش داده های الکتریکی رقمی به منظور کاربرد گسترده روش.

پیوست الف

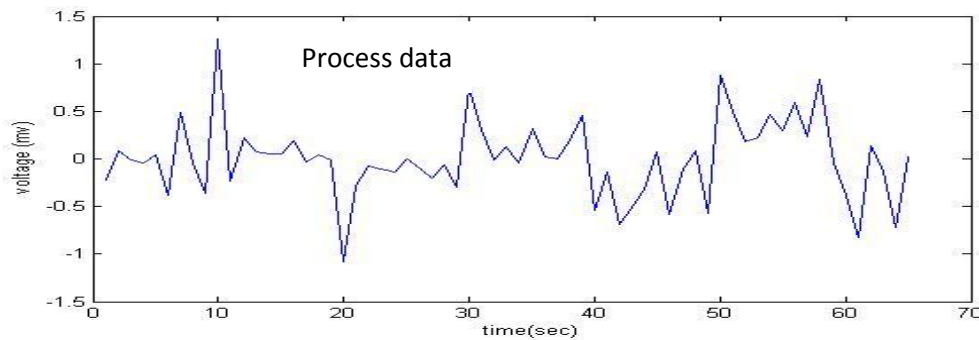
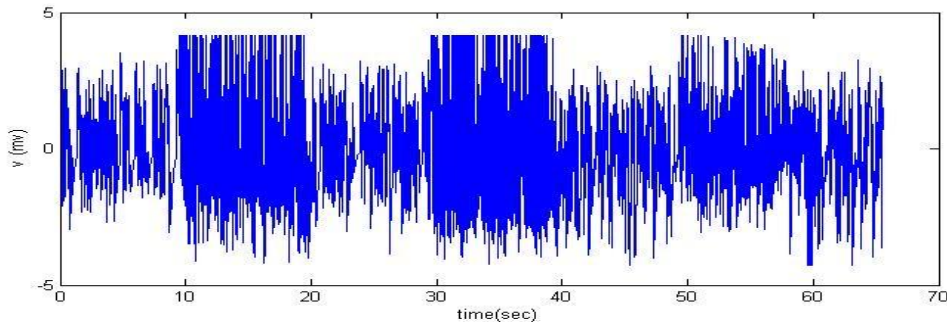
نمونه هایی از الکترونگاشت های برداشت شده

Signal+noise

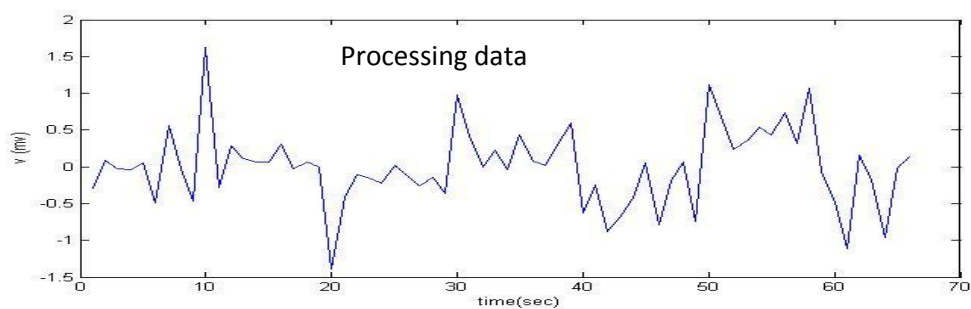
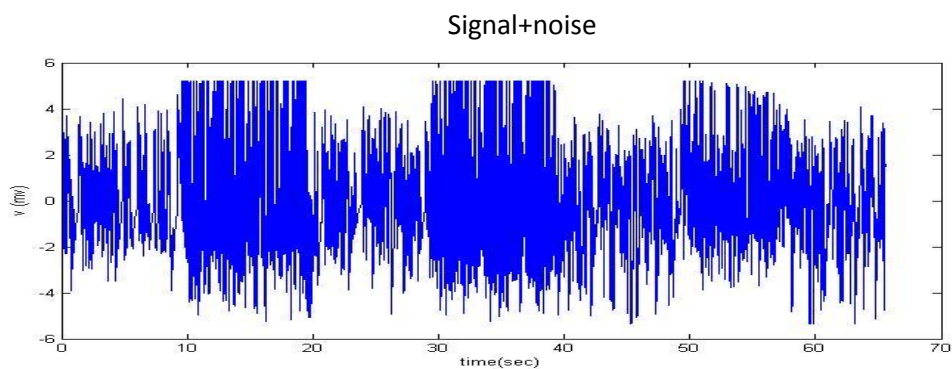


شکل (الف-۱): شکل بالا سیگنال خام به همراه نوفه قبل از پردازش مربوط به پروفیل CD، شکل پایین همان سیگنال پس از پردازش

