



دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک  
گروه ژئوفیزیک

## مدل‌سازی و تفسیر داده‌های مقاومت ویژه، قطبش القایی و VLF به منظور اکتشاف ذخایر جیوه در منطقه خانگلی سیه چشمه ماکو

پژوهشگر: ناصر لطفی

استاد راهنما:

دکتر ابوالقاسم کامکار روحانی

استاد مشاور:

مهندس ابراهیم شاهین

پایان نامه ارشد جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد ژئوفیزیک

اردیبهشت ۱۳۸۸

تقدیم به پدر و مادر عزیزم:

آنان که وجودم برایشان همه رنج بود و وجودشان برایم همه مهر. توانشان رفت تا به توانایی برسم و مویشان سپید  
گشت تا رویم سپید بماند.

آنان که فروغ نگاهشان، گرمی کلامشان و روشنی روشنایی سرمایه های جاودانی زندگی من است.

آنان که راستی قائم در سگستی قامتشان تجلی یافت. در برابر وجود کرامیشان زانوی ادب بر زمین می زنم و بادلی  
مملو از عشق، محبت و خضوع

بر دستا نشان بوسه می زنم.

## چکیده:

امروزه کاوش‌های ژئوفیزیکی به دلیل در برداشتن نتایج عمدتاً قابل قبول، هزینه کم و سرعت بالای اجرای آنها، کاربرد وسیعی در اکتشاف معادن فلزی دارا می‌باشند. تفاوت قابل ملاحظه خواص فیزیکی اکثر کانسارهای فلزی با سنگ درون‌گیرشان، سبب شده تا بتوان از روش‌های گوناگون ژئوفیزیک برای اکتشاف آنها استفاده نمود. فعالیت‌های اکتشافی در مقیاس‌های متفاوتی صورت می‌گیرد که در نهایت هدف آن تمرکز یافتن روی مناطقی است که پتانسیل کانسار شدن را دارند. برای شناخت مناطق پتانسیل‌دار معدنی می‌توان از روش‌های مختلف زمین‌شناسی، ژئوشیمیایی و ژئوفیزیکی استفاده نمود و با تلفیق آنها برای رسیدن به اولویت اکتشافی بهره برد. به منظور تشخیص محدوده‌های کانی‌سازی جیوه در منطقه خانگلی ماکو، از روش‌های ژئوفیزیکی مقاومت ویژه، قطبش القایی<sup>1</sup> (IP) و روش الکترومغناطیسی با فرکانس بسیار پایین (VLF)<sup>2</sup> استفاده شده و در نهایت با استفاده از شواهد زمین‌شناسی و مطالعات ژئوشیمی سعی شده تا تفسیر مناسب و صحیحی ارائه گردد. با توجه به عدم تولید یا استخراج این ماده معدنی در ایران و واردات نسبتاً قابل ملاحظه آن، اکتشاف کانسارهای جیوه در کشور ضروری به نظر می‌رسد. سرعت نسبتاً بالا، هزینه نسبتاً پایین و در مواردی، دقت مطلوب نتایج برداشت داده‌ها در روش VLF نسبت به سایر روش‌های ژئوفیزیکی، از مزایای اصلی این روش محسوب می‌شود. اغلب، داده‌های زیادی به این روش برداشت می‌شوند اما اطلاعات کمی، از آن‌ها به سادگی استخراج نمی‌شود. با استفاده از فیلتر فریزر و شبه مقاطع چگالی جریان، زون‌های رسانای کم‌عمق یا تا حدودی عمیق شناسایی می‌گردند. با مدل سازی داده های VLF می توان توزیع مقاومت ویژه زیر سطحی را به دست آورد. در این تحقیق، تفسیر کمی داده‌های VLF بر اساس مدل سازی معکوس عددی مورد بررسی قرار گرفته و در نتیجه، مقاطع دوبعدی مقاومت ویژه زیر سطحی حاصل از این مدل سازی به دست آمده است. نتایج حاصل از تفسیر کیفی و کمی داده‌های VLF با یکدیگر مقایسه گردیده و تطابق خوب بین آنها

---

<sup>1</sup> -Induced polarization (IP)

<sup>2</sup> -Very low frequency

نمایش داده شده است. فیلتر فریزر برای تفسیر بهتر داده‌های VLF طراحی شده و اساس آن کاهش نوفه<sup>۱</sup>های زمینه و جلوگیری از افزایش یافتن نوفه‌های تصادفی<sup>۲</sup> به صورت مبالغه آمیز می‌باشد. این فیلتر به عنوان یک فیلتر پایین گذر<sup>۳</sup> شناخته می‌شود و عملکرد آن به طور خلاصه تبدیل فراگذر<sup>۴</sup>ها به پیک می‌باشد به طوری که مکان پیک‌ها در هر پروفیل مشخص کننده موقعیت قرارگیری رسانای زیر سطحی می‌باشد. اگر نوفه‌های موجود در محدوده برداشت فقط نوفه‌های یکنواخت و زمینه باشد این فیلتر به خوبی تأثیر این نوفه‌ها را از بین می‌برد، اما شرایط در برداشت‌های VLF به گونه‌ای است که اغلب علاوه بر نوفه‌های زمینه، نوفه‌های تصادفی نیز بر روی داده‌ها تأثیر گذار می‌باشد. اعمال فیلتر فریزر بر روی داده‌های خام در صورتی که باعث کاهش این نوفه‌های تصادفی نیز شود، عملکرد بهینه‌ای را برای آن رقم خواهد زد. نکته موجود در این بحث این است که گاهی اعمال فیلتر فریزر بر روی داده‌های خام ممکن است نه تنها موجب کاهش نوفه‌های تصادفی نگردد بلکه تا حدی باعث افزایش این نوفه‌ها شود. این مسئله را می‌توان یک نقطه ضعف برای فیلتر فریزر برشمرد. با انجام تغییراتی بر روی فیلتر فریزر به منظور کاهش نوفه می‌توان فیلتر فریزر تعدیل شده را به دست آورد که برای اولین بار در این پایان نامه مورد استفاده قرار گرفته و مزایای آن نسبت به فیلتر فریزر معمولی نشان داده شده است. نتایج مربوط به سه برداشت ژئوفیزیکی مقاومت ویژه، IP و VLF به همراه اطلاعات ژئوشیمی و زمین شناسی در این منطقه تلفیق شد و در نهایت دو روند عمده کانی سازی، یکی در ارتباط با گسل اصلی منطقه و روند دوم در مجاورت گسل‌های فرعی منطقه شناسایی گردید. در نتیجه، با ترکیب اطلاعات اکتشافی و به دست آوردن یک الگوی مناسب از کانی‌سازی جیوه، زون‌های کانی جیوه در منطقه مورد پی جویی و اکتشاف قرار گرفتند.

واژه های کلیدی: سینابر ، روش VLF ، منطقه خانگلی ، فیلتر فریزر

---

<sup>1</sup> -Noise

<sup>2</sup> -Random

<sup>3</sup> - Low pass

<sup>4</sup> -Cross over



## فهرست مطالب

ج	تصویب نامه	.....
د	تقدیم	.....
د	تشکر و قدردانی	.....
ه	اقرارنامه و واگذاری حقوق	.....
و	چکیده	.....
ز	لیست مقالات مستخرج از پایان نامه	.....
ح	فهرست مطالب	.....

## فصل اول: کلیات

۲	۱-۱. مقدمه	.....
۴	۲-۱. سوابق مطالعات انجام شده	.....
۶	۳-۱. اهداف و ضرورت انجام پایان نامه	.....
۷	۶-۱. ساختار پایان نامه	.....

## فصل دوم: موقعیت جغرافیایی و زمین شناسی منطقه

۹	۱-۲. موقعیت جغرافیایی	.....
۱۰	۲-۲. زمین شناسی منطقه مورد مطالعه	.....
۱۲	۱-۲-۲. زمین شناسی ریخت شناسی	.....
۱۲	۲-۲-۲. واحدهای زمین شناسی	.....
۱۲	۱. سنگ های اولترابازیک	.....
۱۳	۲. برش ولکانیکی	.....
۱۳	۳. شیل های رادیولاریتی	.....
۱۳	۴. کنگلومرای پالتوسن	.....
۱۴	۵. شیل، مارن ماسه سنگ	.....
۱۴	۶. رگه های سیلیسی و برش هیدروترمالی	.....
۱۴	۷. سنگ های آلتیره	.....
۱۴	۸. رسوبات عهد حاضر	.....
۱۴	۳-۲-۲. تکتونیک	.....
۱۵	۳-۲. آلتراسیون در منطقه	.....

۴-۲. زمین شناسی اقتصادی منطقه..... ۱۶

### فصل سوم: روش های مقاومت ویژه و قطبش القایی

۱-۳. مقدمه..... ۱۹

۲-۳. کلیات..... ۲۰

۱-۲-۳. انتقال جریان الکتریکی در سنگ ها..... ۲۰

۲-۲-۳. تئوری شارش جریان در محیط همگن..... ۲۰

۳-۲-۳. مقاومت ویژه سنگ ها و کانی ها..... ۲۲

۳-۳. روش مقاومت ویژه..... ۲۳

۱-۳-۳. انواع آرایش های الکترودی..... ۲۴

۱-۱-۳-۳. آرایش ونر..... ۲۵

۲-۱-۳-۳. آرایش شلومبرژه..... ۲۶

۳-۱-۳-۳. آرایش دو قطبی - دو قطبی..... ۲۶

۴-۱-۳-۳. آرایش مستطیلی..... ۲۷

۴-۳. روش قطبش القایی (IP)..... ۲۸

۱-۴-۳. معرفی روش..... ۲۸

۲-۴-۳. چشمه های IP..... ۲۸

۱-۲-۴-۳. قطبش غشایی..... ۲۹

۲-۲-۴-۳. قطبش الکترودی..... ۳۰

۳-۴-۳. اندازه گیری های IP..... ۳۱

۱-۳-۴-۳. اندازه گیری در حوزه زمان..... ۳۱

۲-۳-۴-۳. اندازه گیری در حوزه فرکانس..... ۳۴

۴-۴-۳. نمونه های پاسخ IP..... ۳۶

۵-۳. تجهیزات مقاومت ویژه و IP مورد استفاده در برداشتهای صحرائی..... ۳۷

۱-۵-۳. مشخصات دستگاه IPR-10..... ۳۷

۲-۵-۳. دستگاه (گیرنده) IPR-11..... ۳۹

۳-۵-۳. فرستنده TSQ-3..... ۳۹

۶-۳. عملیات برداشت مقاومت ویژه و IP در منطقه مورد مطالعه..... ۳۹

۷-۳. مدل سازی و تفسیر نتایج مقاومت ویژه..... ۴۱

۴۴ ..... ۸-۳ مدل سازی و تفسیر نتایج IP

### فصل چهارم: روش VLF

۴۹ ..... ۱-۴ کلیات

۵۰ ..... ۱-۱-۴ ترکیب میدان های EM

۵۱ ..... ۲-۱-۴ روابط فاز و دامنه

۵۳ ..... ۳-۱-۴ قطبش بیضی وار

۵۴ ..... ۴-۱-۴ روش زاویه شیب

۵۶ ..... ۵-۱-۴ عمق نفوذ تابش EM

۵۷ ..... ۲-۴ روش VLF

۵۷ ..... ۱-۲-۴ اصول و کلیات

۶۰ ..... ۲-۲-۴ فرستنده های VLF

۶۲ ..... ۱-۲-۲-۴ فرستنده های قابل حمل

۶۴ ..... ۳-۲-۴ گیرنده های VLF

۶۵ ..... ۴-۲-۴ عوامل مؤثر بر داده های VLF

۶۵ ..... ۱-۴-۲-۴ نوفه های اتمسفری مؤثر بر فرکانس های VLF

۶۶ ..... ۲-۴-۲-۴ تأثیر توپوگرافی بر پاسخ میدان مغناطیسی VLF

۶۹ ..... ۵-۲-۴ تقسیم بندی روش VLF از نظر پارامترهای اندازه گیری شده

۷۰ ..... ۶-۲-۴ مدهای اصلی برداشت VLF

۷۰ ..... ۱-۶-۲-۴ بی هنجاری میدان H یا مد پلاریزاسیون TE

۷۱ ..... ۲-۶-۲-۴ بی هنجاری میدان E یا مد پلاریزاسیون TM

۷۱ ..... ۳-۶-۲-۴ نتیجه گیری کلی از این دو وضعیت ذکر شده

۷۲ ..... ۷-۲-۴ مزیت های روش VLF

۷۲ ..... ۸-۲-۴ معایب یا محدودیت های روش VLF

۷۳ ..... ۹-۲-۴ تفسیر کیفی و نیمه کمی داده های VLF

۷۴ ..... ۱-۹-۲-۴ تفسیر کیفی

۷۵ ..... ۲-۹-۲-۴ تفسیر نیمه کمی

۷۷ ..... ۱۰-۲-۴ معرفی نرم افزار Ramag

۷۸ ..... ۱-۱۰-۲-۴ محدودیت های نرم افزار

۷۸	..... مراحل کار با نرم افزار ..... ۲-۱۰-۲-۴
۷۹	..... نرم افزارهای Inv2DVLF و Forw2DVLF ..... ۱۱-۲-۴
۸۰	..... برداشت VLF در محدوده اکتشافی ..... ۱۲-۲-۴
۸۱	..... تفسیر کیفی پروفیل های VLF در محدوده اکتشافی ..... ۳-۴
۸۲	..... پروفیل صفر ..... ۱-۳-۴
۸۴	..... پروفیل ۵۰E ..... ۲-۳-۴
۸۶	..... پروفیل ۱۰۰E ..... ۳-۳-۴
۸۸	..... پروفیل ۱۵۰E ..... ۴-۳-۴
۹۰	..... پروفیل ۲۰۰E ..... ۵-۳-۴
۹۳	..... پروفیل ۲۵۰E ..... ۶-۳-۴
۹۵	..... پروفیل ۳۰۰E ..... ۷-۳-۴
۹۷	..... پروفیل ۳۵۰E ..... ۸-۳-۴
۹۹	..... پروفیل ۴۰۰E ..... ۹-۳-۴
۱۰۱	..... پروفیل ۴۵۰E ..... ۱۰-۳-۴
۱۰۳	..... پروفیل ۵۰۰E ..... ۱۱-۳-۴
۱۰۵	..... پروفیل ۵۵۰E ..... ۱۲-۳-۴
۱۰۷	..... جمع بندی ..... ۱۳-۳-۴
۱۰۹	..... تفسیر کمی پروفیل های VLF در محدوده اکتشافی ..... ۴-۴
۱۱۰	..... روش مورد استفاده برای تفسیر کمی ..... ۱-۴-۴
۱۱۱	..... پروفیل صفر ..... ۲-۴-۴
۱۱۲	..... پروفیل ۵۰E ..... ۳-۴-۴
۱۱۳	..... پروفیل ۱۰۰E ..... ۴-۴-۴
۱۱۴	..... پروفیل ۱۵۰E ..... ۵-۴-۴
۱۱۵	..... پروفیل ۲۰۰E ..... ۶-۴-۴
۱۱۶	..... پروفیل ۲۵۰E ..... ۷-۴-۴
۱۱۶	..... پروفیل ۳۰۰E ..... ۸-۴-۴
۱۱۷	..... پروفیل ۳۵۰E ..... ۹-۴-۴
۱۱۸	..... پروفیل ۴۰۰E ..... ۱۰-۴-۴

۱۱۹	.....	۴۵۰E	.....	۱۱-۴-۴
۱۱۹	.....	۵۰۰E	.....	۱۲-۴-۴
۱۲۰	.....	۵۵۰E	.....	۱۳-۴-۴

#### فصل پنجم: فیلتر فریزر تعدیل شده

۱۲۳	.....	۱-۵	.....	مقدمات فیلتر فریزر تعدیل شده
۱۲۶	.....	۲-۵	.....	شکل اولیه فیلتر فریزر تعدیل شده
۱۳۱	.....	۳-۵	.....	شکل نهایی فیلتر تعدیل شده

#### فصل ششم: تلفیق نتایج

۱۴۰	.....	۱-۶	.....	مقدمه
۱۴۱	.....	۲-۶	.....	پروفیل ۲۰۰E
۱۴۲	.....	۳-۶	.....	پروفیل ۵۰E
۱۴۳	.....	۴-۶	.....	پروفیل ۱۰۰E
۱۴۴	.....	۵-۶	.....	پروفیل ۴۰۰E
۱۴۵	.....	۶-۶	.....	پروفیل ۱۵۰E
۱۴۵	.....	۷-۶	.....	پروفیل صفر
۱۴۶	.....	۸-۶	.....	پروفیل ۲۵۰E
۱۴۷	.....	۹-۶	.....	پروفیل ۳۰۰E
۱۴۷	.....	۱۰-۶	.....	پروفیل ۳۵۰E
۱۴۸	.....	۱۱-۶	.....	پروفیل ۴۵۰E
۱۴۸	.....	۱۲-۶	.....	پروفیل ۵۰۰E
۱۴۹	.....	۱۳-۶	.....	پروفیل ۵۵۰E

#### فصل هفتم: نتیجه گیری و پیشنهادات

۱۵۲	.....	۱-۷	.....	جمع بندی و نتیجه گیری
۱۵۴	.....	۲-۷	.....	پیشنهادات

#### منابع و ماخذ

۱۵۶	.....	منابع و مراجع
-----	-------	---------------

## فهرست شکل‌ها

### فصل دوم: موقعیت جغرافیایی و زمین‌شناسی منطقه

- شکل ۱-۲: موقعیت جغرافیایی محدوده مورد مطالعه ..... ۱۰
- شکل ۲-۲: نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه ..... ۱۱
- شکل ۳-۲: رگه و رگچه‌های سیلیس در فضاهاى خالی و شکستگی‌های سربانتینیت‌ها ..... ۱۳

### فصل سوم: روش‌های مقاومت ویژه و مقاومت ویژه

- شکل ۱-۳: ترتیب قرار گیری الکترودها در روش دو قطبی - دو قطبی محوری ..... ۲۶
- شکل ۲-۳: آرایش مستطیلی ..... ۲۷
- شکل ۳-۳: منحنی افت در قطبش القایی ..... ۲۹
- شکل ۴-۳: کاربرد یک جریان پالسی و دو شکل اندازه‌گیری ولتاژ اضافی ..... ۳۲
- شکل ۵-۳: تغییرات فرکانس و ولتاژ اضافی با زمان شارژ ..... ۳۳
- شکل ۶-۳: نقشه پروفیل‌ها و ایستگاه‌های محدوده برداشت ..... ۴۰
- شکل ۷-۳: منحنی‌های میزان مقاومت ویژه در محدوده‌ی برداشت ..... ۴۱
- شکل ۸-۳: مقطع مقاومت ویژه پروفیل ۱۵۰E ..... ۴۲
- شکل ۹-۳: مقطع مقاومت ویژه پروفیل ۲۰۰E ..... ۴۳
- شکل ۱۰-۳: منحنی‌های میزان داده‌های IP ..... ۴۴
- شکل ۱۱-۳: مقطع IP پروفیل ۱۵۰E ..... ۴۵
- شکل ۱۲-۳: مقطع IP پروفیل ۲۰۰E ..... ۴۵
- شکل ۱۳-۳: مقاطع مقاومت و IP پروفیل ۱۵۰E ..... ۴۶
- شکل ۱۴-۳: مقاطع مقاومت ویژه و IP پروفیل ۲۰۰E ..... ۴۶

### فصل چهارم: روش VLF

- شکل ۱-۴: اصول روش‌های القای الکترومغناطیسی ..... ۵۰
- شکل ۲-۴: الف) اختلاف فاز بین دو موج متوالی ب) دیاگرام برداری روابط بین میدان‌ها ..... ۵۱
- شکل ۳-۴: پارامترهای بیضی پلاریزان ..... ۵۴
- شکل ۴-۴: نحوه اندازه‌گیری متد زاویه تیلت ..... ۵۵
- شکل ۵-۴: منبع VLF ..... ۵۸
- شکل ۶-۴: پروفیل زاویه کجی روی یک صفحه رسانای قائم ..... ۵۸
- شکل ۷-۴: شکل شماتیک تضعیف مؤلفه‌های میدان با عمق ..... ۵۹

- شکل ۴-۸: موقعیت فرستنده‌های مهم جهان ..... ۶۰
- شکل ۴-۹: مقایسه بین نتایج برداشت زاویه شیب و موهومی ..... ۶۳
- شکل ۴-۱۰: تأثیر توپوگرافی بر شارش جریان VLF (توپوگرافی در راستای انتشار امواج)..... ۶۶
- شکل ۴-۱۱: تأثیر تپه بر روی اندازه‌گیری زاویه تیلت ..... ۶۷
- شکل ۴-۱۲: تأثیر دره بر روی اندازه‌گیری زاویه تیلت ..... ۶۷
- شکل ۴-۱۳: تأثیر شیب بر روی اندازه‌گیری زاویه تیلت ..... ۶۸
- شکل ۴-۱۴: تأثیر توپوگرافی بر شارش جریان VLF (توپوگرافی عمود بر انتشار امواج)..... ۶۸
- شکل ۴-۱۵: پاسخ یک رسانا با شیبی مخالف با توپوگرافی، با در نظر گرفتن اثر توپوگرافی..... ۶۹
- شکل ۴-۱۶: بی‌هنجاری میدان H یا مد پلاریزاسیون TE ..... ۷۰
- شکل ۴-۱۷: بی‌هنجاری میدان E یا مد پلاریزاسیون TM ..... ۷۱
- شکل ۴-۱۸: الف) نمودار داده‌های خام VLF و فریزر پروفیل صفر ..... ۸۲
- شکل ۴-۱۹: فیلتر کاروس-هجلت و شبه مقطع چگالی جریان پروفیل صفر ..... ۸۳
- شکل ۴-۲۰: الف) داده‌های خام و ب) فیلتر فریزر پروفیل ۵۰E ..... ۸۴
- شکل ۴-۲۱: الف) فیلتر کاروس-هجلت ب) شبه مقطع چگالی جریان پروفیل ۵۰E ..... ۸۵
- شکل ۴-۲۲: الف) داده‌های خام و ب) فیلتر فریزر پروفیل ۱۰۰E ..... ۸۶
- شکل ۴-۲۳: الف) فیلتر کاروس-هجلت ب) شبه مقطع چگالی جریان پروفیل ۱۰۰E ..... ۸۷
- شکل ۴-۲۴: الف) داده‌های خام و ب) فیلتر فریزر پروفیل ۱۵۰E ..... ۸۹
- شکل ۴-۲۵: الف) فیلتر کاروس-هجلت ب) شبه مقطع چگالی جریان پروفیل ۱۵۰E ..... ۹۰
- شکل ۴-۲۶: الف) داده‌های خام و ب) فیلتر فریزر پروفیل ۲۰۰E ..... ۹۱
- شکل ۴-۲۷: الف) فیلتر کاروس-هجلت ب) شبه مقطع چگالی جریان پروفیل ۲۰۰E ..... ۹۲
- شکل ۴-۲۸: الف) داده‌های خام و ب) فیلتر فریزر پروفیل ۲۵۰E ..... ۹۳
- شکل ۴-۲۹: الف) فیلتر کاروس-هجلت ب) شبه مقطع چگالی جریان پروفیل ۲۵۰E ..... ۹۴
- شکل ۴-۳۰: الف) داده‌های خام و ب) فیلتر فریزر پروفیل ۳۰۰E ..... ۹۵
- شکل ۴-۳۱: الف) فیلتر کاروس-هجلت ب) شبه مقطع چگالی جریان پروفیل ۳۰۰E ..... ۹۶
- شکل ۴-۳۲: الف) داده‌های خام و ب) فیلتر فریزر پروفیل ۳۵۰E ..... ۹۷
- شکل ۴-۳۳: الف) فیلتر کاروس-هجلت ب) شبه مقطع چگالی جریان پروفیل ۳۵۰E ..... ۹۸
- شکل ۴-۳۴: الف) داده‌های خام و ب) فیلتر فریزر پروفیل ۴۰۰E ..... ۹۹
- شکل ۴-۳۵: الف) فیلتر کاروس-هجلت ب) شبه مقطع چگالی جریان پروفیل ۴۰۰E ..... ۱۰۰
- شکل ۴-۳۶: الف) داده‌های خام و ب) فیلتر فریزر پروفیل ۴۵۰E ..... ۱۰۲

- شکل ۴-۳۷: الف) فیلتر کاروس-هجلت ب) شبه مقطع چگالی جریان پروفیل E ۴۵۰..... ۱۰۳
- شکل ۴-۳۸: الف) داده‌های خام و ب) فیلتر فریزر پروفیل E ۵۰۰..... ۱۰۴
- شکل ۴-۳۹: الف) فیلتر کاروس-هجلت ب) شبه مقطع چگالی جریان پروفیل E ۵۰۰..... ۱۰۵
- شکل ۴-۴۰: الف) داده‌های خام و ب) فیلتر فریزر پروفیل E ۵۵۰..... ۱۰۶
- شکل ۴-۴۱: الف) فیلتر کاروس-هجلت ب) شبه مقطع چگالی جریان پروفیل E ۵۵۰..... ۱۰۷
- شکل ۴-۴۲: نتایج کلی پروفیل‌های VLF در محدوده برداشت..... ۱۰۸
- شکل ۴-۴۳: الف) شبه مقطع چگالی جریان ب) شبه مقطع مقاومت ویژه پروفیل صفر..... ۱۱۲
- شکل ۴-۴۴: الف) شبه مقطع چگالی جریان پ ب) شبه مقطع مقاومت ویژه پروفیل E ۵۰..... ۱۱۲
- شکل ۴-۴۵: الف) شبه مقطع چگالی جریان پ ب) شبه مقطع مقاومت ویژه پروفیل E ۱۰۰..... ۱۱۳
- شکل ۴-۴۶: الف) شبه مقطع چگالی جریان ب) شبه مقطع مقاومت ویژه پروفیل E ۱۵۰..... ۱۱۴
- شکل ۴-۴۷: الف) شبه مقطع چگالی جریان ب) شبه مقطع مقاومت ویژه پروفیل E ۲۰۰..... ۱۱۵
- شکل ۴-۴۸: الف) شبه مقطع چگالی جریان ب) شبه مقطع مقاومت ویژه پروفیل E ۲۵۰..... ۱۱۶
- شکل ۴-۴۹: الف) شبه مقطع چگالی جریان ب) شبه مقطع مقاومت ویژه پروفیل E ۳۰۰..... ۱۱۷
- شکل ۴-۵۰: الف) شبه مقطع چگالی جریان ب) شبه مقطع مقاومت ویژه پروفیل E ۳۵۰..... ۱۱۷
- شکل ۴-۵۱: الف) شبه مقطع چگالی جریان ب) شبه مقطع مقاومت ویژه پروفیل E ۴۰۰..... ۱۱۸
- شکل ۴-۵۲: الف) شبه مقطع چگالی جریان ب) شبه مقطع مقاومت ویژه پروفیل E ۴۵۰..... ۱۱۹
- شکل ۴-۵۳: الف) شبه مقطع چگالی جریان ب) شبه مقطع مقاومت ویژه پروفیل E ۵۰۰..... ۱۲۰
- شکل ۴-۵۴: الف) شبه مقطع چگالی جریان ب) شبه مقطع مقاومت ویژه پروفیل E ۵۵۰..... ۱۲۰

#### فصل پنجم: فیلتر فریزر تعدیل شده

- شکل ۵-۱: الف) فیلتر فریزر تعدیل شده ب) فریزر ج) چگالی جریان پروفیل E ۳۵۰..... ۱۲۷
- شکل ۵-۲: الف) فیلتر فریزر تعدیل شده ب) فریزر ج) چگالی جریان پروفیل E ۴۵۰..... ۱۲۸
- شکل ۵-۳: الف) فیلتر فریزر تعدیل شده ب) فریزر ج) چگالی جریان پروفیل E ۵۵۰..... ۱۲۹
- شکل ۵-۴: الف) فیلتر فریزر تعدیل شده ب) فریزر ج) چگالی جریان پروفیل E ۳۵۰..... ۱۳۲
- شکل ۵-۵: الف) فیلتر فریزر تعدیل شده ب) فریزر ج) چگالی جریان پروفیل E ۴۵۰..... ۱۳۳
- شکل ۵-۶: الف) فیلتر فریزر تعدیل شده ب) فریزر ج) چگالی جریان پروفیل E ۵۵۰..... ۱۳۴
- شکل ۵-۷: الف) فیلتر فریزر تعدیل شده، ب) فیلتر فریزر و ج) مقطع چگالی جریان پروفیل ۱..... ۱۳۶
- شکل ۵-۸: الف) فیلتر فریزر تعدیل شده، ب) فیلتر فریزر و ج) مقطع چگالی جریان پروفیل ۲..... ۱۳۷
- شکل ۵-۹: الف) فیلتر فریزر تعدیل شده، ب) فیلتر فریزر و ج) مقطع چگالی جریان پروفیل ۳..... ۱۳۸



## فهرست جدول‌ها

### فصل سوم: روش‌های مقاومت ویژه و قطبش القایی

- جدول ۱-۳: مقاومت ویژه برخی از کانی‌ها و عناصر ..... ۲۳
- جدول ۲-۳: انواع آرایش‌های الکترونی ..... ۲۵
- جدول ۳-۳: باریزیری کانی‌ها، سنگ‌ها و مواد مختلف ..... ۳۶

### فصل چهارم: روش VLF

- جدول ۱-۴: مشخصات فرستنده‌های مهم جهان ..... ۶۱
- جدول ۲-۴: گیرنده‌های VLF مرتب شده بر اساس سال تولید ..... ۶۵

# فصل اوّل

کلیّات

## ۱-۱ مقدمه

ژئوفیزیک یکی از روش‌های مهم و اجتناب ناپذیر در اکتشاف معادن نفت، گاز، آب و همچنین در کارهای عمرانی می‌باشد. در هر پروژه اکتشافی، این روش به عنوان یک روش موفق و مناسب در اکتشافات مقدماتی کاربرد بسیار زیادی دارد. در ژئوفیزیک اکتشافی با اندازه‌گیری خصوصیات فیزیکی مختلف، ساختارهای زیرسطحی را آشکارسازی می‌کنیم.

روش‌های ژئوفیزیکی اکتشافی بسیار متنوعند که در این میان، می‌توان به روش‌های لرزه‌نگاری، ثقل-سنجی، حرارت‌سنجی، روش‌های الکتریکی، مغناطیسی، رادیومتری (راديواکتیویه) و ... اشاره کرد. در میان این روش‌ها، روش‌های الکتریکی به علت سادگی، هزینه پایین و کارایی، گسترش بیشتری یافته‌اند و در ضمن از تنوع بیشتری نسبت به سایر روش‌های ژئوفیزیکی برخوردارند. روش‌های الکتریکی که شامل روش‌های مقاومت‌ویژه<sup>۱</sup>، پلاریزاسیون القایی<sup>۲</sup>، روش‌های مختلف الکترومغناطیس و غیره می‌باشد که در همه این روش‌ها خاصیت رسانندگی سنگ‌ها و کانی‌ها نقش اصلی در اکتشافات را دارد.

روش‌های ژئوفیزیکی از جمله روش‌های اکتشافی سریع، مطمئن و اقتصادی است که می‌تواند با استفاده از خواص فیزیکی زمین به طور غیرمستقیم ساختارها و منابع معدنی زیرزمینی را آشکارسازی نماید. از جمله روش‌های ژئوفیزیکی اکتشافی، روش‌های الکترومغناطیسی است که نسبت به اختلاف مقاومت ویژه قسمت‌های مختلف زمین، مخصوصاً اختلاف مقاومت ویژه جانبی حساس می‌باشد. این روش در میان کلیه روش‌های ژئوفیزیکی، دارای وسیع‌ترین گستره سیستم ابزاری نسبت به هر روش دیگر بوده که با گستره کاربردهای قابل ملاحظه آن مطابقت دارد.

---

<sup>1</sup>Resistivity

<sup>2</sup>Induced Polarization

در محدوده اکتشافی خانگلی از سه روش ژئوفیزیکی مقاومت ویژه، IP و VLF استفاده شده است. روش مقاومت ویژه در اوایل دهه ۱۹۰۰ میلادی توسعه یافت و از دهه ۱۹۷۰ به طور وسیع مورد استفاده قرار گرفت [Reynolds, 1997]. این روش به طور عمده برای جستجوی منابع آب‌های زیرزمینی، در کاوش‌های مهندسی برای تعیین محل حفرات زیرسطحی، گسل‌ها، درزه و شکاف‌ها، اکتشاف ذخایر معدنی، بررسی‌های ژئوتکنیکی و به‌تازگی در مسائل زیست محیطی نیز به کار گرفته می‌شود [Moony, 1980].

روش IP یکی از روش‌های الکتریکی است که اغلب برای اکتشاف مواد معدنی فلزی به کار برده می‌شود. این روش در فاصله سال‌های ۱۹۶۰ تا ۱۹۷۰ پیشرفت خوبی داشت و با درک بهتر از منابع قطبش و روش‌های تفسیر به صورت وسیع‌تری مورد استفاده قرار گرفت [Pelton et al., 1978 & 1983]. امروزه استفاده از روش IP در اکتشافات معدنی به خوبی جا افتاده است و کاربردهای گسترده تری را در مسائل مهندسی و محیط زیستی به خود اختصاص داده است [Ward et al., 1995].

روش الکترومغناطیسی VLF، ابزار تهیه نقشه مقدماتی برای ساختارهای نزدیک سطح است. این روش کاربردهای مختلفی دارد که می‌توان به مواردی از قبیل اکتشاف آب‌های زیرزمینی، ارزیابی منابع آلودگی، مهندسی خاک، باستان‌شناسی و اکتشافات معدنی و زون‌های گسلی مینرالیزه اشاره نمود [Philips and Richards, 1975]، [Wright, 1988]، همچنین روش VLF-EM برای به تصویر کشیدن لایه‌های هوازه گرانیتهی استفاده می‌شود [Babu et al., 2007].

از نظر زمین‌شناسی محدوده اکتشافی مورد مطالعه در زون افیولیتی خوی-ماکو قرار گرفته است. در این تحقیق با استفاده از روش‌های ژئوفیزیکی و اطلاعات زمین‌شناسی و همچنین استفاده از نتایج ژئوشیمی، مناطق امیدبخش کانی‌سازی جیوه در محدوده را معرفی می‌نماییم.

مطالعات ژئوفیزیکی برای اهداف زیر در دنیا مورد استفاده قرار می‌گیرند:

اکتشافات مواد معدنی فلزی و غیر فلزی با استفاده از روش‌های الکتریکی، الکترومغناطیسی، مغناطیس  
سنجی و گرانی‌سنجی

تعیین محل حفره‌ها و شکستگی‌های زیر سطحی و اجسام مدفون [Candansayar and Mauriello  
[Gürer et al., 2009] and. Başokur, 2001], Patella, 2001].

مطالعات زیست محیطی و آلودگی‌های زیر سطحی، [Yuval, 1995], [Soupios et al., 2007]  
[Beamish, 2004]

آب‌های زیر زمینی و اکتشافات نفتی

هنگ تائو<sup>۱</sup> و همکاران در سال ۲۰۰۶ با استفاده از روش‌های IP، VLF و چند روش دیگر ژئوفیزیکی به  
مطالعه کانی‌سازی طلا در منطقه‌ای در شمال چین پرداختند. نتایج VLF در تشخیص امتداد کانی‌سازی  
با توجه به قرار گیری آن در زون‌های شکستگی و گسلی مطلوب بوده است اما، با توجه به حضور گرافیت  
در زون کانی‌سازی روش IP انتخاب مناسبی در محدوده به‌شمار نمی‌رود [Hongtao et al., 2006].

کرینیه<sup>۲</sup> و همکاران نیز در سال ۱۹۹۹ بررسی‌های ژئوفیزیکی بر روی یک منطقه حاوی کانی‌سازی فلزی  
از نوع اپی ترمال در نیوزیلند با استفاده از روش‌های مقاومت ویژه، IP و گرانی‌سنجی مطالعات خود را  
انجام دادند. این منطقه در نیوزیلند به‌منظور اکتشاف طلا مورد بررسی قرار گرفت که با استفاده از روش  
مقاومت ویژه و IP زون‌های آلتره سیلیسی و همچنین محل‌های کانی‌سازی سولفیدی شناسایی شدند  
[Corinne et al., 1999].

از گذشته نسبتاً دور مطالعات ژئوفیزیک زمینی در جای‌جای کشور ما اجرا شده و در عمده موارد نتایج  
قابل قبولی نیز نشان داده است. تا به امروز چندین هزار پروژه ژئوفیزیکی با اهداف و مقاصد گوناگون در  
کشور اجرا شده است [عرب امیری و کامکار روحانی، ۱۳۸۳]. به‌عنوان نمونه می‌توان به کاوش‌های

<sup>1</sup> -Hongtao

<sup>2</sup> -Corinne

ژئوفیزیکی که برای اکتشاف معادن مس، سرب، روی، طلا و ... انجام گردیده است، اشاره نمود. نوروزی و همکاران با استفاده از اطلاعات حفاری پاسخ مقاومت ویژه و IP را مورد مطالعه قرار دادند. مدل‌سازی و تفسیر داده‌های مقاومت ویژه و IP نشان داد که مناطق شامل بی‌هنجاری مقاومت ویژه و IP، بیشترین پتانسیل را از دیدگاه اکتشاف طلا در منطقه مورد مطالعه دارا می‌باشند [نوروزی و همکاران، ۱۳۸۴].

سمنانی نژاد نیز با استفاده از چهار روش ژئوفیزیکی مقاومت ویژه، قطبش IP، مغناطیس‌سنجی و VLF به مطالعه کانی‌سازی سرب و روی در منطقه معدنی انجیره تیران پرداخت. در این مطالعه داده‌های مقاومت ویژه و IP در خصوص تشخیص مناطق کانی‌سازی شده پاسخ خوبی را به‌همراه داشته‌اند و مناطق کوچک کانی‌سازی را با دقت قابل قبولی مشخص کرده‌اند. کانی‌سازی در این منطقه در درزه و شکاف‌های شیب‌دار در سنگ‌های کربناته صورت گرفته است و به همین دلیل برداشت‌های VLF در تشخیص کانی‌سازی، نتایج موفق و موافق با نتایج برداشت‌های مقاومت ویژه و IP در بیشتر مناطق در بر داشته است [سمنانی، ۱۳۸۷]. طلوعی در سال ۱۳۸۶ با تفسیر و مدل‌سازی داده‌های مقاومت ویژه و IP در منطقه خلخال مناطق کانی‌سازی فلزی سرب و روی را شناسایی نمود [طلوعی، ۱۳۸۶].

با وجود تمامی مطالعات ژئوفیزیکی بر روی ذخایر معدنی فلزی در دنیا و ایران و جستجوی محدود منابع و مراجع چاپ شده، هیچ گزارش یا مقاله‌ای در زمینه مطالعات ژئوفیزیکی بر روی کنسارهای جیوه در دنیا و ایران (به‌جز کار مطالعاتی حاضر) یافت نشد (یا قابل دستیابی نبود). در منطقه مورد مطالعه (خانگلی ماکو)، مطالعات اکتشافی از جمله مطالعات ژئوفیزیکی به منظور اکتشاف مناطق کانی‌سازی معدنی در سه مرحله انجام شده است. در مرحله مقدماتی، نمونه برداری از رخنمون‌های سنگی (لیتوژئوشیمی) و رسوبات آبراهه‌ای (کانی‌سنگین) انجام گرفته است. در مرحله دوم در یک محدوده کوچک‌تر که در مرحله اول شناسایی گردیده است، اکتشافات نیمه تفصیلی شامل تهیه نقشه توپوگرافی و انجام عملیات ژئوفیزیک صورت گرفته است. مرحله سوم هم شامل نمونه‌برداری دقیق‌تر و عملیات

ژئوشیمی و حفر چندین ترانشه می‌باشد [کاوشگران، ۱۳۷۳ و ۱۳۷۶]. از مرحله سوم اطلاعاتی به دست ما نرسیده است و داده‌های خام ژئوشیمی متأسفانه قابل دستیابی نبودند.

### ۱-۳ اهداف و ضرورت انجام پایان نامه

اهداف پایان نامه حاضر را می‌توان به دو بخش تقسیم نمود:

در بخش اول هدف مورد مطالعه، اکتشاف و شناسایی مناطق امید بخش کانی‌سازی جیوه در منطقه خانگلی ماکو با استفاده از روش‌های ژئوفیزیکی می‌باشد. کانی‌سازی جیوه در منطقه مورد مطالعه عمدتاً به صورت کانی سینابر می‌باشد و کانی‌هایی از قبیل پیریت و کالکوپیریت سینابر را در منطقه همراهی می‌کنند. مسئله از این لحاظ که تا کنون در ایران برای اکتشاف جیوه روش‌های ژئوفیزیکی به کار گرفته نشده‌اند، می‌تواند جالب و با اهمیت باشد.

در منطقه خانگلی ماکو از سه روش ژئوفیزیکی مقاومت ویژه، قطبش القایی و روش الکترومغناطیسی VLF استفاده شده است و در نهایت با استفاده از اطلاعات ژئوشیمی و زمین شناسی موجود تفسیری جامع ارائه گردیده است.

در بخش دوم پایان نامه، هدف عمده، تفسیر کمی و تعمیم یک فیلتر در روش VLF می‌باشد. در این بخش به بررسی نتایج به دست آمده از تفسیر کمی و مقایسه نتایج آن با تفسیر کیفی می‌پردازیم و همچنین فیلتر تعمیم داده شده فریزر که در موارد خاص (در قسمت مربوطه توضیح این موارد آمده است) عملکرد بهتری را نسبت به فیلتر فریزر دارا می‌باشد، ارائه می‌نماییم.

با توجه به اهداف فوق و لزوم اکتشاف مواد معدنی با روش‌های نوین و کم هزینه، در این تحقیق به اکتشاف جیوه در منطقه خانگلی ماکو با استفاده از روش‌های ژئوفیزیکی مقاومت ویژه، قطبش القایی و VLF و سپس ترکیب نتایج ژئوفیزیکی با اطلاعات زمین شناسی و ژئوشیمی پرداخته شده است.

#### ۴-۱ ساختار پایان نامه

پایان نامه حاضر دارای هفت فصل مجزا می‌باشد. در فصل اول که فصل حاضر است، کلیاتی در مورد پایان نامه از جمله مقدمه، سوابق مطالعات انجام شده، اهداف و ضرورت و ساختار پایان نامه آورده شده است. فصل دوم به معرفی موقعیت جغرافیایی و خصوصیات زمین شناسی منطقه مورد مطالعه اختصاص یافته است. فصل سوم شامل کلیات و نتایج به دست آمده از کاربرد روش‌های ژئوفیزیکی مقاومت ویژه و قطبش القایی می‌باشد. در بخش اول فصل چهارم کلیات روش VLF و نتایج کاربرد آن در منطقه ذکر شده است و در بخش دوم روش تفسیر کمی مورد بررسی قرار گرفته است. فصل پنجم به فیلتر فریزر تعمیم داده شده، اختصاص یافته است. در فصل ششم نتایج به دست آمده از سه روش ژئوفیزیکی مقاومت ویژه، قطبش القایی و VLF با یکدیگر تلفیق شده و با در نظر گرفتن اطلاعات زمین شناسی و ژئوشیمی موجود تفسیر جامعی ارائه گردیده است و بالاخره در فصل هفتم که فصل آخر این پایان نامه می‌باشد، نتایج به دست آمده از این پایان نامه مورد بحث قرار گرفته و پیشنهادات لازم ارائه شده است.



# فصل دوم

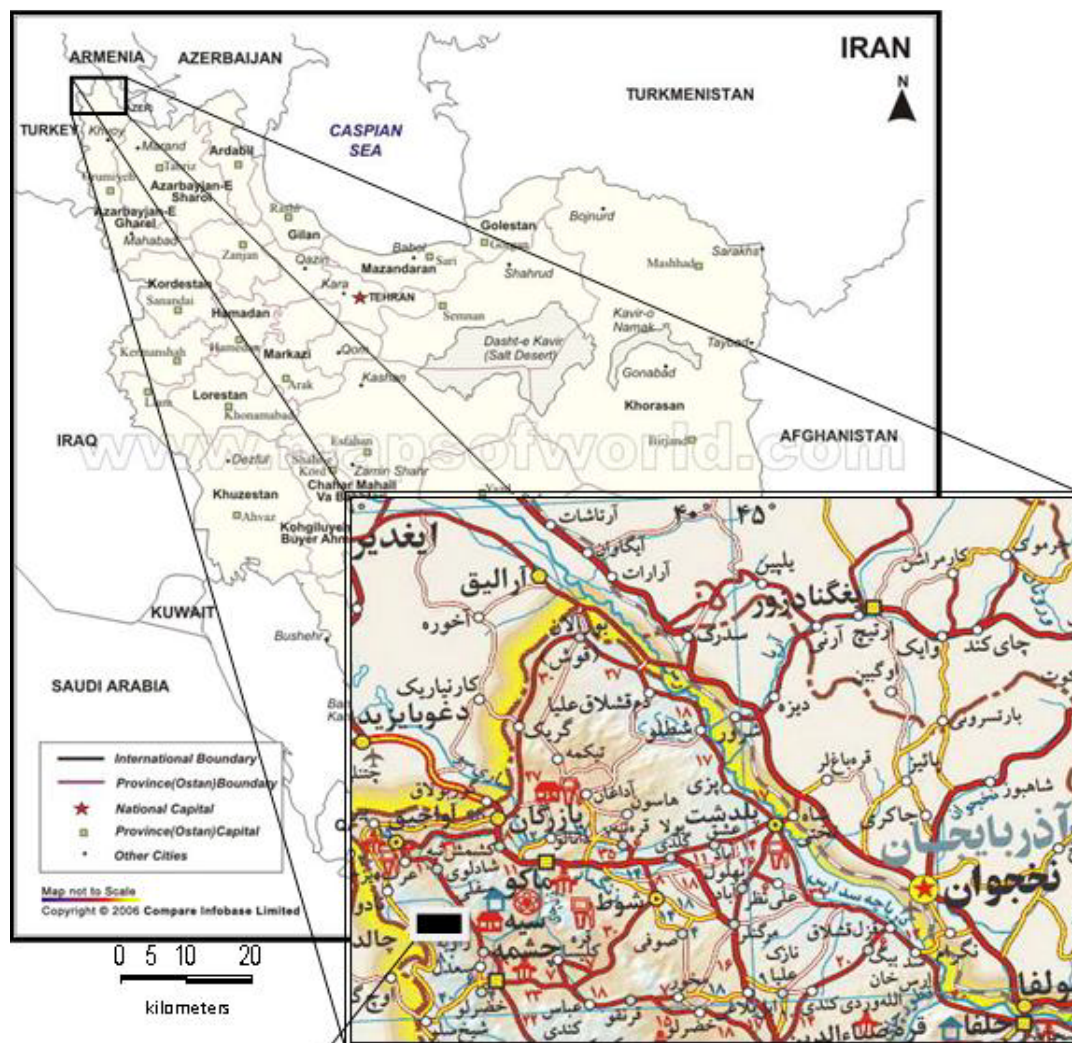
موقعیت جغرافیایی

و زمین‌شناسی منطقه

## ۲-۱ موقعیت جغرافیایی

منطقه مورد مطالعه از نظر جغرافیایی در شمال غرب کشور و در استان آذربایجان غربی قرار گرفته است شکل (۱-۲). این محدوده در جنوب غربی شهرستان ماکو و در بخش مرزی ایران و ترکیه واقع شده است . فاصله محدوده اکتشافی از شهرستان ماکو حدود ۳۶ کیلومتر (به خط مستقیم) و حدود ۵۵ کیلومتر از طریق جاده ماکو- سیه چشمه می‌باشد، فاصله بخش سیه چشمه تا این محدوده ۳۹ کیلومتر می باشد که ۳۵ کیلومتر آن را جاده آسفalte ( از سیه چشمه تا آبادی شاه بنده‌لو) و بقیه آن را پس از منشعب شدن از آبادی شاه بنده لو، جاده خاکی پاسگاه مرزی خان گلی تشکیل می دهد. این جاده جزء جاده های مرزی است و در نزدیکی پاسگاه خانگلی (که به فاصله حدود ۵۰۰ متری از ضلع جنوبی محدوده قرار دارد) به سمت شمال و جنوب منشعب و در طول نوار مرزی پاسگاه های مرزی را به هم وصل می نماید [www.ngdir.com].

محدوده مورد مطالعه به شکل یک مستطیل (مستطیل سیاه رنگ در شکل ۱-۲) و با مساحت ۵۱ هکتار به طول ۸۵۰ متر و عرض ۶۰۰ متر می‌باشد. جهت گیری و مختصات این مستطیل در شکل ۲-۲ آورده شده است.



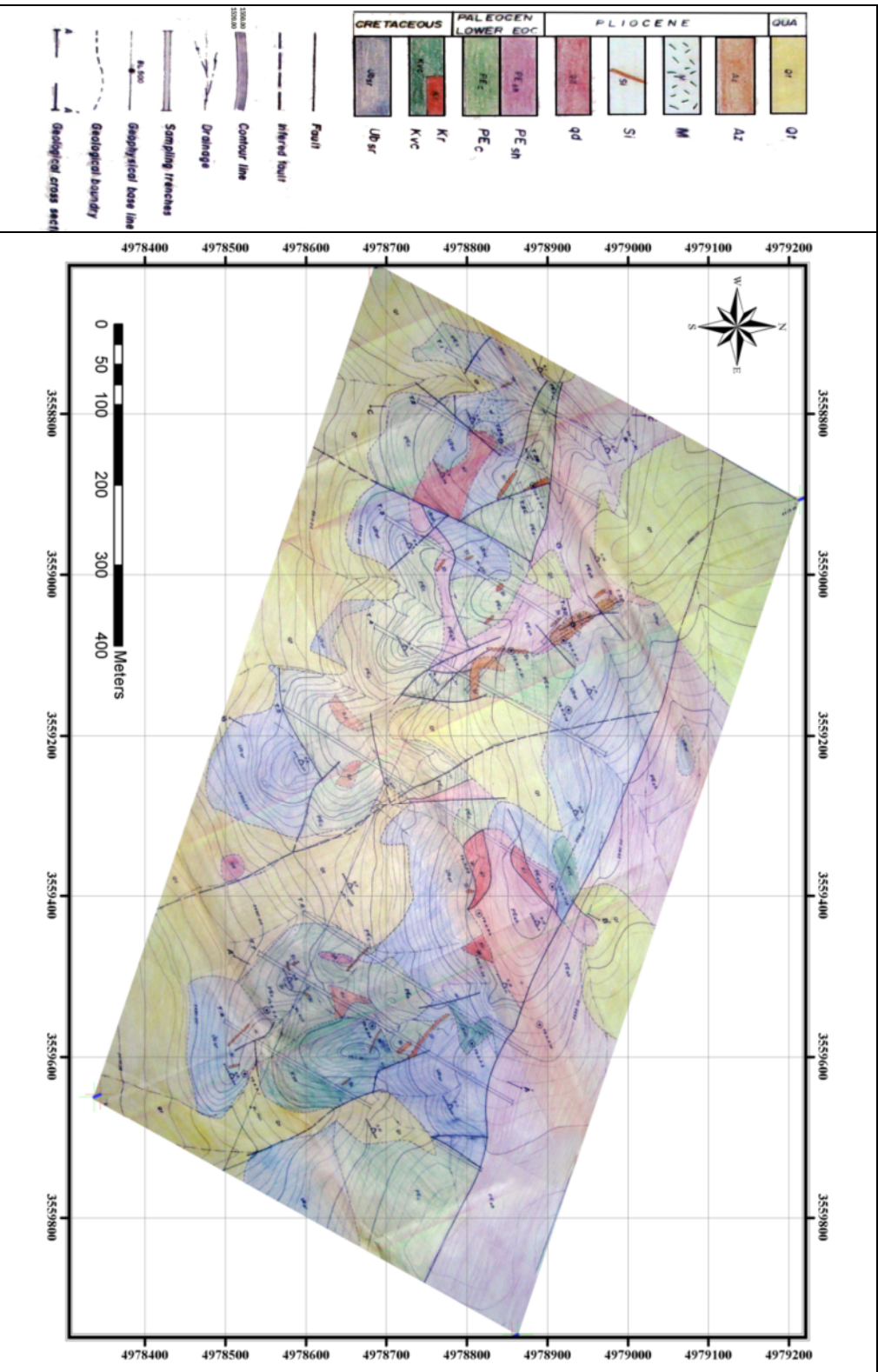
محدوده مورد مطالعه

شکل ۲-۱: موقعیت جغرافیایی محدوده مورد مطالعه [www.mapsofworld.com]

## ۲-۲ زمین شناسی منطقه مورد مطالعه

محدوده اکتشافی مورد مطالعه در زون افیولیتی خوی - ماکو قرار گرفته است. واحدهای زمین شناسی در این محدوده تحت تأثیر شدید پدیده دگرسانی (آلتراسیون) و تکتونیک قرار گرفته‌اند که بعضاً سنگ مادر این واحدها قابل تشخیص نمی‌باشند [امامعلی پور و همکاران، ۱۳۷۸].

نقشه زمین شناسی محدوده مورد نظر در شکل ۲-۲ آمده است.



شکل ۲-۲: نقشه زمین شناسی محدوده مورد مطالعه [کاوشگران، ۱۳۷۳]

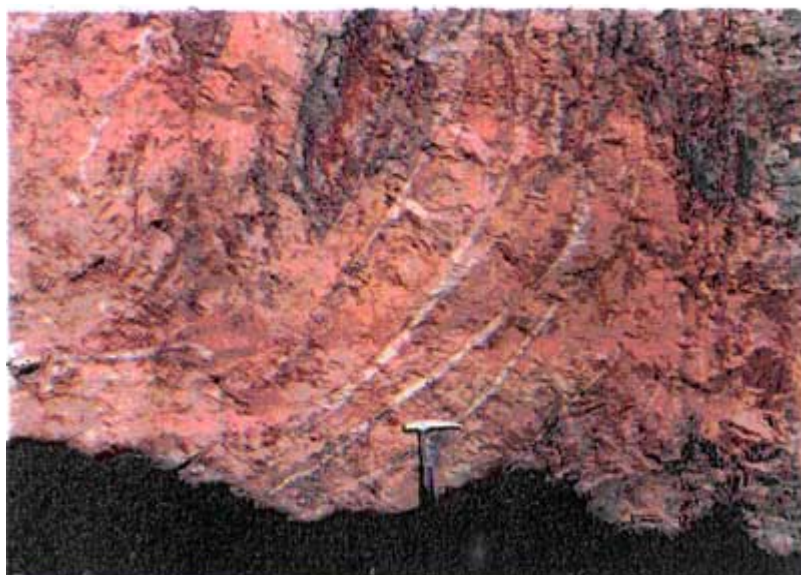
## ۲-۲-۱ زمین ریخت شناسی

منطقه دارای توپوگرافی تپه ماهوری بوده که علت اصلی ایجاد این وضعیت عملکرد آلتراسیون بر روی واحدهای لیتولوژیکی محدوده است. تنها واحد صخره‌ساز در منطقه، واحد سرپانتینیتی برشی است. به علت حاصل خیز بودن خاک حاصل از فرسایش منطقه از پوشش گیاهی فراوانی برخوردار است [کاوشران، ۱۳۷۳].

## ۲-۲-۲ لیتولوژی و زمین ساخت (واحدهای زمین شناسی)

سنگ‌های اولترابازیک (سرپانتینیت‌های برشی)، کنگلومرای ولکانیکی آندزیتی، شیل‌های رادیولاریتی، کنگلومرا، شیل، مارن و ماسه سنگ، رگه‌های سیلیسی، سنگ‌های آلتره، ملانژ افیولیتی و رسوبات عهد حاضر واحد های لیتولوژیکی موجود در محدوده اکتشافی می باشند که مجموعاً تحت تأثیر محلول‌های گرمابی، متحمل آلتراسیون گشته است و رگه‌هایی از سیلیس و اکسیدهای آهن و سایر محصولات ناشی از آلتراسیون در آن تشکیل شده است. این واحدهای لیتولوژیکی به شرح زیر می‌باشند [کاوشران، ۱۳۷۶]

۱- سنگ‌های اولترابازیک: این واحد از قسمت‌های اصلی تشکیل دهنده مجموعه افیولیتی به‌شمار می‌آید و در محدوده اکتشافی عمدتاً تبدیل به سرپانتینیت شده است و عموماً با تماس گسله در مجاورت واحدهای دیگر قرار می‌گیرند. این سرپانتینیت به شدت خرد و برشی شده‌اند و روند گسترش آن شمال غرب - جنوب شرق است. آلتراسیون شدید هیدروترمال سبب ایجاد رگه و رگچه فراوان سیلیسی و اکسیدهای آهن در امتداد شکستگی‌های این سنگ‌ها گردیده است (شکل ۲-۳). سرپانتینیت‌های برشی به‌علت عملکرد آنها به‌عنوان سنگ میزبان کانی‌سازی از اهمیت به‌سزایی برخوردارند.



شکل ۲-۳: رگه و رگچه‌هایی نازکی از سیلیس در فضاهاى خالی و شکستگی‌های سرپانتینیت‌ها [کاوشگران، ۱۳۷۳]

۲- **برش ولکانیکی:** این واحد در بخش‌های کوچکی از محدوده گسترش دارد. دارای ساخت کنگلومرای بوده و از لحاظ سنگ‌شناسی منشأ ولکانیکی با ترکیب آندزیتی داشته و بدین وسیله با واحد کنگلومرای پالئوسن متمایز می‌گردد.

۳- **شیل‌های رادیولاریتی:** این واحد به صورت شیل‌های ارغوانی و قرمز است که قطعاتی از چرت‌های رادیولاریتی در داخل آن دیده می‌شود. با توجه به فسیل‌های یافت شده در آن سن آن کرتاسه فوقانی ( سانتونین - کامپانین ) است.

۴- **کنگلومرای پالئوسن:** این کنگلومرا در قاعده رسوبات فلیش مانند سازندهای ترشیری قرار دارد. اجزای اصلی سازنده قطعات این کنگلومرا عمدتاً شامل قطعات ولکانیکی، بازالتی - آندزیتی و دیوریت می‌باشد، همچنین قطعات اولترابازیک و چرت‌های رادیولاریتی نیز در آن دیده می‌شود این واحد نیز مانند سایر واحدهای سنگ‌شناختی موجود، تحت تأثیر فرآیند آلتراسیون قرار گرفته است.

۵- شیل، مارن و ماسه سنگ: این واحد به رنگ خاکستری، سبز تا زرد با تغییرات رخساره‌ای شدید و با کنتاکت گسله با سایر واحدهای تشکیل دهنده محدوده گسترش دارد. رخنمون سطحی این واحد به- دلیل فرسایش پذیری آن، در بیشتر نقاط محدوده توسط پوشش گیاهی پوشانده شده است.

۶- رگه‌های سیلیسی و برش‌های هیدروترمالی: مهمترین آلتراسیون همراه با کانی‌سازی، آلتراسیون سیلیسی است که به صورت رگه و رگچه‌های سیلیسی شامل کانی‌های اوپال، کلسدونی، کریستوبالیت و کوارتز به همراه اکسیدهای آهن در سنگ میزبان دیده می‌شود. سیلیس موجود در این واحد دارای بافت جریان‌ی، گل کلمی، کلونیدی و برشی می‌باشد و بسیار متخلخل است.

