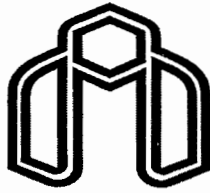


بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشگاه صنعتی شاهرود

دانشکده مهندسی معدن و ژئوفیزیک

گروه ژئوفیزیک

پایان نامه کارشناسی ارشد

عنوان:

ارائه روشی برای کاهش اثرات ناهمگنی های سطحی روی داده های مگنتو تلوریک و مدل سازی داده های آن

دانشجو:

راحیل قندی

اساتید راهنما:

دکتر علی مرادزاده

دکتر نادر فتحیانپور

تیر ۱۳۸۶

پیشکش به پدر و مادر فداکاری که زیستن را به من آموختند  
و تقدیم به مهربان همراهم، همسر همیشه همگامم که مهربانی را به  
من آموخت

## تقدیر و تشکر

کتاب آفرینش را قلم زد

به نام آن که هستی را رقم زد

سپاس بی پایان خدایی را که بر ما ارزانی داشت نعمت های بی کرانش را و عطا فرمود توفیق انجام این پژوهش را.

پیش از هر سخنی وظیفه خود می دانم از کلیه عزیزانی که مرا در پیشبرد و ارائه این پایان نامه صمیمانه و خالصانه یاری دادند، تقدیر و تشکر نمایم:

از اساتید محترم دانشکده معدن و ژئوفیزیک دانشگاه صنعتی شاهرود که طی دوره تحصیل همواره راهنمایم بوده و مدیون محبت های ایشان می باشم، به ویژه استادان گرانقدر، جناب آقای دکتر علی مرادزاده و جناب آقای دکتر نادر فتحیانپور، استاد محترم دانشکده معدن دانشگاه صنعتی اصفهان.

از خانواده عزیزم که در این راه همواره مرا پشتیبان و مشوق بوده اند و همراه همیشگی و همپایم، دکتر شهرام احمدی ممنون و سپاسگذارم و این تحقیق را به پاس زحمات بی چشم داشتش، به او پیشکش می کنم.

## چکیده

روش مگنتوتلوریک (MT) با توجه به ویژگیهایی از جمله عمق تجسس بالا، عدم نیاز به چشمه های مصنوعی مولد میدان و همچنین آلوده نکردن محیط زیست دارای کاربرد وسیعی در اکتشافات، به خصوص نفت و منابع ژئوترمال می باشد. یکی از مسائل اصلی در استفاده از این روش، حذف اثر جا به جایی استاتیکی است که به علت وجود توپوگرافی و یا ناهمگنی های سطحی الکتریکی ایجاد می شود. روش های مختلفی بدین منظور اعمال می شود که مهمترین آنها استفاده از سونداژ زنی الکترومغناطیسی با روش TEM است. این روش غالباً بر هزینه ولی مؤثر است. گاهی اوقات حذف سایر آثار ناهمگنی های سطحی، روش های پیچیده تری را طلب می کند که از آنها تحت عنوان تجزیه تانسوری نام برده می شود. در این تحقیق داده های MT منطقه ای در استرالیا مورد مطالعه قرار گرفت. آماده سازی های اولیه بر روی این داده ها انجام شده بود. پردازش انجام شده در این پایان نامه شامل تجزیه تانسوری و حذف اثر جا به جایی استاتیکی بود. برای این منظور از بین شیوه های مختلف تجزیه تانسوری که در متن این تحقیق به آنها اشاره خواهد شد، روش تجزیه تانسوری لیلی انجام شد و نتایج حاصل با تجزیه تانسوری روش گروم-بیلی مقایسه شد. در این راستا مقادیر  $\theta_1$ ،  $e$  و نیز  $Z_{xy}$  و  $Z_{yx}$  و فاز آنها به ازای مقادیر مختلف فرکانس و به طور جداگانه برای هر سونداژ طبق روش لیلی محاسبه شد و مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرار گرفت. با توجه به نمودارهای حاصل که برای این کمیت ها محاسبه و ترسیم شد، مشخص شد که قسمتهای حقیقی و موهومی  $e$  و  $\theta$  که امتداد آنومالی محلی را مشخص می کنند در فرکانس بالا، دچار تغییرات زیادی هستند و مرتباً با فرکانس عوض می شوند. این پدیده را می توان به وجود توده های سطحی کوچک که اغلب سه بعدی اند و در یک ساختار زمین شناسی یک بعدی قرار گرفته اند، نسبت داد. در فرکانس های پایین و به خصوص برای فرکانس های زیر ۱ هرتز، مقادیر  $e$  و  $\theta$  برای بخش های حقیقی و موهومی تطابق بهتری داشته و همچنین مستقل از فرکانس اند. با توجه به این مقادیر و با میانگین گیری از قسمتهای حقیقی و موهومی می توان امتداد آنومالی محلی در زیر هر سونداژ را تعیین کرد.  $\theta_1$  چنانچه انتظار می رفت، به فرکانس وابسته بود که این مسئله ضعف اصلی روش تجزیه تانسوری لیلی می باشد. پس از تجزیه تانسوری با روش های لیلی و گروم-بیلی و حذف اثر جابه جایی استاتیکی، داده های هر مود پلاریزاسیون به طور جداگانه و نیز همزمان مورد مدل سازی معکوس قرار گرفتند. نتایج نشان می دهد که در غالب موارد دو روش تجزیه می توانند نتایج نزدیک به هم داشته باشند.

## فهرست مطالب

عنوان	صفحه
چکیده .....	سه
فهرست مطالب .....	چهار
فهرست اشکال .....	هفت
فهرست جداول .....	نه

### فصل اول: مقدمه و کلیات

۱-۱- مقدمه .....	۱
۲-۱- سابقه و ضرورت مطالعه .....	۲
۳-۱- هدف مطالعه و روش تحقیق .....	۴
۴-۱- ساختار پایان نامه .....	۴

### فصل دوم: مبانی تئوریک روش مگنتو تلوریک

۱-۲- مقدمه .....	۶
۲-۲- سونداژ مگنتو تلوریک .....	۷
۳-۲- منشاء میدانهای مگنتو تلوریک .....	۸
۴-۲- اصول روش MT .....	۹
۵-۲- بررسی پاسخ ساختارهای یک بعدی (D-1) .....	۱۰
۶-۲- بررسی پاسخ ساختارهای دو بعدی (D-2) .....	۱۳
۷-۲- بررسی خواص یک تانسور امپدانس .....	۱۵

### فصل سوم: بررسی روش های تعدیل اثرات ناهمگنی های سطحی روی داده های MT

۱-۳- مقدمه .....	۱۷
۲-۳- فیلتر سازی فضایی .....	۱۹
۳-۳- سونداژ الکترومغناطیس گذرای حلقه مرکزی (TEM) .....	۲۰
۴-۳- محاسبه تئوری جابه جایی استاتیکی .....	۲۰
۵-۳- سایر روش ها .....	۲۰
۶-۳- تجزیه تانسوری .....	۲۱
۱-۶-۳- روش تجزیه سویفت .....	۲۲
۲-۶-۳- روش تحلیل همبستگی حداکثر راکین و ردی .....	۲۳
۳-۶-۳- روش امپدانس ثابت و مستقل از چرخش .....	۲۳
۴-۶-۳- روش گمیل .....	۲۴
۵-۶-۳- روش ایگرز .....	۲۴
۶-۶-۳- روش اسپیتز .....	۲۵
۷-۶-۳- روش لاتوروکا .....	۲۶
۸-۶-۳- روش کانونیکال .....	۲۶

- منابع و ماخذ ..... ۹۴
- پیوست (الف): گرافهای مقاومت و فاز تک تک سونداژها قبل و بعد از تجزیه تانسوری لیلی و نیز مقادیر قسمتهای حقیقی و موهومی  $\theta_e, \theta_h$  بر حسب فرکانس ..... ۱۰۱
- پیوست (ب): جدول داده های حاصل از تجزیه تانسوری لیلی ..... ۱۱۲
- پیوست (ج): نمودار های مقاومت و فاز تک تک سونداژ ها قبل و بعد از تجزیه تانسوری لیلی و نیز مقادیر قسمتهای حقیقی و موهومی  $\theta_e$  و  $\theta_h$  بر حسب فرکانس ..... ۱۲۳
- پیوست (د): نمونه ای از فایل ورودی به نرم افزار IPI2WIN ..... ۱۵۷
- پیوست (و): برنامه نوشته شده به زبان برنامه نویسی مطلب به منظور اجرای روش تجزیه تانسوری لیلی ..... ۱۶۵

## فهرست اشکال

عنوان	صفحه
شکل ۱-۲- توان طیفی امواج MT .....	۹
شکل ۲-۲- امواج الکترو مغناطیس صفحه ای در برخورد با نیم فضای همگن .....	۱۰
شکل ۳-۲- پاسخ مقاومت ظاهری و فاز یک مدل دو لایه ای .....	۱۲
شکل ۴-۲- نمایش شماتیک یک مدل D-2 با یک مرز هادی در لایه اول .....	۱۴
شکل ۱-۳- الف- تغییرات میدان الکتریکی در عبور از یک ناهمگنی کوچک ب- کانالیزه شدن جریان الکتریکی در عبور از یک زون هادی .....	۱۸
ج- کاهش مقاومت ظاهری در همه فرکانس ها در یک سونداژ MT در سایت B	
شکل ۲-۳- نمایش تعدادی از بردارهای میدان الکتریکی پس از اثر کردن تانسور اسپیلیت .....	۲۹
شکل ۳-۳- نمایش تعدادی از بردارهای میدان الکتریکی پس از اثر کردن تانسور برش .....	۳۰
شکل ۴-۳- نحوه چرخش محورهای اندازه گیری .....	۳۴
شکل ۱-۵- الف- نقشه زمین شناسی عمومی و واحد های تکتونیکی مورد مطالعه .....	۵۰
ب- نقشه ژئوالکتریکی منطقه مورد مطالعه همراه با محل پروفیل .....	۵۱
شکل ۲-۵- نمودار مقاومت ویژه عناصر تانسور امیدانس سونداژ MAD داده های خام .....	۶۰
شکل ۳-۵- نمودار فاز عناصر تانسور امیدانس سونداژ MAD داده های خام .....	۶۰
شکل ۴-۵- نمودار مقاومت ویژه عناصر تانسور امیدانس سونداژ MAD بعد از تجزیه تانسوری لیلی .....	۶۱
شکل ۵-۵- نمودار فاز عناصر تانسور امیدانس سونداژ MAD بعد از تجزیه تانسوری لیلی .....	۶۱
شکل ۶-۵- نمایش مقادیر قسمتهای حقیقی و موهومی $\theta e$ حاصل از تجزیه تانسوری لیلی بر حسب فرکانس برای سونداژ MAD .....	۶۲
شکل ۷-۵- نمایش مقادیر قسمتهای حقیقی و موهومی $\theta h$ حاصل از تجزیه تانسوری لیلی بر حسب فرکانس برای سونداژ MAD .....	۶۲
شکل ۸-۵- نمودار مقاومت ویژه سونداژ پس از تجزیه تانسوری لیلی .....	۶۴
شکل ۹-۵- نمودار مقاومت ویژه سونداژ YAD پس از تجزیه تانسوری گروم-بیلی .....	۶۴
شکل ۱۰-۵- نمودار فاز سونداژ YAD پس از تجزیه تانسوری لیلی .....	۶۵
شکل ۱۱-۵- نمودار فاز سونداژ YAD پس از تجزیه تانسوری گروم-بیلی .....	۶۵
شکل ۱۲-۵- نمودار مقاومت ویژه سونداژ SWD پس از تجزیه تانسوری لیلی .....	۶۷
شکل ۱۳-۵- نمودار مقاومت ویژه سونداژ SWD پس از تجزیه تانسوری گروم-بیلی .....	۶۷
شکل ۱۴-۵- نمودار فاز سونداژ SWD پس از تجزیه تانسوری لیلی .....	۶۸
شکل ۱۵-۵- نمودار فاز سونداژ SWD پس از تجزیه تانسوری گروم-بیلی .....	۶۸
شکل ۱۶-۵- نمودار مقاومت ویژه سونداژ MAD پس از تجزیه تانسوری لیلی .....	۶۹
شکل ۱۷-۵- نمودار مقاومت ویژه سونداژ MAD پس از تجزیه تانسوری گروم-بیلی .....	۶۹
شکل ۱۸-۵- نمودار فاز سونداژ MAD پس از تجزیه تانسوری لیلی .....	۷۰
شکل ۱۹-۵- نمودار فاز سونداژ MAD پس از تجزیه تانسوری گروم-بیلی .....	۷۰
شکل ۲۰-۵- شبه مقاطع مقاومت ویژه و فاز مود TM قبل از اصلاح از اثر جابه جایی .....	۷۳
شکل ۲۱-۵- شبه مقاطع مقاومت ویژه و فاز مود TM بعد از اصلاح از اثر جابه جایی استاتیکی .....	۷۳



- شکل ۵-۲۲- نتایج مدل سازی یک بعدی داده های خام مود TE..... ۷۵
- شکل ۵-۲۳- نتایج مدل سازی یک بعدی داده های خام مود TM..... ۷۶
- شکل ۵-۲۴- نتایج مدل سازی یک بعدی داده های مود TE بعد از تجزیه تانسوری لیلی..... ۷۷
- شکل ۵-۲۵- نتایج مدل سازی یک بعدی داده های مود TM بعد از تجزیه تانسوری لیلی..... ۷۸
- شکل ۵-۲۶- نمونه ای از مش بندی اولیه برای اجرای مدل سازی معکوس هموار دو بعدی..... ۸۰
- شکل ۵-۲۷- مقطع مقاومت ویژه حاصل از مدل سازی داده های خام مود TE..... ۸۲
- شکل ۵-۲۸- مقطع مقاومت ویژه حاصل از مدل سازی داده های مود TE بعد از تجزیه تانسوری لیلی..... ۸۲
- شکل ۵-۲۹- مقطع مقاومت ویژه حاصل از مدل سازی داده های مود TE بعد از تجزیه تانسوری گروم- بیلی..... ۸۳
- شکل ۵-۳۰- مقطع مقاومت ویژه حاصل از مدل سازی دو بعدی داده های خام مود TM..... ۸۳
- شکل ۵-۳۱- مقطع مقاومت ویژه حاصل از مدل سازی دو بعدی داده های مود TM بعد از تجزیه تانسوری لیلی: الف- با مقیاس خطی برای عمق ب- با مقیاس لگاریتمی برای عمق..... ۸۴
- شکل ۵-۳۲- مقطع مقاومت ویژه حاصل از مدل سازی دو بعدی داده های مود TM بعد از تجزیه تانسوری گروم- بیلی: الف- با مقیاس خطی برای عمق ب- با مقیاس لگاریتمی برای عمق..... ۸۵
- شکل ۵-۳۳- مقطع مقاومت ویژه حاصل از مدل سازی دو بعدی داده های مود TE, TM داده های خام..... ۸۷
- شکل ۵-۳۴- مقطع مقاومت ویژه حاصل از مدل سازی دو بعدی داده های مود TE, TM داده های حاصل از تجزیه تانسوری لیلی همراه با نمایش محل سونداژها..... ۸۸
- شکل ۵-۳۵- مقطع مقاومت ویژه حاصل از مدل سازی دو بعدی داده های مود TE, TM داده های حاصل از تجزیه تانسوری گروم- بیلی همراه با نمایش محل سونداژها..... ۸۹

## فهرست جداول

صفحه	عنوان
۵۵.....	جدول ۵-۱- نام و محل جغرافیایی سونداژ های MT همراه با سایر جزئیات آنها
۵۶.....	جدول ۵-۲- مولفه های حقیقی و موهومی تانسور امیدانس MT سونداژ DAW
۵۹.....	جدول ۵-۱- داده های سونداژ LWD بعد از تجزیه تانسوری لیلی

امپدانس تحت تأثیر عواملی همچون وجود نا همگنی های سطحی و یا اثرات توپوگرافی، شکل اصلی خود را از دست داده و تفسیر و مدل سازی داده های اندازه گیری شده را با مشکل مواجه می سازند.

گاهی اوقات اثر نا همگنی های سطحی کوچک، تنها به صورت تغییر در دامنه امپدانس ظاهر می شود، بدون آنکه فاز امپدانس را تغییر دهد. از چنین حالتی تحت عنوان جا به جایی استاتیکی<sup>۱</sup> نام برده می شود. راه حل های مختلفی برای حذف اثر این پدیده وجود دارد که از آن جمله می توان روش فیلتر سازی فضایی به روش پنجره هنینگ<sup>۲</sup> (Moradzadeh,2003)، روش الکترومغناطیسی<sup>۳</sup> (TEM) (Sternberg et al,1988)، روش زمین آمار (Tournerie et al,2004) و... اشاره کرد. یکی از مهمترین آنها استفاده از روش الکترومغناطیسی TEM است. این شیوه از آنجائی که به برداشتهای جداگانه نیاز دارد، پرهزینه است.

در اغلب موارد اثر نا همگنی های سطحی پیچیده تر است و در نتیجه هم نیاز به اعمال روش های پیچیده تری دارد که از آنها تحت عنوان تجزیه تانسوری نام برده می شود. در طی سالیان متمادی روش های مختلفی برای این منظور ارائه شده است: از آن جمله روش سویفت (Swift,1967)، روش تحلیل همبستگی<sup>۴</sup> حداکثر ردی و راکین (Reddy & Rakin,1972)، روش امپدانس ثابت و مستقل از چرخش<sup>۵</sup> (Berdichevsky & Dmitrive,1976)، روش گمبل (Gamble et al,1982)، روش ایگرز (Eggers,1982)، روش اسپیتز (Spitz,1985)، روش بهر (Bahr,1988)، روش گروم-بیلی (Groom & Bailey,1989,1991) و روش لیلی (Lilley,1998) و سایر روش های دیگری را می توان نام برد.

## ۱-۲- سابقه و ضرورت مطالعه

طی زمانهای متوالی روش های مختلفی مثل روش فیلتر سازی فضایی، روش الکترومغناطیسی TEM، روش پارامتری و روش محاسبه تئوری جابه جایی استاتیکی و... برای حذف و یا تعدیل

<sup>1</sup>.Stati Shift

<sup>2</sup>.Hanning Whndow

<sup>3</sup>.Transient Electromagnetic

<sup>4</sup>.Maximum Coherency Analysis

<sup>5</sup>.Invariant Rotation Impedance

اثرات پدیده جابه جایی استاتیکی مورد استفاده قرار گرفته است که از این میان استفاده از روش های تجزیه تانسور امیدانس MT مثل روش سویفت، روش بهر، روش گروم-بیلی و... مهمترین نتایج را در تفسیر داده های MT در بر داشته اند.

در تمامی روش های تجزیه ای، تانسور امیدانس MT اندازه گیری شده با شیوه های مختلف به تانسور امیدانس مربوط به توده های محلی نزدیک به سطح زمین (تحت عنوان آنومالی های محلی) و تانسور امیدانس مربوط به آنومالی های ناحیه ای و عمیق (آنومالی های اصلی که هدف مطالعه می باشند) تقسیم می شوند و سپس با عملیات ریاضی مفصل، اثرات توده های سطحی که غالباً سه بعدی (3-D) می باشند، از داده های مشاهده ای حذف و یا حداقل تعدیل می شوند. از آنجایی که در کشورمان کاربرد روش MT در مطالعه ساختار های زمین شناسی و یا اکتشافات منابع عمیق فقط به چند مورد محدود می گردد (مطالعه منابع ژئوترمال خوی، سبلان توسط گروه فیلیپینی و موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران (طهماسبی، ۱۳۸۳)) و با توجه به قابلیت های بالای این روش در اکتشاف منابع عمیق ژئوترمال، هیدروکربوری و... و همچنین با توجه به فراهم شدن تجهیزات مناسب برای اندازه گیری (توسط دانشگاه صنعتی شاهرود و دانشگاه تهران) قطعاً این روش در آینده از اهمیت زیادی در کشورمان برخوردار خواهد بود.

از این جهت شناخت مبانی تئوریک و بررسی روش های تفسیر داده های MT، نقش بسزایی در شناخت ساختار های زیر سطحی، برای اکتشاف منابع مختلف خواهد داشت. از طرفی بعضی از روش های تفسیر مثل روش های تجزیه امیدانس ارائه شده توسط گروم-بیلی علی رغم قابلیت خوب و کاربرد زیاد آن از پیچیدگی های زیادی برخوردار است که به همین منظور جهت آسانتر نمودن حذف و یا تعدیل آثار ناهمگنی های سطحی، روش تجزیه تانسور امیدانس لیلی در سال ۱۹۸۸ ارائه شده است. با وجود ظاهر ساده این روش، هنوز کاربرد های عملی موفق از این روش در منابع منتشر شده یافت نمی شود. از اینرو شناخت دقیق این روش و بررسی توانمندی های آن برای تفسیر داده های اکتشافی MT از اهمیت بسزایی برخوردار است.

### ۱-۳- هدف مطالعه و روش تحقیق

هدف از این تحقیق مقایسه نتایج دو روش مختلف برای تجزیه تانسوری است. روش گروم - بیلی، علی رغم داشتن نتایج خوب، دارای پیچیدگی هایی در تفسیر و همچنین برنامه نویسی است. روش مطرح شده در این تحقیق، روش لیلی است که می تواند مقدمه ای برای فهم هر چه بهتر مبانی تئوریک این روش و مبنایی برای به کارگیری سایر روش های پیچیده تر تجزیه تانسوری باشد. به علاوه نتایج حاصل، معیار و قیاسی فراهم می کند که آیا این روش قابل مقایسه با سایر روش های پیچیده تر می باشد؟ آیا فرض های در نظر گرفته شده قابل پذیرش اند؟

این روش نخستین بار در ۱۹۹۸ توسط لیلی بر روی داده های جمع آوری شده در منطقه نیوزلند انجام شد و نتایج حاصل کاملاً جدید بودند. دو مقدار اصلی برای مقاومت های ساختار دو بعدی و نیز راستای آنومالی محلی مشخص شد. نتایج دیگری نیز حاصل شد که از آن جمله می توان به ثابت بودن راستای آنومالی محلی با فرکانس و نتایج ضعیف در تعیین امتداد آنومالی اصلی و وابسته بودن آن به فرکانس اشاره کرد.

برای نیل به هدف، ابتدا مبانی روش MT مورد بررسی قرار گرفته و سپس به نقش اثرات توده های سطحی محلی و اثرات این ناهمگنی های الکتریکی روی داده های سونداژ MT اشاره خواهد شد. پس از آن روش های مختلف مربوط به حذف و یا تعدیل این اثرات ناخواسته روی داده های MT و به طور مشخص روش تجزیه تانسور امیدانس لیلی مورد بررسی قرار گرفته و برنامه های کامپیوتری لازم برای استفاده از آن تهیه می شود. جهت ارزیابی قابلیت های این روش از برنامه تهیه شده به زبان برنامه نویسی مطلب که توسط اینجانب تهیه شد، برای تفسیر داده های واقعی مگنتوتلوریک مربوط به ناحیه ای در استرالیای جنوبی استفاده شده و نتایج حاصل با نتایج روش دیگر تجزیه تانسوری یعنی گروم-بیلی مقایسه خواهد شد. پس از آن با انجام مدل سازی های عددی مناسب، نتایج دو روش بیشتر مورد بررسی قرار می گیرند.

### ۱-۴- ساختار پایان نامه

در این تحقیق ابتدا در فصل اول به مقدمه و بیان اهداف اشاره خواهد شد و بعد از آن در فصل دوم به بیان مقدمه ای از تئوری روش MT پرداخته می شود.

در فصل سوم به بررسی روش های تعدیل اثرات ناهمگنی های سطحی روی داده های MT از آن جمله حذف اثر جابه جایی استاتیکی و روش های مختلف تجزیه تانسوری امیدانس و مقایسه آنها با یکدیگر پرداخته می شود و همچنین با لحاظ کردن این مطلب که در این تحقیق دو روش لیلی و گروم - بیلی با یکدیگر مقایسه می شوند، به این دو روش توجه بیشتری می شود.

در فصل چهارم هم به روش های مختلف مدل سازی معکوس داده های MT پرداخته می شود. پس از معرفی منطقه مورد بحث در فصل پنجم و بیان مشخصات زمین شناختی آن، به نتایج انجام روش تجزیه تانسوری لیلی و مدل سازی یک بعدی و دو بعدی داده ها پس از تجزیه تانسوری لیلی و مقایسه آن با مدل های حاصل از مدل سازی داده ها پس از تجزیه تانسوری گروم - بیلی پرداخته می شود.

در نهایت در فصل ششم، نتیجه مطالعات صورت گرفته بر روی منطقه ژئوسینکلینال<sup>1</sup> (بزرگ ناودیس) آدلاید آورده شده و نکات پیشنهادی برای ادامه مطالعات بیشتر را ارائه خواهیم کرد.

---

<sup>1</sup>. Geosyncline

## فصل دوم

### مبانی تئوریک روش مگنتوتلوریک

#### ۲-۱- مقدمه

روش MT یکی از روش های ژئوفیزیکی الکترومغناطیسی با چشمه طبیعی است. این روش از اوائل دهه ۱۹۵۰ در اکتشافات نفت، منابع معدنی و منابع ژئوترمال مورد استفاده قرار گرفت. در این شیوه همانند بسیاری از روش های ژئوفیزیکی الکتریکی و الکترومغناطیسی، توزیع مقاومت ویژه زمین با عمق مشخص می شود.

این روش دارای یک سری مزیت ها و محدودیت ها می باشد. از مهمترین مزایای آن می توان به عمق تجسس بالا اشاره کرد. مزیت دیگر اینکه، در این روش نیاز به حمل و جا به جایی چشمه های مصنوعی مولد میدان نیست و به علاوه این روش اثرات مخربی بر روی محیط زیست ندارد.

از مهمترین محدودیتهای این روش می توان به این موارد اشاره کرد:

طبیعت آشفته امواج در فرکانس های بالا و ضعیف بودن امواج چشمه در برخی از فرکانس ها، مشکل جمع آوری داده در مناطق حاوی نویزهای الکتریکی و در نهایت مشکل تفسیر و مدل سازی داده های آن (Vozzof,1991; Dobrin & Savit,1988).

به علاوه بر خلاف روش لرزه نگاری و گرانی سنجی که در آن پاسخ به شدت متأثر از توده های بزرگ و حجیم سنگی می باشد، روش MT به اجزای سازنده معینی از سنگها حساسیت نشان می-دهد. به عنوان نمونه وجود مقدار کمی گرافیت یا سولفیدهای فلزی و یا اکسیدها به صورت قابل توجهی مقاومت پوسته را از طریق هدایت فلزی، کاهش می دهد.

این حساسیت بالای روش MT به اجزای سازنده ساختارهای زمین شناسی، باعث می شود تا این روش به عنوان روشی بی همتا برای اکتساب اطلاعات زمین شناسی و به عنوان روشی مکمل در کنار سایر روش های ژئوفیزیکی به کار رود (Wu et al,2005).

## ۲-۲- سونداژ مگنتوتلوریک

سونداژ مگنتوتلوریک، نخستین بار در سال ۹۵۳، توسط کاگنیارد<sup>۱</sup> و همکارانش، به عنوان روشی در ژئوفیزیک اکتشافی مورد استفاده قرار گرفت. پیش از به کارگیری این روش، دو روش دیگر بر مبنای استفاده از میدانهای الکترومغناطیسی طبیعی، به منظور مطالعه ساختار زمین، مورد استفاده بودند.

نخستین روش که سونداژ عمقی ژئومغناطیسی<sup>۲</sup> GDS نام داشت، در اواخر قرن نوزدهم مورد استفاده قرار گرفت. این روش بر مبنای استفاده از تغییرات میدان مغناطیسی در فرکانس پائین استوار است. روش دوم یا روش تلوریک در قرن بیستم معرفی شد. در این شیوه تنها اجزای میدان الکتریکی اندازه گیری می شوند و اطلاعات کیفی خوبی از ساختار زیرزمینی ارائه می دهد (Wang,1994).

سونداژ مگنتوتلوریک، در واقع توسعه ای از دو روش قبلی است، که نخستین بار توسط کاگنیارد و در یک زمین لایه ای افقی مورد استفاده قرار گرفت. در این روش از این خاصیت استفاده می شود که میدان های الکترومغناطیسی موجود در جو زمین هنگام برخورد به سطح زمین، به علت اختلاف زیاد مقاومت هوا با زمین، به طور عمودی وارد زمین می شوند و یک میدان مغناطیسی متغیر با زمان ایجاد می کنند که این میدان به نوبه خود میدان الکتریکی متغیر با زمان ایجاد می کند. در حالت خاص تنها مولفه افقی میدان مغناطیسی افقی ( $H_y$ ) با واحد (A/m) و مولفه میدان الکتریکی افقی عمود ( $E_x$ ) با واحد (V/m)، اندازه گیری می شوند. این دو مولفه توسط رابطه زیر با یکدیگر در ارتباطند:

$$E_x(\omega) = Z_{xy} H_y(\omega) \quad (1-2)$$

<sup>1</sup>.Cagniard

<sup>2</sup>.Geomagnetic Depth Sounding



$Z(\omega)$  امپدانس مختلطی است که دارای دامنه و فاز است و رابط دو میدان در فرکانس های مختلف است.

اگر مقاومت به صورت جانبی در زمین تغییر کند، رابطه فوق به شکل زیر بسط داده می شود:

$$E_x(\omega) = Z_{xx}(\omega)H_x(\omega) + Z_{xy}(\omega)H_y(\omega) \quad (2-2)$$

$$E_y(\omega) = Z_{yx}(\omega)H_x(\omega) + Z_{yy}(\omega)H_y(\omega) \quad (3-2)$$

مقادیر  $Z_{ij}$  یک تانسور امپدانسی تشکیل می دهند. به جای تفسیر مستقیم تانسور امپدانس،

می توان از مقاومت ویژه ظاهری  $\rho$  که توسط رابطه زیر تعریف می شود، استفاده کرد:

$$\rho_{ij} = 0.2 |Z_{ij}|^2 / f \quad (4-2)$$

محدوده تقریبی عمق سونداژ در هر فرکانس توسط عمق پوسته<sup>۱</sup> تعریف می شود:

$$\delta = 503.3 (\rho_{ij} / f)^{1/2} \quad (5-2)$$

که در آن  $\delta$  بر حسب متر و  $\rho$  بر حسب اهم-متر تعریف می شوند.

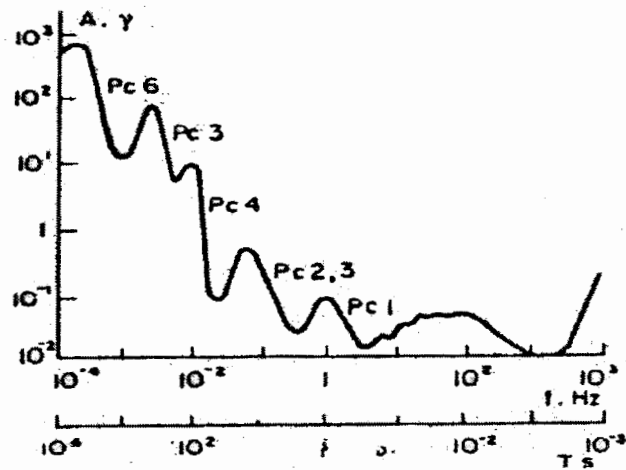
رابطه (۵-۲) بیان می کند که هر چه فرکانس کمتر و مقاومت محیط، بیشتر باشد، عمق نفوذ سیگنال الکترومغناطیسی افزایش می یابد. هنگامی که داده های MT در یک بازه وسیع فرکانسی در اختیار باشند، این رابطه ابزار مناسبی برای جستجوی ساختارهای مقاوم است (Cantwell, 1960).

### ۲-۳- منشأ میدانهای مگنتوتلوریک

منبع میدانهای MT ناشی از هر گونه آشفتگی طبیعی در میدان مغناطیسی زمین می باشد. منشأ این میدانها در فرکانس های بالای ۱ هرتز عموماً ناشی از طوفان های الکتریکی در اتمسفر، مانند صاعقه است. اما در فرکانس های زیر ۱ هرتز، این میدانها غالباً به صورت پالس های ریزی<sup>۲</sup> است که ناشی از اثر متقابل میدان مغناطیسی دائمی زمین و شارش پلاسمای خورشیدی هستند. طیف دامنه این امواج در شکل (۱-۲) دیده می شود (Kaufman & Keller, 1981).

<sup>۱</sup>.Skin Depth

<sup>۲</sup>.Micro Pulsation



شکل ۱-۲ - توان طیفی امواج MT (Kaufman & Keller, 1981).

## ۲-۴- اصول روش MT

معادلات اصلی و پایه در این روش همان معادلات ماکسول هستند. همچنین فرض بر این است که امواج به صورت موج صفحه ای و تابعی از (z) و توزیع مقاومت ویژه  $\rho$  هستند. این فرضیات به منظور استفاده از معادله زیر است:

$$\nabla^2 E = \mu\sigma \frac{\partial E}{\partial t} + \mu\epsilon \frac{\partial^2 E}{\partial t^2} \quad (۲-۶)$$

$\mu$  نفوذ پذیری مغناطیسی خلا با واحد (Tm/A) و  $\epsilon$  گذردهی الکتریکی خلا با واحد (F/m) است. اگر میدان الکتریکی E در حوزه زمان به شکل یک موج سینوسی در نظر گرفته شود، یعنی  $E(t) = E_0 e^{j\omega t}$  معادله فوق ساده شده و به صورت  $\nabla^2 E + K^2 E = 0$  در می آید. عدد موج است که به صورت  $K^2 = j\omega\mu(\sigma + j\omega\epsilon)$  می باشد.