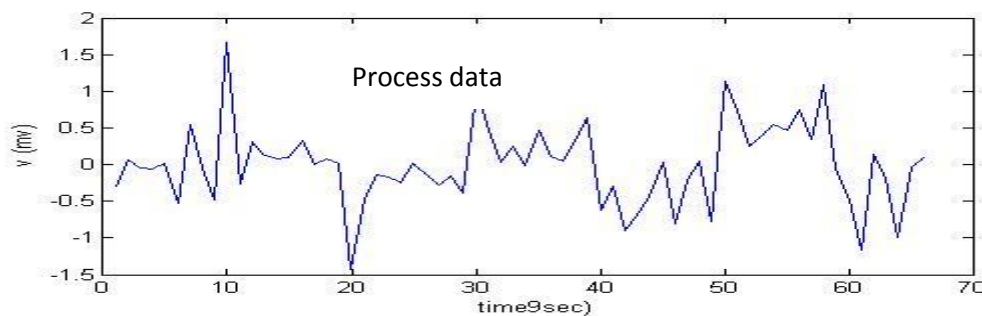
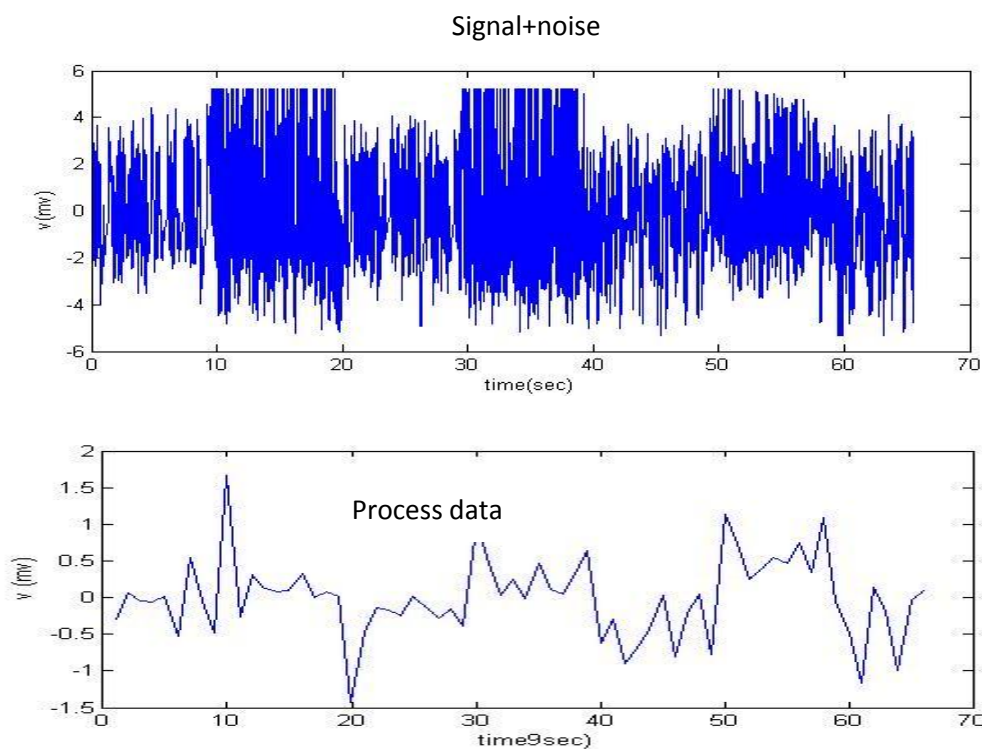
Signal+noise



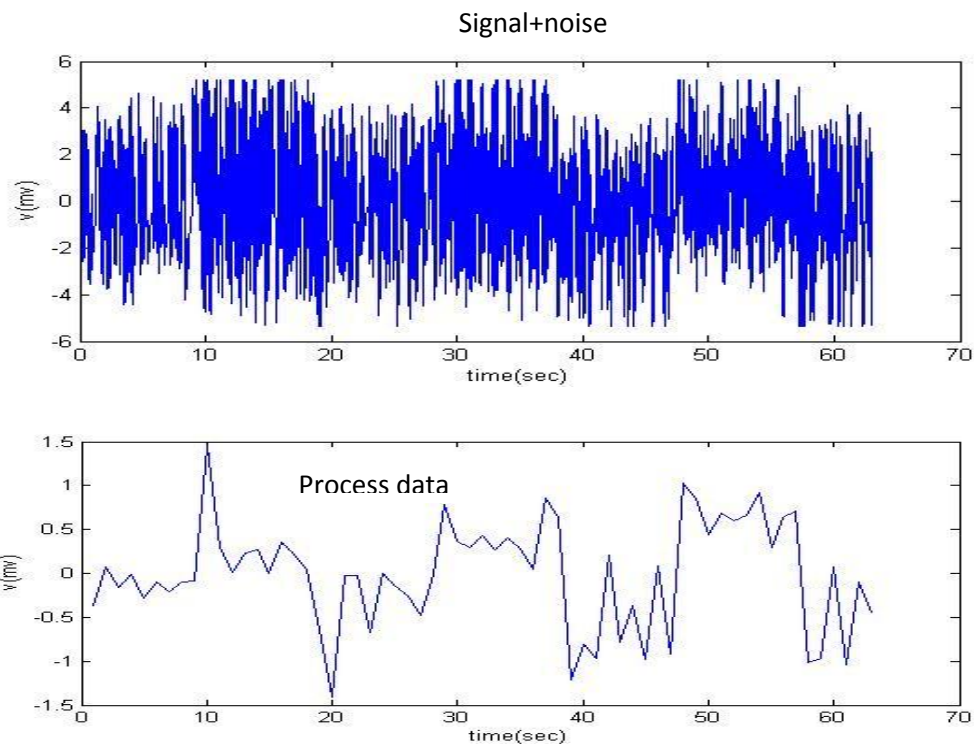
شکل (الف-۲): شکل بالا سیگنال خام به همراه نوفه قبل از پردازش مربوط به پروفیل CD، شکل پایین همان سیگنال پس از پردازش