۷- سنگ‌های دگرسان شده (آلتره): این واحد به شدت تحت تأثیر آلتراسیون هیدروترمالی قرار گرفته و تشخیص قطعی سنگ اولیه در آن امکان پذیر نیست. با توجه به شواهد زمین شناسی احتمال آن می‌رود که سنگ منشأ آن از ولکانیک‌های بازیک باشد. این واحد با رنگ قهوه‌ای روشن و ترکیب اکسیدهای آهن، کانی‌های رسی (عمدتاً کائولن) و رگچه‌های سیلیسی از سایر واحدها کاملاً متمایز است، می‌باشد.

۸- رسوبات عهد حاضر: رسوبات کواترنر شامل رسوبات جوان پای کوه‌ها، واریزه‌های دامنه‌ای و آبرفت-ها است که مساحت زیادی از واحدهای قدیمی‌تر را پوشانده است.

## ۲-۲-۳ تکتونیک

به‌طور کلی، واحدهای لیتولوژی کاملاً به‌هم ریخته و تکتونیزه شده و به‌ندرت همبندی عادی در آنها مشاهده می‌شود. بررسی گسل‌های موجود در محدوده نشان می‌دهد که سه دسته گسل اصلی و چند دسته گسل فرعی در محدوده اکتشافی وجود دارد. دسته گسل اصلی دارای روند شمالی غربی - جنوب



شرقی با امتداد N160 می‌باشد و دو دسته گسل دیگر با امتداد N15 و N100 قرار دارند. روند شمال غربی - جنوب شرقی که بیشترین تعداد شکستگی‌ها را تشکیل می‌دهد، قدیمی‌تر است. دسته گسل‌های شمال غربی - جنوب شرقی واحدهای لیتولوژی مختلف را در مقابل هم قرار داده‌اند. گسل‌های اصلی موجود در محدوده اکتشافی، نقش مهمی را در کانی‌سازی ایفا نموده‌اند.

پدیده‌های آلتراسیون عمدتاً توسط دسته گسل اصلی منطقه کنترل شده است. گسل مهمی در شمال محدوده وجود دارد که از نوع گسل معکوس و با امتداد N170 می‌باشد. در اینجا از این گسل تحت عنوان گسل شمال چلی یوردی نام برده شده است. گسل فوق‌الذکر زون آلتزه چلی یوردی را کنترل می‌کند، به طوری که در کمر بالای آن، زون آلتزه فوق با واحدهای لیتولوژی مختلف از قبیل سرپانتینیت، کنگلومرا و ... و در کمر پایین آن واحد شیلی، مارنی قرار گرفته است. واحد سرپانتینیتی که در کمر بالای گسل شمال چلی یوردی واقع شده است، شدیداً خرد و برشی بوده و به همین علت ساختار مناسبی را برای کانی‌سازی به وجود آورده است.

## ۲-۳ آلتراسیون در منطقه

آلتراسیون وسیع سنگ‌های میزبان کانی‌زایی از مشخصات بارز واحدهای سنگی موجود در محدوده اکتشافی می‌باشد. آلتراسیون در مجاورت گسله‌های بزرگ و اصلی بسیار شدید است، به طوری که سنگ اولیه قابل تشخیص نیست. به طور کلی در این منطقه، سه نوع آلتراسیون سیلیسی، آرژیلی و لیستونیتی شناسایی شده و آلتراسیون همراه با کانی‌سازی، نوع سیلیسی معرفی شده است [کاوشگران، ۱۳۷۶].



## ۲-۴ زمین شناسی اقتصادی منطقه

در فلززایی افیولیت‌ها، فرآیند دگرسانی سرپانتینیت‌ها از شمار جالب‌ترین موضوع‌ها برای زمین شناسان اقتصادی است. مجموعه‌های افیولیتی و به‌ویژه سرپانتینیت‌ها در نتیجه برهم کنش با سیستم‌های گرمایی در شرایط خاص فیزیکی - شیمیایی متحمل دگرسانی سیلیسی - کربناته شده و با کانی‌زایی فلزهایی چون جیوه، طلا و آنتیموان همراه می‌شوند. زمین شناسان روسی چنین سنگ‌هایی را لیستونیت می‌خوانند، در حالی که زمین شناسان اروپایی و آمریکایی ترجیح می‌دهند که برای توصیف این سنگ‌ها از اصطلاح "دگرسانی سیلیسی - کربناته" استفاده نمایند ( برای مثال بارنز و همکاران، ۱۹۷۳، شرلوک و همکاران، ۱۹۹۵). نزدیک به ۲۵ درصد ذخایر جیوه جهان دارای خاستگاه فوق بازیک‌های افیولیتی هستند. معادن مهم طلای زود<sup>۱</sup> در ارمنستان، بریزوفسکی<sup>۲</sup> در روسیه و کانسارهای جیوه آق یاتاق<sup>۳</sup> در آذربایجان-میاکامز، نوکسویل و المعدن جدید آمریکا مثال‌هایی از این نوع نهشته‌های معدنی هستند [ امامعلی پور، ۱۳۸۲].

گستره افیولیتی خوی که بقایایی از حوضه اقیانوسی نئوتتیس است، ناحیه ای گسترده را در مرز مشترک ایران و ترکیه پوشش می‌دهد. این مجموعه، با راستای شمال غربی خود از شمال به افیولیت‌های محور تکتونیکی آناتولی و از جنوب به افیولیت‌های محور تکتونیکی تاروس یا زون جوش خورده بیتلیس-زاگرس می‌پیوندد. همراه با سنگ‌های افیولیتی ناحیه، فلیش‌های پالئوسن - ائوسن زیرین که از نوع همزمان با کوهزایی هستند، یافت می‌شود. پس از جای‌گیری این مجموعه در زمان پس از ائوسن زیرین - پیش از الیگوسن، تکاپوی ماگمایی اسید تا حد واسط به‌صورت نفوذی‌های کوچک گرانیتوئیدی و یا آتشفشانی نیمه عمیق ( با ترکیب سنگ شناسی آندزیت، داسیت، تراکیت و ریوداسیت) در ناحیه روی داده است [کاوشران، ۱۳۷۶].

<sup>1</sup> -Zod

<sup>2</sup> -Brizovfski

<sup>3</sup> -Agyatag

در گستره افیولیتی خوی، سنگ‌های سرپانتینیتی، آتشفشانی مافیک و کربناته در نتیجه برهم کنش با سیستم‌های گرمابی، در جایگاه زمین‌شناسی و ساختاری مناسب دگرسان شده و به سنگ‌های لیستونیتی تبدیل شده‌اند. این دگرسانی‌ها در برخی مناطق با کانی‌سازی‌های فلزی همراهند. رخدادهای شناخته شده این پدیده از مناطق خانگلی، بیوک دره، طوره و قورشاقلو گزارش شده است [امامعلی پور و همکاران، ۱۳۷۸].

# فصل سوم

روش‌های

مقاومت ویژه و قطبش القایی

به منظور شناسایی زون‌های کانی سازی در این منطقه از سه روش ژئوفیزیکی مقاومت ویژه، قطبش القائی (IP) و روش الکترومغناطیسی با فرکانس خیلی پایین (VLF) استفاده گردیده است که در این فصل به معرفی روش‌های مقاومت ویژه و قطبش القائی و همچنین مدل‌سازی و تفسیر نتایج آنها می‌پردازیم.

### ۳-۱ مقدمه

کاوش‌های الکتریکی با آشکارسازی اثرهای سطحی حاصل از عبور جریان الکتریکی در داخل زمین سر و کار دارد. در مقایسه با دیگر روش‌های کاوشی نظیر گرانشی، مغناطیسی و رادیو اکتیویته که در آنها یک میدان نیرو یا ویژگی بی‌هنجار مورد استفاده قرار می‌گیرد، روش‌های الکتریکی از تنوع بیشتری برخوردارند. با به‌کارگیری روش‌های الکتریکی می‌توان پتانسیل‌ها، جریان‌ها و میدان‌های الکترومغناطیسی را که به‌طور طبیعی در زمین وجود دارند یا به‌طور مصنوعی در آن ایجاد می‌شوند، اندازه‌گیری کرد. ولی در اصل، وجود تغییرات زیاد در رسانندگی الکتریکی سنگ‌ها و کانی‌های مختلف است که استفاده از این روش را ممکن می‌سازد.

روش‌های الکتریکی شامل روش‌های پتانسیل خودزا<sup>۱</sup>، جریان تلوریک<sup>۲</sup> و مگنتوتلوریک<sup>۳</sup>، میدان مغناطیسی با فرکانس شنوایی<sup>۴</sup>، مقاومت ویژه<sup>۵</sup>، خطوط هم پتانسیل<sup>۶</sup>، اتصال به جرم<sup>۷</sup>، الکترومغناطیس و قطبش القایی می‌باشد.

---

<sup>1</sup>-Self potential

<sup>2</sup>-Telluric

<sup>3</sup>-Magneto telluric

<sup>4</sup>-Audio Frequency Magnetic

<sup>5</sup>-Resistivity

<sup>6</sup>-Equipotential

<sup>7</sup>-Mise-a-la-masse

این روش‌ها اغلب بر حسب نوع چشمه انرژی مورد استفاده (یعنی طبیعی یا مصنوعی) رده‌بندی می‌شوند. بنابراین چهار روش اولیه فوق به عنوان چشمه‌های طبیعی و مابقی به عنوان چشمه‌های مصنوعی گروه بندی می‌شوند [تلفورد و همکاران، ۱۳۷۵].

### ۳-۲ کلیات

#### ۳-۲-۱ انتقال جریان الکتریکی در سنگ‌ها

سه راه برای انتقال جریان الکتریکی در سنگ‌ها وجود دارد که عبارتند از رسانایی الکترولیتی، الکترونیکی (اهمی) و رسانایی دی‌الکتریکی [تلفورد و همکاران، ۱۳۷۵].

رسانایی الکترولیتی با حرکت نسبتاً کندتر یون‌ها در الکترولیت صورت می‌گیرد و به نوع یون، غلظت یونی و تحرک پذیری و غیره بستگی دارد [Reynolds, 1997]. رسانایی الکترونیکی یا الکترونی عبارت است از عبور جریان از مواد دارای الکترون‌های آزاد مانند فلزات. رسانش دی‌الکتریکی در رساناهای ضعیف یا نارساها که تعداد بسیار معدودی الکترون آزاد دارند یا اصلاً ندارند، انجام می‌شود [تلفورد و همکاران، ۱۳۷۵].

#### ۳-۲-۲ تئوری شارش جریان در محیط همگن

در تفسیر کمی زمین را متشکل از منطقه‌هایی با مقاومت ویژه تقریباً ثابت در نظر می‌گیرند که از سایر مناطق با مقاومت ویژه متفاوت، توسط سطح مشترک‌هایی جدا شده‌اند. این سطح مشترک‌ها مربوط به مرزهای بین چینه‌های با سنگ شناسی متفاوت یا مربوط به گسله‌ها می‌باشند. بنابراین برای ارائه یک

تفسیر مناسب نیاز به درک خوب از رفتار شارش جریان در محیط‌های لایه‌ای و تأثیر ناشی از آن بر توزیع پتانسیل داریم. بدین منظور با قانون اهم مسئله را آغاز می‌نماییم.

$$R = \frac{V}{I} \quad (1-3)$$

که در آن  $I$  شدت جریان در جسم،  $V$  اختلاف پتانسیل بین دو سطح با پتانسیل ثابت و  $R$  ثابتی است که آن را مقاومت بین این دو سطح می‌نامند. مسئله بعدی تعریف مقاومت ویژه می‌باشد. اگر رسانایی حامل جریانی با خطوط شارش موازی از یک سطح مقطع  $A$  باشد، مقاومت ویژه آن چنین تعریف می‌شود:

$$\rho = \frac{RA}{L} \quad (2-3)$$

که در آن  $R$  مقاومتی است که بین دو سطح هم‌پتانسیل با فاصله  $L$  از هم اندازه‌گیری می‌شود. جریان کل بر روی سطح با استفاده از رابطه (۱-۳) و (۲-۳) برابر است با:

$$I = \frac{V}{R} = \frac{VA}{\rho L} \quad (3-3)$$

اگر  $\rho$  در یک محیط همگن و ایزوتروپ اندازه‌گیری شود، آنرا  $\rho_t$  یا مقاومت ویژه واقعی<sup>۱</sup> می‌نامند اما اگر اندازه‌گیری در یک محیط ناهمگن و غیرایزوتروپ صورت گیرد آنرا  $\rho_a$  یا مقاومت ویژه ظاهری<sup>۲</sup> می‌نامند [گریفیتس و کینگ، ۱۳۷۳].

مقدار  $\rho_a$  تابعی از چند متغیر زیر می‌باشد:

فواصل بین الکترودها

وضعیت هندسی آرایش الکترودها

<sup>1</sup>-True resistivity

<sup>2</sup>-Apparent resistivity

مقاومت ویژه واقعی و خواص دیگری از قبیل ضخامت، شیب و خواص ناهمسانگردی (آنیزوتروپی<sup>۱</sup>) لایه‌ها [کلاگری، ۱۳۷۱].

### ۳-۲-۳ مقاومت ویژه سنگ‌ها و کانی‌ها

مقاومت ویژه خیلی از سنگ‌ها به طور کلی با مقاومت ویژه سیالات خالص موجود در خلل و فرج‌ها برابر است. بنابراین مقاومت ویژه سنگ‌ها عمدتاً توسط تخلخل، نفوذپذیری، آب موجود در سنگ‌ها و میزان شوری و ترکیب املاح آب‌ها کنترل می‌شود و معمولاً کانی‌های تشکیل‌دهنده سنگ‌ها و ماتریکس آنها سهم چندانی در هدایت الکتریسیته ندارند. در اعماق زیاد در اثر افزایش فشار تمامی خلل و فرج سنگ‌ها بسته شده و هدایت الکتریکی بیشتر توسط دانه‌ها و ماتریکس سنگ صورت می‌گیرد. مقدار مقاومت ویژه برای رسوبات غیرمتحجر رسی و یا ماسه‌ای اشباع از آب شور حدود ۱ اهم متر و برای ماسه و گراول خشک حدود چندین هزار اهم‌متر می‌باشد. این تغییرات نشان می‌دهد که یک ژئوفیزیکدان مجرب، هنگام تعبیر و تفسیر باید به طیف مقاومت ویژه سنگ‌های منطقه مورد مطالعه آشنایی داشته باشد [کلاگری، ۱۳۷۱]. سنگ‌های آذرین و دگرگونی معمولاً مقاومت ویژه بالایی دارند. مقاومت ویژه این سنگ‌ها به میزان شکستگی و آب موجود در آنها بستگی دارد و دارای مقاومت ویژه بالا از ۱۰ تا ۱۰۰۰ میلیون اهم‌متر هستند. سنگ‌های رسوبی که معمولاً تخلخل بیشتری دارند و آب موجود در آنها بیشتر است، مقاومت ویژه کمتری نسبت به سنگ‌های آذرین و دگرگونی دارند. مقاومت ویژه این نوع سنگ‌ها بین ۱۰ تا ۱۰۰۰ اهم متر می‌باشد [Telford et al., 1990].

---

<sup>1</sup>-Anisotropy

مقاومت ویژه برخی سنگ‌ها، مواد معدنی و شیمیایی در جدول ۱-۳ نشان داده شده است. پس از تعیین مقاومت ویژه واقعی لایه‌های مختلف زمین، به کمک این جدول تا حدودی می‌توان جنس لایه‌ها و نیز جنس سنگ کف را مشخص کرد اگرچه همپوشانی زیادی بین مقاومت ویژه‌های مختلف وجود دارد.

جدول ۱-۳: مقاومت ویژه برخی از کانی‌ها و عناصر [Telford et al., 1990]

متوسط مقدار مقاومت ویژه (اهم متر)	مواد و کانی‌ها	متوسط مقدار مقاومت ویژه (اهم متر)	مواد و کانی‌ها
$(1-10^6)$	کرومیت	$4 \times 10^{-3}$	کالکوپیریت
$(3/5 \times 10^{-3}-10^7)$	هماتیت	$3 \times 10^{-1}$	پیریت
$(10^3-10^7)$	لیمونیت	$2 \times 10^7$	سینابر
$(4 \times 10^{10}-2 \times 10^{14})$	کوارتز	$10^{-4}$	کالکوسیت
$10^2 (1/5-10^7)$	اسفالریت	$3 \times 10^{-3}$	بورنیت
$10-100$	آب‌های سطحی (رسوبی)	$10^{-4}$	پیروتیت
$100$	آب‌های درونی <sup>۱</sup>	$10$	مولیبدنیت
$9 (0/5-150)$	آب‌های طبیعی (سنگ‌های آذرین)	$2 \times 10^{-3}$	گالن
$3 (1-100)$	آب‌های طبیعی (رسوبات)	$5 \times 10^6$	استینیت
$0/2$	آب دریا	$10^2$	اسفالریت
$0/15$	آب شور ۳٪	$2 \times 10^{12}$	کلسیت
$0/05$	آب شور ۲۰٪	$30 (10^{-3}-300)$	کوپریت

### ۳-۳ روش مقاومت ویژه

هدف از اندازه‌گیری‌های مقاومت ویژه، تعیین توزیع مقاومت ویژه زیر سطح زمین است. با کمک این اندازه‌گیری‌ها می‌توان توزیع مقاومت ویژه واقعی زمین را تخمین زد. عمده‌ترین عیب این روش حساسیت

<sup>1</sup> -Soil waters



زیاد آن به تغییرات کوچک مقاومت ویژه در مجاورت سطح زمین است، به بیان دیگر، سطح نوفه<sup>۱</sup> بالاست [تلفورد و همکاران، ۱۳۷۵] البته سطح نوفه در روش مقاومت ویژه نسبت به اکثر روش‌های ژئوفیزیکی از جمله روش‌های EM و IP کمتر است.

### ۳-۳-۱ انواع آرایش‌های الکترودی

مقدار مقاومت ویژه ظاهری به هندسه آرایش الکترودی مورد استفاده، که به صورت عامل هندسی K بیان می‌گردد، بستگی دارد و در مورد آرایش چهار الکترودی AMNB که در آن A و B الکترودهای جریان و M و N الکترودهای پتانسیل هستند، به صورت زیر می‌باشد.

$$K = \frac{2\pi}{\frac{1}{AM} - \frac{1}{AN} - \frac{1}{BM} + \frac{1}{BN}} \quad (۴-۳)$$

جدول ۳-۲ آرایش‌ها و زیر مجموعه‌های آنها را نشان می‌دهد که برخی از آنها مانند آرایش ونر و شلومبرژه، به نام پدیدآورنده آنها، فرانک ونر و کنراد شلومبرژه، نام‌گذاری شده‌اند

آرایش‌های مختلف الکترودی مزایا، معایب و حساسیت‌های مخصوص به خود را دارند. عواملی که در انتخاب یک آرایه خاص تأثیر می‌گذارند، مقدار فضای موجود برای پیاده کردن یک آرایش و همچنین نیروی مورد نیاز برای پیاده کردن یک آرایش می‌باشد. مسائل مهم دیگری که باید در نظر گرفته شوند حساسیت آرایش به ناهمگنی‌های جانبی و همچنین شیب لایه‌ها می‌باشد [Reynolds, 1997].

---

<sup>1</sup> -Noise

جدول ۳-۲ انواع آرایش‌های  
الکترودی [Reynolds, 1997]

آرایش‌های الکترودی

آرایش ونر.....استاندارد ونر  
افست<sup>۱</sup> ونر  
لی پارتیشنینگ<sup>۲</sup>  
آرایش‌های  $\alpha$ ،  $\beta$  و  $\gamma$   
آرایش شلومبرژه.....شلومبرژه استاندارد  
آرایش برانت<sup>۳</sup>  
آرایش گرادیان<sup>۴</sup>  
آرایش دوقطبی.....معمولی (محوری یا قطبی)<sup>۵</sup>  
آزیموتال<sup>۶</sup>  
شعاعی<sup>۷</sup>  
موازی<sup>۸</sup>  
عمودی<sup>۹</sup>  
پل-دایپل  
استوایی<sup>۱۰</sup>  
مربعی<sup>۱۱</sup> (حالت خاص از استوایی)

۳-۳-۱-۱ آرایش ونر<sup>۱۲</sup>: این آرایش معروف اول بار توسط ونر در سال ۱۹۱۶ پیشنهاد شد. در این

آرایش چهار الکتروود A، B، M و N در روی زمین در طول یک خط راست طوری قرار می‌گیرند که  $a =$

---

<sup>1</sup>-Offset Wenner  
<sup>2</sup>-Lee partitioning  
<sup>3</sup>-Brant array  
<sup>4</sup>-Gradient array  
<sup>5</sup>-Axial or Polar  
<sup>6</sup>-Azimuthal  
<sup>7</sup>-Radial  
<sup>8</sup>-Parallel  
<sup>9</sup>-Perpendicular  
<sup>10</sup>-Equatorial  
<sup>11</sup>-Square  
<sup>12</sup>-Wenner Array

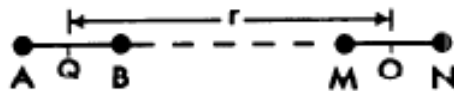
و  $M$  و  $A$  و  $B$  الکترودهای جریان هستند که در دو طرف الکترودهای پتانسیل  $M$  و  $N$  قرار می‌گیرند (به عبارت دیگر الکترودهای پتانسیل بین الکترودهای جریان قرار می‌گیرند) مقدار  $\rho_a$  برای آرایش ونر به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$\rho_v = 2\pi a \frac{\Delta v}{I} \quad (5-3)$$

۳-۳-۱-۲ آرایش شلومبرژه<sup>۱</sup>: این آرایش به طور گسترده در اکتشافات الکتریکی مورد استفاده قرار می‌گیرد. چهار الکتروود  $A, B, M$  و  $N$  در طول یک خط راست و در روی سطح زمین قرار می‌گیرند. در این آرایش  $AB \geq 5MN$  می‌باشد، یعنی حداقل  $AB$  باید ۵ برابر  $MN$  باشد. در این آرایش  $\rho$  به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$\rho = \frac{(AB/2)^2 - (MN/2)^2}{MN} \frac{\Delta v}{I} \quad (6-3)$$

۳-۳-۱-۳ آرایش دو قطبی - دوقطبی<sup>۲</sup>: استفاده از آرایش‌های مختلف دوقطبی - دوقطبی در اکتشافات الکتریکی از سال ۱۹۵۰ به طور گسترده ای رواج یافت به ویژه موقعی که تئوری‌های لازم در مورد این آرایش‌ها توسط آلپین<sup>۳</sup> توسعه یافتند. در آرایش‌های دوقطبی - دوقطبی فاصله بین الکترودهای جریان  $A$  و  $B$  و نیز فاصله بین الکترودهای پتانسیل  $M$  و  $N$  تقریباً ثابت بوده و به طور قابل ملاحظه‌ای کمتر از فاصله بین مراکز دوقطبی‌ها یعنی  $r$  خواهد بود (شکل ۳-۱).



شکل ۳-۱ ترتیب قرارگیری الکترودها در روش دو قطبی - دو قطبی محوری [Zohdy et al., 1974]

<sup>۱</sup>-Schlumberger Array

<sup>۲</sup>-Dipole-Dipole Array

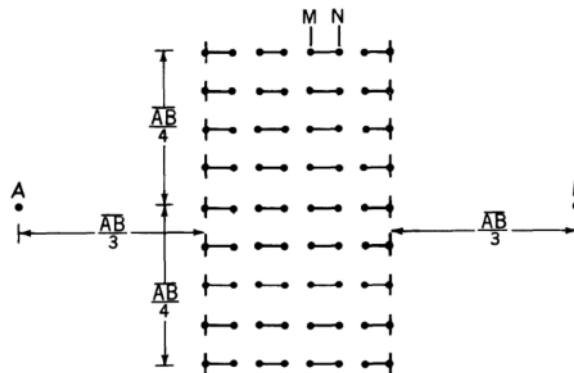
<sup>۳</sup>-Alpin

از بین آرایش‌های مختلف دوقطبی- دوقطبی، آرایش‌های محوری و استوایی بیشتر از بقیه مورد استفاده قرار می‌گیرند. با افزایش فاصله AB جریان الکتریکی لازم برای تولید اختلاف پتانسیل  $\Delta V$  در یک فاصله معین  $r$ ، کاهش می‌یابد [Zohdy et al., 1974]. مقاومت ویژه حاصل از آرایش دوقطبی- دوقطبی محوری (قطبی) از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$\rho = \pi \left( \frac{r^2}{AB} - r \right) \frac{\Delta V}{I} \quad (7-3)$$

### ۳-۱-۳-۴ آرایش مستطیلی<sup>۱</sup>

در این آرایش الکترودهای پتانسیل MN در یک سوم میانی الکترودهای جریان AB و همچنین در امتداد خطوط موازی با AB حرکت می‌کنند. شکل ۲-۳ موقعیت الکترودهای AB و MN را در آرایش مستطیلی نشان می‌دهد. جابجایی جانبی پروفیل‌ها نسبت به خط AB، به اندازه AB/4 در دو طرف و به موازات AB می‌باشد.



شکل ۲-۳: آرایش مستطیلی [Zohdy et al., 1974]

<sup>1</sup> -Rectangle array

## ۳-۴ روش قطبش القایی (IP)

### ۳-۴-۱ معرفی روش

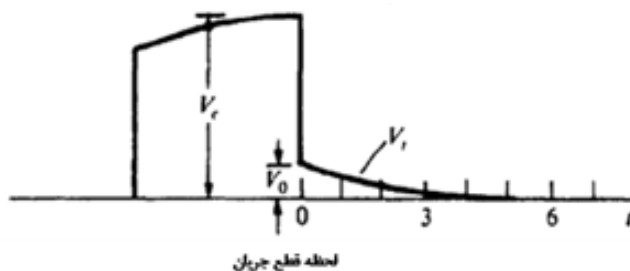
قطبش یا پلاریزاسیون القایی (IP) در حقیقت تابعی از ولتاژ رو به زوال مواد مختلف درون زمین پس از قطع جریان مستقیم (DC) تزریقی می‌باشد که بین الکترودهای پتانسیل اندازه‌گیری می‌شود. تجربیات نشان می‌دهد که بعد از قطع ناگهانی جریان، اختلاف پتانسیل بین الکترودهای پتانسیل فوراً صفر نمی‌گردد، بلکه بعد از یک کاهش اولیه، به تدریج روبه زوال می‌گذارد. در چنین مواردی زمین در واقع به مانند یک خازن عمل کرده و بارالکتریکی را هنگام وصل جریان به صورت انرژی شیمیایی ذخیره می‌کند. در اندازه‌گیری مقاومت ویژه اگر به جای جریان مستقیم از جریان متناوب استفاده کنیم، مقاومت ویژه ظاهری با افزایش فرکانس کاهش می‌یابد زیرا خاصیت خازنی زمین در برابر عبور جریان مستقیم مقاومت نموده و در مقابل جریان متناوب به مانند یک خازن، مقاومت کمتری از خود نشان می‌دهد.

### ۳-۴-۲ چشمه‌های IP

منحنی نزولی (واپاشی<sup>۱</sup>) نشان داده شده در شکل ۳-۳ برگشت به حالت اولیه را پس از اغتشاش حاصل از جریان به کارگرفته شده را نمایش می‌دهد. در زمان شارش جریان اولیه، احتمالاً مقداری انرژی در جسم ذخیره گردیده است. اگرچه از لحاظ تئوری انبارش انرژی ممکن می‌باشد، احتمالاً این انرژی به شکل‌های گوناگون به طور مثال مکانیکی، الکتریکی و شیمیایی وجود خواهد داشت. مطالعات آزمایشگاهی قطبش در انواع سنگ‌های مختلف ثابت کرده است که انرژی شیمیایی از بقیه موارد مهم‌تر است.

---

<sup>1</sup>-Decay



شکل ۳-۳: منحنی افت در قطبش القایی [Reynolds, 1997]

این انرژی شیمیایی ذخیره شده نتیجه دو عامل زیر می باشد:

- تغییرات تحرک یون‌های سیالات موجود در ساختار سنگ

- تغییرات رسانایی الکترونی و یونی در جایی که کانی‌های فلزی وجود دارند.

مورد اول به قطبش غشایی یا الکترولیتی معروف است و اثر IP زمینه یا IP نرمال را به وجود می آورد. این نوع قطبش ممکن است در سنگ‌هایی که کانی فلزی ندارند، رخ دهد. مورد دوم قطبش الکترودی یا ولتاژ اضافی<sup>۱</sup> نامیده می شود. در حالت کلی مقدار آن از قطبش الکترولیتی بزرگتر است و وجود آن وابسته به حضور کانی‌های فلزی می باشد. این دو اثر به وسیله اندازه‌گیری‌های IP قابل تمایز از هم نیستند. بنابراین، به نظر می رسد که این اثرها مستقل از ساختار اتمی و مولکولی در سنگ‌ها و کانی‌ها می باشد (به عبارت دیگر IP یک اثر حجمی است) [Telford et al., 1990].

### ۳-۴-۲-۱ قطبش غشایی

اثر قطبش غشایی بیشتر در حضور کانی‌های رسی (و گرافیت) مشخص است که در آن‌ها خلل و فرج‌ها کوچک است. بزرگی قطبش با تراکم کانی‌های رسی به طور یکنواخت افزایش نمی یابد، بلکه به یک مقدار ماکزیمم می رسد و سپس کاهش می یابد.

<sup>1</sup> - Over votage

تراکم بهینه در انواع مختلف رس‌ها متغیر است، در مونت موریلونیت<sup>۱</sup> پایین و در کائولینیت<sup>۲</sup> بالا است. شیل که حاوی درصد بالایی از کانی‌های رسی است، قطبش نسبتاً پائینی دارد. قطبش غشائی همچنین با شوری سیالات موجود در خلل و فرج‌ها نیز افزایش می‌یابد [Telford et al., 1990].

به‌عنوان نتیجه، قطبش غشائی در سنگ‌هایی با تراکم کانی‌های رسی کم ( $\leq 10\%$ ) که الکترولیت با شوری کمی دارند، ماکزیمم است. اثرهای دی‌الکتریک و اثر الکتریسیته جنبشی، وجود کانی‌های رسا با مقادیر خیلی کم و وجود سطح رسا بر روی موادی که نارسانا هستند از چشمه‌های دیگر قطبش زمینه می‌باشند.

### ۳-۴-۲ قطبش الکترودی

این نوع قطبش، در اصول شبیه قطبش غشائی می‌باشد و در حضور مواد فلزی رخ می‌دهد و قسمتی از شارش جریان الکترونی و قسمت دیگر الکترولیتی می‌باشد.

کانی‌هایی که رسانای الکترونی هستند قطبش الکترودی از خود نشان می‌دهند. این شامل همه سولفیدها ( به‌جز اسفالریت<sup>۳</sup> خالص و احتمالاً سینابر<sup>۴</sup> و استبنیت<sup>۵</sup>، بعضی اکسیدها مانند مگنتیت<sup>۶</sup>، ایلمینیت<sup>۷</sup>، پیرولوسیت<sup>۸</sup>، کاسیتريت<sup>۹</sup> و متأسفانه گرافیت<sup>۱۰</sup> می‌باشد. بزرگی این قطبش القائی البته به منبع جریان خارجی و همچنین به بعضی خصوصیات محیط بستگی دارد و به‌دلیل اینکه پدیده سطحی است، به‌طور

---

<sup>1</sup> -Montmorillonite

<sup>2</sup> -Kaolinite

<sup>3</sup> -Sphalerite

<sup>4</sup> -Cinnabar

<sup>5</sup> -Stibnite

<sup>6</sup> -Magnetite

<sup>7</sup> -Ilmenite

<sup>8</sup> -Pyrolusite

<sup>9</sup> -Cassiterite

<sup>10</sup> -Graphite

مستقیم با تمرکز کانی‌ها رابطه دارد. بنابراین در حالتی که کانی‌ها پراکنده هستند نسبت به حالت متراکم، قطبش بزرگتر است.

### ۳-۴-۳ اندازه‌گیری‌های IP

اندازه‌گیری IP به شکل‌های زیر انجام می‌گیرد:

اندازه‌گیری در حوزه زمان<sup>۱</sup>

اندازه‌گیری در حوزه فرکانس<sup>۲</sup>

### ۳-۴-۳-۱ اندازه‌گیری در حوزه زمان

هنگامی که یک جریان الکتریکی به زمین تزریق می‌گردد و چند لحظه بعد قطع می‌شود یک منحنی افت ولتاژ اضافی حاصل می‌گردد. بزرگی کل ولتاژ مشاهده شده ( $V_0$ ) برابر با مجموع ولتاژ واقعی ( $V$ ) مربوط به جریان به‌کار گرفته شده و ولتاژ قطبش ( $V_p$ ) به‌وجود آمده توسط فرآیند قطبش در هنگام قطع جریان، می‌باشد.

به هنگام قطع جریان، ولتاژ ناگهان به اندازه مقدار  $V$  سقوط کرده و به مقدار ولتاژ باقیمانده (ولتاژ اضافی،  $V_p$ ) می‌رسد که با زمان کاهش می‌یابد.

یکی از اشکال اندازه‌گیری‌های IP، اندازه‌گیری نسبت  $\frac{V_p}{V_0}$  است که میزان قطبش و در مواردی شارژی‌بیلیته

یا بارپذیری نامیده می‌شود و واحد آن میلی‌ولت بر ولت یا درصد می‌باشد. در عمل اندازه‌گیری  $V_p$

درست در لحظه قطع جریان واقعاً دشوار است، بنابراین این مقدار در یک زمان ثابت پس از قطع جریان

---

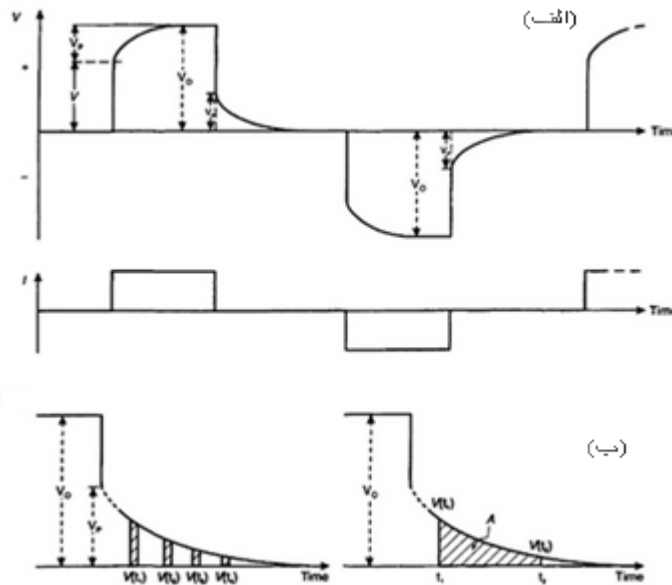
<sup>5</sup>-Time domain

6-Frequency domain



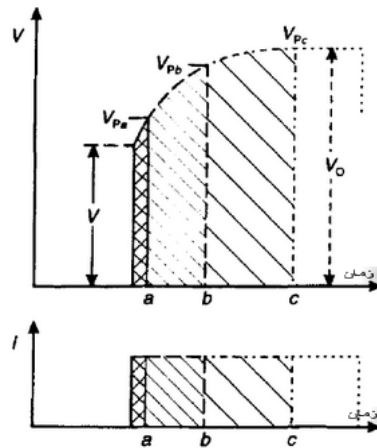
مثلاً ۰/۵ ثانیه) اندازه‌گیری می‌شود. اندازه‌گیری‌ها بر روی منحنی افت  $V_p$  در دوره‌های تناوب خیلی کوتاه (۰/۱ ثانیه) با فاصله زمانی مناسب (حدود ۰/۵ ثانیه) انجام می‌گیرد.

مقدار انتگرال این مقادیر نسبت به زمان برابر با مساحت زیر منحنی می‌باشد (شکل ۳-۴) که با تقسیم این انتگرال بر  $V_0$ ، بارپذیری ظاهری ( $M_a$ ) حاصل می‌گردد (واحد آن میلی ثانیه می‌باشد).



شکل ۳-۴ الف) کاربرد یک جریان پالسی با قطبش متناوب و اندازه‌گیری ولتاژ حاصل و تأثیر ولتاژ اضافی ( $V_p$ ) و افزایش زمان بر گوشه‌های پالس ولتاژ (ب) دو شکل اندازه‌گیری ولتاژ اضافی، اندازه‌گیری در دوره‌های زمانی مناسب  $V(t_{\square})$  و غیره و یا اندازه‌گیری مساحت زیر منحنی ولتاژ اضافی [Reynolds, 1997]

در عمل اندازه‌گیری مقدار بارپذیری واقعی غیرممکن می‌باشد زیرا هر لایه زیر سطحی بارپذیری و مقاومت ویژه مخصوص به خود را دارد در حالی که مقدار اندازه‌گیری شده ترکیبی از بارپذیری و مقاومت ویژه همه لایه‌ها می‌باشد. هر چه زمان شارژ بلندتر باشد پاسخ IP آن بزرگتر خواهد بود (شکل ۳-۵).



شکل ۳-۵: با افزایش زمان شارژ (از a به c)، فرکانس کاهش یافته، ولتاژ اضافی افزایش می‌یابد (از  $V_{Pa}$  به  $V_{Pc}$ ). در نتیجه، مقاومت ویژه ظاهری در فرکانس پایین‌تر (به طور مثال در c) مقدار بزرگتری را نسبت به فرکانس بالاتر (مثلاً a) دارد [Reynolds, 1997]

بارپذیری (شارژابیلیته):

$$M = V_p / V_0 \quad (\% \text{ یا } mv/v) \quad (۸-۳)$$

که در آن  $V_p$  ولتاژ اضافی،  $V_0$  ولتاژ مشاهده شده برای جریان مورد استفاده می‌باشد.

بارپذیری ظاهری:

$$M_a = \frac{1}{V_0} \int_{t_1}^{t_2} v_p(t) dt = \frac{A}{V_0} \quad (۹-۳)$$

که در آن  $v_p(t)$  ولتاژ اضافی در لحظه t می‌باشد.

مزیت بزرگ انتگرال‌گیری و نرمالیزه کردن آن با تقسیم بر  $v$ ، کاهش نوفه‌های ناشی از (جفت‌شدگی) کابل‌ها و پتانسیل زمینه می‌باشد. احتیاط لازم در مورد انتخاب بازه زمانی مناسب به منظور افزایش

نسبت سیگنال به نوفه باید صورت گیرد تا باعث کاهش حساسیت روش نشود [Reynolds, 1997].

### ۳-۴-۲ اندازه‌گیری در حوزه فرکانس

در مطالعات قطبش القایی در حوزه فرکانس (فرکانس متغیر)، مقاومت ویژه معمولاً در دو فرکانس کوچک‌تر از ۱۰ هرتز (مثلاً ۰/۱ و ۵ هرتز یا ۰/۳ و ۲/۵ هرتز)، با استفاده از آرایش‌های الکترودی همسان با آرایش‌های الکترودی مورد استفاده در روش‌های مقاومت ویژه جریان مستقیم و قطبش القایی حوزه زمان، اندازه‌گیری می‌شود. مقاومت ویژه در فرکانس پایین‌تر ( $\rho_{a0}$ )، از مقدار آن در فرکانس بالاتر ( $\rho_{a1}$ )، بزرگ‌تر است.

طول منحنی افت کوچکتر از آن است که قابل اندازه‌گیری باشد بنابراین دامنه ولتاژ نسبت به جریان به کار برده شده اندازه‌گیری می‌گردد و مقدار مقاومت R حاصل می‌گردد که با ضرب آن در ضریب هندسی متناسب، مقاومت ویژه ظاهری حاصل می‌گردد.

اگر جریان قطبیده شود و با زمان تأخیر قابل مقایسه با طول زمان شارژ قطع و وصل گردد مانند این است که یک جریان متناوب با فرکانس مشخص استفاده شده باشد.

کاهش زمان شارژ و زمان تأخیر، باعث افزایش فرکانس می‌گردد در نتیجه مقاومت ویژه در فرکانس پایین از مقدار آن در فرکانس بالاتر بزرگ‌تر است. این دو مقدار مقاومت ویژه برای تعیین اثر فرکانس ( $FE^1$ ) استفاده می‌گردد که می‌توان آنرا به صورت درصد اثر فرکانس ( $PFE^2$ ) نیز نوشت.

اثر فرکانس (FE):

$$FE = (\rho_{a0} - \rho_{a1}) / \rho_{a1} \quad (\text{بدون واحد}) \quad (10-3)$$

<sup>1</sup> -Frequency effect

<sup>2</sup> -Percent Frequency effect

که در آن  $\rho_{a0}$  و  $\rho_{a1}$  به ترتیب مقاومت ویژه‌های فرکانس پایین و بالا می‌باشند ( $\rho_{a0} > \rho_{a1}$ ).

درصد اثر فرکانس (PFE):

$$PFE = 100 \cdot (\rho_{a0} - \rho_{a1}) / \rho_{a1} = 100 \cdot FE \quad (11-3)$$

اثر فرکانس در حوزه فرکانس معادل بارپذیری در حوزه زمان می‌باشد، در یک محیط با قابلیت قطبش-پذیری ضعیف، FE خیلی کوچکتر از یک می‌باشد.

مارشال و مدن<sup>۱</sup> در سال ۱۹۵۹ پارامتر عامل فلزی (یا عامل رسانایی فلزی یا  $MF^2$ ) را معرفی نمودند، برخی از ژئوفیزیک‌دانان معتقدند که عامل فلزی زون‌های سولفیدی پراکنده نسبت به داده‌های اثر فرکانس مؤثرتر است.

عامل فلزی (MF):

$$MF = A(\rho_{a0} - \rho_{a1}) / \rho_{a0} \quad \rho_{a1} = A(\sigma_{a1} - \sigma_{a0}) \quad \text{مترالزیمنس} \quad (12-3)$$

که در آن  $\rho_{a0}$  و  $\rho_{a1}$  مقاومت ویژه  $\sigma_{a0}$  و  $\sigma_{a1}$  رسانایی ظاهری ( $1/\rho_a$ ) به ترتیب در فرکانس‌های پایین و

بالا می‌باشد  $\rho_{a0} > \rho_{a1}$  و  $\sigma_{a0} < \sigma_{a1}$  و  $A = 2\pi \times 10^5$

اگر چه با استفاده از داده‌های IP می‌توان موقعیت کانی‌های معدنی پراکنده را شناسایی نمود اما با استفاده از بارپذیری، اثر فرکانس و عامل فلزی نمی‌توان یک قضاوت خوب در مورد مقدار حدودی کانی-سازی فلزی در منبع تولید پاسخ IP ارائه نمود.

<sup>1</sup> - Marshal and Madden

<sup>2</sup> - Metal factor

### ۳-۴-۴ نمونه‌های پاسخ IP

جدول ۳-۳ بارپذیری را برای برخی از کانی‌ها و مواد نشان می‌دهد.

جدول ۳-۳: بارپذیری کانی‌ها، سنگ‌ها و مواد مختلف [Telford et al., 1990]

بارپذیری (میلی ثانیه)	مواد و کانی‌ها	بارپذیری (میلی ثانیه)	مواد و کانی‌ها
۹.۴	کالکوپیریت	۱۳.۴	پیریت
۰.۲	مالاکیت	۱۳.۲	کالکوسیت
۰.۰	هماتیت	۱۱.۲	گرافیت
۳.۷	گالن	۱۲.۳	مس
۲.۲	مگنتیت	۶.۳	بورنیت
۵۰-۱۰۰	شیل	۳۰۰۰-۲۰۰۰	۲۰ درصد سولفید
۱۰-۵۰	گرانیت، گرانودیوریت	۱۰۰۰-۲۰۰۰	۸-۲۰ درصد سولفید
۱۰-۲۰	سنگ آهک، دولومیت	۱۰۰۰-۵۰۰	۲-۸ درصد سولفید
۰	آب زیرزمینی	۳۰۰-۸۰۰	توف آتشفشانی
۱-۴	آبرفت	۱۰۰-۵۰۰	ماسه سنگ-سنگ سیلت
۳-۹	شن (گراول)	۱۰۰-۵۰۰	سنگهای آتشفشانی چگال
۶-۳۰	گنیس پرکامبرین	۸-۲۰	آذرین پرکامبرین
۳-۱۲	ماسه سنگ	۵-۲۰	شیست
۵-۱۲	کوارتزیت	۳-۱۰	آرژیلیت

اگرچه نوع و درجه کانی‌شدگی از سرشت منحنی‌های واپاشی قابل تشخیص نیست ولی ممکن است این جدول در ارزیابی مقدماتی نتایج صحرایی مورد استفاده قرار گیرد. در پنج ردیف اول جدول ۳-۳ طول زمانی موج جریان مربعی ۳ ثانیه و واپاشی در طول یک ثانیه اندازه‌گیری شده است. بقیه مقادیر پاسخ گونه‌هایی از سنگ‌های کانی‌سازی<sup>۱</sup> شده و بی‌ثمر<sup>۲</sup> را نشان می‌دهد. در اینجا زمان بار دادن طولانی (در حدود ۱ دقیقه) و منحنی واپاشی بر روی کل این زمان اندازه‌گیری شده است. در واقع، این مقادیر در مقایسه با اندازه‌گیری‌های معمول در صحرا زیاد به نظر می‌رسند، زیرا چرخه‌ای این چنین دراز مدت به کار نمی‌رود یا انتگرال‌گیری بر روی کل منحنی واپاشی انجام نمی‌شود. با این وجود این مقادیر تغییرات بین چشمه‌های IP متفاوت را نشان می‌دهد.

<sup>۱</sup> -Mineralized

<sup>۲</sup> -Barren

### ۳-۵ تجهیزات مقاومت ویژه و IP مورد استفاده در برداشتهای صحرایی

در منطقه مورد مطالعه، برداشتهای صحرایی مقاومت ویژه و IP با استفاده از دستگاه IPR-10 و IPR-11 انجام شد. این دستگاهها ساخت شرکت سینترکس کانادا میباشند که برای برداشتهای مقاومت ویژه، IP و پتانسیل خودزا استفاده میگردند.

در حالت کلی دستگاههای برداشت مقاومت ویژه و IP از قطعات زیر تشکیل می شوند:

فرستنده که شامل منبع قدرت و مرکز کنترل که یک مدار الکترونیکی هست.

گیرنده (مانند IPR-10 و IPR-11)

سیمها و الکترودها

### ۳-۵-۱ مشخصات دستگاه IPR-10

ابعاد دستگاه IPR-10،  $170\text{mm} \times 150\text{mm} \times 310\text{mm}$  و وزن کامل به همراه باتری  $3/6$  کیلوگرم می باشد. امپدانس داخلی 3 Megaohms، محدوده ولتاژ اولیه ( $V_p$ ) از 30 میکرو ولت تا 30 ولت است که در 12 ولتاژ اعمال می شود. دقت اندازه گیری  $V_p$ ،  $\pm 3\%$  و حساسیت  $0.1\%$ .

محدوده  $\frac{V_s}{V_p}$  حداکثر  $100 \frac{mv}{v}$  ( $V_s$  ولتاژ ثانویه است) و محدوده SP حداقل 30 میکروولت و حداکثر 1

ولت با دقت 1٪ و حساسیت 1 میلی ولت می باشد.

این دستگاه کمیت های  $V_p$  (ولتاژ اولیه)، M (بارپذیری)، پتانسیل خودزا (SP) و مقاومت ویژه ظاهری را اندازه گیری می کند.

دستگاه IPR-10 برای برداشت قطبش القایی در حوزه زمان به طور معمول از موج مربعی با زمان ارسال موج ۸ یا ۱، ۲، ۴ t= ثانیه استفاده می‌کند که به صورت t:t:t یعنی on:off:on:off ارسال شده و قطبیت

هر ۲t به طور اتوماتیک عوض می‌شود و می‌تواند بارپذیری و  $\frac{V_S}{V_P}$  را اندازه‌گیری کند.

برداشت‌ها در ۱، ۳ یا ۶ کانال انجام می‌شود که برداشت در ۶ کانال بهترین نتیجه را به ما می‌دهد و در سه کاناله، داده‌های برداشت شده در کانال وسطی مانند دستگاه IPR-7 و شکل استاندارد نیومونت<sup>۱</sup> بوده و استفاده از کانالهای قبلی و بعدی می‌تواند برای کنترل سرعت شکل منحنی استفاده می‌شود.

زمان قطع و وصل جریان یکسان، مثلاً ۲ ثانیه، بهترین انتخاب برای از بین بردن نوفه است. مقدار اندازه‌گیری شده با توجه به شکل استاندارد منحنی باید یک مقدار ثابتی داشته باشد ولی اگر در بازه‌های دیگر اندازه‌گیری شود، می‌توان با توجه به ضرایبی که در جدول آمده آنها را به مقدار استاندارد تبدیل کرد.

تصحیح برای همه کانال‌ها از کانال  $M_{232}$  یا همان کانال وسط سه کاناله با زمان قطع و وصل ۲ ثانیه به عنوان مرجع استفاده می‌شود. برای محاسبه بارپذیری واقعی ( $M_{true}$ )، مقدار بارپذیری قرائت شده ( $M_{read}$ ) را در ضرایبی که در جدول مربوطه آمده ضرب کرده و  $M_{true}$  محاسبه می‌شود.

داده‌های اندازه‌گیری شده به طور اتوماتیک حداکثر در ۳۱ سیکل میانگین‌گیری شده و نمایش داده می‌شود و همچنین می‌توان نوفه ناشی از برق منطقه‌ای را که در فرکانس ۵۰ یا ۶۰ هرتز است را حذف نمود [سمنانی نژاد، ۱۳۸۷].

### ۳-۵-۲ دستگاه (گیرنده) IPR-11

مشخصات کلی این دستگاه نظیر IPR-10 می‌باشد. این دستگاه فقط برای برداشت‌های قطبش القایی الکتریکی در حوزه زمان و اندازه‌گیری‌های مغناطیسی استفاده می‌گردد [IPR-11 Manual, 1981].

<sup>1</sup> - Newmont

### ۳-۵-۳ فرستنده TSQ-3

این فرستنده برای برداشتهای مقاومت ویژه، قطبش القایی در حوزه زمان و در حوزه فرکانس استفاده می‌شود. همان‌طور که قبلاً توضیح داده شد یکی از وسایل مورد نیاز جهت برداشت مقاومت ویژه و قطبش القایی، فرستنده‌ها هستند که خود شامل منبع قدرت و واحد کنترل می‌باشد.

منبع قدرت می‌تواند یک ژنراتور یا باتری باشد و واحد کنترل نیز یک مدار الکترونیکی نظیر TSQ-3 می‌باشد. TSQ-3 محصول شرکت سینترکس کانادا می‌باشد. از مشخصه‌های آن می‌توان به وزن کم و سازگاری آن با اغلب عملیات ژئوفیزیکی اشاره نمود [TSQ-3 Operation Manual, 1992].

### ۳-۶ عملیات برداشت مقاومت ویژه و IP در منطقه مورد مطالعه

با توجه به روند کانی‌سازی و ساختمان زمین‌شناسی منطقه و ابعاد ناحیه کانی‌سازی شده، نقطه‌ای در ۵۰ متری غرب ترانشه شماره یک (شکل ۲-۲) به‌عنوان ایستگاه مبنا (صفر) انتخاب و از روی آن خط مبنا<sup>۱</sup> با امتداد N۱۴۰ یعنی در راستای ساختمان زمین‌شناسی و کانی‌سازی منطقه، به‌طول ۸۵۰ متر مشخص گردید. در بخش غربی منطقه با توجه به احتمال کانی‌سازی بیشتر در فواصل ۲۵ متر از یکدیگر و در بخش شرقی منطقه با فواصل ۵۰ متر از یکدیگر پروفیل‌هایی در جهت عمود بر خط مبنا یعنی با امتداد N۵۰E که موازی با ترانشه‌های حفر شده در محل می‌باشد، انتخاب گردید و فاصله ایستگاه‌ها از یکدیگر، بر روی هر کدام از پروفیل‌ها، ۲۰ متر انتخاب شد.

بدین ترتیب کل منطقه مورد مطالعه از ۲۶ پروفیل ۶۰۰ متری تشکیل شده است که توسط چهار آرایش مستطیلی با مشخصات  $AB=۸۰۰$  متر و  $MN=۲۰$  متر تحت پوشش قرار گرفت و پس از انجام پیمایش‌های مقاومت ویژه و IP با توجه به بی‌هنجاری‌های به‌دست آمده از این آرایش، منطقه توسط آرایش

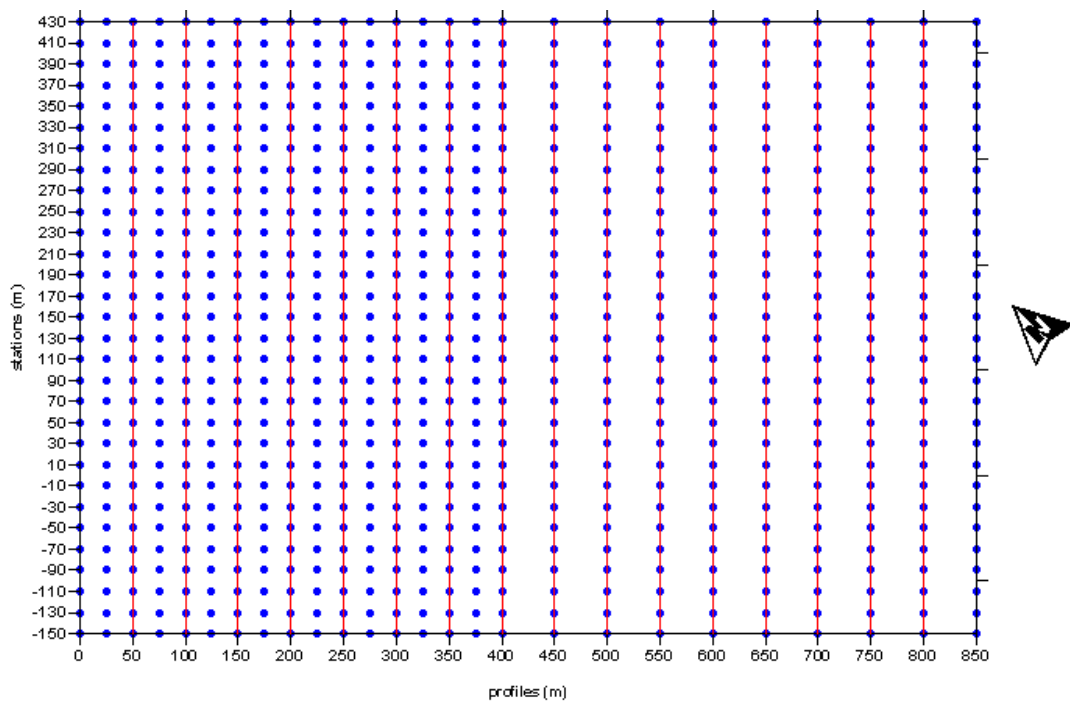
---

<sup>1</sup> - Base line



دوقطبی- دوقطبی با مشخصات  $AB=MN=20$  متر دو پروفیل E 200 و E 150 مورد پیمایش قرار گرفت.

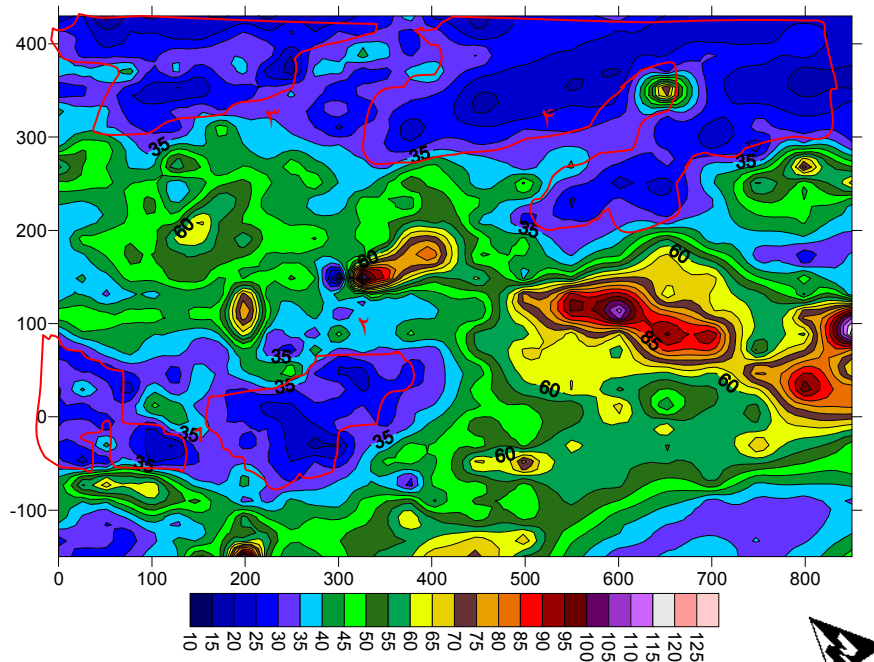
شکل ۳-۶ نقشه موقعیت پروفیل‌ها و ایستگاه‌ها نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، فاصله این پروفیل‌ها از صفر تا ۴۰۰ متر (محور افقی شکل ۳-۶)، ۲۵ متر می‌باشد و از ۴۰۰ تا ۸۵۰ متری این پروفیل‌ها با فاصله ۵۰ متر از هم برداشت گردیده‌اند. ایستگاه‌های برداشت شده نیز از ۱۵۰- تا ۴۳۰ متر (محور قائم شکل ۳-۶) و با فاصله ۲۰ متر از هم بر روی این پروفیل‌ها قرار گرفته‌اند.



شکل ۳-۶: نقشه پروفیل‌ها و ایستگاه‌های محدوده برداشت

### ۳-۷ مدل‌سازی و تفسیر نتایج مقاومت ویژه

منحنی‌های میزان داده‌های حاصل از برداشت مقاومت ویژه توسط آرایش مستطیلی، با استفاده از نرم افزار Surfer رسم گردید. شکل ۳-۷ نتایج مقاومت ویژه رسم شده توسط نرم افزار Surfer را نشان می‌دهد.



شکل ۳-۷ منحنی‌های میزان مقاومت ویژه در محدوده‌ی برداشت

محدوده‌های رسانا بر روی شکل مشخص شده‌اند. همان‌طور که مشاهده می‌گردد این مناطق (محدوده‌های ۱، ۲، ۳ و ۴) مقادیر مقاومت ویژه نسبی کمتری را نسبت به دیگر نقاط محدوده دارند.

با مراجعه به نقشه زمین شناسی محدوده اکتشافی (شکل ۲-۲)، داریم:

محدوده ۱ در واحدهای زمین شناسی کنگلومرای پالتوسن، شیل-مارن-ماسه سنگی و سرپانتینیت‌های برشی قرار دارد. همچنین شاهد حضور دو گسل با امتداد شمال غربی - جنوب شرقی و یک گسل با امتداد شمال شرقی - جنوب غربی و همچنین یک ناحیه کانی سازی مس و جیوه در این محدوده می‌باشیم.