فرکانس های مورد استفاده در روش MT غالباً در بازه ۰/۰۰۰۱ تا ۱۰۰ هرتز هستند و مقاومت ویژه زمین در بازه یک تا هزاران اهم - متر است. بنابراین می توان از جریان های جابه جایی چشم پوشی کرد و در نهایت می توان نوشت:  $K^2 = j\omega\sigma\mu$ . اگر در معادلات فوق E را با H یعنی میدان مغناطیسی جایگزین کنیم، می توانیم معادلات مربوط به میدان مغناطیسی را بدست آوریم.

## ۵-۲- بررسی پاسخ ساختارهای های یک بعدی (1-D)

در یک زمین لایه ای یک بعدی با N لایه، که مقاومت ویژه و ضخامت لایه ها به ترتیب با  $\rho_n$  و  $h_n$  مشخص می شوند، مقاومت ویژه تنها با عمق تغییر می کند. میدان الکتریکی در راستای افقی و جانبی یا هیچ ناپیوستگی یا مرزی روبرو نمی شوند. بنابراین هیچ گونه تجمع بار الکتریکی هم وجود ندارد. میدانهای الکترومغناطیس به صورت  $E=(E_x, 0, 0)$  و  $H=(0, H_y, 0)$  هستند. در نتیجه معادله (۶-۲) به فرم زیر ساده می شود.

$$\nabla^2 E = K^2 E \quad (7-2)$$

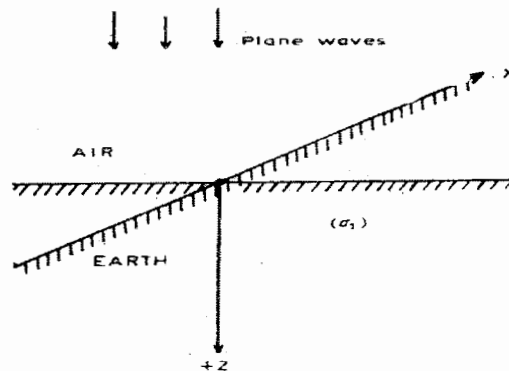
راه حل معادله دیفرانسیلی (۷-۲) برای هر لایه به فرم متداول زیر است:

$$E_x^n = A_n e^{K_n z} + B_n e^{-K_n z} \quad (8-2)$$

$K_n$  بیانگر عدد موج برای لایه n ام است.  $A_n$  و  $B_n$  بزرگی میدان های  $H$  و  $E$  در لایه n ام است (Wang, 1994).

به منظور فهم بهتر روش MT، ابتدا به جای یک زمین N لایه ای، یک نیم فضای همگن مطابق شکل (۲-۲) با هدایت ویژه  $\sigma_1$  (S/m) در نظر می گیریم. با افزایش عمق، شدت میدان به علت تبدیل انرژی الکترومغناطیسی به حرارت، کاهش می یابد، یعنی اگر  $Z \rightarrow \infty$  آنگاه  $E_x = 0$  خواهد بود. در نتیجه پاسخ به صورت زیر تبدیل می شود.

$$E_x = B e^{-Kz} \quad (9-2)$$



شکل ۲-۲- امواج الکترومغناطیس صفحه ای در برخورد با نیم فضای همگن (Cagniard, 1953).

از نتایج معادلات ماکسول می توان نوشت:

$$\frac{\partial E_x}{\partial z} = -j\omega\mu H_y \quad (10-2)$$

و با توجه به معادله (۹-۲) خواهیم داشت:

$$H_y = \frac{K}{j\omega\mu} B e^{-Kz} = \frac{K}{j\omega\mu} E_x \quad (11-2)$$

معادله فوق را می توان به فرم زیر نوشت:

$$Z(\omega) = \frac{j\omega\mu}{K} = (\omega\mu\rho)^{1/2} e^{j\frac{\pi}{4}} \quad (12-2)$$

$Z(\omega)$  امپدانس نیم فضای همگن است. مقاومت ویژه را می توان از روی امپدانس محاسبه کرد:

$$\rho = \frac{1}{\omega\mu} |Z(\omega)|^2 = 0.2T |Z(\omega)|^2 \quad (\Omega.m) \quad (13-2)$$

T بیانگر دوره تناوب بر حسب ثانیه است. واحد  $(\frac{mv}{Km})$  برای  $E_x$  و واحد گاما یا nT برای  $H_y$  در

نظر گرفته شده است (Wang,1994).

برای بررسی بیشتر، یک زمین دو لایه ای را در نظر می گیریم. پاسخ MT بر روی سطح به صورت زیر است:

$$\frac{E_x(0)}{H_y(0)} = \frac{j\omega\mu}{K_1} \frac{(1 + K_{12} e^{-2K_1 h_1})}{(1 - K_{12} e^{-2K_1 h_1})} \quad (14-2)$$

$$K_{12} = \frac{K_1 - K_2}{K_1 + K_2} = \frac{1 - (\rho_1 / \rho_2)^{1/2}}{1 + (\rho_1 / \rho_2)^{1/2}} \quad (15-2)$$

$K_1$  و  $K_2$  بیانگر عدد موج برای لایه های یک یا دومی باشند. در معادله (۱۴-۲) مقدار  $K_1 h_1$  را به

صورت تابعی از عمق پوسته می نویسیم، یعنی:  $K_1 h_1 = h_1 (1 + j) / \delta_1$ . در فرکانس های بالا عمق

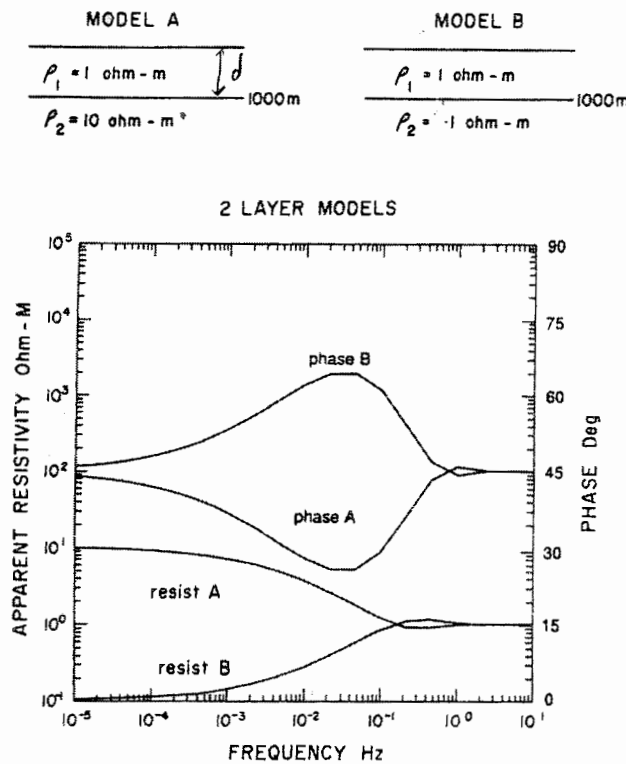
نفوذ امواج الکترومغناطیس،  $\delta_1$ ، به ندرت از عمق لایه اول بیشتر است. با اعمال این شرایط، معادله

(۱۴-۲) به صورت  $\frac{E_x(0)}{H_y(0)} = j\omega\mu / K_1$  در می آید. بنابراین پاسخ MT بیشتر از لایه اول تاثیر

گرفته است.

در مقابل ، برای فرکانس های پائین،  $\delta_1$ ، از ضخامت لایه اول، به مقدار قابل توجهی بزرگتر است و بنابراین پاسخ MT به صورت  $\frac{E_x(0)}{H_y(0)} = j\omega\mu / K_2$  در می آید، یعنی اثر لایه اول بر روی پاسخ از بین رفته است.

با بررسی پاسخ MT زمین دو لایه ای، می توان نتیجه گرفت هنگامی که فرکانس کاهش می یابد، عمق نفوذ امواج MT افزایش یافته و اثر لایه های کم عمق به تدریج حذف می شود و اثر لایه های عمقی زیاد می شود. همین واقعیت، پایه و اساس روش سونداژ MT می باشد. در شکل (۲-۳) دو نمونه از مدل دو لایه ای مشاهده می شود. در هر دو مورد مقاومت لایه رویی یکی است اما در مدل A  $(\rho_2 = 10 \rho_1)$  و در مدل B  $(\rho_2 = 0.1 \rho_1)$  می باشد.



شکل ۲-۳- پاسخ مقاومت ظاهری و فاز برای یک مدل دو لایه ای (Vozzof,1991).

در فرکانس های بالا یعنی وقتی عمق پوسته در لایه اول کمتر از ضخامتش باشد ، در هر دو مورد  $(\rho_a = \rho_1)$  می باشد. با کاهش فرکانس، عمق پوسته افزایش می یابد و بزرگتر از ضخامت لایه اول می شود و  $\rho_a$  نیز در مدل A به  $10 \Omega.m$  و در مدل B به  $1 \Omega.m$  /<sup>۱</sup> مجانب می-شود (Vozzof,1991).

## ۲-۶- بررسی پاسخ ساختارهای دو بعدی (D-2)

یک ساختار دو بعدی ساختاری است که در آن مقاومت ویژه الکتریکی و میدان ها علاوه بر تغییر نسبت به عمق در یک جهت افقی نیز به طور جانبی تغییر می کند. اگرچه دقیقاً نمی توان یک ساختار دو بعدی واقعی را در زمین یافت، ولی می توان پاسخ بسیاری از سونداژهای MT را به فرم دو بعدی ساده کرد. از آنجائی که بسیاری از ساختارهای زمین شناسی مانند تاقدیس ها<sup>۱</sup>، ناودیس ها<sup>۲</sup>، قطعه های گسلی<sup>۳</sup>، زون های همبری<sup>۴</sup>، دایک ها<sup>۵</sup>، دره های ریفتی<sup>۶</sup> و رودخانه ها تقریباً به صورت ساختارهای دو بعدی رفتار می کنند، بنابراین این تئوری به طور خلاصه مورد بحث قرار می گیرد.

در یک مدل دو بعدی مانند شکل (۲-۴)، هدایت الکتریکی علاوه بر راستای عمقی در راستای  $y$  نیز تغییر می کند یعنی  $\sigma = \sigma(y, z)$ . یک مسئله القای دو بعدی را می توان به دو مود<sup>۷</sup> مجزا تجزیه کرد. اگر میدان الکتریکی در امتداد ناپیوستگی باشد، این وضعیت را حالت الکتریکی عرضی<sup>۸</sup> (TE) یا E موازی  $(E_{||})$  می نامند. اگر میدان الکتریکی عمود بر امتداد ناپیوستگی و میدان مغناطیسی به موازات آن باشد، این وضعیت را حالت مغناطیسی عرضی<sup>۹</sup> (TM) یا E عمودی  $(E_{\perp})$  می نامند (Berdichevsky & Zhodanov,1984).

<sup>۱</sup> .Anticline

<sup>۲</sup> .Syncline

<sup>۳</sup> .Faulted Block

<sup>۴</sup> .Contact Zone

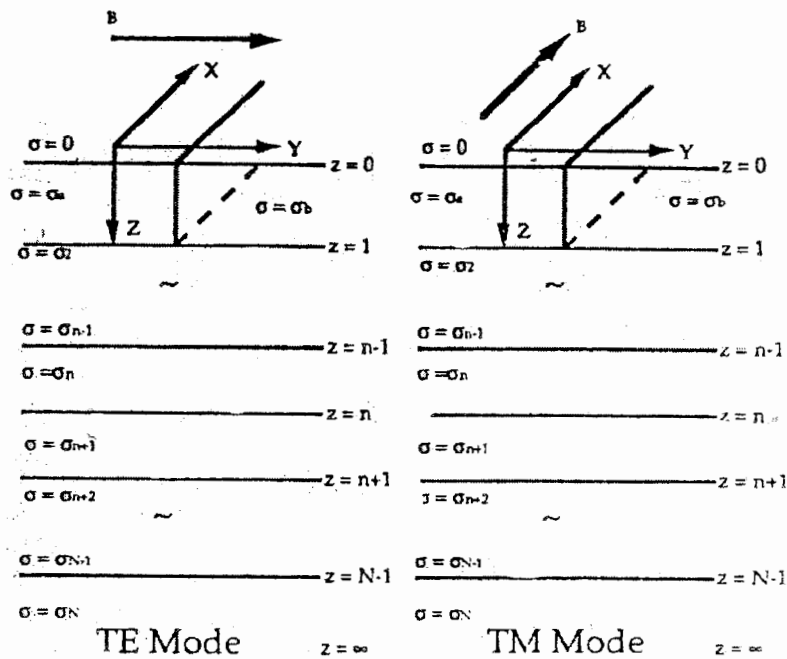
<sup>۵</sup> .Dykes

<sup>۶</sup> .Rift Valleys

<sup>۷</sup> .Mode

<sup>۸</sup> .Transverse Electric

<sup>۹</sup> .Transverse Magnetic



شکل ۲-۴- نمایش شماتیک یک مدل دو بعدی با یک مرز هادی در لایه اول و در زیر این لایه، نیم فضایی قرار دارد که در آن هدایت تنها با عمق تغییر می کند (Kaufman & Keller, 1981).

اساس تئوری برای ساختار های دو بعدی هم، معادلات ماکسول هستند. برای مود TE میدانهای الکتریکی و مغناطیسی به صورت  $H = (0, H_y, H_z)$  و  $E = (E_x, 0, 0)$  هستند و معادله (۲-۶) به صورت زیر تبدیل می شود:

$$\frac{\partial^2 E_x}{\partial z^2} + \frac{\partial^2 E_x}{\partial y^2} = j\omega\mu\sigma(y, z)E_x \quad (۲-۱۶)$$

برای مود TM میدانها به صورت  $E = (0, E_y, E_z)$  و  $H = (H_x, 0, 0)$  هستند و معادله (۲-۶) به صورت زیر بیان می شود:

$$\frac{\partial^2 H_x}{\partial z^2} + \frac{\partial^2 H_x}{\partial y^2} = j\omega\mu\sigma(y, z)H_x \quad (۲-۱۷)$$

راه حل تحلیلی برای حالت دو بعدی تنها در موارد خاصی امکانپذیر است. راه حل های متداول معمولاً از مدل سازی پیشرو مانند روش اجزای محدود و تفاضل محدود استفاده می کنند (Wannamaker et al, 1986; Smith & Booker, 1991).

از آنجایی که در این پایان نامه از مدل سازه‌های یک بعدی و دو بعدی استفاده شده است، لذا تئوری آنها به صورت مختصر ارائه شده است. در انتها مناسب است تا اشاره ای به حالت سه بعدی که در اغلب موارد با آن روبرو هستیم، داشته باشیم. همانطور که در حالت دو بعدی از مدهای  $TM_0$  و  $TE$  نام بردیم، به طور معادل می توان در حالت سه بعدی از مقاومت های سری و موازی نام برد که معادل مود های  $TM_0$  و  $TE$  در حالت دوبعدی اند. این مقاومتها را به صورت S,P نشان می دهیم. مقاومت نوع سری معادل با مود  $TM$  و مقاومت نوع موازی معادل با مود  $TE$  است. توضیحات بیشتر در مورد تئوری این روش در مقاله "انتقال موازی و سری تانسور امیدانس مگنتوتلوریک" وجود دارد (Romo et al,2005).

## ۷-۲- بررسی خواص یک تانسور امیدانس

پاسخ های  $MT$  در واقع یک سری اطلاعات زمین شناسی هستند و میدانهای الکتریکی و مغناطیسی را به هم مربوط می کنند. فرم کلی یک تانسور امیدانس، برای ساختار های دو بعدی به صورت زیر است (Vozzof,1991):

$$Z(\omega) = \begin{bmatrix} Z_{xx} & Z_{xy} \\ Z_{yx} & Z_{yy} \end{bmatrix} \quad (۱۸-۲)$$

اگر فرض کنیم که دو دستگاه مختصات کارتیزین  $(x,y)$  و  $(x',y')$  داشته باشیم که یکی از آنها نسبت به دیگری به اندازه زاویه  $\alpha$  چرخیده است، رابطه بین دو تانسور امیدانس در این دو دستگاه به صورت زیر است :

$$Z'_{xx}(\alpha) = Z_{xx} \cos^2 \alpha + Z_{yy} \sin^2 \alpha - (Z_{xy} + Z_{yx}) \sin \alpha \cos \alpha \quad (۱۹-۲)$$

$$Z'_{xy}(\alpha) = Z_{xy} \cos^2 \alpha - Z_{yx} \sin^2 \alpha + (Z_{xx} - Z_{yy}) \sin \alpha \cos \alpha \quad (۲۰-۲)$$

$$Z'_{yx}(\alpha) = Z_{yx} \cos^2 \alpha - Z_{xy} \sin^2 \alpha + (Z_{xx} - Z_{yy}) \sin \alpha \cos \alpha \quad (۲۱-۲)$$

$$Z'_{yy}(\alpha) = Z_{yy} \cos^2 \alpha + Z_{xx} \sin^2 \alpha + (Z_{xy} + Z_{yx}) \sin \alpha \cos \alpha \quad (۲۲-۲)$$

بنابراین اگر مقادیر امیدانس در سیستم  $(x,y)$  معلوم باشند، می توان مقادیر آن را در هر سیستم دیگر  $(x',y')$  بدست آورد.



در یک زمین لایه ای افقی، اجزای قطری تانسور امپدانس ( $Z_{xx}$ ,  $Z_{yy}$ ) صفر هستند و تانسور امپدانس به فرم ساده زیر در می آید:

$$Z(\omega) = \begin{bmatrix} 0 & Z_{1D} \\ -Z_{1D} & 0 \end{bmatrix} \quad (23-2)$$

در حالت دو بعدی و در یک سیستم مختصات تصادفی هیچ کدام از عناصر تانسور صفر نیستند. ولی اگر این سیستم بچرخد به گونه ای که در راستا و عمود بر امتداد ناپیوستگی قرار بگیرد، در اینصورت عناصر قطری تانسور جدید، یعنی  $Z'_{xx}$ ,  $Z'_{yy}$  صفر می شوند:

$$Z'(\omega) = \begin{bmatrix} 0 & Z'_{xy} \\ Z'_{yx} & 0 \end{bmatrix} \quad (24-2)$$

## فصل سوم

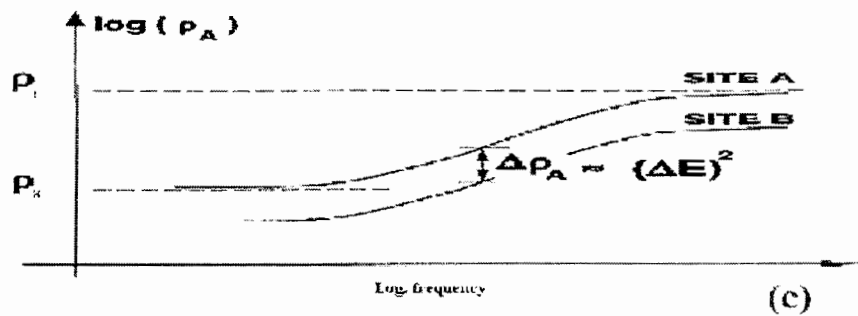
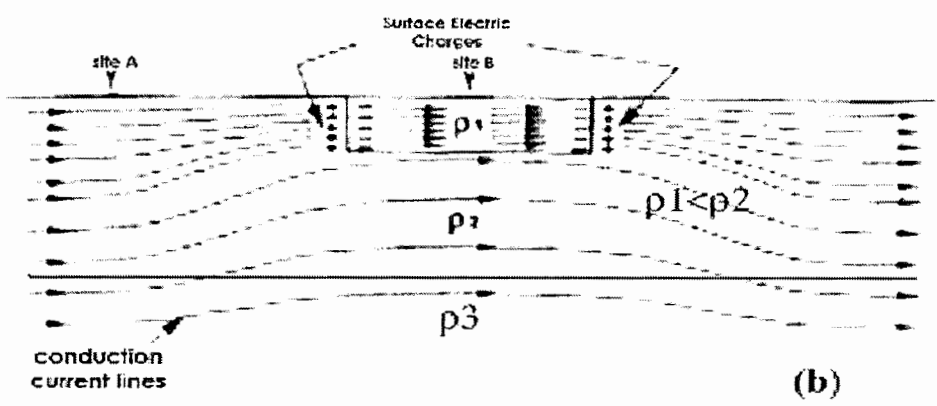
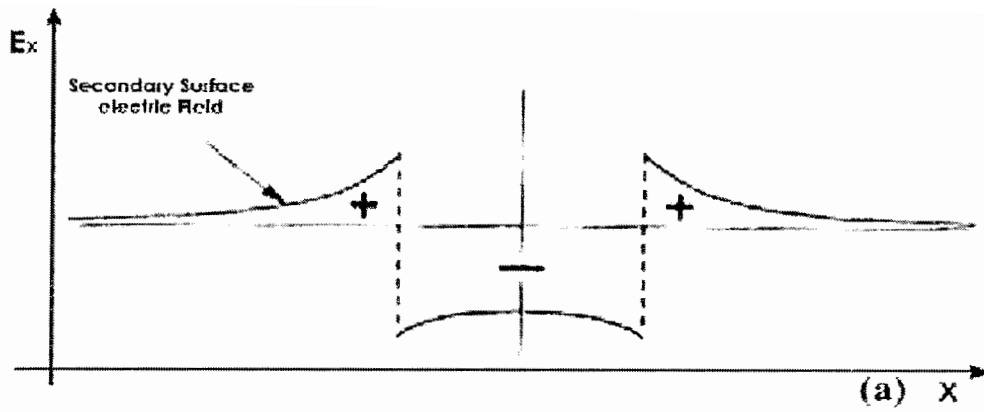
### بررسی روش های تعدیل اثرات ناهمگنی های سطحی روی داده های MT

#### ۳-۱- مقدمه

در برداشت های MT وجود ناهمگنی های سطحی که غالباً به صورت توده های محلی سه بعدی (3-D) می باشند، اثر نامطلوبی را در تفسیر ساختار های ناحیه ای (آنومالی های عمیق) حاصل از برداشت های MT دارند. در سونداژ زنی اثر آنها به صورت جابه جایی استاتیکی سونداژ مقاومت ویژه به سمت بالا یا پایین (بسته به مقاومت ویژه توده های محلی سه بعدی) می باشد. اگر چنانچه اثرات آنها به گونه ای اصلاح یا تعدیل نشود، تفسیر داده های MT برای اکتشاف ساختار ها و یا آنومالی های اصلی ناحیه ای ممکن است منجر به نتایج گمراه کننده شود (شکل ۳-۱).

از اینرو لازم است که اثرات جابه جایی استاتیکی به گونه ای حذف و یا حداقل تعدیل یابند که به این منظور روش های مختلفی مورد استفاده قرار می گیرند (قندی ، ۱۳۸۵).

در مطالعه حاضر روش های مختلف تجزیه تانسور امپدانس نیز به طور خلاصه بیان شده و چون در این میان از روش های فیلترسازی فضایی و تجزیه تانسور امپدانس لیلی به منظور مقایسه با نتایج تجزیه تانسوری گروم-بیلی استفاده می شود، لذا به صورت مفصل تری به آنها پرداخته می شود.



شکل ۱-۳ الف-تغییرات میدان الکتریکی در عبور از یک ناهمگنی کوچک سطحی. ب-کانالیزه شدن جریان الکتریکی در یک زون هادی. ج-کاهش مقاومت ظاهری در همه فرکانس ها در یک سونداژ MT در سایت B (Moradzadeh,2003)

### ۳-۲- فیلترسازی فضایی

این شیوه نخستین بار توسط استرنبرگ و همکاران (۱۹۸۲) ارائه شده است. در این روش مقاومت ظاهری میانگین هر ایستگاه و نیز مقاومت ظاهری میانگین ناحیه، با میانگین گیری از ایستگاه های در بر گیرنده هر ایستگاه، محاسبه شده و سپس مقاومت ظاهری برای هر ایستگاه با مقداری برابر با اختلاف این دو مقدار جابجا می شود. بر اساس این فرض، روش های زیادی بر مبنای میانگین گیری از داده های MT مورد استفاده قرار گرفته اند. یکی از این روشها، استفاده از پنجره هنینگ است که طبق فرمول زیر ارائه می شود:

$$H(x) = \{1 + \cos(2\pi / w)\} \quad |x| \leq w/2 \quad (1-3)$$

$$H(x) = 0 \quad |x| > w/2$$

x فاصله سونداژها و w پهنای پنجره و یا فاصله میان گیری است و H بزرگی وزن داده شده به پنجره می باشد. این فرآیند، در واقع یک فیلتر فضایی پائین گذر است که تا حدی اثرات جا به جایی استاتیکی را هموارتر می کند و چنانچه قبلاً اشاره شد، منحنی های مقاومت ظاهری با مقداری برابر با اختلاف مقاومت ظاهری میانگین هر سایت و مقاومت ظاهری میانگین منطقه (وزن دهی به سایتهای اطراف و استفاده از پنجره هنینگ) جا به جا می شوند. آنچه در این روش مهم است، تعداد بیشتر ایستگاه ها به منظور تفکیک پذیری بالاتر می باشد (Moradzadeh, 2003). نمونه دیگری از روش فیلترسازی فضایی<sup>۱</sup> EMAP نامیده می شود. در این روش دو قطبی های اندازه گیری میدان الکتریکی به صورت پیوسته به منظور بدست آوردن پاسخ در طول پروفیلی عمود بر راستای ناپیوستگی مورد استفاده قرار می گیرند. در هر فرکانس با استفاده از فیلترهای پایین گذر، امپدانس برای گروهی از ایستگاه ها هموار می شود و به این ترتیب طول موجهای کمتر از عمق پیوسته حذف می شوند

(Torres-Werdin & Bostick, 1992; Dobrin & Savit, 1988)

<sup>۱</sup>. Electromagnetic Array Profiling

### ۳-۳- سونداژ الکترو مغناطیس گذرای حلقه مرکزی ( TEM )

از آنجائی که ناهمگنی های کوچک سطحی تنها در زمانهای اولیه بر روی داده ها اثر گذارند، لذا از این خاصیت برای اصلاح جابجایی استاتیکی استفاده می شود. این روش تنها به اندازه گیری میدان مغناطیسی القایی گذرا می پردازد.

رابطه بین فرکانس MT و زمان گذار به صورت  $f=194t$  می باشد. این نتیجه گیری بر مبنای مقایسه بین تعداد زیادی تحلیل های تئوری و محاسبه ای از پاسخ های مدل زمین لایه ای صورت گرفته است.

دو روش برای تخمین جابه جایی استاتیکی پیشنهاد شده است:

الف) مقایسه بین منحنی های مقاومت ظاهری MT و منحنی های مقاومت ظاهری TEM.

ب) معکوس سازی همزمان داده های MT و TEM.

اختلاف بین مقادیر جابه جایی حاصل از دو روش در حد ۱/۱ دهه می باشد (Sternberg et al,1988).

### ۳-۴- محاسبه تئوری جابه جایی استاتیکی

این شیوه بر مبنای محاسبه تئوری جا به جایی استاتیکی با استفاده از ناهمگنی های سطحی کوچک و کم عمق است. با توجه به این که مدل سازی دقیق از ناهمگنی های سطحی عملی نیست و همچنین محاسبات پرهزینه می باشد، امکان توسعه این روش هنوز وجود ندارد (Wannamaker et al,1986).

### ۳-۵- سایر روش ها

یکی از این روش ها، روش پارامتری می باشد. در این روش از گروهی از سونداژها و آن هم در منطقه ای استفاده می شود که بتوان یک لایه را به اندازه کافی، همگن در نظر گرفت. معمولاً از این روش در محیط های رسوبی استفاده می شود (Jones,1988).

از سایر روش ها می توان به معکوس سازی رگولاریزه<sup>۱</sup> (منظم شده) اشاره کرد. این روش بر مبنای استفاده از یک مدل مصنوعی استوار است. همچنین در این روش فرض بر این است که میانگین جابه جایی استاتیکی برای مودهای TE و TM صفر است (de Groot – Hedlin & Constable, 1990).

شیوه جدید دیگر استفاده از شیوه اسپیتزر است. از آنجایی که جابه جایی استاتیکی در داده های MT یک پدیده DC است، می توان از توزیع حساسیت DC، برای پیشگویی رفتار آن استفاده کرد. در این شیوه یک آرایش شلومبرژه DC چهار نقطه ای که در آن فاصله الکترودهای جریان برابر AB است، در نظر گرفته می شود. در این شیوه به منظور ایجاد اثری مشابه با جابه جایی استاتیکی باید فاصله الکترودهای AB به سمت بینهایت میل کند. این نحوه آرایش یک سری خطوط افقی و موازی جریان در محل الکترودهای پتانسیل، مشابه با اثر جابه جایی استاتیکی ایجاد می کند. در این شیوه علامت جابه جایی استاتیکی نه تنها به مقاومت آنومالی مخرب بستگی دارد، بلکه به مکان آن هم بستگی دارد، به طوری که وجود یک ساختار هادی بین دو الکترودها، مقاومت ظاهری را کاهش می دهد. وجود همین ساختار در خارج از فاصله دو الکترودها، مقاومت ظاهری را افزایش می دهد (Spitzer, 2001).

روش دیگر بر مبنای زمین آمار چند متغیره یا Cokriging است (Tournerie et al, 2004).

### ۳-۶- تجزیه تانسوری

پس از اعمال روش های حذف جابه جایی استاتیکی (در این تحقیق روش فیلتر سازی فضایی اعمال می شود)، اثر این پدیده در مقاومت ویژه تا حدودی بر طرف می شود ولی اثر ناهمگنی های سطحی در انحراف امتداد آنومالی های اصلی بایستی به گونه ای اصلاح شود تا هر گونه مدل سازی های داده های MT به تفسیر جامع تری از آنومالی های اصلی زیر سطحی منجر شود. برای اینکار از روش تجزیه تانسوری امپدانس MT استفاده می شود. برای تجزیه تانسور امپدانس اندازه گیری شده، همانگونه که قبلا اشاره شد، روش های مختلفی وجود دارد. با توجه به اینکه هدف از این

<sup>۱</sup>. Regularization

پایان نامه بررسی کار آمدی روش لیلی می باشد، ابتدا به اختصار، توضیحی در مورد روش های مختلف تجزیه تانسوری ارائه شده و سپس روش لیلی به طور کامل مورد بررسی قرار می گیرد.

### ۳-۶-۱- روش تجزیه سویفت

طبق روش سویفت اگر یک آنومالی 2-D اصلی داشته باشیم، که تحت تأثیر ناهمگنی های سطحی کوچک محلی قرار گرفته باشد، تانسور حاصل به فرم 3-D خواهد بود. براساس این روش می توان با چرخش محورها به اندازه زاویه  $\alpha$ ، به گونه ای که عناصر قطری ماتریس حاصل بعد از چرخش صفر شوند، عناصر اصلی تانسور امپدانس 2-D یعنی  $Z_{xy}$  و  $Z_{yx}$  را بدست آورد. به عبارت دیگر فرض کنیم تانسور امپدانس اندازه گیری شده به فرم زیر باشد:

$$Z_m = R \begin{bmatrix} S_1 & 0 \\ 0 & S_2 \end{bmatrix} ZR^t \quad (۲-۳)$$

که در آن R ماتریس چرخش و  $R^{-1}$  ترانهاده آن می باشد. بعد از چرخش، امپدانس های اصلی، دو عنصر غیر قطری ماتریس جدید به دست آمده هستند که در فاکتورهای حقیقی  $S_1$  و  $S_2$ ، که جابه جایی استاتیکی نامیده می شوند، ضرب شده اند (Swift, 1967). بنابراین تانسور اصلی  $Z'$  از رابطه زیر حاصل می شود:

$$Z' = RZ_m R^t \quad (۳-۳)$$

اندازه زاویه چرخش به گونه ای است که پس از اعمال آن، مجموع مجذور دامنه المانهای قطری تانسور امپدانس حاصل حداقل شود. در این وضعیت، عناصر غیر قطری را به عنوان تخمین هایی از  $Z_{\perp}$  و  $Z_{\parallel}$  در نظر می گیریم.

زاویه چرخش به طور تحلیلی از رابطه زیر بدست می آید:

$$\tan 4\alpha = 2 \operatorname{Re} \frac{[(Z_{xy} + Z_{yx})(Z_{xx} - Z_{yy})^*]}{\left[ |Z_{xx} - Z_{yy}|^2 - |Z_{xy} + Z_{yx}|^2 \right]} \quad (۴-۳)$$

علامت (\*) بیانگر مزدوج مختلط است و  $\operatorname{Re}$  بخش حقیقی تانسور امپدانس است.

همچنین سوییفت، پارامتری را برای نشان دادن 3-D بودن یک ساختار زمین شناسی ارائه داده است که فاکتور کجی<sup>۱</sup> نامیده می شود:

$$Skew = \frac{|Z_{xx} + Z_{yy}|}{|Z_{xy} - Z_{yx}|} \quad (5-3)$$

در حالت 1-D و 2-D پارامتر کجی صفر است (Swift,1967; Sims & Bostick,1969).

### ۳-۶-۲- روش تحلیل همبستگی حداکثر ردی و راکین

در این روش سه نوع تابع همبستگی معمولی، ضربی و جزئی تعریف می شود. این تعاریف برای توضیح همبستگی بین میدانهای الکتریکی و مغناطیسی به کار می رود.

همبستگی جزئی مشخص می کند که کدامیک از اجزای میدان مغناطیسی ( $H_y, H_x$ ) با کدامیک از اجزای میدان الکتریکی ( $E_y, E_x$ ) همبستگی قوی تری دارد. در این تحلیل، هدف رسیدن به یک سیستم مختصات اصلی است که با چرخش سیستم مختصات میدان مغناطیسی بدست می آید و در این سیستم مختصات جدید، همبستگی جزئی بین اجزای افقی میدان مغناطیسی و اجزای افقی میدان الکتریکی به حداکثر می رسد. در حالت 2-D، همبستگی جزئی در سیستم مختصات اصلی یک است. همبستگی جزئی کمتر از یک بیانگر اثر 3-D است (Reddy & Rakin,1972).