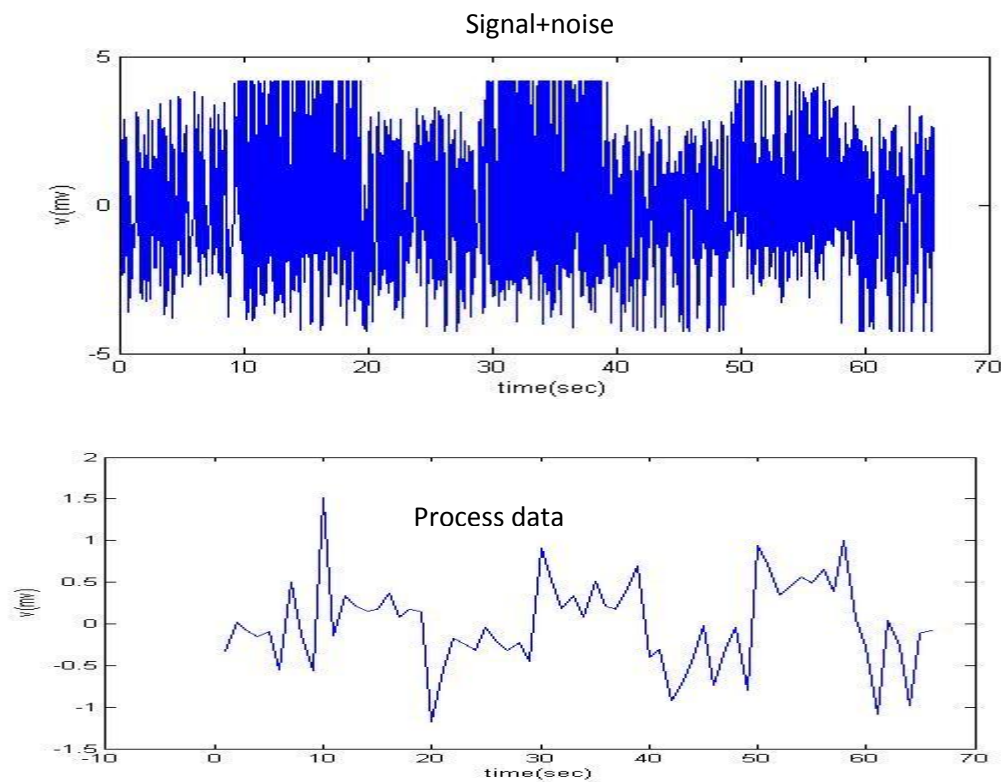
شکل (الف-۳): شکل بالا سیگنال خام به همراه نوفه قبل از پردازش مربوط به پروفیل EF، شکل پایین همان سیگنال پس از پردازش



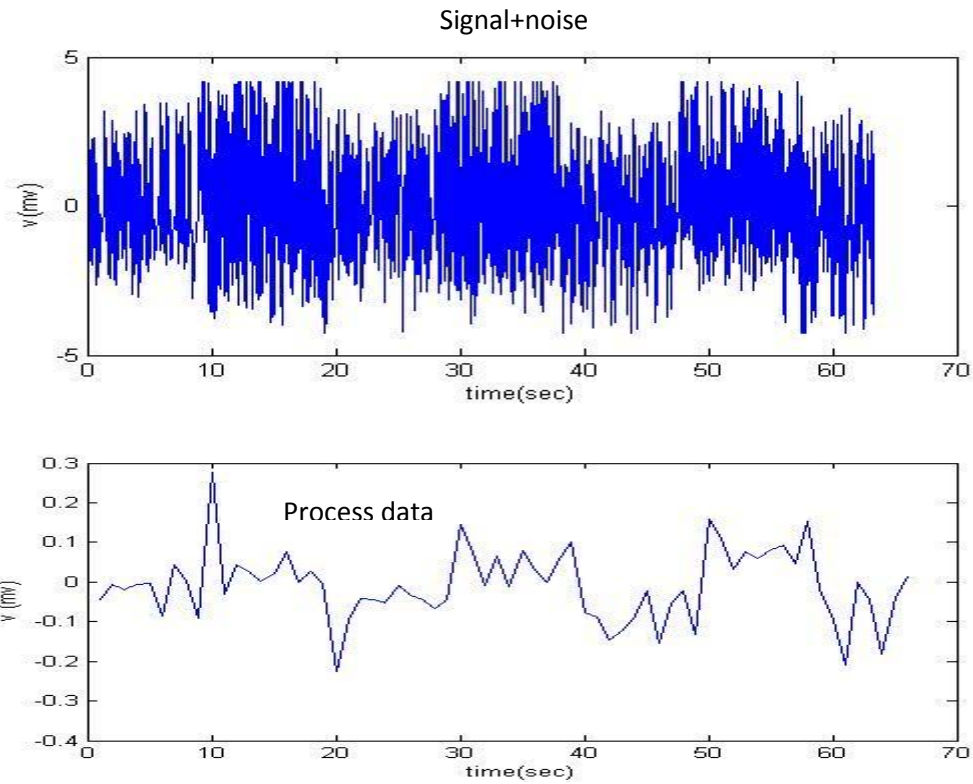
شکل (الف-۴): شکل بالا سیگنال خام به همراه نوفه قبل از پردازش مربوط به پروفیل EF، شکل پایین همان سیگنال پس از پردازش