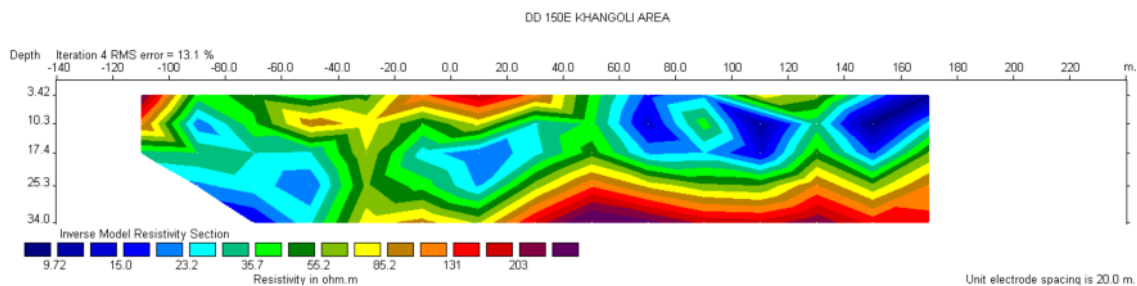
محدوده ۲ در واحدهای زمین شناسی کنگلومرای پالتوسن و رسوبات عهد حاضر قرار گرفته است. در این ناحیه شاهد حضور چندین گسل (حدود ۶ گسل) فرعی می‌باشیم.

محدوده ۳ و ۴ نیز در قسمت بالای نقشه منحنی‌های میزان قرار گرفته اند و از نظر زمین شناسی در واحد شیل-مارن-ماسه سنگی قرار دارد.

به منظور برداشت جزئی تر روی دو پروفیل ۱۵۰E و ۲۰۰E با آرایش دوقطبی دوقطبی نیز اندازه‌گیری-های مقاومت ویژه و قطبش القایی انجام گردید. که نتایج حاصله توسط نرم افزار RES2DINV تفسیر گردید. مقاطع مقاومت ویژه حاصل از مدل‌سازی این دو پروفیل به ترتیب در شکل ۳-۸ و شکل ۳-۹ آورده شده است.

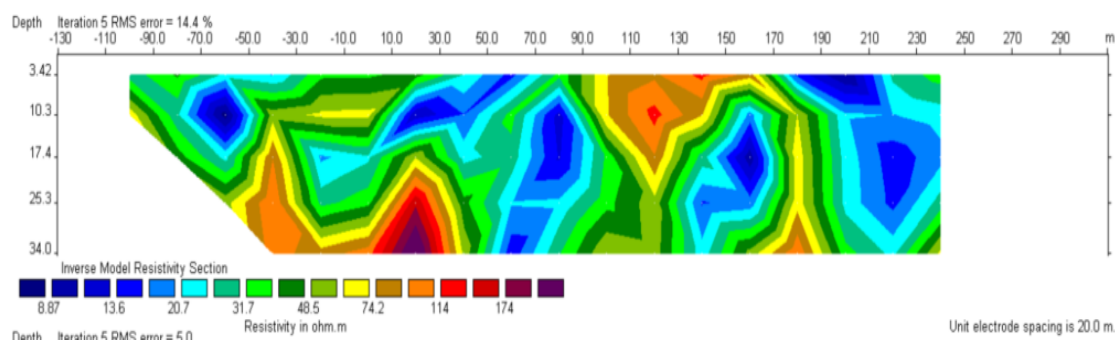
شکل ۳-۸: مقطع مقاومت ویژه پروفیل ۱۵۰E

همان‌طور که در شکل ۳-۸ مشاهده می‌گردد، بر روی پروفیل ۱۵۰E بین ایستگاه‌های ۶۰ تا ۱۷۰ یک



مقدار مقاومت ویژه نسبتاً پایین دیده می‌شود و مقاومت ویژه در این محدوده با افزایش عمق، زیاد می‌شود. این پروفیل دربرگیرنده واحدهای زمین شناسی سرپانتینیت برشی، کنگلومرای پالتوسن، شیل-مارن-ماسه سنگ، شیل‌های رادیولاریتی و رسوبات عهد حاضر می‌باشد. نقشه زمین شناسی (شکل ۲-۲)، بر روی پروفیل ۱۵۰E در فاصله ایستگاه‌های ۹۰ تا ۱۱۰ متر حضور یک محدوده کانی سازی مس و سینابر که بر روی سرپانتینیت‌های برشی و شیل واقع شده را نشان می‌دهد. همچنین گسل اصلی که راستای شمال غربی-جنوب شرقی دارد، نیز در حدود ایستگاه ۱۶۰ متر قرار دارد. لازم به ذکر است که دو گسل دیگر نیز در مجاورت محدوده کانی سازی شده قرار دارند.

همان‌طور که در شکل ۳-۹ مشاهده می‌گردد، بر روی مقطع مقاومت ویژه پروفیل ۲۰۰E مقادیر نسبتاً پایین مقاومت ویژه، در اطراف ایستگاه‌های ۷۰-، ۳۰ تا ۷۰، ۱۵۰ و ۲۰۰ دیده می‌شود.

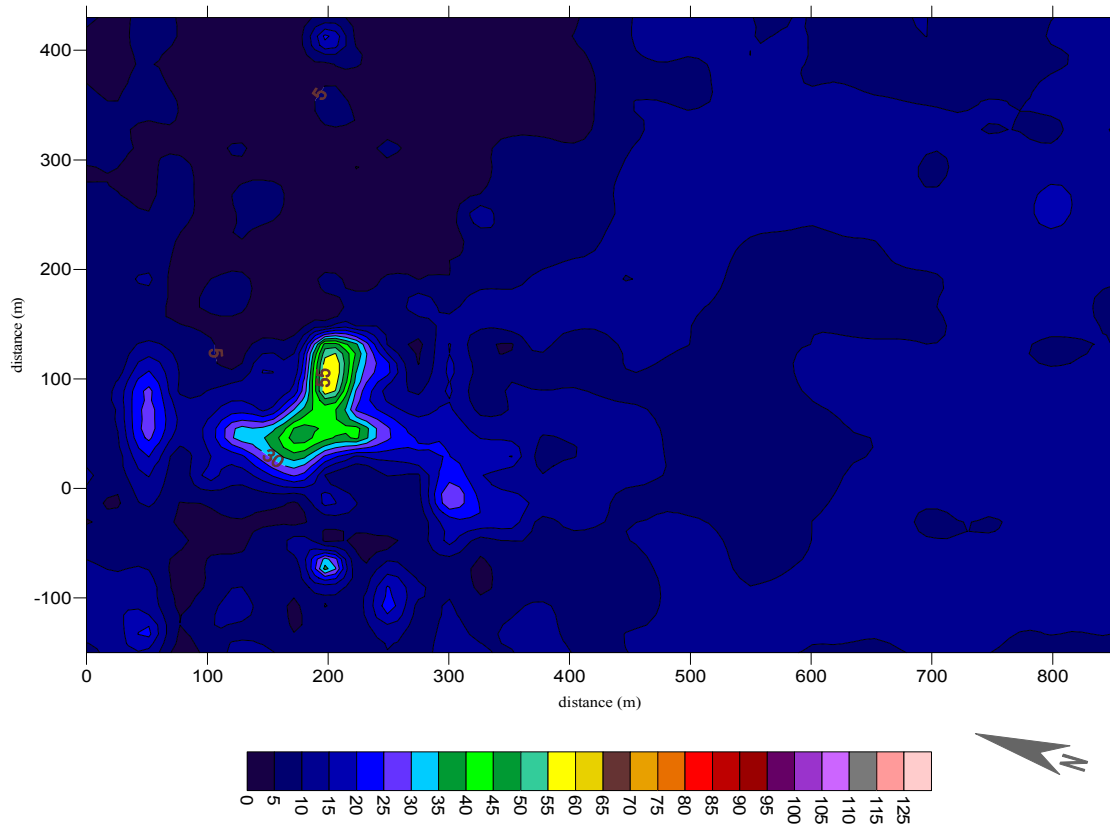


شکل ۳-۹: مقطع مقاومت ویژه پروفیل ۲۰۰E

با مراجعه به نقشه زمین‌شناسی محدوده مورد مطالعه (شکل ۲-۲)، مشاهده می‌شود که در موقعیت ۷۰- متر یک گسل با امتداد شمال-جنوب وجود دارد که در مرز سرپانتینیت‌های برشی و کنگلومرای پالئوسن قرار گرفته است و در ادامه به دو گسل دیگر با امتداد شمال شرقی- جنوب غربی و شرقی-غربی می-پیوندد که البته این مسئله بر روی مقطع مقاومت ویژه شکل ۳-۹ قابل مشاهده نیست.

همچنین، ایستگاه ۳۰+ بر روی رگه‌های سیلیسی و برش‌های هیدروترمالی که در میان کنگلومرای پالئوسن قرار گرفته‌اند، واقع شده است. محدوده کانی‌سازی مس و سینابر نیز حدوداً بین ایستگاه ۸۵+ و ۹۰+ قرار دارد که از نظر مقاومت ویژه، همان‌طور که از روی مقطع شکل ۳-۹ مشاهده می‌شود، دارای مقاومت ویژه نسبتاً پایینی در حدود ۲۰ اهم متر می‌باشد. در موقعیت ایستگاه ۱۵۰+ نیز شاهد عبور گسل اصلی موجود در محدوده با راستای شمال غربی- جنوب شرقی می‌باشیم.

برداشت‌های IP در حوزه زمان و همراه با برداشت‌های مقاومت ویژه و در محل همان پروفیل‌های مقاومت ویژه انجام شد. مقطع حاصل از برداشت توسط آرایه مستطیلی با استفاده از نرم افزار Surfer ترسیم گردید که در شکل ۳-۱۰ مشاهده می‌شود.

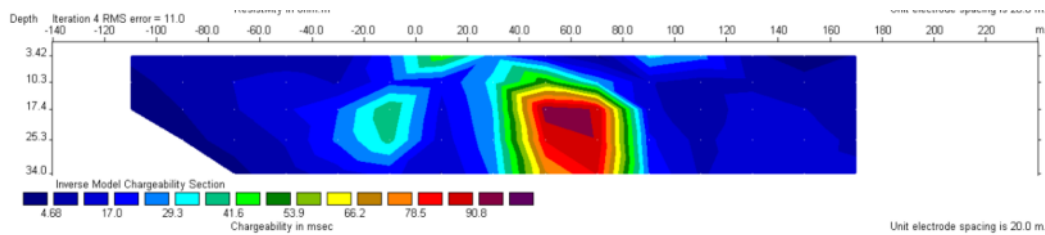


شکل ۳-۱۰: منحنی‌های میزان داده‌های IP

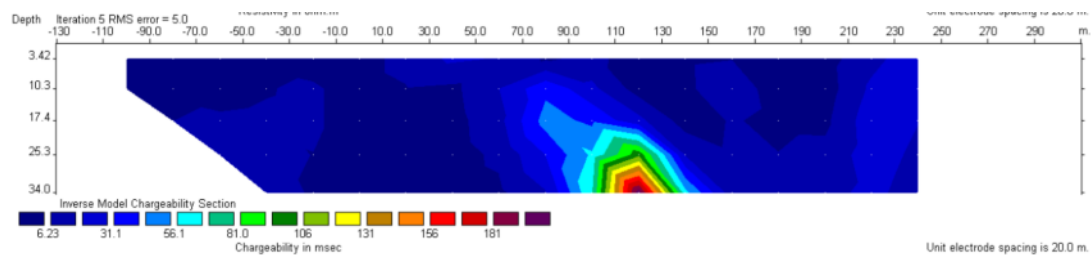
همان‌طور که از روی شکل ۳-۱۰ مشاهده می‌شود، محدوده‌ی با مقادیر IP نسبتاً بالا، (با رنگ‌های زرد و سبز بر روی این شکل نشان داده شده) کاملاً مشخص می‌باشد. مقدار زمینه برای IP در منطقه را می‌توان حدود ۱۰ میلی‌ثانیه در نظر گرفت و محدوده مشخص شده در شکل ۳-۱۰ بین پروفیل‌های E ۱۰۰ و E ۲۵۰ روی محور افقی و ایستگاه‌های ۰ تا ۱۵۰ متر روی محور عمودی، یک مقدار نسبتاً بالای IP را نشان می‌دهد. منشأ این IP بالا را می‌توان زون کانی‌سازی مس و جیوه معرفی نمود که در سنگ‌های آلتزه قرار گرفته است. همان‌طور که قبلاً توضیح داده شد واحد سنگ‌های آلتزه شامل سنگ‌هایی است که به‌شدت تحت تأثیر آلتراسیون هیدروترمالی قرار گرفته‌اند. این واحد شامل اکسیدهای آهن، کانی‌های

رسی (عمدتاً کائولن) و رگچه‌های سیلیسی می‌باشد. در این ناحیه چندین گسل نیز وجود دارد که کانی-سازی در آنها صورت گرفته است.

همان‌طور که در بخش مربوط به برداشت مقاومت ویژه ذکر شد، بر روی پروفیل‌های  $150E$  و  $200E$  از آرایش دوقطبی-دوقطبی نیز استفاده شده است، مقاطع مدل‌سازی شده IP مربوط به این دو پروفیل در شکل‌های ۱۱-۳ و ۱۲-۳ آورده شده است. همچنین به منظور ارائه یک تفسیر و توضیح کامل‌تر در شکل‌های ۱۳-۳ و ۱۴-۳ مقاطع مدل‌سازی شده مقاومت ویژه و IP این دو پروفیل در کنار هم قرار داده شده است.

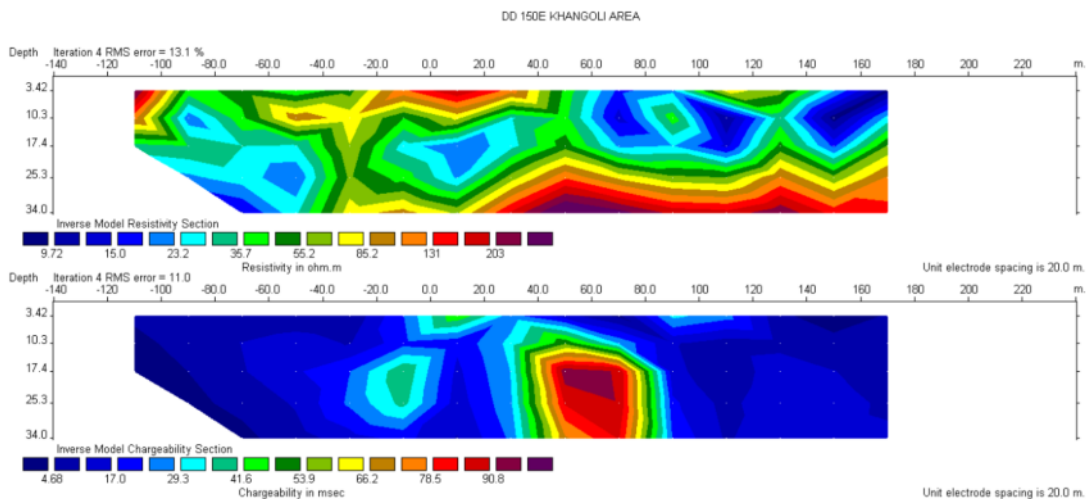


شکل ۱۱-۳: مقطع IP پروفیل  $150E$



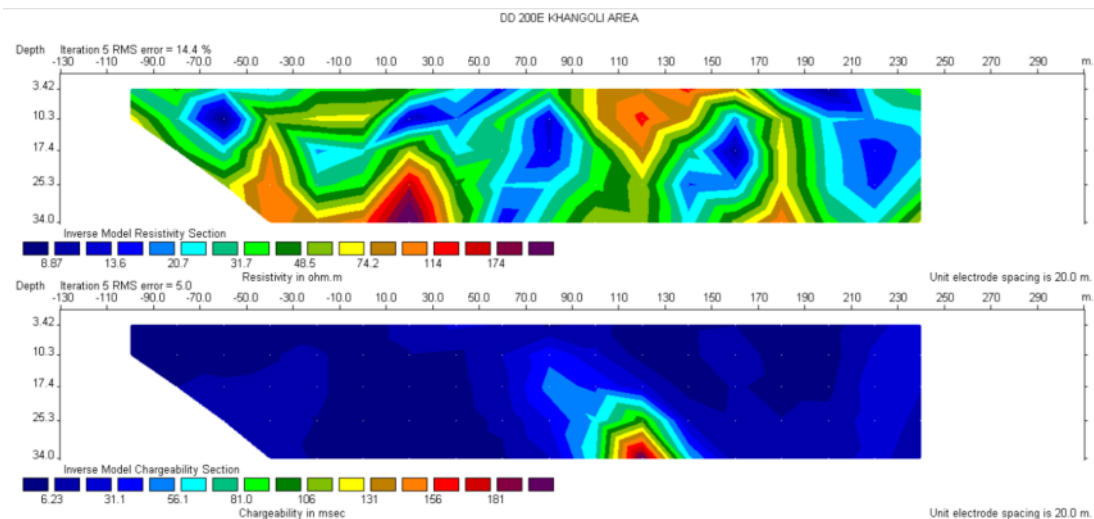
شکل ۱۲-۳: مقطع IP پروفیل  $200E$

در شکل ۱۱-۳ یک مقدار بالای IP بین ایستگاه‌های ۴۰ و ۸۰ متر بر روی پروفیل  $150E$  مشاهده می‌گردد این روند بر روی پروفیل  $200E$  هم با مقداری جابجایی به سمت راست (شمال) و عمق مشاهده می‌گردد.



شکل ۳-۱۳: مقاطع مقاومت ویژه و IP پروفیل ۱۵۰E

همان‌طور که در شکل ۳-۱۳ مشاهده می‌گردد، مقادیر بالای IP در فاصله بین ایستگاه‌های ۴۰ و ۸۰ قرار دارد. این بی‌هنجاری IP با یک مقدار متوسط تا بالای مقاومت ویژه متناظر شده است.



شکل ۳-۱۴: مقاطع مقاومت ویژه و IP پروفیل ۲۰۰E

شکل ۳-۱۴ مقطع مدل‌سازی شده IP مربوط به پروفیل ۲۰۰E را نشان می‌دهد. بی‌هنجاری IP در فاصله بین ایستگاه‌های ۹۵ تا ۱۳۰ قرار گرفته است. این بی‌هنجاری IP متناظر با یک مقدار متوسط مقاومت ویژه می‌باشد. بر طبق نقشه زمین‌شناسی محدوده اکتشافی شکل (۲-۲)، همان‌طور که قبلاً هم اشاره

شد، در این محدوده (در فاصله ایستگاه‌های ۹۰ تا ۱۱۰) کانی‌سازی مس و سینابر گزارش شده است. لازم به ذکر است که، جیوه از جمله مواد معدنی است که اگر به صورت خالص باشد، از رسانندگی بالایی برخوردار است. در محدوده اکتشافی جیوه به صورت کانی سینابر مشاهده می‌شود که مقاومت ویژه بالایی (طبق جدول ۱-۳ حدود  $2 \times 10^7$  اهم-متر) دارد. در فاصله بین ایستگاه‌های ۹۰ تا ۱۳۰ اگر چه کانی سازی مس وجود دارد اما به دلیل همراه شدن آن با کانی سینابر، برداشت مقاومت ویژه یک منطقه با مقاومت بالا را نشان می‌دهد اما، برداشت IP یک بی‌هنجاری را در این ناحیه نشان داده است.



# فصل چهارم

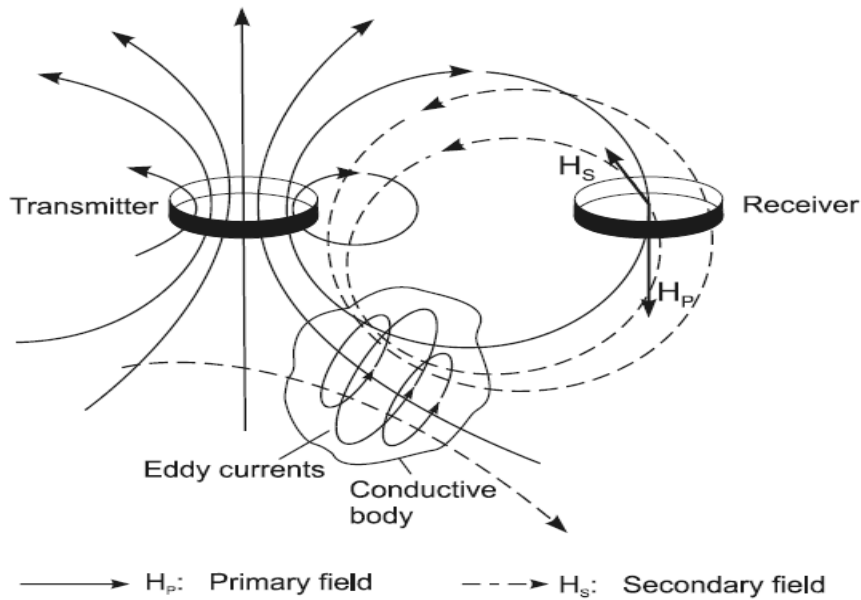
روش **VLF**

## روش‌های الکترومغناطیسی (EM)

امروزه روش‌های الکترومغناطیسی (EM) به‌طور گسترده در اکتشافات کانسارهای فلزی به‌کار می‌رود. روش‌های EM از پاسخ سنگ‌های زیر سطحی به میدان‌های EM (مركب از مؤلفه‌های الکتریکی و مغناطیسی) بهره می‌گیرند. این روش‌ها بر اساس القاء جریان‌ات الکتریکی در اجسام هادی مدفون (مثل توده‌های کانسنگی فلزی) توسط مؤلفه‌های مغناطیسی امواج EM بنا شده‌اند. فرستنده این امواج EM معمولاً یک سیم‌پیچ در سطح زمین می‌باشد که جریان متناوب عبوری از این سیم‌پیچ باعث تولید امواج الکترومغناطیسی می‌گردد. این امواج از سطح زمین یا از بالای سطح زمین (از هواپیما) به داخل زمین نفوذ کرده و در داخل سنگ‌های زیرزمینی انتشار می‌یابد [Telford et al., 1990].

میدان‌های EM اولیه ارسالی از سیم‌پیچ فرستنده چه از روی سطح زمین و چه بالای سطح زمین به سیم پیچ گیرنده می‌رسند. حال اگر سنگ‌های زیر سطحی کاملاً هموزن و عایق (از نظر الکتریکی) باشند، هیچ گونه اختلافی بین میدان‌های منتشره در بالای سطح زمین و داخل زمین وجود ندارد. اما اگر جسم هادی (رسانا) در زیر سطح زمین وجود داشته باشد، نوسانات حاصل از مؤلفه مغناطیسی میدان EM اولیه سبب القاء جریان متناوب در داخل جسم هادی خواهد شد. این جریان به نوبه خود میدان EM ثانویه ایجاد نموده که از داخل زمین به سطح زمین می‌رسد (شکل ۴-۱). از آنجا که القاء جریان الکتریکی توسط مؤلفه مغناطیسی میدان EM اولیه صورت می‌گیرد لذا بدیهی است که نیازی به تماس مستقیم فرستنده (و گیرنده) به زمین نمی‌باشد [Telford et al., 1990], [Reynolds, 1997].

در حقیقت گیرنده‌ها در سطح زمین میدان منتجه ( $H_r$ )، که جمع برداری میدان‌های اولیه ( $H_p$ ) و ثانویه ( $H_s$ ) می‌باشد، را ثبت می‌کنند. میدان  $H_r$  هم از نظر فاز و هم از نظر دامنه، با میدان اولیه ( $H_p$ )



شکل ۴-۱: اصول روش‌های القای الکترومغناطیسی [Knodel et al., 2007]

فرق دارد. تفاوت موجود بین میدان اولیه و میدان منتج نشان‌دهنده حضور یک جسم هادی زیر سطحی می‌باشد [Telford et al., 1990].

#### ۴-۱-۱ ترکیب میدان‌های EM

در اکتشاف به روش EM، فاز میدان الکترومغناطیسی (EM) در برخورد با یک زون رسانا تغییر می‌کند و رسانا به‌عنوان چشمه میدان ثانویه عمل می‌کند که در مقایسه با میدان اولیه دارای همان فرکانس ولی فاز آن متفاوت می‌باشد. در صورت ثبت میدان‌های اولیه و ثانویه در یک گیرنده با توجه به اختلاف فاز و دامنه این دو می‌توان به وجود میدان ثانویه و در نتیجه وجود یک زون هادی پی برد. در حالتی که زون هادی در زیر سطح زمین وجود داشته باشد، بردار میدان به‌جای نوسان در یک امتداد مشخص، به‌صورت

بیضی نوسان می‌کند که در این حال میدان الکترومغناطیسی به صورت یک بیضی قطبیده شده‌است. این میدان معادل دو بردار نوسان کننده عمود برهم در امتدادهای محور بزرگ و کوچک بیضوی خواهد بود. این دو بردار فرکانس مساوی با یکدیگر دارند که مقدار آن برابر با فرکانس منبع اصلی جریان متناوب می‌باشد [Reynolds, 1997].

#### ۴-۱-۲ روابط فاز و دامنه

اگر جریان متناوبی با فرکانس  $f$  و شدت  $I_p$  در عبور از سیم‌پیچ فرستنده یک میدان اولیه ( $H_p$ ) ایجاد کند، این میدان با  $I_p$  متناسب و همفاز بوده و رابطه زیر بین آن‌ها برقرار می‌باشد.

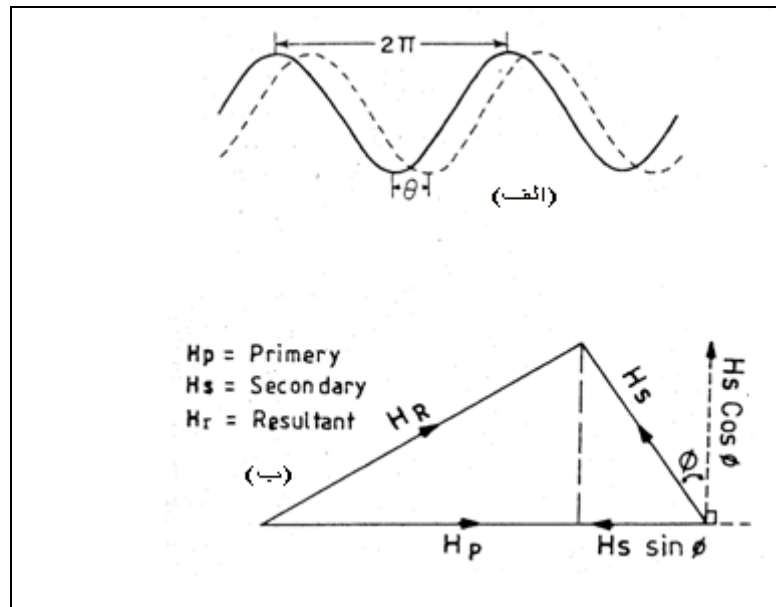
$$H_p = KI_p \sin(2\pi ft) \quad (1-4)$$

که  $K$  پارامتری است که به شکل هندسی، تعداد دور و سطح سیم‌پیچ بستگی دارد. حال اگر این میدان روی یک ساختار هادی اعمال شود یک جریان القایی در آن ایجاد می‌کند. این جریان به نوبه خود یک میدان الکترومغناطیسی ثانویه  $H_s$  در اطراف آن ایجاد می‌نماید که با  $H_p$  متناسب بوده و به اندازه  $90^\circ$  با آن اختلاف فاز دارد [Telford et al., 1990]. قابلیت هدایت الکتریکی جسم موجود در زیر سطح زمین نیز باعث اختلاف فازی برابر با  $\phi$  نسبت به اختلاف پتانسیل القایی می‌شود.

$$\theta_p - \theta_s = (90 + \phi) \quad (2-4)$$

$$\phi = \text{Arctan} \left( \frac{2\pi fL}{R} \right) \quad (3-4)$$

که R مقاومت الکتریکی جسم هادی، f فرکانس میدان  $H_p$  و L القاء جسم هادی می باشد. شکل ۲-۴ این اختلاف فاز را به خوبی نشان می دهد.



شکل ۲-۴: الف) اختلاف فاز بین دو موج متوالی ب) دیاگرام برداری نشان دهنده روابط بین میدان های EM اولیه، ثانویه و

برآیند [کلاگری، ۱۳۷۱]

از شکل ۲-۴ و معادله (۳-۴) می توان نتیجه گرفت که برای یک جسم هادی خوب مقدار  $\phi$  به  $\frac{\pi}{2}$  نزدیک خواهد شد در حالی که برای رساناهای خیلی ضعیف مقدار  $\phi$  تقریباً به صفر میل می کند. در شکل ۲-۴ تصویر  $H_s$  روی محور افقی ( $H_p$ ) برابر با  $H_s \sin \phi$  بوده که به اندازه  $\pi$  با  $H_p$  اختلاف فاز داشته که در این حالت آن را مؤلفه همفاز<sup>۱</sup> یا واقعی<sup>۲</sup> می نامند. تصویر قائم  $H_s$  برابر با  $H_s \cos \phi$  بوده که به اندازه  $\frac{\pi}{2}$  با  $H_p$  اختلاف فاز دارد، در این حالت به این مؤلفه نا همفاز<sup>۳</sup> یا مجازی<sup>۴</sup> می گویند.

<sup>1</sup>-In Phase

<sup>2</sup>-Real

<sup>3</sup>-Out of phase

<sup>4</sup>-Imaginary

#### ۴-۱-۳ قطبش بیضی وار

دستگاه‌های گیرنده در مطالعات EM، میدان‌های ثانویه حاصل از زون‌های مورد تجسس به‌اضافه میدان اولیه را اندازه‌گیری می‌کنند. این میدان که ترکیبی از میدان‌های اولیه و ثانویه می‌باشند، یک میدان مغناطیسی است که به‌صورت بیضی در صفحه قائم نشان داده می‌شود. این میدان برآیند را اصطلاحاً بیضی پلاریزه، یا پلاریزان بیضی‌وار در صفحه قائم می‌گویند. معادلات میدان‌های اولیه و ثانویه را می‌توان به‌صورت زیر نشان داد [Telford et al., 1990]:

$$\frac{Hp^2}{A^2 \cos^2 \phi} + \frac{Hs^2}{B^2 \cos^2 \phi} - \frac{2HpHs \sin \phi}{AB \cos^2 \phi} = 1 \quad (۴-۴)$$

که A و B تابعی از وضعیت فرستنده توده هادی و گیرنده می‌باشند. معادله (۴-۴)، معادله یک بیضی می‌باشد. برای به‌دست آوردن این معادله دو فرض در نظر گرفته شده است اول این که  $H_p$  و  $H_s$  بر هم عمودند. دوم این که  $H_s$  تنها از جریان واقع در یک هادی به‌وجود آمده است.

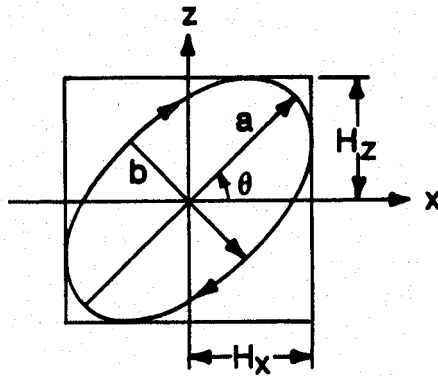
حال اگر  $\phi = 90^\circ$  باشد معادله بیضی پلاریزان به‌شکل زیر در می‌آید:

$$\left(\frac{Hp}{A} - \frac{Hs}{B}\right)^2 = 0 \quad (۵-۴)$$

رابطه فوق بیانگر خطی است که از مراکز مختصات می‌گذرد و ضریب زاویه آن  $\frac{B}{A}$  می‌باشد این حالت نشان‌دهنده وجود یک زون هادی بسیار خوب در زیر سطح زمین می‌باشد. و وقتی که  $\phi = 0$  باشد رابطه بیضی پلاریزان به‌شکل زیر در می‌آید:

$$\frac{Hp^2}{A^2} + \frac{H^2 S}{B^2} = 1 \quad (۶-۴)$$

این حالت بیانگر وجود یک زون کاملاً غیر هادی در زیر سطح زمین می‌باشد. شکل ۴-۳ بیضی پلاریزان و زاویه انحراف بر آیند از میدان اولیه را نشان می‌دهد.



شکل ۴-۳: پارامترهای بیضی پلاریزان [McNeill & Labson, 1991]

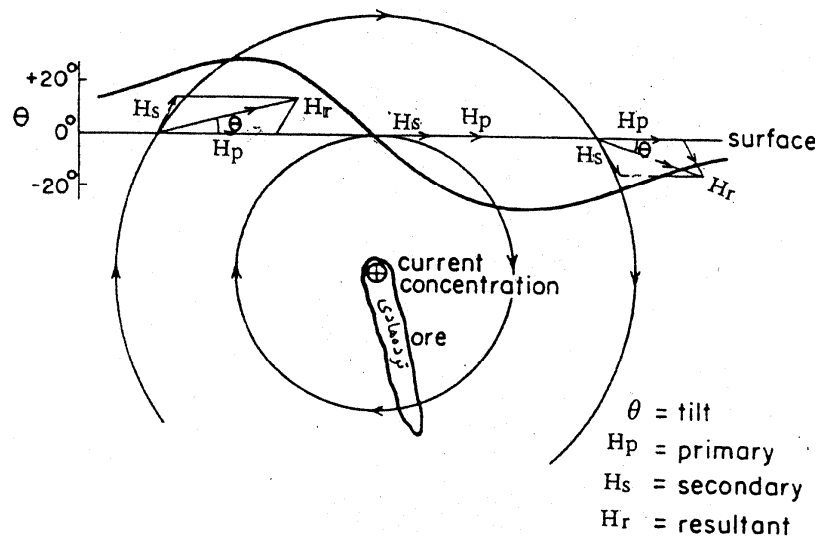
#### ۴-۱-۴ روش زاویه شیب

زاویه بردار  $H_r$  با سطح افق زاویه شیب یا کجی یا تیلت<sup>۱</sup> نامیده می‌شود (شکل ۴-۳) در روش زاویه تیلت، اندازه‌گیری تغییرات همین زاویه ( $\theta$ ) مد نظر می‌باشد.

میدان اولیه ممکن است توسط یک فرستنده ثابت و یا یک فرستنده متحرک ایجاد شود. پروفیل‌های پیمایشی در جهت عمود بر امتداد<sup>۲</sup> ساختمان‌های زمین شناسی انتخاب می‌شوند.

زمانی که از یک سیم پیچ حلقوی ثابت و عمودی به‌عنوان فرستنده در عملیات صحرائی استفاده می‌شود میدان اولیه ( $H_p$ ) افقی خواهد بود و میدان ثانویه ( $H_s$ ) در اطراف توده‌های زیر سطحی به‌صورت دوایر متحدالمرکز منتشر می‌شود. در طرف فرستنده میدان منتج ( $H_r$ ) به‌سمت بالا شیب دارد که این شیب رفته رفته که حلقه گیرنده به‌سمت زون هادی نزدیک می‌شود کم شده و در روی توده مقدار شیب صفر می‌شود. موقعی که حلقه گیرنده از روی زون هادی دور می‌شود دوباره زاویه شیب افزایش می‌یابد ولی این‌بار در جهت مخالف و به سمت پایین (شکل ۴-۴).

<sup>1</sup>-Tilt angle  
<sup>2</sup>-Strike



شکل ۴-۴: نحوه اندازه گیری متد زاویه تیلت [کلاگری، ۱۳۷۱]

زاویه تیلت تقریباً برابر با مؤلفه حقیقی  $\frac{H_z}{H_x}$  می‌باشد، و بیضویت<sup>۱</sup> (الیپتیسیتیه) تقریباً برابر با مؤلفه موهومی می‌باشد، به لحاظ دامنه، میدان قائم در قیاس با میدان افقی کوچک‌تر می‌باشد. به طوری که میدان افقی با  $H_x$  و میدان قائم با  $H_z e^{i\phi}$  بیان می‌شود. اسمیت و وارد<sup>۲</sup> در سال ۱۹۷۴ نشان دادند که زاویه تیلت را به وسیله فرمول زیر می‌توان به دست آورد [Smith & Ward, 1974]:

$$\theta = \frac{1}{2} \tan^{-1} \left( \frac{2 \left( \frac{H_z}{H_x} \right) \cos \phi}{1 - \left( \frac{H_z}{H_x} \right)^2} \right) \quad (۷-۴)$$

و الیپتیسیتیه بیضوی پلاریزان توسط فرمول زیر به دست می‌آید:

$$\varepsilon = \frac{b}{a} = \frac{H_z H_x \sin \phi}{\left| H_z e^{i\phi} \sin \theta + H_x \cos \theta \right|^2} \quad (۸-۴)$$

<sup>۱</sup> - Ellipticity

<sup>۲</sup> - Smith & Ward



#### ۴-۱-۵ عمق نفوذ امواج EM

عمق نفوذ امواج الکترومغناطیسی تابعی از فرکانس و رسانایی محیطی است که امواج EM از آن عبور می‌کند. به منظور کمک به درک بهتر مسئله از تعریف عمق پوسته استفاده می‌شود که عبارت است از عمقی که دامنه موج تخت به  $1/e$  یا ۳۷٪ دامنه اولیه‌اش کاهش می‌یابد.

رابطه بین عمق پوسته<sup>۱</sup>، فرکانس و مقاومت ویژه ساختارهای زیرسطحی بدین صورت می‌باشد  
[Reynolds, 1997].

$$\delta = 503 \sqrt{\frac{\rho(\Omega m)}{f(HZ)}} \quad (۹-۴)$$

که در آن  $\delta$  عمق پوسته بر حسب متر،  $\rho$  مقاومت ویژه زمین بر حسب اهم متر و  $f$  فرکانس (بر حسب هرتز) می‌باشد. همان‌طور که مشخص است عمق نفوذ امواج EM با کاهش قابلیت هدایت الکتریکی سنگ‌ها و فرکانس امواج EM افزایش می‌یابد. در عمق تقریباً  $\delta/5$  یک بی‌هنجاری رسانا به خوبی می‌تواند آشکارسازی شود [Reynolds, 1997].

---

<sup>۱</sup>-Skin depth

## ۴-۲ روش VLF

روش VLF یک روش عالی، ارزان و سریع برای شناسایی و به تصویر کشیدن اجسام رسانا و همچنین شکستگی‌های حاوی آب می‌باشد [Bayrak, 2002], [Gürer et al., 2009]. کاربرد این روش در کارهای مهندسی و زیست محیطی رو به افزایش می‌باشد. به هر حال با ظهور سیستم‌های مدرن VLF همراه با دیتالاگر ترکیبی<sup>۱</sup>، انتخاب اتوماتیک فرستنده‌های مناسب و افزایش روش‌های تفسیر و نمایش، این روش به تدریج برای اهدافی غیر از اکتشاف معدن مانند آشکارسازی غارها و به نقشه درآوردن محل دفن زباله-ها، مورد آزمایش قرار گرفته است [Reynolds, 1997].

## ۴-۲-۱ اصول و کلیات

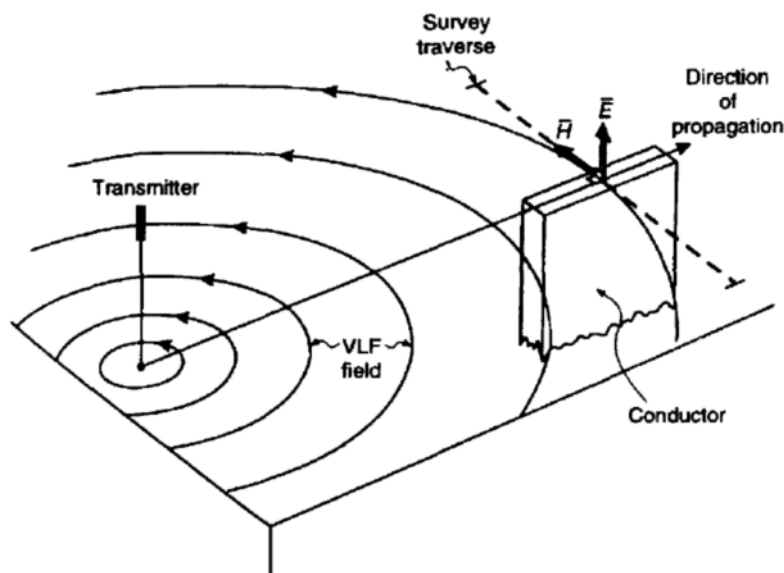
فرستنده‌های اصلی VLF که کاربرد اولیه آنها برای ارتباط‌های نظامی در نظر گرفته شده، در جهان توزیع شده‌اند. این فرستنده‌ها، امواج پر قدرت EM ایجاد می‌نمایند که در فواصل بیشتر از چند صد کیلومتر مانند امواج تخت عمل می‌کنند به طوری که انتشار آنها به صورت افقی است. اگر موقعیت یک صفحه رسانا به گونه‌ای باشد که محور بلند آن در یکی از امتدادهای شعاعی از یک فرستنده فعال قرار گرفته باشد، بردارهای مغناطیسی به طور مماسی در سراسر صفحه رسانا عمل می‌کنند (شکل ۴-۵). جریان‌های فوکو یا گردابی<sup>۲</sup> در این رسانا القاء شده و میدان الکترومغناطیسی ثانویه‌ای را به وجود می‌آورد.

---

<sup>۱</sup>-Integrated data logger

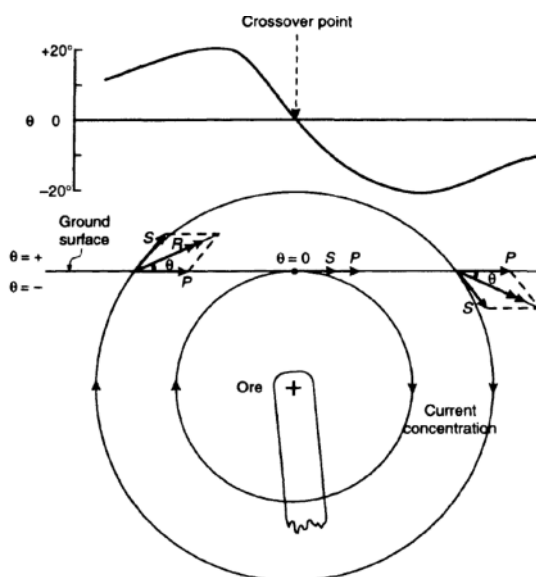
<sup>۲</sup>-Eddy currents

برای یک رسانا که به شکلی که در بالا گفته شد، جهت‌گیری نکرده باشد، تولید جریان‌های گردابی دارای کارایی کمتری بوده و قدرت میدان ثانویه به مقدار زیادی کاهش می‌یابد.



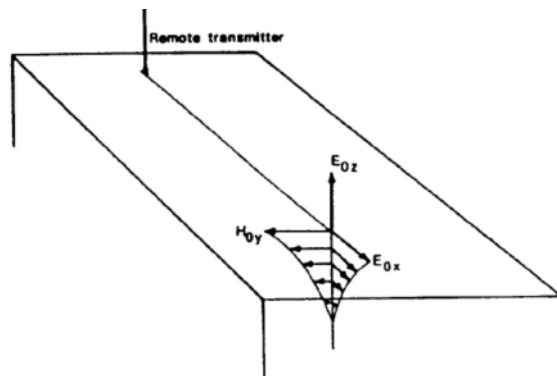
شکل ۴-۵: منبع VLF (مثلاً فرستنده نظامی) یک موج EM اولیه ایجاد می‌کند که در فاصله کاملاً دور معادل یک موج تخت می‌شود. جهت مناسب و ترجیحی خطوط برداشت بر روی یک رسانای خطی مماس بر میدان VLF است [Reynolds, 1997].

به‌عنوان مثال برای یک صفحه قائم رسانا واقع در محیطی مقاوم، وقتی پروفیل برداشت در امتداد بردار مغناطیسی باشد، پاسخ زاویه تیلت از جمع برداری میدان‌های اولیه و ثانویه حاصل می‌شود (شکل ۴-۶)



شکل ۴-۶: پروفیل زاویه تیلت روی یک صفحه رسانای قائم [Reynolds, 1997].

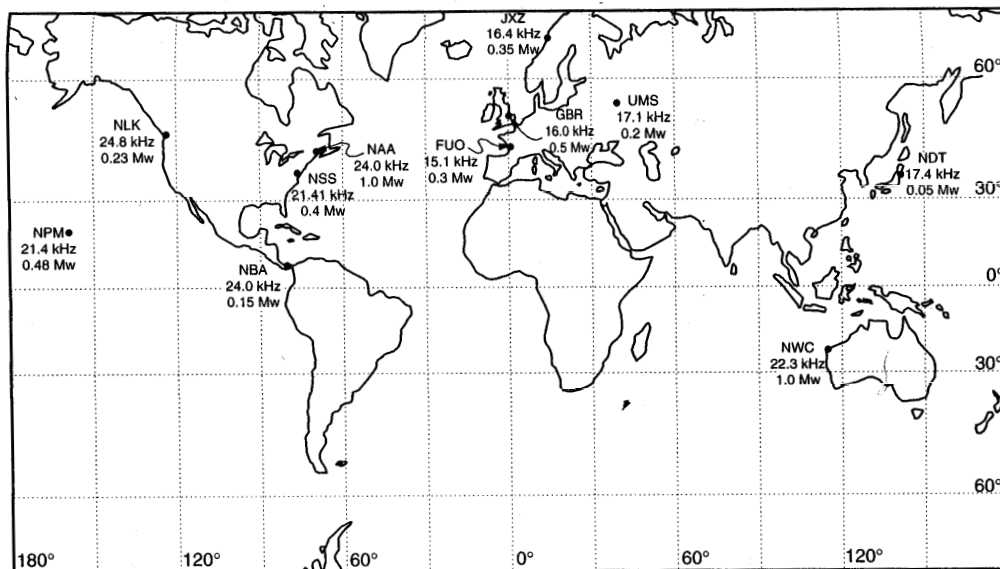
بردار مغناطیسی اولیه افقی (Hp) است. میدان الکترومغناطیسی القایی از نظر دامنه و جهت بر حسب موقعیت آن نسبت به هدف مورد نظر، تغییر می‌کند. در یک طرف هدف مورد مطالعه، زاویه بین دو بردار میدان اولیه و ثانویه به حداکثر می‌رسد، سپس در طرف دیگر به مقدار حداقل رسیده و پس از آن در خارج از اثر هدف مورد مطالعه به صفر برمی‌گردد. نقطه‌ای که در آن زاویه تیلت برای گذر از موقعیت حداکثر به حداقل به صفر می‌رسد نقطه فراگذر نامیده می‌شود و درست در بالای رسانا قرار دارد. چنانچه هدف مورد نظر شیب‌دار باشد، شکل بی‌هنجاری دچار اعوجاج می‌شود، به طوری که قسمت مثبت یا منفی منحنی بی‌هنجاری تقویت می‌گردد، این تقویت باعث تضعیف دیگر قسمت‌ها می‌شود. بیشترین دامنه مؤلفه‌های مختلف الکتریکی و مغناطیسی در سطح زمین قرار می‌گیرند و با افزایش عمق کاهش می‌یابند (شکل ۴-۷). برداشت‌های VLF به‌طور گسترده برای به نقشه درآوردن اهداف زیر سطحی مورد استفاده قرار می‌گیرد. این روش به دلیل آن که عموماً دارای عمق نفوذی محدود به نزدیک سطح می‌باشد، برای تعیین اهداف عمقی مناسب نیست.



شکل ۴-۷: شکل شماتیک تضعیف مؤلفه‌های میدان با عمق. [Reynolds, 1997]

## ۲-۲-۴ فرستنده‌های VLF

VLF یک روش غیر فعال یا منفعل<sup>۱</sup> است که از امواج EM فرستنده‌های رادیویی نظامی استفاده می‌کند. اولین فرستنده بزرگ رادیویی تحت فرکانس‌های VLF، بین سال‌های ۱۹۱۰-۱۹۱۲ به منظور دستیابی به مخابره مطمئن در فواصل دور ساخته شد. طبق گفته شرکت سوئدی ABEM تقریباً ۴۲ فرستنده ارتباطی زمینی در دنیا وجود دارد که در دامنه فرکانسی VLF (۳۰-۱۵ KHZ) کار می‌کنند [WADI VLF instruction Manual, 2000]. شکل ۴-۸ مکان فرستنده‌های مهم را در سراسر جهان نشان می‌دهد.



شکل ۴-۸: موقعیت فرستنده‌های مهم جهان [Milson, 2002]

اگرچه دامنه فرکانسی VLF در مقایسه با فرکانس فرستنده رادیویی بسیار پایین است، اما از مقدار استاندارد فرکانس پایین (۱ تا ۳ کیلوهرتز) روش‌های ژئوفیزیکی الکترومغناطیس بالاتر است [Babu et al., 2007]. پال<sup>۲</sup> در سال ۱۹۶۵ مشاهده نمود که امواج رادیویی در فرکانس VLF می‌توانند برای اکتشاف نهشته‌های معدنی استفاده گردند. از آن پس، فرستنده‌های VLF موجود در دنیا به طور وسیع به عنوان

<sup>1</sup> -Passive

<sup>2</sup> -Paal

منابع الکترومغناطیس برای برداشت‌ها و مطالعات زمین‌شناسی کم عمق مورد استفاده قرار گرفتند [Babu et al., 2007].

فرستنده‌های VLF در مکان‌هایی در سراسر جهان در حال نشر امواج رادیویی می‌باشند و تقریباً کل جهان را پوشش می‌دهند. توان این فرستنده‌ها بین ۱۰۰۰-۳۰۰ کیلووات متناوب می‌باشد. جدول ۴-۱ مشخصات کامل چند ایستگاه VLF مهم در جهان را نشان می‌دهد.

جدول ۴-۱: مشخصات فرستنده‌های مهم جهان [McNeill & Labson, 1991]

ایستگاه	فرکانس (کیلو هرتز)	مکان	مختصات	توان تقریبی (کیلو وات)
NAA	24.0	کاتلر <sup>۱</sup> ، ایالت ماین	67W17-44N39	1000
NLK	24.8	سیاتل <sup>۲</sup> ، ایالت واشینگتن	121W55-48N12	125
NSS	21.4	آناپلیس <sup>۳</sup> ، ایالت مریلند	76W27-38N57	400
NAU	28.5	پورتوریکو <sup>۴</sup>	67W11-18N23	100
NPM	23.4	لوالوالی <sup>۵</sup> ، هاوایی	158W09-21N25	600
BGR	16.0	راگی <sup>۶</sup> ، انگلستان	01W11-52N22	750
UMS	17.1	مسکو، روسیه	37E01-55N49	1000
JXZ	16.4	هلگلد <sup>۷</sup> ، نروژ	13E01-66N25	350
FUO	15.1	بوردو، فرانسه	00W48-44W65	500
NWC	22.3	استرالیا	114E09-21S47	1000
NDT	17.4	یوسامی، ژاپن	137E01-34N58	50

<sup>1</sup>-Cutler

<sup>2</sup>-Seattle

<sup>3</sup>-Annapolice

<sup>4</sup>-Puerto Rico

<sup>5</sup>-Lualualei

<sup>6</sup>-Rugby

<sup>7</sup>-Helgeland

#### ۴-۲-۱ فرستنده‌های قابل حمل<sup>۱</sup>

میدان موج تخت اولیه فرستنده VLF شامل یک میدان مغناطیسی افقی و یک میدان الکتریکی قائم بر آن می‌باشد. این نوع میدان می‌تواند به وسیله یک دو قطبی الکتریکی افقی زمینی به وجود آید [Sinha, 1998]. اما در نواحی مقاوم، فرستادن جریان کافی از میان دو قطبی به علت مقاومت بالای مرزها، مشکل می‌باشد، مسئله مقاومت تماسی (مرز) با استفاده از یک حلقه بزرگ که توسط القا به آن انرژی داده می‌شود و بر روی زمین قرار می‌گیرد، قابل حل است [Hyles & Sinha, 1986].

شکل ۴-۹ الف مقایسه بین اندازه‌گیری‌های زاویه تیلت و مؤلفه موهومی در منطقه چاک ریور<sup>۲</sup> اونتاریو<sup>۳</sup> را نشان می‌دهد که در آنجا یک فرستنده حلقه محلی برای شبیه سازی آنتن فرستنده NAA نصب شده است. فرکانس فرستنده NAA و حلقه محلی به ترتیب ۱۷/۸ و ۱۶/۵۵ کیلوهرتز می‌باشد.

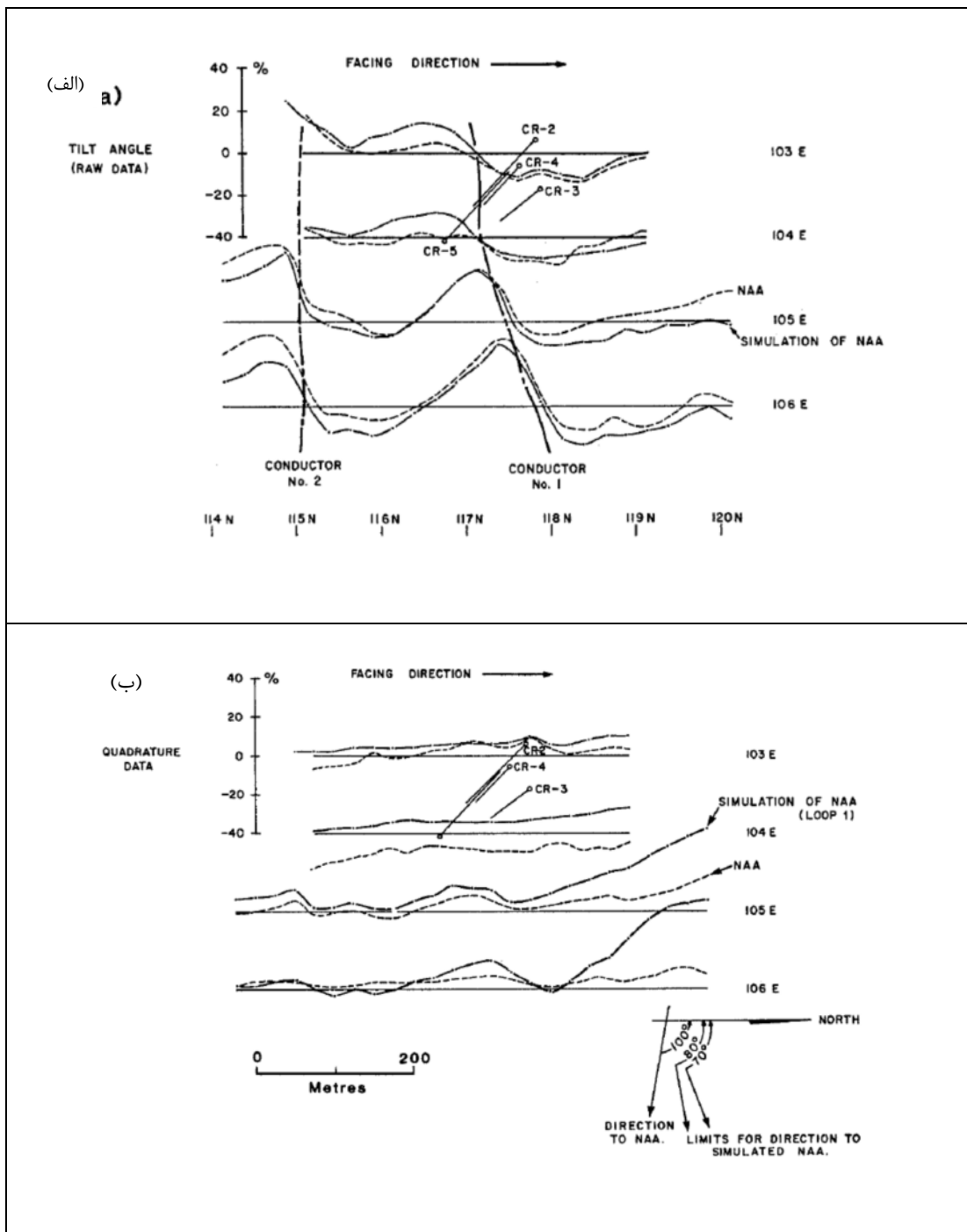
آزیموت دو میدان به علت مشکلات موجود برای قرار گرفتن حلقه محلی در بهترین مکان خود، حدود ۲۰ درجه با هم متفاوت است. نتیجه این مطالعه نشان می‌دهد که پاسخ حاصل از دو منبع به طور قابل توجهی شبیه است. محورهای رسانا که توسط پاسخ زاویه تیلت دو منبع مشخص گردیده اند نیز با یکدیگر یکسانند، و این ثابت می‌کند که فرستنده‌های محلی نیز می‌توانند به جای NAA برای شناسایی موقعیت رسانا مورد استفاده قرار گیرد. مقادیر موهومی شکل ۴-۹ ب از دو منبع پاسخ‌های نسبتاً هموار با کمترین درجه مقادیر تفاوت بین آنها را نشان می‌دهد.

---

<sup>1</sup> -Portable transmitters

<sup>2</sup> -Chalkriver

<sup>3</sup> -Ontario



شکل ۴-۹: مقایسه بین نتایج برداشت الف) زاویه تیلت و ب) مقادیر موهومی بر روی منطقه چاک ریور، اونتاریو، با استفاده از حلقه فرستنده محلی و فرستنده NAA [Sinha, 1998].



## ۴-۲-۳ گیرنده‌های VLF

اولین دستگاه تجاری VLF زمینی در سال ۱۹۶۴ توسط رونکا<sup>۱</sup> [Paterson & Ronka, 1971] ساخته شد و توسط دیگران دچار تغییر داده شد و بهبود یافت [Mcneill & Labson, 1991].

دستگاه‌های اولیه به صورت دستی<sup>۲</sup> کار می‌کردند و زاویه تیلت بین محور اصلی و بیضوی قطبش میدان مغناطیسی را اندازه‌گیری می‌نمودند [Reynolds, 1997]. این زاویه با چرخاندن دستگاه برای رسیدن به حالت صفر<sup>۳</sup> حاصل می‌گردد (با استفاده از صدای بلندگوی دستگاه) سپس، زاویه از روی شیب‌سنج موجود بر روی دستگاه قرائت می‌گردد.

در دستگاه‌های ساخته شده اخیر نیز چه به حالت کم‌ری و چه قابل حمل به صورت کوله‌پشتی به‌خاطر استفاده از ریز پردازنده‌ها<sup>۴</sup> که وظیفه کنترل دستگاه را دارند، وزن باطری‌ها بیشتر شده است. این دستگاه‌ها مؤلفه‌های موهومی و حقیقی نسبت میدان افقی به قائم را اندازه‌گیری می‌نمایند. بعضی از دستگاه‌ها نیز امکان تفسیر همزمان با جمع‌آوری داده‌ها را دارا می‌باشند.

جدول ۴-۲ خلاصه‌ای از دستگاه‌های VLF گوناگون را نشان می‌دهد. البته بیان این نکته ضروری است که تمام این دستگاه در حال حاضر در دسترس نمی‌باشند. لازم به‌ذکر است که دستگاه‌های مذکور در قسمت بالای جدول قدیمی‌تر و دستگاه‌های ذکر شده در قسمت پایین جدول جدیدتر (البته تا قبل از سال ۱۹۹۱) می‌باشند.