### ۳-۶-۳- روش امیدانس ثابت و مستقل از چرخش

در روش امیدانس ثابت که نام دیگر آن امیدانس های مؤثر است، میانگین ریاضی عناصر غیر قطری تانسور امیدانس توسط رابطه  $\frac{Z_{xy} - Z_{yx}}{2}$  تعریف می شود. این شیوه نخستین بار توسط دمیتریف و بردیچوسکی (۱۹۸۶) معرفی شد و توسط اینگهام و هوتون<sup>۲</sup> (۱۹۸۲) و افراد دیگر مورد استفاده قرار گرفت. فرم دیگر که میانگین درمینان نامیده می شود، در واقع جذر درمینان تانسور

<sup>۱</sup>. Skew Factor

<sup>۲</sup>. Ingham & Hutton



امپدانس است یعنی  $(Z_{xx}Z_{yy} - Z_{xy}Z_{yx})^{1/2}$  و خواص آن توسط رانگانایاکی<sup>۱</sup> (۱۹۸۴) مورد بررسی قرار گرفته است. دو امپدانس معرفی شده با چرخش، عوض نمی شوند و بنابراین برای یک ایستگاه اندازه گیری، بدون توجه به ساختارهای ناهمگن و پیچیده موجود در زمین، یکتا هستند و به عنوان امپدانس یک بعدی تفسیر می شوند (Berdichevsky & Dmitrive, 1976).

### ۳-۶-۴- روش گمبل

این روش بر این مبنا استوار است که اگر تعداد زیادی ایستگاه در منطقه ای وجود داشته باشد و آنومالی اصلی حاکم بر منطقه یک آنومالی منطقه ای باشد که تحت تأثیر ناهماهنگی های سطحی قرار گرفته است، امتداد ناپیوستگی اصلی یا منطقه ای به دو طریق به دست می آید:  
الف) حداقل کردن مجموع وزنی مربع اندازه المانهای قطری تانسور امپدانس.

ب) تابع انتقال قائم  $T_x$  یا تیپر<sup>۲</sup>.

در تمام فرکانس ها و برای همه ایستگا هها، به طور رایج اولی به عنوان امتداد امپدانس و دومی به عنوان امتداد تیپر نامیده می شود (Gamble et al, 1982).

### ۳-۶-۵- روش ایگرز

در این روش از فرمولاسیون حالت (ماتریس) ویژه استفاده می شود. هدف، جستجوی حالتی است که به ازای آن میدانهای الکتریکی و مغناطیسی، در جهت های عمود برهم، پلاریزاسیون یکسانی داشته باشند.

به ازای هر حالت ویژه میدانهای الکتریکی و مغناطیسی ویژه به هم مرتبط اند، این مقادیر ویژه عبارتند از :

$$\delta^{1,2} = Z_1 \mp [Z_1^2 - \det(Z)]^{1/2} \quad (۶-۳)$$

<sup>۱</sup>.Ranganayaki

<sup>۲</sup>.Tipper

$Z_1$  و  $Z_2$  هر دو با چرخش، بدون تغییر باقی می ماند. همچنین دو مقدار  $\delta^{1,2}$  که دو مقدار ویژه برای تانسور امپدانس  $Z$  هستند، با چرخش ثابت اند.

$$Z_1 = (Z_{xy} - Z_{yx}) / 2 \quad (7-3)$$

$$\det(Z) = (Z_{xx}Z_{yy} - Z_{xy}Z_{yx})^{1/2} \quad (8-3)$$

برای حالت 1-D:

$$Z_1 = Z_{1-D}$$

$$\det(Z) = Z_{1-D}^2 \quad (9-3)$$

$$\delta^{1,2} = Z_{1-D}$$

برای حالت 2-D، همیشه یک سیستم مختصاتی وجود دارد که به ازای آن عناصر قطری تانسور امپدانس صفر شوند:

$$Z_1 = (Z_{x'y'} - Z_{y'x'}) / 2$$

$$\det(Z) = -Z_{x'y'}Z_{y'x'}$$

$$\delta^1 = Z_{x'y'} \quad (10-3)$$

$$\delta^2 = -Z_{y'x'}$$

که در این حالت مقادیر ویژه  $\delta$ ، برابر با دو مقدار امپدانس در مدهای TE و TM هستند. اما در حالت کلی جهت پلاریزاسیون که منطبق بر دو حالت ویژه است، عمودی نیستند و بنابراین مقادیر ویژه، با دو مقاومت در مدهای TE و TM منطبق نمی شوند. کاربرد این روش به حالت‌های 1-D و 2-D محدود می شود (Eggers, 1982).

### ۳-۶-۶- روش اسپیتز

در این شیوه یک ماتریس  $2 \times 2$  معمولی به دو ماتریس یکتا تبدیل می شود. هدف از این تجزیه تانسوری، ایجاد یک شیوه تحلیلی به منظور یافتن دو زاویه چرخشی است. این دو زاویه چرخشی، دوجبهت اصلی را تعریف می کنند و این دو ماتریس در واقع بیانگر دامنه و فاز هستند. اگر تانسور امپدانس دو بعدی باشد، ماتریس دامنه، قطری و ماتریس فاز غیر قطری است. به طور معمول در این دو ماتریس، صفر مشاهده نمی شود.

در تحلیل رایج، تانسور امیدانس به اندازه زاویه  $\theta_1$  می چرخد تا عناصر غیر قطری در ماتریس دامنه حداقل شوند. زاویه دیگر یعنی  $\theta_2$  با اعمال همین شیوه بر روی ماتریس فاز حاصل می شود. اختلاف بین این دو زاویه، به عنوان معیاری از انحراف از حالت 2-D محسوب می شود (Spitz, 1985).

### ۳-۶-۷- روش لاتوروکا<sup>۱</sup>

در این شیوه حالت‌های خاصی جستجو می شود که به ازای آنها دو میدان مغناطیسی متعامد متقابل بر دو میدان الکتریکی متعامد متقابل، منطبق شوند. اما برخلاف روش ایگرز عمود بودن میدانهای الکتریکی بر میدانهای مغناطیسی الزامی نیست. این شیوه شامل بردارهای ویژگی و مقادیر ویژه خاص است که تانسور امیدانس را توصیف می کنند.

مقادیر خاص، بیانگر مقادیر حداقل و حداکثر تانسور امیدانس هستند و بردارهای خاص شامل دو جهت اصلی (عمود بر یکدیگر) و دو بیضی وارگی<sup>۲</sup> می باشند. در تانسورهای 2-D این جهت ها در واقع محورهای اصلی ناپیوستگی هستند (LaTorroca et al, 1986).

### ۳-۶-۸- روش کانونیکال<sup>۳</sup>

مشابه با همان اصولی که در روش های ایگرز، اسپیتز و لاتوروکا اشاره شد، این شیوه از تجزیه کانونیکال برای تجزیه تانسور امیدانس و جستجوی دو پلاریزاسیون میدانهای الکتریکی و مغناطیسی اصلی متعامد، استفاده می کند. امیدانس های حداقل و حداکثر و فاز آنها همچنین امتدادهای اصلی، به وسیله هشت مقدار حقیقی توصیف می شوند. فرمولهای ریاضی مشابه با روش های قبلی ارائه شده می باشد، با این تفاوت که در این روش از اطلاعات موجود در  $Z$  بدون اعمال هیچگونه محدودیتی استفاده می شود. با این همه، مفاهیم فیزیکی پارامترها، قبل از هر گونه مدل سازی باید بیان شود (Yee & Paulson, 1987).

<sup>1</sup>.LaTorroca

<sup>2</sup>.Ellipticity

<sup>3</sup>.Canonical

### ۳-۶-۹- روش بهر

در این روش، فرض اولیه بر این است که یک آنومالی 3-D بر روی خواص اندازه گیری شده از یک آنومالی منطقه ای 2-D اثر گذاشته است و همچنین اثرات آنومالی 3-D محلی مستقل از فرکانس است. تانسور امیدانس تغییر یافته، به چهار فاکتور تخریب کننده<sup>۱</sup> حقیقی و یک تانسور اصلی تجزیه می شود، که شامل  $Z_{\perp}$  و  $Z_{\parallel}$  است:

$$\begin{bmatrix} Z_{xx} & Z_{xy} \\ Z_{yx} & Z_{yy} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 & Z_{\perp} \\ Z_{\parallel} & 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{12}Z_{\parallel} & a_{11}Z_{\perp} \\ a_{22}Z_{\parallel} & a_{21}Z_{\perp} \end{bmatrix} \quad (۱۱-۳)$$

دو ستون ماتریس نهایی در رابطه (۱۱-۳) تعریف کننده دو بردار هستند که تحت عنوان بردارهای تلوریک<sup>۲</sup>، خوانده می شوند.

اساس این روش چرخش تانسور امیدانس، به منظور یافتن جهتی است که به ازای آن دو المان متعلق به یک بردار، دارای فاز یکسانی باشند. بنابراین به ازای دو بردار، دوجهدت نیز وجود دارد. اگر آنومالی منطقه ای دقیقاً 2-D باشد، این دو جهت کاملاً بر هم عمودند. همچنین در این روش پارامتری به نام کج وارگی<sup>۳</sup> ( $\eta$ ) تعریف می شود. این پارامتر، سه بعدی بودن آنومالی منطقه ای، در زمانی که دو راستا بر هم عمود نباشند را، بررسی می کند (Bahr, 1988).

### ۳-۶-۱۰- روش یوتادا و میونیکان<sup>۴</sup>

در روش های قبلی که برای حذف اثر آنومالی های سطحی و اثرات گالوانیکی آنها به کار می رفت، آنومالی اصلی منطقه را یک بعدی یا حداکثر دو بعدی فرض می کردند. در این شیوه جدید روشی مطرح می شود که از رابطه بین مشتق های فضایی میدان الکتریکی افقی و مولفه های ژئو مغناطیسی قائم، استفاده می کند. این روابط مستقیماً از قانون فاراده اقتباس می شوند. در این روش مولفه های تانسور مخرب که حقیقی هستند، مشخص می شوند. این روش دو مزیت اصلی دارد: اثرات مخرب گالوانیکی تاثیر گذار بر روی تانسور امیدانس به روشنی تعریف می شوند، این

<sup>۱</sup>. Distortion Factors

<sup>۲</sup>. Telluric Vectors

<sup>۳</sup>. Skewness

<sup>۴</sup>. Utada & Munekane

روش حتی زمانی که آنومالی منطقه سه بعدی باشد، قابل استفاده است. این شیوه تا کنون در موارد ساده بررسی شده است. بنابر این بررسی های عددی پیچیده تر باید مورد آزمایش قرار بگیرند تا محدودیت ها و کارایی این شیوه به طور دقیق تری بررسی شود (Utada & Munekane,2000).

### ۳-۶-۱۱- روش گروم و بیلی

در این روش، آنومالی اصلی منطقه ای حداکثر 2-D فرض می شود و وجود آنومالی های محلی باعث ایجاد اختلال در میدان الکتریکی می شوند. مدل فیزیکی تانسور امپدانس آشفته شده همانند مدل بهر است یعنی :

$$Z_m = CZ_{2D} \quad (۱۲-۳)$$

که در آن  $Z_m$  امپدانس اندازه گیری شده،  $C$  ماتریس آشفته کننده<sup>۱</sup> و  $Z_{2D}$  امپدانس ساختار دو بعدی است. در این روش ماتریس آشفته کننده  $C$  به فاکتورهای  $(A)$ ، یعنی آنیزوتروپی<sup>۲</sup> یا ناهمگنی یا تانسور جدایش<sup>۳</sup>، تانسور  $(S)$  یا تانسور برشی<sup>۴</sup> و تانسور  $(T)$  یا پیچشی<sup>۵</sup>، تجزیه می-شود.

$$C = gTSA \quad (۱۳-۳)$$

$g$  یک عدد اسکالر است که در واقع همان اندازه جابه جایی استاتیکی است. اثر این سه تانسور، بر روی تانسور امپدانس را می توان به صورت زیر نمایش داد (Groom & Bailey,1989) :

$$(۱۴-۳)$$

$$\begin{bmatrix} (\text{Re } Z_{xx}, \text{Im } Z_{xx}) & (\text{Re } Z_{xy}, \text{Im } Z_{xy}) \\ (\text{Re } Z_{yx}, \text{Im } Z_{yx}) & (\text{Re } Z_{yy}, \text{Im } Z_{yy}) \end{bmatrix} \xrightarrow{AST} \begin{bmatrix} 0 & (\text{Re } Z_{x'y'}, \text{Im } Z_{x'y'}) \\ (\text{Re } Z_{y'x'}, \text{Im } Z_{y'x'}) & 0 \end{bmatrix}$$

<sup>1</sup>.Distortion Tensor

<sup>2</sup>.Anisotrophy

<sup>3</sup>.Spilit

<sup>4</sup>.Shear

<sup>5</sup>.Twist

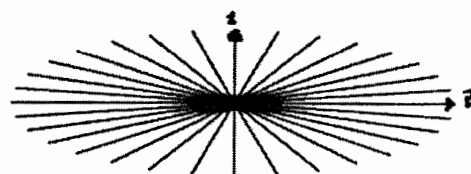
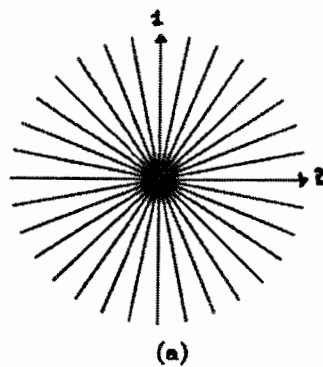
Im و Re معرف بخش های حقیقی و موهومی تانسور امپدانس می باشند. مدل ارائه شده، مربوط به موقعیتی است که امتداد محورهای اندازه گیری با امتداد آنومالی یکسان باشد. در صورتیکه اندازه گیری در سیستم مختصات دیگری انجام شود که با امتداد آنومالی اصلی زاویه  $\theta$  بسازد، داریم:

$$Z_m = RCZ_{2D}R^T \quad (15-3)$$

در معادله (۱۳-۳) تانسور آنیزوتروپی یا جدایش به شکل زیر است (Groom & Bailey, 1989):

$$A = \frac{1}{\sqrt{1+S^2}} \begin{bmatrix} 1+S & 0 \\ 0 & 1-S \end{bmatrix} \quad (16-3)$$

این تانسور باعث کشیدگی دو مولفه میدان با ضرایب متفاوت می شود و در واقع به آنیزوتروپی موجود در تانسور امپدانس اصلی یا منطقه ای اضافه می شود. زیرا در همان امتداد محورهای آنومالی اصلی است. مطابق شکل (۲-۳) مشاهده می کنیم که جهت میدانهای الکتریکی عوض نمی شود.



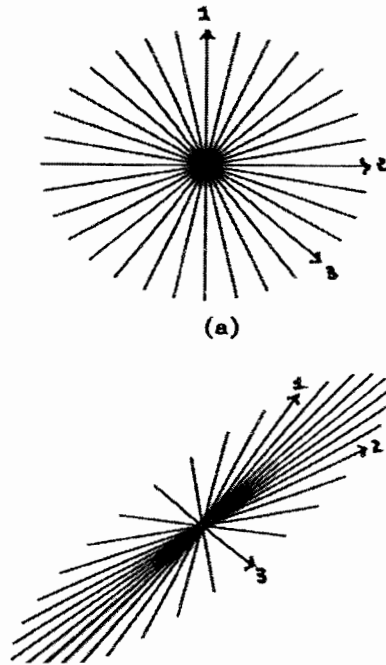
شکل ۲-۳- نمایش تعدادی از بردارهای میدان الکتریکی پس از اثر کردن تانسور اسپیلیت

(Groom & Bailey, 1989).

تانسور برشی به شکل زیر است:

$$S = \frac{1}{\sqrt{1+e^2}} \begin{bmatrix} 1 & e \\ e & 1 \end{bmatrix} \quad (17-3)$$

این تانسور، آنیزوتروپی را در امتداد محورهای غیر امتداد محورهای آنومالی اصلی گسترش می دهد. اثر این تانسور بر روی بردارهای میدان الکتریکی در شکل (۳-۳) دیده می شود. با توجه به این شکل، حداکثر تغییرات زاویه ای برای بردارهایی که در امتداد با محورهای آنومالی اصلی هستند، اتفاق می افتد. اثر این تانسور را معمولاً به صورت زاویه برش و به صورت  $\phi_e = \tan^{-1} e$  نشان می دهند.



شکل ۳-۳- نمایش تعدادی از بردارهای میدان الکتریکی پس از اثر تانسور برش (Groom & Bailey, 1989).

تانسور پیچشی به صورت زیر تعریف می شود:

$$T = \frac{1}{\sqrt{1+t^2}} \begin{bmatrix} 1 & -t \\ t & 1 \end{bmatrix} \quad (18-3)$$

$$I = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3-23\text{-الف})$$

$$\Sigma_1 = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix} \quad (3-23\text{-ب})$$

$$\Sigma_2 = \begin{bmatrix} 0 & -1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix} \quad (3-23\text{-ج})$$

$$\Sigma_3 = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{bmatrix} \quad (3-23\text{-د})$$

با انجام یک سلسله محاسبات جبری و استفاده از معادله (3-20) به روابط زیر می‌رسیم:

$$\alpha_0 = t\sigma + e\delta \quad (3-24\text{-الف})$$

$$\alpha_1 = (\delta - e\sigma)\cos 2\theta - (t\delta + e\sigma)\sin 2\theta \quad (3-24\text{-ب})$$

$$\alpha_2 = -\alpha + e\delta \quad (3-24\text{-ج})$$

$$\alpha_3 = -(t\delta + e\sigma)\cos 2\theta - (\delta - e\sigma)\sin 2\theta \quad (3-24\text{-د})$$

در روابط فوق  $\delta$  و  $\sigma$  با استفاده از روابط زیر به دست می‌آیند:

$$\sigma = a + b \quad , \quad \delta = a - b \quad (3-25)$$

تجزیه تانسور به روش فوق، زمانی به درستی امکانپذیر است که نویز در داده هاکم باشد. در عمل وجود نویز در داده‌ها و یا انحراف از مدل فیزیکی، باعث می‌شوند تا روش تجزیه ارائه شده به صورت دقیق قابل استفاده نباشد (Groom & Bailey, 1989).

### 3-7- روش تجزیه تانسوری لیلی

روش لیلی، یک روش تجزیه برای تبدیل تانسور 3-D به 2-D است. اطلاعات حاصل شده از این روش به عنوان مبنایی، در مقایسه با سایر روش‌های پیچیده تر، بسیار سودمند است. در این روش، قسمتهای حقیقی و مجازی از تانسور امپدانس، به طور جداگانه مورد بررسی قرار می‌گیرند. تئوری اصلی در این روش این است که اگر محورهای اندازه گیری E و H به طور مستقل و تحت دو زاویه مختلف بچرخند، ماتریس‌های بخش حقیقی و موهومی از تانسور MT مشاهده شده، به فرم 2-D تبدیل می‌شوند (Lilley, 1998).



در این بخش، باید توجه داشت که  $Z$  بیانگر یک تانسور امپدانس، با محورهایی در یک راستای خاص می باشد ( مثلاً در امتداد شمال و شرق یا به صورت موازی وعمود بر امتداد ساختار زمین شناسی مورد نظر ) و  $Z'$  بیانگر تانسور امپدانس، بعد از چرخش محورهاست.

در ادامه بخش تئوری، از روی بخش حقیقی المانهای تانسور امپدانس، مقادیر  $\theta_e$  و  $\theta_h$  را برای بخش حقیقی تانسور، بدست می آوریم. به همین روش، به کمک بخش موهومی المانهای تانسور امپدانس، این بار  $\theta_e$  و  $\theta_h$  را برای بخش موهومی تانسور محاسبه می کنیم.

سپس نتایج مربوط به بررسی جداگانه بخش های حقیقی و موهومی با هم مقایسه می شوند. در این مرحله ممکن است نتایج حقیقی و موهومی با هم ترکیب شوند. برای نمونه، امتداد آنو مالی محلی، با میانگین گیری از دو بخش حقیقی و موهومی به دست می آید. همچنین مقادیر نهایی امپدانس ها، از کنار هم قرار دادن بخش های حقیقی و موهومی حاصل شده از دو بخش جداگانه، به دست می آیند. نکته قابل توجه دیگر، وجود ۹۰ درجه ابهام در تعیین امتداد آنومالی محلی ژئوفیزیکی مورد نظر است. زیرا با چرخش محورها برای رسیدن به یک تانسور 2-D مطلوب و تنها با استفاده از داده های MT نمی توان تعیین کرد که کدام محور در امتداد ناپیوستگی و کدام یک عمود بر آن است (Lilley, 1998).

تانسور امپدانس مشاهده ای  $Z_m$  (با محورهای مشاهده ای در راستای شمال و شرق ) را به صورت زیر در نظر می گیریم:

$$\begin{bmatrix} Z_{xxr} + iZ_{xxq} & Z_{xyr} + iZ_{xyq} \\ Z_{yxr} + iZ_{yxq} & Z_{yyr} + iZ_{yyq} \end{bmatrix} \quad (26-3)$$

زیر نویس های  $r$  و  $q$  به ترتیب بیانگر بخش های حقیقی و موهومی مولفه های امپدانس MT می باشند. با فرض اینکه میدان مغناطیسی افقی و پلاریزه شده خطی است، رابطه بین میدان الکتریکی و مغناطیسی به صورت زیر است :

$$\begin{bmatrix} E_{xr} + iE_{xq} \\ E_{yr} + iE_{yq} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_{xxr} + iZ_{xxq} & Z_{xyr} + iZ_{xyq} \\ Z_{yxr} + iZ_{yxq} & Z_{yyr} + iZ_{yyq} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} H_{xr} \\ H_{yr} \end{bmatrix} \quad (27-3)$$

معادله فوق برای بخش های حقیقی و موهومی به طور جداگانه به شکل زیر بیان می شود:

$$\begin{bmatrix} E_{xr} \\ E_{yr} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_{xxr} & Z_{xyr} \\ Z_{yxr} & Z_{yyr} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} H_{xr} \\ H_{yr} \end{bmatrix} \quad (28-3)$$

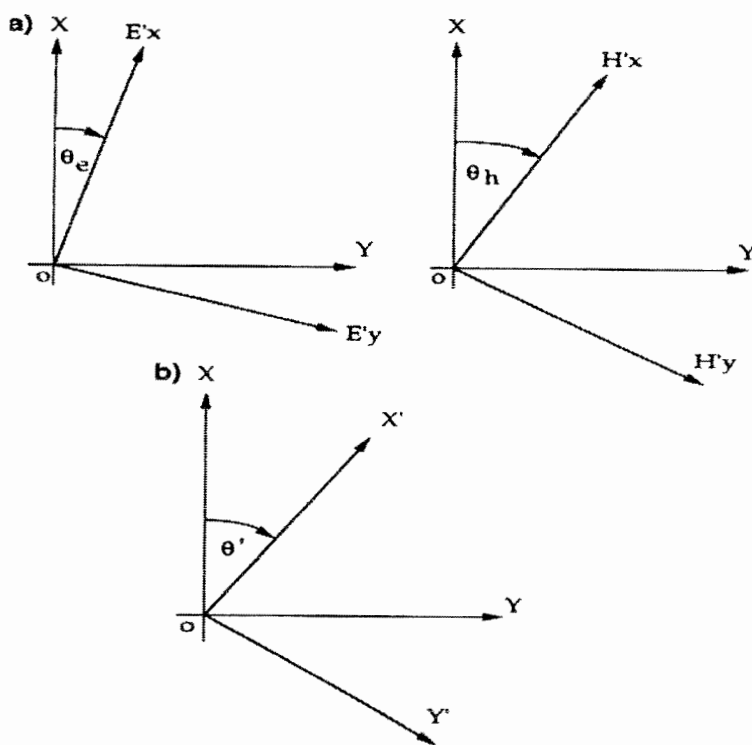
$$\begin{bmatrix} E_{xq} \\ E_{yq} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_{xxq} & Z_{xyq} \\ Z_{yxq} & Z_{yyq} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} H_{xr} \\ H_{yr} \end{bmatrix} \quad (29-3)$$

اگر اندیس های r و q را حذف کنیم، فرم کلی معادله به صورت زیر می شود.

$$\begin{bmatrix} E_x \\ E_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_{xx} & Z_{xy} \\ Z_{yx} & Z_{yy} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} H_x \\ H_y \end{bmatrix} \quad (30-3)$$

اگر میدانهای الکتریکی و مغناطیسی در جهت عقربه های ساعت و تحت زوایای  $\theta_e$  و  $\theta_h$ ،

مطابق شکل (۴-۳) بچرخند، معادله (۳۰-۳) به فرم زیر نوشته می شود:



شکل ۴-۳- نحوه چرخش محورهای اندازه گیری

الف-محورهای E با زاویه  $\theta_e$  و محورهای H با زاویه  $\theta_h$  می چرخند.

ب-محورهای اندازه گیری تحت زاویه  $\theta$  و در جهت عقربه های ساعت می چرخند (Lilley,1998).

$$\begin{bmatrix} E'_x \\ E'_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta_e & \sin \theta_e \\ -\sin \theta_e & \cos \theta_e \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Z_{xx} & Z_{xy} \\ Z_{yx} & Z_{yy} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos \theta_h & -\sin \theta_h \\ \sin \theta_h & \cos \theta_h \end{bmatrix} \begin{bmatrix} H'_x \\ H'_y \end{bmatrix} \quad (31-3)$$

به صورت خلاصه می توان نوشت:

$$\begin{bmatrix} E'_x \\ E'_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z'_{xx} & Z'_{xy} \\ Z'_{yx} & Z'_{yy} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} H'_x \\ H'_y \end{bmatrix} \quad (32-3)$$

باسبط روابط فوق :

$$Z'_{xx} = Z_{xx} \cos \theta_e \cos \theta_h + Z_{xy} \cos \theta_e \sin \theta_h + Z_{yx} \sin \theta_e \cos \theta_h + Z_{yy} \sin \theta_e \sin \theta_h \quad (33-3)$$

$$Z'_{xy} = -Z_{xx} \cos \theta_e \sin \theta_h + Z_{xy} \cos \theta_e \cos \theta_h - Z_{yx} \sin \theta_e \sin \theta_h + Z_{yy} \sin \theta_e \cos \theta_h \quad (34-3)$$

$$Z'_{yx} = -Z_{xx} \sin \theta_e \cos \theta_h - Z_{xy} \sin \theta_e \sin \theta_h + Z_{yx} \cos \theta_e \cos \theta_h + Z_{yy} \cos \theta_e \sin \theta_h \quad (35-3)$$

$$Z'_{yy} = Z_{xx} \sin \theta_e \sin \theta_h - Z_{xy} \sin \theta_e \cos \theta_h - Z_{yx} \cos \theta_e \sin \theta_h + Z_{yy} \cos \theta_e \cos \theta_h \quad (36-3)$$

برای تبدیل معادله (32-3) به فرم

$$\begin{bmatrix} E'_x \\ E'_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & Z^P_{xy} \\ -Z^P_{yx} & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} H'_x \\ H'_y \end{bmatrix} \quad (37-3)$$

باید روابط زیر برقرار شوند:

$$Z_{xx} \cos \theta_e \cos \theta_h + Z_{xy} \cos \theta_e \sin \theta_h + Z_{yx} \sin \theta_e \cos \theta_h + Z_{yy} \sin \theta_e \sin \theta_h = 0 \quad (38-3)$$

$$-Z_{xx} \cos \theta_e \sin \theta_h + Z_{xy} \cos \theta_e \cos \theta_h - Z_{yx} \sin \theta_e \sin \theta_h + Z_{yy} \sin \theta_e \cos \theta_h = Z^P_{xy} \quad (39-3)$$

$$-Z_{xx} \sin \theta_e \cos \theta_h - Z_{xy} \sin \theta_e \sin \theta_h + Z_{yx} \cos \theta_e \cos \theta_h + Z_{yy} \cos \theta_e \sin \theta_h = -Z^P_{yx} \quad (40-3)$$

$$Z_{xx} \sin \theta_e \sin \theta_h - Z_{xy} \sin \theta_e \cos \theta_h - Z_{yx} \cos \theta_e \sin \theta_h + Z_{yy} \cos \theta_e \cos \theta_h = 0 \quad (41-3)$$

در روابط فوق  $Z^P_{xy}$  و  $Z^P_{yx}$  مقادیر اصلی ماتریس MT هستند.

۳-۷-۱- نحوه یافتن مقادیر اصلی امپدانس و راستای آنومالی های محلی و منطقه ای

با اضافه کردن معادله (38-3) به (41-3) خواهیم داشت:

$$\tan(\theta_e - \theta_h) = \frac{Z_{yy} + Z_{xx}}{Z_{xy} - Z_{yx}} \quad (42-3)$$

با کم کردن معادله (۳۸-۳) از (۴۱-۳) :

$$\tan(\theta_e + \theta_h) = \frac{Z_{yy} - Z_{xx}}{Z_{xy} + Z_{yx}} \quad (۴۳-۳)$$

بنابراین :

$$\theta_e = \frac{1}{2} \left[ \tan^{-1} \frac{Z_{yy} - Z_{xx}}{Z_{xy} + Z_{yx}} + \tan^{-1} \frac{Z_{yy} + Z_{xx}}{Z_{xy} - Z_{yx}} \right] \quad (۴۴-۳)$$

$$\theta_h = \frac{1}{2} \left[ \tan^{-1} \frac{Z_{yy} - Z_{xx}}{Z_{xy} + Z_{yx}} - \tan^{-1} \frac{Z_{yy} + Z_{xx}}{Z_{xy} - Z_{yx}} \right] \quad (۴۵-۳)$$

با اضافه کردن معادله (۳۹-۳) به (۴۰-۳) و با کم کردن معادله (۴۰-۳) از (۳۹-۳) :

$$Z_{xy}^P - Z_{yx}^P = \cos(\theta_e + \theta_h) [(Z_{yx} + Z_{xy}) + \tan(\theta_e + \theta_h)(Z_{yy} - Z_{xx})] \quad (۴۶-۳)$$

$$Z_{xy}^P + Z_{yx}^P = \cos(\theta_e - \theta_h) [(Z_{yx} - Z_{xy}) - \tan(\theta_e - \theta_h)(Z_{yy} + Z_{xx})] \quad (۴۷-۳)$$

اگر دو معادله (۴۶-۳) و (۴۷-۳) را به توان دو برسانیم و به جای  $\tan(\theta_e - \theta_h)$  و  $\tan(\theta_e + \theta_h)$  از معادلات (۴۲-۳) و (۴۳-۳) استفاده کنیم و اتحاد زیر را بکار ببریم (Lilley, 1998):

$$\cos^2 u = \frac{1}{1 + \tan^2 u} \quad (۴۸-۳)$$

به روابط زیر می‌رسیم:

$$Z_{xy}^P = \frac{1}{2} \{ [(Z_{yy} + Z_{xx})^2 + (Z_{yx} - Z_{xy})^2]^{1/2} - [(Z_{yy} - Z_{xx})^2 + (Z_{yx} + Z_{xy})^2]^{1/2} \} \quad (۴۹-۳)$$

$$Z_{yx}^P = \frac{1}{2} \{ [(Z_{yy} + Z_{xx})^2 + (Z_{yx} - Z_{xy})^2]^{1/2} + [(Z_{yy} - Z_{xx})^2 + (Z_{yx} + Z_{xy})^2]^{1/2} \} \quad (۵۰-۳)$$

مقادیر  $Z_{yx}^P$  و  $Z_{xy}^P$  هر دو مثبت می‌باشند و  $Z_{yx}^P$  از  $Z_{xy}^P$  بزرگتر است.

### ۳-۷-۲- نتایج در روش تجزیه لیلی

همانطوری که بررسی روابط فوق نشان می دهد، چهار پارامتر اندازه گیری شده  $Z_{yy}, Z_{yx}, Z_{xy}, Z_{xx}$  بعد از چرخش به یک مدل 2-D با چهار پارامتر  $Z_{yx}^p, Z_{xy}^p, \theta_h, \theta_e$  تبدیل می شوند. این چهار پارامتر به صورت تابعی از فرکانس و برای هر دو بخش موهومی و حقیقی قابل نمایش هستند.

براساس تجربیات عملی می توان نتیجه گرفت که راستای میدان الکتریکی E بعد از چرخش، منطبق بر راستای آنومالی محلی است و راستای میدان مغناطیسی H پس از چرخش، منطبق بر راستای آنومالی اصلی منطقه است. اختلاف بین  $\theta_h, \theta_e$  یعنی  $\theta_e - \theta_h$  بیانگر وجود آنومالی های 3-D محلی و اثر آن بر آنومالی ناحیه ای (اصلی) دو بعدی می باشد. به طور کلی در تفسیر از چهار داده جدید به دست آمده، عدم وابستگی  $\theta_h, \theta_e$  به فرکانس و نیز تطبیق هر چه بیشتر بین بخش های حقیقی و موهومی از اهمیت زیادی برخوردار است. هرچه وابستگی  $\theta_h, \theta_e$  به فرکانس کمتر باشد و همچنین تطبیق بین بخش های حقیقی و موهومی بیشتر باشد، تفسیر 2-D از داده های بدست آمده، صحیح تر خواهد بود (Lilley, 1998).