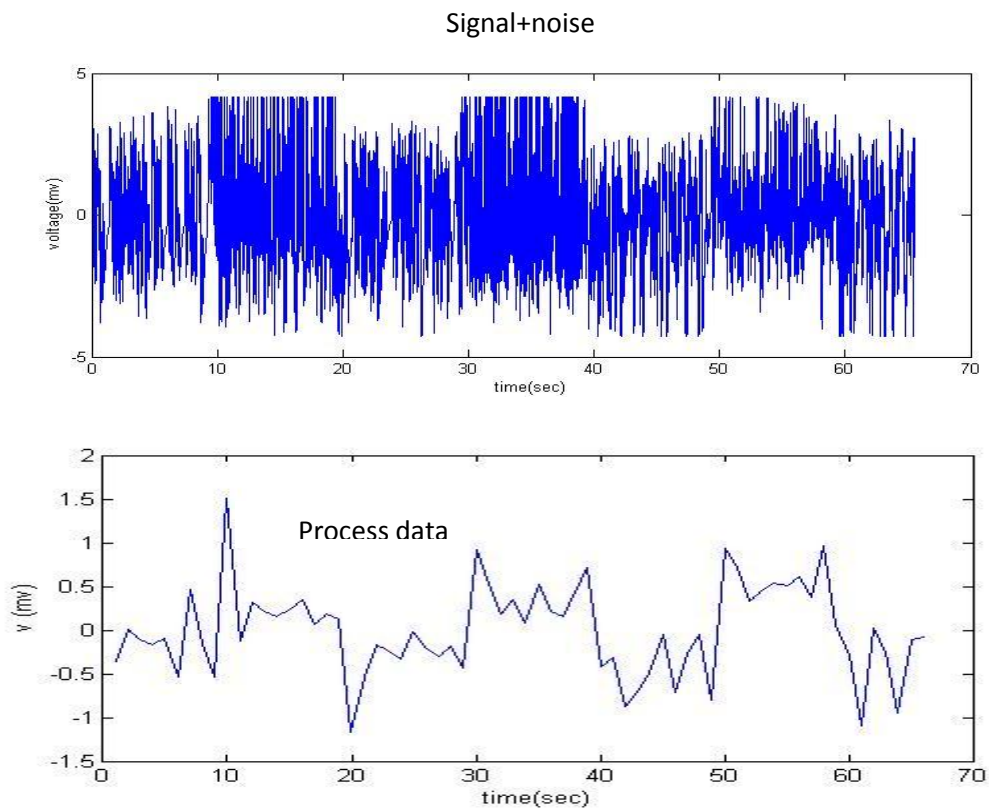
شکل (الف-۵): شکل بالا سیگنال خام به همراه نوفه قبل از پردازش مربوط به پروفیل GH، شکل پایین همان سیگنال پس از پردازش



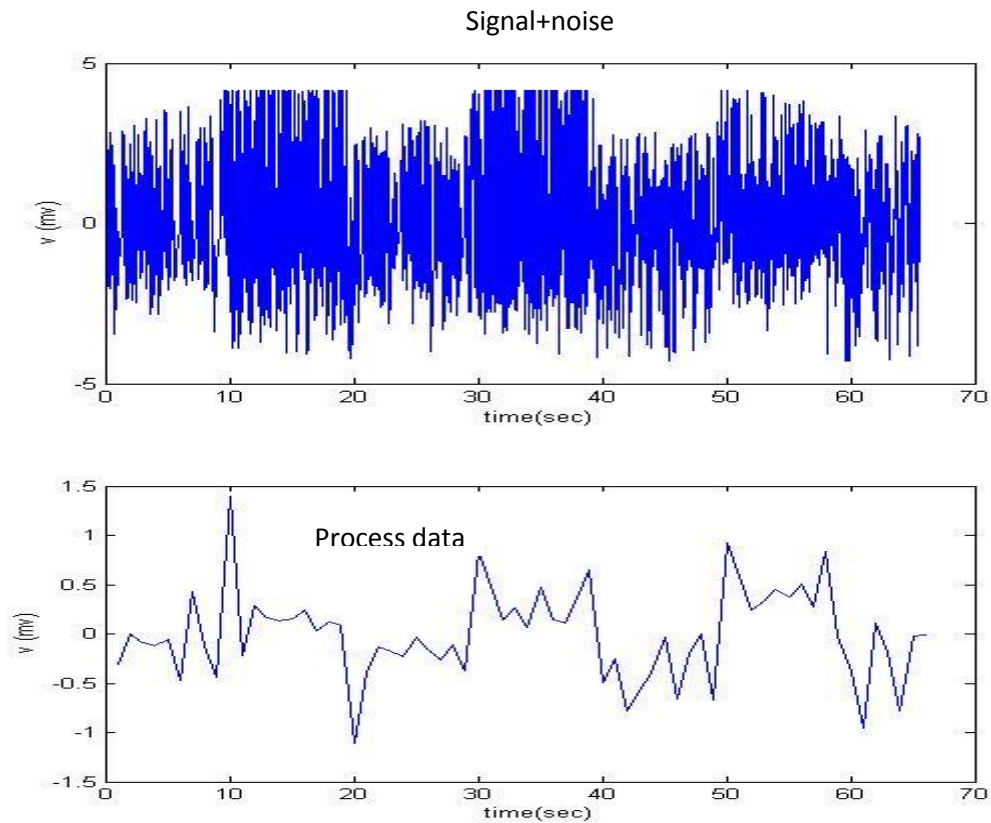
شکل (الف-۶): شکل بالا سیگنال خام به همراه نوفه قبل از پردازش مربوط به پروفیل GH، شکل پایین همان سیگنال پس از پردازش