---

<sup>1</sup>-Ronka

<sup>2</sup>-Hand-held

<sup>3</sup>-Null

<sup>4</sup>-Microprocessors

جدول ۴-۲: گیرنده‌های VLF مرتب شده بر اساس سال تولید [McNeill & Labson, 1991]

Instrument	A/G	Quantity Measured	Phase Reference	No. of Coils	Comments
Geonics EM16	G	$T, E$	$H_y$	2	2 freq.
Geonics EM18	A	$H_z(I, Q)$	$H_y$	2	
Crone Radem	G	$T,  H_y $		2	Multi-freq.
Geonics EM16R	G	$E_x(I, Q)$	$H_y$		Collett and Becker Multi-freq.
Barringer Radiophase	A	$H_x(I, Q)$ $H_y(I, Q)$ $H_z(I, Q)$	$E_z$	3	
Barringer E-Phase	A	$E_x(Q)$	$E_z$		3 freq. simultaneously
Herz Totem 2A	A	$H_x(Q),  H_y $	$H_y$	3	2 freq. simultaneously
Scintrex VLF 3	G	$H_x(I, Q)$	$H_y$	2	3 freq.
Scintrex VLF 4	G	$H_z(I, Q)$	$H_y$		Both Scintrex units can be used as VLF base stations
Phoenix VLF 2	G	$E_x(I, Q)$ $T, E$	$H_y$	2	Continuously tunable
ABEM Wadi	G	$H_x(I, Q)$	$H_y$	2	Continuously tunable
BRGM VLF2	G	$T, E$	$H_y$	3	2 freq. simultaneously
EDA Omni Plus	G	$E_x(I, Q)$ $T, H_z(I, Q),  H $ $E_x(I, Q)$	$H_y$	3	3 freq. simultaneously Can be used as VLF base station

Notes:

$H_x, H_y$ —horizontal magnetic field components ( $H_y$  in direction of primary magnetic field).  
 $H_z$ —vertical magnetic field component.  
 $E_x, E_y$ —horizontal electric field components ( $E_x$  along radial direction to transmitter).  
 $E_z$ —vertical electric field component.  
 $T$ —tilt angle, defined in Appendix 1.

$E$ —ellipticity, defined in Appendix 1.  
 $I$ —inphase component.  
 $Q$ —quadrature phase component.  
 $|$ —amplitude.  
 $A$ —airborne.  
 $G$ —ground.  
 Not all VLF receivers are commercially available.

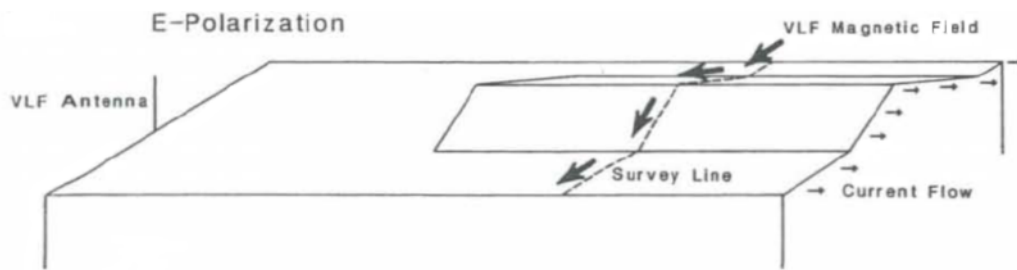
#### ۴-۲-۴ عوامل مؤثر بر داده‌های VLF

#### ۴-۲-۴-۱ نوبه‌های اتمسفری مؤثر بر فرکانس‌های VLF

نوبه‌های دریافتی در گیرنده‌های VLF به دامنه‌ای که سیگنال‌های VLF را می‌توان دریافت کرد، محدود می‌شوند. در یک گیرنده با طراحی خوب، منبع نوبه خارج از گیرنده می‌باشد و این نوبه توسط میدان مغناطیسی تولید شده از تخلیه الکتریکی اتمسفر (مثلاً رعد و برق) ناشی می‌شود. در نتیجه فعالیت‌های تندی اتمسفر که با دو عامل موقعیت آن بر روی سطح زمین و زمان تغییر می‌کنند، باعث ایجاد چندین تراز مختلف از نوبه‌ها می‌گردد [McNeill & Labson, 1991].

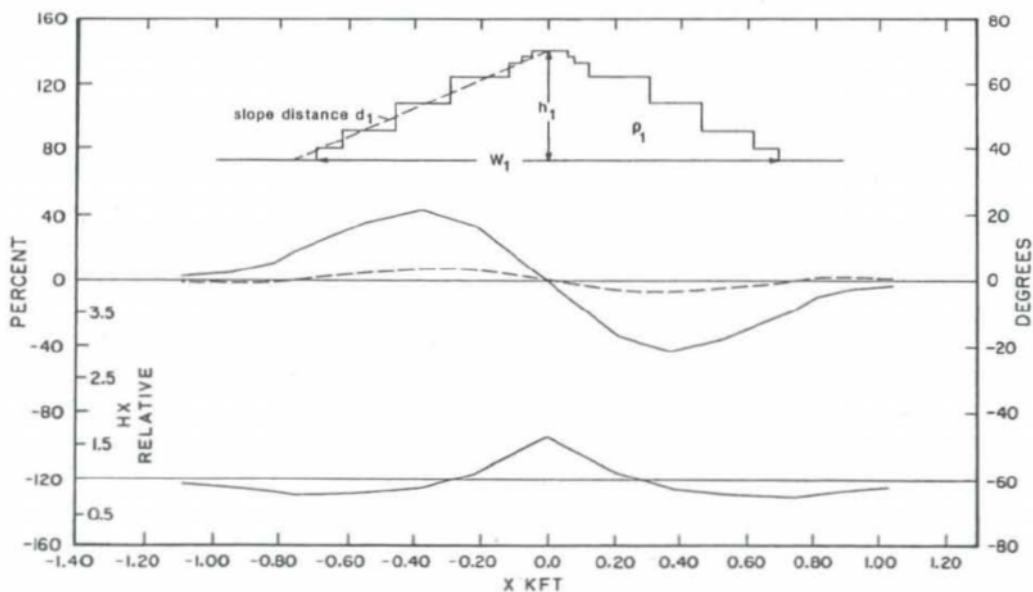
#### ۲-۴-۲-۴ تأثیر توپوگرافی بر پاسخ میدان مغناطیسی VLF

پاسخ VLF بر روی یک توپوگرافی اصولاً تابعی از رفتار توپوگرافی بر حسب عمق پوسته است و بنابراین هیچ روش ساده‌ای برای تصحیح توپوگرافی بدون دانستن مقاومت ویژه عوارض وجود ندارد. وقتی که امتداد برجستگی توپوگرافی در راستای انتشار امواج باشد (یعنی در جهت فرستنده باشد، شکل ۴-۱۰) و عمق پوسته خیلی کوچک‌تر از تغییرات توپوگرافی باشد، شیب میدان مغناطیسی کل تمایل به موازی شدن با توپوگرافی دارد، در این صورت زاویه تیلت تقریباً برابر با شیب توپوگرافی می‌باشد.



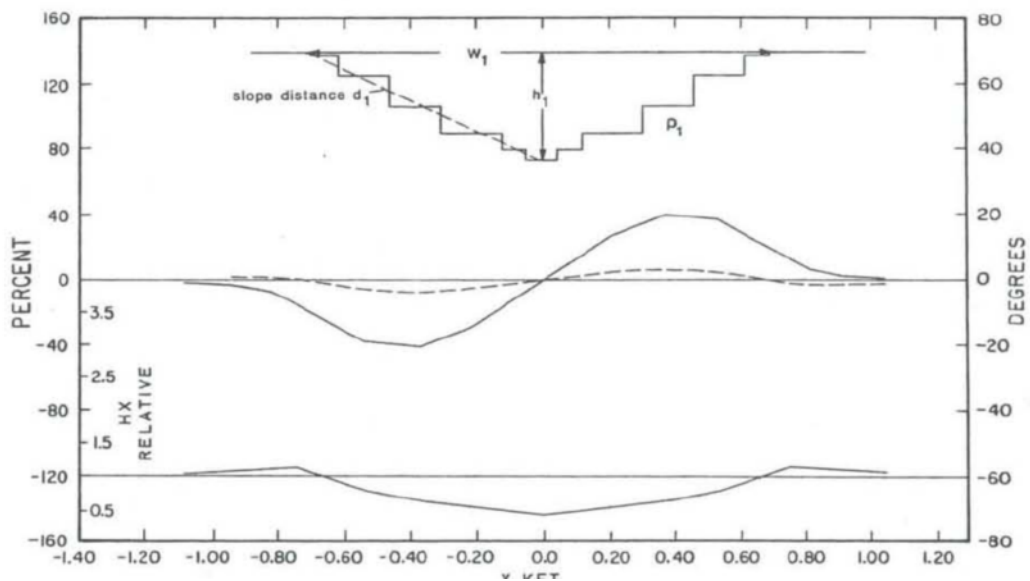
شکل ۴-۱۰: تأثیر توپوگرافی بر شارش جریان VLF و میدان مغناطیسی (امتداد برجستگی توپوگرافی در راستای انتشار امواج) [Mcneill & Labson, 1991]

این اثر در شکل‌های ۴-۱۱، ۴-۱۲، ۴-۱۳ نشان داده شده است جایی که متوسط شیب عوارض تقریباً ۲۵ درجه است که متناظر با زاویه تیلت ۲۳ درجه می‌باشد.



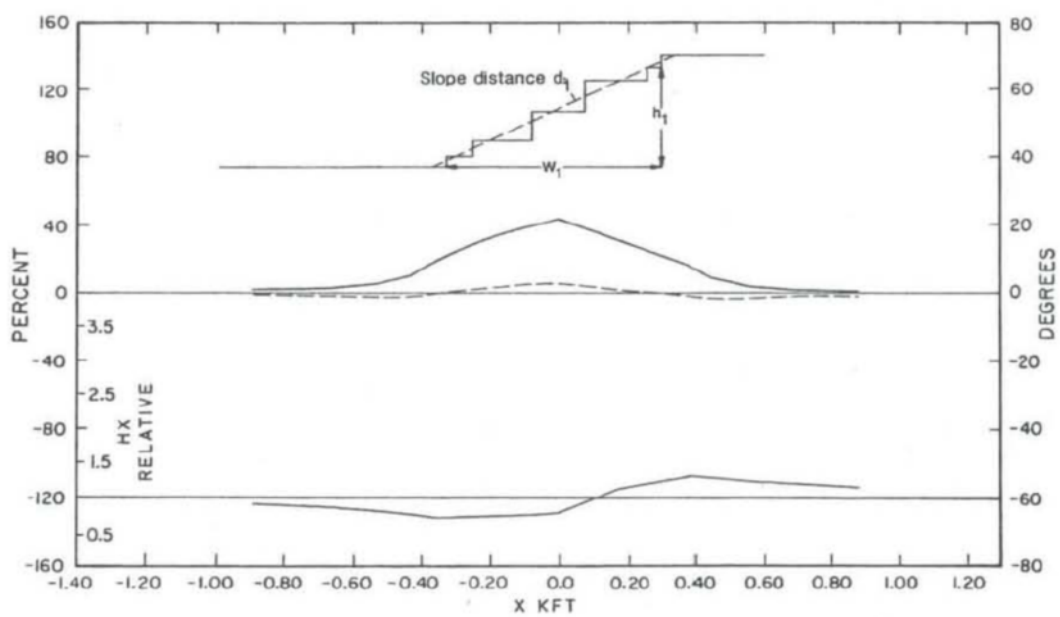
شکل ۴-۱۱: تأثیر تپه بر روی

اندازه‌گیری زاویه تیلت در روش VLF [Mneill & Labson, 1991]



شکل ۴-۱۲: تأثیر دره بر روی اندازه‌گیری زاویه تیلت در روش VLF [Mneill & Labson, 1991]

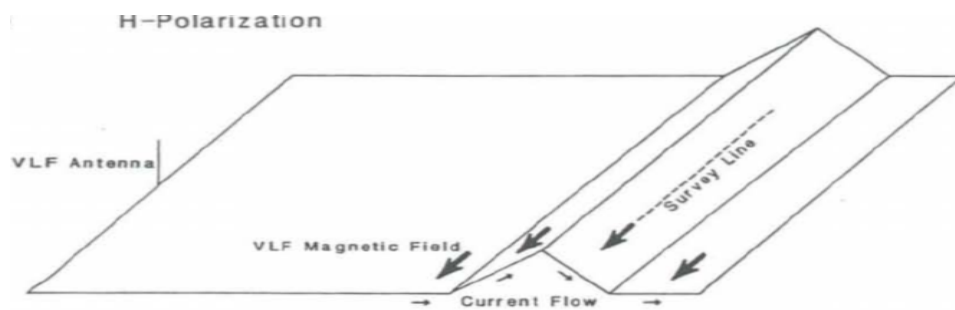
از سوی دیگر، وقتی که عمق پوسته خیلی بزرگ‌تر از تغییرات توپوگرافی باشد، بی‌هنجاری نتیجه شده از توپوگرافی کوچک است.



شکل

۴-۱۳: تأثیر شیب بر روی اندازه‌گیری زاویه تیلت در روش VLF [Mneill & Labson, 1991]

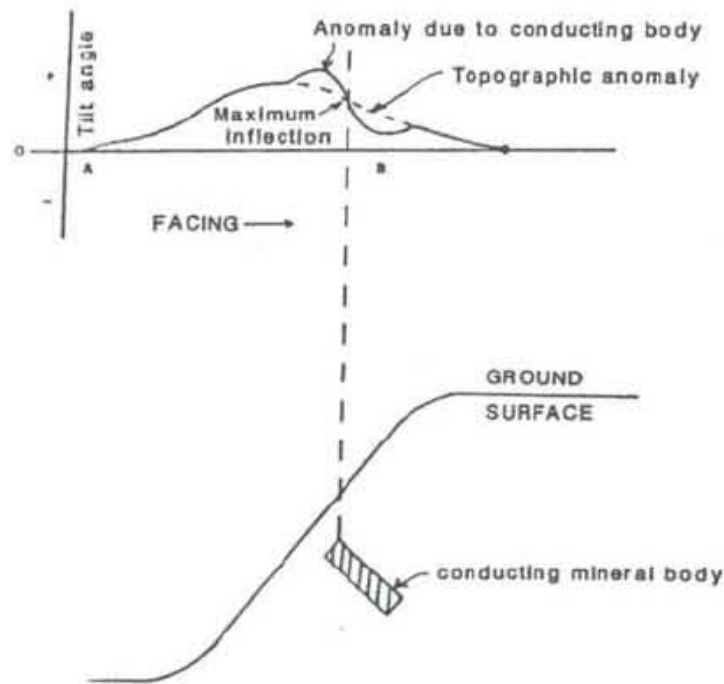
باید توجه داشت حضور روباره رسانا یا سنگ‌های هوازده که بر روی شیب‌های با مقاومت ویژه بالا گسترش دارند، باعث به‌وجود آمدن بی‌هنجاری خواهند گردید. بنابراین، در حالت کلی وقتی که انتشار در راستای امتداد توپوگرافی باشد، پاسخ توپوگرافی به مقدار زیاد یا کمی تابع زاویه شیب توپوگرافی خواهد بود. وقتی که امتداد ساختار توپوگرافی عمود بر جهت انتشار میدان باشد (شکل ۴-۱۴)، کاربرد قانون آمپر نشان می‌دهد که هیچ بی‌هنجاری میدان مغناطیسی وجود ندارد.



شکل ۴-۱۴: تأثیر توپوگرافی بر شارش جریان VLF و میدان مغناطیسی (امتداد ساختار توپوگرافی عمود بر جهت انتشار

میدان) [Mneill & Labson, 1991]

چنانچه توپوگرافی یک شیب طولانی داشته باشد، باعث ایجاد تغییرات (کم یا زیاد) روی بی‌هنجاری VLF می‌گردد به طوری که بی‌هنجاری‌های کوچک‌تر مربوط به رسانای محلی می‌باشد که اغلب در کنار بی‌هنجاری توپوگرافی واقع می‌شود و مکان بی‌هنجاری مطابق با مکان ماکزیمم انحنا خواهد بود (شکل ۴-۱۵).



شکل ۴-۱۵: پاسخ یک رسانا با شیبی مخالف با توپوگرافی، با در نظر گرفتن اثر توپوگرافی

[McNeill&Labson,1991]

البته استفاده از روش‌های فیلتر کردن مانند فیلتر فریزر باعث کاهش اثر توپوگرافی می‌گردد.

#### ۴-۲-۵ تقسیم بندی روش VLF از نظر پارامترهای اندازه‌گیری شده

روش VLF از نظر پارامترهایی که اندازه‌گیری می‌شود دو حالت دارد: حالت اول VLF-Z یا VLF-EM است که در آن مؤلفه‌های میدان مغناطیسی قطبیده بیضوی اندازه‌گیری می‌شود.

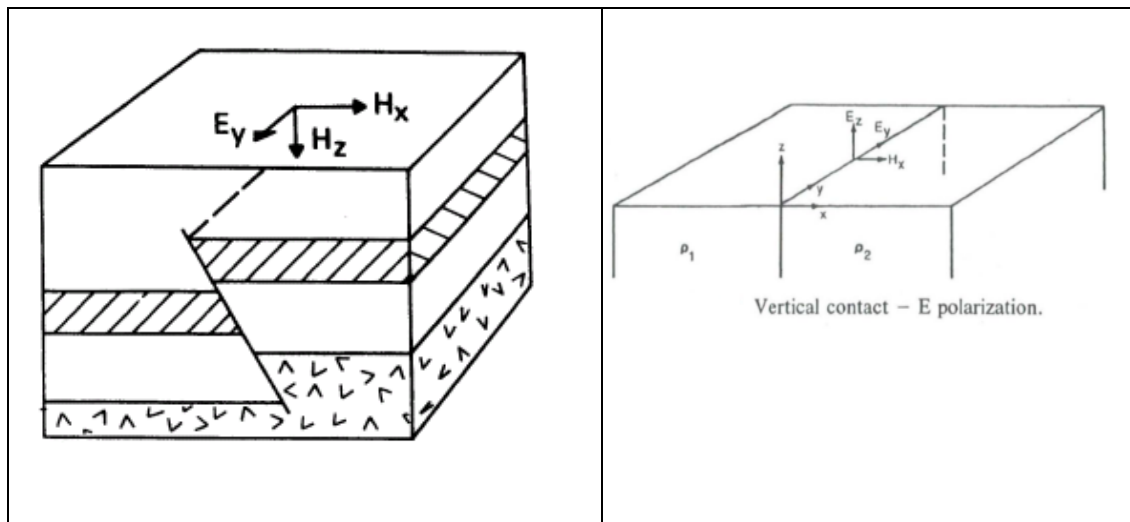
حالت دوم VLF-R است که در آن یک مؤلفه الکتریکی افقی و یک مؤلفه مغناطیسی افقی از میدان VLF اندازه‌گیری می‌شود، که در شرایط معمولی مؤلفه الکتریکی عمود بر پروفیل‌ها و موازی با جهت زمین شناسی در ساختارهای دوبعدی می‌باشد [Oskooi, 2004].

#### ۶-۲-۴ مدهای اصلی برداشت VLF

در روش VLF دو مد اصلی داریم که در زیر به تشریح آن می‌پردازیم:

#### ۱-۶-۲-۴ بی‌هنجاری میدان H یا مد پلاریزاسیون TE

این وضعیت زمانی رخ می‌دهد که مطابق شکل ۴-۱۶ موج زمینی VLF در امتداد ساختار زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه دریافت گردد که به عنوان پلاریزاسیون E بیان می‌شود زیرا بردار E در صفحه قائم عبوری از میدان قرار می‌گیرد.



شکل ۴-۱۶: بی‌هنجاری میدان H یا مد پلاریزاسیون TE [Mcneill & Labson, 1991]

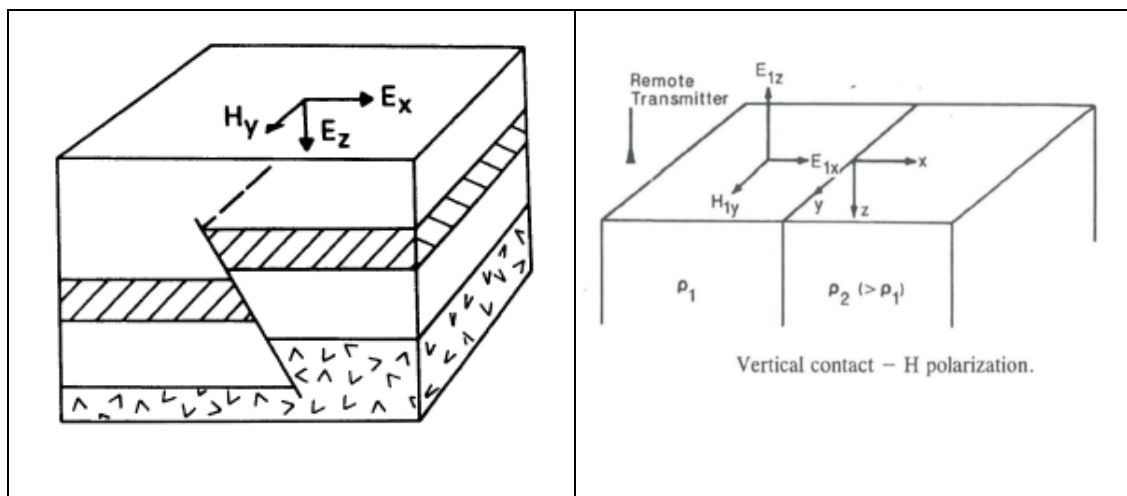
در مد پلاریزاسیون E (یا مد TE، میدان الکتریکی موازی با راستای زمین شناسی) میدان‌های سطحی  $E_y$

،  $H_y$  و  $H_z$  وجود خواهد داشت [Beamish, 2000].

اگر میدان الکتریکی نقاط مختلف در طول پروفیل توسط پیچه گیرنده که عمود بر پروفیل قرار گرفته است، اندازه‌گیری شود حداقل مقدار این میدان درست در بالای رسانا مشاهده خواهد شد. بدین ترتیب وقتی که یک موج VLF در امتداد رسانا دریافت شود یک لایه رسانا بی‌هنجاری الکتریکی خوبی مشابه بی‌هنجاری میدان مغناطیسی از خود نشان خواهد داد.

#### ۲-۶-۲-۴ بی‌هنجاری میدان E یا مد پلاریزاسیون TM

در این حالت که در شکل ۱۷-۴ نشان داده شده است به عنوان مد پلاریزاسیون H بیان می‌گردد زیرا میدان مغناطیسی ارسالی در امتداد رسانا قرار می‌گیرد در مد پلاریزاسیون H (یا مد TM، میدان مغناطیسی موازی با راستای زمین شناسی) میدان های  $H_x$  و  $E_y$  و  $E_z$  وجود خواهد داشت.



شکل ۱۷-۴: بی‌هنجاری میدان E یا مد پلاریزاسیون TM [Mcneill & Labson, 1991]

#### ۳-۶-۲-۴ نتیجه‌گیری کلی از این وضعیت TE و TM

با توجه به توضیحات بیان شده در مورد دو وضعیت TE و TM، می‌توان نتیجه گرفت که اگر امواج VLF در امتداد رسانا دریافت شوند، لایه رسانا بی‌هنجاری الکتریکی خوبی مشابه بی‌هنجاری مغناطیسی از خود



نشان خواهد داد و در حالتی که عمود بر امتداد رسانا دریافت شوند تنها بی‌هنجاری الکتریکی وجود داشته و هیچ نوع بی‌هنجاری مغناطیسی روی سطح رسانا مشاهده نمی‌شود. در مد TE داده‌های VLF-Z و VLF-R وجود خواهد داشت در حالی که در مد TM، داده‌های VLF-Z به وجود نخواهد آمد. بنابراین از برداشت‌های VLF-Z و VLF-R می‌توان برای شناسایی مد استفاده کرد [Beamish, 2000].

#### ۴-۲-۷ مزیت‌های روش VLF

روش VLF برای شناسایی مناطق با رسانایی الکتریکی بالا مانند نقاط کانی سازی یا شکستگی‌های اشباع از آب یا گسل‌های موجود در سنگ بستر و ساختارهایی از این قبیل که همانند مجراهایی عمل می‌کنند که آب‌های زیرزمینی و آلودگی‌ها در آنها می‌توانند جریان یابند، به کار برده می‌شود. اطلاعات پی‌جویی‌های VLF می‌توانند برای شناسایی موقعیت و همچنین عملکرد بهینه برای تفسیر این مجراهای هیدرولوژیک استفاده گردد. مزیت دیگر VLF جمع‌آوری سریع داده‌ها، ارزان بودن روش و کمترین تعداد نیروی انسانی (یک یا دو نفر) می‌باشد.

#### ۴-۲-۸ معایب یا محدودیت‌های روش VLF

روش VLF توسط همه رساناهای الکتریکی متأثر می‌گردد، از جمله آن‌هایی که ساخته دست بشر هستند مانند خطوط نیرو، فنس‌های سیمی، لوله‌ها و غیره. جهت یا زاویه ایستگاه فرستنده VLF نسبت به هدف مورد نظر باید موازی با امتداد (یا محور طویل) رسانا باشد تا هدف مورد نظر قابل شناسایی باشد. متأسفانه فقط تعداد محدودی از فرستنده‌ها وجود دارند که میدان اولیه با قدرت مناسب دارند، بنابراین محدودیت‌های جهت‌ها و پیمایش‌ها را خواهیم داشت. بنابراین، هندسه هدف، و همچنین جهت فرستنده VLF باید در یک طراحی برداشت مورد توجه قرار بگیرند.

ایستگاه‌های VLF گاهی اوقات به صورت اتفاقی یا برنامه‌ریزی شده به منظور نگهداری یا تعمیرات آنها خاموش می‌شوند. اگر چنین اتفاقی بیفتد ممکن است یک ایستگاه فرستنده دیگر مورد استفاده قرار بگیرد و یا اینکه جمع‌آوری داده‌ها و برداشت‌های VLF تا زمان روشن شدن ایستگاه فرستنده دچار وقفه گردد [McNeill & Labson, 1991].

احتیاط لازم جهت اطمینان از جهت گیری صحیح آنتن گیرنده VLF باید صورت گیرد (اغلب باید جهت آن برای تمام ایستگاه‌های برداشت یکسان باشد).

#### ۴-۲-۹ تفسیر کیفی و نیمه کمی داده‌های VLF

بیشترین روش مورد استفاده برای تفسیر داده‌های VLF، تفسیر کیفی می‌باشد.

با تصویر نمودن مؤلفه‌های حقیقی و موهومی در برابر فاصله، یک ژئوفیزیکدان با تجربه می‌تواند محل رساناهای الکتریکی و مناطق شکستگی و گسل‌ها را تفسیر کند. روش فیلتر کردن اغلب به تشخیص بهتر و راحت‌تر فراگذرها کمک می‌نماید.

دو فیلتر معمول مورد استفاده عبارتند از فیلتر فریزر [Fraser, 1969] و فیلتر کاروس \_ هجلت [Karous & Hjelt, 1983]. فیلتر فریزر نقاط فراگذر زاویه شیب را به سادگی به پیک تبدیل می‌کند. فیلتر کاروس هجلت نیز جریان منبع معادل را در عمق داده شده محاسبه می‌نماید که این جریان منبع معادل به چگالی جریان معروف است.

موقعیت چگالی جریان می‌تواند در تفسیر عرض و شیب شکستگی در عمق کمک نماید. برنامه‌های تجاری برای محاسبه و به تصویر کشیدن داده‌ها با استفاده از فیلتر کاروس هجلت موجود می‌باشند، که با سود بردن از آنها تغییرات چگالی جریان نسبت به عمق نمایش داده می‌شود که می‌تواند به تفسیر کمک نماید. به منظور تشخیص امتداد عوارض، دو پروفیل (و ترجیحاً بیشتر) که به اندازه کافی به یکدیگر

نزدیک هستند، مورد نیاز است تا رابطه یک بی‌هنجاری در پروفیل‌ها مشخص گردد. با کنار هم قرار دادن پروفیل‌ها، یافتن ارتباط بین عوارض یا مناطق رسانی در کل منطقه برداشت ممکن می‌گردد.

#### ۴-۲-۹-۱ تفسیر کیفی

فریزر در سال ۱۹۶۹ یک فیلتر عددی را ارائه داد که با استفاده از مقادیر مختلف زاویه تیلت بر روی یک پروفیل، نقطه عطف (که نشان تغییرات بود) را به پاسخ پیک گونه ای تبدیل می‌کرد و تفسیر آن این-گونه بود که مکان پیک در واقع مکان تغییرات می‌باشد. چهار معیار زیر برای عملگر فیلتر فریزر مورد نظر بود:

فاز داده‌های زاویه شیب را به اندازه ۹۰ درجه جابجا کند. بنابراین انحنایها و فراگذرها تبدیل به پیک می‌شوند.

این فیلتر باید طول موج‌های خیلی بلند متناوب و مستقیم را حذف نماید تا قدرت تفکیک<sup>۱</sup> بی‌هنجاری-های محلی افزایش یابد.

این فیلتر نباید نوفه‌های تصادفی<sup>۲</sup> را از یک ایستگاه تا ایستگاه دیگر، به صورت مبالغه آمیزی افزایش دهد. کاربرد این فیلتر باید برای کاربران ساده باشد تا بتوانند به سادگی و بدون مشکلات محاسبات را انجام دهند.

دو معیار اول با استفاده از یک اپراتور تفاضلی مانند  $M_2 - M_1$  قابل اجراست. که در آن  $M_1$  و  $M_2$  دو مقدار متوالی ایستگاه‌ها هستند. سومین معیار با استفاده از هموارسازی یا یک عملگر پایین گذر<sup>۳</sup> بر روی این تفاضل قابل انجام است مانند:

---

<sup>1</sup> -Resolution

<sup>2</sup> -Random

<sup>3</sup> -Low pass Filter

$$\frac{1}{4}(M_2 - M_1) + \frac{1}{2}(M_3 - M_2) + \frac{1}{4}(M_4 - M_3) \quad (10-4)$$

که  $M_1, M_2, M_3$  و  $M_4$  مقادیر چهار ایستگاه متوالی خواهد بود. با حل رابطه بالا برای خروجی فیلتر داریم:

$$\frac{1}{4}(M_2 - M_1) + \frac{1}{2}(M_3 - M_2) + \frac{1}{4}(M_4 - M_3) = \frac{1}{4}(M_3 + M_4 - M_1 - M_2) \quad (11-4)$$

آخرین معیار با حذف مقدار ثابت تحقق می‌پذیرد بنابراین پاسخ نهایی برای خروجی فیلتر به صورت زیر خواهد بود:

$$f_{2,3} = (M_3 + M_4) - (M_1 + M_2) \quad (12-4)$$

که مقدار حاصل به نقطه بین ایستگاه‌های  $M_2$  و  $M_3$  نسبت داده می‌شود [Fraser, 1969].

#### ۴-۲-۹-۲ تفسیر نیمه کمی (فیلتر کاروس-هجلت)

در سال ۱۹۸۴ کاروس و هجلت برای طراحی فیلتر مورد نظر ابتدا با استفاده از قانون بیوساوار میدان مغناطیسی حاصل از جریان دو بعدی زیرسطحی را محاسبه نموده و با استفاده از تئوری فیلتر خطی معادله انتگرالی مربوط به توزیع جریان را حل نمودند که در آن چند فرضیه در نظر گرفته شده بود [Mcneill & Labson, 1991]:

توزیع جریان در یک صفحه افقی نازک با چگالی جریان متغیر قرار گرفته است

عمق توزیع جریان برابر با فاصله ایستگاه‌های برداشت از یکدیگر است.

با افزایش فاصله بین ایستگاه‌های اندازه‌گیری می‌توان رفتار توزیع جریان را در اعماق بیشتر بررسی نمود.

این فیلتر میدان حاصل از عناصر خطی جریان را با خطای کمتر از ۸ درصد، به وسیله فرمول ساده زیر تبدیل می‌کند.

$$I_a\left(\frac{\Delta x}{2}\right) = -0.205H_{-2} + 0.323H_{-1} - 1.446H_0 + 1.446H_1 - 0.323H_2 + 0.205H_3 \quad (4)$$

۱۳

(

که در آن  $\Delta Z$ ، ضخامت مفروض برای صفحه جریان،  $\Delta X$ ، فاصله بین ایستگاه‌ها و همچنین عمق صفحه جریان می‌باشد. موقعیت چگالی جریان محاسبه شده در فاصله بین شش ایستگاه مورد استفاده (ایستگاه-های ۳، ۲، ۱، ۰، -۱، -۲، -۳) می‌باشد.

H نیز میدان مغناطیسی قائم بی‌هنجاری در هر کدام از ایستگاه‌ها می‌باشد. همچنین کاروس و هجنت تلاش داشتند تا فیلتری مشابه برای مؤلفه موهومی میدان مغناطیسی قائم در نظر بگیرند اما نتایج حاصله چندان جالب توجه نبودند. دلیل این مسئله این است که در عمل مؤلفه موهومی  $H_s/H_y$  خیلی قابل اعتماد نمی‌باشد، زیرا این مؤلفه توسط روبراه تحت تأثیر قرار می‌گیرد و همچنین اغلب از مؤلفه حقیقی کوچکتر است [Djeddi et al., 1998].

در عمل برای کاربرد بهتر فیلتر و هموارسازی منحنی‌های اندازه‌گیری شده قبل از فیلتر شدن، به جای مقادیر اندازه‌گیری شده H از متوسط مقدار H در همسایگی هر ایستگاه سود می‌جوییم در این صورت یک فیلتر متقارن به شکل زیر خواهیم داشت:

$$I_a(0) = -0.102H_{-3} + 0.059H_{-2} - 0.561H_{-1} + 0.561H_1 - 0.059H_2 + 0.102H_3 \quad (4)$$

۱۴

(

که در آن:

$$I_a(0) = \frac{1}{2} I\left(\frac{\Delta X}{2}\right) + I\left(\frac{\Delta X}{2}\right)$$

بنابراین می‌توانیم توزیع جریان را در اعماق مختلف محاسبه نماییم و شبه مقاطع چگالی جریان را رسم نماییم.

شبه مقطع چگالی جریان، اولین ایده را در مورد توزیع رسانایی در یک شبه مقطع عمودی با توجه به مدل فیزیکی رسم شده به ما خواهد داد [Karous and Hjelt, 1983].

#### ۴-۲-۱۰ معرفی نرم افزار Ramag

با توجه به اینکه شبه مقاطع چگالی جریان در این پایان نامه با استفاده از نرم افزار Ramag رسم گردیده، در اینجا به معرفی مختصر این نرم افزار می‌پردازیم. مقاطع مدل سازی کمی نیز با استفاده از نرم افزارهای Forw2DVLF و Inv2DVLF رسم شده‌اند که در بخش بعدی به معرفی این نرم افزارها پرداخته خواهد شد.

نرم افزار Ramag نرم افزاری است که برای داده‌های VLF طراحی شده است. این نرم افزار به منظور انجام فیلتر کاروس-هجلت بر روی داده‌های خام VLF طراحی شده است و قادر به محاسبه شبه مقطع چگالی جریان (با مقیاس رنگی و سایه زنی) می‌باشد [Ramag manual, 2002].

#### محدودیت‌های نرم افزار

ماکزیمم مقدار پروفیل‌ها در هر سری از داده‌ها ۱۰ عدد می‌باشد.

ماکزیمم مقدار داده‌ها در هر پروفیل ۴۰۰ عدد می‌باشد.

ماکزیمم طول شبه مقطع چگالی جریان ۳۰۰ واحد (متر یا فوت) می باشد.

#### ۴-۲-۱۰-۲ مراحل کار با نرم افزار

برای کار با نرم افزار Ramag و انجام فیلتر کاروس - هجلت (شبه مقطع چگالی جریان) بر روی داده های خام VLF، مراحل زیر باید انجام گردد:

۱- برگرداندن داده ها را به فرمت نرم افزار و به صورت فایل متنی txt.

۲- وارد نمودن داده ها از گزینه **DATA>load file**

۳- انتخاب مقیاس m از گزینه **DATA> set data units** به منظور تبدیل فاصله به متر

۳- برای رسم نمودار به صورت خام و فیلتر شده (فیلتر کاروس-هجلت) از گزینه **Plot>unfiltered** و **Plot>filtered** استفاده می شود.

۵- از گزینه **Set filter Depth** برای اعمال فیلتر کاروس - هجلت (شبه مقطع چگالی جریان) استفاده می شود که عمق آن از ۶۰ تا ۱۰۰ متر قابل تغییر است.

۶- از گزینه **Plot> multi- profile** برای نمایش چند پروفیل از داده های فیلتر شده استفاده می شود که یک دید از امتداد بی هنجاری ها به ما می دهد.

۷- از گزینه **Save** و **Save as BMP** برای ذخیره شکل ها استفاده می گردد.

#### ۴-۲-۱۱ نرم افزارهای Forw2DVLF و Inv2DVLF

Forw2DVLF و Inv2DVLF نرم افزارهایی هستند که تحت ویندوز<sup>۱</sup> عمل می نمایند.

---

<sup>1</sup> -Windows

این نرم‌افزارها توسط فرناندو سانتوس<sup>۱</sup> در سالهای اخیر طراحی شده‌اند و به طور خودکار مدل‌سازی عددی دوبعدی داده‌های صحرایی VLF را انجام می‌دهند.

در نرم‌افزار Forw2DVLF مدل‌سازی پیشرو بر اساس روش اجزاء محدود<sup>۲</sup> انجام می‌گیرد. در نرم‌افزار Inv2DVLF به روش حداقل مربعات که کاربرد وسیعی در مگنتوتلوریک، الکترومغناطیس و ژئوالکتریک دارد، معکوس‌سازی هموار داده‌ها صورت می‌گیرد و نهایتاً می‌توان از داده‌های برداشتی VLF به شبه مقطع مقاومت ویژه رسید. به منظور استفاده از این نرم‌افزارها در ابتدا داده‌ها و توپوگرافی نقاط برداشت طبق فرمت خاص برنامه در فایل‌های جداگانه ذخیره می‌گردد و وارد نرم‌افزار می‌شود. برنامه Inv2DVLF از دو قسمت PrepVLF و Inv2DVLF تشکیل شده است که خروجی PrepVLF به‌عنوان ورودی Inv2DVLF به کار برده می‌شود. در قسمت PrepVLF داده‌های برداشتی شامل مقادیر حقیقی و موهومی تیپر، توپوگرافی نقاط برداشتی و مقاومت زمینه برای زمین همگن فرضی فراخوانی می‌شود. این فایل خروجی به نام Input در قسمت Inv2DVLF استفاده شده که شامل اطلاعات ضروری برای معکوس‌سازی است و با تعیین تعداد تکرار (به طور معمول بین ۲۰ تا ۳۰) و پارامتر لاگرانژ<sup>۳</sup> (اغلب ۰/۰۳)، فایل‌های خروجی ساخته می‌شود. این فایل‌ها شامل اطلاعاتی در زمینه مراحل معکوس‌سازی، مدل نهایی<sup>۴</sup>، داده‌های ورودی و داده‌های محاسبه شده<sup>۵</sup> و پاسخ مدل<sup>۶</sup> است. مدل نهایی را می‌توان با نرم‌افزار Surfer رسم کرده که مقطع مقاومت ویژه را در راستای عمق نشان می‌دهد [Santos, 2006].

#### ۴-۲-۱۲ برداشت VLF در محدوده اکتشافی

<sup>۱</sup>-Fernando A.Monteiro Santos

<sup>۲</sup>-Finite- Element

<sup>۳</sup>-Lagrange

<sup>۴</sup>-Final Model

<sup>۵</sup>-FDATAR

<sup>۶</sup>-Model Response



در برداشت VLF منطقه خان گلی از ایستگاه فرستنده راگی انگلستان با فرکانس ۱۶ کیلوهرتز و قدرت ۷۵۰ کیلووات به عنوان منبع اولیه میدان الکترومغناطیس استفاده شده است و برای اندازه گیری داده های VLF، دستگاه گیرنده VLF-4 ساخت شرکت سینترکس مورد استفاده قرار گرفته است.

پروفیل های VLF با راستای عمود بر ساختمان زمین شناسی و کانی سازی با امتداد N۵۰ برداشت شدند و فاصله پروفیل ها از یکدیگر ۵۰ متر در نظر گرفته شد. فاصله ایستگاه ها بر روی پروفیل های VLF از یکدیگر ۲۰ متر می باشد که از ایستگاه S۱۶۰ آغاز و تا N۳۰۰ (یعنی به طول ۴۶۰ متر) ادامه دارند (البته دو پروفیل صفر و E۵۰ تا ایستگاه N۳۴۰ داده شدند). تعداد پروفیل های VLF برداشت شده ۱۲ پروفیل می باشد که از پروفیل صفر آغاز و به پروفیل E۵۵۰ ختم می شوند. همان طور که در بخش بعدی توضیح می دهیم، داده های VLF توسط نرم افزار Ramag مورد تفسیر کیفی قرار گرفتند.

### ۳-۴ تفسیر کیفی پروفیل‌های VLF در محدوده اکتشافی

در تفسیر کیفی داده‌های VLF از روی شبه مقطع به دست آمده از فیلتر کاروس - هجالت، برای رسانایی (چگالی جریان) دو حالت را می‌توان در نظر گرفت:

حالت اول مقادیر چگالی جریان کوچک‌تر از صفر که عملاً رسانایی ندارند.

حالت دوم مقادیر بزرگ‌تر از صفر می‌باشند که با توجه به درصد چگالی جریان مقدار رسانایی آن‌ها مشخص می‌گردد و در هر مورد مطالعاتی با توجه به هدف مورد نظر درصد چگالی جریان برای تعیین توده هادی، متفاوت می‌باشد. با توجه به این که در منطقه خان‌گلی هدف اکتشاف کانی‌سازی سینابر می‌باشد و در این منطقه این کانی عموماً همراه پیریت یافت می‌شود پس با یافتن مناطق کانی‌سازی پیریت که البته به دلیل همراه شدن با سینابر از رسانایی آن کاسته شده است، می‌توان به هدف مورد نظر دست یافت. در همه پروفیل‌های برداشت شده، حداکثر میزان چگالی جریان شبه مقطع‌های مربوطه از (که در این فصل آورده شده است) ۱۵-۱۰ درصد تجاوز نمی‌کند.

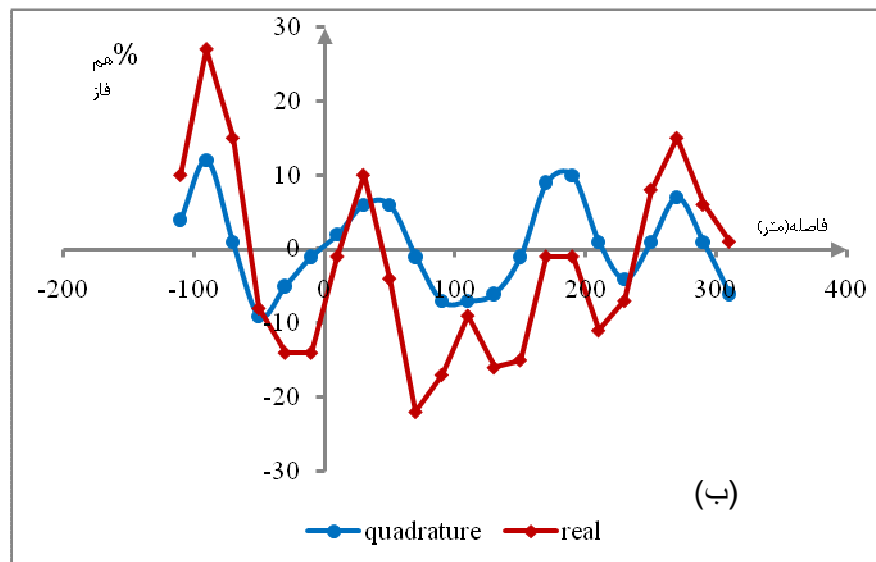
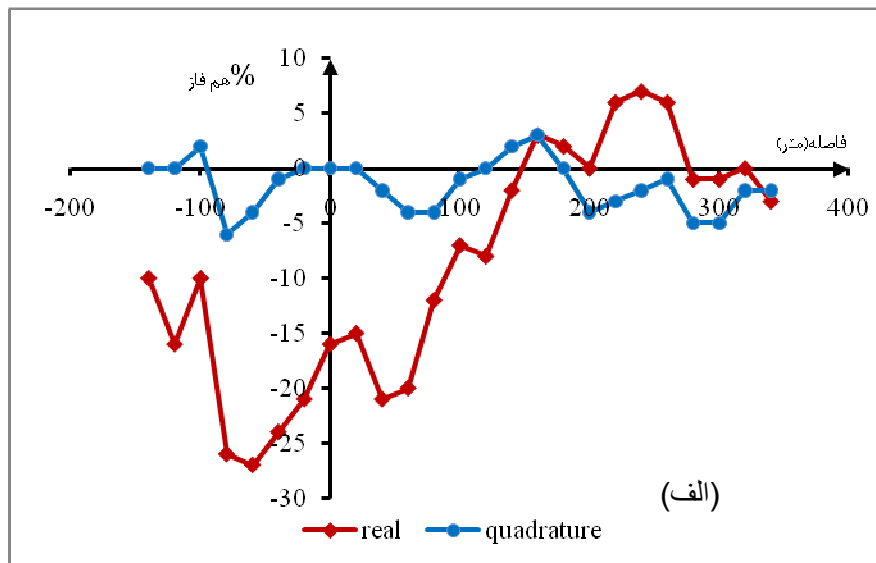
با توجه به توضیحات ذکر شده، مقادیر چگالی جریان بیش از ۵ درصد را به عنوان زون‌های هادی در نظر می‌گیریم. بنابراین در ادامه پروفیل‌های برداشت شده VLF را به همراه شکل‌های مربوط به داده‌های خام، فیلتر فریزر، فیلتر کاروس هجالت و شبه مقطع کاروس هجالت به صورت جداگانه بررسی نموده و یک تفسیر کیفی از پروفیل را ارائه می‌نماییم.

#### ۱-۳-۴ پروفیل صفر

شکل ۱۸-۴ الف و ب نمودار مؤلفه‌های حقیقی و موهومی داده‌های خام و فیلتر فریزر را نشان می‌دهد.

پیک‌های نمودار فیلتر فریزر برای داده‌های حقیقی حدوداً در موقعیت ۲۸۰، ۲۰ و -۹۰ متر روی این

پروفیل قرار دارند.

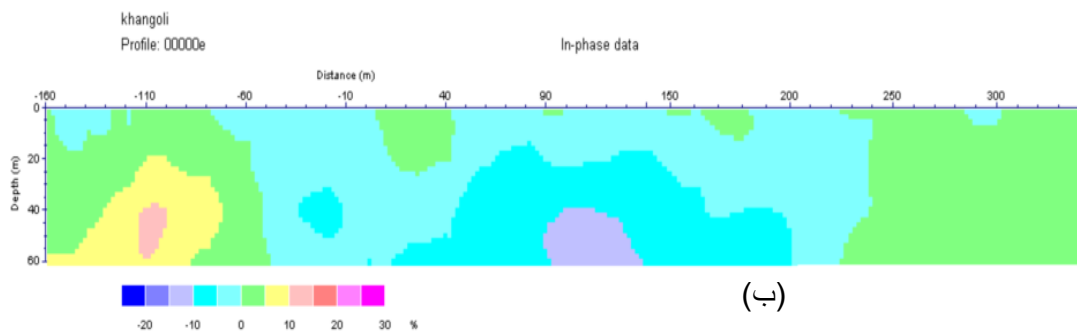
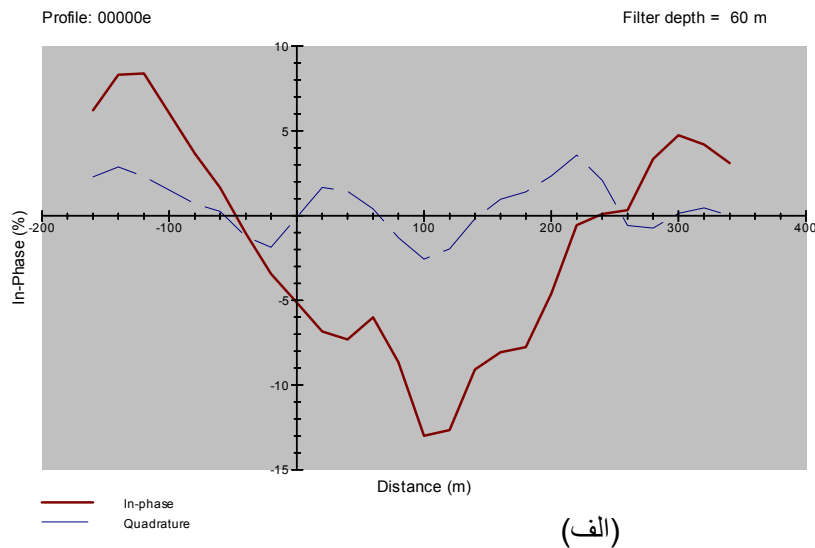


شکل ۱۸-۴: الف) نمودار داده‌های خام VLF و ب) اعمال فیلتر فریزر بر روی داده‌های خام پروفیل صفر

شکل ۱۹-۴ الف و ب به ترتیب نمودار فیلتر کاروس-هجلت و شبه مقطع چگالی جریان پروفیل صفر را

نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل ۱۹-۴ ب مشاهده می‌گردد در این پروفیل یک منطقه با چگالی

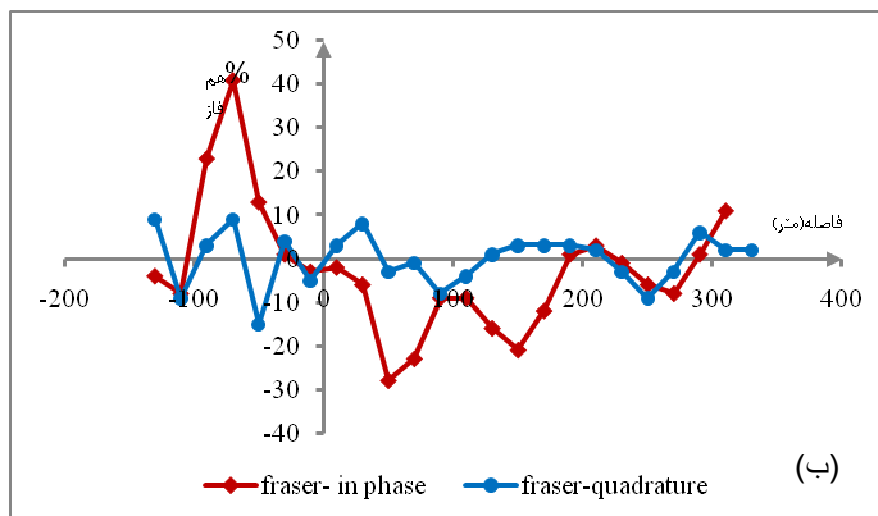
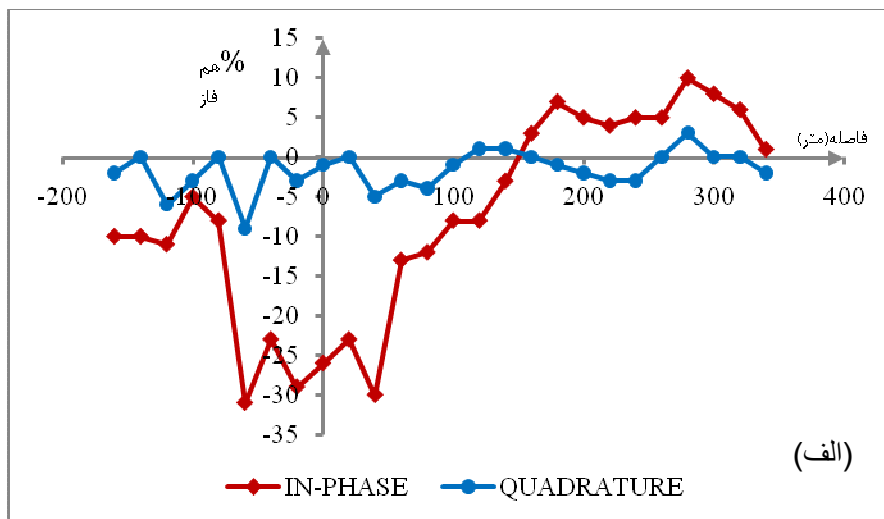
جریان نسبتاً بالا مشاهده می‌گردد که بین ایستگاه‌های ۷۰- و ۱۵۰- قرار دارد و از عمق ۲۰ متر شروع شده و تا عمق ۶۰ متر گسترش دارد. شیب این توده رسانا به سمت چپ بوده و با حرکت به سمت ایستگاه ۱۶۰- عمق آن افزایش می‌یابد. در سمت راست این شبه مقطع نیز، مقادیر چگالی جریان بزرگتر از صفر (بین صفر و ۵٪) و در محدوده ۲۴۰ تا ۳۴۰ متر مشاهده می‌گردد. این بی‌هنجاری‌ها در محدوده زمین شناسی با جنس رسوبات کواترنر که عمدتاً شامل رسوبات جوان پای کوهی، واریز و آبرفت-های مسیل آبراهه‌ای می‌باشد، قرار گرفته‌اند. گسل فرعی با امتداد شمالی-جنوبی در فاصله اندکی از این بی‌هنجاری قرار دارد.



شکل ۴-۱۹: (الف) اعمال فیلتر کاروس- هجلیت و (ب) شبه مقطع چگالی جریان پروفیل صفر

#### ۴-۳-۲ پروفیل ۵۰E

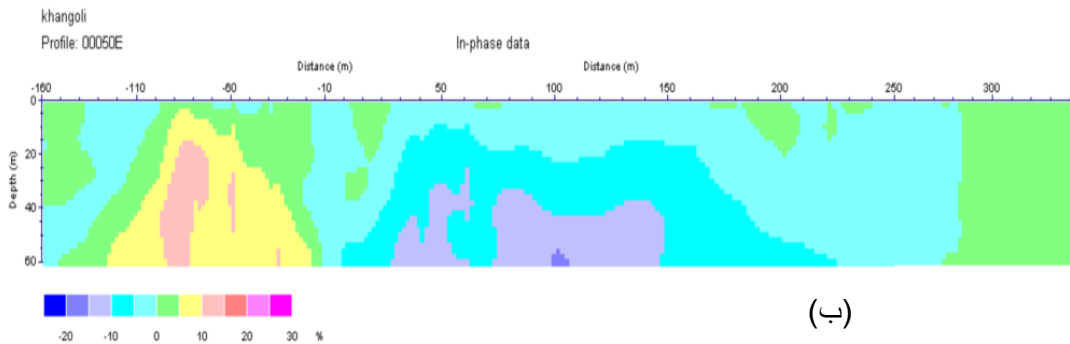
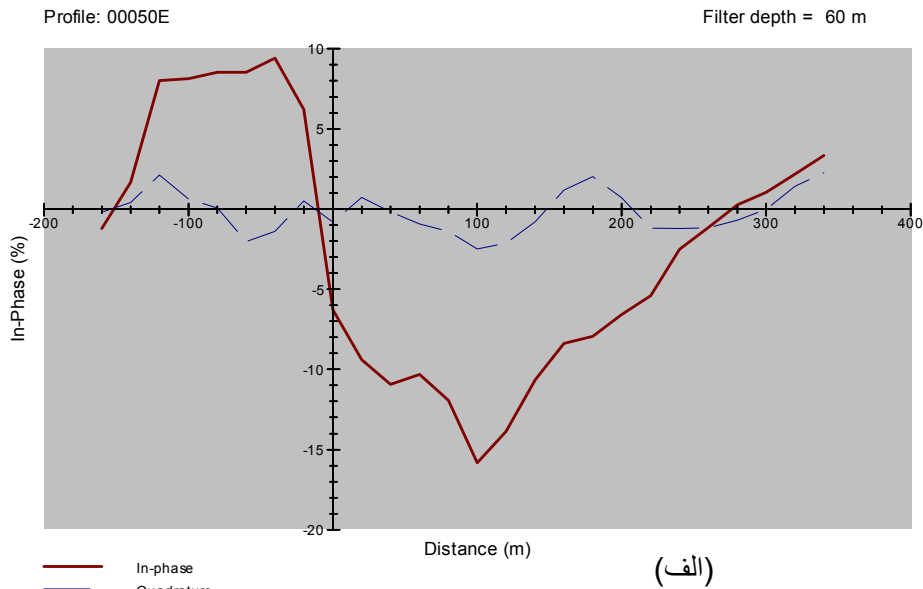
شکل‌های ۴-۲۰ الف و ب به ترتیب داده‌های خام و نتیجه اعمال فیلتر فریزر بر روی آن‌ها را نشان می‌دهد. تنها پیک فیلتر فریزر برای داده‌های حقیقی در موقعیت حدود ۷۰- متر قرار دارد.



شکل ۴-۲۰: الف) مؤلفه حقیقی و موهومی داده‌های خام و ب) مؤلفه حقیقی و موهومی فیلتر فریزر پروفیل ۵۰E

شکل ۴-۲۱ الف و ب نمودار و شبه مقطع کاروس-هجلت این پروفیل را نمایش می‌دهد. بر روی شبه مقطع چگالی جریان پروفیل ۵۰E، یک زون رسانای به شکل مثلث بین ایستگاه‌های ۲۰- و ۱۲۰- قرار دارد که رأس این زون مثلاً حدوداً زیر ایستگاه ۸۰- و در عمق کمتر از ۱۰ متر می‌باشد و قاعده این مثلث حدوداً در عمق ۶۰ متر قرار دارد. داخل این زون مثلاً و بین ایستگاه‌های ۷۰- و ۹۰- نیز چگالی

جریان به صورت یک ناحیه مستطیلی افزایش یافته که از عمق ۲۰ متر تا عمق ۶۰ متر گسترش دارد (شکل ۴-۲۱ ب).



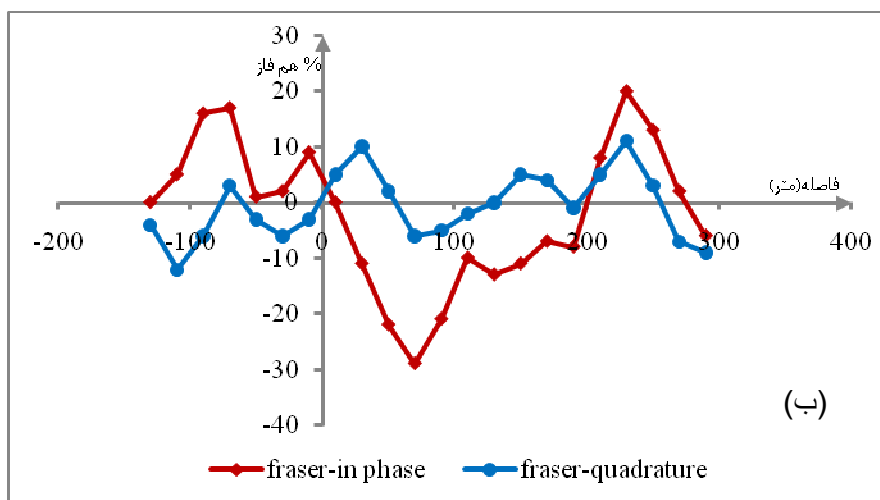
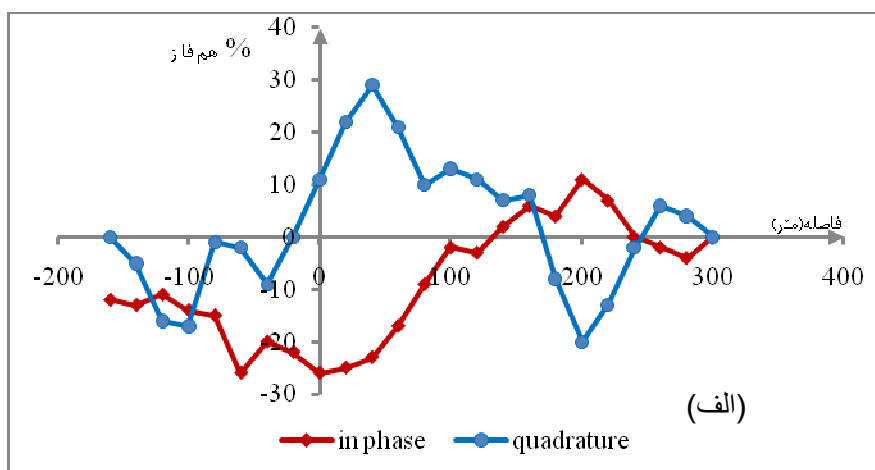
شکل ۴-۲۱: الف) نتایج اعمال فیلتر کاروس-هجلت و ب) شبه مقطع چگالی جریان پروفیل E۰۵.