کلیه عملیات اشاره شده که بر روی تانسور امیدانس انجام می شود، به صورت شماتیک و از طریق دایره موهر<sup>۱</sup> قابل نمایش است. به علاوه با استفاده از این نوع دوایر می توان تعیین کرد که آیا داده ها برای استفاده از این روش مناسب اند یا خیر؟ زیرا ملاک اصلی در استفاده از این روش این است که مبدأ مختصات باید در بیرون از این دوایر قرار بگیرد. الزام برقرار بودن این شرط توسط روابط زیر تعیین می شود (Means, 1990, 1992, 1994):

$$Z_{xyr} Z_{yxr} < Z_{xxr} Z_{yyr} \quad (۵۱-۳)$$

$$Z_{xyq} Z_{yxq} < Z_{xxq} Z_{yyq} \quad (۵۲-۳)$$

## فصل چهارم

### آشنایی با روش های مدل سازی معکوس

#### ۴-۱- مقدمه

با توجه به مطالبی که تاکنون اشاره شد، تفسیر داده های خام MT به علت وجود انواع خطا از قبیل پارازیتی بودن و ناقص بودن داده ها و همچنین ظاهری بودن عمق ها و اشکال آنومالی ها، کاری مشکل و گاهی گمراه کننده است.

بنابراین معکوس سازی داده های خام از اهمیت زیادی برخوردار است. بعد از این که داده های سونداژ MT هر ایستگاه برای جابه جایی استاتیکی و هر گونه اثر ناهمگنی های محلی تصحیح شدند، باید بسته به مورد به صورت یک یا دو بعدی مورد مدل سازی قرار گیرند، تا اطلاعاتی از توزیع مقادیر مقاومت ویژه و هندسه ساختار های زیر سطحی به دست آید. روش های مدل سازی معکوس داده های MT به شیوه های مختلف صورت می گیرد (فتحیانپور، ۱۳۸۱).

در این مطالعه به تشریح مختصر روش های مدل سازی معکوس هموار یک و دو بعدی روش اوکام<sup>۱</sup>، روش هموار واهلشی سریع<sup>۲</sup> (RRI) (Moradzadeh & Chamalaun, 2005) و روش گرادپان مختلط<sup>۳</sup> (NLCG) رودی و مکی (Rodi & Mackie, 2001)، به دلیل استفاده از آنها می پردازیم.

<sup>۱</sup>. Occam

<sup>۲</sup>. Rapid Relaxation Inversion

<sup>۳</sup>. Nonlinear Conjugate Gradient

#### ۴-۲- مدل سازی معکوس

روش های مدل سازی معکوس، از طریق شبیه سازی داده های مشاهده ای با استفاده از مدل سازی پیشرو و به حداقل رساندن اختلاف آنها به روش حداقل مربعات، پارامترهای مدل را نتیجه می دهد. در صورتیکه  $d = [d_1, d_2, \dots, d_n]^T$  بردار داده های صحرائی،  $m = [m_1, m_2, \dots, m_M]^T$  بردار پارامترهای مدل و  $F$  عملگر مدل پیشرو باشند (Sasaki, 1989):

$$d_n = F(m_1, m_2, \dots, m_M, S_n)$$

که در آن  $S_n$  بیانگر آرایش و موقعیت سیستم برداشت ژئوفیزیکی است.

هدف از مدل سازی یافتن  $M$  پارامتر از مدل مجهول است. اگر داده های حاصل از مدل (پاسخ مدل) را با  $\hat{d}$  و تابع خطا را با  $\phi$  نمایش دهیم آنگاه:

$$\phi(d_i, m_j) = \sum_{i=1}^n (d_i - \hat{d}_i(m))^2 \quad (1-4)$$

برای شروع، بسط تیلور  $F(m)$  را حول  $m_0$  می نویسیم (  $m_0$  یکی از پارامترهای مدل یا مدل اولیه است) (فتحیانپور، ۱۳۸۱).

$$F(m) = F(m_0) + \sum_{j=1}^n (\partial F_i(m_0) / \partial m_j) \cdot \Delta m_j \quad (2-4)$$

$$\Delta m_j = (m - m_0)_j \quad (3-4)$$

$$\phi(d_i, m_j) = \sum_{i=1}^m [d_i - F(m_0) - \sum_{j=1}^n (\partial F_i(m_0) / \partial m_j) \cdot \Delta m_j]^2 \quad (4-4)$$

با استفاده از روش کمترین مربعات، تابع  $\phi$  حداقل می شود، یعنی:

$$\partial \phi_i / \partial \Delta m_j = 0$$

$$j = 1, 2, \dots, n \quad (5-4)$$

$$i = 1, 2, \dots, m$$

در نهایت رابطه خطی شده بدین صورت نوشته می شود.

$$\Delta d_i = J \cdot \Delta m_j \quad (6-4)$$

که در آن  $J$  ماتریس ژاکوبین است و به صورت زیر نمایش داده می شود :

$$J = \partial F_i / \partial m_j \quad (7-4)$$

با انجام یک سری عملیات ریاضی بر روی رابطه (7-4) روابط زیر حاصل می شوند:

$$J^T \Delta d_i = J^T J \Delta m_j \quad (8-4)$$

$$\Delta m_j = (J^T J)^{-1} J^T \Delta d_i \quad (9-5)$$

$$m^{new} = m^{old} + \Delta m_j \quad (10-5)$$

این مقدار جدید  $m$  در مدل پیشرو قرار داده می شود تا مقادیر جدید  $J^{new}$ ,  $\phi^{new}$ ,  $\hat{d}^{new}$  حاصل شوند.

این فرآیند تا زمانی ادامه می یابد که یکی از حالت‌های زیر به وقوع بپیوندد:

۱- آخرین مقدار برآورد شده از خطای استاندارد که از رابطه زیر به دست می آید، برابر با سطح پارازیت اندازه گیری ها یا کمتر از آن شود.

$$\hat{\sigma} = (\phi(d_i, m_j) / (m - n))^{1/2} \quad (11-4)$$

۲- به یک کمینه نسبی برسیم، یعنی تکرارهای بعدی کاهش قابل توجهی در خطاها ایجاد نکنند.

۳- تعداد تکرارها بیش از یک مقدار از پیش تعیین شده شود.

در روابط فوق ماتریس  $(J^T J)^{-1} J^T$  ناپایدار است و یک تغییر کوچک در داده ها می تواند تغییرات بزرگی در پارامترهای مدل به وجود آورد. بنابراین قبل از معکوس سازی، یک مقدار ثابت مانند  $\beta$  به عناصر ماتریس فوق اضافه می شود. به این تکنیک رگرسیون ریج<sup>۱</sup> می گویند. در یک الگوریتم خاص، اندازه و گام در طی فرآیند معکوس سازی کنترل شده و به صورت رابطه زیر بیان می-شود:

$$\Delta m = (J^T J + \beta I) J^T \Delta d \quad (12-4)$$

مقدار  $\beta$  الگوریتم ها به صورت تجربی تعیین می شود و به آن فاکتور تعدیل<sup>۲</sup> می گویند. بزرگترین و کوچکترین مقادیر ویژه ماتریس ژاکوبین در ۱۰ و ۰/۱ ضرب شده تا مقادیر  $q_s$  و  $q_t$  به دست آید.  $\beta_K$  و  $q_K$  طبق روابط زیر حاصل می شوند (فتحیانپور، ۱۳۸۱):

<sup>۱</sup>. Ridge Regression

<sup>۲</sup>. Damping Factor



$$q_K = [(100q_s - q_t) + (q_t - q_s)K]^2 / 99 \quad (13-4)$$

$$K = 1, 2, \dots, 10$$

$$\beta_K = \sqrt{q_k} \quad (14-4)$$

#### ۳-۴- انواع روش های مدل سازی معکوس

انواع مختلف مدل سازی معکوس عبارت اند از:

۱) مدل سازی معکوس هموار

۲) مدل سازی معکوس پارامتری

۳) مدل سازی معکوس بهینه یا ترکیبی

در اینجا به طور خلاصه فقط به شرح روش های مدل سازی هموار مورد استفاده پرداخته می شود.

#### ۴-۴- مدل سازی معکوس هموار

یکی از روش های معکوس سازی، اعمال شرط هموار بودن مدل نهایی است. عامل اصلی برای جستجو کردن مدل هموار این است که مدل هایی که ذاتاً با داده های مشاهده ای سنخیتی ندارند و تغییرات شدید و غیر واقعی ایجاد می کنند، در مجموعه پاسخ ها وارد نگردند.

#### ۴-۵- مدل سازی معکوس هموار یک بعدی، مدل اوکام

در مدل یک بعدی اوکام این نکته محفوظ است که پیچیدگی مدل واقعی، نباید کمتر از پروفیل مدل باشد.

این هدف با تعریف نا همواری مدل و به دو طریق حاصل می شود (Wang, 1994):

$$R_1 = \int (dm(z) / dz)^2 dz \quad (15-4)$$

$$R_2 = \int d^2 m(z) / dz^2)^2 dz \quad (16-4)$$

$R_1$  و  $R_2$  پارامترهای ناهمواری مدل اند و  $Z$  بیانگر عمق است.

برای یک زمین  $N$  لایه ای و در فرم منفصل:

$$R_1 = \sum_{i=2}^N (m(z)_i - m(z)_{i-1})^2 \quad (17-4)$$

$$R_2 = \sum_{i=2}^{N-1} (m(z)_{i+1} - 2m(z)_i + m(z)_{i-1})^2 \quad (18-4)$$

$m(z)$  بیانگر مقاومت ویژه یا لگاریتم آن است.

اگر  $N$  داده مشاهده  $D_1, \dots, D_N$  داشته باشیم که خطای مربوط به هر کدام  $\sigma_j$  باشد، با استفاده از معیار حداقل مربعات وزنی، می توان مهمترین تطابق بین پارامترهای مدل ( $F_j(m)$ ) و مقادیر داده های واقعی  $D_j$  را با معیار زیر بدست آورد

$$\chi^2 = \sum_{j=1}^N (D_j - F_j(m))^2 / \sigma_j^2 \quad (19-4)$$

$$RMS = \sqrt{\chi^2 / N}$$

$\chi^2$  خطای کای اسکور<sup>۱</sup> نامیده می شود. با تعریف یک مقدار کای اسکور مطلوب  $\chi^2_*$ ، عمل

کمینه سازی تابع هدف زیرین، برای به دست آوردن یک مدل هموار یک بعدی صورت می گیرد.

$$\mu = R_1 + \mu^{-1}(\chi^2 - \chi^2_*) \quad (20-4)$$

که در آن  $\mu^{-1}$  ضریب تکثیر کننده لاگرانژ<sup>۲</sup> می باشد. عمل مدل سازی با خطی نمودن و کمینه

سازی تابع  $\mu$  با یک مدل اولیه صورت می گیرد (Moradzadeh & Chamalaun, 2005).

فرآیند اجرای مدل سازی هموار اوکام به این نحو است که ابتدا یک مدل اولیه در نظر می گیریم

به گونه ای که تعداد لایه ها و ضخامت لایه اول معلوم باشد. ضخامت لایه های بعدی با فاکتور

معینی افزایش می یابد تا به عمق دلخواه برسیم. برای همه لایه ها مقاومت ویژه یکسان، در نظر

گرفته می شود. با اجرای روش اوکام و تکرار فرآیند به RMS مطلوب نزدیک می شویم. از دیگر

روش های مدل سازی یک بعدی می توان به مدل سازی بوستیک (Bostick, 1977) اشاره کرد.

<sup>1</sup>. Chi Squared

<sup>2</sup>. Lagrange Multiplier Formulation

#### ۴-۶- مدل سازی معکوس هموار دو بعدی

داده های MT که به منظور ایجاد یک مدل هموار 2-D معکوس سازی می شوند، در واقع از بسط معکوس سازی یک بعدی اوکام استفاده می کنند.

همانطور که در مدل سازی 1-D اشاره شد، در روش اوکام سعی بر این است که ساختاری ارائه شود که دارای حداقل پیچیدگی باشد. این مدل مرزهای گسسته کمتری دارد و از مدل زمین واقعی هموارتر است.

برای مدل 2-D از یک مدل شبکه ای استفاده می شود. این مدل از تعداد زیادی مستطیل که هر کدام هدایت ویژه مخصوص به خود را دارا هستند، تشکیل شده است. این شبکه به صورت جانبی با یک سری لایه های همگن و به صورت عمقی با مستطیل هایی که به صورت عمقی کشیده تر می شوند، پایان می یابد. ابتدا باید یکسری محاسبات پیشرو انجام شود.

همان طور که در حالت یک بعدی روش اوکام مطرح شد، باید ناهماری مدل را حداقل کنیم. اگر یک ساختار 2-D را در نظر بگیریم که محور x در جهت ناپیوستگی آن باشد، ناهماری مدل توسط رابطه زیر داده می شود (de Groot-Hedlin & Constable, 1990):

$$R_1 = \left\| \partial_y m \right\|^2 + \left\| \partial_z m \right\|^2 \quad (۲۱-۴)$$

که در آن m بردار پارامترهای مدل  $\partial_y$  ماتریس ناهمگن تغییرات مدل در جهت y (به صورت جانبی) و  $\partial_z$  هم ماتریس ناهمگنی است که تغییرات پارامترهای مدل را به صورت عمقی نشان می دهد.

شبکه در کل دارای N المان است، P المان با پهنای h در راستای افقی و L المان در راستای قائم با پهنای  $V_i$  که  $i=1,2,\dots,L$ . المانها را از چپ به راست و با شروع از المان بالایی سمت چپ شماره گذاری می کنیم. ماتریس  $N \times N$  ناهمگنی قائم  $\partial_z$  توسط رابطه زیر ارائه می شود (de Groot-Hedlin & Constable, 1990):

$$\tilde{\partial}_{\sim Z} = \begin{bmatrix} -1 & 0 & \dots & 0 & 1 & 0 & 0 & \dots \\ 0 & -1 & 0 & \dots & 0 & 1 & 0 & \dots \\ \vdots & & & -1 & & & & 1 \\ & & & 0 & & & & \sim \end{bmatrix} \quad (22-4)$$

$\tilde{\partial}_{\sim Z}$  بیانگر یک ماتریس  $P \times N$  از صفرهاست. بنابراین در مجموع  $P-1$  صفر در بین ردیفهای وجود دارد.

ماتریس  $N \times N$  ناهمگنی افقی  $\tilde{\partial}_{\sim y}$  به صورت زیر است:

$$\tilde{\partial}_{\sim y} = \begin{bmatrix} \tilde{\partial}_{y1} & & & 0 \\ & \tilde{\partial}_{y2} & & \\ & & \ddots & \\ 0 & & & \tilde{\partial}_{yi} \end{bmatrix} \quad (23-4)$$

$\tilde{\partial}_{\sim yi}$  ماتریس ناهمگنی افقی برای لایه  $i$  است و به صورت زیر تعریف می شود:

$$\tilde{\partial}_{\sim yi} = \begin{bmatrix} -V_i/h & V_i/h & & & \\ & -V_i/h & V_i/h & 0 & \\ 0 & & \ddots & & \\ & & & -V_i/h & V_i/h \\ 0 & & & & 0 \end{bmatrix} \quad (24-4)$$

از پارامترهای مدل بین بلوکهای مجاور افقی در لایه  $i$  دیفرانسیل می گیرد.

اگر داده ها به وسیله  $d_j$  بیان شوند،  $j=1,2,\dots,M$ ، با فرض اینکه هر سری داده دارای واریانس  $\sigma_j$  باشد، توانایی مدل در تطبیق با داده ها طبق رابطه زیر بررسی می شود:

$$\chi^2 = \left\| \tilde{W} d - \tilde{W} F[m] \right\|^2 \quad (25-4)$$

$F[m]$  همانند روش های قبلی مجموعه توابع پیشرو خطی هستند.  $W$  یک ماتریس وزنی قطری  $m \times m$  است.

$$W = \text{diag}\{1/\sigma_1, 1/\sigma_2, \dots, 1/\sigma_M\} \quad (26-4)$$

همانند مدل یک بعدی در تطابق کامل  $M = \chi^2 = \chi_*^2$  که  $M$  تعداد داد های مستقل است. برای مدل سازی دو بعدی هموار، تابع هدف زیر باید کمینه شود:

$$U[m] = \|\partial_y m\|^2 + \|\partial_z m\|^2 + \mu^{-1} \left\{ \|Wd - WF(m)\|^2 - \chi_*^2 \right\} \quad (27-4)$$

همانطور که قبلا اشاره شد،  $\mu^{-1}$  ضریب لاگرانژ است. هدف یافتن مدلی است که با یک دامنه قابل قبول با داده ها تطبیق یابد. هرچه خطای مجاز کاهش یابد، مدل ناهمگن تر می شود. بسط تیلور  $F$  به رابطه زیر منجر می شود:

$m_1$  مدل اولیه است.

$$F[m_1 + \Delta] = F[m_1] + J_1 \Delta \quad (28-4)$$

$m_1$  مدل اولیه و  $J_1$  یا ماتریس ژاکوبین یک ماتریس  $m \times n$  از مشتق های جزئی  $F[m_1]$  است.

$\Delta$  بیانگر هر گونه تغییرات یا انحرافات جزئی از مدل اولیه است. اگر عبارت فوق در رابطه

(27-4) جایگزین شود، رابطه زیر حاصل می شود:

$$U = \left\| \partial_{\sim y} m_2 \right\|^2 + \left\| \partial_{\sim z} m_2 \right\|^2 + \mu^{-1} \left\{ \left\| W \hat{d}_1 - W J_{\sim 1} m_2 \right\|^2 - \chi_*^2 \right\} \quad (29-4)$$

$$\hat{d}_1 = d - F[m_1] + J_{\sim 1} m \quad (30-4)$$

با مشتق گیری نسبت به  $m_2$ ، به منظور یافتن مدلی که  $U$  را حداقل کند، به رابطه زیر می رسیم:

$$m_{i+1} = [\mu(\partial_{\sim y}^T \partial_{\sim y} + \partial_{\sim z}^T \partial_{\sim z}) + (W J_{\sim i})^T W J_{\sim i}]^{-1} (W J_{\sim i})^T W \hat{d}_i \quad (31-4)$$

هدف کلی براین است که در هر تکرار  $\mu$  به گونه ای باشد تا مدلی که پیدا می کنیم، خطای داده ها را کاهش داده و دامنه مطلوب حاصل شود (de Groot-Hedlin & Constable, 1990).

#### ۴-۷- مدل سازی معکوس روش گوس - نیوتن (GN)<sup>۱</sup>

اگر مسئله معکوس سازی را به فرم  $d=F(m)+e$  بنویسیم که در آن بردار داده های صحرائی،  $m$  پارامترهای مدل و  $e$  بردار خطا باشد. هدف کمینه کردن تابع هدف زیر است:

$$\psi(m) = (d - F(m))^T V^{-1} (d - F(m)) + \lambda m^T L^T L m \quad (۳۱-۴)$$

که در آن  $\lambda$  پارامتر تنظیم کننده،  $V$  ماتریس واریانس خطای  $e$  و  $L$  اپراتور دیفرانسیلی مرتبه دوم است

(Rodi & Mackie, 2001).

یکی از روش های عددی برای حداقل کردن  $\psi$  روش GN است. هدف این است که هنگامی که

$$l \rightarrow \infty$$

$$\psi(m_L) = \min_m \psi(m) \quad (۳۲-۴)$$

گرادیان و هیسین<sup>۲</sup> ماتریس هدف که به ترتیب برداری از مرتبه  $M$  و یک ماتریس متقارن  $M \times M$  هستند، به صورت زیر تعریف می شوند:

$$g^i(m) = \partial_j \psi(m) \quad (۳۳-۴)$$

$$H^{jk}(m) = \partial_j \partial_k \psi(m) \quad j, k = 1, 2, \dots, M \quad (۳۴-۴)$$

روش حداقل سازی بازگشتی تکراری GN به صورت زیر تعریف می شود:

$$m_0 = \text{given}$$

$$\tilde{\psi}(m_{l-1}; m_l) = \min_m \tilde{\psi}(m; m_l) \quad l = 0, 1, 2, \dots \quad (۳۵-۴)$$

با انجام یک سری محاسبات، رابطه تکراری GN به صورت زیر نوشته می شود:

$$m_{l+1} = m_l - \tilde{H}_l^{-1} g_l \quad (۳۶-۴)$$

روش مکی ومدن<sup>۱</sup> (MM)، به طریق دیگری به کمینه کردن تابع هدف می پردازد. در این روش، برخلاف شیوه قبلی، مسئله خطی به وسیله تکنیک گرادیان مختلط<sup>۲</sup> (CG) و به طور ناتمام حل می شود. زیرا تکرارها پس از تعداد دفعات از قبل تعیین شده  $K$  متوقف می شوند.

1. Gauss & Newton

2. Hessian

روش دیگر، روش گرادیان مختلط غیر خطی NLCG می باشد که از چهار چوب معکوس سازی خطی تکرار شونده استفاده نمی کند. این دو روش اخیر، سریعتر از روش GN تابع هدف را کاهش می دهد و از نظر حجم حافظه کامپیوتری مورد نیاز همانند هم هستند (Rodi & Macki,2001).

#### ۴-۸- معکوس سازی دو بعدی به روش واهلشی سریع (RRI)

این روش، روش سریع و موثری در معکوس سازی دو بعدی از داده های MT است. در اینجا، طی فرآیند معکوس، وزن هر داده با استفاده از روش حداقل مربعات یا روش حداقل مربعات مقاوم<sup>۳</sup> تعیین می شود. همچنین با حداقل کردن مشتق دوم مقاومت ویژه، هم به صورت جانبی و هم در راستای قائم، مدل همواری با یک خطای از قبل تعیین شده جستجو می شود. این فرآیند با حداقل کردن تابع هدف در محل هر سونداژ و به صورت زیر انجام می-شود (Moradzadeh & Chamalaun,2005).

$$W_i = Q_i + \beta_i \chi_i^2 \quad (۴-۳۷)$$

$$Q_i = \int_{z_0}^{z_{\max}} (z + z_0)^3 \left\{ \frac{\partial^2}{\partial z^2} + \alpha \left[ \frac{\Delta_i}{z + z_0} \right]^\eta \frac{\partial^2}{\partial y^2} \right\}^2 L_n \sigma \quad dZ$$

$\chi^2$  همانطور که در بخش های قبلی تعریف شده است، خطای استاندارد است. فاصله بین سونداژها با  $\Delta_i$  مشخص می شود.  $Q_i$  ضریب تعدیل ساختاری وابسته به لاپلاسین میانگین از  $L_n \sigma$  مدل است. پارامتر  $\alpha$  تنظیم کننده تغییرات ساختار در راستای قائم به راستای افقی است.  $\eta$  تغییرات ساختار با عمق را تنظیم می کند. معمولاً در محاسبات  $\alpha = 4$ ،  $\eta = 1/5$  در نظر گرفته می شود (Moradzadeh & Chamalaun,2005).

در استفاده از روش RRI به دونکته باید توجه کرد: اول اینکه روش المان محدود (FD) در نقاطی که تغییرات ناگهانی وجود داشته باشد، با مشکل روبرو می شود. برای پرهیز از این مسئله در روش

<sup>1</sup>.Madden

<sup>2</sup>.Conjugate Gradiance

<sup>3</sup>.Robust

RRI فرض می شود که هدایت ویژه و گرادیان آن در هر نقطه ای در مدل، به غیر از فصل مشترک زمین و هوا پیوسته هستند.

نکته دوم انتخاب مدل اولیه یک ساختار است که از اهمیت زیادی برخوردار است. به عنوان نمونه اگر در مدل اولیه یک ساختار 2-D در نظر بگیریم که لزوماً توسط داده ها، وجود چنین ساختاری تأیید نمی شود، تعداد زیادی فرآیند تکرار برای حذف این مدل اولیه نیاز است (Smith & Booker, 1988, 1991).

حال که با اثرات ناهمگنی های سطحی و همچنین مدل سازی آنها و تاثیر آنها روی داده های MT آشنا شدیم، در فصل بعد روش های تعدیل اثرات آنها را با شیوه های مختلف روی مجموعه ای از داده های واقعی MT که مربوط به ناحیه ای از جنوب استرالیا می باشد، مورد بررسی قرار می دهیم و سپس پس از اصلاح، آنها را برای درک بهتر از ساختار های زیر سطحی، مدل سازی می نماییم.



## فصل پنجم

### مطالعه موردی تجزیه تانسوری به روش لیلی و مدل سازی معکوس داده های تبدیل یافته

#### ۵-۱- مقدمه

در این فصل ابتدا درباره محل و موقعیت جغرافیایی و همچنین زمین شناسی ناحیه مورد مطالعه که داده های سونداژ MT مربوط به آنها در دسترس می باشد، شرح مختصری آورده می شود. برای حذف بخشی از اثرات ناهمگنی های سطحی از روی داده های MT ابتدا تجزیه تانسوری روش لیلی برای تک تک سونداژها صورت می گیرد و پس از آن اثر جابه جایی استاتیکی روی منحنی های مقاومت ویژه اصلاح شده و نهایتا با به دست آوردن امتداد ساختار های اصلی زمین شناسی منطقه، مقادیر مقاومت ویژه و فاز هر مود پلاریزاسیون، محاسبه می گردد. به این منظور، برای انجام روش تجزیه تانسوری لیلی، ابتدا برنامه ای به زبان برنامه نویسی مطلب نوشته شد. برنامه نوشته شده به منظور اجرای روش تجزیه تانسوری لیلی در پیوست (و) ارائه شده است. این برنامه در واقع شامل خواندن اطلاعات مربوط به هر کدام از سونداژها و انجام عملیات ریاضی ذکر شده در

موجود از ساختار های عمقی آن بسیار ناچیز است. همانطور که در نقشه زمین شناسی عمومی منطقه (شکل (۵-۱-الف) دیده می شود، واحد های تکتونیکی و رسوبی منطقه شامل استورت شلف<sup>۲</sup> در غرب، ژئوسینکلینال آدلاید در مرکز و حوضه رسوبی ماری<sup>۳</sup> در بخش های شرقی می-باشند.

استورت شلف در قسمت شمالی گوالر کراتون (ناحیه سپر پر کامبرین) قرار گرفته است. در این منطقه یک توالی افقی و نازک از رسوبات کامبرین و آدلایدین بر روی سنگ بستر کریستالی مقاوم قرار گرفته است. سنگ بستر پرآدلایدین در زیر استورت شلف، از یک سری لایه های آتشفشانی و رسوبی تشکیل شده است که بر روی سنگ های کریستالی مقاوم پروتروزوئیک و آرشین قرار دارند. بین استورت شلف در غرب و بزرگ ناودیس آدلاید در شرق یک زون خرد شده و گسلی به نام تورنس هینگ زون<sup>۴</sup> (THZ) وجود دارد.

ژئوسینکلینال آدلاید حوضه رسوبی بسیار پیچیده ای است که در آن تلی از رسوبات کامبرین و پر کامبرین با ضخامتی بیش از ۱۵ کیلومتر نهشته شده است. سنگ بستر ژئوسینکلینال آدلاید به دلیل پوشش زیاد رسوبات در بیشتر بخش ها فاقد رخنمون می باشد. از این جهت بیشتر اطلاعات مربوط به آن با مطالعه قطعاتی از آن به صورت میان لایه یا قطعات تخریبی آن در داخل رسوبات حاصل می شود. این اطلاعات به همراه سایر اطلاعاتی که با مطالعه و بررسی نواحی اطراف حاصل می شود نشان می دهد که سنگ بستر بزرگ ناودیس آدلاید، عمدتاً از رسوبات جدید پروتروزوئیک و آرشین و ترکیبات متاولکانیک و پلاتونیک تشکیل شده است (Moradzadeh & Chamalaun, 2005).

رسوبات موجود در حوضه رسوبی ماری در شرق منطقه که ضخامت آنها بر اساس حفاری های صورت گرفته به حدود ۱۳۰۰ متر می رسد، غالباً مربوط به دوره های زمین شناسی میوسن و پلیئوسن می باشند (Vozzof et al, 1975).

این پیچیدگی ها و نیز کمبود اطلاعات مستقل باعث شده است تا ارتباط دقیق بین رسوبات موجود در بزرگ ناودیس آدلاید و سنگ بستر زیرین آنها به درستی مشخص نشود. به همین خاطر

<sup>۱</sup>. Adelaide

<sup>۲</sup>. Stuart Shelf

<sup>۳</sup>. Murry Basin

<sup>۴</sup>. Torrens Hinge Zone

و به دلیل اختلاف مقاومتی زیاد بین رسوبات آدلاید و سنگ بستر دگرگون شده زیرین آنها، در نظر است با تجزیه و تحلیل داده های مربوط به یازده سونداژ مگنتوتلوریک موجود (Moradzadeh,1998) که عمدتاً مربوط به بخش های میانی و شرقی بزرگ ناودیس آدلاید و همچنین حوضه رسوبی ماری می باشند، بخشی از این ارتباط ساختاری و پیچیدگی های زمین شناسی را جستجو کرد.

### ۵-۳- معرفی داده های مگنتوتلوریک مورد استفاده

داده های مورد نظر بخشی از مجموعه نسبتا بزرگ سونداژ های مگنتوتلوریک است که توسط استاد راهنمای اول اینجانب در طی سالهای ۱۹۹۷-۱۹۹۳ برداشت شده است. آنچه در این پایان نامه مد نظر است، تنها بررسی یازده سونداژ آن می باشد که جزئیات مربوط به آنها در جدول (۵-۱) نشان داده شده است. همانطوری که قبلا اشاره شد، این داده ها عمدتا مربوط به بخش های مرکزی و شرقی ژئوسینکلینال آدلاید و کمی هم مربوط به حوضه رسوبی ماری می باشند. مطالعات قبلی (Moradzadeh, 1998; Moradzadeh & White, 2005) نشان داده است که ساختار های اصلی عمیق زمین شناسی در این منطقه غالبا به صورت دوبعدی است و در پاره ای از موارد و در محل بعضی از سونداژ ها ساختار های کم عمق سه بعدی، بر روی داده های MT اثرات نامطلوبی را گذاشته اند. به همین علت اثرات این گونه ناهمگنی های سطحی را باید ابتدا به طریقی مناسب روی داده ها تعدیل و یا حذف نمود و سپس آنها را برای مدل سازی مورد استفاده قرار داد. قبل از شرح و ارائه نتایج بررسی های صورت گرفته برای اصلاح این گونه ناهمگنی های سطحی، جزئیات داده های مگنتوتلوریک ارائه می شود.

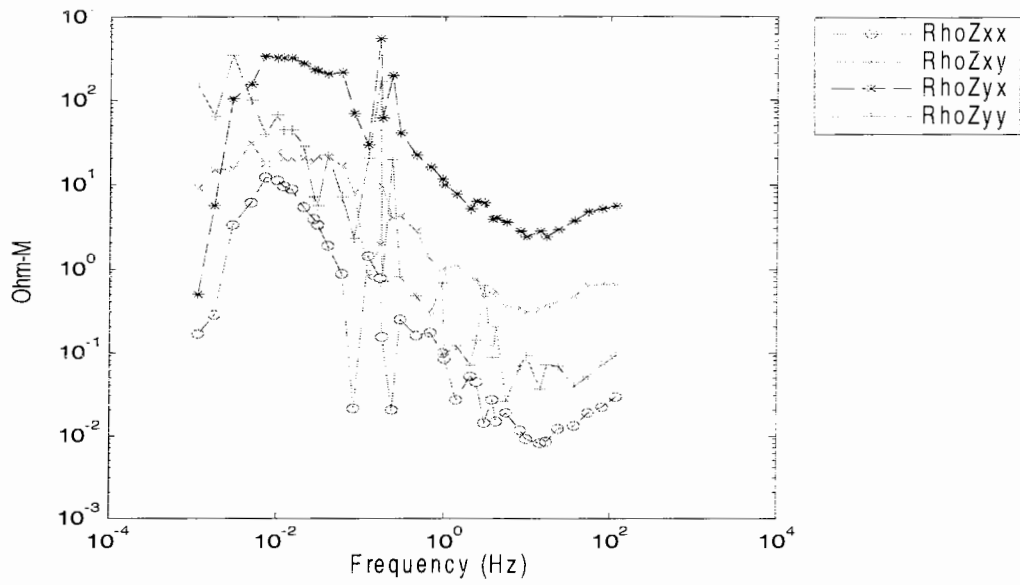
داده های یازده سونداژ به صورت بخش های حقیقی و موهومی هر یک از مولفه های تانسور امپدانس می باشند که پس از عملیات ریاضی پیچیده برای هر فرکانس محاسبه گشته اند و برای عملیات بعدی در اختیار اینجانب قرار گرفتند. جدول (۵-۲) نمونه ای از داده ها (تحت عنوان داده های خام قبل از تجزیه) را برای سونداژ DAW نشان می دهد و داده های سایر سونداژ ها در پیوست (الف) داده شده اند.

جدول ۵-۱- نام و محل جغرافیایی سوندا ژهای MT همراه با سایر جزئیات آنها (Moradzadeh, 1998).