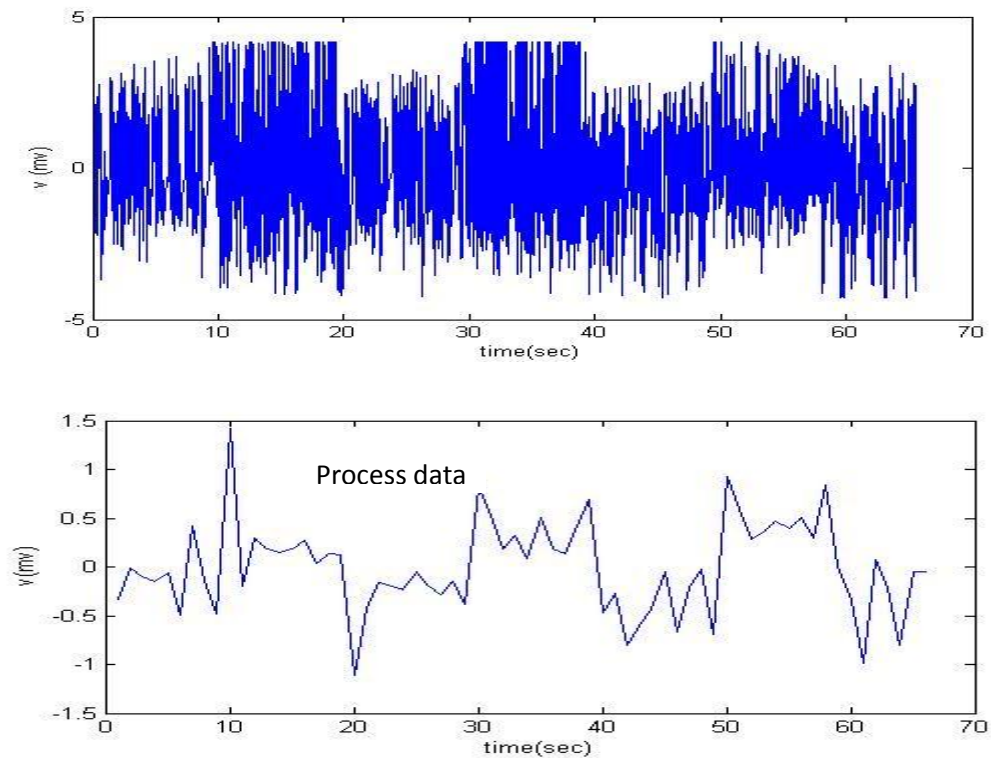
شکل (الف-۷): شکل بالا سیگنال خام به همراه نوفه قبل از پردازش مربوط به پروفیل KL، شکل پایین همان سیگنال پس از پردازش



شکل (الف-۸): شکل بالا سیگنال خام به همراه نوفه قبل از پردازش مربوط به پروفیل KL، شکل پایین همان سیگنال پس از پردازش



شکل (الف-۹): شکل بالا سیگنال خام به همراه نوفه قبل از پردازش مربوط به پروفیل CD، شکل پایین همان سیگنال پس از پردازش



شکل (الف-۱۰): شکل بالا سیگنال خام به همراه نوفه قبل از پردازش مربوط به پروفیل EF، شکل پایین همان سیگنال پس از پردازش

پیوست ب

مراحل پردازش داده ها در اکسل

مرحله اول: استخراج داده ها به کمک نرم افزار ras 24

جدول (ب-۱): استخراج داده ها

	A	B
1	زمان	مقادیر اولیه
2	0	-10060
3	0.002	27824
4	0.004	-13292
5	0.006	-15085
6	0.008	20009
7	0.01	-9032
8	0.012	-15877
9	0.014	12572
10	0.016	1146
11	0.018	-15856
12	0.02	21184

مرحله دوم: تبدیل داده ها به اختلاف پتانسیل

$$C2 = (B2 * 250) / 2^{23}$$

جدول (ب-۲): تبدیل داده ها به اختلاف پتانسیل

B	C
مقادیر اولیه	اختلاف پتانسیل
-10060	-0.299811
27824	0.8292198
-13292	-0.396132
-15085	-0.449568
20009	0.5963147
-9032	-0.269175
-15877	-0.473171
12572	0.3746748
1146	0.0341535
-15856	-0.472546
21184	0.6313324
7201	0.2146065

مرحله سوم : برانبارش داده ها

$$D6=C2+C3+C4+C5+C6$$

جدول (ب-۳): برانبارش داده ها

C	D
اختلاف پتانسیل	داده های استک شده
-0.299811	
0.8292198	
-0.396132	
-0.449568	
0.5963147	0.280022621
-0.269175	
-0.473171	
0.3746748	
0.0341535	
-0.472546	-0.80606341
0.6313324	
0.2146065	

مرحله چهارم: جمع داده های استک شده با نویز پس زمینه

جدول (ب-۴): جمع داده های استک شده با نویز پس زمینه

E	F	G	H
	داده های استک شده زمان	نویز	داده + نویز
0.01	0.28002262	0.06447	0.34449
0.02	-0.80606341	1.09036	0.2843
0.03	1.78802013	0.73593	2.52395
0.04	1.20875239	-0.21629	0.99246
0.05	0.33554435	0.82502	1.16057
0.06	0.34400821	0.66636	1.01036
0.07	-0.13005733	-0.04561	-0.17567
0.08	-0.68980455	0.17426	-0.51554
0.09	0.02995133	0.80729	0.83724
0.1	0.49489737	0.00095	0.49585