در دیگر قسمت‌های این پروفیل چگالی جریان پایین بوده و فقط در سمت راست شبه مقطع چگالی جریان و در حدود ایستگاه ۲۰۰، می‌توان گفت که یک رسانای ضعیف با چگالی جریان کوچک‌تر از ۵٪ وجود دارد. این پروفیل از نظر زمین شناسی شامل کنگلومرای پالئوسن، سرپانتینیت‌های برشی، شیل-مارن و ماسه سنگ و همچنین رسوبات کواترنری می‌باشد. بی‌هنجاری موجود در مقطع چگالی جریان بر روی رسوبات کنگلومرای پالئوسن و سرپانتینیت‌های برشی قرار دارد، که به ترتیب از ایستگاه ۰ تا ۱۰- متر رسوبات کنگلومرای وجود دارد که توسط یک گسل با امتداد شمال غربی-جنوب شرقی در کنار

سرپانتینیت‌های برشی قرار گرفته اند و در ایستگاه ۷۰- متر گسل دیگری با همان امتداد داریم که این دو واحد زمین شناسی را در کنار یکدیگر قرار می‌دهد. بی‌هنجاری سمت راست مقطع چگالی جریان نیز بر روی رسوبات عهد حاضر قرار گرفته است.

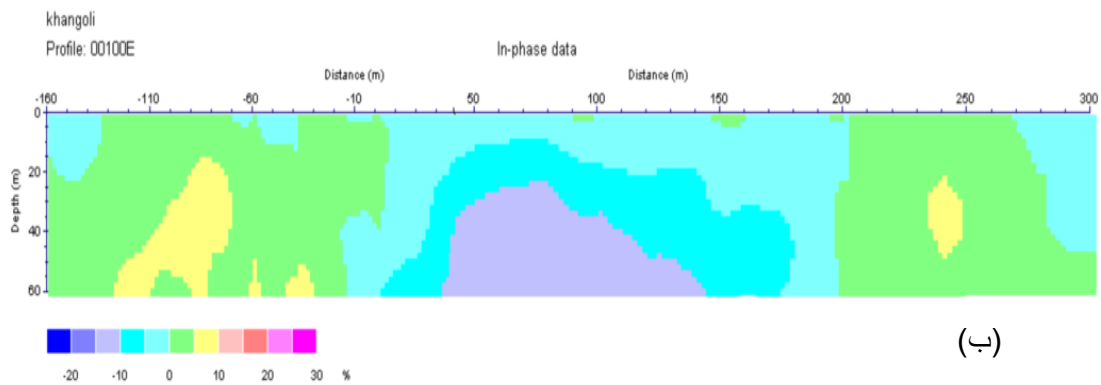
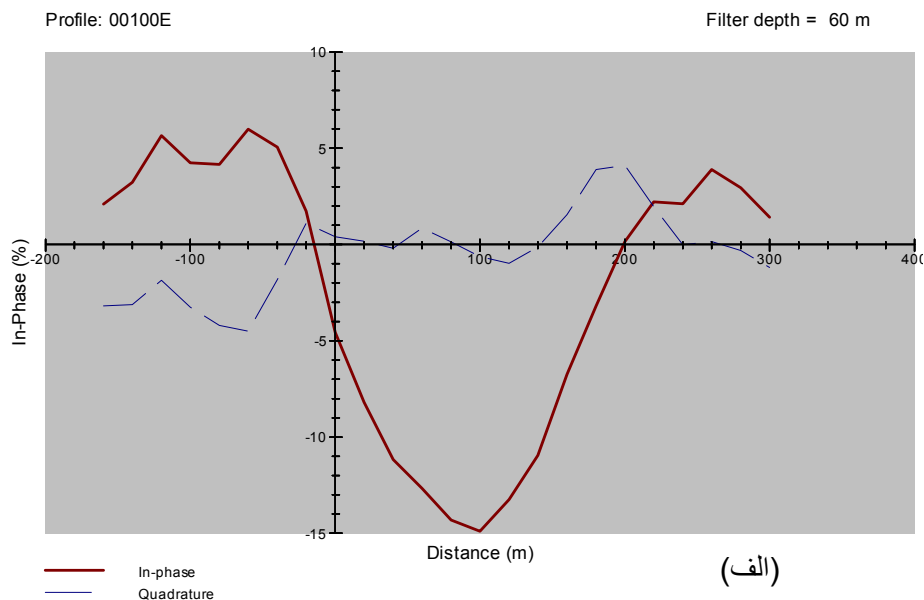
#### ۳-۳-۴ پروفیل ۱۰۰E

شکل‌های ۲۲-۴ الف و ب نیز به ترتیب داده‌های خام و نتیجه اعمال فیلتر فریزر بر روی آنها را نشان می‌دهد. پیک‌های نمودار فیلتر فریزر داده‌های حقیقی در ۹۰- و ۲۲۰ متر مشاهده می‌گردد.



شکل ۲۲-۴: الف) داده‌های خام و ب) اعمال فیلتر فریزر بر ۱۰۰E

نمودار مربوط به فیلتر کاروس-هجلت و شبه مقطع چگالی جریان این پروفیل در شکل ۴-۲۳ الف و ب نمایش داده شده است. در این پروفیل نیز روند زون رسانای دو پروفیل دیگر ادامه دارد. زون رسانایی که در پروفیل صفر در سمت چپ قرار داشت و در پروفیل ۵۰E مقداری جابجایی به سمت راست در آن مشاهده شد، در این پروفیل نیز بین ایستگاه‌های ۱۰- و ۱۳۰- وجود دارد (شکل ۴-۲۳ ب). گسترش عمقی این زون از عمق ۲۰ تا ۶۰ متر می‌باشد. همچنین همانند پروفیل ۵۰E، در سمت راست پروفیل یک زون هادی ضعیف وجود دارد که البته چگالی آن بین ایستگاه‌های ۲۳۰ و ۲۵۰ متر افزایش یافته است. از نظر عمق نیز این زون در عمق بین ۳۰ تا ۵۰ قرار گرفته است.



شکل ۴-۲۳: الف) اعمال فیلتر کاروس-هجلت بر ۱۰۰E ب) شبه مقطع چگالی جریان پروفیل ۱۰۰E



بی‌هنجاری VLF در محدوده‌ای که شامل سرپانتینیت‌های برشی، رسوبات کنگلومرای پالتوسن و رسوبات عهد حاضر می‌باشد، واقع شده است. همچنین در این محدوده یک زون کانی سازی مس و جیوه نیز وجود دارد که بر روی نقشه زمین شناسی مشخص گردیده است. از محدوده ذکر شده سه گسل فرعی با امتدادهای شمال غربی-جنوب شرقی، شرقی-غربی و شمال شرقی-جنوب غربی عبور کرده است.

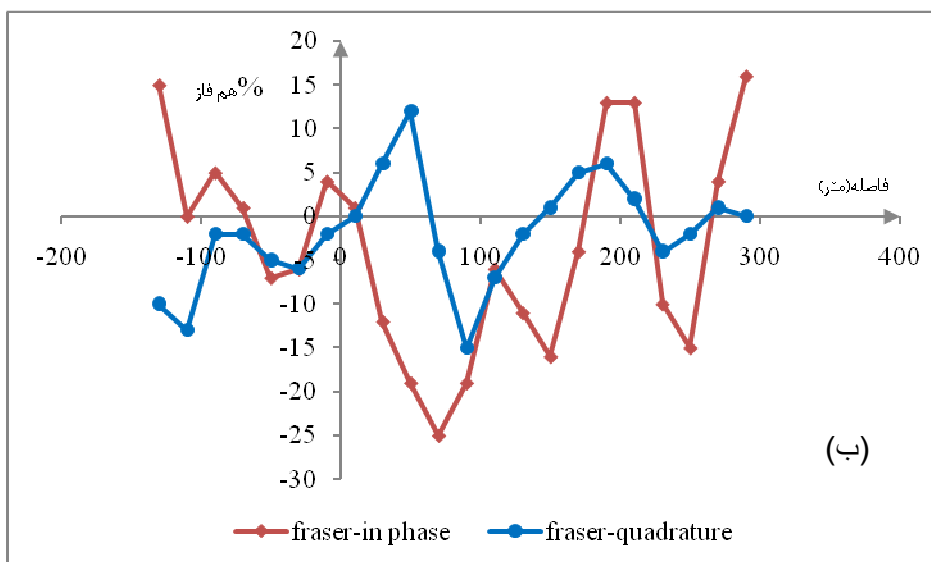
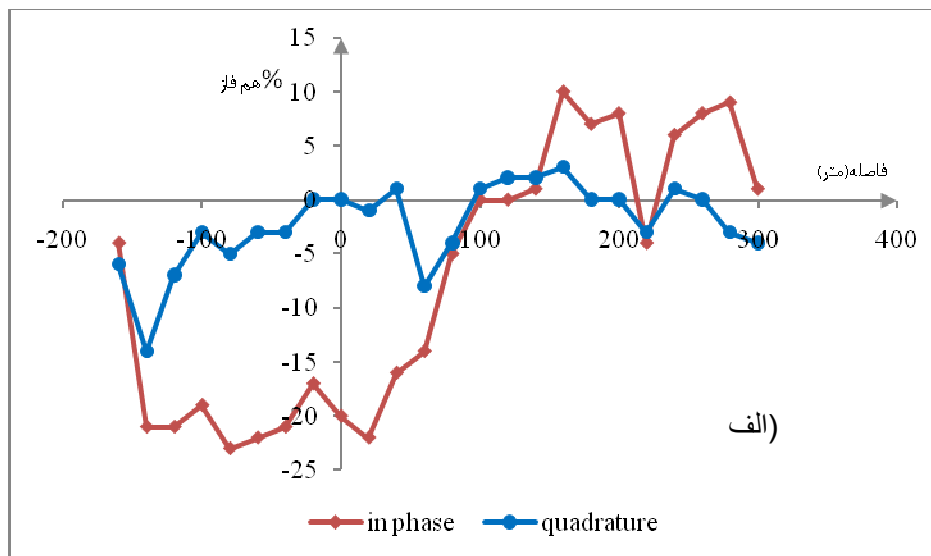
بی‌هنجاری سمت راست مقطع چگالی جریان نیز تماماً بر روی رسوبات عهد حاضر قرار دارد که گسل اصلی محدوده با امتداد شمال غربی-جنوب شرقی از نزدیکی آن عبور نموده است.

#### ۴-۳-۴ پروفیل E ۱۵۰

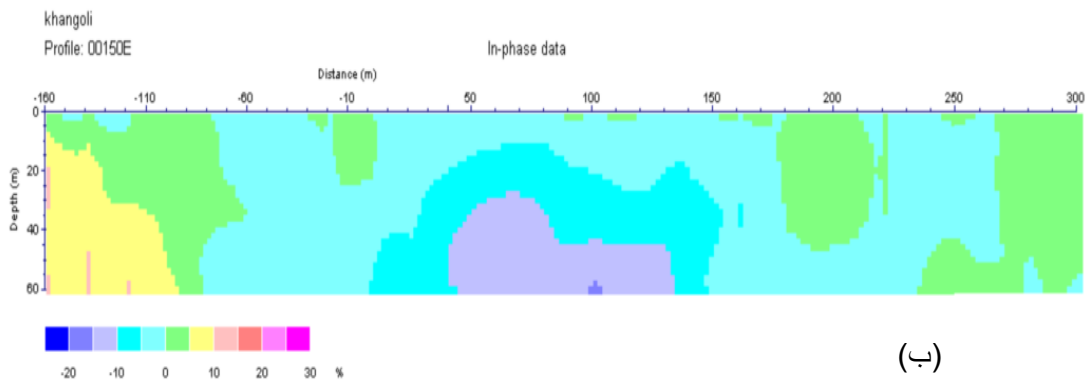
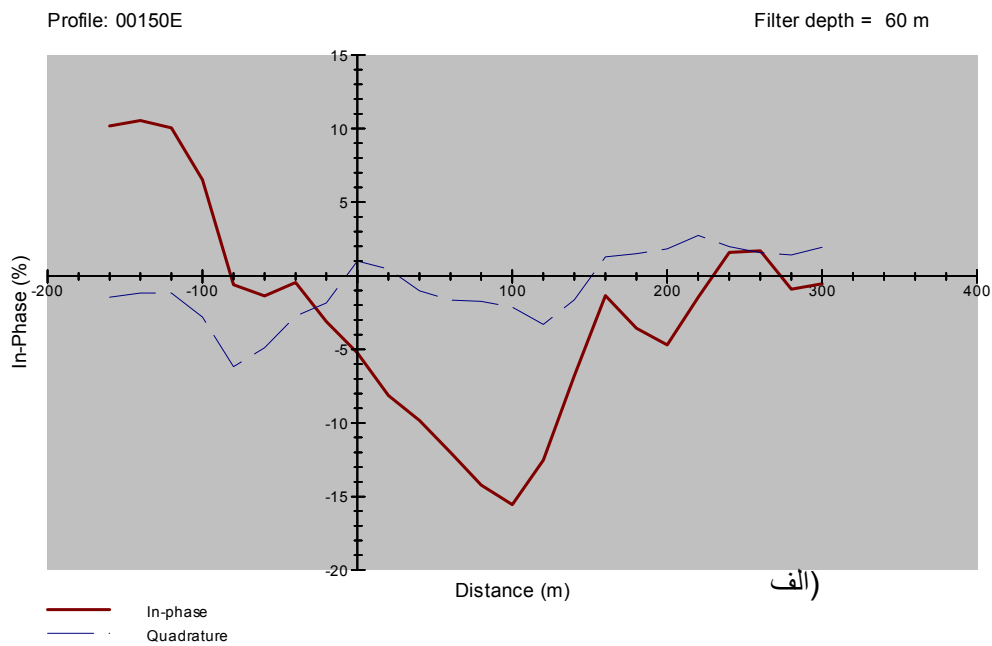
داده‌های خام و نتیجه اعمال فیلتر فریزر بر روی آن‌ها در شکل ۴-۲۴ الف و ب آورده شده است.

بر روی نمودار فیلتر فریزر داده‌های حقیقی یک پیک بزرگ در ۲۰۰ متر و دو پیک کوچک‌تر در صفر و ۹۰- متر مشاهده می‌گردد. شکل ۴-۲۵ الف و ب نتیجه اعمال فیلتر کاروس-هجلت بر روی داده‌های خام و مقطع چگالی جریان حاصل از آنرا نشان می‌دهد. همانند پروفیل‌های قبلی زون هادی در سمت چپ این پروفیل نیز مشاهده می‌گردد که گستردگی طولی آن بین ایستگاه‌های ۹۰- و ۱۶۰- می‌باشد و شکل آن شبیه به یک مثلث قائم الزاویه می‌باشد از عمق کمتر از ۱۰ متر آغاز و تا عمق ۶۰ متر ادامه دارد.

دیگر پدیده قابل ذکر در این مقطع کاهش چگالی جریان مشاهده شده در سمت راست پروفیل و اطراف ایستگاه ۲۰۰ است که اگر چه مقداری بزرگ‌تر از صفر دارد اما چگالی جریان در آن از ۵٪ بالاتر نرفته است. با مراجعه به نقشه زمین شناسی محدوده (شکل ۲-۲)، مشاهده می‌نماییم که بی‌هنجاری VLF در محدوده رسوبات عهد حاضر و رسوبات کنگلومرای قرار گرفته است. گسل نرمال با امتداد شمال شرقی-جنوب غربی در فاصله کمی از این بی‌هنجاری قرار دارد.



شکل ۴-۲۴: الف) داده‌های خام پروفیل ۱۵۰E ب) اعمال فیلتر فریزر بر ۱۵۰E

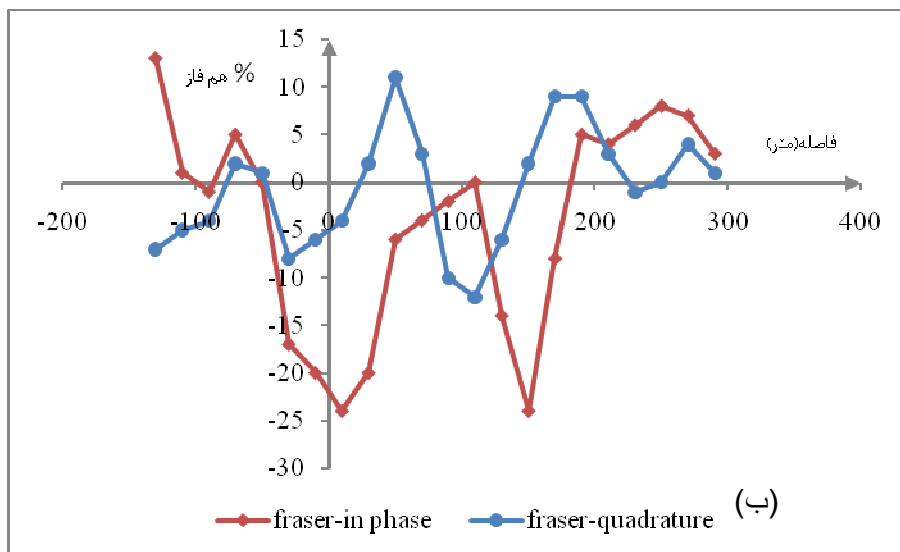
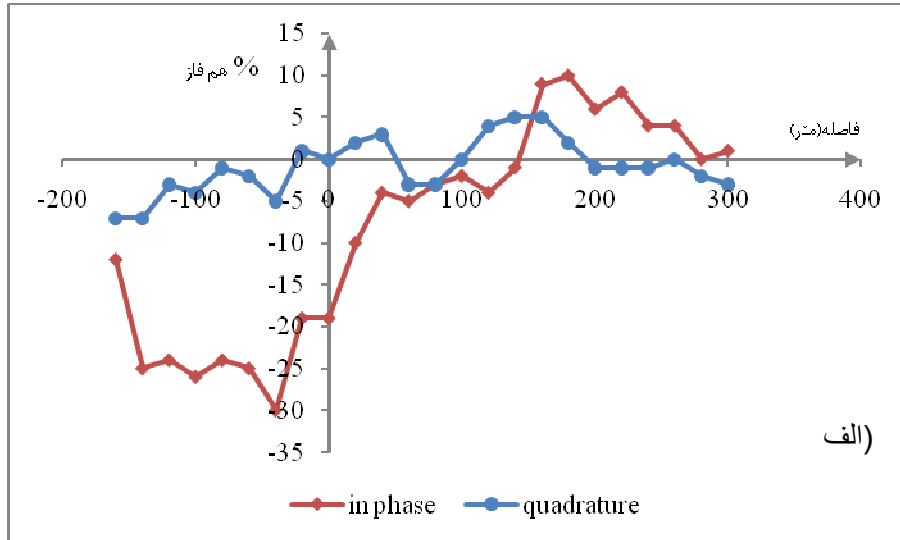


شکل ۴-۲۵: الف) اعمال فیلتر کاروس-هجلت بر پروفیل E ۱۵۰ (ب) شبه مقطع چگالی جریان پروفیل E ۱۵۰

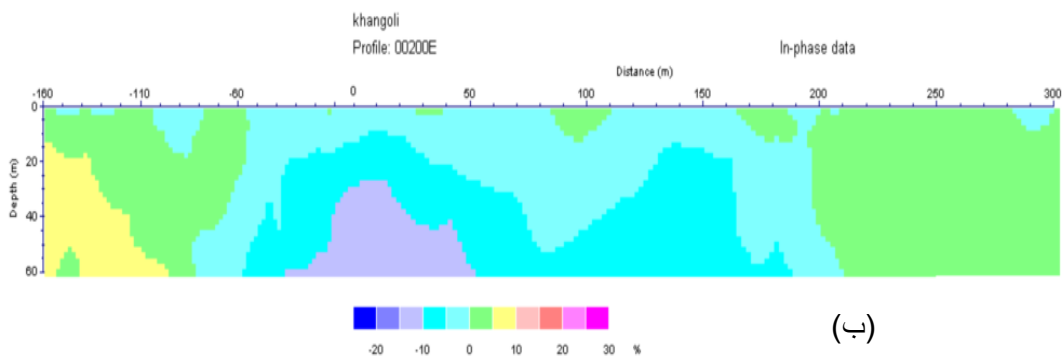
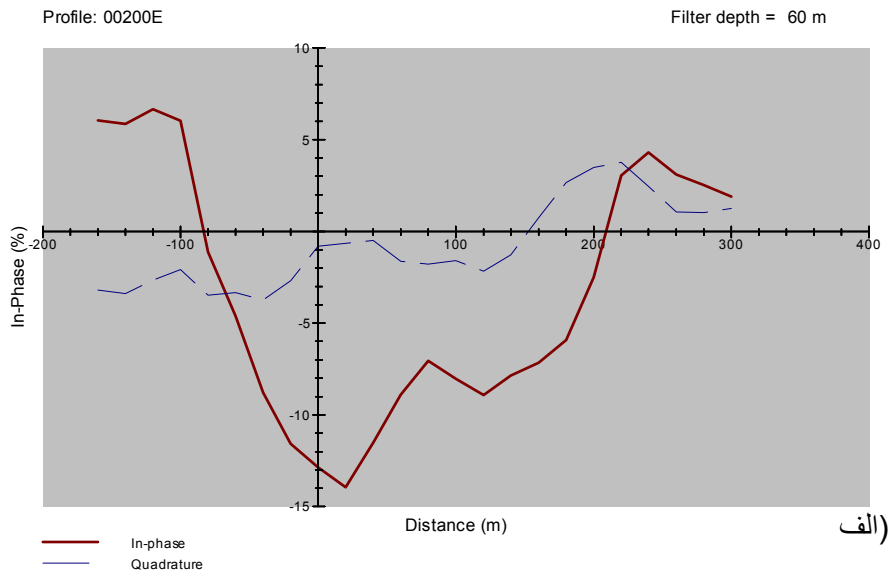
#### ۴-۳-۵ پروفیل E ۲۰۰

شکل ۴-۲۶ الف و ب داده‌های خام و نتیجه اعمال فیلتر فریزر بر روی آن‌ها را نشان می‌دهد. دو پیک فیلتر فریزر به ترتیب در ۲۵۰ و ۵۰- متر مشاهده می‌شود. نمودار فیلتر کاروس-هجلت و مقطع چگالی جریان این پروفیل در شکل ۴-۲۷ الف و ب آورده شده است.

بر روی این پروفیل نیز یک زون هادی بین ایستگاه‌های ۹۰- و ۱۶۰- و در عمق ۱۵ تا ۶۰ متر قرار دارد. در سمت راست پروفیل نیز یک زون هادی ضعیف با چگالی جریان بین ۰ تا ۵ درصد مشاهده می‌گردد که بین ایستگاه‌های ۲۰۰ و ۳۰۰ متر قرار دارد (شکل ۴-۲۷ ب).



شکل ۴-۲۶: الف) داده‌های خام پروفیل ۲۰۰E و ب) اعمال فیلتر فریزر بر پروفیل ۲۰۰E

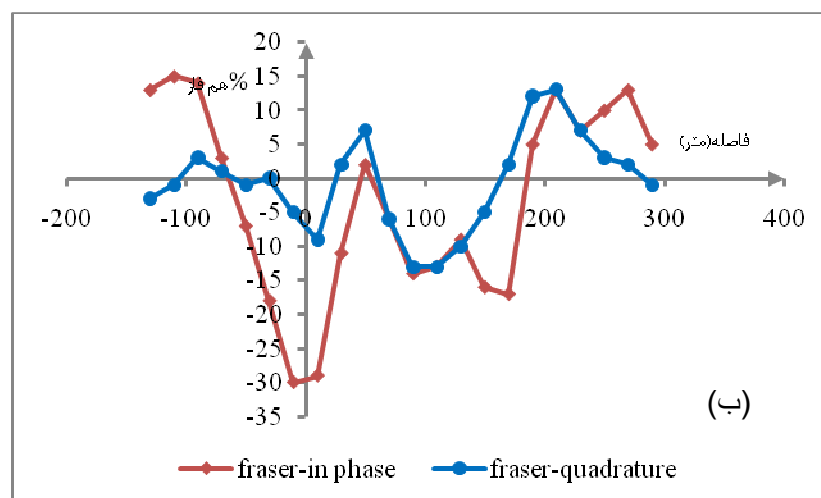
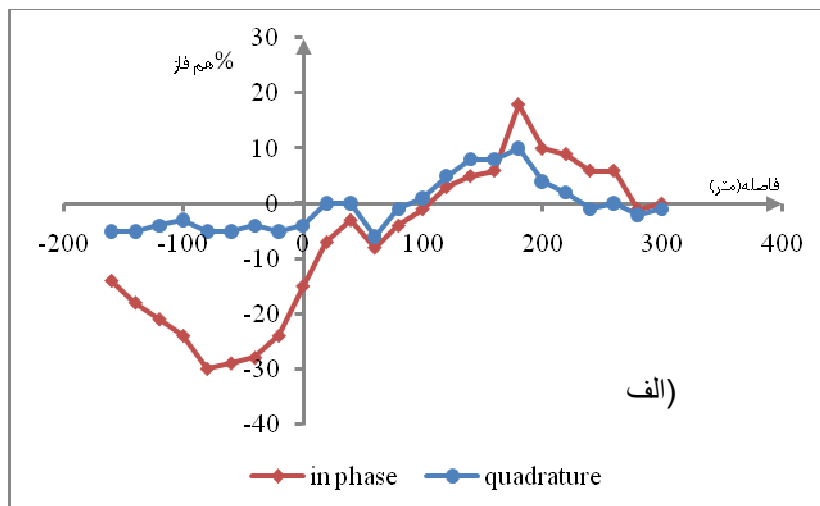


شکل ۴-۲۷: الف) نمودار فیلتر کاروس- هجلت و ب) شبه مقطع چگالی جریان پروفیل ۲۰۰E

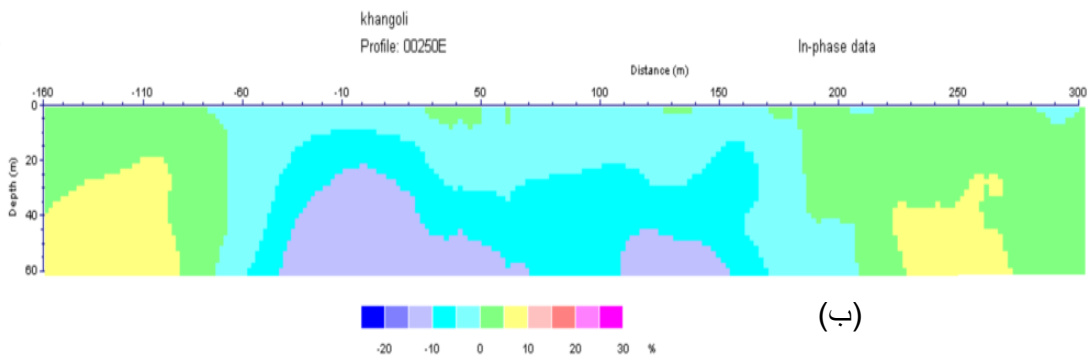
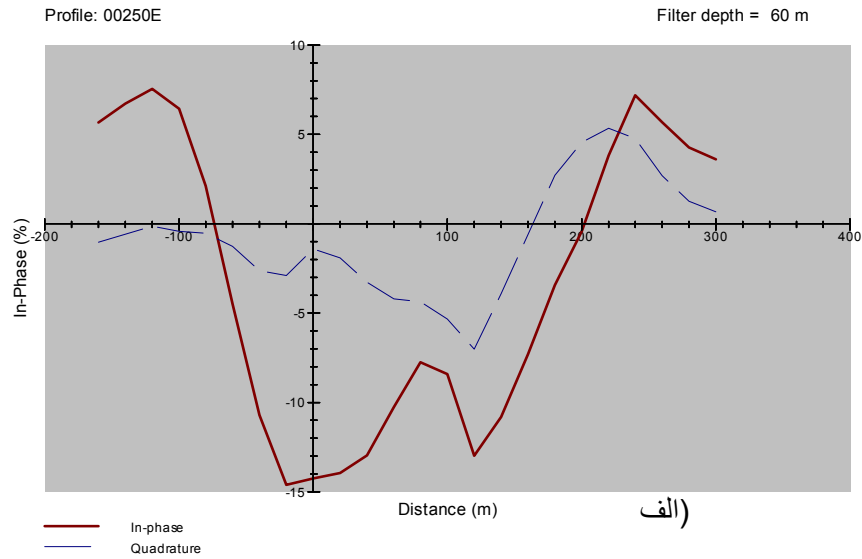
طبق نقشه زمین شناسی (شکل ۲-۲)، بی‌هنجاری VLF در سمت راست شبه مقطع (بین ۲۰۰ و ۳۰۰ متر شکل ۴-۲۷ ب) بر روی سرپانتینیت‌های برشی و واحد شیلی-مارنی و بی‌هنجاری سمت چپ شبه مقطع چگالی جریان بر روی سرپانتینیت‌های برشی و رسوبات عهد حاضر قرار گرفته‌اند. گسل اصلی محدوده اکتشافی با راستای شمال غربی- جنوب شرقی در فاصله خیلی کمی از بی‌هنجاری سمت راست مقطع VLF (بی‌هنجاری بین ایستگاه ۲۲۰ تا ۲۵۰ متر) قرار گرفته است، همچنین گسل فرعی با امتداد شمالی- جنوبی نیز با فاصله کمی از بی‌هنجاری بین ایستگاه ۹۰- و ۱۶۰- متر در مرز بین دو واحد سرپانتینیت برشی و کنگلومرای پالتوسن قرار گرفته است.

#### ۴-۳-۶ پروفیل ۲۵۰E

شکل ۴-۲۸ الف و ب نمودار داده‌های خام و فیلتر فریزر پروفیل را نشان می‌دهد. در موقعیت‌های ۲۲۰، ۲۸۰ و ۱۰۰ متر نمودار فیلتر فریزر دارای پیک می‌باشد. نمودار و شبه مقطع کاروس-هجلت در شکل ۴-۲۹ مشاهده می‌گردد. در مقطع چگالی جریان پروفیل ۲۵۰E (شکل ۴-۲۹ ب) دو زون رسانا مشاهده می‌گردد. منطقه اول در سمت چپ پروفیل و بین ایستگاه‌های ۹۰- و ۱۶۰- قرار دارد که در عمق ۲۰ تا ۶۰ متر قرار گرفته است. منطقه دوم در سمت راست مقطع چگالی جریان و بین ایستگاه‌های ۲۲۰ تا ۲۵۰ مشاهده می‌گردد که از عمق ۴۰ متر آغاز شده و تا عمق ۶۰ متر ادامه دارد.



شکل ۴-۲۸: الف) نمودار داده‌های خام و ب) نتایج اعمال فیلتر فریزر بر پروفیل ۲۵۰E

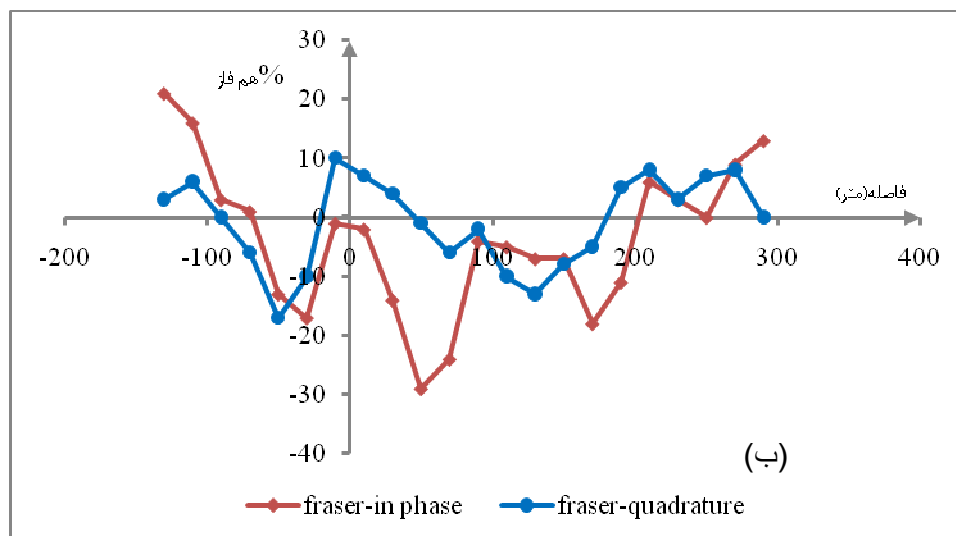
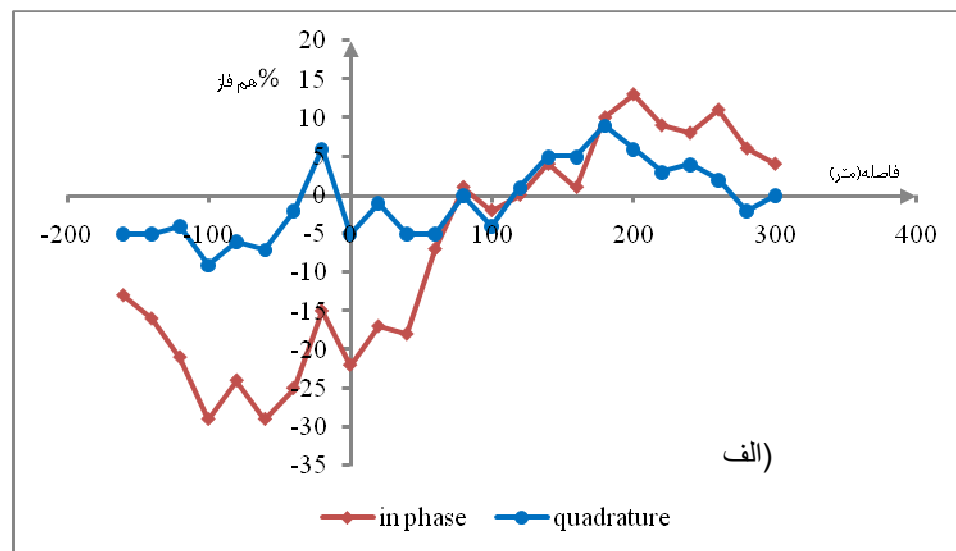


شکل ۴-۲۹: الف) پروفیل مربوط به اعمال فیلتر کاروس- هجالت ب) شبه مقطع چگالی جریان پروفیل E ۲۵۰

طبق نقشه زمین شناسی، بی‌هنجاری VLF که بین ایستگاه ۱۹۰ تا ۳۰۰ متر می‌باشد بر روی واحد شیلی (که دارای مرز مشترک با سرپانتینیت‌های برشی می‌باشد) قرار دارد. گسل اصلی محدوده اکتشافی با راستای شمال غربی-جنوب شرقی در فاصله خیلی کمی از این بی‌هنجاری VLF (بی‌هنجاری بین ایستگاه ۲۲۰ تا ۲۵۰ متر) قرار گرفته است. بی‌هنجاری دیگر که بین ایستگاه ۹۰- و ۱۶۰- متر قرار دارد بر روی رسوبات عهد حاضر و سرپانتینیت‌های برشی قرار دارد. همچنین گسل فرعی با امتداد شمالی- جنوبی با فاصله کمی از این بی‌هنجاری، در مرز بین دو واحد سرپانتینیت برشی و کنگلومرای پالئوسن قرار گرفته است.

#### ۳-۴-۷. پروفیل ۳۰۰E

نمودار مربوط به داده‌های خام و فیلتر فریزر این پروفیل در شکل ۳-۴ الف و ب آورده شده است. روی نمودار فیلتر فریزر در ابتدا و انتهای این پروفیل دو پیک مشاهده می‌گردد و یک پیک کوچک نیز در ۲۲۰ متر وجود دارد.

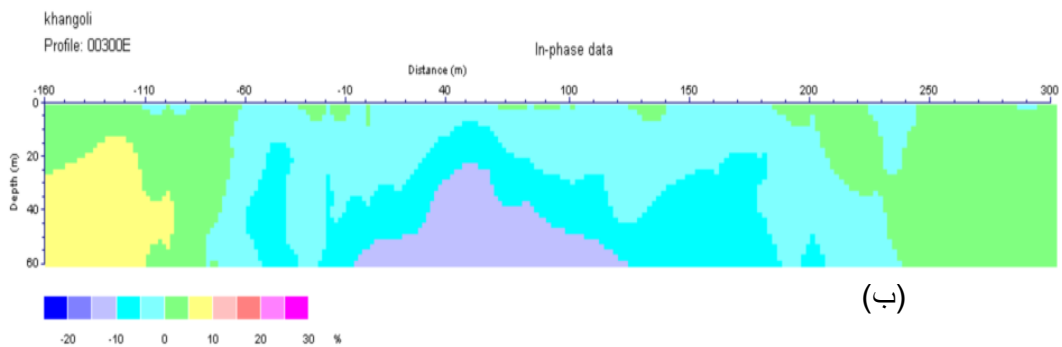
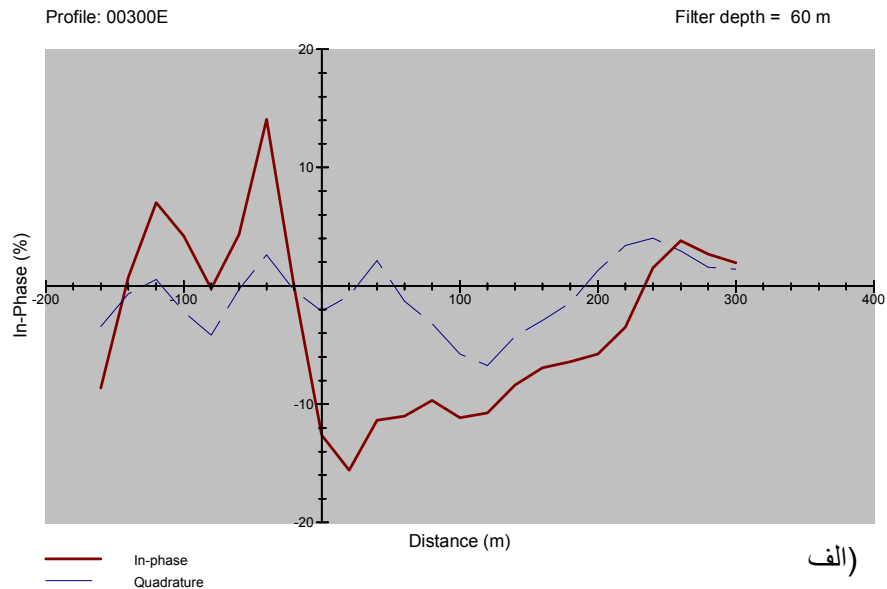


شکل ۳-۴: الف) داده‌های خام و ب) نمودار فیلتر فریزر پروفیل ۳۰۰E

شکل ۳-۴ به نمایش نمودار کاروس-هجلت و شبه مقطع چگالی جریان این پروفیل اختصاص یافته است. نتایج حاصل از این پروفیل وجود دو زون رسانا بین ایستگاه‌های ۶۰- و ۱۶۰- و ایستگاه‌های ۲۵۰ و



۳۰۰ را نشان می‌دهد و نکته قابل توجه در این پروفیل افزایش نسبی چگالی جریان زون رسانا در مقایسه با دیگر پروفیل‌ها می‌باشد.

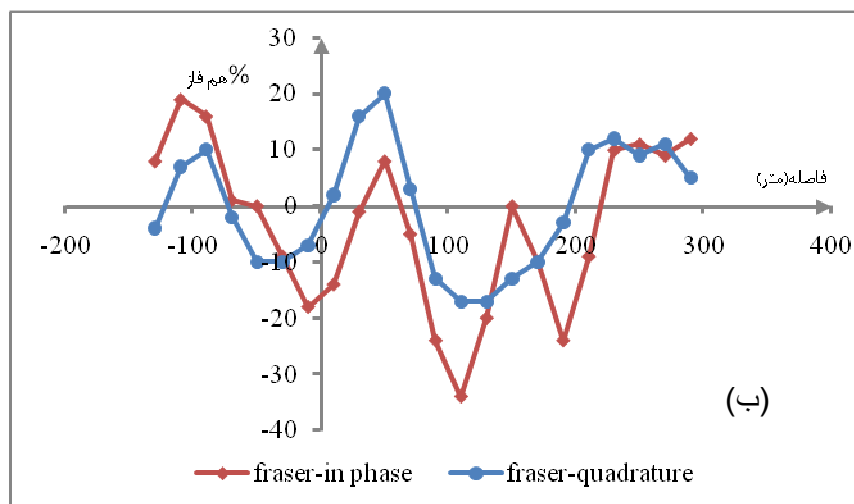
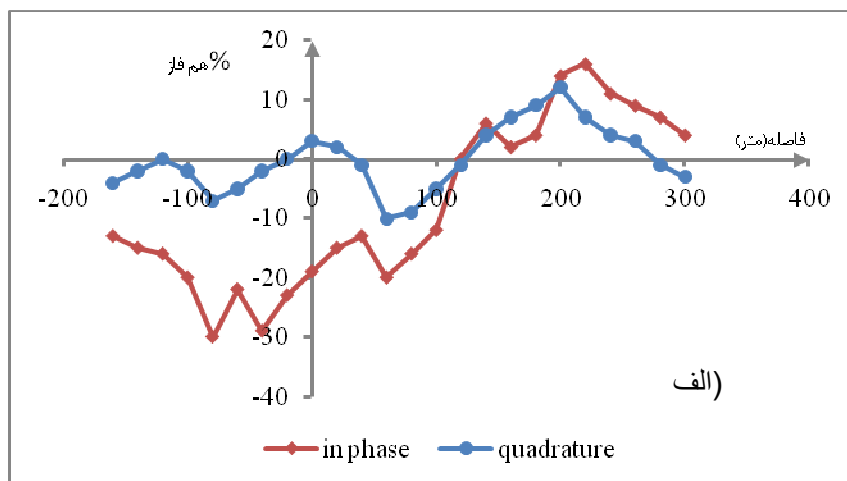


شکل ۴-۳۱: الف) نمودار کاروس-هجلت پروفیل ۳۰۰E (ب) شبه مقطع چگالی جریان پروفیل ۳۰۰E

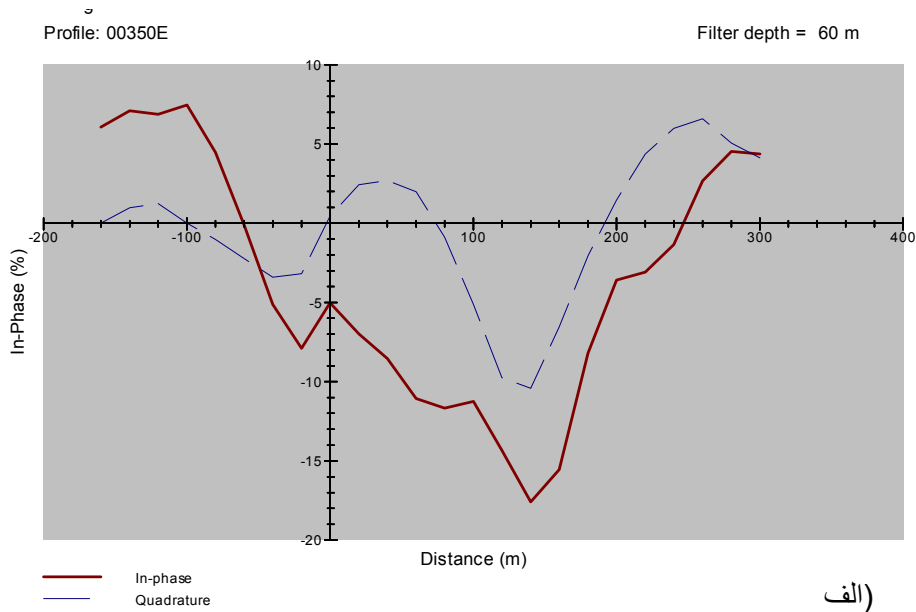
بی‌هنجاری قوی VLF (سمت چپ مقطع چگالی جریان) بر روی واحدهای زمین‌شناسی رسوبات کواترنری و سرپانتینیت‌های برشی قرار گرفته است. بی‌هنجاری سمت راست مقطع چگالی جریان نیز از نظر زمین‌شناسی در واحد شیلی-مارنی-ماسه سنگی و سرپانتینیت‌های برشی قرار دارد و گسل اصلی محدوده با راستای شمال غربی - جنوب شرقی از آن می‌گذرد.

#### ۳-۴-۸ پروفیل ۳۵۰E

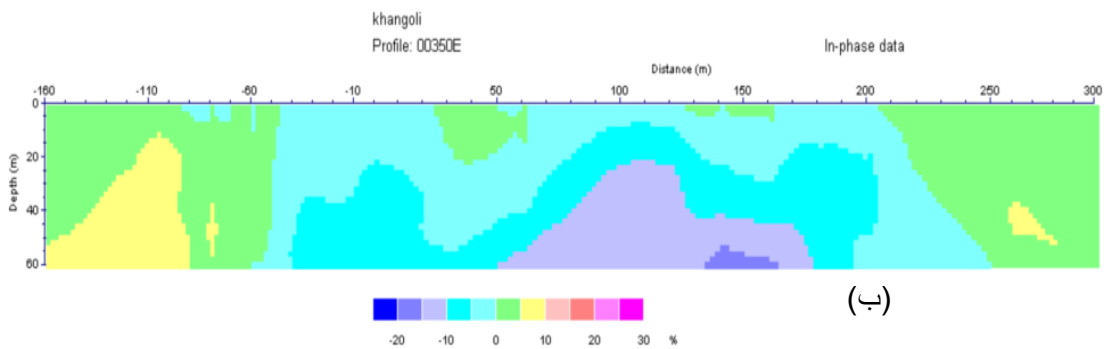
شکل ۳۲-۴ الف و ب نشان دهنده نمودار داده‌های خام و فیلتر فریزر پروفیل ۳۵۰E می‌باشد. پیک‌های نمودار فیلتر فریزر داده‌های حقیقی در این پروفیل در ابتدا، انتها و موقعیت ۵۰ متر قرار دارند. شکل ۴-۳۳ الف و ب نیز، نمودار فیلتر کاروس - هجلت و چگالی جریان این پروفیل را نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل ۴-۳۳ ب ملاحظه می‌گردد بر روی این پروفیل نیز روند مربوط به زون رسانای پروفیل‌های قبلی در سمت چپ ادامه دارد که این زون رسانا بین ایستگاه‌های ۶۰- و ۱۶۰- و از نظر عمقی، در عمق ۱۵ تا ۶۰ متر قرار گرفته است. در سمت راست شبه مقطع چگالی جریان نیز، یک زون رسانای ضعیف بین ایستگاه‌های ۲۰۰ و ۲۵۰ مشاهده می‌گردد.



شکل ۳۲-۴: الف) نمودار داده‌های خام پروفیل ۳۵۰E ب) نمودار فیلتر فریزر پروفیل ۳۵۰E



(الف)



(ب)

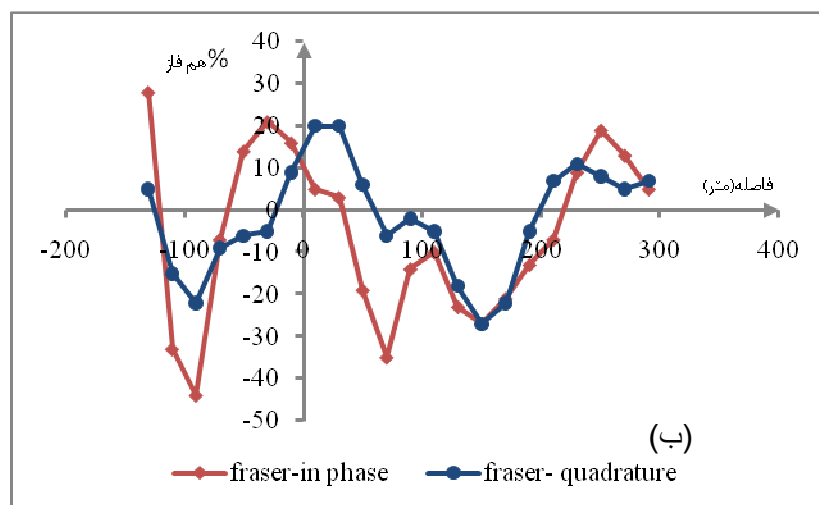
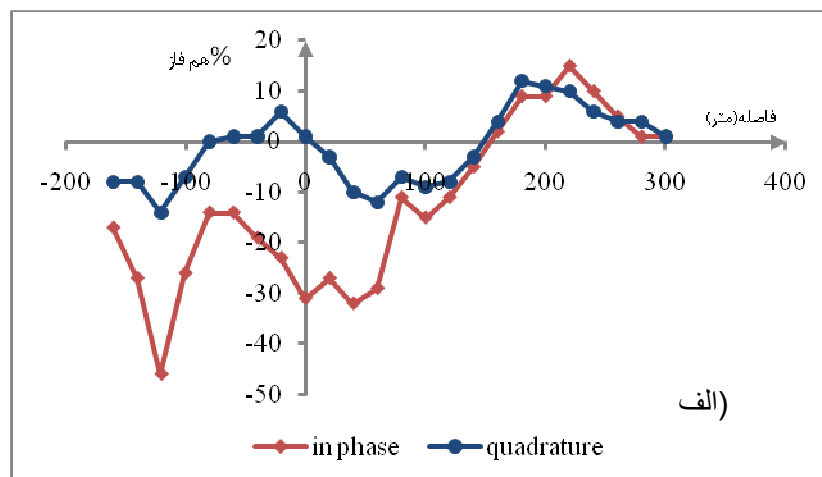
شکل ۴-۳۳: الف) نمودار فیلتر کاروس-هجلت پروفیل و ب) شبه مقطع چگالی جریان پروفیل ۳۵۰E

بی‌هنجاری به‌وجود آمده در سمت چپ شبه مقطع چگالی جریان، بر روی کنگلومرای پالئوسن، سرپانتینیت‌های برشی و رسوبات عهد حاضر قرار گرفته است. حضور سه گسل فرعی با امتدادهای غربی-شرقی، شمالی-جنوبی و شمال غربی-جنوب شرقی، با فاصله اندک از این بی‌هنجاری از دیگر نکات قابل ذکر است. بی‌هنجاری سمت راست نیز از نظر زمین‌شناسی در واحد سرپانتینیت‌های برشی و شیلی، مارنی، ماسه سنگی، که گسل اصلی با امتداد شمال غربی-جنوب شرقی از آن عبور کرده است، قرار گرفته است.

#### ۴-۳-۹ پروفیل ۴۰۰E

نمودار مربوط به داده‌های خام و فیلتر فریزر این پروفیل در شکل ۴-۳۴ الف و ب نمایش داده شده است.

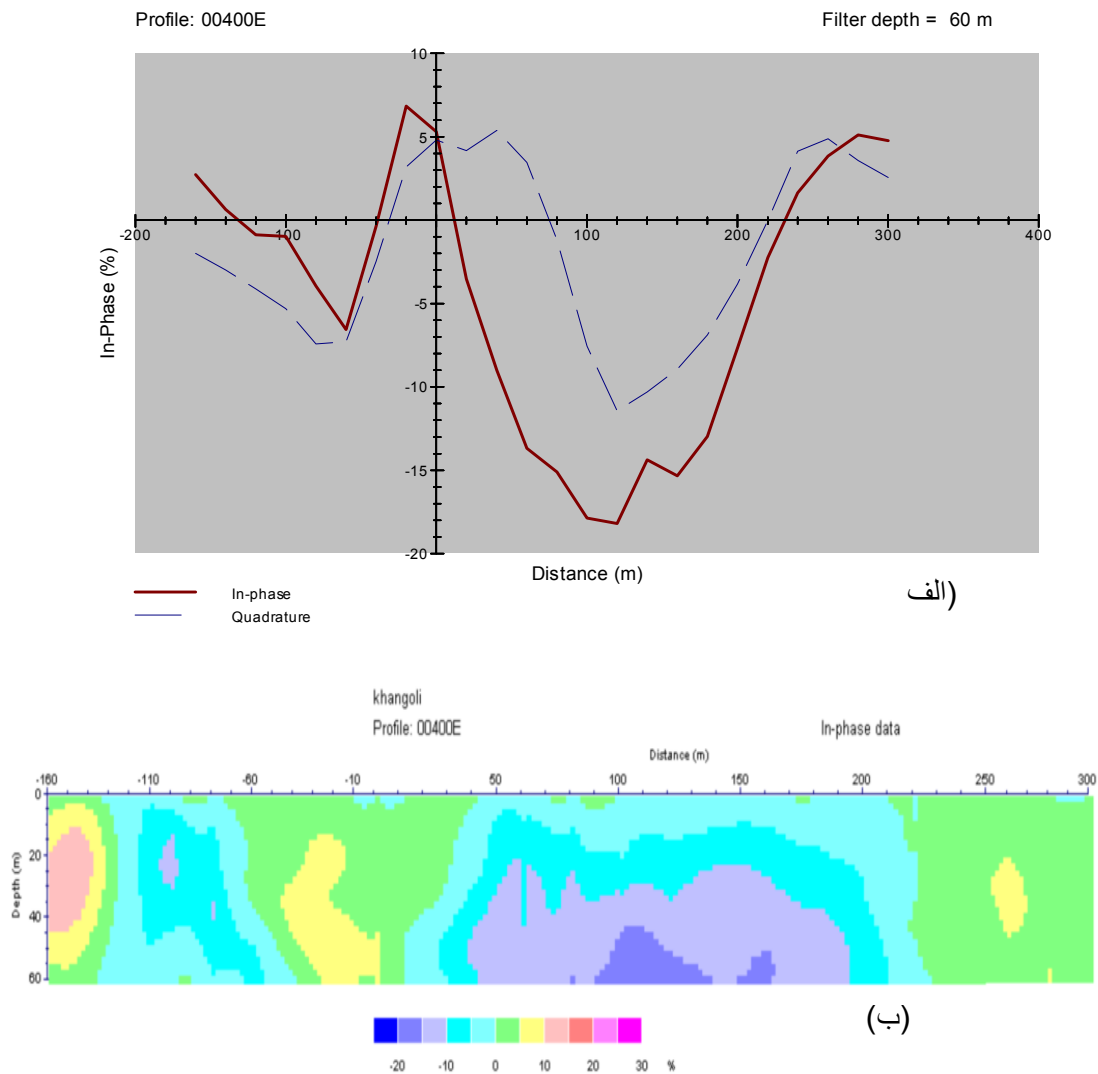
فیلتر فریزر در ۲۵۰ و ۲۰- متر برای داده‌های حقیقی دارای پیک می‌باشد.



شکل ۴-۳۴: الف) نمودار داده‌های خام و ب) نمودار فیلتر فریزر پروفیل ۴۰۰E

نتیجه اعمال فیلتر کاروس-هجلت و شبه مقطع چگالی جریان این پروفیل در شکل ۴-۳۵ الف و ب آورده شده است. بر روی این پروفیل دو بی‌هنجاری در سمت چپ شبه مقطع چگالی جریان مشاهده می‌گردد و به نظر می‌رسد زون هادی سمت چپ به دو قسمت تقسیم شده است که یک قسمت (شاخه) بین ایستگاه‌های ۱۳۰- و ۱۶۰- و با چگالی بالای نسبی (حدود ۱۵%) قرار دارد و قسمت (شاخه) دیگر بین ایستگاه‌های ۵۰ تا ۵۰- قرار دارد که نسبت به شاخه دیگر چگالی جریانی کمتری را دارد. در سمت راست

این پروفیل نیز همچنان یک زون هادی را مشاهده می‌نماییم که در بین ایستگاه‌های ۲۰۰ و ۲۵۰ قرار گرفته است و در ایستگاه ۲۵۰ متر چگالی جریان آن افزایش یافته است.



شکل ۴-۳۵: الف) نمودار کاروس-هجلت و ب) شبه مقطع چگالی جریان پروفیل ۴۰۰E

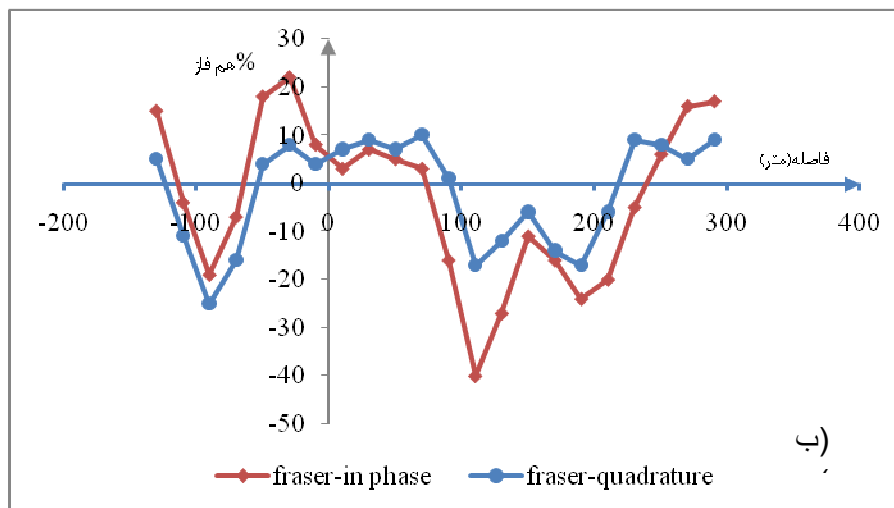
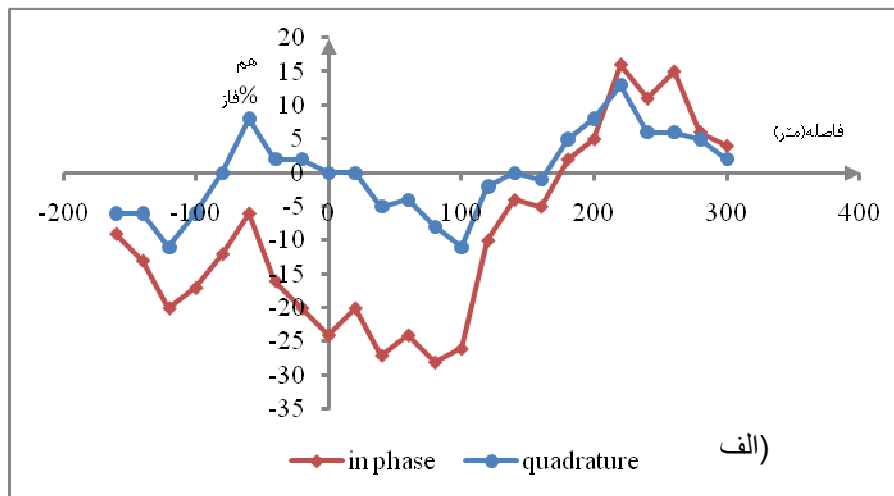
طبق نقشه زمین شناسی، بی‌هنجاری موجود در سمت چپ شبه مقطع چگالی جریان (شکل ۴-۳۵ بین ایستگاه ۱۳۰- و ۱۶۰-)، بر روی سرپانتینیت‌های برشی و رسوبات عهد حاضر قرار دارد. گسل فرعی با امتداد جنوب غربی-شمال شرقی در فاصله اندکی از این بی‌هنجاری قرار دارد. بی‌هنجاری VLF که بین

ایستگاه‌های ۵۰ تا ۵۰- اتفاق افتاده است بر روی واحد کنگلومرای پالئوسن و سنگ‌های آلتزه و سرپانتینیت برشی قرار دارد. نکته قابل توجه در مورد این بی‌هنجاری حضور چهار گسل فرعی (که سه تا از آنها امتداد شمالی-جنوبی و چهارمی امتداد غربی-شرقی دارد) در محدوده بی‌هنجاری می‌باشد. بی-هنجاری بین ایستگاه‌های ۲۰۰ و ۲۵۰ متر نیز بر روی سرپانتینیت‌های برشی و واحد شیلی-مارنی-ماسه سنگی، که گسل اصلی با امتداد شمال غربی-جنوب شرقی از آن عبور کرده است، قرار گرفته است.