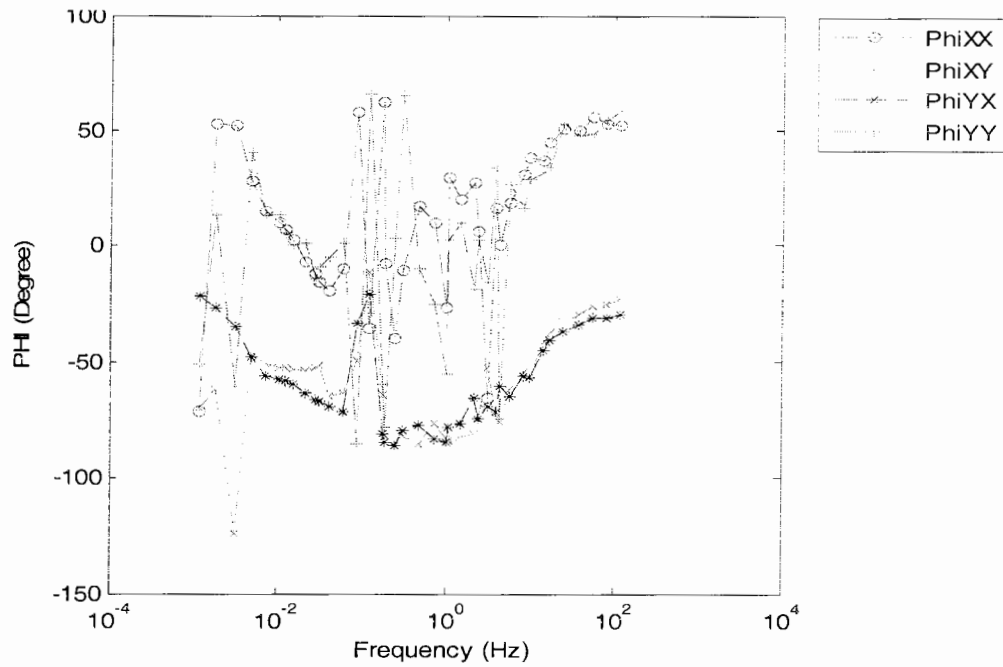
Site code	Location	Longitude (deg.E)	Latitude (deg. S)	Sensors' Azimuth (deg. from the north)				Survey date
				Ex	Ey	Hx	Hy	
Yad	Yadena Creek	138 <sup>0</sup> 40' 52"	32 <sup>0</sup> 43' 55"	260	350	260	35	1996
							0	
Oak	The Oaks	138 <sup>0</sup> 49' 14"	32 <sup>0</sup> 49' 51"	0	270	0	27	1996
							0	
Daw	Dawson	138 <sup>0</sup> 58' 40"	32 <sup>0</sup> 48' 9."	0	90	0	90	1996
Odd	Oddlawirra	139 <sup>0</sup> 3.' 2."	32 <sup>0</sup> 52' 18"	0	270	0	90	1993
Man	Manunda creek	139 <sup>0</sup> 10' 14"	32 <sup>0</sup> 55' 28"	0	270	180	90	1996
Pit	Pitcairn	139 <sup>0</sup> 18' 21"	32 <sup>0</sup> 56' 48"	0	90	0	90	1993
Maf	Mafeking	139 <sup>0</sup> 23' 1."	32 <sup>0</sup> 59' 7."	180	270	180	27	1996
							0	
Mul	Mulge Hill (Twelve Miles)	139 <sup>0</sup> 26' 21"	33 <sup>0</sup> 2.' 53"	180	270	180	27	1996
							0	
Lwd	Lock Winnoch Dam	139 <sup>0</sup> 31' 34"	33 <sup>0</sup> 10' 22"	60	330	60	33	1996
							0	
Swd	Swamp Dam	139 <sup>0</sup> 52' 35"	33 <sup>0</sup> 14' 36"	170	260	170	26	1996
							0	
Mad	Mount Alice Dam	140 <sup>0</sup> 25' 17"	33 <sup>0</sup> 17' 17"	0	90	0	90	1997

سایر ایستگاه‌ها موجود می‌باشد. همچنین نمودارهای مربوط مربوط به مقاومت و فاز هر سونداژ قبل و بعد از تجزیه و نیز مقادیر  $\theta_e$  و  $\theta_h$  در پیوست (ج) قرار دارند.

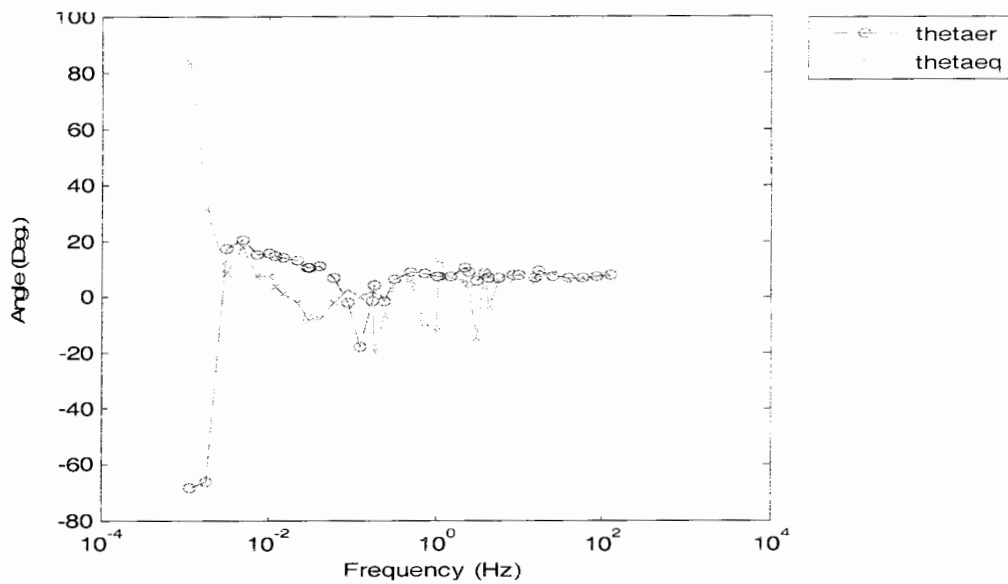
شکل‌های (۲-۵) تا (۷-۵) نتایج حاصل از انجام این روش و قبل از انجام حذف جابه‌جایی استاتیکی بر روی سونداژ MAD را به عنوان نمونه نشان می‌دهد. همانطور که در شکل (۲-۵) دیده می‌شود، مقادیر  $Z_{yx}$  و  $Z_{xy}$  مخالف صفر هستند که نشان دهنده اثر آنومالیهای سطحی کوچک بر روی آنومالی اصلی است.



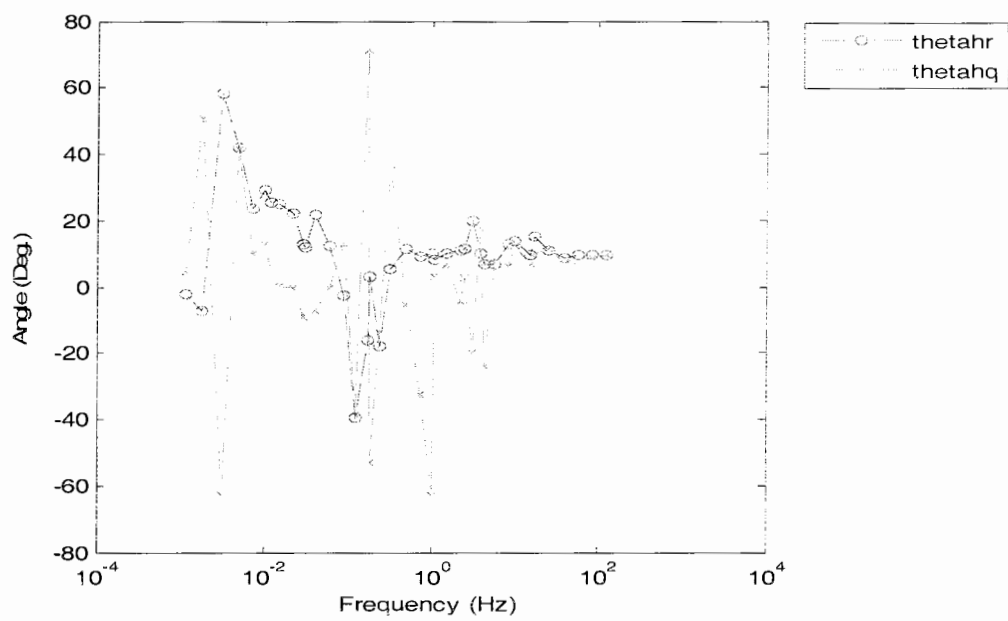
شکل ۵-۲- نمودار مقاومت ویژه عناصر تانسور امپدانس سونداژ MAD داده های خام.



شکل ۵-۳- نمودار فاز عناصر تانسور امپدانس سونداژ MAD داده های خام .



شکل ۵-۶- نمایش مقادیر قسمت‌های حقیقی و موهومی  $\theta_e$  حاصل از تجزیه تانسوری لیلی بر حسب فرکانس برای سونداژ MAD.



شکل ۵-۷- نمایش مقادیر قسمت‌های حقیقی و موهومی  $\theta_h$  حاصل از تجزیه تانسوری لیلی بر حسب فرکانس برای سونداژ MAD.

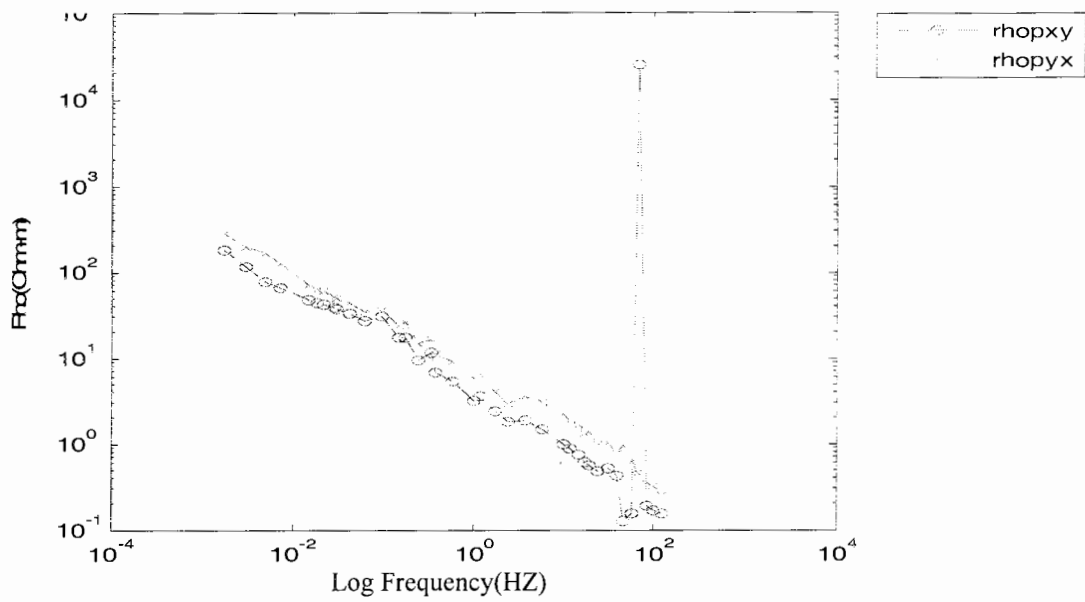


در ادامه به بررسی بیشتر نتایج حاصل از تجزیه تانسوری لیلی و مقایسه آنها با نتایج تجزیه تا نسوری گروم- بیلی پرداخته می شود. به این منظور سه سونداژ انتخاب شده است که نمودار های مقاومت ویژه و فاز آنها با یکدیگر مقایسه می شود.

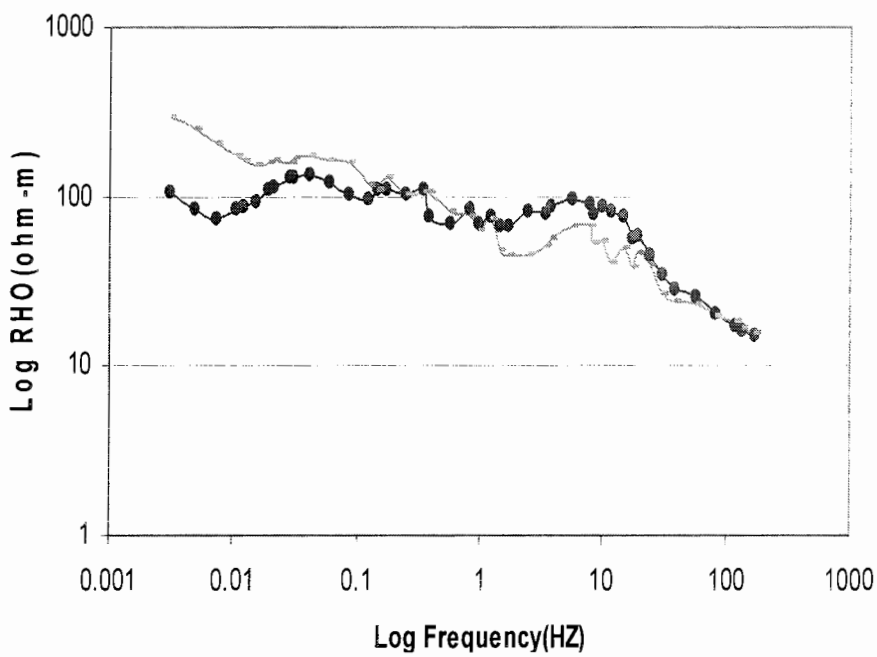
اولین سونداژ، YAD می باشد. در سونداژ YAD با مقایسه شکل های (۵-۸) و (۵-۹) که بیانگر نمودار مقاومت ویژه تانسور امیدانس پس از اعمال دو شیوه مختلف تجزیه است، مشاهده می کنیم که هر دو نمودار در فرکانس های پایین از مقادیر زیاد مقاومت ویژه شروع می شوند و به تدریج مقاومت ویژه کاهش می یابد تا در فرکانس های بالا به کمترین مقدار خود برسند. مقاومت ویژه مود XY در روش تجزیه تانسوری لیلی از حدود تقریبی ۲۰۰ اهم-متر در فرکانس های پایین شروع شده و به تدریج تا ۱ اهم-متر در فرکانس های بالا کاهش می یابد. در صورتی که مقدار مقاومت ویژه همین مود در روش تجزیه تانسوری گروم- بیلی از حدود ۱۰۰ اهم-متر در فرکانس های پایین شروع شده و تا حدود ۱۰ اهم-متر در فرکانس های بالا کاهش می یابد.

در مود YX و در روش تجزیه تانسوری لیلی، مقدار مقاومت ویژه از مقدار تقریبی ۲۰۰ اهم-متر در فرکانس های پایین شروع و تا حدود ۱ اهم-متر در فرکانس های بالا، کاهش می یابد. در روش تجزیه گروم- بیلی، مقاومت ویژه از ۲۰۰ اهم-متر در فرکانس های پایین شروع و تا حدود ۱۰ اهم-متر در فرکانس های بالا افزایش می یابد.

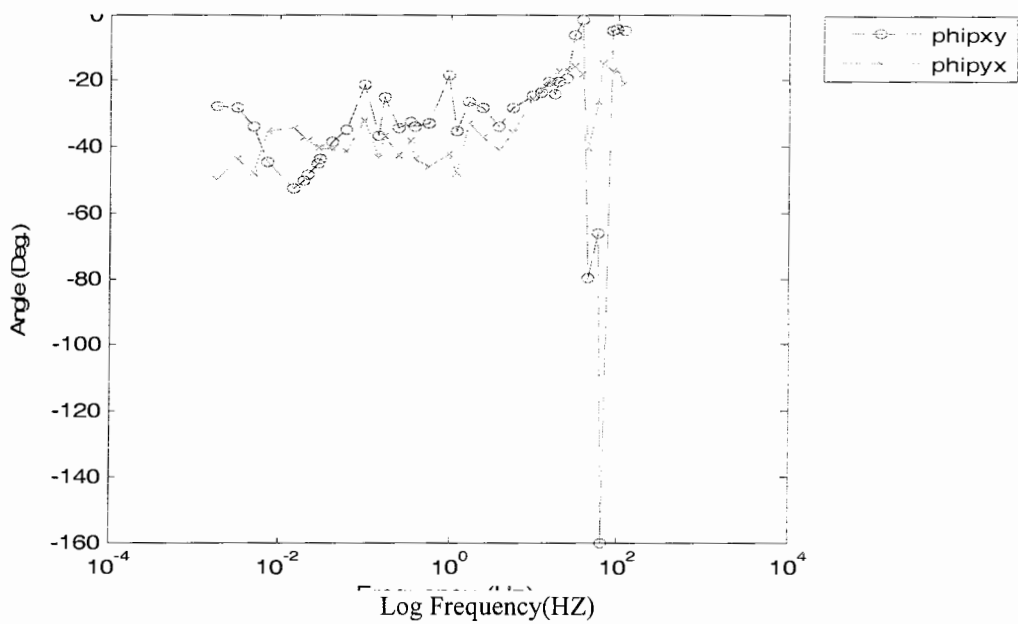
مقایسه مقدار فاز در هر دو روش نشان می دهد که فاز در حد فاصل ۰ تا ۵۰- یا ۶۰- درجه متغیر است. شکل (۵-۱۰) و (۵-۱۱).



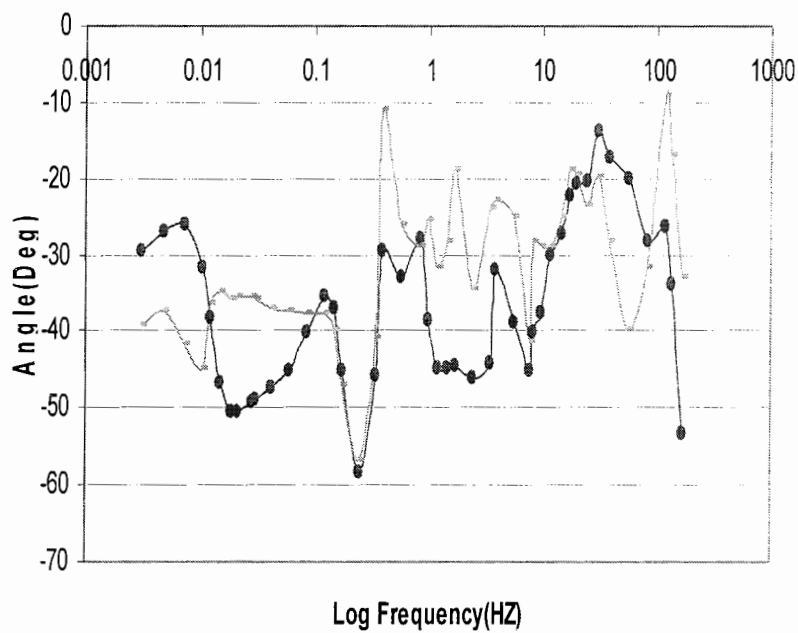
شکل ۵-۸- نمودار مقاومت ویژه سونداژ YAD پس از تجزیه تانسوری لیلی (قبل از اصلاح از اثر جابه جایی استاتیکی).



شکل ۵-۹- نمودار مقاومت ویژه سونداژ YAD پس از تجزیه تانسوری گروم- بیلی.



شکل ۵-۱۰- نمودار فاز سونداژ YAD پس از تجزیه تانسوری لیلی (قبل از اصلاح از اثر جابه جایی استاتیکی).



شکل ۵-۱۱- نمودار فاز سونداژ YAD پس از تجزیه تانسوری گرم- بیلی.

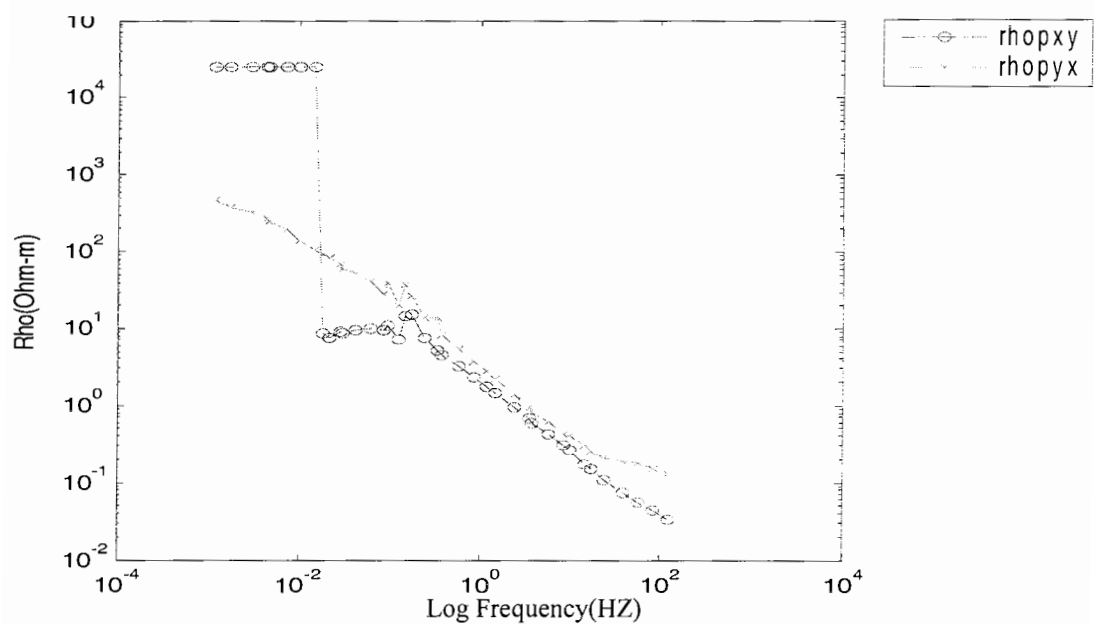
سونداژ دیگری که به عنوان نمونه انتخاب می شود، SWD می باشد. با توجه به شکل های (۵-۱۲) و (۵-۱۳) مشاهده می کنیم که داده های مود XY روش تجزیه تانسوری لیلی در فرکانس های پایین، شرط دایره موهر را برآورده نمی کنند، لذا مقدار مقاومت ویژه ۲۵۰۰۰ اهم-متر برای این داده ها و به منظور مشخص نمودن آنها انتخاب می شود. ولی همانطور که در شکل دیده می شود، مقاومت ویژه در فرکانس های کم از مقادیر بزرگتر شروع شده و در فرکانس های بالا، کاهش می یابد. همین روند در مورد مود XY روش تجزیه تانسوری گروم-بیلی دیده می شود.

در مود YX و در روش تجزیه تانسوری لیلی، مقدار مقاومت ویژه از حدود ۱۰۰۰ اهم-متر در فرکانس های پایین شروع و تا حدود ۱ اهم-متر در فرکانس های بالا کاهش می یابد. این روند را می توان در مورد مقاومت ویژه مود YX روش تجزیه تانسوری گروم-بیلی نیز مشاهده کرد.

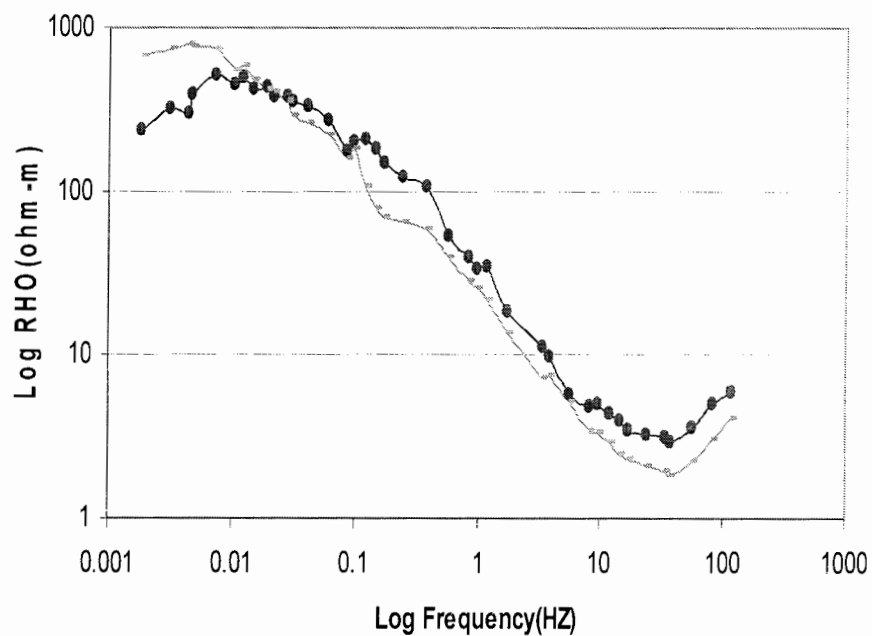
مقدار فاز در هر دو روش تجزیه تانسوری و برای هر دو مود، بین ۰ تا ۶۰- درجه متغیر است. در مورد فاز نیز با توجه به عدم برآورده شدن شرط دایره موهر در روش لیلی، مقدار فاز به صورت قراردادی ۱۶۰- منظور می گردد. شکل های (۵-۱۴) و (۵-۱۵) مقدار فاز برای هر دو روش تجزیه را نشان می دهند.

مقایسه بعدی در سونداژ MAD و بین نتایج دو روش مختلف تجزیه تانسوری و با توجه به شکل های (۵-۱۶) و (۵-۱۷) است. در مود XY و در روش تجزیه تانسوری لیلی، به غیر از چند نقطه که در شرط دایره موهر صدق نمی کنند، سیر نزولی مقاومت ویژه از فرکانس های پایین به سمت فرکانس های بالا مشاهده می شود. همین روند در مود XY روش تجزیه تانسوری گروم-بیلی دیده می شود. همچنین در نتایج حاصل از هر دو روش، در مود YX، مقدار مقاومت ویژه در فرکانس های پایین از حدود ۲۰۰ اهم-متر آغاز و در فرکانس های بالا به حدود ۱ اهم-متر می رسد.

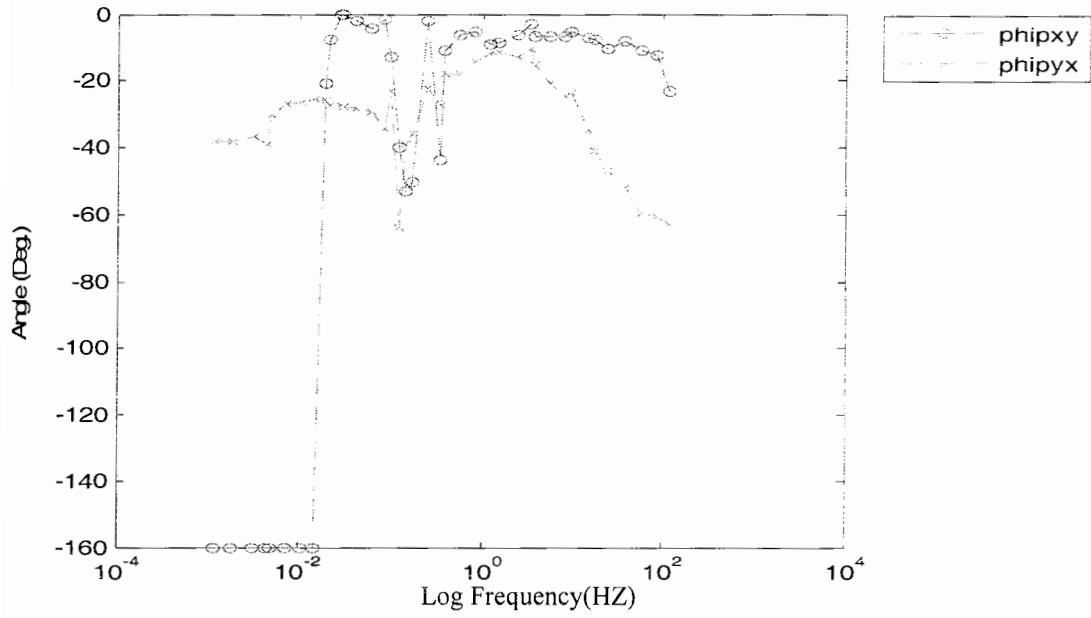
با توجه به شکل های (۵-۱۸) و (۵-۱۹) مقدار فاز در هر دو روش در حد فاصل ۰ تا ۶۰- متغیر است. البته به استثنای چند نقطه در روش تجزیه تانسوری لیلی که مقدار آنها به دلیل عدم برآورده شدن شرط دایره موهر، به صورت قراردادی ۱۶۰- درجه منظور شده است. این سه سونداژ از نظر روند تغییرات مقاومت ویژه و فاز تا اندازه ای شبیه هم هستند. در اینجا لازم به ذکر است که در مورد فرکانس هایی که در شرط دایره موهر صدق نمی کنند، مقادیر آنها در حذف اثر جابه جایی استاتیکی مورد استفاده قرار نگرفته و حذف شدند.



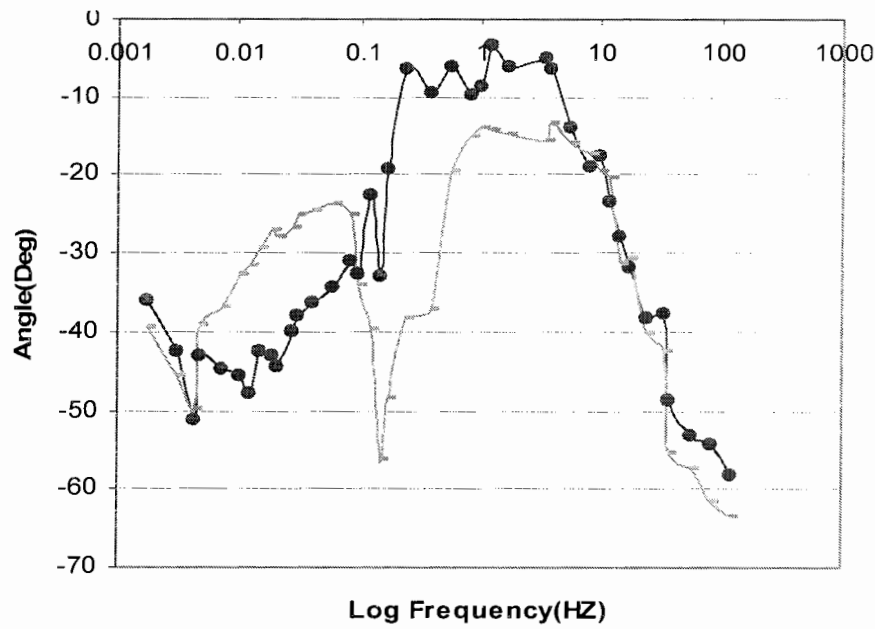
شکل ۵-۱۲- نمودار مقاومت ویژه سونداژ SWD پس از تجزیه تانسوری لیلی (قبل از اصلاح از اثر جابه جایی استاتیکی).



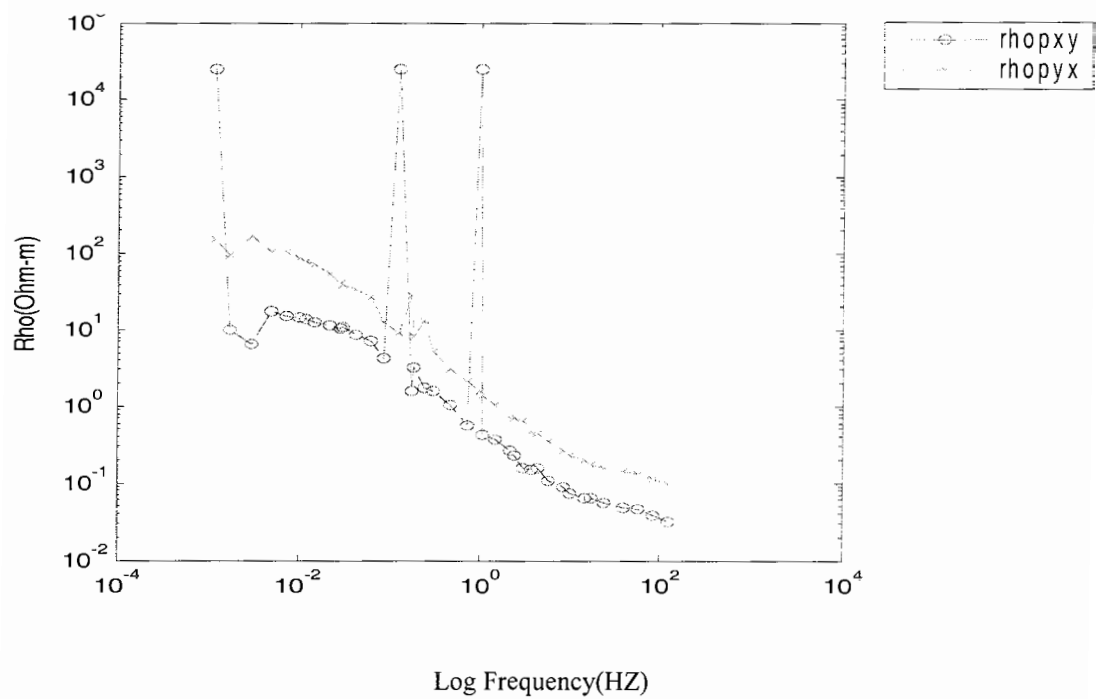
شکل ۵-۱۳- نمودار مقاومت ویژه سونداژ SWD پس از تجزیه تانسوری گروم-بیلی.



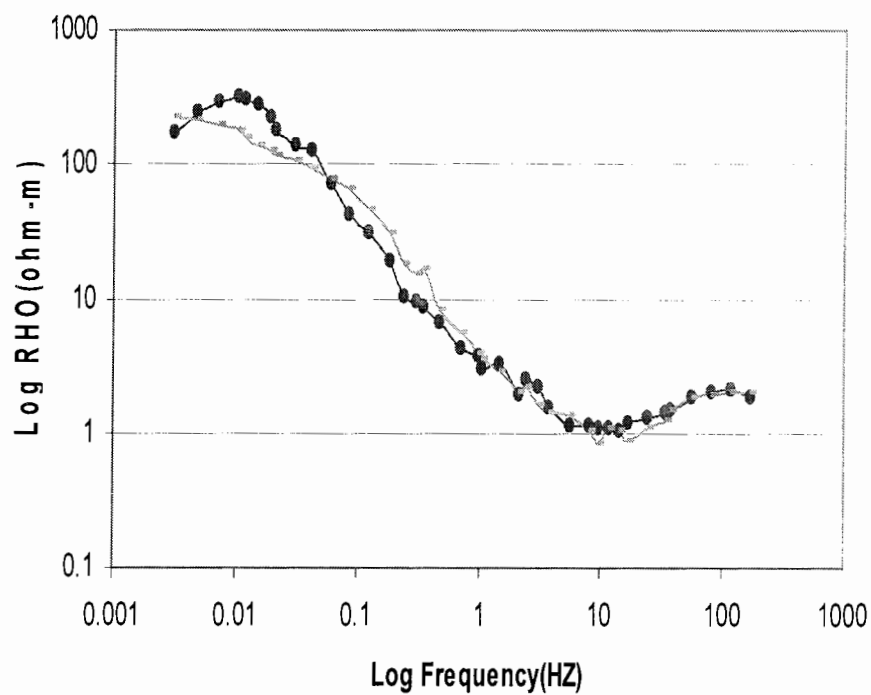
شکل ۵-۱۴- نمودار فاز سونداژ SWD پس از تجزیه تانسوری لیلی (قبل از اصلاح اثر جابه جایی استاتیکی).