مرحله پنجم: هموارسازی داده ها
 محاسبات: $I3 = [(H3 \times 2) + H2 + H4] / 4$

جدول (ب-۵): هموارسازی داده ها

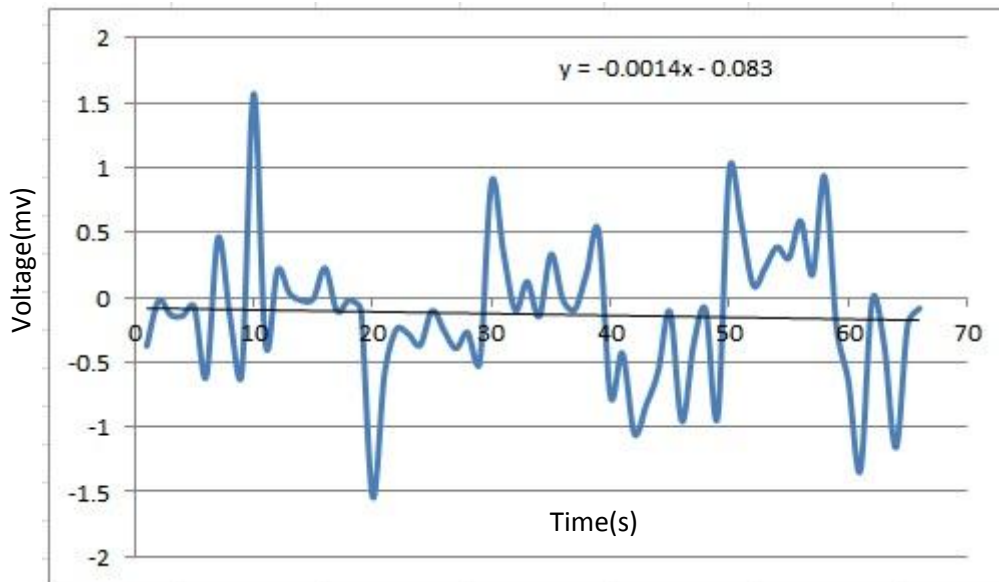
H	I
داده + نویز	هموارسازی
0.34449	
0.2843	0.85926
2.52395	1.58116
0.99246	1.41736
1.16057	1.08099
1.01036	0.75141
-0.17567	0.03587
-0.51554	-0.09238
0.83724	0.41369
0.49585	0.92771
1.88192	1.95056

مرحله ششم: میانگین گیری هر یک ثانیه

جدول (ب-۶): میانگین گیری هر یک ثانیه

J	K
زمان	میانگین هر یک ثانیه
1	-0.401075832
2	-0.021543587
3	-0.069871996
4	-0.11967109
5	-0.059691297
6	-0.550988873
7	0.445400359
8	-0.288599775
9	-0.368053428

مرحله هفتم: رسم منحنی و برازش مناسب ترین خط و بدست آوردن معادله آن



شکل (ب-۱): برازش مناسبترین خط بر روی نمودار

مرحله هشتم: جایگزینی زمان در معادله خط

جدول (ب-۷): جایگزینی زمان در معادله خط

J	K	L
زمان	میانگین هر یک ثانیه	قراردادن زمان در معادله خط
1	-0.401075832	-0.1089
2	-0.021543587	-0.1097
3	-0.069871996	-0.1105
4	-0.11967109	-0.1113
5	-0.059691297	-0.1121
6	-0.550988873	-0.1129
7	0.445400359	-0.1137
8	-0.288599775	-0.1145
9	-0.368053428	-0.1153

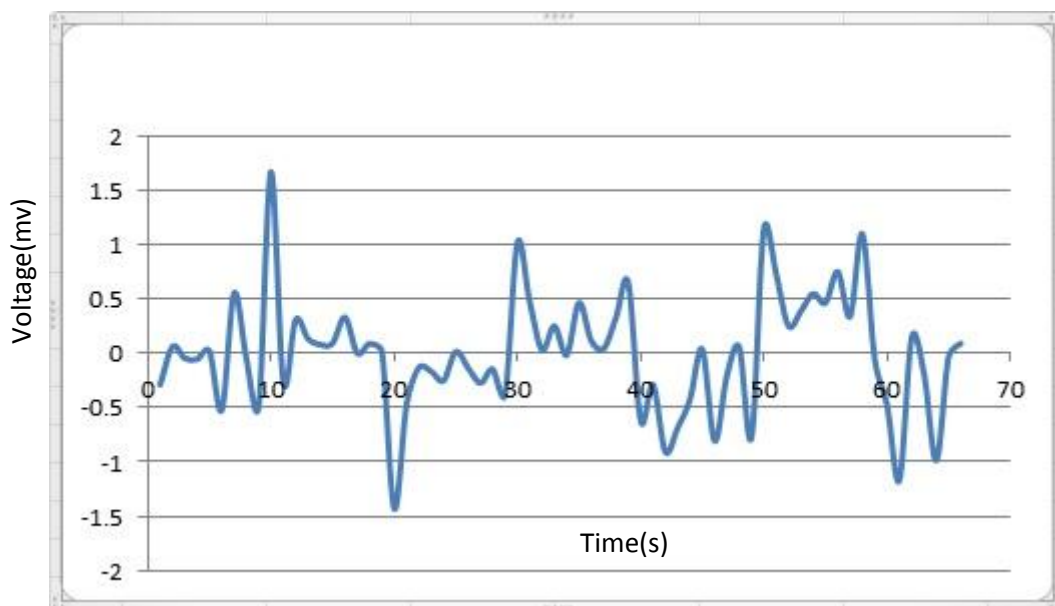
مرحله نهم: تفریق داده ها از مقادیر تابع (تصحیح خط مبنا)

محاسبات: $M3=K3-L3$

جدول (ب-۸): تصحیح خط مبنا

K	L	M
میانگین هر یک ثانیه	قراردادن زمان در معادله خط	تفریق داده ها از مقادیر تابع
-0.401075832	-0.1089	-0.292175832
-0.021543587	-0.1097	0.088156413
-0.069871996	-0.1105	0.040628004
-0.11967109	-0.1113	-0.00837109
-0.059691297	-0.1121	0.052408703
-0.550988873	-0.1129	-0.438088873
0.445400359	-0.1137	0.559100359
-0.288599775	-0.1145	-0.174099775
-0.368053428	-0.1153	-0.252753428

مرحله دهم : رسم نگاشت نهایی



شکل (ب-۲): رسم نگاشت نهایی پس از انجام پردازشات مختلف

مراجع:

آقا نباتی س.ع. (۱۳۸۳)، زمین شناسی ایران، سازمان زمین شناسی کشور.