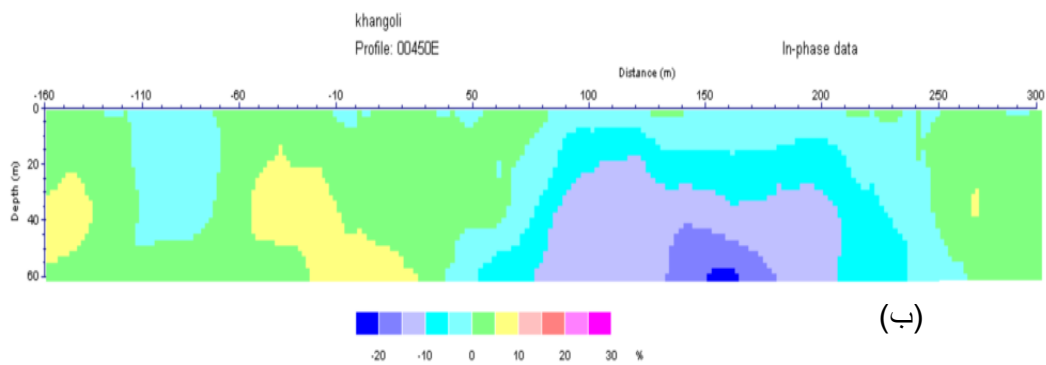
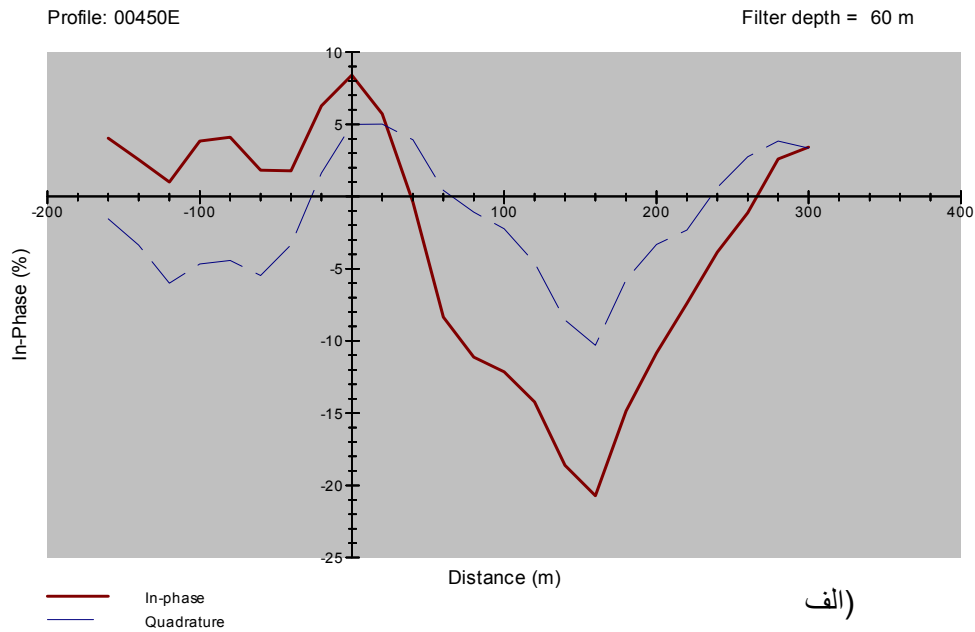
#### ۴-۳-۱۰ پروفیل ۴۵۰E

شکل ۴-۳۶ الف و ب نمودار داده‌های خام و فیلتر فریزر پروفیل ۴۵۰E را نشان می‌دهد. نمودار فیلتر فریزر داده‌های حقیقی برای این پروفیل ۲۰- و ۳۰۰ متر دو پیک نسبتاً بزرگ و دو پیک در ۲۰ و ۱۳۰-متر مشاهده می‌گردد. نمودار فیلتر کاروس-هجلت و شبه مقطع چگالی جریان در شکل ۴-۳۷ الف و ب مشاهده می‌شود. بر روی شبه مقطع مربوط به این پروفیل نیز ادامه روند مشاهده شده در پروفیل قبلی وجود دارد. در شکل ۴-۳۷ ب دو زون رسانا وجود دارد که یکی از آنها بین ایستگاه‌های ۱۴۰- و ۱۶۰- و دیگری بین ۳۰ و ۶۰- قرار دارد که شیب این توده نیز در این شبه مقطع قابل مشاهده است.

بی‌هنجاری موجود در سمت چپ شکل ۴-۳۷، از نظر زمین‌شناسی (با توجه به شکل ۲-۲) بر روی سرپانتینیت‌های برشی، رسوبات عهد حاضر و کنگلومرای پالئوسن قرار گرفته است. بین ایستگاه‌های ۸۰+ و ۱۶۰- که چگالی جریان مقداری بالاتر از صفر دارد، چهار گسل با امتدادهای مختلف عبور کرده است که یکی از آنها گسل معکوس با امتداد شمالی-جنوبی می‌باشد. گسل معکوس ذکر شده در موقعیتی قرار دارد که پیک چگالی جریان اتفاق افتاده است. بی‌هنجاری بین ایستگاه‌های ۲۵۰ و ۳۰۰ متر که در سمت راست مقطع چگالی جریان دیده می‌شود بر روی رسوبات عهد حاضر قرار گرفته است و گسل اصلی با امتداد شمال غربی- جنوب شرقی در فاصله حدود ۵۰ متری آن قرار دارد.



شکل ۴-۳۶: الف) نمودار داده‌های خام و ب) نمودار فیلتر فریزر پروفیل ۴۵۰E



شکل ۴-۳۷: الف) نمودار فیلتر کاروس-هجلت و ب) شبه مقطع چگالی جریان پروفیل ۴۵۰E

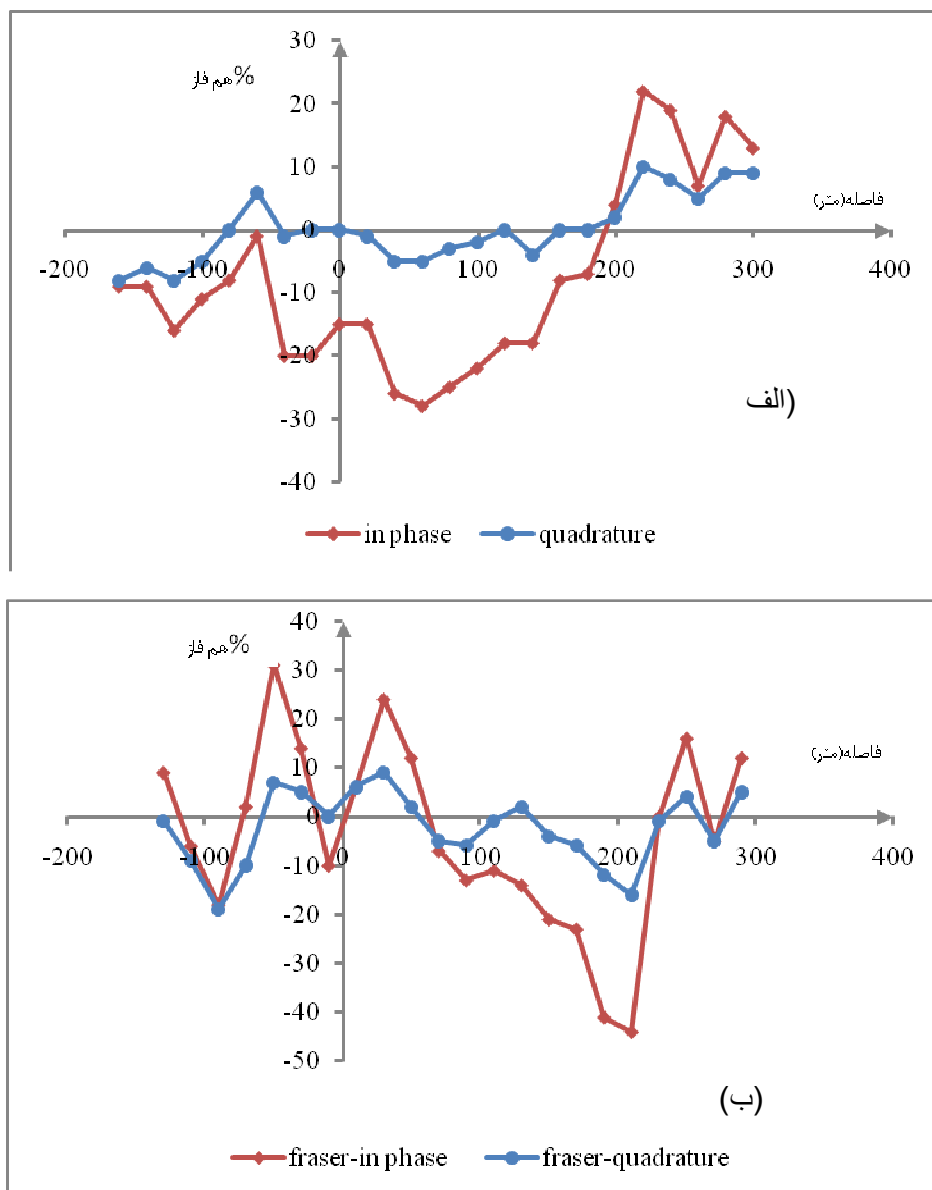
#### ۴-۳-۱۱ پروفیل ۵۰۰E

نمودار داده‌های خام و فیلتر فریزر پروفیل ۵۰۰E در شکل ۴-۳۸ الف و ب آورده شده است. فیلتر فریزر برای داده‌های حقیقی دارای سه پیک در موقعیت‌های ۲۵۰، ۲۰ و ۳۰- متر می‌باشد.

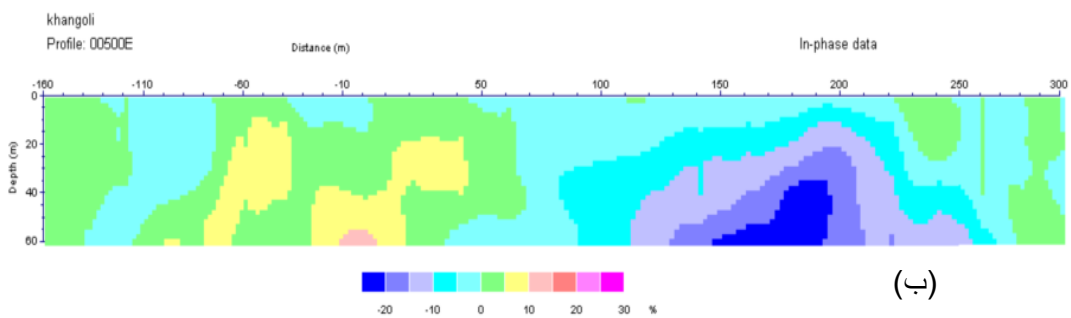
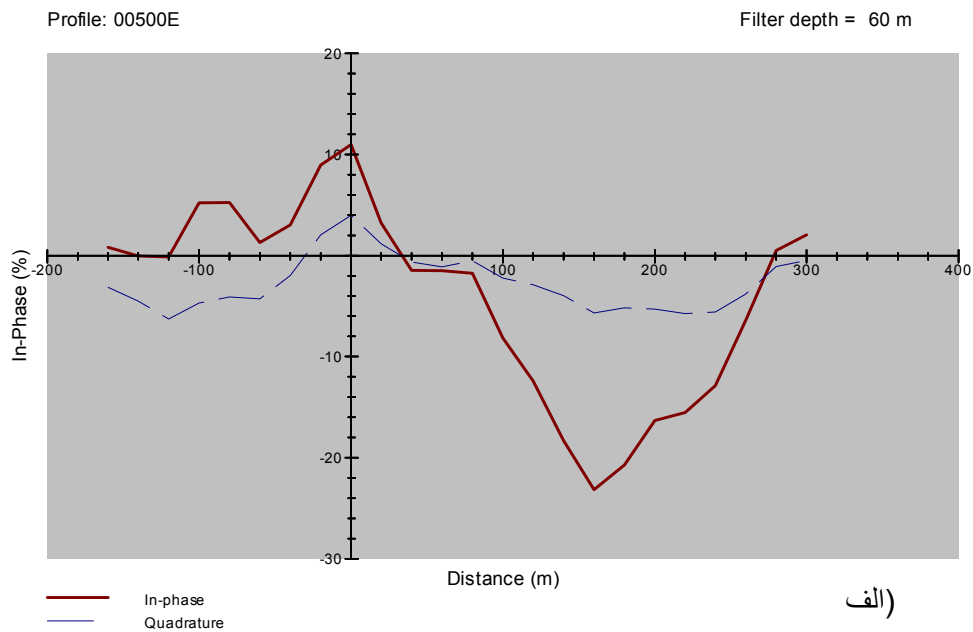
نتیجه اعمال فیلتر کاروس-هجلت بر روی این پروفیل در شکل ۴-۳۹ الف و شبه مقطع حاصل از آن در شکل ۴-۳۹ ب نمایش داده شده است. بر روی این پروفیل دو زون رسانا وجود دارد که نزدیک به یکدیگر می‌باشند و بین ایستگاه‌های ۵۰ و ۶۰- قرار دارند این دو زون با رنگ زرد در شکل ۴-۳۹ ب کاملاً



متمایز می‌باشند. از نظر زمین شناسی بی‌هنجاری موجود در محدوده بین  $+50$  و  $-60$  در شکل ۴-۳۹ رسوبات عهد حاضر قرار دارند و از بالا و پایین در مجاورت سرپانتینیت‌های برشی قرار دارند. دو گسل با امتدادهای شمالی-جنوبی و شمال غربی-جنوب شرقی در نزدیکی قسمتی از بی‌هنجاری قرار دارد که به دو شاخه تقسیم شده است.



شکل ۴-۳۸: الف) نمودار داده‌های خام و ب) نمودار فیلتر فریزر پروفیل  $50 \cdot E$



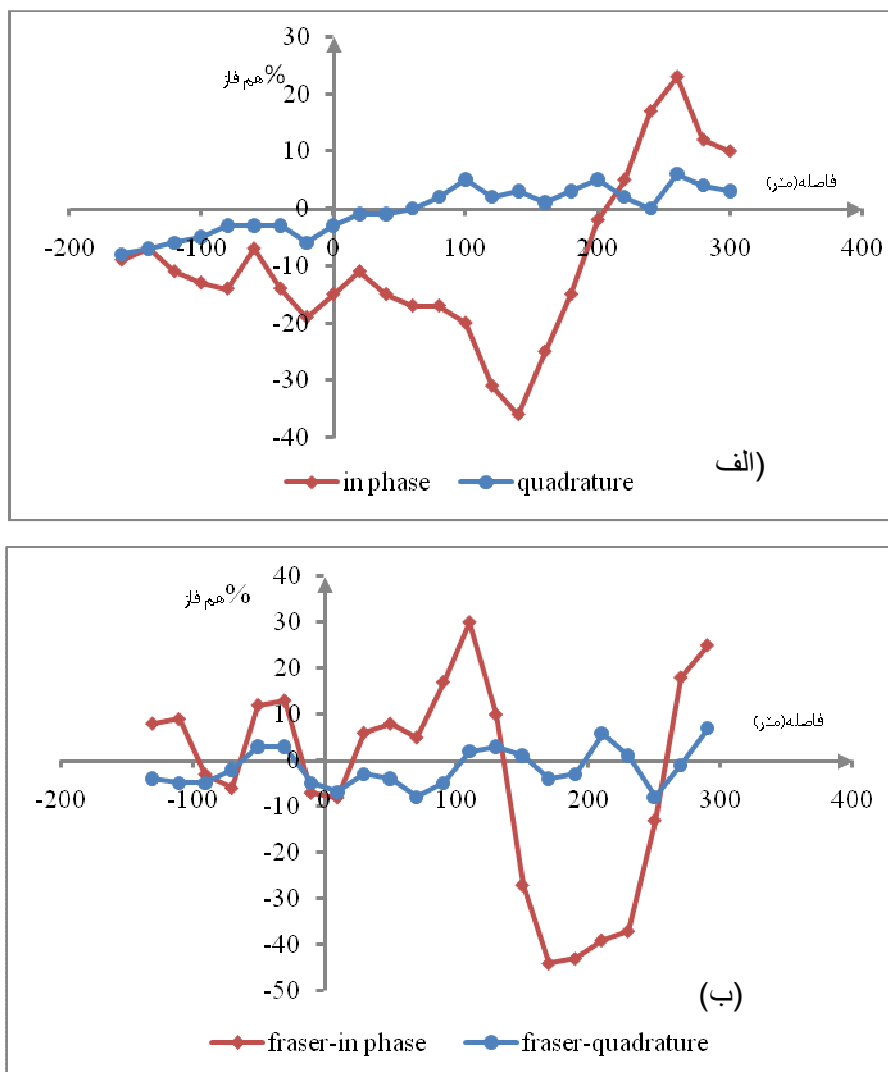
شکل ۴-۳۹: الف) نمودار فیلتر کاروس- هجالت و ب) شبه مقطع چگالی جریان پروفیل ۵۰E

#### ۴-۳-۱۲ پروفیل ۵۵۰E

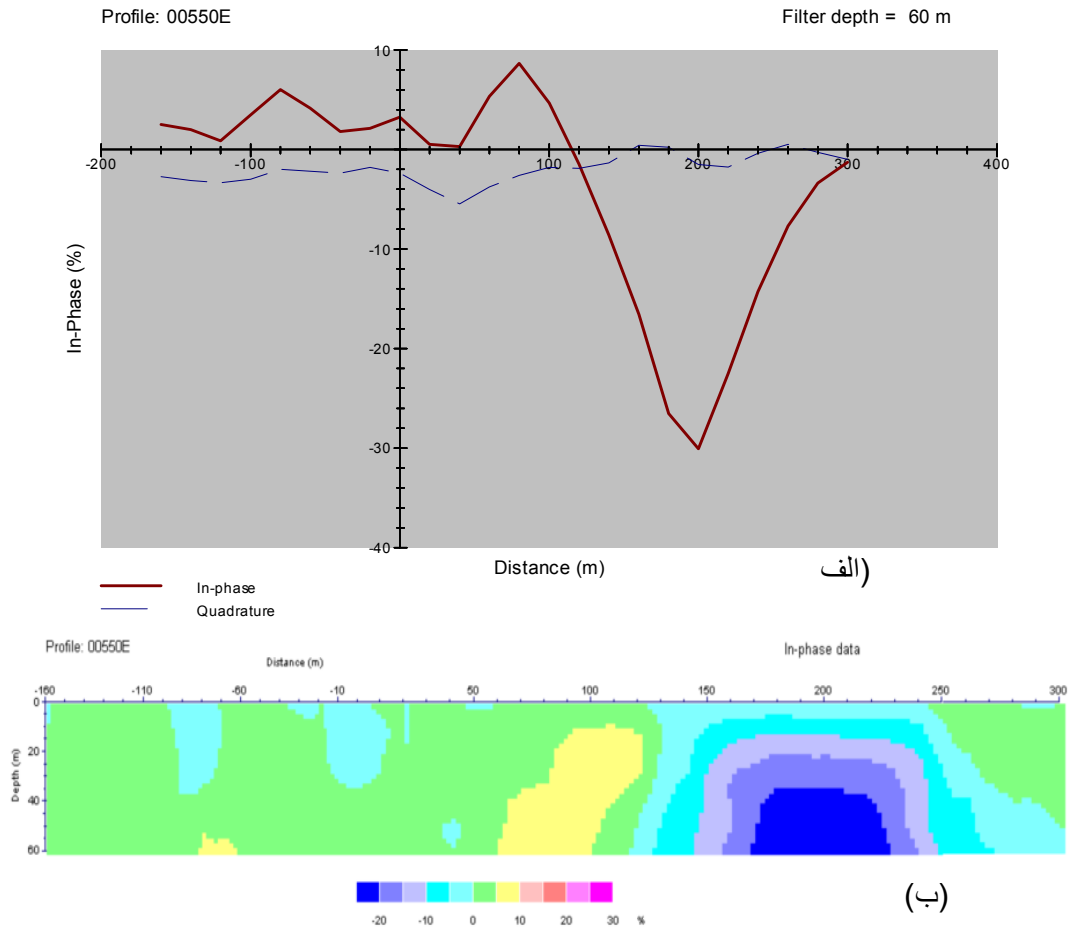
شکل ۴-۴۰ الف و ب نمودار داده‌های خام و فیلتر فریزر، و شکل ۴-۴۱ الف و ب نمودار کاروس-هجالت و مقطع چگالی جریان پروفیل ۵۵۰E را نشان می‌دهد.

بر روی این پروفیل نیز دو زون هادی مشاهده می‌شود، منطقه اول زیر ایستگاه ۷۰- و در عمق ۶۰ متر است و به نظر می‌رسد که گسترش آن در عمق ادامه داشته باشد. منطقه دوم هم بین ایستگاه ۶۰ و ۱۲۰ می‌باشد که از عمق ۱۰ تا ۶۰ متر ادامه دارد (شکل ۴-۴۱ ب).

طبق نقشه زمین شناسی محدوده، بی‌هنجاری قوی‌تر که با رنگ زرد در شکل ۴-۴۱ مشخص شده است بر روی رسوبات کنگلومرای پالتوسن و سرپانتینیت‌های برشی قرار گرفته است. گسل فرعی با امتداد شمالی-جنوبی در مرز بین این دو واحد زمین شناسی قرار گرفته است همچنین بر روی سرپانتینیت‌های برشی رگه‌های سیلیسی وجود دارد. قسمت سبز رنگ این بی‌هنجاری نیز بر روی رسوبات عهد حاضر قرار دارد که شامل یک گسل با امتداد شمالی- جنوبی می‌باشد.



شکل ۴-۴۰: الف) داده‌های خام و ب) نمودار فیلتر فریزر پروفیل ۵۵۰E



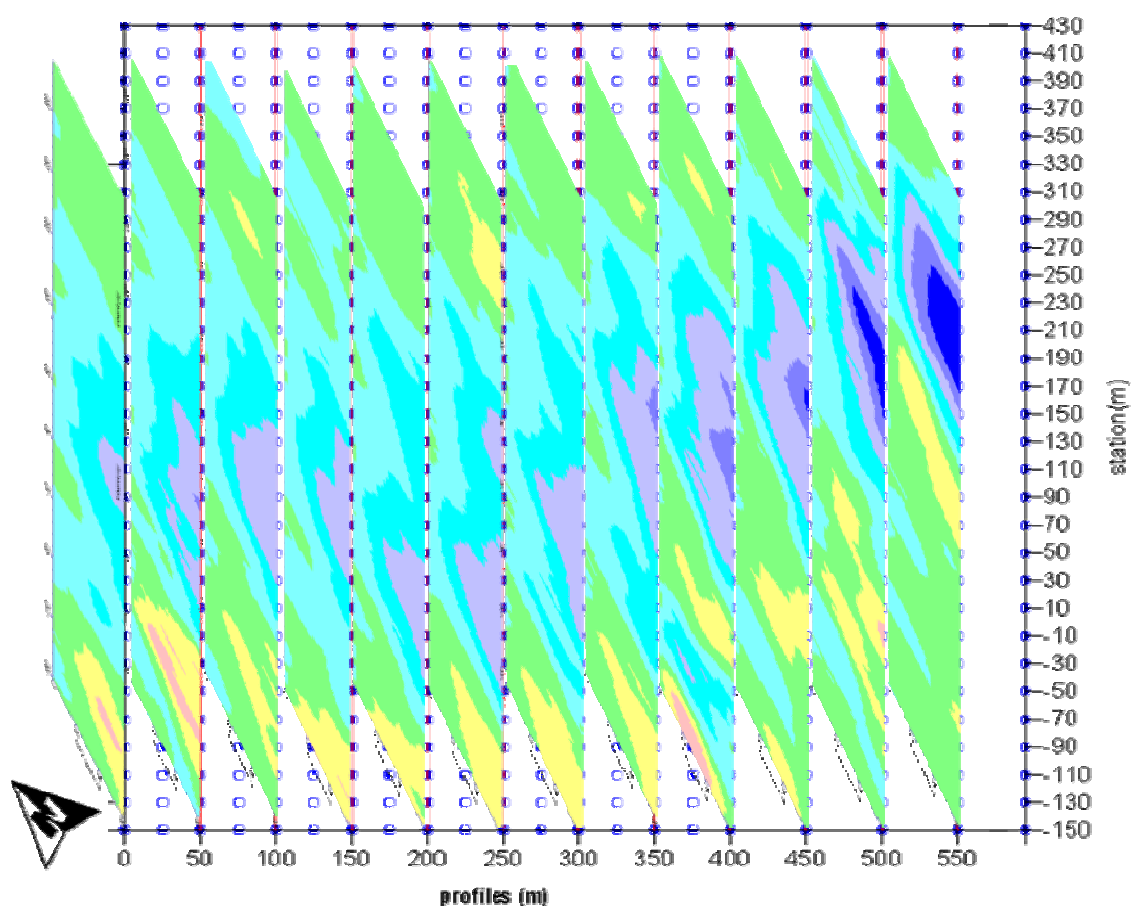
شکل ۴-۴۱: نمودار فیلتر کاروس- هجنت و ب) شبه مقطع چگالی جریان پروفیل ۵۵۰ E

#### ۴-۳-۱۳ جمع بندی

شکل ۴-۴۲ نتایج کلی برداشت VLF را نشان می‌دهد. همان‌طور که در این شکل ملاحظه می‌گردد، در پروفیل‌های VLF دو روند کانی‌سازی در شمال و جنوب پروفیل‌ها موجود می‌باشد. روند شمالی در مجاورت گسل اصلی منطقه به نام گسل چلی یوردی قرار دارد و غالباً بر روی واحدهای سرپانتینیت برشی، رسوبات عهد حاضر و واحد شیلی-مارنی واقع شده است (شکل ۲-۲).

هرچه به سمت شرق منطقه (پروفیل ۵۵۰ E) پیش می‌رویم کانی‌سازی کمتر می‌شود که می‌توان دلیل آنرا واحد شیلی-مارنی برشمرده که عمدتاً نفوذ پذیری اندکی را دارد. روند موجود در جنوب پروفیل‌ها نیز

عموماً بر روی سرپانتینیت‌های برشی قرار گرفته است که با دیگر واحدهای زمین شناسی موجود در منطقه همبری دارد و عمدتاً در مجاورت با گسل‌های فرعی موجود در منطقه که تعداد آنها کم نیست قرار گرفته است. البته، در فصل ششم این نتایج با نتایج حاصل از برداشت‌های ژئوفیزیکی مقاومت ویژه و IP و همچنین اطلاعات ژئوشیمی و زمین شناسی موجود تلفیق شده است و یک نتیجه گیری کلی از وضعیت موجود ارائه شده است.



شکل ۴-۴۲: نتایج کلی پروفیل‌های VLF در محدوده برداشت

#### ۴-۴ تفسیر کمی داده‌های VLF

با وجود استفاده وسیع از روش VLF زمینی در اکتشافات، پیشرفت چشم‌گیری در امر تفسیر مشاهده نمی‌شود. اکثر تفسیرهای VLF به صورت کیفی می‌باشد و محدود به تشخیص موقعیت رسانا و در مواردی مشخص کردن عمق با محاسبات سرانگشتی می‌باشد. همچنین با چشم پوشی از مواردی چون مقاومت ویژه محیط، امتداد عمقی محدود و شیب، امکان بروز دادن اشتباهات بزرگ در تفسیر وجود دارد. در سال‌های اخیر، مدل‌های با مقیاس و همچنین مدل‌های تئوری توسط محققین مورد مطالعه قرار گرفته است (بیکر و میرس<sup>۱</sup> ۱۹۷۹، اولسن<sup>۲</sup> ۱۹۸۰، کایکونن<sup>۳</sup> ۱۹۷۹) تا پاسخ VLF برای رساناهای با اشکال هندسی را دریابند و درک بهتری از تأثیر پارامترهای مختلف بر روی داده‌های VLF حاصل گردد. نتایج عددی پاسخ VLF یک مدل ورقه‌ای نازک قرار گرفته در یک محیط رسانا توسط ووزف و سویفت<sup>۴</sup> در سال ۱۹۷۱ با استفاده از تکنیک حل شبکه‌ای گزارش گردید.

نتایج مشابه برای رساناهای ورقه‌ای و نیم‌صفحه‌ها در سنگ بستر با مقاومت ویژه محدود توسط کایکونن (۱۹۷۹)، اولسن (۱۹۸۰)، سیدم<sup>۵</sup> (۱۹۸۱)، و پودار<sup>۶</sup> (۱۹۸۹) منتشر گردید. در سال ۱۹۷۹ کایکونن با استفاده از روش المان‌های محدود، پاسخ ورقه قائم شیب‌دار ۴۵ درجه را با مقادیر مختلف برای مقاومت در زیر روباره رسانا، با فرض مقادیر ثابت برای سنگ میزبان، مقاومت ویژه روباره، گسترش عمقی، و عرض رسانا را به دست آورد [Sinha, 1990]. لابسن و بکر<sup>۷</sup> (۱۹۸۷) از پروفیل‌های تیپر برای تفسیر داده‌های VLF بر روی رساناهای دارای رخنمون در سطح با شیب و مرز قائم دلخواه زیر یک روباره استفاده کردند. در سال ۱۹۹۶ چوتیو و همکاران مقاومت ویژه و فاز را با استفاده از فیلتر خطی از داده‌های VLF بدست

---

<sup>1</sup> Baker & Myers

<sup>2</sup> Olsson

<sup>3</sup> Kaikonen

<sup>4</sup> Vozoff & Swift

<sup>5</sup> Saydam

<sup>6</sup> Poddar

<sup>7</sup> Labson & Becker

آوردند [Chouteau et al., 1996] که و تکمیل و تعمیم آن که توسط غریبی و پدرسن در سال ۱۹۹۹ انجام شد [Gharibi & Pedersen, 1999].

بمیش<sup>۱</sup> در سال ۱۹۹۴ مدل‌سازی معکوس دو بعدی هموار و در سال ۱۹۹۸ مدل‌سازی معکوس سه بعدی و در سال ۲۰۰۰ تفسیر کمی دوبعدی داده‌های VLF را مورد مطالعه قرار داد [Beamish, 1994, 1998, 2000]. کایکونن و شارما<sup>۲</sup> در سال ۱۹۹۸ یک مقایسه بین مدل‌سازی معکوس غیرخطی داده‌های VLF و VLF-R را با روش VFSA و در سال ۲۰۰۱ یک مقایسه بین معکوس‌سازی خطی و غیرخطی دوبعدی از داده‌های VLF و VLF-R را انجام داده‌اند [Kaikkonen and Sharma, 1998, 2001].

در حالت کلی تفسیر کمی را می‌توان به سه دسته زیر تقسیم نمود [لطفی، ۱۳۸۷]:

۱- تفسیر توسط مدل‌سازی که شامل دو حالت مدل‌سازی عددی و مدل‌سازی فیزیکی می‌باشد و مدل‌سازی عددی نیز به دو قسمت مدل‌سازی عددی مستقیم و مدل‌سازی عددی معکوس تقسیم می‌شود.

۲- به دست آوردن مقاومت ویژه و فاز از داده‌های تپیر

۳- استفاده از روش گرادیان برای ساختارهای سه بعدی در جهت تفسیر کمی [Djeddi et al., 1998]

#### ۴-۴-۱ روش مورد استفاده برای تفسیر کمی

همان‌طور که در فصل‌های قبلی اشاره گردید تفسیر کمی داده‌های VLF توسط نرم افزار PREP VLF که در سال ۲۰۰۷ توسط سانتوس نوشته شده است که به روش مدل‌سازی معکوس عددی داده‌های VLF را مدل‌سازی نموده و نتایج آنرا توسط نرم افزار Surfer که به صورت مقطع مقاومت ویژه می-

---

<sup>۱</sup>-Beamish

<sup>۲</sup>-Sharma

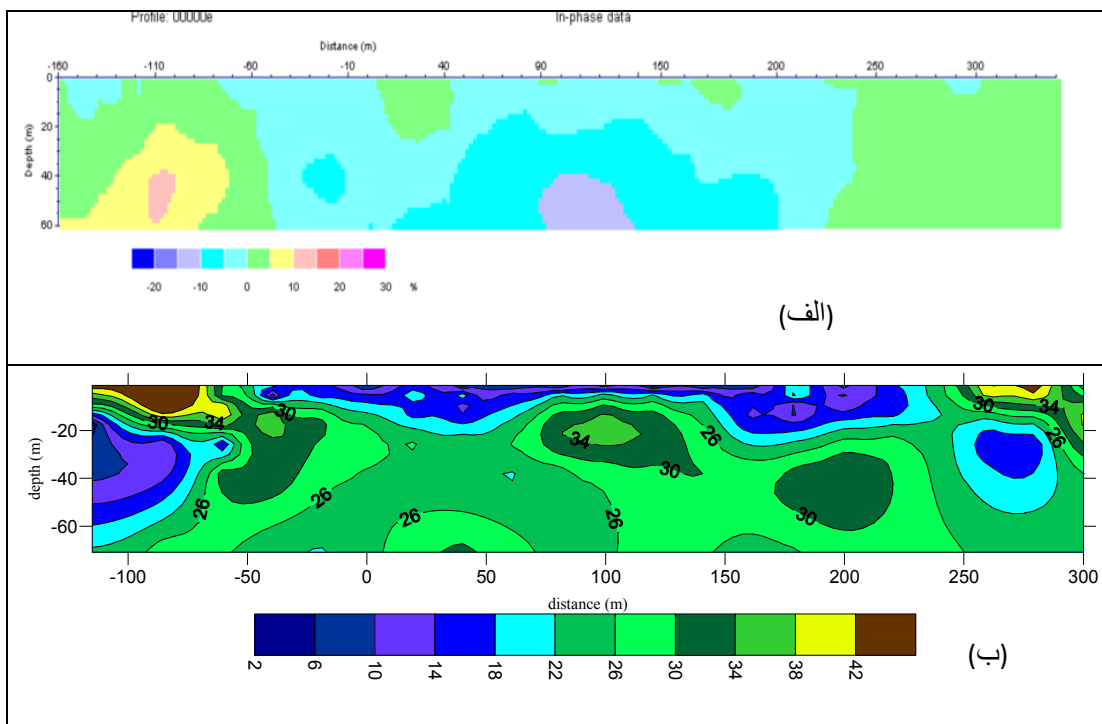
باشد، رسم نمودیم. به منظور مقایسه این نتایج و قضاوت در مورد انطباق تفسیر کیفی و کمی، شبه مقاطع تفسیر کیفی و کمی در هر پروفیل در کنار یکدیگر قرار داده شده‌اند. در هر پروفیل تفسیر کمی نیز ارائه گردیده است.

#### ۴-۴-۲ پروفیل صفر

شکل (۴-۴۳ الف و ب) به ترتیب مقاطع تفسیر کیفی و کمی پروفیل صفر را نشان می‌دهد.

همان‌طور که در شکل مشاهده می‌گردد این دو مقطع یا به عبارتی این دو تفسیر تطابق قابل قبولی را با یکدیگر دارند. شبه مقطع مقاومت ویژه در سمت چپ یک توده رسانا را نشان می‌دهد این توده رسانا از ایستگاه ۷۰- آغاز شده و به سمت ایستگاه ۱۰۰- گسترش دارد از نظر عمقی نیز این بی‌هنجاری رسانا در عمق ۲۰ تا ۶۰ متر قرار دارد. در سمت راست نیز یک بی‌هنجاری کوچک بین ۲۵۰ و ۳۰۰ قابل مشاهده می‌باشد. در عمق کوچک‌تر از ۲۰ متر نیز بین ایستگاه‌های ۵۰- و ۵۰ و همچنین بین ۱۵۰ و ۲۴۰ بی-هنجاری مقاومت ویژه مشاهده می‌گردد که بر روی مقطع چگالی جریان متناظر نیز این پدیده قابل مشاهده است.

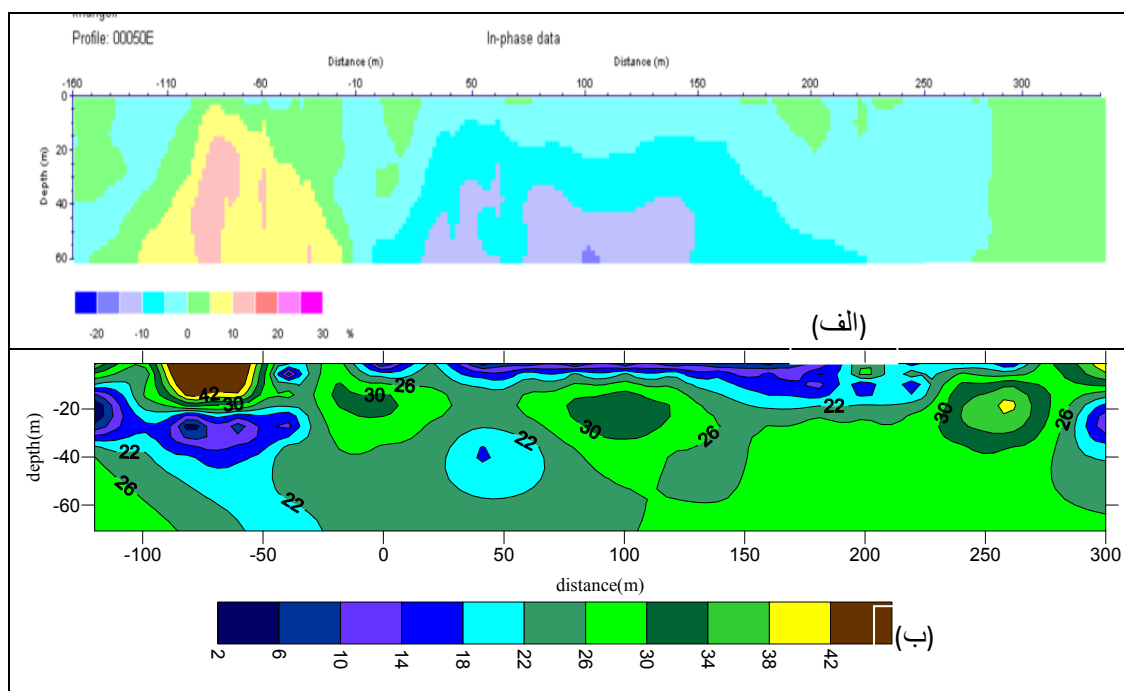




شکل ۴-۴۳: الف) شبه مقطع چگالی جریان و ب) شبه مقطع مقاومت ویژه پروفیل ۵۰E

#### ۴-۴-۳ پروفیل ۵۰E

شکل ۴-۴۴ الف و ب مقاطع تفسیر کیفی و کمی پروفیل ۵۰E را نشان می دهد.

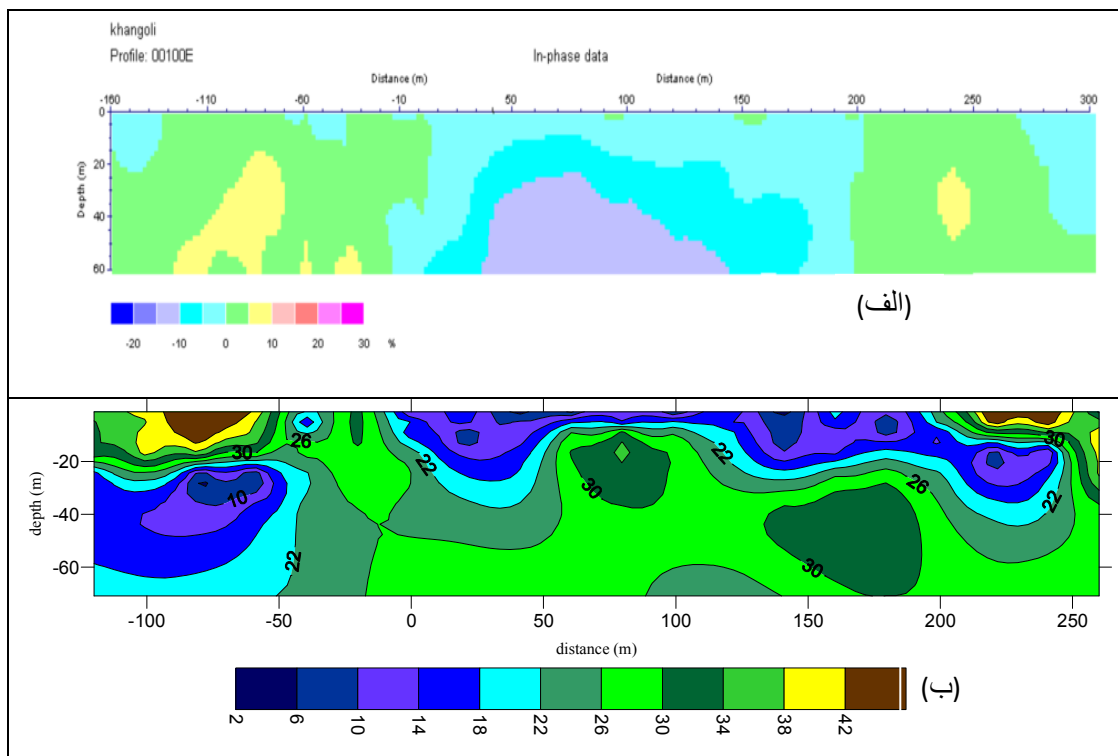


شکل ۴-۴۴: الف) شبه مقطع چگالی جریان و ب) شبه مقطع مقاومت ویژه پروفیل ۵۰E

ضمن اشاره به تطابق نسبتاً خوب این دو مقطع با یکدیگر، در مقطع مقاومت ویژه پروفیل E ۵۰ بین ایستگاه ۳۰- و ۱۴۰- یک بی‌هنجاری نسبتاً خوب مشاهده می‌گردد. بی‌هنجاری دیگر که مقدار مقاومت ویژه آن نسبتاً بالاتر از بی‌هنجاری قبلی است بین ایستگاه ۳۰ تا ۶۰ و در عمق ۳۰ تا ۵۰ متر قرار دارد.

#### ۴-۴-۴ پروفیل ۱۰۰E

شکل ۴-۴۵ الف و ب مقاطع چگالی جریان و مقاومت ویژه پروفیل ۱۰۰E را نشان می‌دهد. همان‌طور که ملاحظه می‌گردد، مقطع مقاومت ویژه بی‌هنجاری‌های موجود در تفسیر کمی را پوشش می‌دهد.

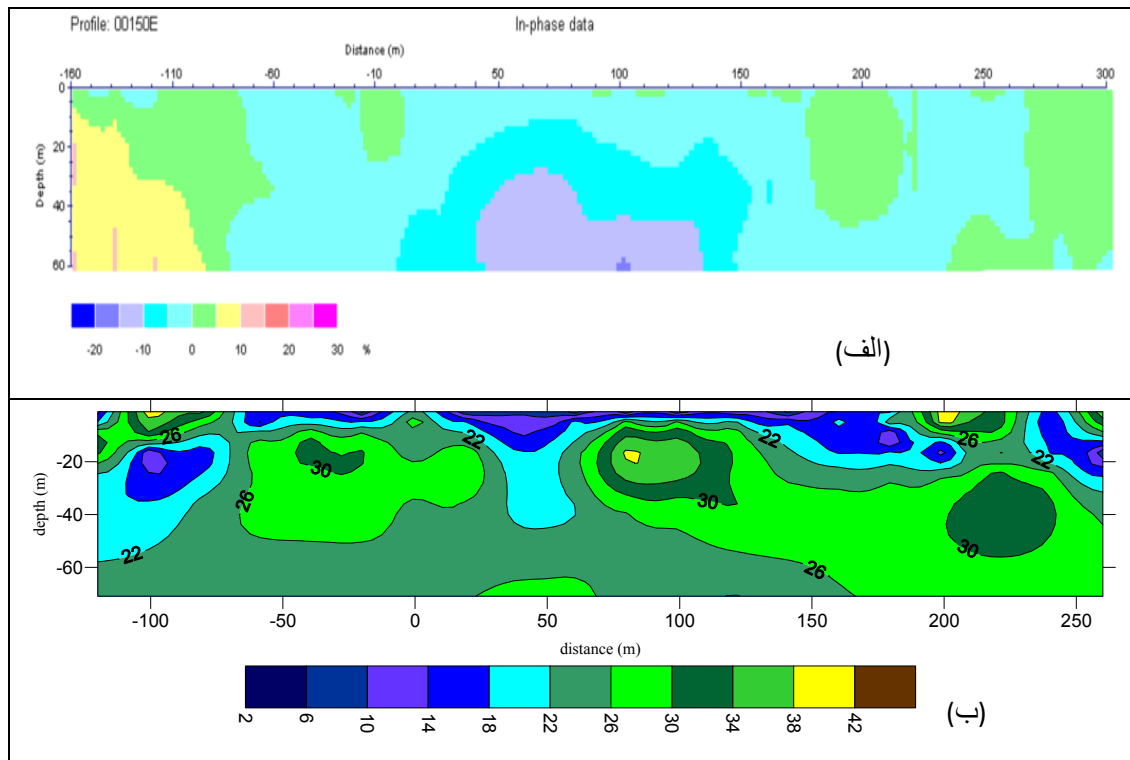


شکل ۴-۴۵: الف) شبه مقطع چگالی جریان و ب) شبه مقطع مقاومت ویژه پروفیل ۱۰۰E

نکته قابل ذکر در آن بی‌هنجاری مشاهده شده در محدوده ۰ تا ۵۰ متر و ۱۲۰ تا ۱۸۰ متر می‌باشد که در عمق کمتر از ۲۰ متر قرار دارند و مقدار متناظر آن در مقطع چگالی جریان بسیار ضعیف و کوچک است.

#### ۴-۴-۵ پروفیل ۱۵۰E

شکل ۴-۴۶ الف و ب مقاطع تفسیر کیفی و کمی این پروفیل را نشان می‌دهد.

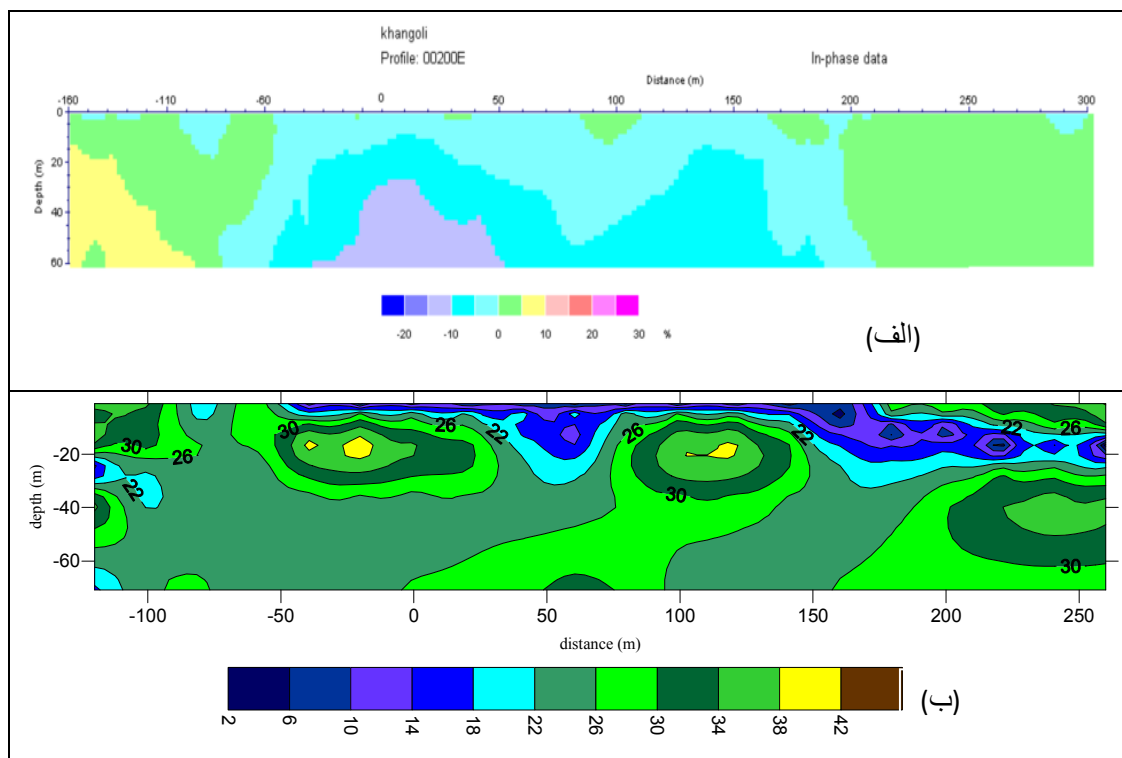


شکل ۴-۴۶: الف) شبه مقطع چگالی جریان و ب) شبه مقطع مقاومت ویژه پروفیل ۱۵۰E

بی‌هنجاری قابل مشاهده در مقطع مقاومت ویژه در محدوده ۷۵- تا ۱۲۰- متر، با اندکی جابجایی، متناظر با بی‌هنجاری موجود در مقطع چگالی جریان می‌باشد. دیگر بی‌هنجاری‌های مقطع مقاومت ویژه در عمق کمتر از ۲۰ متر و در محدوده ۰ تا ۶۰- متر و ۱۲۰ تا ۲۰۰ متر قرار دارند همچنین در محدوده ۱۰ تا ۷۰ متر که تا عمق ۴۰ متر گسترش دارد.

#### ۴-۴-۶ پروفیل ۲۰۰E

شکل ۴-۴۷ الف و ب مقاطع تفسیر کیفی و کمی پروفیل ۲۰۰E را نشان می‌دهد.

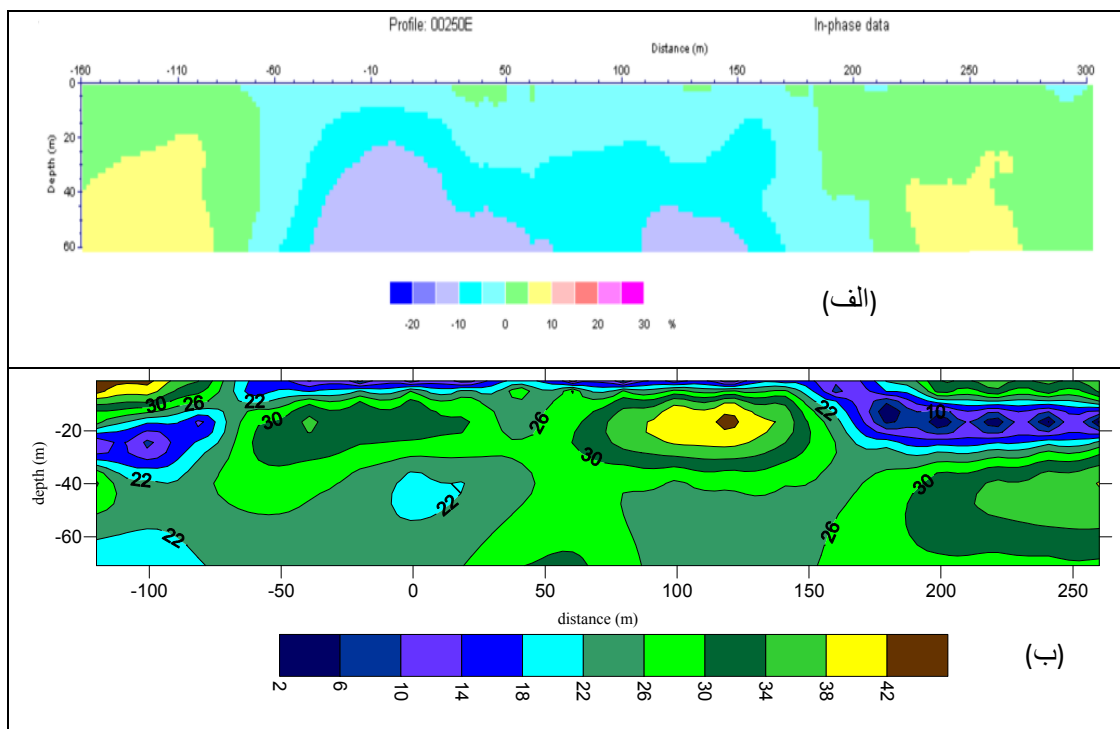


شکل ۴-۴۷: الف) شبه مقطع چگالی جریان و ب) شبه مقطع مقاومت ویژه پروفیل ۲۰۰E

هماهنگی و تطابق بین دو مقطع در محدوده بی‌هنجاری‌های مشاهده شده در محدوده ۲۰۰ تا ۳۰۰ متر و همچنین بی‌هنجاری‌های کوچک اطراف ۱۰۰ متر و ۴۰ متر مطلوب می‌باشد اما همان‌طور که ملاحظه می‌گردد بی‌هنجاری مشاهده شده در محدوده ۶۰- تا ۱۶۰- چگالی جریان بر روی مقطع مقاومت ویژه متناظر هماهنگی مطلوبی ندارد. نکته قابل ذکر در مورد این پروفیل و پروفیل ۱۵۰E، با توجه به این‌که این دو پروفیل با آرایش دوقطبی-دوقطبی نیز مورد پیمایش قرار گرفته‌اند، تطابق خوب بین مقاطع به-دست آمده از روش مقاومت ویژه و مقطع مقاومت ویژه بدست آمده از روش VLF می‌باشد که می‌توان آنرا تأییدی برای تفسیرهای کمی انجام گرفته در نظر گرفت.

#### ۴-۴-۷ پروفیل ۲۵۰E

مقاطع تفسیر کیفی و کمی مربوط به این پروفیل در شکل ۴-۴۸ الف و ب آورده شده است.

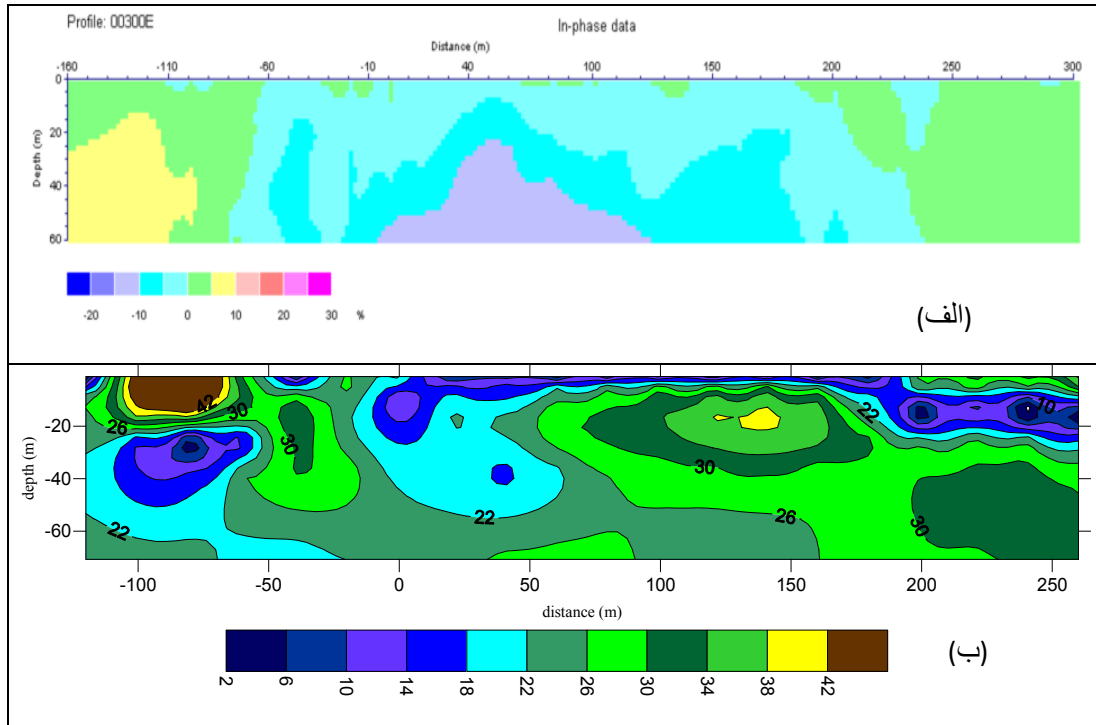


شکل ۴-۴۸: الف) شبه مقطع چگالی جریان و ب) شبه مقطع مقاومت ویژه پروفیل ۲۵۰E

از نظر موقعیت مکانی بی‌هنجاری‌های موجود در شکل الف و ب با یکدیگر تطابقی خوبی دارد ولی از نظر عمقی یکدیگر را تأیید نمی‌کنند.

#### ۴-۴-۸ پروفیل ۳۰۰E

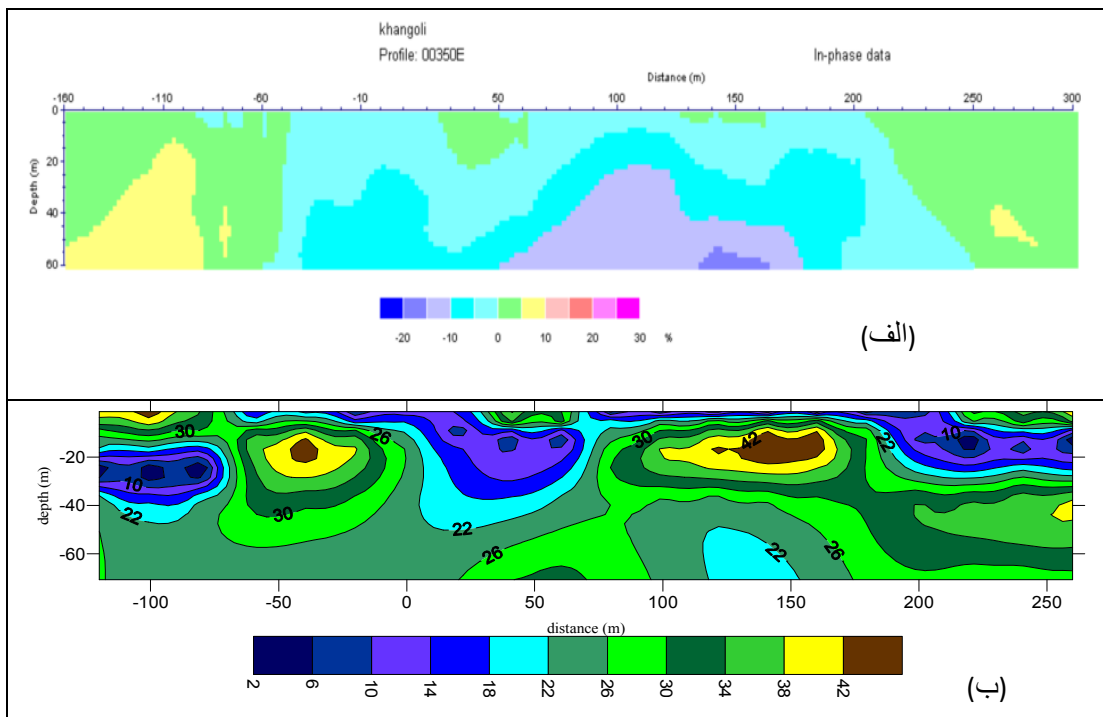
شکل ۴-۴۹ الف و ب مقاطع چگالی جریان و مقاومت ویژه را نشان می‌دهد. بی‌هنجاری‌های موجود بر روی مقطع مقاومت ویژه در محدوده ۷۰- تا ۱۲۰- و گسترش عمقی ۲۰ تا ۶۰ متر، در محدوده ۰ تا ۵۰ متر با گسترش عمقی ۰ تا ۵۰ متر و محدوده ۱۹۰ تا ۲۶۰ متر و گسترش عمقی ۰ تا ۲۵ متر می‌باشد.