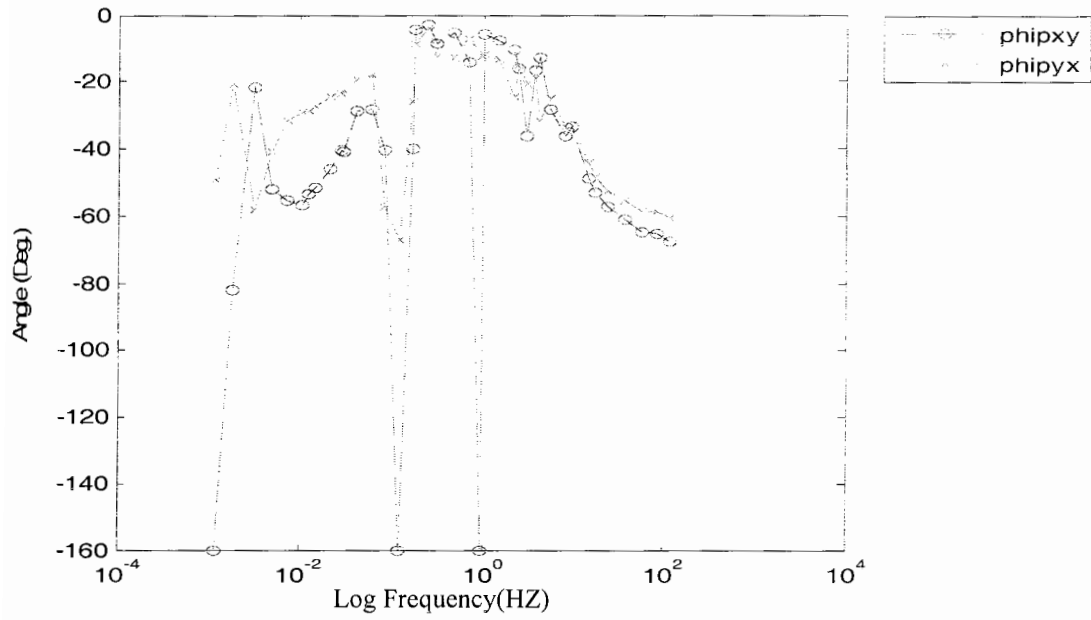
شکل ۵-۱۵- نمودار فاز سونداژ SWD پس از تجزیه تانسوری گروم- بیلی.



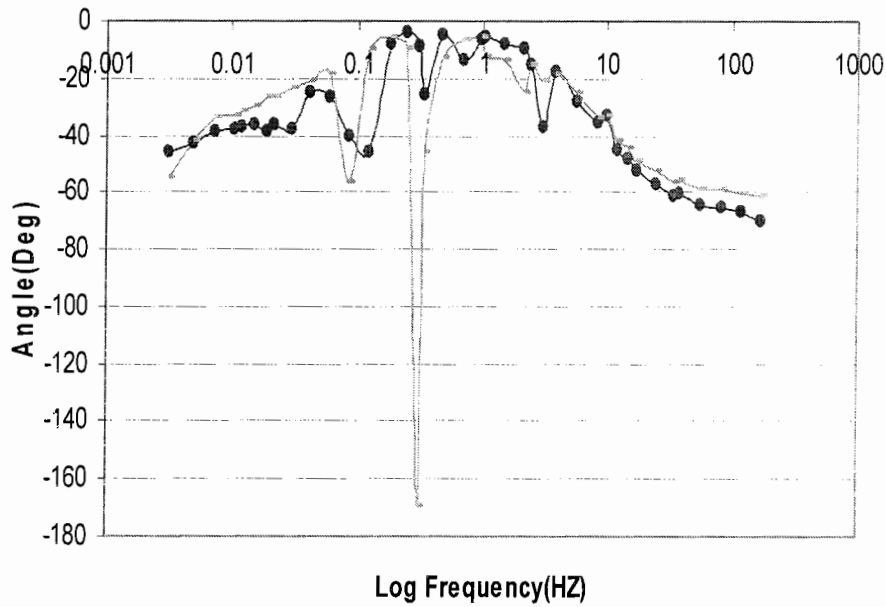
شکل ۵-۱۶- نمودار مقاومت ویژه سونداژ MAD پس از تجزیه تانسوری لیلی (قبل از اصلاح از اثر جابه جایی استاتیکی).



شکل ۵-۱۷- نمودار مقاومت ویژه سونداژ MAD پس از تجزیه تانسوری گرم- بیلی.



شکل ۵-۱۸- نمودار فاز سونداژ MAD پس از تجزیه تانسوری لیلی (قبل از اصلاح از اثر جابه جایی استاتیکی).



شکل ۵-۱۹- نمودار فاز سونداژ MAD پس از تجزیه تانسوری گروم-بیلی.



در ادامه ارائه نتایج روش تجزیه تانسوری لیلی، به بررسی نمودارهای  $\theta_e$  و  $\theta_h$  پرداخته می شود. مراحل انجام کار طبق روش ارائه شده می باشد. مقادیر  $\theta_e$  و  $\theta_h$  برای هر دو بخش حقیقی و مجازی و بر حسب فرکانس برای سونداژهای مختلف تعیین و به صورت نمودارهایی که شکل های مربوط به آنها در پیوست (ج) آورده شده اند، رسم شده است. همانطور که نمودار های پیوست (ج) نیز نشان می دهد با بررسی نمودارهای  $\theta_e$  مربوط به تک تک سونداژها، متوجه پراکندگی زیاد این مقادیر به خصوص در فرکانس های بالا می شویم. این پدیده به همراه عدم تطابق بین بخش های حقیقی و موهومی در فرکانس های بالا می تواند بیانگر این مطلب باشد که در فرکانس های بالا و در فواصلی نزدیک به سطح زمین، ساختار یک بعدی است که در آن حضور آنومالی های سطحی کوچک سه بعدی باعث آشفتگی در جهت میدان الکتریکی و عدم ثبات  $\theta_e$  می شوند. در فرکانس های پایین (کمتر از ۱ هرتز) با استفاده از میانگین گیری و انحراف از معیار استاندارد،  $\theta_e$  های نامناسب حذف شد و از داده های باقیمانده میانگین گیری به عمل آمد.

ثابت بودن تقریبی  $\theta_e$  در فرکانس های پایین (عمق بیشتر) بیانگر دو بعدی بودن ساختار زمین شناسی منطقه در این اعماق است. این امر با توجه به مشاهدات زمین شناسی موجود و نیز اثبات به روش تجزیه تانسوری گروم-بیلی، قابل پذیرش است.

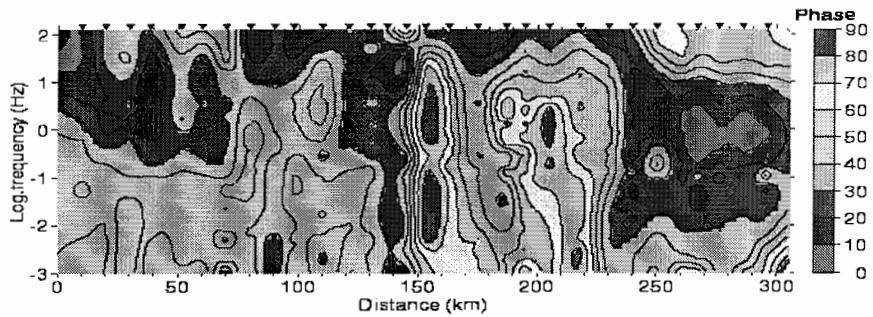
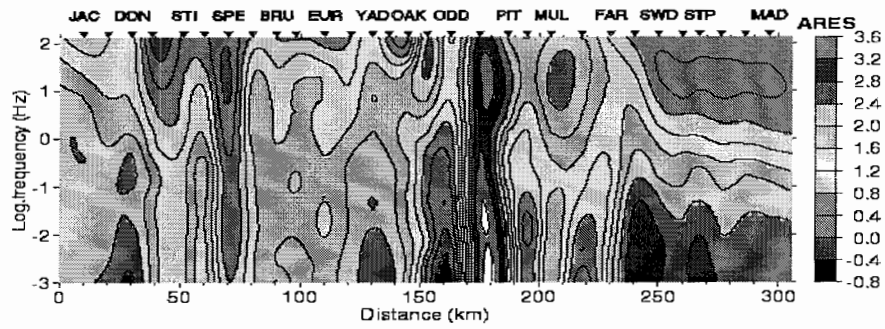
اما در مورد  $\theta_h$  که در واقع بیانگر امتداد آنومالی اصلی یا منطقه ای است، مقادیر آن با فرکانس ثابت نیستند، یعنی مستقل از فرکانس نمی باشند و همچنین هیچگونه انطباقی بین بخش های حقیقی و موهومی وجود ندارد. این مسئله ضعف اصلی روش تجزیه تانسوری لیلی می باشد.

## ۵-۵- حذف اثر جا به جایی استاتیکی از داده های MT

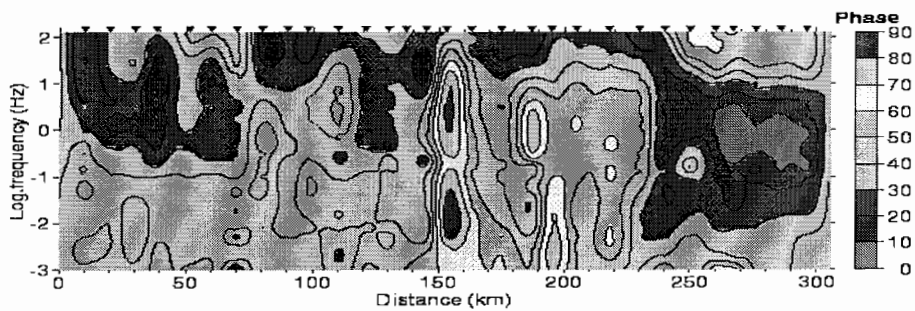
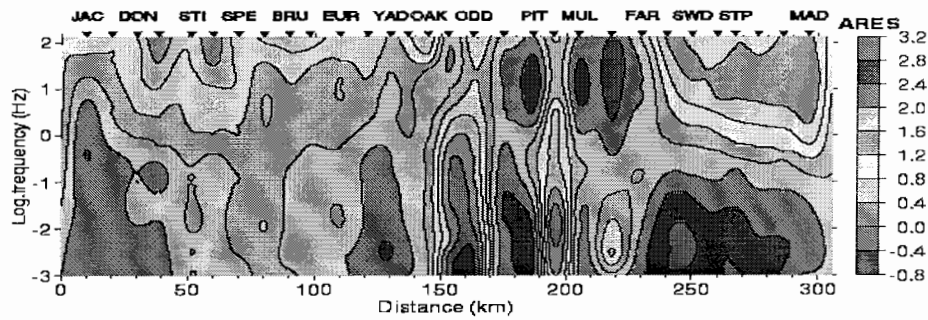
شکل (۲۰-۵) شبه مقطع های مقاومت ویژه و فاز برای مود TM را، در طول کل پروفیل که توسط مرادزاده (۲۰۰۳) مطالعه شده، نشان می دهد. با توجه به این شکل، وجود یک سری زون های هادی ( $\rho_{yx} < 10\Omega.m$ ) در امتداد پروفیل، توسط داده های فاز حمایت نمی شود. همچنین از روی شبه مقاطع مود TE (که در اینجا نشان داده نشده است) می توان نتیجه گرفت که وجود تعدادی از آنومالی های هادی کوچک سطحی، در زیر برخی از سونداژها، باعث جا به جایی منحنی های مقاومت ویژه ظاهری، در همه فرکانس ها، به سمت پایین شده است. در چنین موقعیتی که هیچگونه داده مستقلی برای حذف جا به جایی استاتیکی در اختیار نیست، از فیلترسازی فضایی به روش پنجره هنینگ استفاده می شود (Moradzadeh, 2003). جهت این کار برنامه ای به زبان برنامه نویسی مطلب نوشته شد. در این برنامه پهنای پنجره هنینگ ۱۰۰ کیلومتر منظور شد. در مورد سونداژ MAD با توجه به فاصله زیاد آن از سایر سونداژها، پهنای پنجره هنینگ را ۲۰۰ کیلومتر در نظر گرفتیم.

شکل (۲۱-۵) شبه مقاطع مقاومت ویژه و فاز را پس از حذف جابه جایی استاتیکی نمایش می دهد. مقادیر محاسبه شده برای جابه جایی استاتیکی، در مقیاس لگاریتمی کوچک و جمع آنها برای دو مود TE و TM نزدیک به صفر است.

با بررسی شکل (۲۱-۵) می توان به این نتیجه رسید که اگر چه مقادیر جا به جایی استاتیکی کوچک اند، ولی اثر قابل توجهی دارند. تطابق خوب بین داده های فاز و مقاومت ظاهری در این شکل، نشان دهنده همواری نسبی داده ها پس از استفاده از روش ارائه شده است. در شکل های (۲۰-۵) و (۲۱-۵) همه سونداژها بر روی مقاطع نشان داده شده است، در حالی که قبلاً هم اشاره شد، تنها یازده سونداژ از YAD در سمت چپ تا MAD در منتهی الیه سمت راست مورد بررسی قرار گرفتند.

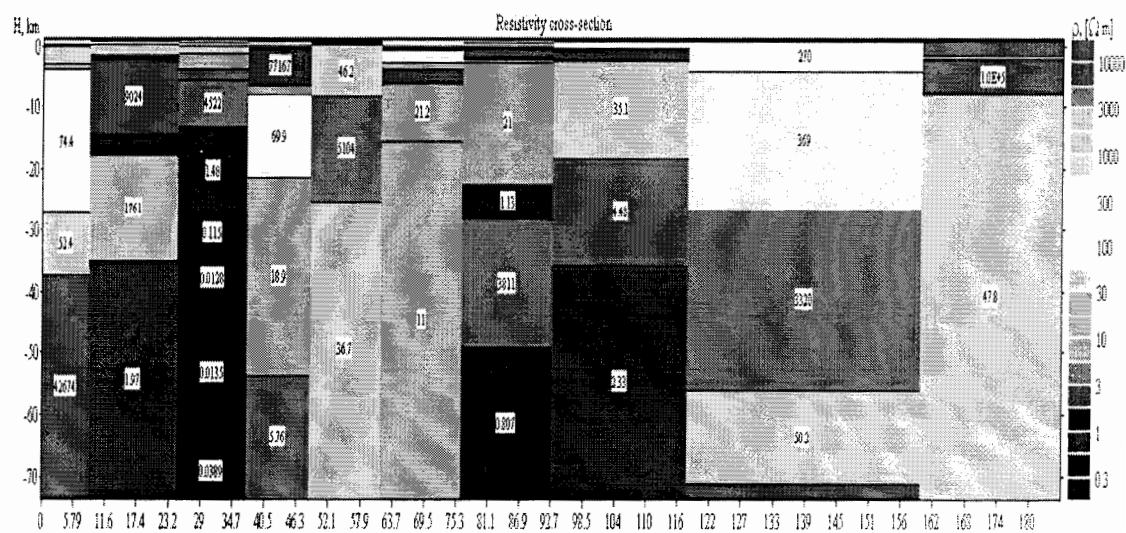
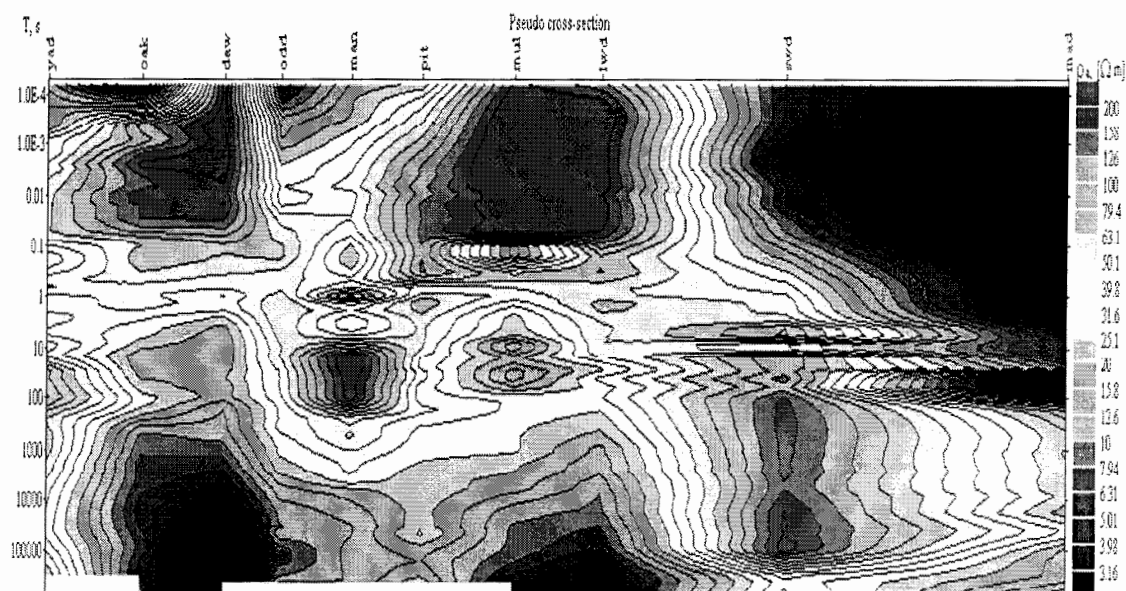


شکل ۲۰-۵- شبه مقاطع مقاومت ویژه و فاز مود TM قبل از اصلاح از اثر جابه جایی استاتیکی (Moradzadeh,2003).



شکل ۲۱-۵- شبه مقاطع مقاومت ویژه و فاز مود TM بعد از اصلاح از اثر جابه جایی استاتیکی (Moradzadeh,2003).

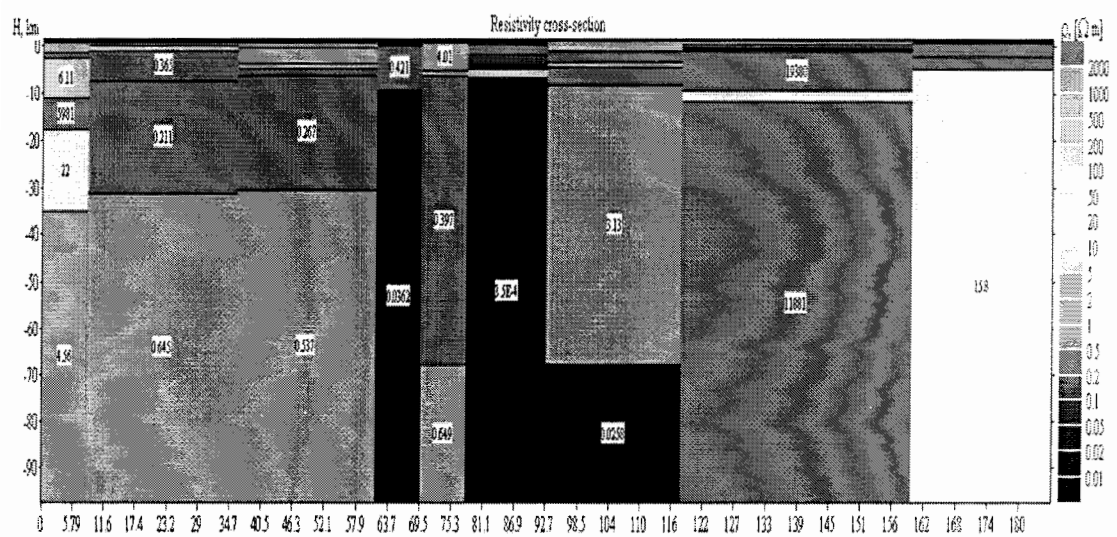
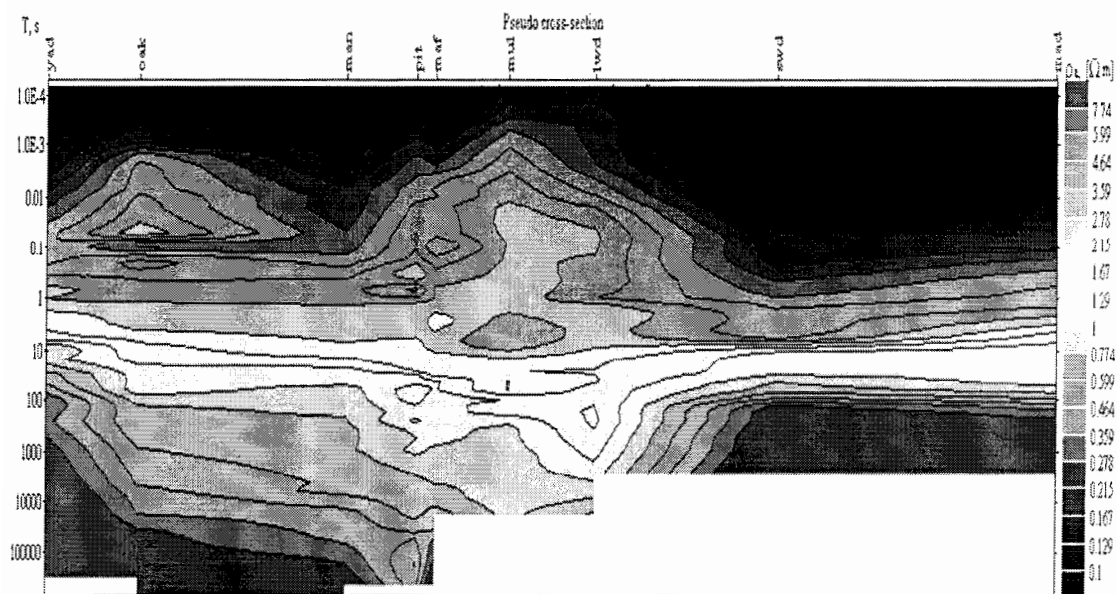
با توجه به این مدل ها و تغییر مدل یک بعدی در زیر هر سونداژ می توان نتیجه گرفت که هیچگونه مدل یک بعدی قابل تطابق با ساختار این منطقه وجود ندارد. این امر به خصوص با در نظر گرفتن تغییرات مقاومت در مدل یک بعدی مود TM آشکار می شود.



Lincoln Line, TE mode.

Example

شکل ۵-۲۲- نتایج مدل سازی یک بعدی داده های خام مود TE (شبه مقطع مقاومت ویژه پاسخ مدل در بالا و مقطع مقاومت ویژه در پایین).



Lincoln Line, TE mode.

Example

شکل ۵-۲۴- نتایج مدل سازی یک بعدی داده های مود TE بعد از تجزیه تانسوری لیلی (شبه مقطع مقاومت ویژه پاسخ مدل در بالا ومقطع مقاومت ویژه در پایین).

## ۵-۷- مدل سازی دو بعدی

برای این نوع مدل سازی از نرم افزار با عنوان WinG Link استفاده شد (Geosystem,2003). این نرم افزار برای انواع گوناگون داده های ژئوفیزیکی از جمله گرانی سنجی، مغناطیس سنجی، انواع مختلف روش های الکترومغناطیسی و غیره قابل استفاده است. متناسب با نوع داده ها، برنامه های موجود در نرم افزار متفاوت بوده و به صورت زیر قابل ارائه می باشند:

X- Section, Pseudo Section, Map, Sounding, 2- D inversion, 3 - D inversion .

با توجه به اینکه برای مدل سازی یک بعدی داده ها از نرم افزار IPI2win استفاده شد، بنابراین از برنامه X- Section این نرم افزار استفاده نشد. در ابتدا داده های مورد نظر به فایل متنی تبدیل شده و سپس وارد نرم افزار می شوند. از برنامه Map برای ایجاد مقطع در امتداد پروفیل و تخصیص یازده سونداژ به پروفیل مورد نظر استفاده شد.

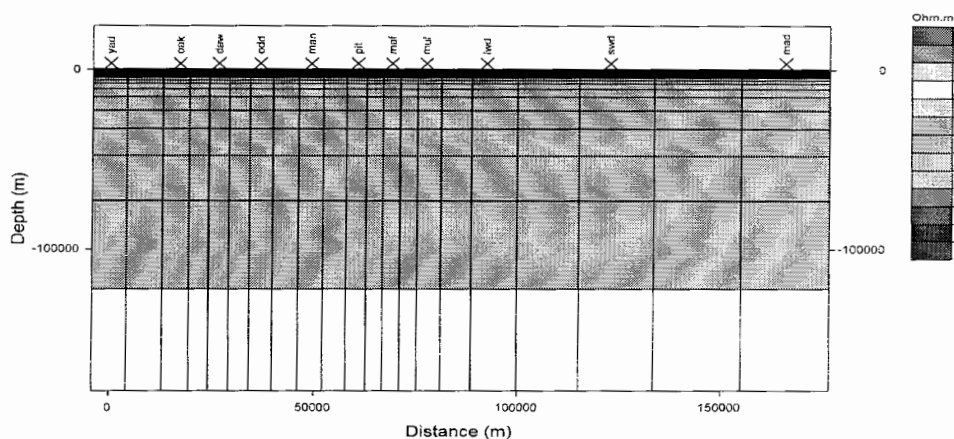
قبل از مدل سازی دو بعدی داده ها، پردازش هایی بر روی داده ها از طریق برنامه های Sounding و Pseudo - Section انجام شد. به عنوان نمونه برای داده های خام، هموار سازی داده ها به روش عددی و نیز چرخش به سمت محورهای اصلی در برنامه Sounding انجام شد. همچنین در برنامه مطلب که به منظور انجام روش تجزیه تانسوری لیلی نوشته شد، مقادیر اندازه و فاز  $Z_{xy}$  برای داده هایی که شرط دایره موهرا را بر آورده نمی کردند، به ترتیب ۲۵۰۰۰ اهم - متر و ۱۶۰ درجه در نظر گرفته شد. علت این امر مشخص نمودن و جدا کردن آنها از سایر داده ها بود. بنابراین در هنگام مدل سازی برای حذف این بخش از داده ها از دستوری به نام Mask در برنامه Sounding استفاده شد. پردازش بیشتر داده ها از طریق برنامه Pseudo - Section انجام شد.

## ۵-۷-۱- تهیه مقاطع مقاومت ویژه، با استفاده از مدل سازی دو بعدی

روش مورد استفاده برای مدل سازی دو بعدی داده ها که در این نرم افزار مورد استفاده قرار گرفت، روش معکوس سازی هموار دو بعدی مکی بود. این شیوه بر مبنای گرادیان مختلط غیر خطی (NLCC) استوار است (Rodi & Mackie,2001). در مش بندی برای هر ایستگاه حداقل یک ستون در نظر گرفته شده و مقاومت یکسانی در ابتدا برای همه سلول ها در نظر گرفته می-شود و نیز تعداد سطر ها و ستون ها باید تعریف شده و مشخص باشد. در واقع این مش اولیه، مدل

ورودی برای اجرای روش معکوس سازی هموار می باشد. شبکه ای از بلوک های (مش بندی) مقاومتی که هر چه به عمق می رویم طول آنها در راستای قائم افزایش می یابد، در شکل (۵-۲۶) نشان داده شده است.

در الگوریتم (NLCG) تلاش بر حداقل کردن تابع هدف است که در واقع مجموع خطاهای نرمال شده داده ها و همواری مدل است. اختلاف بین خطاهای داده های اندازه گیری شده و محاسباتی و همواری مدل به وسیله پارامتر تنظیم کننده ای به نام  $\lambda$  کنترل می شود. برای رسیدن به مدلی که هم خطای هدف را تامین کند و هم به اندازه کافی هموار باشد، مقادیر مختلفی برای  $\lambda$  بین ۳ تا ۳۰۰ امتحان شد و سرانجام مدل نهایی با  $\lambda = ۳$  حاصل شد. همچنین مقاومت پس زمینه مدل با سه مقدار ۱۰ و ۱۰۰ و ۱۰۰۰۰ اهم - متر امتحان شد. نتایج حاصل تغییرات بسیار جزئی در مدل نهایی را نشان داد که خود نشان دهنده استحکام و صحت مدل حاصل و عدم وابستگی آن به مدل اولیه می باشد. همچنین به منظور افزایش تفکیک پذیری در عمق های زیاد طول و عرض ابعاد بلوک ها در مش بندی در دو مقدار ۵۰۰ و ۲۵۰ متر امتحان شد که هر دو مورد تقریباً نتایج مشابهی حاصل نمودند. در اینجا شایان ذکر است که مدل سازی سری اول داده های خام (قبل از چرخش) قبل از تجزیه تانسوری به این منظور انجام می شود که چون تقریباً جهت برداشت ها غالباً عمود یا موازی با ساختار های منطقه است، می خواهیم میزان تاثیر نا همگنی های سطحی بر روی داده های برداشت شده را مشخص کنیم.



شکل ۵-۲۶- نمونه ای از مش بندی اولیه برای اجرای مدل سازی معکوس هموار دو بعدی.

## ۵-۷-۲- معکوس سازی داده های مود TE

معکوس سازی دو بعدی داده های مود TE برای یازده سونداژ در طول پروفیل و برای سه سری داده و با امتحان مقادیر متفاوت سطح خطا انجام شد. سرانجام مدل نهایی با سطح خطای ۱۰٪ برای مقاومت ظاهری و فاز انتخاب شد. این میزان سطح خطا با توجه به کمتر شدن خطای RMS انتخاب گردید. سه سری داده زیر برای مدل سازی مورد استفاده قرار گرفت:

۱- داده های خام قبل از تجزیه تانسوری

۲- داده های بعد از تجزیه تانسوری لیلی

۳- داده های بعد از تجزیه تانسوری گروم-بیلی

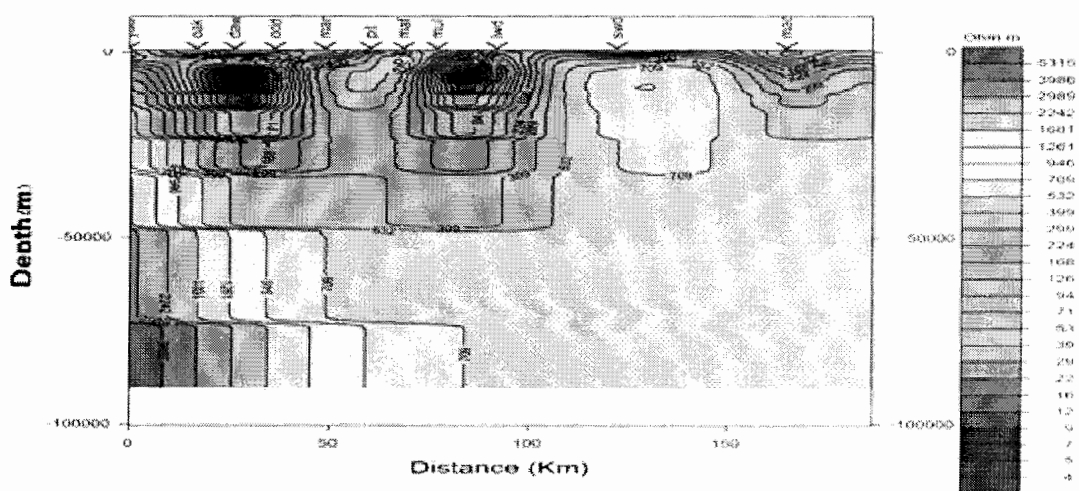
برای سری اول داده ها، یعنی داده های خام، مدل نهایی بعد از ۲۳ تکرار و خطای  $RMS=15$  درصد حاصل شد. برای سری دوم یعنی داده های بعد از تجزیه تانسوری لیلی مدل نهایی پس از ۹۰ تکرار و خطای  $RMS = 17/81$  درصد بدست آمد. مدل سازی معکوس دیگری بر روی داده های حاصل از تجزیه تانسوری گروم - بیلی انجام شد. این مدل نیز بعد از ۴۹ تکرار و با خطای  $RMS = 3$  درصد بدست آمد. شکل های (۵-۲۷)، (۵-۲۸) و (۵-۲۹) به ترتیب مدل های دو بعدی سه سری داده مذکور برای مود TE را نشان می دهند.

در مدل حاصل از داده های روش تجزیه تانسوری لیلی یک ناحیه هادی در زیر سونداژ MAD مشاهده می شود. مرکز این ناحیه هادی در حوالی ۲ کیلو متر ست و مقاومت ویژه آن کمتر از ۱۵۰ اهم - متر است که با توجه به عمق کم آنها می تواند بیانگر رسوبات موجود در حوضه رسوبی ماری در شرق پروفیل باشد و ناحیه مقاوم زیر آن بیانگر سنگ بستر حوضه ماری بیسین است. ناحیه هادی دیگری در زیر YAD تا حوالی OAK دیده می شود. این ناحیه تا اعماق حدوداً ۲ کیلومتری ادامه یافته و مقاومت ویژه آن کمتر از ۲۵ اهم - متر است. سومین ناحیه هادی از MUL تا LWD گسترش یافته و مقاومت ویژه ای کمتر از ۴۰ اهم - متر دارد و تا عمق حدود ۱۰ کیلومتری ادامه یافته است که می تواند بیانگر رسوبات بزرگ ناودیس آدلاید باشد.