آزادی، ا. جوان دولویی غ. حافظی مقدس ن. حسامی آذر خ. (۱۳۸۸) "ویژگی های زمین شناسی، ژئوتکنیکی و ژئوفیزیکی گسل توس در شمال شهر مشهد"، مجله فیزیک زمین و فضا، شماره ۴، دوره ۳۵، صفحه ۱۷-۳۴

آزادی، ا. جوان دولویی غ. و حسامی آذر خ. (۱۳۸۶) "شناسایی گسل های پوشیده با استفاده از روش ژئوالکتریک دوبعدی، مطالعه موردی گسل رازک در نزدیکی بندر مقام"، پنجمین کنفرانس بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله، تهران، پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله آزادی، ا. (۱۳۸۸)، رساله دکتری: "روش توموگرافی مقاومت سنجی الکتریکی برای شناسایی گسل- های پوشیده"، پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله، دانشگاه تهران

بربریان م.، قرشی م.، شجاع طاهری ج.، طالبیان م. (۱۳۷۸). "پژوهش و بررسی ژرف نوزمین ساخت و خطر زمین لرزه - گسلش در گستره مشهد- نیشابور". سازمان زمین شناسی کشور، گزارش شماره ۷۲.

بربریان م.، قرشی م.، ارژنگ روش ب.، مهاجر اشجی آ. (۱۳۶۴). "پژوهش و بررسی ژرف نوزمین ساخت و خطر زمین لرزه - گسلش در گستره تهران و پیرامون". سازمان زمین شناسی کشور، گزارش شماره ۵۶.

تندیسه ز، (۱۳۹۲)، پایان نامه کارشناسی ارشد: "بررسی تأثیر توسعه شبکه جمع آوری فاضلاب بر فرونشست زمین در سطح دشت مشهد"، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شاهرود

جوان دولویی غ. آزادی ا. کمالیان ن. (۱۳۸۷) "طراحی و ساخت فرستنده و گیرنده رقمی (دیجیتال) داده های ژئوالکتریک و کاربرد آن در کاهش اثر نوفه"، مجله فیزیک زمین و فضا، دوره ۳۴، شماره ۴، صفحه ۱۵-۳۲

حلاج فرد ا. باقری ا. (۱۳۹۰) "آشکارسازی گسل ها و شکستگی های فرعی با استفاده از توموگرافی الکتریکی دو بعدی"، سومین همایش ملی مهندسی عمران، خمینی شهر، دانشگاه آزاد اسلامی واحد خمینی شهر

حجت ا. رنجبر ح. (۱۳۹۰)، " اصول ژئوالکترونیک کاربردی " چاپ اول، انتشارات ستایش، تهران، ص

۹۸

حسامی آذر خ. (۱۳۸۵). " گزارش لرزه زمین ساخت پروژه مقاوم سازی بارگاه امام رضا (ع) ". پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله.

شرکت آب منطقه ای خراسان رضوی، (۱۳۹۰) " گزارش نهایی بهنگام سازی تلفیق مطالعات منابع آب حوضه آبریز قره قوم " جلد سوم، مهندسی مشاور طوس آب ، مشهد، ص ۴۴

شرکت ملی نفت ایران (۱۳۵۶). نقشه زمین شناسی ایران (به مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰۰). انتشارات شرکت ملی نفت ایران، واحد اکتشاف و تولید، برگه سه از شش

صمدی لطیف، (۱۳۹۱)، " مبانی ژئوفیزیک کاربردی " جلد اول، چاپ اول، انتشارات جهاد دانشگاهی، تهران، ص ۲۴۴

علیان نژاد ع. مرادی هرسینی ک. قرشی م. خادمی س. (۱۳۹۲) " ارزیابی کارایی روش های ژئوالکترونیک و ژئورادار در شناخت گسل های فرعی تهران "، هشتمین همایش انجمن زمین شناسی مهندسی و محیط زیست ایران، دانشگاه فردوسی مشهد

عرشیان م. مشین چی اصل م. (۱۳۹۳)، " آشکارسازی گسل ها و شکستگی ها توسط آرایش مربعی در روش مقاومت ویژه "، شانزدهمین کنفرانس ژئوفیزیک ایران، صفحه ۳۸-۴۳

علیزاده ا. (۱۳۸۳) " گزارش بررسی استفاده از آبهای غیر متعارف در دشت مشهد "، جلد سوم، شرکت آب منطقه ای خراسان، مشهد، ص ۱۸۲

استواری م. ، مشین چی اصل م.، (۱۳۸۶)، " آشکارسازی شکستگی و گسل ها با استفاده از روش قطبی-قطبی ۳ بعدی و مقایسه نتایج با آرایش شولومبرگر "، بیست و ششمین گردهمایی علوم زمین، تهران، وزارت صنایع و معادن، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور

Berberian M. and King. (1981), "Toward a paleogeography and tectonic elevation of Iran", *Canada J, Earth Science*, 18, 210-265.