شکل ۴-۴۹: الف) شبه مقطع چگالی جریان و ب) شبه مقطع مقاومت ویژه پروفیل ۳۰۰E

#### ۹-۴-۴ پروفیل ۳۵۰E

شکل ۴-۵۰: الف و ب مقاطع تفسیر کیفی و کمی پروفیل ۳۵۰E را نشان می‌دهد.

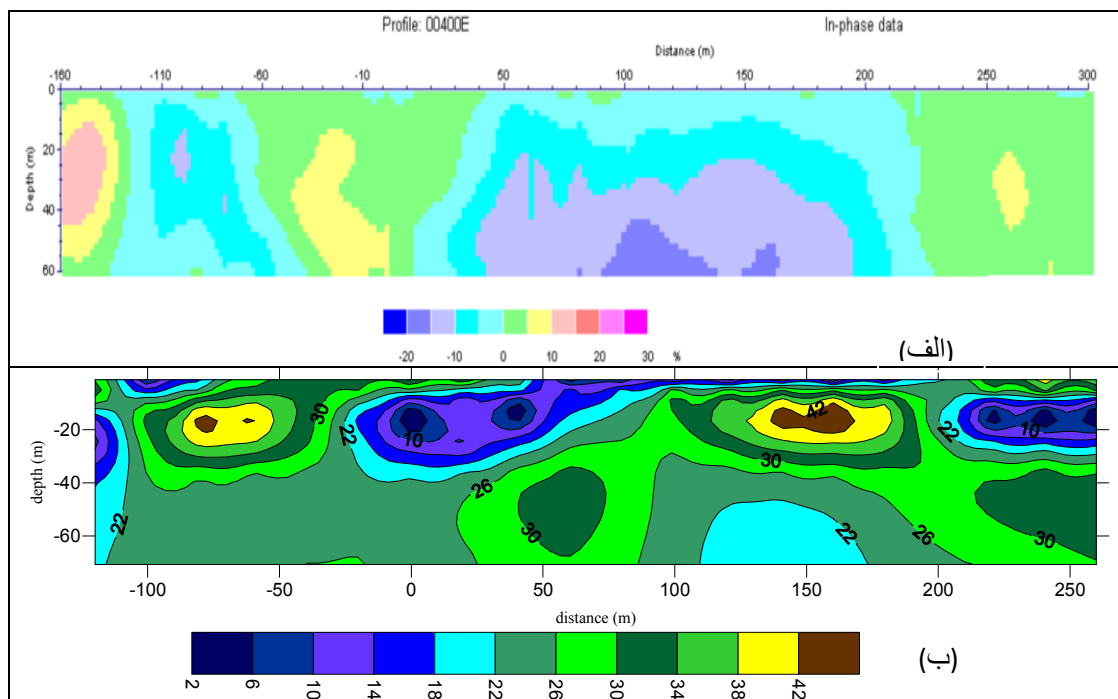


شکل ۴-۵۰: الف) شبه مقطع چگالی جریان پروفیل و ب) شبه مقطع مقاومت ویژه پروفیل ۳۵۰E

ضمن اشاره به تطابق خوب بین این دو مقطع بی‌هنجاری‌های موجود در مقطع مقاومت ویژه به شرح زیر می‌باشد: ۱- از ۷۵- تا ۱۲۰- متر و در عمق ۲۰ تا ۴۵ متر ۲- در محدوده ۰ تا ۷۰ متر و با گسترش عمقی ۰ تا ۵۰ متر ۳- از ۱۸۰ تا ۲۷۰ متر و در عمق ۰ تا ۳۰ متر.

#### ۴-۴-۱۰ پروفیل ۴۰۰E

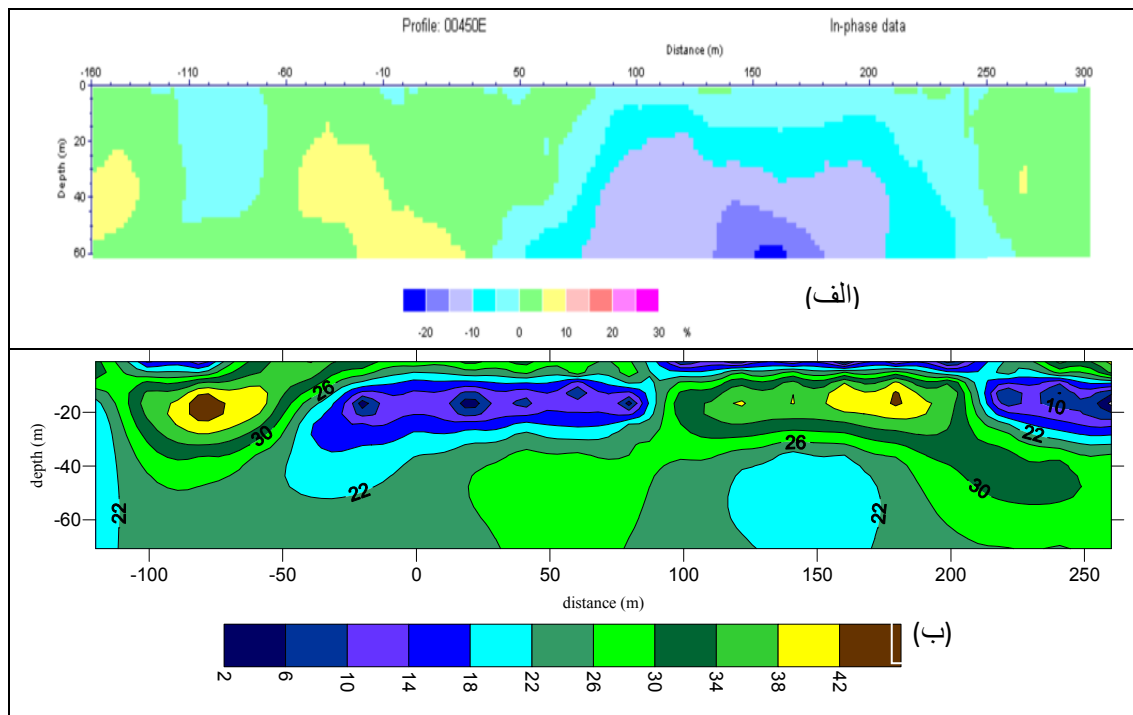
شکل ۴-۵۱ مقاطع چگالی جریان و مقاومت ویژه این پروفیل را نشان می‌دهد. بی‌هنجاری‌های موجود در این دو مقطع تطابق خوب از نظر محدوده قرارگیری بی‌هنجاری و از نظر گسترش عمقی تطابق کمتری را دارند. بی‌هنجاری‌های مشاهده شده در مقطع مقاومت ویژه از ۱۲۰- آغاز شده و به نظر می‌رسد که به سمت چپ گسترش دارد و در عمق ۱۰ تا ۶۰ متر قرار دارد. بی‌هنجاری دیگر در محدوده ۲۵- تا ۶۰ متر و سومین بی‌هنجاری از ۲۰۰ تا ۲۷۰ متر و در عمق ۱۰ تا ۳۰ متر قرار دارد.



شکل ۴-۵۱: الف) شبه مقطع چگالی جریان و (ب) شبه مقطع مقاومت ویژه پروفیل ۴۰۰E

#### ۴-۴-۱۱ پروفیل ۴۵۰E

شکل ۴-۵۲ مقاطع چگالی جریان و مقاومت ویژه این پروفیل را نشان می‌دهد. در مقطع مقاومت ویژه یک بی‌هنجاری از ۵۰ تا ۸۰ و در عمق ۱۰ تا ۴۵ متر قرار دارد و بی‌هنجاری دیگر در محدوده ۲۲۰ تا ۲۷۰ متر و گسترش عمقی ۱۰ تا ۳۰ متر قرار گرفته است. در سمت چپ نیز به نظر می‌رسد در صورت ادامه مقطع بی‌هنجاری متناظر با آنچه که در مقطع چگالی جریان وجود دارد را، داشته باشیم.

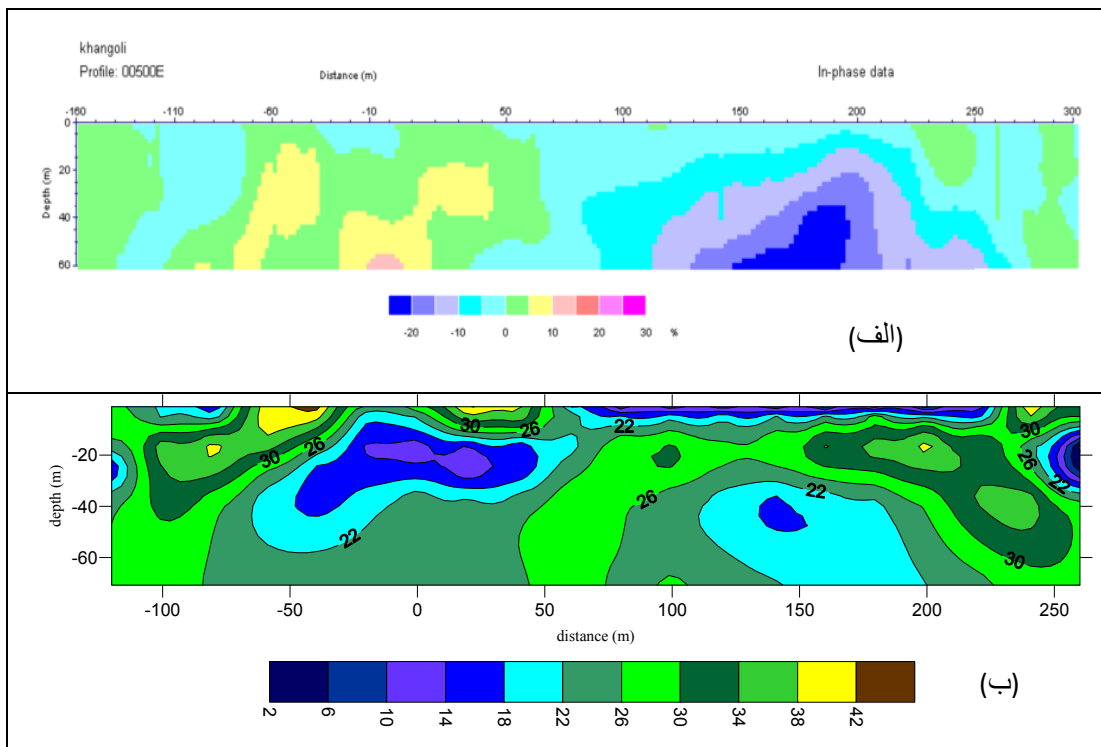


شکل ۴-۵۲: الف) شبه مقطع چگالی جریان و ب) شبه مقطع مقاومت ویژه پروفیل ۴۵۰E

#### ۴-۴-۱۲ پروفیل ۵۰۰E

شکل ۴-۵۳ الف و ب مقاطع تفسیر کیفی و کمی پروفیل ۵۰۰E را نشان می‌دهد. تطابق مطلوب بین این دو مقطع حائز اهمیت می‌باشد. در مقطع مقاومت ویژه در یک بی‌هنجاری در محدوده ۶۰- و ۶۰ متر و با گسترش عمقی ۰ تا ۶۰ متر مشاهده می‌شود. بی‌هنجاری دیگر در این مقطع در محدوده ۱۲۰ تا ۲۰۰ متر و در عمق ۴۰ تا ۷۰ متر موجود است و بالاخره، یک بی‌هنجاری در طرفین ایستگاه ۲۵۰ متر و در عمق ۱۰ تا ۴۰ متر مشاهده می‌گردد.

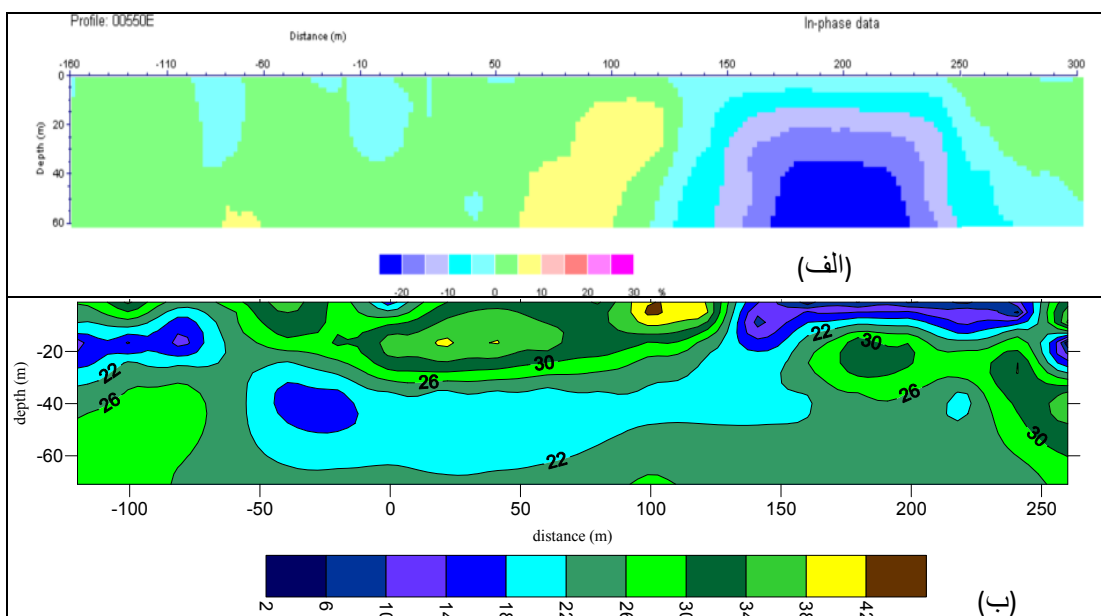




شکل ۴-۵۳: الف) شبه مقطع چگالی جریان و ب) شبه مقطع مقاومت ویژه پروفیل ۵۰۰E

#### ۴-۴-۱۳ پروفیل ۵۵۰E

شکل ۴-۵۴ الف و ب مقاطع چگالی جریان و مقاومت ویژه پروفیل ۵۵۰E را نشان می دهد.



شکل ۴-۵۴: الف) شبه مقطع چگالی جریان و ب) شبه مقطع مقاومت ویژه پروفیل ۵۵۰E

بی‌هنجاری به‌هم پیوسته مقطع مقاومت ویژه در محدوده ۱۴۰ متر تا ۲۵۰ متر و با عمق کمتر از ۲۰ متر قرار دارد و با حرکت در جهت منفی محور ایستگاه‌ها ادامه بی‌هنجاری مذکور که بین ۵۰- و ۱۴۰ متر و در عمق ۳۰ تا ۶۰ متر قرار دارد، ضعیف‌تر می‌شود (مقاومت ویژه آن افزایش می‌یابد). بی‌هنجاری دیگر قابل مشاهده در این مقطع، در محدوده ۶۰- تا ۱۳۰- متر و عمق ۱۰ تا ۳۰ متر قرار گرفته است.

# فصل پنجم

فیلتر فریزر تعدیل شده

## ۵-۱ مقدمات فیلتر فریزر تعدیل شده

همان‌طور که در فصل پنجم توضیح داده شد فیلتر فریزر در سال ۱۹۶۹ توسط فریزر طراحی شد. اساس کار این فیلتر کاهش نوفه<sup>۱</sup>های زمینه و جلوگیری از افزایش یافتن نوفه‌های تصادفی یا اتفاقی<sup>۲</sup> به صورت مبالغه آمیز می‌باشد. این فیلتر به عنوان یک فیلتر پایین‌گذر<sup>۳</sup> شناخته می‌شود [Fraser, 1969] و عملکرد آن به‌طور خلاصه تبدیل فراگذرها<sup>۴</sup> (محل‌های تقاطع منحنی با محور افقی) به پیک می‌باشد به‌طوری‌که مکان پیک‌ها در هر پروفیل مشخص‌کننده موقعیت قرارگیری رسانای زیر سطحی می‌باشد. اگر نوفه‌های موجود در محدوده برداشت فقط نوفه‌های یکنواخت و زمینه باشد این فیلتر به خوبی تأثیر این نوفه‌ها را از بین می‌برد، اما شرایط در برداشت‌های ژئوفیزیکی به گونه‌ای است که اغلب علاوه بر نوفه‌های زمینه، نوفه‌های تصادفی نیز بر روی داده‌ها تأثیر گذار می‌باشد. اعمال فیلتر فریزر بر روی داده‌های خام در صورتی‌که باعث کاهش این نوفه‌های تصادفی نیز شود، عملکرد بهینه‌ای را برای آن رقم خواهد زد.

نکته قابل توجه در این بحث این است که گاهی اعمال فیلتر فریزر بر روی داده‌های خام ممکن است نه-تنها موجب کاهش نوفه‌های تصادفی نگردد بلکه تا حدی باعث افزایش این نوفه‌ها شود.

این مسئله را می‌توان به‌صورت ریاضی اثبات نمود. اگر نوفه تصادفی مؤثر در برداشت داده ایستگاه  $M_1$ ،  $\delta_1$  باشد و به همین ترتیب نوفه‌های تصادفی  $\delta_2$ ،  $\delta_3$  و  $\delta_4$  را در ایستگاه‌های  $M_2$ ،  $M_3$  و  $M_4$  داشته باشیم (علامت  $\delta$  ها ممکن است مثبت یا منفی باشد) در صورت اعمال فیلتر فریزر بر روی داده‌های خام خواهیم داشت:

$$m_1 = M_1 + \delta_1, \quad m_2 = M_2 + \delta_2, \quad m_3 = M_3 + \delta_3, \quad m_4 = M_4 + \delta_4$$

---

<sup>1</sup> -Noise

<sup>2</sup> -Random

<sup>3</sup> -Low pass

<sup>4</sup> -Crossover

$$F_{2,3} = (m_1+m_2) - (m_3+m_4) \rightarrow F_{2,3} = (M_1+\delta_1+M_2+\delta_2) - (M_3+\delta_3+M_4+\delta_4)$$

$$F_{2,3} = (M_1+M_2) - (M_3+M_4) + ((\delta_1+\delta_2) - (\delta_3+\delta_4)) \quad (1-5)$$

رابطه بالا (1-5) مقدار نهایی فیلتر فریزر در ایستگاه بین  $M_2$  و  $M_3$  را نشان می‌دهد.

در بهترین حالت ممکن علامت‌های  $(\delta_1+\delta_2)$  و  $(\delta_3+\delta_4)$  موافق هم است و بنابراین مقدار نهایی فیلتر فریزر در نقطه مورد نظر با کاهش نوفه همراه است به‌عنوان مثال مقادیر زیر را برای نوفه‌ها در نظر بگیرید

$$\delta_1 = -20, \delta_2 = 70, \delta_3 = -40, \delta_4 = 80: \quad \leftarrow$$

$$(\delta_1+\delta_2) - (\delta_3+\delta_4) = (50 - 40) = -10 < 90$$

$$\delta_1 = 20, \delta_2 = 70, \delta_3 = 40, \delta_4 = 80 \quad \leftarrow$$

$$(\delta_1+\delta_2) - (\delta_3+\delta_4) = (90-120) = -30 < 120$$

اما حالت دیگر را می‌توان این‌گونه در نظر گرفت که علامت پرنانز اول یعنی  $(\delta_1+\delta_2)$  مخالف علامت پرنانز دوم یعنی  $(\delta_3+\delta_4)$  است و بنابراین با تأثیر منفی در  $(\delta_3+\delta_4)$  مقدار نهایی فیلتر فریزر برابر با جمع کل نوفه‌های موجود در  $M_1, M_2, M_3$  و  $M_4$  می‌باشد برای مثال داریم:

$$\delta_1 = 20, \delta_2 = 70, \delta_3 = -40, \delta_4 = -80 \quad \leftarrow$$

$$(\delta_1+\delta_2) - (\delta_3+\delta_4) = (90+120) = 210$$

این مسئله را می‌توان یک نقطه ضعف برای فیلتر فریزر برشمرد. با بررسی این مطلب برآن شدیم تا تغییراتی را در این فیلتر، به منظور بهبود بخشیدن به عملکرد آن، ایجاد نماییم و راه‌های مختلفی می‌تواند بدین منظور مورد آزمایش قرار گیرد و البته نتایج آنها حدالامکان می‌بایست با نتایج فیلتر فریزر معمولی و شواهد عینی (در صورت وجود) مقایسه گردد. یکی از این راه‌ها تعدیل نمودن این فیلتر است.

روش مشابهی نیز توسط کامکار روحانی و یورن ارائه گردیده که در آن از مقاومت ویژه میانگین وزنی یا تعدیل شده استفاده شده است و برای مشخص نمودن آلودگی‌های زیر سطحی به کار برده شده است که البته برای هر نوع کاربرد اکتشافی دیگر مانند اکتشاف مواد معدنی قابل استفاده است [Kamkar Rouhani, 2001] و [Kamkar Rouhani and Uren, 2000].

مقاومت ویژه میانگین وزنی (تعدیل شده) در این مقالات به صورت زیر می‌باشد:

$$\rho_{\alpha AV}(\alpha) = \frac{\rho_{\alpha W}(\alpha) + 2\rho_{\alpha T}(\alpha) + \rho_{\alpha T}(2\alpha)}{4} \quad (2-5)$$

که در آن:

$\rho_{\alpha AV}(\alpha)$ : مقاومت ویژه ظاهری میانگین وزنی

$\rho_{\alpha W}(\alpha)$ : مقاومت ویژه ظاهری آرایش ونر با فاصله الکترودی a

$\rho_{\alpha T}(\alpha)$  و  $\rho_{\alpha T}(2\alpha)$ : مقاومت ویژه ظاهری آرایش دو الکترودی دوقطبی-دوقطبی با فواصل الکترودی به ترتیب a و 2a می‌باشند.

در یک کاربرد خاص برای کاهش نوفه، مقاومت ویژه اندازه‌گیری یا محاسبه شده بر مقدار مقاومت ویژه میانگین وزنی داده شده توسط فرمول (2-5) تقسیم شده است [Kamkar Rouhani, 2001] [Kamkar Rouhani and Uren, 2000].

هدف از بیان مطالب بالا، ذکر این مطلب است که در مورد داده‌های VLF و فیلتر فریزر نیز می‌توان این روش را به کار گرفت.

## ۵-۲ شکل اولیه فیلتر فریزر تعدیل شده

در بخش قبل نمونه‌ای از حالت‌هایی که می‌توان برای تعدیل نمودن فیلتر فریزر در نظر گرفت، ذکر گردید. در ابتدا تصمیم گرفتیم به منظور تعدیل نمودن فیلتر فریزر، مقدار فیلتر فریزر معمولی را در هر ایستگاه به متوسط مقادیر چهار ایستگاه تقسیم نماییم. که فرمول آن در رابطه (۳-۵) بیان گردیده است.

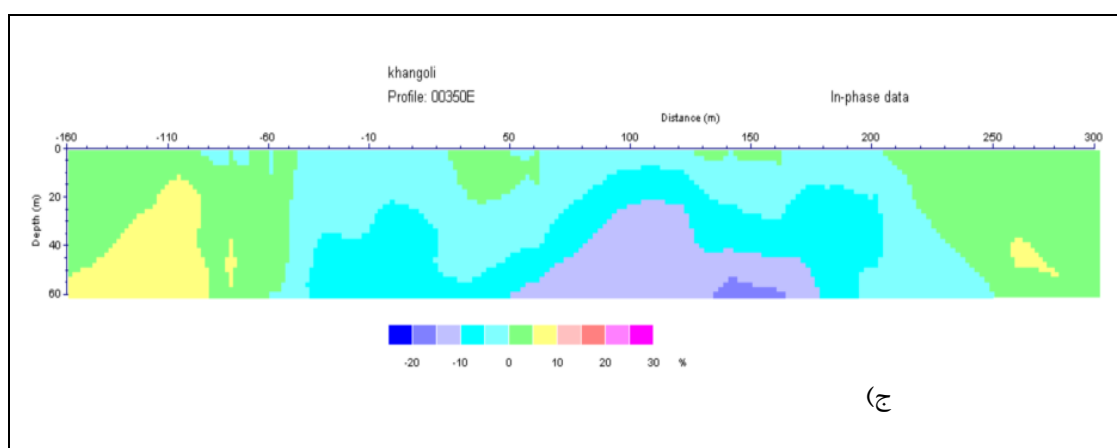
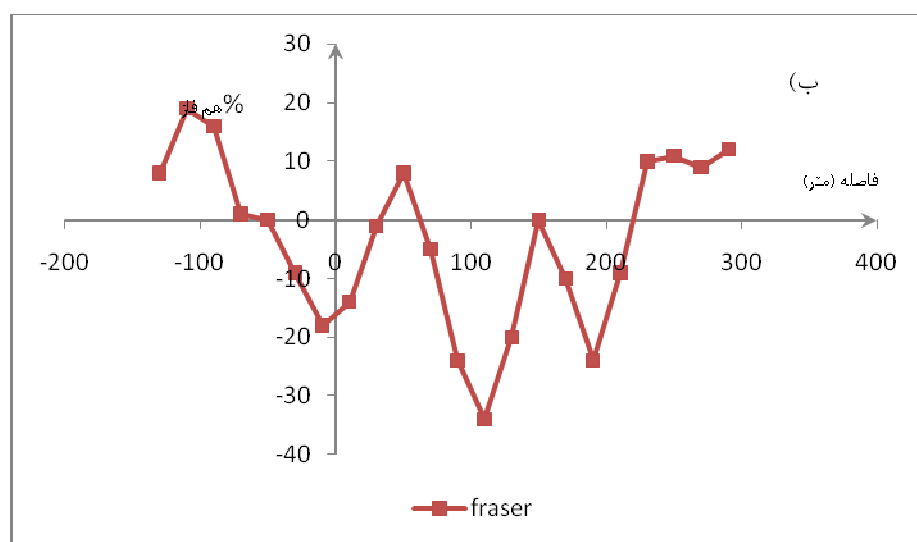
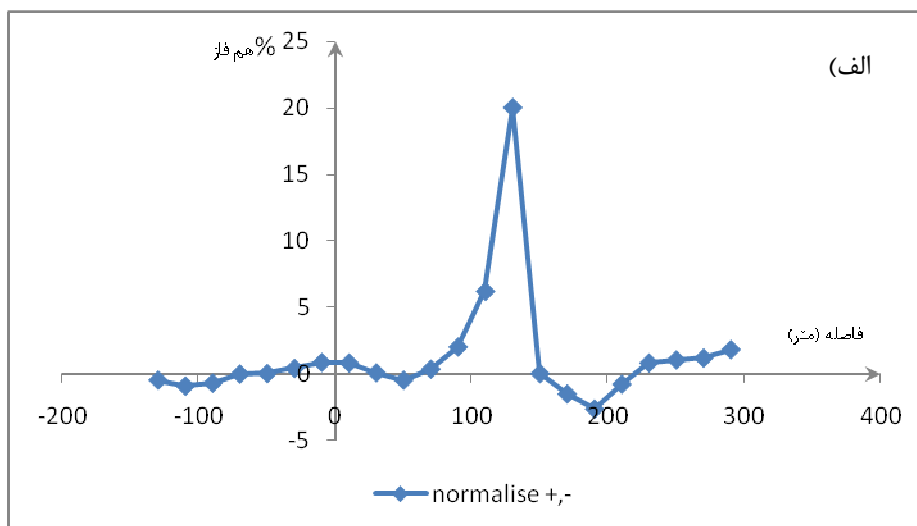
$$F_{\text{normalise } +,-} = \frac{(m_1 + m_2) - (m_3 + m_4)}{\text{Average}(m_1 + m_2 + m_3 + m_4)} \quad (3-5)$$

مرحله بعدی اعمال فیلتر طراحی شده بر روی داده‌های خام VLF و محاسبه مقادیر آن برای داده‌های خام، رسم نمودارهای مربوطه و مقایسه نتایج آن با نتایج فیلتر فریزر و شواهد عینی می‌باشد. بدین منظور نتایج اعمال این فیلتر بر روی سه پروفیل ۳۵۰E، ۴۵۰E و ۵۵۰E منطقه خانگلی ماکو مورد بررسی قرار گرفت. شکل‌های ۱-۵ تا ۳-۵ نتایج اعمال این فیلتر را بر روی پروفیل‌های ۳۵۰E و ۴۵۰E و ۵۵۰E نشان می‌دهد.

در اینجا باید ذکر شود که برای رسم شبه مقاطع چگالی جریان در این فصل از یک نرم افزار جدید با نام KHFFILT استفاده شده است. این نرم افزار در سال ۲۰۰۴ توسط مارکو پیرتیاروی<sup>۱</sup> طراحی شده است. تفاوت عمده آن با نرم افزار Ramag این است که این نرم افزار نمودار فیلتر فریزر را نیز برای داده‌های خام رسم می‌نماید. در شبه مقطع خروجی هم تفاوت اندکی از نظر گرافیکی بین این دو نرم افزار قابل مشاهده است.

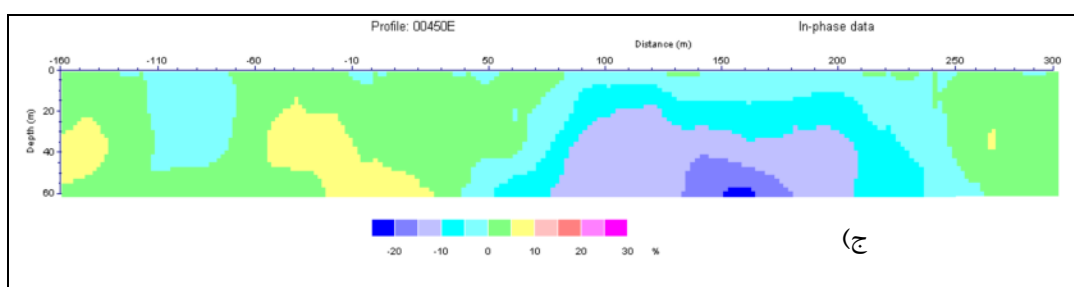
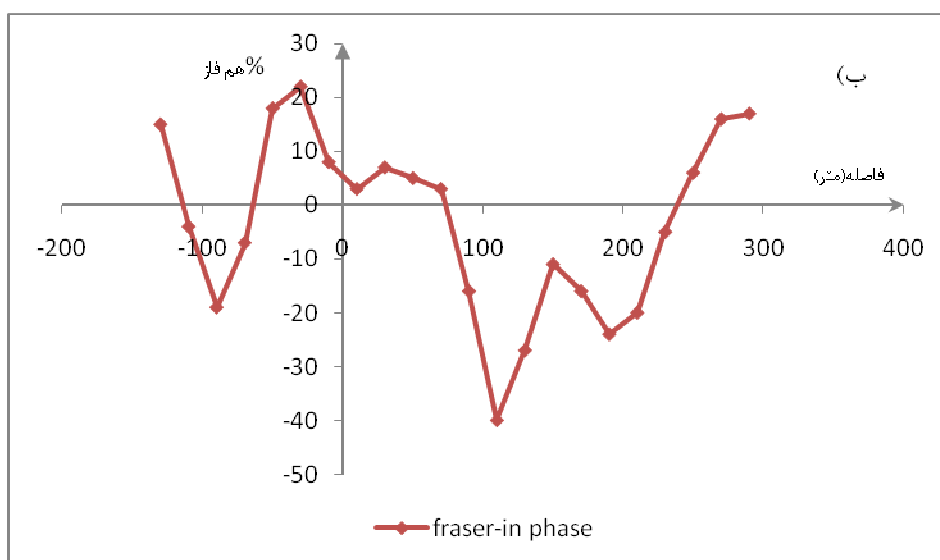
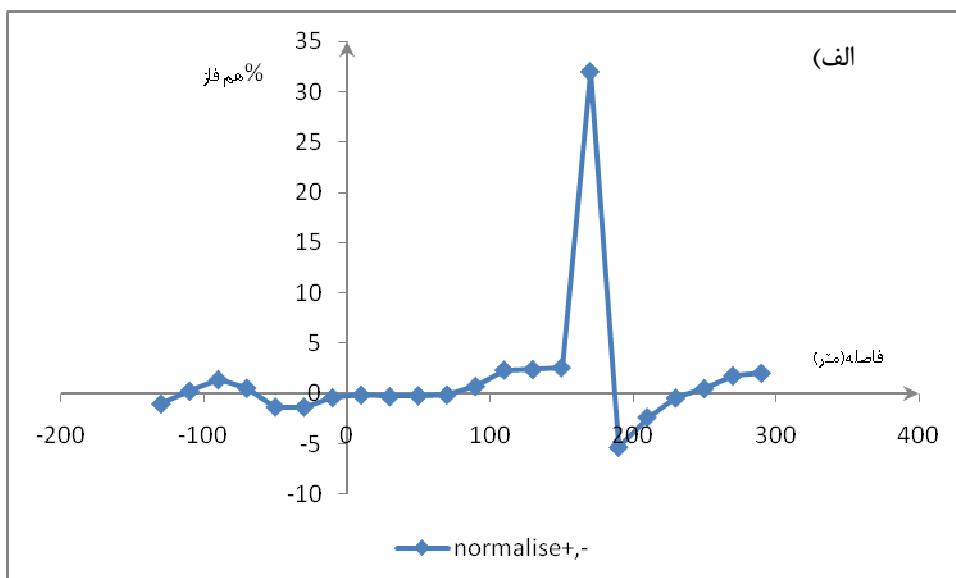
---

<sup>1</sup> -Markku Pirttijärvi

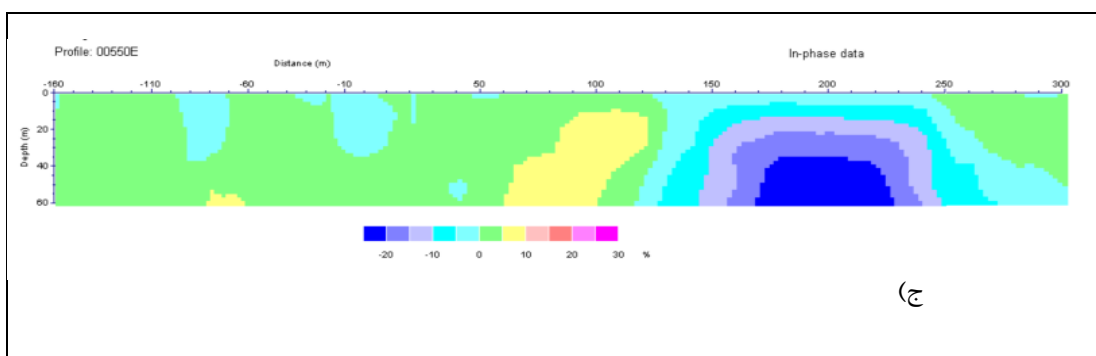
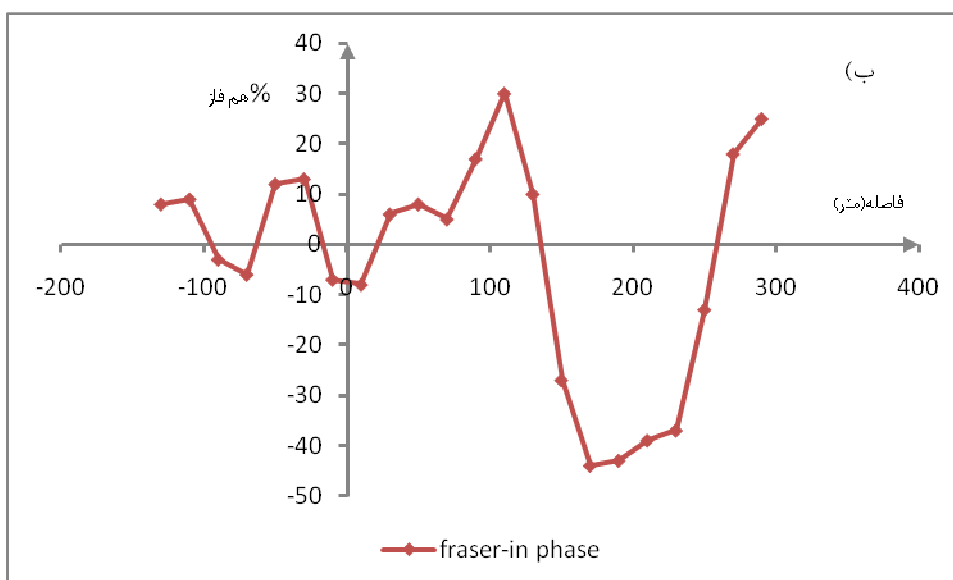
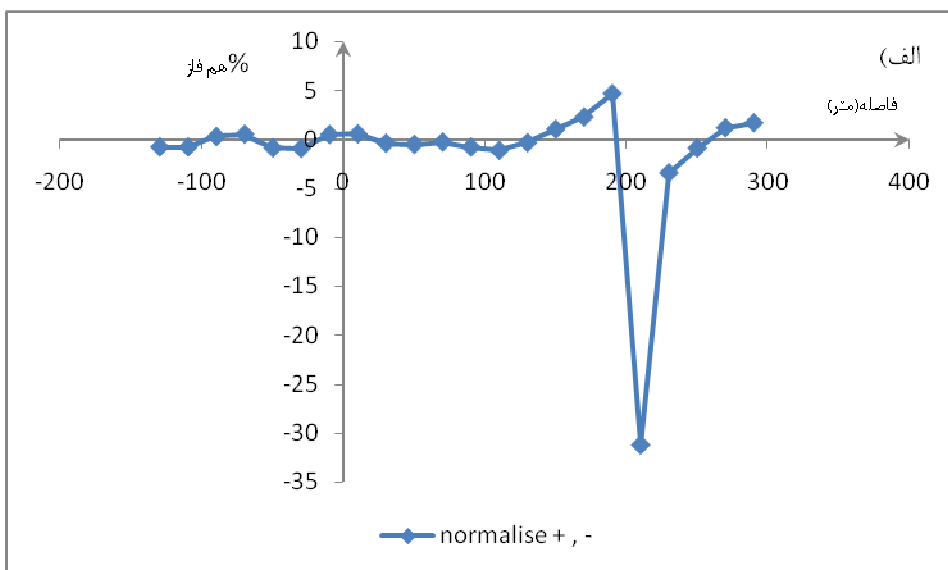


شکل ۵-۱: الف) نمودار فیلتر فریزر تعدیل شده ب) نمودار فیلتر فریزر ج) مقطع چگالی جریان پروفیل ۳۵۰E





شکل ۵-۲: الف) فیلتر فریزر تعدیل شده ب) فیلتر فریزر ج) مقطع چگالی جریان پروفیل ۴۵۰E



شکل ۵-۳: نمودارهای فیلتر فریزر تعدیل شده (ب) فیلتر فریزر (ج) شبه مقطع چگالی جریان پروفیل E ۵۵۰

همان‌طور که ملاحظه می‌گردد موارد زیر را می‌توان به عنوان نتیجه بیان نمود:

۱- در بعضی از پروفیل‌ها این روند تقریباً همانند روند فیلتر فریزر است با دامنه کمتر (پروفیل E.۵۵۰).

۲- در اکثر موارد روند این فیلتر تطابق مطلوبی با نتایج فیلتر فریزر و کاروس-هجلت ندارد.

۳- در بعضی از موارد دامنه ناگهان افزایش و در برخی موارد کاهش ناگهانی دامنه ملاحظه می‌گردد که روند منظمی در این افزایش و کاهش‌ها وجود ندارد.

فیلتر کاروس-هجلت که در سال ۱۹۸۴ توسط کاروس و هجلت طراحی شد، فیلتر مورد نظر ابتدا با استفاده از قانون بیوساوار میدان مغناطیسی حاصل از جریان دو بعدی زیرسطحی را محاسبه نموده و با استفاده از تئوری فیلتر خطی معادله انتگرالی مربوط به توزیع جریان را حل نموده و چگالی جریان معادل میدان مغناطیسی را محاسبه می‌نماید. بنابراین در صورتی که فیلتر فریزر تعدیل شده نسبت به فیلتر فریزر معمولی هماهنگی بیشتری را با نتایج فیلتر کاروس هجلت داشته باشد، می‌تواند موفقیت در طراحی فیلتر تعدیل شده را تأیید نماید.

به بحث مطرح شده در چند سطر قبل باز می‌گردیم. این سؤال پیش می‌آید که چرا علی‌رغم موفقیت فیلتر تعدیل شده در روش‌های دیگر در مورد داده‌های VLF با مشکل مواجه می‌شویم؟ پاسخ اینجاست که در داده‌های مقاومت ویژه مقادیر مقاومت ویژه منفی نخواهیم داشت ولی در داده‌های VLF هم مقادیر منفی و هم مثبت را داریم. پس متوسط چهار مقدار ممکن است علامت مثبت یا منفی داشته باشد و هر مقداری که به آن تقسیم می‌گردد دچار تغییر علامت گردد و حتی در بعضی موارد نیز این مقدار متوسط ممکن است عددی بین صفر و یک باشد و باعث افزایش ناگهانی و کاذب دامنه سیگنال گردد.

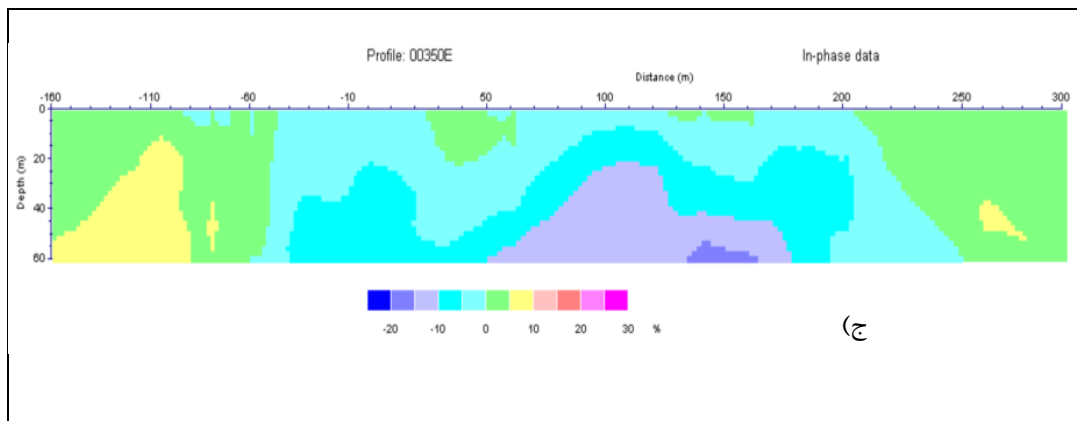
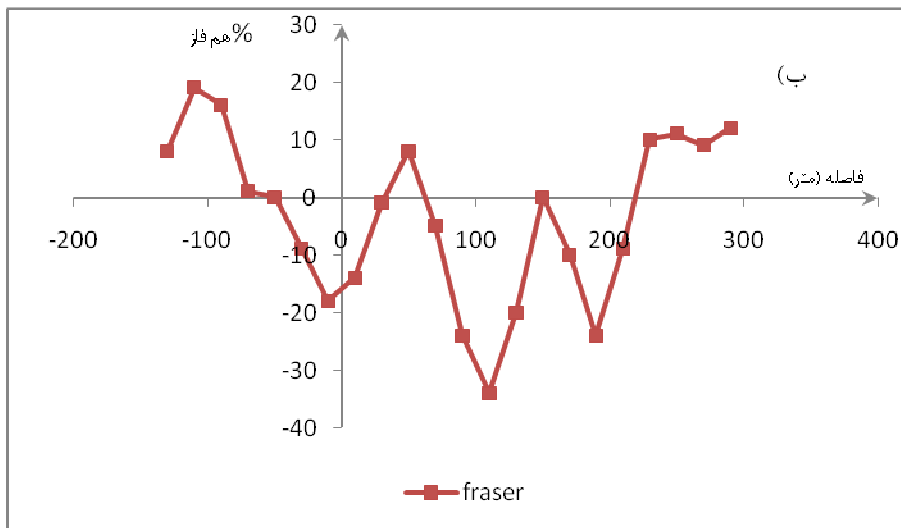
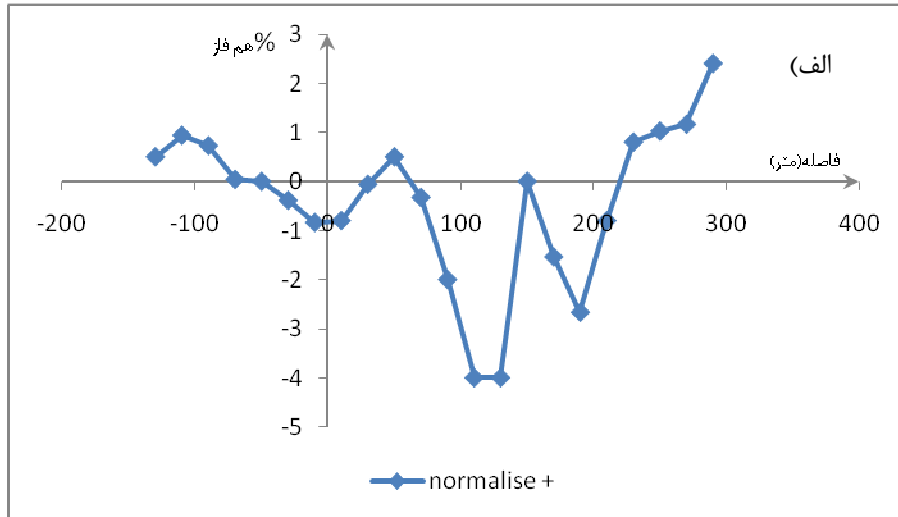
### ۳-۵ شکل نهایی فیلتر تعدیل شده

برای رفع این نقص موجود در شکل اولیه فیلتر تعدیل شده که در بخش ۲-۵ توضیح داده شد، به جای متوسط مقادیر ایستگاه‌ها از متوسط مقادیر قدرمطلق آنها استفاده نمودیم. یعنی معادله فیلتر فریزر تعدیل شده به صورت زیر تغییر یافت.

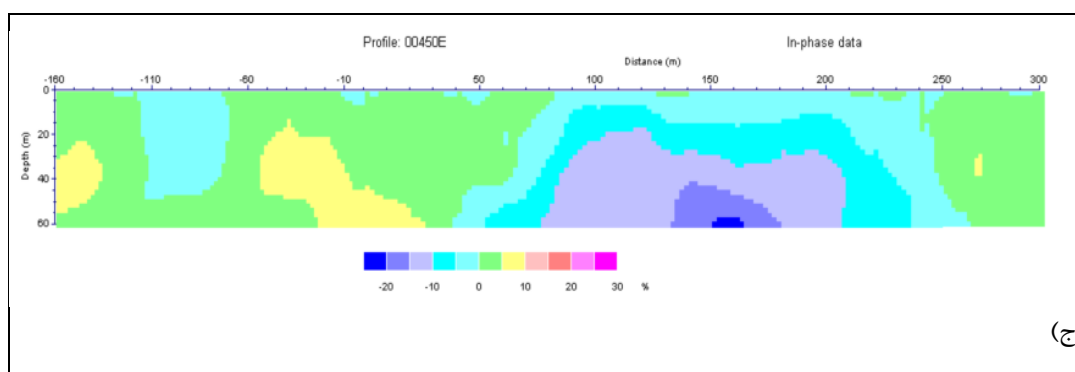
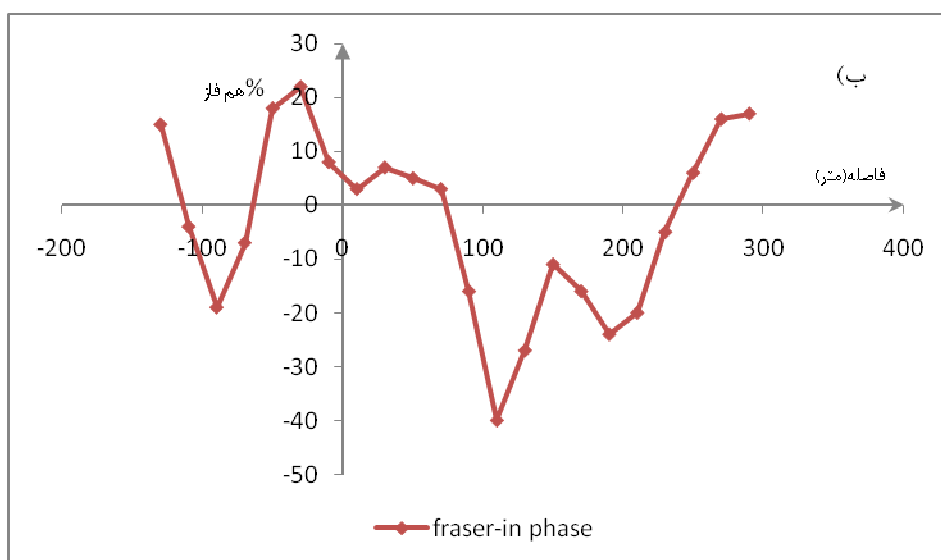
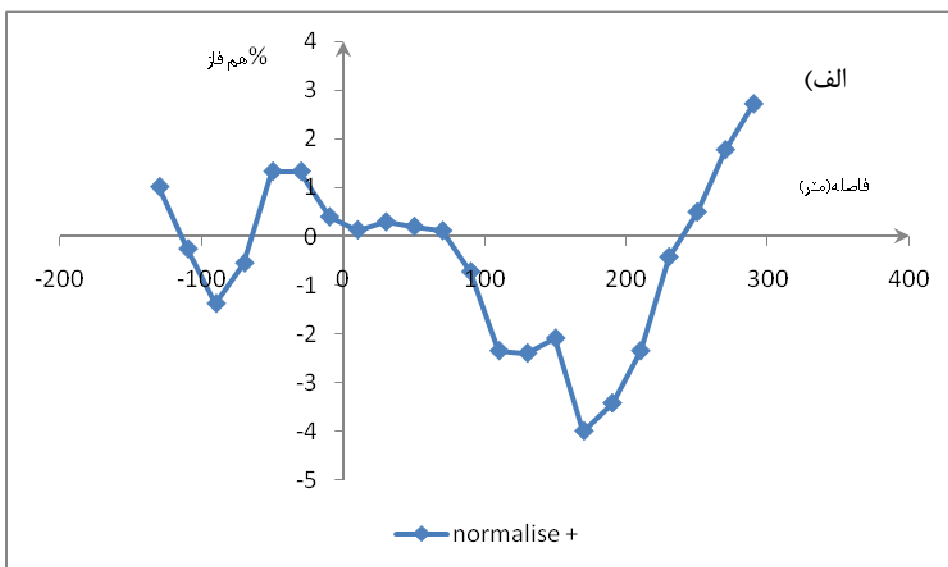
$$F_{aver} = \frac{(m_1 + m_2) - (m_3 + m_4)}{Average(|m_1| + |m_2| + |m_3| + |m_4|)} \quad (3 - 5)$$

$$; Average = \frac{|m_1| + |m_2| + |m_3| + |m_4|}{4}$$

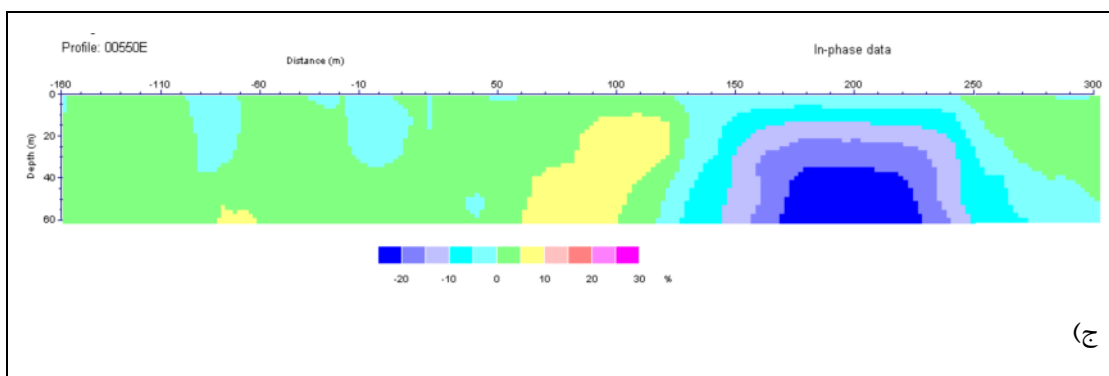
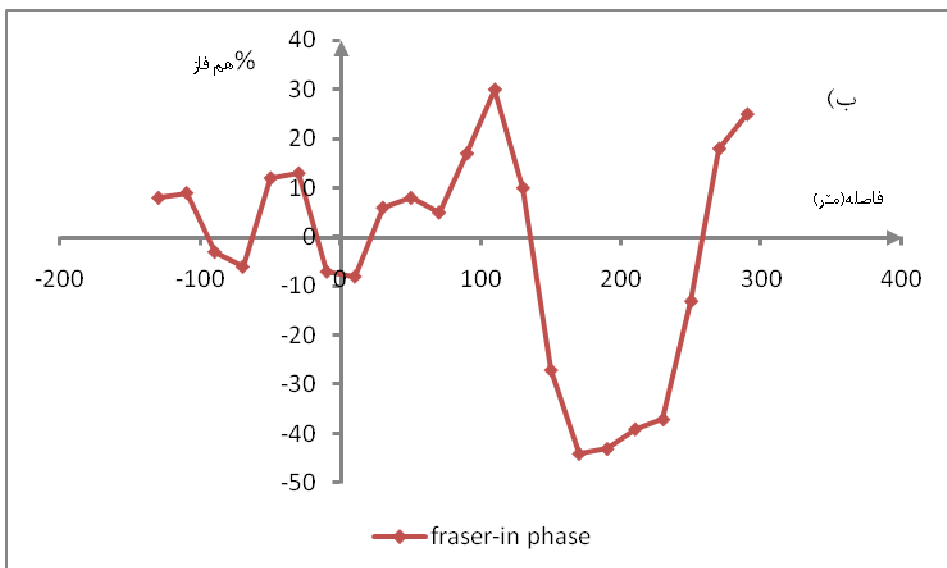
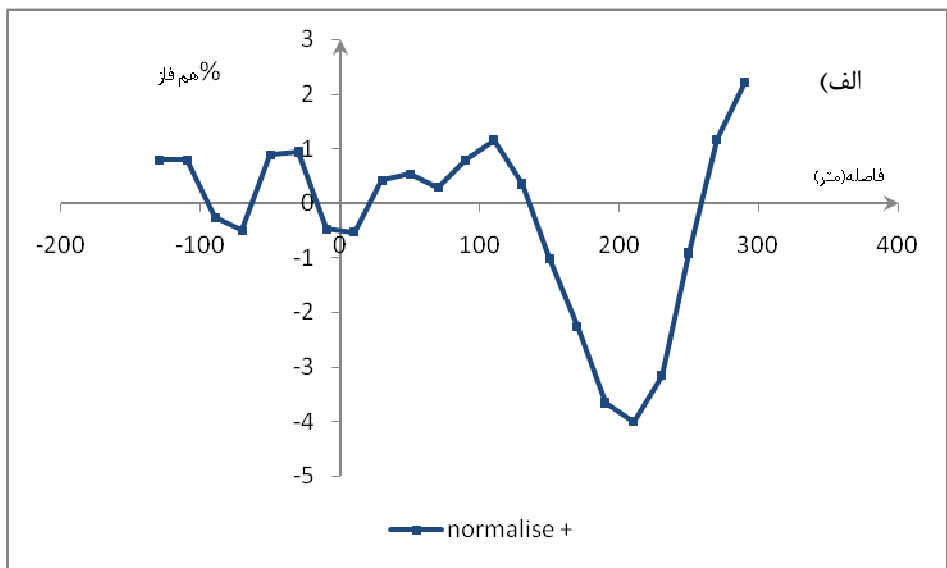
نتیجه اعمال این فیلتر بر روی پروفیل‌های برداشت شده در منطقه در شکل‌های ۴-۵، ۵-۵ و ۶-۵ نمایش داده شده است.



شکل ۴-۵: الف) نمودار فیلتر فریزر تعدیل شده، ب) نمودار فیلتر فریزر و ج) مقطع چگالی جریان پروفیل ۳۵۰E



شکل ۵-۵: الف) فیلتر فریزر تعدیل شده، ب) فیلتر فریزر و ج) مقطع چگالی جریان پروفیل ۴۵۰E



شکل ۵-۶: نمودارهای فیلتر فریزر تعدیل شده، (ب) فیلتر فریزر و (ج) شبه مقطع چگالی جریان پروفیل ۵۵۰E

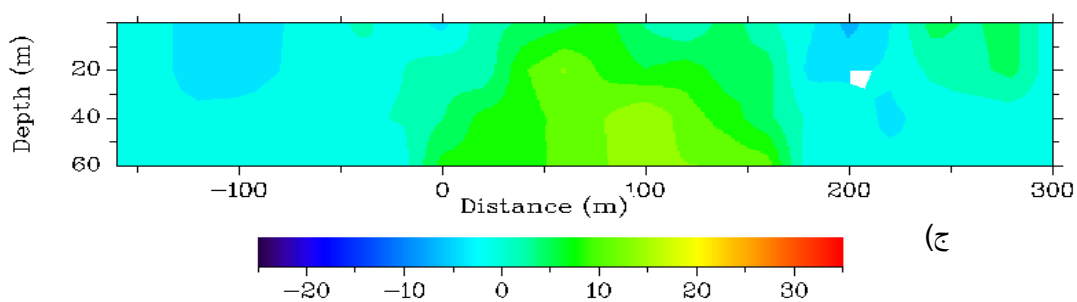
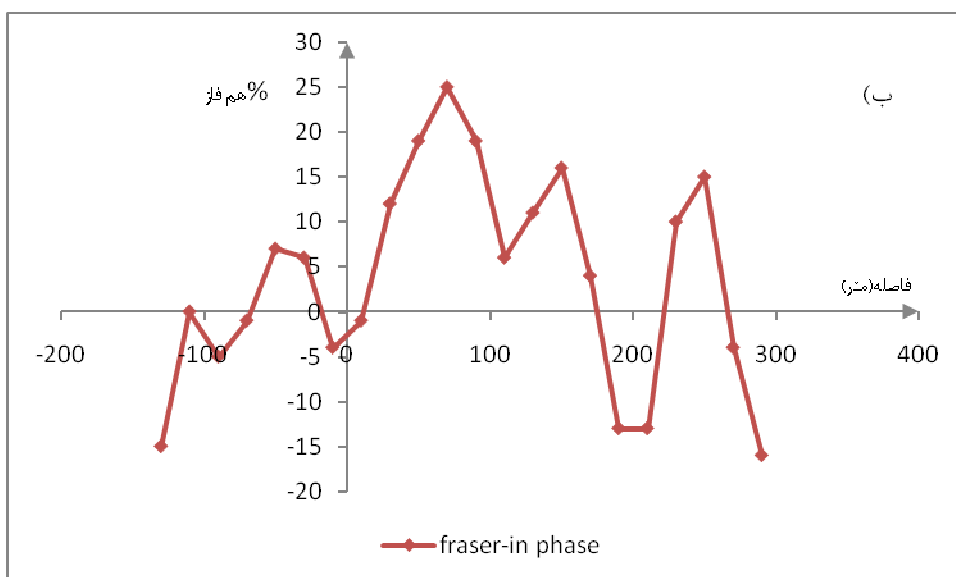
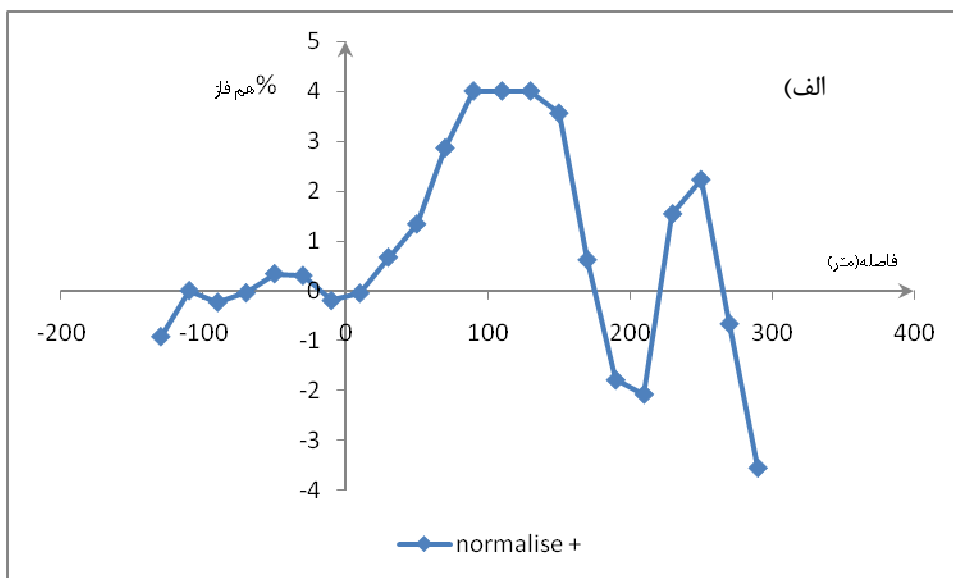
در نگاه اول نتیجه اعمال این فیلتر بر روی داده‌ها نسبت به فیلتر معمولی، کاهش یافتن دامنه

مقادیر در نمودار می‌باشد.