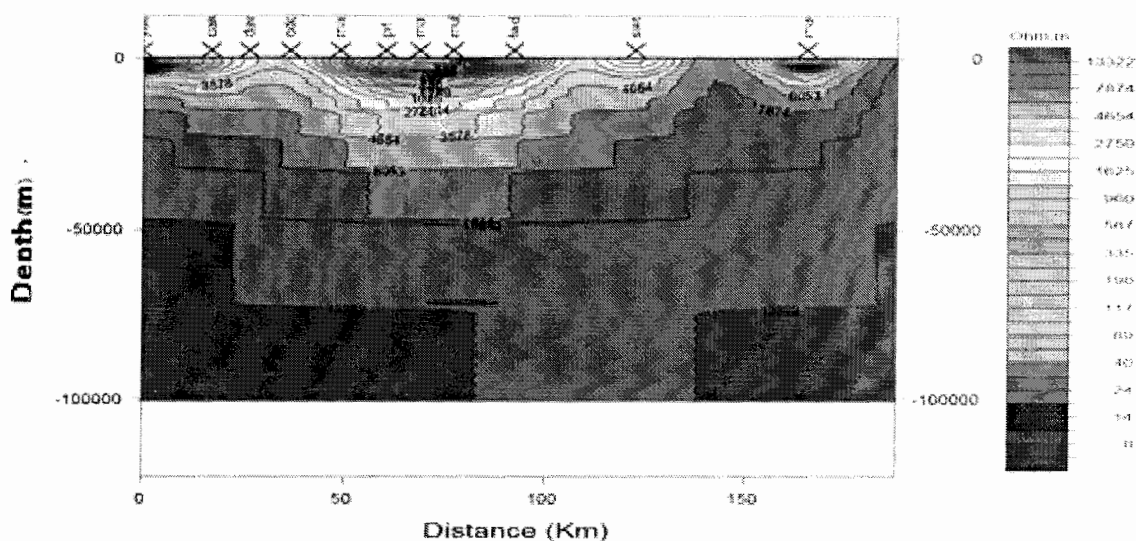
به منظور مقایسه نتایج به دست آمده با نتایج روش تجزیه تانسوری گروم-بیلی این دو مدل با یکدیگر مقایسه می شوند. در مدل مربوط به روش تجزیه تانسوری گروم بیلی که بعد از ۴۹ تکرار



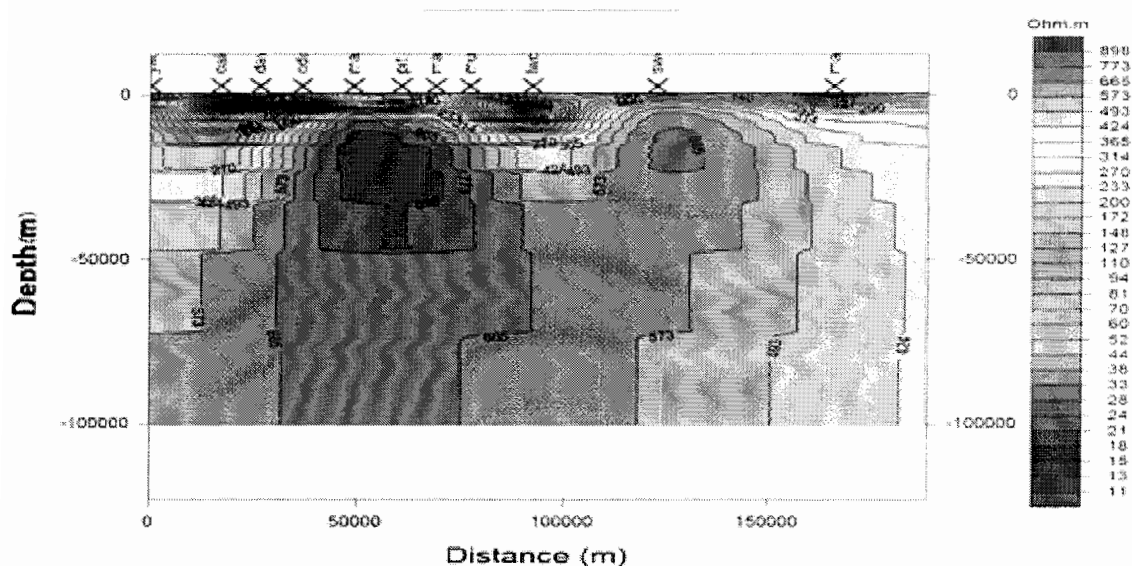
حاصل شده است، یک ناحیه هادی در زیر سونداژ MAD دیده می شود که مقاومت ویژه کمتر از ۶۰ اهم - متر دارد و تا عمق کمی گسترش یافته است ( بیانگر رسوبات موجود در حوضه رسوبی ماری در شرق پروفیل باشد). ما بین دو سونداژ YAD تا ODD رسوباتی با مقاومت ویژه ای در رنج ۱۰ تا ۱۰۰ اهم - متر وجود دارد و تا عمق تقریبی ۵ کیلومتری از سطح زمین ادامه یافته است. سومین ناحیه هادی در حد فاصل MUL تا نزدیکی SWD است. این مناطق هادی بیانگر رسوبات ضخیم منطقه بزرگ ناودیس آدلاید است. البته اختلاف های زیادی در تعیین عمق سنگ بستر دیده می شود.



شکل ۲۷-۵- مقطع مقاومت ویژه حاصل از مدل سازی داده های خام مود TE.



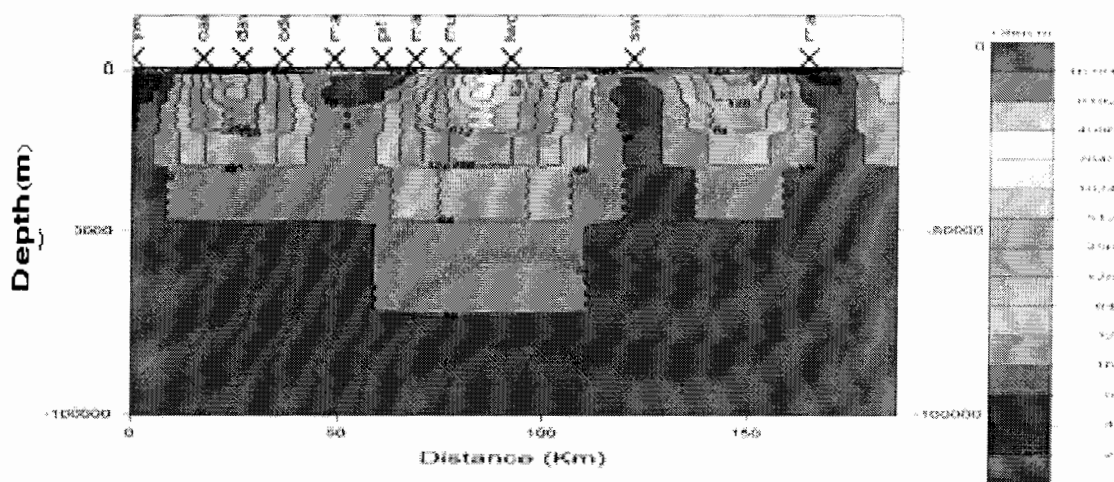
شکل ۲۸-۵- مقطع مقاومت ویژه حاصل از مدل سازی داده های مود TE بعد از تجزیه تانسوری لیلی همراه با نمایش محل سونداژ ها.



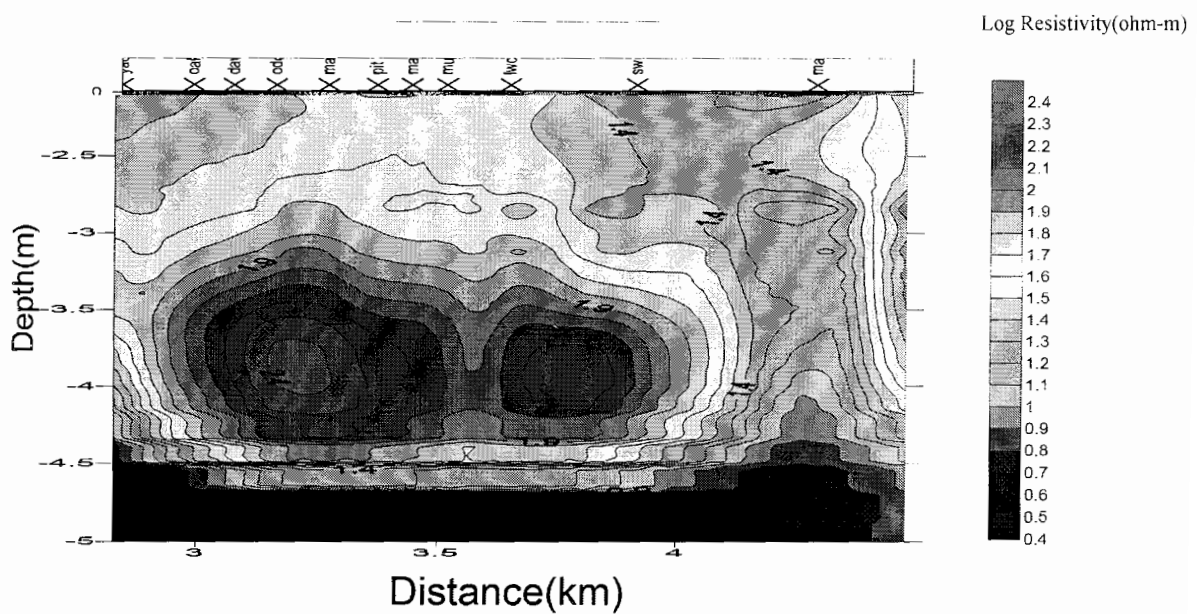
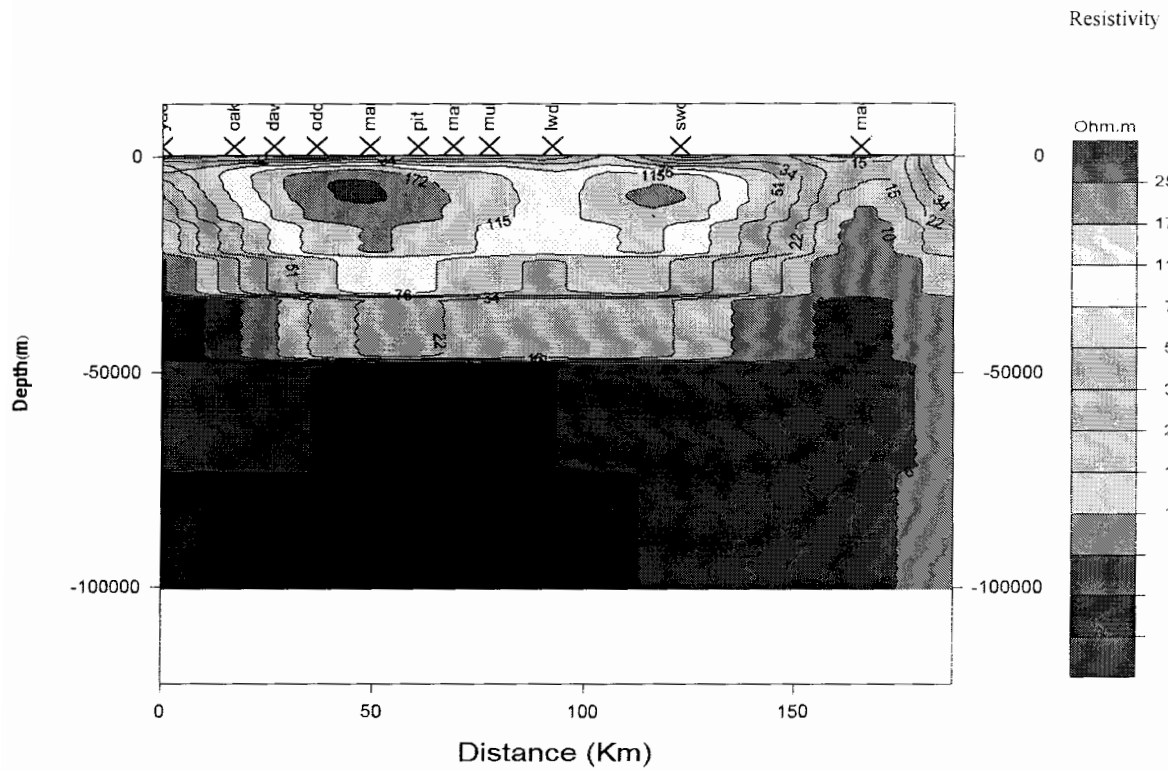
شکل ۵-۲۹- مقطع مقاومت ویژه حاصل از مدل سازی داده های مود TE بعد از تجزیه تانسوری گروم- بیلی همراه با نمایش محل سونداژ ها.

### ۵-۷-۳ معکوس سازی داده های مود TM

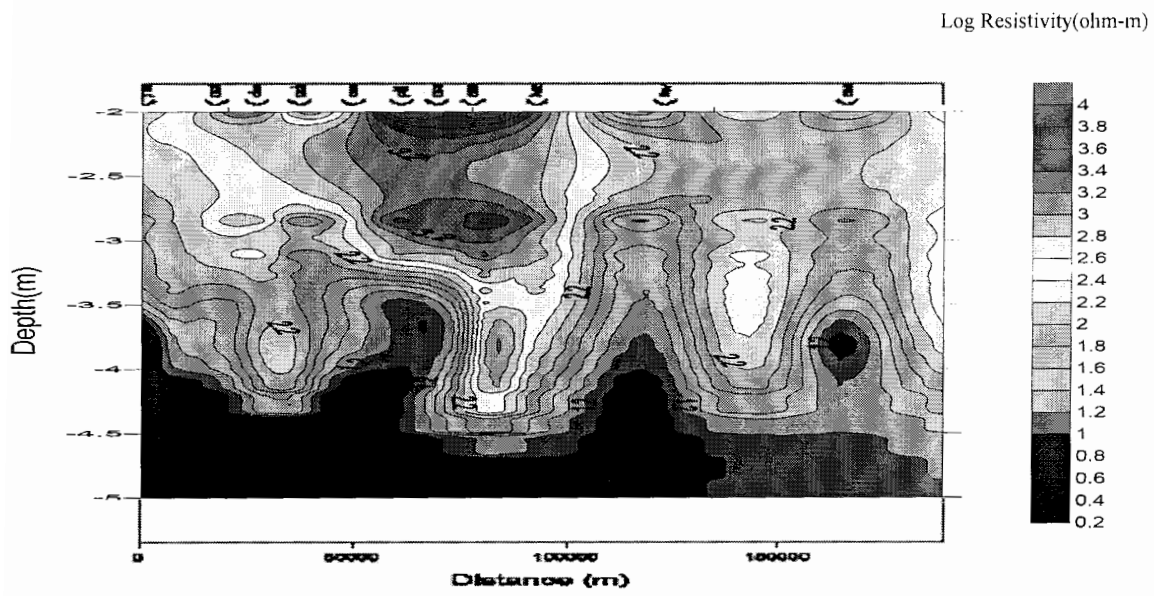
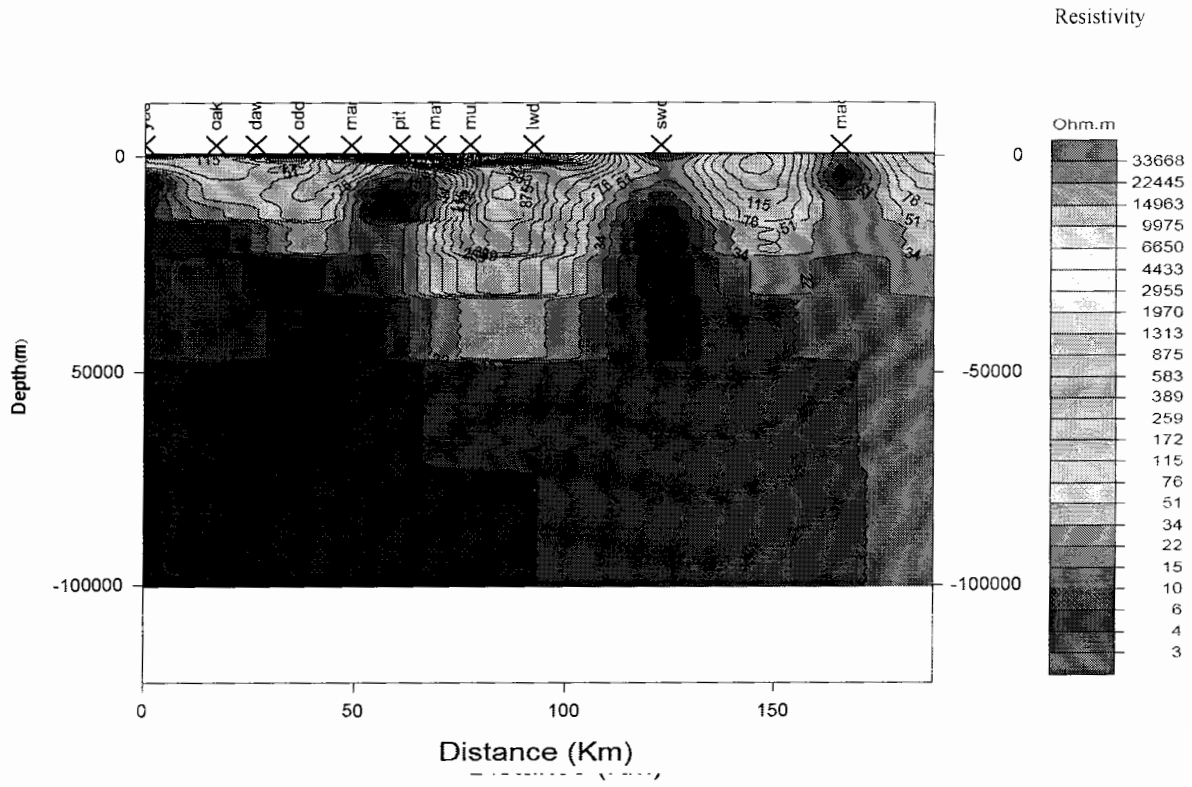
معکوس سازی داده های مود TM در طی فرآیندی مشابه با مود TE و باز هم برای هر سه سری داده انجام شد. برای سری اول داده، مدل نهایی پس از ۸۳ تکرار و با خطای  $RMS = ۳۲$  حاصل شد (شکل ۵-۳۰). مدل نهایی برای سری دوم بعد از ۳۵ تکرار و با خطای  $RMS = ۲۴$  بدست آمد (شکل ۵-۳۱). مدل سازی معکوس داده های مود TM داده های حاصل از تجزیه تانسوری گروم - بیلی بعد از ۴۰ تکرار و با خطای  $RMS = ۱/۹۵$  بدست آمد. نتایج در شکل (۵-۳۲) نشان داده شده است.



شکل ۵-۳۰- مقطع مقاومت ویژه حاصل از مدل سازی دو بعدی داده های خام مود TM همراه با نمایش محل سونداژ ها.



شکل ۵-۳۱- مقطع مقاومت ویژه حاصل از مدل سازی دو بعدی داده های مود TM بعد از تجزیه تانسوری لیلی: الف- با مقیاس خطی برای عمق ب- با مقیاس لگاریتمی برای عمق.



شکل ۵-۳۲- مقطع مقاومت ویژه حاصل از مدل سازی دو بعدی داده های مود TM بعد از تجزیه تانسوری گروم- بیلی: الف- با مقیاس خطی برای عمق ب- با مقیاس لگاریتمی برای عمق.

در نتایج مدل سازی با تجزیه تانسوری لیلی، این امر قابل مشاهده است که رسوبات سطحی مقاومت ویژه ای کمتر از ۴۰ اهم - متر دارند که در واقع همان رسوبات ضخیم آدلاید هستند و به سمت شرق ضخامت آنها افزایش می یابد. در داخل این منطقه هادی، ناحیه مقاومی با مقاومت بیش از ۱۰۰۰ اهم-متر در قسمت مرکز و متمایل به سمت چپ دیده می شود که در واقع بیانگر ناهمگنی ساختار سطحی می باشد.

مقایسه نتایج این مود با نتایج حاصل مود TE، هر چند با تغییر در مقادیر مقاومتها و عمق ناحیه ها و تا حدی تغییر جانبی در محل قرار گرفتن این نواحی همراه است، اما بیانگر تطابق نسبتاً خوب بین نتایج حاصل است. علی رغم نتایج مود TE این مود سنگ بستری با مقاومت کمتر را نشان می دهد.

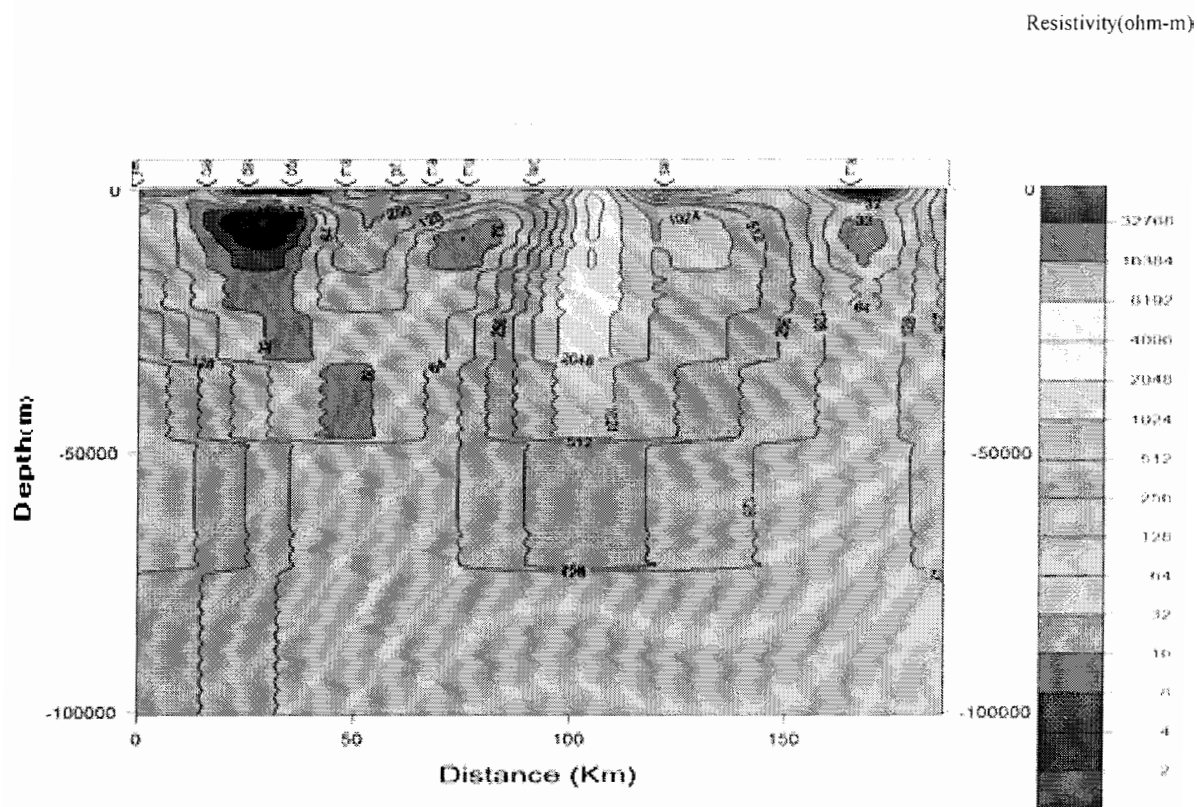
در ادامه به بررسی نتایج مدل سازی داده های مود TM با روش گروم - بیلی پرداخته می شود. در این مدل نیز کل منطقه، یک لایه رسوبی ضخیم هادی را نشان می دهد. همچنین همانند روش لیلی یک منطقه با مقاومت ویژه بالا در قسمت چپ از پروفیل قابل مشاهده است. مقایسه این نتایج با مود TE همین روش، علی رغم همه تغییرات مکانی هم از نظر عمقی و هم از نظر جانبی و همچنین تغییرات مقاومتی تطابق خوبی را با مود TE نشان می دهد. همچنین دو روش نتایج قابل تطبیق خوبی ارائه می دهند.

#### ۵-۷-۴- معکوس سازی همزمان داده های مودهای TE و TM

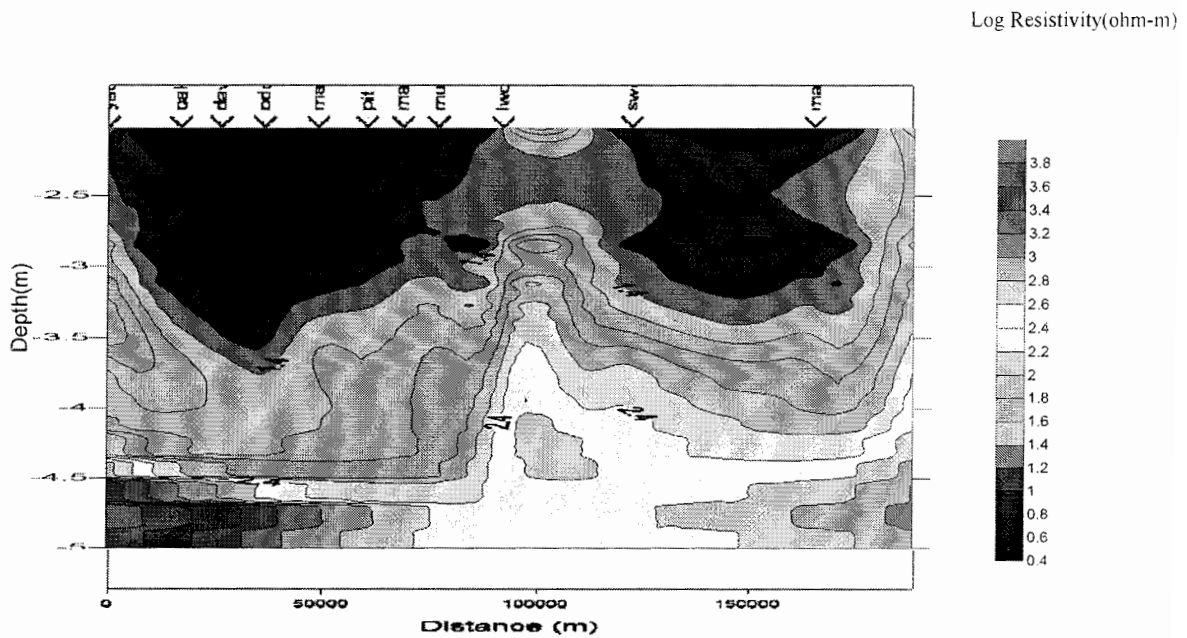
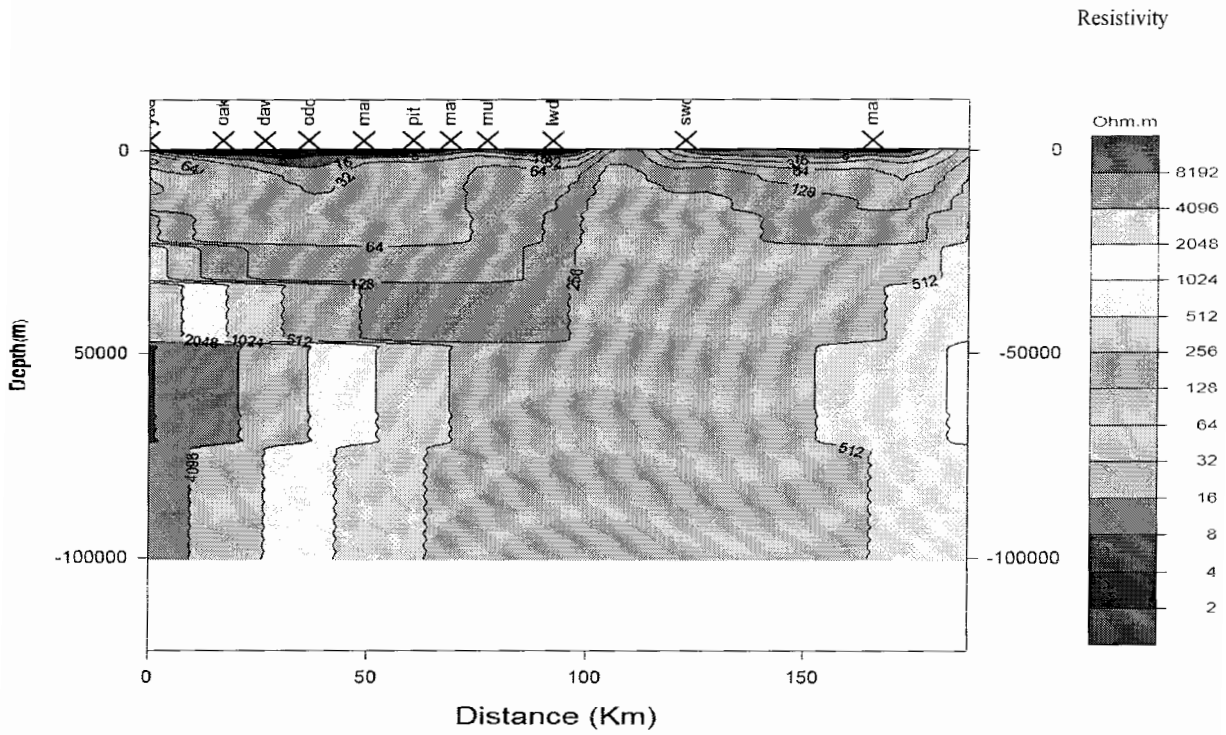
با توجه به اینکه مود TM حساسیت بیشتری نسبت به ساختارهای سطحی دارد و مود TE بیشتر نسبت به ساختارهای عمقی حساس است (Berdichevsky et al, 1998)، بنابراین معکوس سازی همزمان داده های هر دو مود می تواند اطلاعات کاملتری را نتیجه بدهد. معکوس سازی همزمان هر دو سری داده با همان مقدار سطح (۱۰ درصد) خطا انجام شد.

مدل نهایی برای سری داده اول (داده های خام) پس از ۳۸ تکرار و با خطای  $RMS=26$  (شکل ۵-۳۳) بدست آمد. برای سری دوم داده ها (پس از تجزیه تانسوری لیلی)، این مدل پس از ۷۴ تکرار و با خطای  $RMS=23$  (شکل ۵-۳۴) و برای سری سوم، نتایج بعد از ۱۹ تکرار و خطای  $3/16 = RMS$  حاصل شد (شکل ۵-۳۵). در نتایج هر دو روش مدل سازی یک سری رسوبات هادی و کم

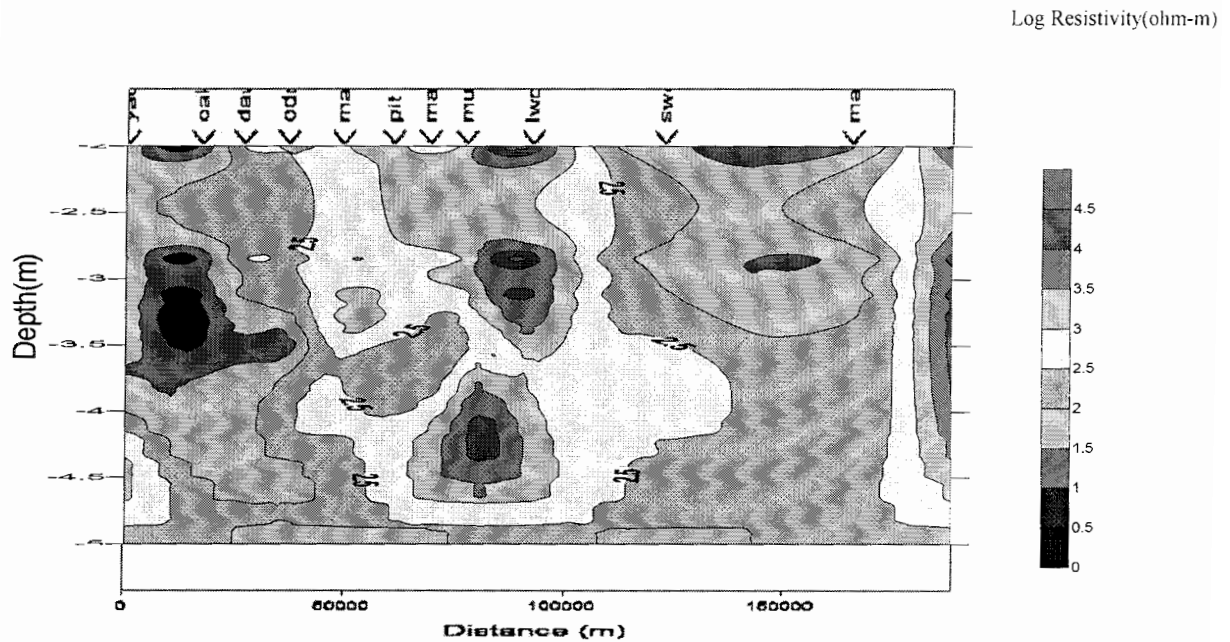
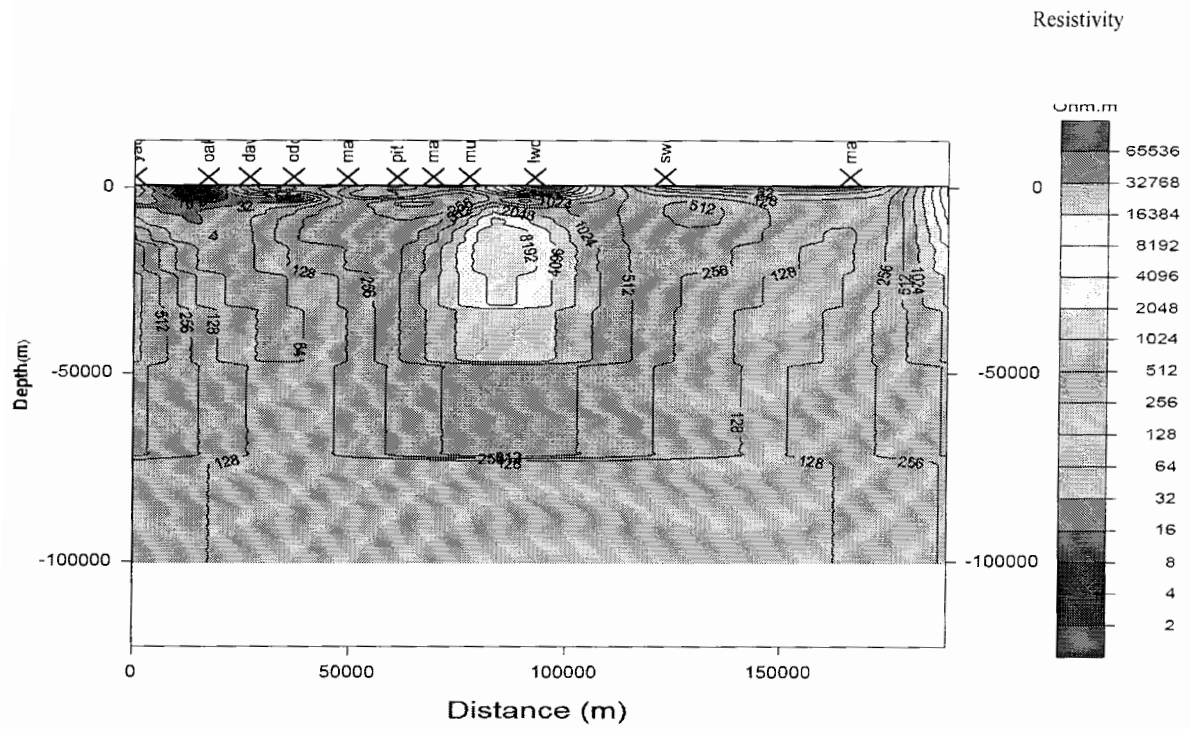
عمق مشاهده می شود که ضخامت آن به ندرت به چند صد متر می رسد. همچنین ناحیه وسیعی با مقاومت کمتر از ۴۰ اهم- متر بین YAD تا LWD دیده می شود که بیانگر رسوبات ضخیم منطقه بزرگ ناودیس آدلاید است. یک ناحیه مقاوم در قسمت مرکزی پروفیل، در هر دو روش قابل مشاهده است. سنگ بستر در قسمت های شرقی یعنی حوضه ماری تا حدودی قابل تشخیص است ولی در مورد سنگ بستر، در بزرگ ناودیس آدلاید، همانند مدل سازی دو مود قبلی نمی توان به درستی اظهار نظر کرد.