Busby. J. P. (2000), "The effectiveness of azimuthally apparent-resistivity measurements as a method for determining fracture strike orientations *Geophys. Prospect*", 48, 677-695.

Suski B. Brocard G. Authemayou C. Consenza Muralles B. Teyssier C. Holliger K. (2010), "Localization and characterization of an active fault in an urbanized area in central Guatemala by means of geoelectrical imaging", *Tectonophysics*, 480(1-4), 321-322

Barker, R.D., (1991), "Depth of investigation of collinear symmetrical four-electrode arrays", *Geophysics*, 54, 1031-1037.

Chitea F., Ioane D., Kodom K, (2009) "Geoelectrical evaluation of soil properties". *Geophysical Research Abstracts*, 11, EGU2009-11624-4.

Dey A., and Morrison H.F. (1979a), "Resistivity modeling for arbitrary shaped two-dimensional structures", *Geophysical Prospecting* 27, 1020-1036.

El-Qady G., and Ushijima K. (2001). "Inversion of DC resistivity data using neural networks". *Geophysical Prospecting*, 49, 417-430.

Fratta, D., (2006), "Electrical resistivity methods", Lectures from Wisconsin University.

Sabrina Y. Fazzito, Augusto E. Rapalini, Jose M. Cortes, Carla M. Terrizzano. (2009), "Characterization of Quaternary faults by electric resistivity tomography in the Andean Precordillera of Western Argentina", *Journal of South American Earth Sciences*, 28(3), 217-228

Fagundes, I., Richardson O. Monteiro, A., Cristiny L. Cavalcante, D., de Lucena L., (2013) "Characterization of subsurface fault in Barreiras Aquifer Formation from geoelectrical and hydrogeological data – area of River Catu basin, NE Brazil", 13th International Congress of the Brazilian Geophysical Society & EXPOGEF, Rio de Janeiro, Brazil

Knödel, K., (2008), "Environmental geology" Springer, 1340p

Loke. M.H. (2005). "Rapid 2-D and 3-D resistivity & IP inversion using the least squares method", *Geotomo software*, Penang, Malaysia.

Loke M.H. and Barker R.D. (1995) "Practical techniques for 3D resistivity surveys and data inversion", *Geophysical Prospecting*, 44(3), 499–523

Loke, M. H., (2003), "2-D and 3-D electrical imaging survey"Geotomosoftware, Penang, Malaysia.

Loke, M.H.,(2004)," Res2dinv ver. 3. 54. 44., and Res2mod ver 3.0., Rapid 2D resistivity inverse and forward modelling using the finite-difference and finite-element methods".

Li Y. and Oldenburg D.W. (1992), "Approximate inverse mappings in DC resistivity problems", Geophysical Journal International 109, 343-362.

McGillivray P.R., and oldenburg D.W. (1990)." Methodes for caculating frechet derivatives and sensitivities for the non-linear inverse problem". Geophysical Prospecting, 38, 499-523.

Pazdirek, O. and Blaha, V.,(1996), "Examples of resistivity imaging using ME-100 resistivity field acquisition system", EAGE 58th Conference and Technical Exhibition Extended Abstracts, Amsterdam.

Szalai S.,and Szarka L. (2008)." On the classification of surface geoelectric arrays". Geophysical Prospecting, 56, 159–175.

Storz, H., Storz, W., and Jacobs, F.,(2000), "Electrical resistivity tomography to investigate geological structure", Geophys. Prospect., 48, 455-471

Terrizzano .M., Fazzito s. Cortés j. Rapalini a. (2012)" Electrical resistivity tomography applied to the study of neotectonic structures, northwestern Precordillera Sur, Central Andes of Argentina",Journal of South American Earth Sciences, 34, 47-60

Trifonov V.C.,and Machette M.N. (1993)" The world map of major active fault project", Annal de Geofisica, 36, 3-4, 225-236.

Van Nostrand R.,and Cook K.L. (1966). "Interpretation of resistivity data". Professional, USGS,499.

Whitney. M., Gardner. F.D., and Briggs. L.J. (1897). "An electrical method of determining the moisture content of arable soil". U.S. Dept. Agr. Bul. 6.

Whiteley, R.J. (1973)"Electrode arrays in resistivity and I.P. prospecting", a review. Bull. Aust.Soc. Explor. Geophys., 4, 1-29.
www.pasisrl.it

www.seistronix.com

Zohdy, A.A.R.,(1969), "The use of Schlumberger and equatorial soundings in groundwater investigations near El Paso", Texas. Geophysics,34,728-713

Abstract

It is very important to determine position and along of the main faults and minor fractures in urban development and construction of buildings in order to identify areas with seismic potential. One of the difficulties in using conventional resistivity method for determination of deep layers is absence or low electrical measured voltage, also in some cases, it is impossible to extend the cables due to natural obstacles and urban areas.

The purpose of this thesis is to increase the penetration depth of transmission current with use of powerful transmitter and injection square signals and it is determine the operation of hidden faults in tous area in mashhad with recording continuous spectrum of potential difference between potential electrodes with use of multichannel receiver. To achieve this purpose, we use rectangular array with perpendicular dipole that include 20 fixed potential electrodes in 4 parallel profile. These profile was perpendicular to connecting line of current electrodes.

After collecting data, we identified the effective noises and it applied the best methods for remove or reduce these noises. The results were drawn in map by surfer software and it was determined the possible location of the faults. The results of this survey represent that the used electric method due to the type of array can help in determining the geometry of faults in particular hidden faults in urban areas. In addition the results show that two deep faults with north-south along, affect the geological structures and Should be considered in engineering Issues.

Keywords: hidden faults, square signals, electrical resistivity, tous, noise