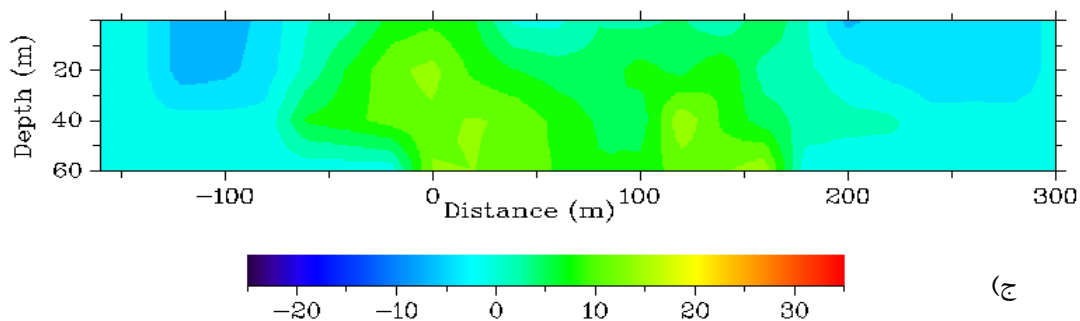
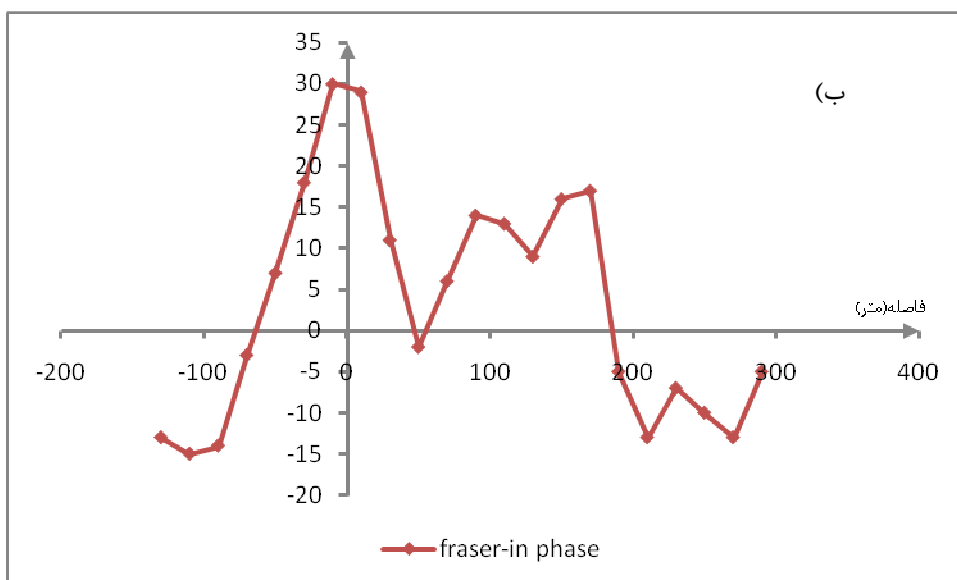
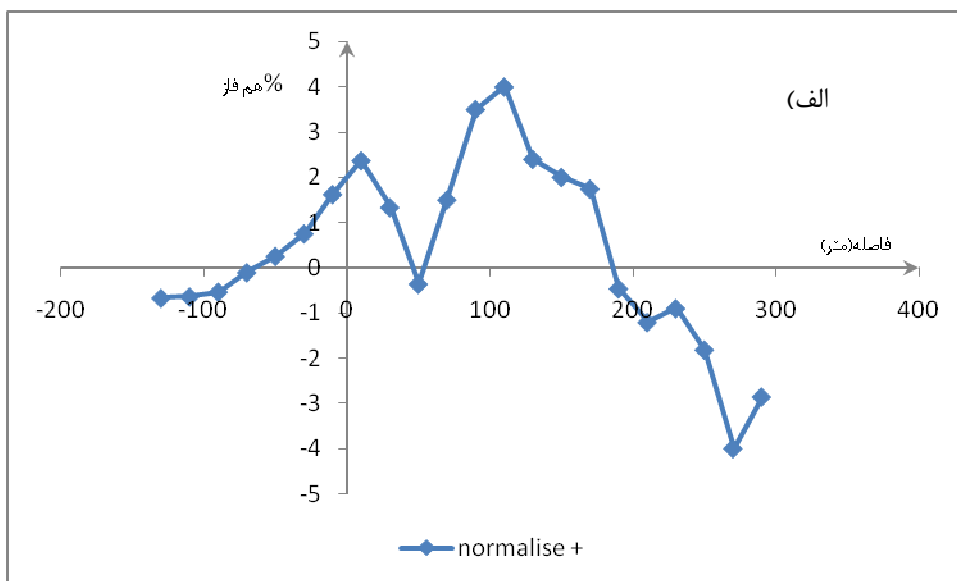
این مطلب بدیهی است که با تقسیم مقادیر فیلتر فریزر بر متوسط مقادیر مثبت ایستگاه‌ها طول سیگنال کاهش می‌یابد.

اما نقطه برتری این فیلتر تعدیل شده نسبت به فیلتر فریزر معمولی در جایی است که پیک‌های فیلتر فریزر یک حالت پهن شدگی و یا دندان‌دار (وجود چند پیک در کنار هم) را دارا هستند. در این حالت وجود چند پیک در کنار یکدیگر ممکن است ما را در تشخیص موقعیت دقیق رسانی زیر سطحی و یا تعداد آنها (قرار گرفتن دو پیک در کنار هم ممکن است به وجود دو رسانا در کنار یکدیگر تفسیر گردد) دچار ابهام گرداند. با استفاده از فیلتر فریزر تعدیل شده می‌توان پیک‌هایی که احیاناً به دلیل نوفه‌ها به وجود آمده اند را حذف نمود و یک قضاوت دقیق‌تر را راجع به موقعیت قرار گیری رسانا ارائه نمود. در پروفیل‌های برداشت شده در منطقه به‌غیر از یک مورد حالت مورد نظر (وجود پهن شدگی در پیک‌ها یا قرار گیری دو پیک در کنار هم) به‌طور محسوسی مشاهده نمی‌گردد و برای اثبات عملکرد فیلتر تعدیل شده، در داده‌ها تغییراتی ایجاد نمودیم و حالت مورد نظر را به‌وجود آورده، فیلتر فریزر تعدیل شده بر روی آنها اعمال نمودیم که نتایج آن در شکل‌های ۵-۷، ۵-۸ و ۵-۹ قابل ملاحظه می‌باشد.

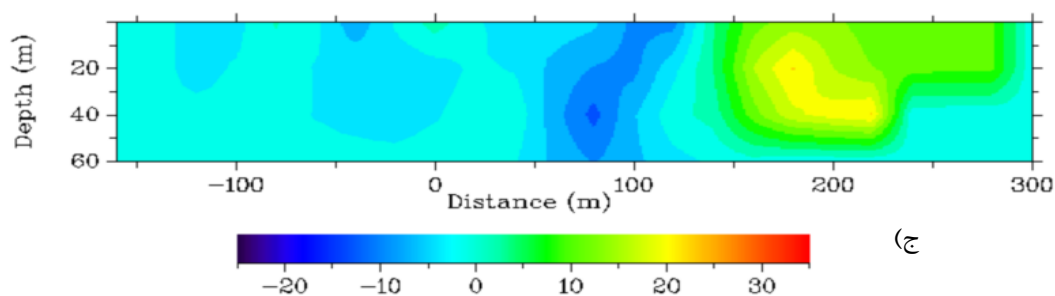
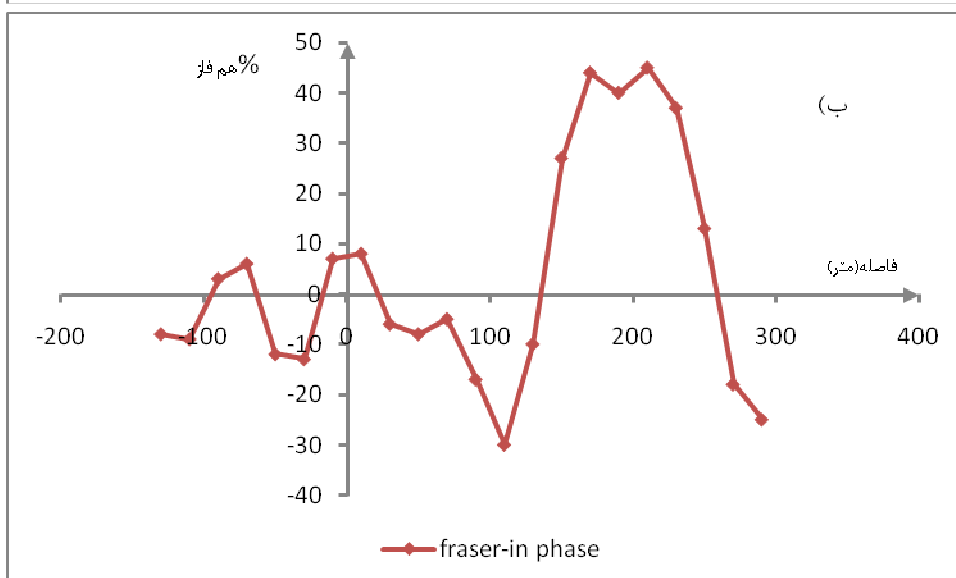
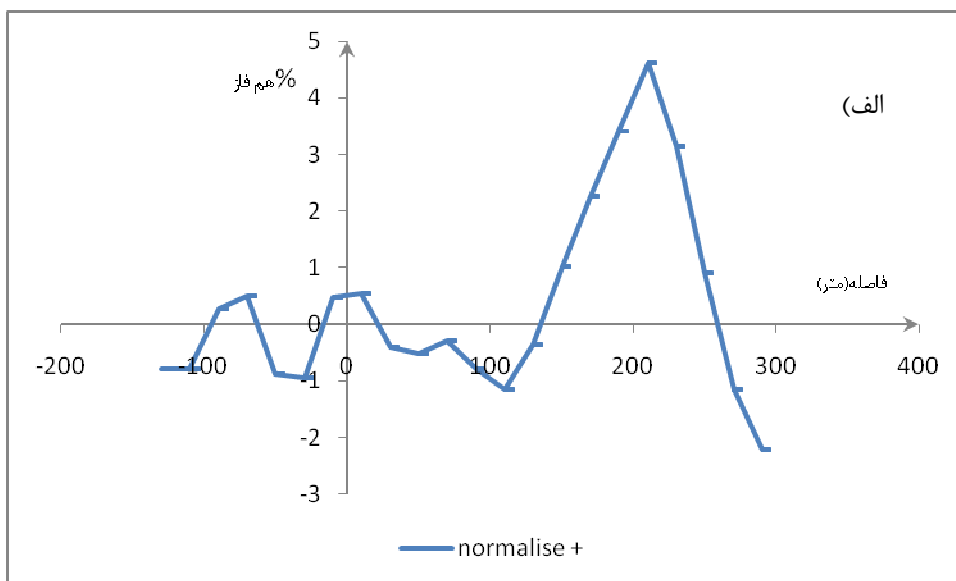




شکل ۵-۷: الف) فیلتر فریزر تعدیل شده، ب) فیلتر فریزر و ج) مقطع چگالی جریان پروفیل ۱



شکل ۵-۸: الف) فیلتر فریزر تعدیل شده، ب) فیلتر فریزر و ج) مقطع چگالی جریان پروفیل ۲



شکل ۵-۹: الف) فیلتر فریزر تعدیل شده، ب) فیلتر فریزر و ج) مقطع چگالی جریان پروفیل ۳ همان‌طور که در شکل‌های بالا ملاحظه گردید با اعمال فیلتر فریزر تعدیل شده بر روی داده‌های خام در مواردی که چند پیک را در کنار یکدیگر داریم، می‌توان نتایج بهتری را نسبت به فیلتر فریزر معمولی به دست بیاوریم.

# فصل ششم

تلفیق نتایج ژئوفیزیکی

در فصل‌های گذشته به‌طور مفصل راجع به هر یک از روش‌های ژئوفیزیکی بحث نمودیم و نتایج مربوط به آنها را در محدوده اکتشافی بیان کردیم.

در گذشته در این محدوده عملیات ژئوشیمی انجام شده و به‌منظور نمونه برداری هشت ترانسه حفر گردیده است. البته حفاری‌های انجام شده در منطقه به‌صورت چاهک و ترانسه می‌باشد که اطلاعات مربوط به چاهک‌ها در دسترس نمی‌باشد. امتداد ترانسه‌های حفر شده در محدوده اکتشافی، حدود  $N50$  می‌باشد که عمود بر روندهای ساختمانی، آلتراسیون و کانی‌سازی می‌باشد. به‌طور کلی عمق ترانسه‌ها به ضخامت پوشش سطحی واحدهای سنگی بستگی داشته و بین  $0/5$  متر تا حداکثر  $2/7$  متر متغیر است. جاهایی که این ترانسه‌ها منطبق بر پروفیل‌های ژئوفیزیک می‌باشند می‌توان از اطلاعات ژئوشیمی نمونه‌های برداشت شده بر روی پروفیل‌ها بهره جست که عبارتند از پروفیل  $50E$ ،  $100E$ ،  $200E$  و  $400E$ . موقعیت این ترانسه‌ها به‌صورت دقیق بر روی نقشه زمین‌شناسی منطقه (شکل ۲-۲) مشخص شده است.

در این فصل نتایج برداشت‌های ژئوفیزیکی در هر کدام از پروفیل‌ها با یکدیگر و سپس با اطلاعات ژئوشیمی و زمین‌شناسی تلفیق شده و تفسیر اکتشافی نسبتاً جامعی برای هر پروفیل ارائه شده است. مسئله‌ای که در این قسمت وجود دارد این است برداشت مقاومت ویژه و IP تنها بر روی دو پروفیل  $150E$  و  $200E$  با آرایش دوقطبی-دوقطبی انجام گرفته است و اطلاعات مقاومت ویژه و IP دیگر پروفیل‌ها از روی منحنی‌های میزان شکل ۳-۷ و ۳-۱۰ مستخرج می‌شوند که مربوط به آرایش مستطیلی می‌باشد و تکیه بر آنها نمی‌تواند چندان منطقی باشد (آرایش مستطیلی صرفاً جهت شناسایی استفاده می‌شود). نکته دوم، همان‌طور که در بالا توضیح داده شد، عدم وجود نتایج ژئوشیمی بر روی همه پروفیل‌ها است. بنابراین برای بررسی پروفیل‌ها ابتدا از پروفیل‌هایی که نتایج ژئوشیمی در آنها موجود است و برداشت مقاومت ویژه و IP به روش دوقطبی-دوقطبی انجام شده، آغاز نموده و سپس به بررسی سایر

پروفیل‌ها می‌پردازیم. لازم به ذکر است به منظور پرهیز از آوردن علامت‌های مثبت و منفی برای مشخص کردن ایستگاه‌ها بر روی هر پروفیل، به ترتیب از حروف N و S استفاده شده است.

## ۲-۶ پروفیل ۲۰۰E

از لحاظ زمین‌شناسی، همان‌طور که نقشه زمین‌شناسی منطقه (شکل ۲-۲) نشان می‌دهد، این پروفیل بر روی واحد شیل-مارن-ماسه سنگ، سرپانتینیت‌های برشی، کنگلومرای پالئوسن و رسوبات عهد حاضر قرار گرفته است.

بی‌هنجاری VLF بین ایستگاه ۹۰S و ۱۶۰S (شکل ۴-۲۷ ب) بر روی واحدهای سرپانتینیت‌های برشی و رسوبات عهد حاضر قرار گرفته است. البته سرپانتینیت‌ها به وسیله یک گسل با امتداد شمالی-جنوبی با واحد کنگلومرای پالئوسن هم‌مبری دارند. در فاصله اندکی از این بی‌هنجاری امتداد احتمالی گسل (خط چین مشخص شده بر روی نقشه ۲-۲ به معنی امتداد احتمالی گسل می‌باشد) با راستای شمال شرقی-جنوب غربی بر روی نقشه زمین‌شناسی مشخص گردیده است و به نظر می‌رسد این امتداد بر روی نقشه باید با اندکی انحراف به سمت بی‌هنجاری مورد نظر تصحیح گردد. بی‌هنجاری دیگر VLF که در فاصله ایستگاه ۲۰۰N تا ۳۰۰N قرار دارد، در مجاورت گسل چلی یوردی واقع شده است. بر روی این پروفیل نتایج IP یک بی‌هنجاری قوی را در فاصله بین ایستگاه‌های ۹۵N تا ۱۳۰N نشان می‌دهد (شکل ۳-۱۲) که بر روی زون مینرالیزه مس و سینابر واقع شده است (شکل ۲-۲) و احتمالاً کانی‌های مس به صورت پورفیری در این ناحیه وجود دارد و باعث ایجاد این بی‌هنجاری خوب IP شده است. لازم به ذکر است که از زون مینرالیزه مس و سینابر چند گسل فرعی با امتدادهای مختلف عبور نموده‌اند. همچنین، برداشت مقاومت ویژه به روش دوقطبی-دوقطبی در این محدوده یک مقدار مقاومت ویژه متوسط تا بالا را نشان داده است (شکل ۳-۹) که بر روی منحنی‌های میزان مقاومت ویژه آرایش مستطیلی شکل ۳-۷ نیز، این مسئله قابل مشاهده است و می‌توان آنرا تأییدی بر پورفیری بودن کانی‌سازی مس در نظر گرفت. به دلیل

کوتاه بودن ترانسه  $T_3$  در مورد بی‌هنجاری‌های VLF اطلاعات ژئوشیمی وجود ندارد اما در محل بی-هنجاری IP بررسی ژئوشیمی بر روی ترانسه  $T_3$ ، وجود کانی‌سازی سینابر را به‌خوبی تأیید می‌نماید همان‌طور که انتظار می‌رود دو روش VLF و IP به‌دلیل متفاوت بودن سرشت آنها نتایج هماهنگ با یکدیگر را بر روی این پروفیل نشان نداده‌اند. روش IP معمولاً بر روی مناطق با کانی‌سازی فلزی به-صورت پورفیری نتیجه خوبی می‌دهد و روش VLF بر روی کانی‌سازی فلزی به‌صورت سولفیدی و شیب-دار پاسخ بهتری دارد.

### ۳-۶ پروفیل ۵۰E

این پروفیل با توجه به نقشه زمین‌شناسی منطقه (شکل ۲-۲)، شامل رسوبات عهد حاضر، واحد شیل - مارن - ماسه سنگی، کنگلومرای پالتوسن و سرپانتینیت‌های برشی می‌باشد.

با توجه به تفسیر نتایج VLF بر روی این پروفیل، یک بی‌هنجاری VLF که از ایستگاه ۰ تا ۱۰S گسترش افقی دارد (شکل ۴-۲۱ ب)، بر روی رسوبات کنگلومرای قرار گرفته است و در مجاورت آن یک گسل با امتداد شمال غربی-جنوب شرقی در کنار سرپانتینیت‌های برشی واقع شده است. دیگر بی‌هنجاری VLF در موقعیت ۲۰S تا ۱۰۰S قرار گرفته است و از نظر زمین‌شناسی بر روی سرپانتینیت‌های برشی قرار گرفته است و در مجاورت آن یک گسل با امتداد شمال غربی-جنوب شرقی در کنار رسوبات کنگلومرای واقع شده است. دیگر بی‌هنجاری VLF در سمت راست مقطع چگالی جریان بر روی رسوبات عهد حاضر و در مجاورت گسل چلی یوردی قرار گرفته است.

نتایج برداشت IP نیز در محدوده ۰ تا ۱۰۰N حاکی از افزایش نسبی IP می‌باشد که در محدوده شیلی-مارنی قرار می‌گیرد. نتایج برداشت مقاومت ویژه هم در محدوده بی‌هنجاری‌های VLF مقادیر مقاومت ویژه نسبتاً کمی را نشان می‌دهد که البته در همه موارد این امر وجود ندارد. نتایج بررسی‌های ژئوشیمی

بر روی نمونه‌های برداشت شده از ترانسه T<sub>1</sub> وجود کانی‌سازی سینابر را بر روی این پروفیل تأیید می‌نماید. بررسی ژئوشیمی کانی‌سازی سینابر را در فاصله بین ایستگاه‌های ۲۰ تا ۱۰۰S تأیید می‌نماید و همچنین نمونه برداشت شده در حدود ایستگاه ۵۰N نیز، حاکی از کانی‌سازی سینابر می‌باشد. در مورد بی‌هنجاری موجود در مجاورت گسل چلی یوردی نمونه ژئوشیمی برداشت نشده است (طول ترانسه نمونه برداری حدوداً از ۹۰S تا ۷۰N می‌باشد).

#### ۴-۶ پروفیل ۱۰۰E

این پروفیل به لحاظ زمین‌شناسی شامل رسوبات عهدحاضر، شیل-مارن-ماسه سنگ، کنگلومرای پالئوسن و سرپانتینیت برشی می‌باشد.

بی‌هنجاری مشاهده شده VLF در محدوده ۴۰S تا ۱۳۰S شامل زون مینرالیزه مس و سینابر می‌باشد که بر روی سرپانتینیت‌های برشی واقع شده است و گسل با امتداد شمال شرقی-جنوب غربی در مجاورت آن قرار گرفته است. بی‌هنجاری موجود در سمت راست مقطع چگالی جریان VLF نیز بر روی رسوبات عهد حاضر و در مجاورت گسل چلی یوردی واقع شده است. همچنین، نتایج بررسی‌های ژئوشیمی بر روی ترانسه T<sub>2</sub> که در فاصله بسیار کمی (حدود ۱۰ متر) از این پروفیل قرار گرفته است، حاکی از کانی‌سازی سینابر در فاصله ۲۰S تا ۶۰S می‌باشد [کاوشگران، ۱۳۷۳].

نتایج برداشت IP پدیده خاصی را در این پروفیل نشان نمی‌دهد و داده‌های مقاومت ویژه حاصل از برداشت مقاومت ویژه مقادیر متوسط تا پایینی (کمتر از ۳۰ اهم متر) را بر روی این پروفیل در فاصله ۷۰N تا ۵۰S نشان داده است که قسمتی بالایی آن (۲۰N تا ۷۰N) بر روی واحد شیل-مارن (شکل ۲-۲) و در مجاورت گسل فرعی با امتداد غربی-شرقی قرار گرفته است این مقادیر کم مقاومت ویژه را می‌توان به وجود شیل و همچنین گسل در این محدوده نسبت داد. دیگر قسمت بی‌هنجاری مقاومت ویژه (۰)



تا ۵۰S) بر روی زون مینرالیزه مس و سینابر (شکل ۲-۲) و با جنس زمین شناسی سرپانتینیت‌های برشی و شیل‌های رادیولاریتی قرار گرفته است که به خوبی دلیل بی‌هنجاری را توجیه می‌کند. در فاصله ۲۰۰N تا ۲۶۰N که دیگر بی‌هنجاری VLF قرار دارد، مقادیر مقاومت ویژه نیز کمتر از ۷۰ اهم متر را نشان می‌دهد که حدوداً یک مقدار متوسط مقاومت ویژه در منطقه می‌باشد و تماماً بر روی رسوبات عهد حاضر قرار گرفته است.

نتایج برداشت‌های مقاومت ویژه و VLF و ژئوشیمی بر روی این پروفیل تطابق نسبتاً خوبی را با یکدیگر نشان می‌دهند.

#### ۶-۵ پروفیل ۴۰۰E

رسوبات عهد حاضر، برش ولکانیکی، سرپانتینیت برشی، واحد شیلی و کنگلومرای پالئوسن واحدهای زمین شناسی موجود بر روی این پروفیل می‌باشند.

بی‌هنجاری VLF که در محدوده ۱۳۰S تا ۱۶۰S قرار دارد (شکل ۴-۳۵) بر روی واحدهای سرپانتینیت برشی و رسوبات عهد حاضر واقع شده است (شکل ۲-۲). دیگر بی‌هنجاری VLF که در فاصله ۵۰N تا ۵۰S قرار دارد در محدوده‌ای به شدت گسلیده و با جنس زمین شناسی سرپانتینیت برشی و کنگلومرای پالئوسن واقع شده است. دیگر بی‌هنجاری موجود بر روی مقطع چگالی جریان این پروفیل در موقعیت ۲۱۰N تا ۳۰۰N، ادامه روند کانی‌سازی در مجاورت گسل چلی یوردی را نشان می‌دهد. نتایج ژئوشیمی بر روی ترانشه T<sub>5</sub> که در فاصله کمی از این پروفیل قرار دارد کانی‌سازی سینابر را در فاصله ۵۰N تا ۵۰S تأیید می‌نماید و به دلیل کوتاه بودن ترانشه در مورد بی‌هنجاری واقع شده در فاصله ۱۳۰S تا ۱۶۰S امکان استفاده از نتایج ژئوشیمی وجود ندارد. نتایج قطبش القایی و مقاومت ویژه پدیده خاصی را نشان نمی‌دهد. البته کانی‌سازی سینابر در فاصله ۱۳۰S تا ۱۶۰S هم محتمل می‌باشد.

## ۶-۶ پروفیل ۱۵۰E

این پروفیل از نظر زمین شناسی شامل رسوبات عهد حاضر، شیل- مارن-ماسه سنگ، کنگلومرای پالئوسن و شیل‌های رادیولاریتی می‌باشد.

بی‌هنجاری VLF در محدوده افقی ۹۰S تا ۱۶۰S قرار گرفته است (شکل ۴-۲۵) که دو واحد کنگلومرای پالئوسن و رسوبات کواترنری را شامل می‌شود (طبق نقشه زمین شناسی شکل ۲-۲). دیگر بی‌هنجاری VLF نیز که در فاصله ۲۷۰N تا ۳۰۰N (شکل ۴-۲۵) قرار دارد در مجاورت گسل چلی یوردی و بر روی رسوبات عهد حاضر واقع شده است. نتایج برداشت IP با آرایش دوقطبی-دوقطبی شروع یک بی‌هنجاری IP را بین ایستگاه‌های ۴۰N تا ۸۰N نشان داده است (شکل ۳-۱۱) که این بی‌هنجاری بر روی واحد شیلی-مارنی واقع شده است. وجود این بی‌هنجاری IP بر روی منحنی‌های میزان IP آرایش مستطیلی هم تأیید گردیده است (شکل ۳-۱۰). این بی‌هنجاری IP با یک مقدار متوسط تا بالای مقاومت ویژه متناظر شده است که مقادیر مقاومت ویژه از یک مقدار پایین در سطح آغاز شده و با افزایش عمق مقاومت ویژه زیاد می‌شود.

به دلیل فاصله زیاد ترانسه‌های  $T_2$  و  $T_3$  از این پروفیل (۱۵۰E) امکان استفاده از نتایج ژئوشیمی را نداریم. احتمالاً بی‌هنجاری‌های مقاومت ویژه و IP بر روی پروفیل ۱۵۰E به دلیل وجود واحد شیلی در موقعیت مذکور می‌باشد. بی‌هنجاری‌های VLF نیز ادامه روند احتمالی کانی سازی موجود در پروفیل‌های دیگر VLF می‌باشند.

## ۶-۷ پروفیل صفر

این پروفیل بر روی رسوبات عهد حاضر و واحد شیل - مارن - ماسه سنگی قرار گرفته است. از دو بی-هنجاری مشاهده شده بر روی مقطع چگالی جریان این پروفیل (شکل ۴-۱۹ ب)، بی‌هنجاری موجود بین ایستگاه‌های ۲۴۰N و ۳۴۰N در محدوده‌ای قرار دارد که گسل اصلی منطقه با راستای شمال غربی - جنوب شرقی معروف به گسل چلی یوردی از آن می‌گذرد.

دیگر بی‌هنجاری VLF که در موقعیت ۱۵۰S و ۷۰S بر روی این پروفیل واقع شده است با گسل فرعی که بر روی نقشه زمین شناسی مربوطه مشخص شده، فاصله کمی دارد.

نتایج برداشت IP بر روی این پروفیل پدیده خاصی را نشان نمی‌دهد و نتایج حاصله در حد IP زمینه می‌باشد. نتایج مقاومت ویژه، مقادیر مقاومت ویژه نسبتاً کمی را در طول پروفیل نشان می‌دهد که این مسئله را می‌توان به وجود رسوبات آبرفتی در اکثر قسمت‌های این پروفیل نسبت داد.

بنابراین بر روی پروفیل صفر روش‌های مقاومت ویژه و IP بی‌هنجاری خاصی را نشان نداده اند که این مسئله با توجه به اینکه اطلاعات این دو روش با استفاده از آرایش مستطیلی حاصل شده اند، دور از انتظار نبوده است. همچنین در این پروفیل بی‌هنجاری‌های VLF در مجاورت گسل‌ها رخ داده اند که به نظر می‌رسد کانی سازی جیوه در آنها وجود دارد.

## ۶-۸ پروفیل ۲۵۰E

این پروفیل از نظر زمین شناسی شامل واحدهای شیل-مارن-ماسه سنگی، سرپانتینیت‌های برشی، کنگلومرای پالئوسن و رسوبات عهد حاضر می‌باشد. بی‌هنجاری VLF که در فاصله ایستگاه‌های ۹۰S تا ۱۶۰S قرار دارد (شکل ۴-۲۹ ب) بر روی سرپانتینیت‌های برشی و رسوبات عهد حاضر قرار گرفته است. گسل فرعی با امتداد شمالی-جنوبی در فاصله کمی از این زون واقع شده است و این محدوده عموماً مقاومت ویژه کمتر از ۷۰ اهم متر (متوسط) را دارد. بی‌هنجاری موجود در سمت راست مقطع VLF نیز

مانند دیگر پروفیل‌ها در مجاورت گسل چلی یوردی و بر روی واحد سرپانتینیت برشی که دارای مرز مشترک با واحد شیلی می‌باشد، قرار گرفته است. نتایج برداشت IP پدیده قابل ذکری را در این محدوده نشان نمی‌دهد و مقادیر IP بر روی این پروفیل در حد زمینه می‌باشد. مقاومت ویژه در فاصله ۵۰N تا ۸۰S بر روی واحد شیلی-مارنی مقادیر کوچکتر از ۳۰ اهم متر را نشان می‌دهد. به دلیل فاصله زیاد دو ترانسه مجاور این پروفیل، نتایج ژئوشیمی را برای این پروفیل نداریم. با توجه به قرار گرفتن بی‌هنجاری-های در مجاورت گسل‌های اصلی و فرعی کانی سازی جیوه در آنها محتمل می‌باشد.

#### ۹-۶ پروفیل ۳۰۰E

این پروفیل بر روی واحدهای شیل-مارن-ماسه سنگی، سرپانتینیت‌های برشی، کنگلومرای پالئوسن و رسوبات عهد حاضر قرار گرفته است.

بی‌هنجاری VLF که بین ایستگاه‌های ۶۰S و ۱۶۰S (شکل ۴-۳۱ ب) قرار دارد بر روی واحد زمین شناسی سرپانتینیت برشی و رسوبات عهد حاضر واقع شده است. بی‌هنجاری VLF که در سمت راست مقطع چگالی جریان قرار دارد نیز در مجاورت گسل چلی یوردی با راستای شمال غربی-جنوب شرقی و بر روی سرپانتینیت‌های برشی قرار دارد و ادامه کانی سازی را بر روی این روند نشان می‌دهند. نتایج برداشت IP بر روی این پروفیل مقادیری در حد زمینه را نشان می‌دهد. مقادیر مقاومت ویژه کم هم در فاصله ۵۰N تا ۷۰S و بر روی واحد شیلی-مارنی و کنگلومرا واقع شده است. بر روی این پروفیل اطلاعات ژئوشیمی وجود ندارد.

#### ۱۰-۶ پروفیل ۳۵۰E

این پروفیل از نظر زمین شناسی بر روی رسوبات عهد حاضر، سرپانتینیت‌های برشی، شیل-مارن-ماسه سنگ و کنگلومرای پالئوسن واقع شده است. بی‌هنجاری VLF که در فاصله افقی ۶۰S و ۱۶۰S واقع شده

(شکل ۴-۳۳ ب) بر روی رسوبات عهد حاضر و کنگلومرای پالئوسن قرار دارد گسل فرعی با امتداد شمال شرقی-جنوب غربی در فاصله کمی از این بی‌هنجاری قرار دارد. بی‌هنجاری سمت راست مقطع چگالی جریان نیز در مجاورت گسل موجود در شمال منطقه (گسل چلی یوردی) واقع شده است. با توجه به نتایج VLF بر روی پروفیل‌های قبلی به نظر می‌رسد بی‌هنجاری‌های VLF بر روی ادامه روند کانی سازی قرار گرفته است. نتایج IP بر روی این پروفیل مقادیری در حد زمینه را نشان می‌دهد و بی-هنجاری‌های مقاومت ویژه بر روی رسوبات آبرفتی واقع شده است. بر روی این پروفیل اطلاعات ژئوشیمی وجود ندارد.

#### ۶-۱۱ پروفیل ۴۵۰E

از لحاظ زمین شناسی این پروفیل شامل واحدهای شیلی، رسوبات عهد حاضر، سرپانتینیت برشی و کنگلومرای پالئوسن می‌باشد. نتایج برداشت VLF حاکی از وجود یک بی‌هنجاری در فاصله افقی بین ایستگاه‌های ۸۰N و ۱۶۰S و بی‌هنجاری دیگری بین ایستگاه‌های ۲۵۰N و ۳۰۰N می‌باشد (شکل ۴-۳۷ ب). بی‌هنجاری واقع شده در فاصله ۸۰N تا ۱۶۰S شامل سرپانتینیت‌های برشی، رسوبات عهد حاضر و کنگلومرای پالئوسن می‌باشد (شکل ۲-۲) که عبور دو گسل از آن بر روی نقشه زمین شناسی مشخص شده است و می‌توان آنها را دلیل وجود بی‌هنجاری و در نتیجه، کانی سازی جیوه در این محدوده به شمار آورد. نتایج IP و مقاومت ویژه بر روی این پروفیل مورد خاصی را نشان نمی‌دهد. بی‌هنجاری VLF موجود در فاصله ۲۵۰N تا ۳۰۰N نیز در مجاورت گسل چلی یوردی قرار دارد و کانی سازی در آن بسیار محتمل می‌باشد. بر روی این پروفیل برداشت ژئوشیمی انجام نگرفته است. نتایج روش VLF بر روی این پروفیل ادامه روند کانی سازی بر روی پروفیل‌های قبلی را نشان می‌دهد.

#### ۶-۱۲ پروفیل ۵۰۰E

این پروفیل به لحاظ زمین شناسی شامل واحدهای شیلی، سرپانتینیت برشی و رسوبات عهد حاضر می- باشد. برداشت VLF وجود یک بی‌هنجاری گسترده در فاصله ۵۰N تا ۶۰S (شکل ۴-۳۹ ب) را نشان می‌دهد که بر روی رسوبات عهد حاضر واقع شده است (شکل ۲-۲) و منبع دو بی‌هنجاری قوی که در فاصله کم از این محدوده قرار دارد را می‌توانیم وجود دو گسل با امتداد شمالی-جنوبی و شمال غربی- جنوب شرقی در این محدوده بدانیم که کانی سازی در مجاورت آنها صورت گرفته است. دیگر بی‌هنجاری VLF که در این پروفیل نسبت به پروفیل‌های قبلی کوچکتر شده است در مجاورت گسل چلی یوردی و البته بر روی واحد شیل- مارن-ماسه سنگ قرار دارد که علت کوچک شدن این بی‌هنجاری را می‌توان به نفوذ پذیری کم شیل نسبت داد. نتایج مقاومت ویژه و IP مورد قابل ذکری را نشان نداده است و مقادیر مقاومت ویژه پایین در قسمت بالای پروفیل می‌تواند ناشی از قرار گیری آن بر روی واحد شیلی-مارنی باشد. بر روی این پروفیل برداشت ژئوشیمی انجام نگرفته است

#### ۶-۱۳ پروفیل ۵۵۰E

واحد شیل-مارن-ماسه سنگ، سرپانتینیت برشی، کنگلومرای پالئوسن و رسوبات عهد حاضر واحدهای زمین شناسی تشکیل دهنده این پروفیل می‌باشد. بی‌هنجاری VLF در فاصله ۱۶۰S تا ۱۲۰N (۴-۴۱ ب) واقع شده است که در فاصله ۵۰N تا ۱۲۰N چگالی جریان بالاتری را نشان می‌دهد. این زون بر روی رسوبات پالئوسن و سرپانتینیت برشی واقع شده است (شکل ۲-۲) و کانی سازی در مجاورت گسل فرعی که با امتداد شمالی-جنوبی را در مرز این دو واحد مشاهده می‌نماییم، محتمل است. قسمت دیگر بی-هنجاری (بین ایستگاه ۵۰N تا ۱۶۰S) نیز بر روی رسوبات حاضر قرار داشته و شامل یک گسل با امتداد شمالی- جنوبی می‌باشد. بی‌هنجاری سمت راست VLF نیز در مجاورت گسل چلی یوردی واقع شده است. نتایج IP و مقاومت ویژه مورد قابل ذکری را بر روی این پروفیل نشان می‌دهد.

# فصل، مضمون

نتیجہ گیری و پیشنهادات

## ۷-۱ جمع بندی و نتیجه‌گیری

در این تحقیق از روش‌های ژئوفیزیکی مقاومت ویژه، قطبش القایی و VLF برای شناسایی کانی‌سازی جیوه در محدوده اکتشافی استفاده شد و در نهایت نتایج به‌دست آمده با اطلاعات زمین‌شناسی و ژئوشیمی تلفیق گردید. آرایش مستطیلی در مرحله اول عملیات ژئوفیزیک برای برداشت‌های مقاومت ویژه و قطبش القایی مورد استفاده قرار گرفته است با توجه به فاصله زیاد الکترودهای A و B عملاً این آرایش به‌منظور شناسایی استفاده می‌شود نه برای مقاصد اکتشافی همراه با جزئیات. همچنین با توجه به رسانا بودن لایه سطحی در این محدوده، عمق نفوذ روش مقاومت ویژه (و IP) بسیار کم می‌باشد. روش VLF نیز در این بررسی به‌خاطر مناسب بودن (با توجه به کانی‌های همراه)، سادگی روش، سرعت عمل و هزینه کم آن مورد استفاده قرار گرفته است. سپس داده‌های اندازه‌گیری شده توسط نرم افزار Ramag مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است. مدل‌های تهیه شده شامل نمودار داده‌های خام، نمودار فیلتر فریزر، نمودار فیلتر کاروس-هجلت و مقاطع عرضی مربوط به آنها می‌باشد. در تهیه مدل‌ها فیلتر کاروس-هجلت با عمق فیلتر ۶۰ متر انتخاب گردید و حضور کانی‌سازی در پروفیل‌ها به‌خوبی مشهود بود. البته معیار قضاوت ما به همراه بودن کانی‌سازی سینابر با پیریت، کالکوپیریت و دیگر عناصر همراه رسانا استوار است. اطلاعات زمین‌شناسی، ژئوفیزیک و ژئوشیمی حاکی از آن است که کانی‌سازی جیوه در این محدوده بیشتر در مجاورت گسل‌های فرعی منطقه اکتشافی انجام پذیرفته است. روند عمومی آلتراسیون در محدوده شمال غربی-جنوب شرقی بوده و شدیداً توسط سیستم گسله‌ای موجود در منطقه کنترل شده است.

بر اساس اطلاعات به‌دست آمده از نتایج ژئوفیزیک و همچنین ژئوشیمی می‌توان گفت تمرکز و کانی‌سازی سینابر به شکل توده‌ای و پرکننده فضاهای خالی در امتداد گسل‌های معکوس و رانده که این رگه‌ها در همبری سرپانتینیت‌های برشی با شیل-مارن و کنگلومرای پالئوسن و سنگ‌های کاملاً به‌هم ریخته (ملانژ افیولیتی) تشکیل شده‌اند، در محدوده اکتشافی صورت گرفته است.



با توجه به نتایج تفسیر ژئوفیزیکی و سایر اطلاعات اکتشافی چنین استنباط می‌شود که تنه اصلی کانی-سازی در عمق قرار گرفته است و رگه‌هایی از آن به شکل شاخه‌هایی در امتداد شکستگی‌ها تشکیل شده است.

در اکتشافات ژئوفیزیکی در منطقه مورد مطالعه، عمدتاً از روش VLF استفاده شده است با پردازش و تفسیر داده‌های VLF و با استفاده از فیلتر فریزر و شبه مقاطع چگالی جریان، زون‌های رسانای کم‌عمق یا عمیق شناسایی می‌گردند. با مدل سازی داده های VLF می توان توزیع مقاومت ویژه زیر سطحی را به-دست آورد. در قسمت دوم این تحقیق، تفسیر کمی داده‌های VLF بر اساس مدل سازی معکوس عددی مورد بررسی قرار گرفت و در نتیجه، مقاطع دوبعدی مقاومت ویژه زیر سطحی حاصل از این مدل‌سازی رسم گردید. نتایج حاصل از تفسیر کیفی و کمی داده‌های VLF با یکدیگر مقایسه شد و تطابق نسبتاً خوب بین آنها نمایش داده شد.

در نهایت فیلتر فریزر به منظور اعمال تغییراتی در آن مورد بررسی قرار گرفت. به نظر می‌رسد این فیلتر تحت شرایطی که در بخش مربوط به آن توضیح دادیم، عملکرد بهینه مورد نظر را ندارد و گاهی اعمال فیلتر فریزر بر روی داده‌های خام ممکن است نه تنها موجب کاهش نوفه‌های تصادفی نگردد بلکه تا حدی باعث افزایش این نوفه‌ها شود. این مسئله را می‌توان یک نقطه ضعف برای فیلتر فریزر برشمرد. با بررسی این مسئله تغییراتی را در این فیلتر به منظور بهبود بخشیدن به عملکرد آن ایجاد نموده و فیلتر فریزر تعدیل شده را معرفی کردیم. این فیلتر بر روی داده‌های مصنوعی که شرایط مورد نظر را برآورده می‌کرد آزمایش شد و نتایج قابل قبولی را به دنبال داشت.

با توجه به نتایج حاصل شده در فصل ششم، دو روند کانی سازی در منطقه اکتشافی وجود دارد. روند اول در قسمت شمالی پروفیل‌ها و در مجاورت گسل چلی یوردی مشاهده شده و در پروفیل‌های  $E 450$  تا  $E 550$  مقدار آن کمتر شده است که احتمالاً نفوذپذیری اندک واحد شیلی-مارنی پاسخگوی این مسئله است. به دلیل کوتاه بودن ترانسه‌های نمونه برداری بر روی این روند، اطلاعات ژئوشیمی موجود نمی‌باشد

اما، احتمال کانی سازی جیوه بر روی آن بسیار بالاست. روند دوم مربوط به قسمت جنوبی پروفیل‌ها است که عمده آنها در مجاورت با یک گسل فرعی یا با یک فاصله کم از گسل‌های فرعی موجود در منطقه (البته با امتدادهای مختلف) قرار گرفته اند. از نظر زمین شناسی این روند در زون‌هایی مشاهده شده که همبری سرپانتینیت‌های برشی با شیل-مارن و کنگلومرای پالئوسن وجود دارد. نتایج ژئوشیمی نیز (جاهایی که این نتایج را داریم) کانی سازی سینابر را در این روند تأیید نموده است.

## ۲-۷ پیشنهادات

۱- بررسی‌های بیشتر بر روی فیلتر فریزر تعدیل شده به منظور تعیین و شناخت نقاط قوت و ضعف آن و آزمایش این فیلتر با داده‌های صحرایی که شواهد عینی مانند حفاری برای آنها وجود داشته باشد.

۲- انجام بررسی‌های مقاومت ویژه و IP بر روی مناطق امید بخش موجود بر روی پروفیل‌های VLF با استفاده از آرایش دوقطبی-دوقطبی (در پروفیل‌هایی که قبلاً بررسی‌های مقاومت ویژه و IP صورت نگرفته است).

۳- حفاری و نمونه گیری از عمق در موقعیت ایستگاه‌های ۱۴۰S و ۲۵۰N و ۱۱۰N از پروفیل ۲۰۰E و همچنین موقعیت ایستگاه‌های ۱۴۰S و ۲۰S و ۲۵۰N از پروفیل ۴۰۰E به منظور تأیید کانی سازی فلزی (جیوه و مس).

۴- انجام بررسی‌های ژئوشیمی در قسمت‌هایی که بی‌هنجاری VLF مشاهده شده اما بررسی ژئوشیمی انجام نگرفته است که مهمترین آن بررسی‌های ژئوشیمی در اطراف گسل اصلی موجود در شمال منطقه (گسل چلی یوردی) می‌باشد.

۵- برداشت VLF بر روی پروفیل‌های ۶۰۰E تا ۸۵۰E که بر روی آنها برداشت VLF صورت نگرفته است، به منظور مشخص نمودن منطقه وسیع تر کانی سازی فلزی.

# فهرست منابع

## منابع فارسی:

امامعلی پور، ع. رسا، ا. و خاکزاد، ا.، ۱۳۷۸، "دگرسانی سیلیسی - کربناته سرپانتینیت ها و کانی سازی جیوه در ناحیه خان گلی ماکو"، سومین همایش انجمن زمین شناسی ایران، دانشگاه شیراز.

امامعلی پور، ع.، ۱۳۸۲، "فلززایی جیوه در سنگ‌های لیستونیتی گستره افیولیتی خوی"، بیست و دومین گردهمائی علوم زمین، سازمان زمین شناسی کشور، تهران

تلفورد، و م. جلدارت، پ ل، شریف، ر. کیل، د.، ۱۳۷۵، "ژئوفیزیک کاربردی". ترجمه: حسین مردیان وحسن حاجب حسینی، انتشارات دانشگاه تهران

سمنانی نژاد، ا.، ۱۳۸۷، پایان نامه کارشناسی ارشد: "مدل سازی و تفسیر توام داده‌های پلاریزاسیون القایی (IP) و الکترومغناطیس با فرکانس بسیار پایین (VLF) در محدوده معدنی انجیره تیران"، دانشکده معدن، نفت و ژئوفیزیک دانشگاه صنعتی شاهرود.

طلوعی، م.، ۱۳۸۶، پایان نامه کارشناسی ارشد: "برداشت، مدل سازی و تفسیر داده‌های مقاومت ویژه جهت اکتشاف سرب و روی در منطقه خلخال"، دانشکده معدن، نفت و ژئوفیزیک دانشگاه صنعتی شاهرود.

عرب امیری، ع. و کامکار روحانی، ا.، ۱۳۸۳، "ایجاد پایگاه داده‌های ژئوفیزیک زمینی کشور یک ضرورت انکار ناپذیر"، کنفرانس مهندسی معدن ایران، تهران.

کاوشگران، مهندسین مشاور، ۱۳۷۳، گزارش طرح اکتشاف نیمه تفصیلی جیوه و عناصر وابسته در منطقه خان گلی ماکو، وزارت معادن و فلزات

کاوشگران، مهندسین مشاور، ۱۳۷۶، گزارش طرح اکتشاف تفصیلی جیوه منطقه خان گلی ماکو، وزارت معادن و فلزات

کلاگری، ع.، ۱۳۷۱، "اصول اکتشافات ژئوفیزیکی"، چاپ اول، انتشارات تابش

گریفیتس، د. اچ و کینگ، ر.، ۱۳۷۳، "ژئوفیزیک کاربردی برای زمین‌شناسان و مهندسان"، ترجمه حسن حاجب حسینی، انتشارات دانشگاه تهران.

لطفی، ن.، ۱۳۸۷، سمینار کارشناسی ارشد: "تفسیر کیفی، نیمه کمی و کمی داده‌های VLF"، دانشکده معدن، نفت و ژئوفیزیک دانشگاه صنعتی شاهرود.

نوروزی، ا.، حفیظی، م. ک. و مهرپرتو، م.، ۱۳۸۴، "مدل‌سازی IP و RS جهت اکتشاف ذخیره طلای اپی ترمال روستای زاگلک در شهرستان اهر"، دوازدهمین کنفرانس ژئوفیزیک ایران، تهران.

#### English References:

- ABEM Company LTD, 2000 WADI VLF instruction Manual
- Babu, V. R., Ram, S. and Sundararajan, N., 2007, "Modeling and inversion of magnetic and VLF-EM data with an application to basement fractures, A case study from Raigarh, India", *Geophysics*, 72. P. B133–B140
- Bayrak, M., 2002, "Exploration of chrome ore in Southwestern Turkey by VLF-EM", *Journal of the Balkan geophysical society*, Vol. 5, No 2, p. 35-46.
- Beamish, D., 1994; "Two-dimensional regularized inversion of VLF data", *Applied geophysics*. 32, 357-374
- Beamish, D., 1998; "Three-dimensional modeling of VLF data", *Applied geophysics*. 39, 63-76
- Beamish, D., 2000, "Quantitative 2D VLF data interpretation", *J. Applied geophysics*, 45, 33-47.
- Beamish, D., 2004, "3D modelling of near-surface, environmental effects on AEM data", *Journal of Applied Geophysics*, 56.
- Candansayar, M. E. and Basokur, A., 2001, "Detecting small-scale targets by the 2D inversion of two-sided three-electrode data: application to an archaeological survey", *Geophysical Prospecting*, Volume 49 Issue 1, Pages 13 - 25
- Chouteau, M., Zhang, P. and Chapellier, D., 1996; "Computation of apparent resistivity profiles from VLF-EM data using linear filtering", *Geophys. Prosp.*, 44, 215-232
- Corinne A. L., Simon, A. J., Cassidy, J., Mauk, J. A., 1999, "Geophysical exploration of the Puhupuhi epithermal area, Northland, New Zealand", *Journal of Geochemical Exploration*, Volume 65, Issue 2, March 1999, Pages 91-109
- Djeddi, M., Bakert, H. and Tabbaghe, A., 1998, "Interpretation of VLF-EM anomalies of 3D structures by using linear filtering techniques", *ANNALI DI GEOFISICA*, VOL. 41
- Fraser, D. C., 1969; "Contouring of VLF-EM data", *Geophysics*, 34, 958-967
- Gharibi, M. and Pedersen, L.B., 1999; "Transformation of VLF data into apparent resistivity and phases", *geophysics*, 64, 1393-1402.
- Gürer, A., Baryak, M., Gürer, Ö.F., 2009, "A VLF survey using current gathering phenomena for tracing buried faults of Fethiye–Burdur Fault Zone", Turkey. *Journal of Applied Geophysics*.
- Hayles, J. G. and Sinha, A. K., 1986, "A portable local loop VLF transmitter for geological fracture mapping", *Geophysical Prospecting*, 34, 873–896.
- Hongtao, L. Jianming, L. Changming, Y. Jie, Y. and Zeng, Q., 2006, "Integrated geological and geophysical exploration for concealed ores beneath cover in the Chaihulanzi

- goldfield, northern China”, *Geophysical prospecting*, Volume 54 Issue 5, Pages 605-621
- IPR 11 MANUAL, 1981.
- Kaikkonen, P. and Sharma, S. P., 1998, “ 2-D nonlinear joint inversion of VLF and VLF-R data using simulated annealing”, *Applied geophysics*, 39, 155-176
- Kaikkonen. P. and Sharma. S.P., 2001, “A comparison of performances of linearized and global nonlinear 2-D inversion of VLF and VLF-R electromagnetic data”, *Geophysics*, 66, 462-475
- Kamkar-Rouhani, A., 2001, “Developments in resistivity methods for detection of subsurface pollution”, IAH, GERMANY
- Kamkar-Rouhani, A. and Uren, N., 2000, “ Development and application of electrical residual techniques to detect subsurface anomalous bodies”, EAGE, GERMANY
- Karous, M., and Hjelt, S. E., 1983, “ Linear filtering of VLF dip angle measurements”, *Geophysical prospecting*, 31, 782-794.
- Knödel, K., Lange, G., Voigt, H. , 2008, “Environmental Geology: Handbook of Field Methods and Case Studies”, Springer, chapter 4, geophysics.
- Mauriello, P. and Patella, D., 2001, “Gravity probability tomography: a new tool for buried mass distribution imaging”, *Geophysical Prospecting*, Volume 49 Issue 1, Pages 1-12
- McNeill, J. D. and Labson, V. F., 1991, “Geological mapping using VLF radio fields”. In: Nabighian, M. Ed., *Electromagnetic Methods in Applied Geophysics: Part B. Application*. SEG, Tulsa, pp. 521–640
- Milson, 2002, “ *Field Geophysics*”, 3 Edition, Cambridge university press.
- Mooney H. M., 1980, “*Handbook of Engineering Geophysics*”, vols 1 and 2 Minneapolis, MN: Bison Instrument Inc.
- Oskooi, B., 2004, PHD thesis, “A Broad view on the interpretation of electromagnetic data (VLF, RMT, MT, CSTMT)”, faculty of science and technology Uppsala university.
- Paterson, N. R. and Ronka, V., 1971, “Five years of surveying with very low frequency electromagnetic method”, *Geoexploration*, 9, 7-26.
- Pelton, W. H., Ward, S. H., Hallof, P. G., Sill, W. R. and Nelson, P. H., 1978, “Mineral discrimination and removal of inductive coupling with multifrequency IP”, *Geophysics*, 43, 588-609.
- Pelton, W. H., Sill, W. R. and Smith, B. D., 1983, “Interpretation of complex resistivity and dielectric data” Part I: *Geophysical Transactions*, 29, 297-330.
- Phillips, W. J., and Richards, W. E., 1975, “A study of effectiveness of the VLF method for the location of narrow-mineralized fault zones”, *Geoexploration*, 13, 215-226.
- RAMAG Instruction Manual Version 2.2, February 2002
- Reynolds, J.M., 1997, “*An Introduction to applied and environmental geophysics*”, John Wiley & Sons Ltd.
- Santos, F. M., 2006, “Instructions for Running PrepVLF and Inv2DVLF 2-D Inversion of VLF-EM single frequency programs”

- Sinha, A.K., 1990, "Interpretation of ground VLF-EM data in terms of inclined sheet-like conductor models", *Geophysics*, 103, 732-756.
- Sinha, A.K., 1998, "Recent Developments in Quantitative Interpretation of VLF-EM Data": *Deep Electromagnetic Exploration*, Roy, k. k., Narosa Publishing House, New Delhi, India
- Smith B.D. and Ward S.H., 1974, "On the computation of polarization ellipse parameters", *Geophysics*, 39, pp. 867-869
- Soupios, P., Papadopoulos, N., Papadopoulos, I., Kouli, M., Vallianatos, F., Sarris, A., Manios, T., 2007, "Application of integrated methods in mapping waste disposal areas". *Environ Geol*, 53:661-675.
- Telford, W. M. and Geldart, L. P. and Sheriff, R. E., 1990, "*Applied geophysics*" second edition Cambridge university press.
- TSQ-3 Time and frequency domain IP and resistivity transmitter manual, 1992, Scintrex.
- Ward, S. H., Sternberg B. K., LaBrecque D. J., and Poulton M. M., 1995, "Recommendations for IP research", *The Leading Edge*, April, 243-247.
- [www.ngdir.com](http://www.ngdir.com)
- Wright, J. L., 1988, VLF Interpretation manual: Scintrex, Ltd.
- Yuval, D. W. O., 1995, "DC resistivity and IP methods in acid mine drainage problems results from the Copper Cliff mine tailings impoundments", *Journal of Applied Geophysics* 34 , 187-198
- Zohdy, A. A. R., Eaton, G. P. and Mabey, D. R., 1974, "Application of surface geophysics to groundwater investigation", Techniques of Water Resources Investigations. U.S. *Geological survey*, 116 pp..

## **Abstract**

Nowadays geophysical exploration methods have extensive applications in exploration of metallic ore deposits, mainly due to their relatively good results, low costs and high speed. Considerable contrast between physical properties of metallic ore deposits and their host rocks have enabled us to explore them using various geophysical methods. Mercury is one of metallic minerals having high conductivity in its pure form. However, mercury in its deposits is often observed as cinnabar that is electrically resistive.

For exploration of mineral deposits in an area, we can use different geological, geochemical and geophysical methods, and then, by integrating their results, we determine the preference of exploration zones. To determine mercury mineralization limits in Khangoi area, we have used different geophysical methods, namely resistivity, induced polarization (IP) and very low frequency (VLF) electromagnetic methods, and finally, we have presented a suitable and correct interpretation using geological evidences and geochemical studies.

Often quite a large number of data is acquired using the VLF method, but little quantitative information is obtained from the data. Using Fraser filter and current density pseudo-section, data. It is based on reduction of background noise and avoiding an increase in random noises. If the noise in the study area is in the form of background and unique noise, the filter eliminates the noise. However, the conditions of the data acquisition in the area are often otherwise, so that random noise in addition to background noise affects the data. In these situations, Fraser filter not only reduces random noise but also causes increasing the noises. This is a weakness of this filter. By modifying this filter to reduce noises, we can obtain modified Fraser filter that is used in this research work for the first time in Iran, and its advantages have been shown in this thesis.

The results of using different geophysical methods (i.e. resistivity, IP and VLF) and geochemical and geological methods were integrated, and finally, two main mineralization trends, one associated with major fault of the study area, and the other in the vicinity of minor faults of the area were recognized. Therefore, combining exploration information and obtaining a suitable patter from mercury mineralization, we explored mercury mineralization zones in the area.





**Shahrood University of Technology**  
**Faculty of Mining, Petroleum and Geophysics**

**Modeling and interpretation of resistivity, induced polarization and  
VLF-EM for exploration of mercury deposits in Khangoli siahcheshme  
,Makoo area**

**Naser Lotfi**

**Supervisor:**

**Dr Abolghasem Kamkar-Rouhani**

**Adviser:**

**Ebrahim shahin**

**jun 2009**