شکل ۵-۳۳- مقطع مقاومت ویژه حاصل از مدل سازی دو بعدی داده های مود TE, TM داده های خام.



شکل ۵-۳۴- مقطع مقاومت ویژه حاصل از مدل سازی دو بعدی داده های مود TM, TE داده های حاصل از تجزیه تانسوری لیلی الف- با مقیاس خطی برای عمق ب- با مقیاس لگاریتمی برای عمق.



شکل ۵-۳۵- مقطع مقاومت ویژه حاصل از مدل سازی دو بعدی داده های مود  $TE, TM$  داده های حاصل از تجزیه تانسوری گروم- بیلی الف- با مقیاس خطی برای عمق ب- با مقیاس لگاریتمی برای عمق.



## فصل ششم

### نتیجه گیری و پیشنهادها

#### ۶-۱- مقدمه

در این فصل جمع بندی از نتایج و دستاوردهای این پایان نامه به همراه پیشنهادات لازم جهت مطالعات بعدی ارائه می گردد.

#### ۶-۲- نتایج

با توجه به نحوه انجام روش تجزیه تانسوری لیلی و نتایج حاصل از آن که هم در فصل پنجم ارائه گردید و همچنین نمودارهای پیوست (ج) و با بررسی قسمتهای حقیقی و موهومی  $\theta_e$  و  $\theta_h$  که به صورت نمودارهایی بر حسب فرکانس رسم شده است، می توان به نتایج زیر دست یافت:

۱- در بعضی از سونداژها داده هایی وجود دارند که در تجزیه تانسوری لیلی قابل استفاده نمی باشند، زیرا شرط دایره موهر را بر آورده نمی کنند. علت وجود چنین داده هایی، در واقع به خاطر ناهمگنی زیاد در داده های تانسور خام می باشد. این بدین معنی است که مقادیر امپدانس  $Z_{xy}$  به اندازه ای کوچک اند که وجود خطا در آنها باعث عدم تمایزشان از صفر می شود و همچنین مقادیر فاز آنها نامعلوم است.

۲- قسمتهای حقیقی و موهومی  $\theta_e$  در فرکانس بالا، دچار تغییرات زیادی هستند و مرتباً با فرکانس تغییر می کنند و همچنین تطابق و تشابهی بین قسمتهای حقیقی و موهومی  $\theta_e$  در

فرکانس های بالا وجود ندارد. این پدیده را می توان به وجود نا همگنی های سطحی کوچک که اغلب سه بعدی اند و در یک ساختار زمین شناسی یک بعدی قرار گرفته اند، نسبت داد.

۳- در فرکانس های پایین و به خصوص برای فرکانس های زیر ۱ هرتز، مقادیر  $\theta$  برای بخش های حقیقی و موهومی تطابق بهتری داشته و همچنین مستقل از فرکانس اند. با توجه به این مقادیر و با میانگین گیری از قسمتهای حقیقی و موهومی می توان امتداد آنومالی محلی در زیر هر سونداژ را تعیین کرد.

۴- در مورد  $\theta_H$  که در واقع بیانگر امتداد آنومالی اصلی یا منطقه ای است، مقادیر آن با فرکانس ثابت نیستند یعنی مستقل از فرکانس نمی باشند و همچنین هیچگونه انطباقی بین بخش های حقیقی و موهومی وجود ندارد. این مسئله ضعف اصلی روش تجزیه تانسوری لیلی می باشد. از سویی دیگر با انجام مدل سازیهای معکوس دو بعدی بر روی داده های حاصل از تجزیه تانسوری به دو روش لیلی و گروم- بیلی در مورد ساختارهای دو بعدی موجود در منطقه نتایج زیر حاصل می شود:

۵- در مدل سازی معکوس مود TE داده های لیلی روش تجزیه تانسوری لیلی یک ناحیه هادی در زیر سونداژ MAD مشاهده می شود که با توجه به عمق کم آنها می تواند بیانگر رسوبات موجود در حوضه رسوبی ماری در شرق پروفیل باشد و ناحیه مقاوم زیر آن بیانگر سنگ بستر حوضه ماری بیسین است. ناحیه هادی دیگری که از MUL تا LWD گسترش یافته و مقاومت ویژه ای کمتر از ۴۰ اهم - متر دارد و تا عمق حدود ۱۰ کیلومتری ادامه یافته است، می تواند بیانگر رسوبات بزرگ ناودیس آدلاید باشد.

در مدل سازی همین مود از داده های گروم - بیلی نیز نواحی مشابهی دیده می شود این نواحی هم از نظر عمق و هم از نظر مقاومت تقریباً شبیه به مدل سازی مود TE روش تجزیه تانسوری لیلی هستند که در واقع بیانگر تطابق نسبتاً مناسب بین مدل سازی دو بعدی مود TE هر دو سری داده است.

۶- در مدل سازی مود TM هر دو سری داده، این امر قابل مشاهده است که رسوبات سطحی مقاومت ویژه ای کمتر از ۴۰ اهم - متر دارند که در واقع همان رسوبات ضخیم آدلاید هستند و به سمت شرق ضخامت آنها افزایش می یابد. در داخل این منطقه هادی، ناحیه مقاومی با مقاومت

بیش از ۱۰۰۰ اهم-متر در قسمت مرکز و متمایل به سمت چپ دیده می شود که در واقع بیانگر ناهمگنی ساختار سطحی می باشد.

۷- در نتایج هر دو روش تجزیه برای مدل سازی همزمان دو مود، یک سری رسوبات هادی و کم عمق مشاهده می شود که ضخامت آن به ندرت به چند صد متر می رسد. همچنین ناحیه وسیعی با مقاومت کمتر از ۴۰ اهم-متر بین YAD تا LWD دیده می شود که بیانگر رسوبات ضخیم منطقه بزرگ ناودیس آدلاید است. یک ناحیه مقاوم در قسمت مرکزی پروفیل، در هر دو روش قابل مشاهده است. سنگ بستر در قسمت های شرقی یعنی حوضه ماری تا حدودی قابل تشخیص است ولی در مورد سنگ بستر، در بزرگ ناودیس آدلاید، همانند مدل سازی دو مود قبلی نمی توان به درستی اظهار نظر کرد.

۸- با توجه به نتایج و نیز مبانی تئوریک روش لیلی به نظر می رسد که این روش در واقع شیوه ای است که در ابتدا و به منظور به دست آوردن یک دید اولیه در مورد ساختار زمین شناسی یک منطقه مورد استفاده قرار می گیرد. همچنین با توجه به عدم ثابت بودن  $\theta_H$  در فرکانس های مختلف، صحت این روش برای تعیین امتداد آنومالی اصلی تایید نمی شود. بنابر این تنها در مواقعی که برنامه های مورد نیاز برای انجام روش تجزیه تانسوری گروم-بیلی در اختیار نیست، مناسب است تا از این روش به عنوان پیش پردازش اولیه استفاده شود.

### ۳-۶- پیشنهادها

بر پایه توضیحات ارائه شده و همچنین با توجه به نتایج حاصل از این تحقیق و نیز با در نظر داشتن پیشرفتهای زیاد در زمینه های مختلف به خصوص مدل سازیهای دقیق تر، نکاتی برای ادامه مطالعات بعدی پیشنهاد می گردد:

۱- با توجه به تایید نسبی نتایج روش لیلی در این منطقه و مناطق شناخته شده دو بعدی دیگر، پیشنهاد می شود که به منظور بررسی بیشتر، این شیوه در منطقه ای دیگر، مورد بررسی قرار گیرد و چه بهتر اینکه این امر بر روی داده هایی واقع در کشور خودمان انجام گیرد.

۲- بررسی ها و مطالعات گسترده تری به منظور بهبود کیفیت این شیوه در تعیین امتداد آنومالی های اصلی انجام پذیرد.

۳- از آنجائیکه تغییرات لیتولوژیکی سازندهای منطقه در عمق تا اندازه ای نا شناخته می باشد، لذا ضروری است تا سایر روش های تجزیه تانسوری بررسی و همچنین انواع دیگر مدل سازی های معکوس و مستقیم بر روی داده های برداشت شده امتحان شود.

## منابع و مآخذ

### منابع فارسی:

طهماسبی، ف.، ۱۳۸۳، مدل سازی معکوس دو بعدی داده های مگنتوتلوریک با استفاده از شبکه های عصبی مصنوعی، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی شاهرود.

فتحیانپور، ن.، ۱۳۸۰، طراحی پروژه های ژئوفیزیکی، جزوه درسی، دانشگاه صنعتی اصفهان.

قندی، ر.، ۱۳۸۵، بررسی مفهوم جابه جایی استاتیکی و حذف آن از داده های مگنتوتلوریک (MT)، سمینار کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی شاهرود.

### English Refrences:

Bahr, K., 1988, Interpretation of the magnetotelluric impedance tensor: Regional induction and local telluric distortion, *Geophys.*, vol.62, pp.119-127.

Berdichevsky, M.N., & Dmitrive, V.I., 1976, Basic principles of interpretation of magnetotelluric sounding curves, in A. Adam, Ed., *Geoelectric and geothermal studies: Akademini Kiado*, pp.165-221.

Berdichevsky, M.N., & Zhodanov, M.S., 1984, *Advanced theory of deep geomagnetic sounding*, Elsevier.Amesterdam., pp.408.

Berdichevsky, M.N., Dmitriev, V.I., & Pozdnjakova, E.E., 1998, On two dimensional interpretation of magnetotelluric sounding, *Geophys.J.Int.*, vol.133, pp.585-606.

Bobachev, A., 2002, *IPI2WIN(MT), User's guide.*, Ver.2.0, Geoscan-M Ltd., Moscow.

Bostick, F.X., 1977, A simple almost exact method of MT analysis, in work shop on electrical methods in geothermal exploration, USGS Rept., no.14080001-8-359.

Cagniard, L., 1953, Basic theory of the magnetotelluric method of geophysical prospecting, *Geophys.*, vol.18, pp.605-635.

Cantwell, T., 1960, Detection and analysis of low frequency magnetotelluric signals, Ph.D.Thesis., Massachusetts Institute of Technology.

de Groot- Hedlin, C., & Constable, S., 1990, Occam,s inversion to generate smooth, two – dimensional models from magnetotellurics data, *Geophys.*, vol,55, no.12, pp.1613-1624.

Dobrin, M.B., & Savit, C.H., 1988, Introduction to Geophysical prospecting, McGraw - Hill, Inc., 868.

Eggers, D.E., 1982, An eigenstate formulation of the magnetotelluric impedance tensor, *Geophys.*, vol.47, no.8, pp.1204-1214.

Gamble, T.D., Goubau, W.M, Clarke, J., & Miracky, R., 1982, Magnetotelluric regional strike, *Geophys.*, vol.47, pp.932-937.

Geosystem SRL., 2003, A guide to using WinGLink, ver.2.1.1.

Groom, R.W., & Bailey, R.C., 1989, Decomposition of magnetotelluric impedance tensors in the presence of local three-dimensional galvanic distortion, *Journal of Geophysical research.*, vol.94, no.B2, pp.1913-1925.

Groom, R.W., & Bailey, R.C., 1991, Analytic investigations of the effects of near-surface three-dimensional galvanic scatterers on MT tensor decompositions, *Geophys.*, vol.**56**, no.4, pp.496-518.

Ingham, M.R., & Hutton, V.R.S., 1982, Crustal and upper mantle electrical conductivity structure in Southern Scotland, *Geophys. J.R.astr. Soc.*, vol. **69**, pp.579-594.

Jones, A.G., 1988, Static shift of magnetotelluric data and its removal in a sedimentary basin environment, *Geophys.*, vol.**53**, no.7, pp.967-978.

Kaufman, A.A., & Keller, G.V., 1981, The magnetotelluric sounding method, *Methods in Geochemistry and Geophysics*.Elsevier, 595.

LaTorraca, G.A., Madden, T.R., & Horringa, J., 1986, An analysis of the magnetotelluric impedance tensor for three-dimensional conductivity structures, *Geophys.*, vol.**51**, no.9, pp.1819- 1829.

Lilley, F.E.M., 1998, Magnetotelluric tensor decomposition, Part I, Theory for a basic procedure, *Geophys.*, vol.**63**, no. 6, pp.1885-1897.

Lilley, F.E.M., 1998, Magnetotelluric tensor decomposition, Part II , Examples of basic procedure, *Geophys.*, vol.**63**, no.6, pp.1885-1897.

Means, W.D., 1990, Kinematics, stress, deformation and material behavior, *J.struct. Geol.*, vol.**12**, pp.953- 971.

Means, W.D., 1992, How to do any thing with Mohr circles: A short course about tensors for structural geologists, State Univ. Of Newyork at Albany.

Means, W.D., 1994, Rotational quantities in homogeneous flow and the development of small scale structure , *J.Struvtc. Geol.*, vol.16, pp.437-445.

Moradzadeh, A., 1998, Electrical imaging of the Adelaide Geosyncline using magnetotelluric (MT), Ph.D. Thesis., Flinders Univ. of south Australia.

Moradzadeh, A., & White, A., 2005, An assessment of the geoelectric dimensionality of subsurface structures using magnetotelluric data, *Journal of science and technology, Shahrood university of technology*, no.6-7.

Moradzadeh, A., & Chamalaun, F.H., 2005, Inversion modeling of TE and TM modes data in magnetotelluric survey using Rapid Relaxation Inversion (RRI) Method, *Journal of science and technology, Shahrood university of technology*, no.6-7.

Moradzadeh, A., 2003, Static shift appraisal and its correction in magnetotelluric (MT) surveys. The 21<sup>th</sup> symposium on geoscience., Tehran. Iran.

Ranganayaki, R.P., 1984, An interpretive analysis of magnetotelluric data, *Geophys.*, vol.49, no.10, pp.1730-1749.

Reddy, I.K., & Rakin, D., 1972, On the interpretation of magnetotelluric data in the plains of Alberta, *Canadian Journal of Earth Sciences*, vol.9, pp.514.

Rodi, W., & Mackie, R.L., 2001, Nonlinear conjugate gradients algorithm for 2-D magnetotelluric inversion, *Geophys.*, vol.66, no.1, pp.174-187.



Romo, J.M., Gomez-Trevino, E. & Esparza, F.J., 2005, Series and parallel transformations of the magnetotelluric impedance tensor: Theory and applications, physics of the Earth and Planetary Interiors., vol.150, pp.63-83.

Sasaki, y., 1989, Two-dimensional joint inversion of magnetotelluric and dipole-dipole resistivity data, Geophys., vol.54, no.2, pp.254-262.

Sims, W.E., & Bostick, F.X., 1969, Methods of magnetotelluric analysis, EGRL Technical report no. 58. & Ph.D. Thesis (sims)., University of Texas at Austin.

Smith, J.T., & Booker, J.R., 1988, Magnetotelluric inversion for minimum structure, Geophys., vol.53, pp.1565-1576.

Smith, J.T., & Booker, J.R., 1991, Rapid Inversion of two- and three dimensional magnetotelluric data, J.Geophys.Res., vol.96, no.B3, pp.3905-3922.

Spitz, S., 1985, The magnetotelluric impedance tensor properties with respect to rotations, Geophys., vol.50, no.10, pp.1610-1617.

Spitzer, K., 2001, Magnetotelluric static shift and direct current sensitivity , Geophys.J.Int ., vol.144, pp.289- 299.

Sternberg , B.K., Washburn, J . C., & pellerin, L., 1988, Correction for the static shift in magnetotellurics using transient electromagnetic soundings , Geophys., vol.53, no.11, pp.1459 – 1468.

Sternberg, B.K., Buller, P.L., Kisabeth, J.L., & E.M., 1982, Electrical methods for hydrocarbon exploration II, Magnetotelluric method,

Unconventional methods in exploration for petroleum and natural gas  
III., pp.202-230.

Swift, C.M., 1967, A magnetotelluric investigation of an electrical  
conductivity anomaly in the south – western United states , Ph.D.  
Thesis., MIT., Cambridge, Massachusetts.

Torres-Verdin, c., & Bostick, F.X., 1992, Principles of spatial surface  
electricfield filtering in magnetotellurics:Electromagnetic array Profiling  
(EMAP), Geophys., vol.57, no.4, pp.603-622.

Tournerie, B., Choyteau, M., & Marcotte, D., 2004, Estimation and  
removal of the MT static shift effect using geostatistical methods,  
proceeding of 17 th workshop, Hyderabad, India.

Utada, H., & Munekane, H., 2000, On galvanic distortion of regional  
three-dimensional magnetotelluric impedances, Geophys.J.Int., vol.140,  
pp.385-398.

Vozoff, K., Kerr, D., Moore, R.F., Jupp, D.L.B. & Lewis, R.J.G., 1975,  
Murray Basin magnetotelluric study, Journal of the Geological society of  
Australia, vol.22, pp.361-375.

Vozoff, K., 1991, The magnetotelluric method. In: Nabighian, M.N.  
(Ed), Electromagnetic Methods In Applied Geophysics. Society of  
Exploration Geophysicists., pp.641-712.

Wang, L.J., 1994, Magnetotelluric investigation of the Flinders Range  
Geomagnetic Anomaly, M.S. Thesis., School of earth science, Australia.

Wannamaker, P.E., Stodt, J.A., & Rijo, L., 1986, Two-dimentional  
topographic responses in magnetotellurics modeled using finite  
elements, Geophys, vol.51, pp.2131-2144.

Wu, X., Ferguson, Ian J., & Jones, A.G., 2005, Geoelectric structure of the Proterozoic Wopmay Orogen and adjacent terranes, Northwest Territories, Canada. *Can.J.Earth Sci.*, vol.**42**, pp.955-981.

Yee, E., & Paulson, K.V., 1987, The canonical decomposition and its relationship to other forms of magnetotelluric impedance tensor analysis, *J. Geophys.*, vol.**61**, pp.173-189.

پیوست الف:

مؤلفه های حقیقی و موهومی تانسور  
امپدانس MT داده های خام

جدول الف - ۱- مولفه های حقیقی و موهومی تانسور امپدانس MT سونداز (Moradzadeh, 1998) LWD

Freq.	Zxxr	Zxxi	Zxyr	Zxyi	Zyxr	Zyxi	Zyyr	Zyyi
120.1172	-17.0390	34.1070	167.3210	139.6160	-200.6790	-55.3070	-27.0610	-66.2840
83.0078	-29.9940	16.6660	172.8830	148.1840	-213.1170	-58.4660	-0.1060	-65.3160
56.6406	-36.7260	9.2520	150.2340	143.0420	-214.7660	-50.0520	24.1660	-68.1580
38.0859	-43.0660	1.3060	112.3580	116.9950	-210.6420	-31.2060	53.7660	-72.7050
24.4141	-44.4110	-9.5820	83.5580	96.3570	-196.4420	-6.9180	61.3110	-91.5430
17.1875	-41.5220	-15.5900	68.4670	81.2480	-175.5330	7.7900	58.3220	-100.7520
14.6484	-38.7080	-16.7900	65.4200	74.4790	-166.5800	10.3210	55.3080	-99.5210
12.0117	-36.6610	-18.1930	59.5080	70.4440	-151.4920	18.6930	52.2610	-104.5560
9.7656	-24.9290	-19.5980	47.0630	57.5620	-117.9370	23.1980	39.2290	-101.4380
8.3008	-25.8370	-22.8410	45.3560	57.5500	-116.6440	26.2910	39.2370	-104.4500
5.6641	-19.4310	-21.5950	35.3890	49.1580	-84.2110	29.3950	28.1310	-96.8420
3.8086	-7.5340	-14.0880	21.3660	37.9130	-46.4340	23.1080	7.7840	-66.6870
2.4414	-2.1870	3.5970	8.9900	8.8630	-22.1100	-1.2370	-1.5630	-21.0370
1.7188	-2.1390	-4.2220	10.1750	17.2440	-20.6250	7.2020	-0.3210	-36.0560
1.2012	-1.7220	-0.9280	7.8420	10.9960	-14.9580	1.3180	-0.5180	-22.9040
0.9766	-0.0230	-2.4640	5.8970	10.8640	-7.5230	0.6690	-2.7870	-16.8360
0.8301	-0.0790	-2.8220	6.0630	11.3200	-10.1070	2.5120	0.0670	-23.2800
0.5664	-1.2980	-2.6220	4.2990	8.0040	-6.0110	0.7320	-0.3120	-16.9960
0.3809	-1.0810	-0.7860	3.7450	6.2950	-4.8950	0.0160	0.6110	-12.1050
0.2441	-1.9150	-0.7260	3.5610	3.8530	-6.4590	-0.2320	1.2850	-6.4970
0.1724	-1.0740	-4.1410	0.6700	2.0590	-5.7100	1.7510	3.0140	-3.1390
0.1465	-0.6770	-0.7970	2.1090	3.2680	-2.9710	0.2270	0.9960	-5.9720
0.1221	-0.3690	-0.9140	1.1760	2.8230	-2.4640	1.1920	0.3200	-5.9770
0.0977	-0.4480	-0.4690	1.5280	2.5670	-2.2520	0.3470	0.9590	-4.5130
0.0859	-0.3130	-0.6500	0.9420	2.4540	-1.7380	0.4280	0.4740	-4.5060
0.0601	-0.2170	-0.4500	0.7390	1.8360	-1.1210	0.2220	0.5320	-3.2540
0.0415	-0.1870	-0.3350	0.5270	1.3800	-1.0130	0.2420	0.4330	-2.4600
0.0305	-0.2320	-0.2650	0.4690	1.0200	-0.9210	0.2430	0.4650	-1.8200
0.0283	-0.2150	-0.2330	0.4570	1.0080	-0.9030	0.2260	0.4290	-1.7720
0.0215	-0.2570	-0.2000	0.4020	0.8120	-0.8780	0.2590	0.4610	-1.3980
0.0190	-0.2280	-0.1820	0.3730	0.7780	-0.8150	0.2660	0.4490	-1.3220
0.0150	-0.1840	-0.1830	0.3080	0.6230	-0.6880	0.2590	0.4010	-1.0970
0.0122	-0.1900	-0.1490	0.2700	0.5570	-0.6300	0.2630	0.3410	-0.9630
0.0104	-0.1840	-0.1600	0.2340	0.4880	-0.5750	0.2730	0.3290	-0.8850
0.0073	-0.1610	-0.1410	0.1800	0.4070	-0.4870	0.2850	0.2450	-0.7550
0.0048	-0.1330	-0.1360	0.1250	0.2940	-0.3140	0.2540	0.1630	-0.5930
0.0031	-0.1050	-0.1190	0.0830	0.2140	-0.2420	0.1960	0.1000	-0.3840
0.0018	-0.0330	-0.0750	0.0480	0.1290	-0.1480	0.0960	0.0810	-0.1300
0.0012	-0.0280	-0.1150	0.0260	0.1110	-0.0120	0.0670	0.0120	-0.1390

جدول الف ۲- مولفه های حقیقی و موهومی تانسور امیدانس MT سونداز MAD (Moradzadeh,1998).

Freq.	Zxxr	Zxxi	Zxyr	Zxyi	Zyxr	Zyxi	Zyyr	Zyyi
120.117	-2.6	-3.3	-7.6	-18	28.4	50.1	3.89	6.32
83.0078	-1.8	-2.4	-7	-15	23.9	39.2	3.15	4.39
56.6406	-1.3	-1.9	-5.8	-12	19	31.2	2.52	2.87
38.0859	-1	-1.2	-4.7	-8.3	15.1	22.1	1.84	2.02
24.4141	-0.76	-0.93	-3.8	-5.9	11.4	15	1.75	2.3
17.1875	-0.6	-0.59	-3.5	-4.5	9.34	10.8	2.05	1.36
14.6484	-0.61	-0.46	-3.3	-3.7	10.1	9.98	1.38	0.84
9.7656	-0.52	-0.41	-3.2	-2.1	9.05	5.86	1.83	0.99
8.3008	-0.59	-0.35	-3.1	-2.2	9.02	6.02	1.62	0.47
5.6641	-0.69	-0.23	-2.8	-1.5	9.04	4.21	0.77	0.38
4.3091	-0.56	0	-3.3	-0.82	8.03	4.59	0.55	-2
3.8086	-0.68	-0.2	-2.9	-0.92	8.22	2.73	1.06	0.72
3.0518	-0.19	0.42	-2.1	-1.6	8.91	3.42	3	-0.85
2.4414	-0.72	-0.08	-2.9	-0.79	8.37	2.31	1.31	0.06
2.1484	-0.66	-0.34	-2.9	-0.48	6.72	3.09	0.82	-0.28
1.4648	-0.42	-0.15	-2.8	-0.38	7.23	1.73	0.93	0.16
1.0376	-0.57	-0.32	-2.3	-0.24	6.94	1.47	0.7	0.03
0.9766	-0.62	0.31	-2.1	-0.25	7.52	0.72	1.05	-1.5
0.708	-0.77	-0.13	-2.1	-0.51	7.42	0.85	0.92	-0.44
0.4761	-0.59	-0.18	-2.6	-0.21	7.04	1.63	1.05	-0.18
0.3052	-0.6	0.11	-2.5	-0.38	7.79	-1.4	0.46	1.01
0.2427	-0.12	0.1	-2.2	-0.14	15.2	2.64	-4.9	-0.24
0.1831	-0.37	0.05	-2.9	-0.43	7.33	0.68	0.17	-0.78
0.1724	0.38	0.72	1.17	4.56	21.1	3.46	-6	10.2
0.1221	0.75	-0.54	0.14	-0.69	-1.5	12.8	-1.4	-3.2
0.0859	0.05	0.08	-1.4	-1.2	2.94	4.5	-0.08	0.98
0.0601	-0.5	0.09	-2	-1	7.55	2.53	1.45	0.02
0.0415	-0.59	0.21	-1.9	-0.89	6.08	2.3	2.11	-0.18
0.0305	-0.68	0.19	-1.4	-1.1	5.31	2.27	0.9	-0.15
0.0283	-0.72	0.16	-1.3	-1	5.25	2.34	0.97	-0.25
0.0215	-0.75	0.09	-1.2	-0.88	4.78	2.36	1.74	0.02
0.015	-0.8	-0.03	-1	-0.74	4.19	2.42	1.82	0
0.0122	-0.76	-0.09	-0.89	-0.68	3.73	2.29	1.64	0.15
0.0104	-0.75	-0.13	-0.88	-0.68	3.43	2.21	1.79	0.42
0.0073	-0.64	-0.17	-0.62	-0.5	2.87	1.95	1.16	0.28
0.0049	-0.34	-0.18	-0.64	-0.59	1.45	1.3	1.18	1
0.0031	-0.14	-0.18	-0.4	0.27	0.72	1.02	1.12	-2
0.0018	-0.03	-0.04	-0.32	-0.17	0.1	0.2	0.73	0.17
0.0012	-0.01	0.03	-0.22	0.08	0.02	-0.05	0.57	-0.71

جدول الف -۳- مولفه های حقیقی و موهومی تانسور امیدانس MT سونداز (Moradzadeh, 1998)

Freq.	Zxxr	Zxxi	Zxyr	Zxyi	Zyxr	Zyxi	Zyyr	Zyyi
120.117	-14	-3.6	-58	-18	128	62.3	16.3	12.8
83.0078	-12	-3.3	-58	-13	123	62.4	13.8	14.9
56.6406	-10	-3.6	-62	-8.5	108	59.3	9.71	16.2
38.0859	-11	-2.9	-61	-7.4	93.6	59.5	3.84	18.6
24.4141	-9.4	-1.3	-52	-8.1	75.1	58.3	-2.5	16
17.1875	-7.4	-1.4	-49	-9.3	60.5	54.4	-7	13.3
14.6484	-9.7	-4.8	-59	-10	54.9	50.7	-9.9	16.6
12.0117	-9.2	-2.9	-52	-12	50.6	50.4	-11	13.2
9.7656	-8.3	-7.7	-56	-16	36.4	41.2	-18	11.7
8.3008	-8.9	-5.7	-50	-16	36.6	43.3	-16	9.81
5.6641	-6.9	-7.4	-43	-16	20.2	31.2	-15	5.79
3.8086	-1.1	-6.8	-32	-18	9.75	14.2	-12	-0.16
3.4473	2.89	-3	-33	-13	8.9	7.91	-13	-2.4
2.4414	0.95	-4.7	-28	-20	5.61	9.23	-11	-3.6
1.7188	2.33	-2.3	-22	-20	5.69	8.48	-11	-4.5
1.4648	2.69	-0.91	-17	-19	6.01	8.22	-7.2	-4.4
1.2012	2.95	-1.1	-16	-18	5.08	8.39	-8.7	-6.1
0.9766	2.19	-2.2	-11	-16	4.28	5.87	-5.6	-5.4
0.5664	0.96	0.25	-7.8	-11	1.99	6.29	-5.3	-3.9
0.3413	2.64	1.45	-6.6	-5.5	4.02	3.28	-3.9	-3.2
0.2441	1.71	1.41	-5.6	-5.8	2.73	3.38	-2.9	-2.9
0.1724	1.41	2.25	-3.7	-5	2.07	3.27	-2.2	-3.1
0.1465	0.24	1.03	-4.2	-5.3	1.52	3.07	-1.9	-2.7
0.1221	0.72	1.26	-1.9	-5.2	1.02	2.78	-1.1	-2.7
0.0977	-0.48	1.12	-3.8	-3.9	1.01	2.35	-1.8	-2
0.0859	0.31	0.94	-1.6	-4	0.72	2.17	-0.87	-2.1
0.0601	0.11	0.81	-1.4	-3	0.49	1.61	-0.7	-1.6
0.0415	-0.08	0.67	-1.1	-2.2	0.33	1.23	-0.56	-1.2
0.0305	-0.17	0.53	-0.94	-1.7	0.25	0.94	-0.47	-0.88
0.0283	-0.2	0.52	-0.95	-1.6	0.23	0.91	-0.46	-0.86
0.0215	-0.25	0.41	-0.81	-1.3	0.16	0.71	-0.41	-0.66
0.015	-0.31	0.29	-0.69	-1	0.09	0.54	-0.33	-0.54
0.0122	-0.35	0.22	-0.63	-0.84	0.04	0.47	-0.3	-0.44
0.0104	-0.34	0.17	-0.62	-0.74	0.02	0.4	-0.28	-0.37
0.0073	-0.39	0.07	-0.49	-0.56	-0.02	0.3	-0.22	-0.3
0.0048	-0.32	0	-0.52	-0.45	-0.05	0.16	-0.22	-0.21
0.0044	-0.34	-0.08	-0.44	-0.47	-0.06	0.14	-0.2	-0.23
0.0031	-0.29	-0.08	-0.39	-0.31	-0.06	0.11	-0.15	-0.19
0.0012	-0.19	-0.02	-0.27	-0.4	-0.12	0.07	-0.15	-0.16

جدول الف - ۴- مولفه های حقیقی و موهومی تانسور امیدانس MT سونداز (Moradzadeh, 1998).

Freq.	Zxxr	Zxxi	Zxyr	Zxyi	Zyxr	Zyxi	Zyyr	Zyyi
120.1172	186.0000	27.9000	-130.0000	-92.0000	541.0000	151.0000	-280.0000	-36.0000
83.0078	181.0000	27.0000	-120.0000	-82.0000	527.0000	132.0000	-270.0000	-48.0000
56.6406	179.0000	36.6000	-100.0000	-70.0000	513.0000	139.0000	-250.0000	-53.0000
38.0859	169.0000	41.4000	-99.0000	-60.0000	479.0000	148.0000	-230.0000	-77.0000
24.4141	152.0000	56.9000	-84.0000	-60.0000	430.0000	178.0000	-200.0000	-96.0000
17.1875	133.0000	63.5000	-72.0000	-59.0000	373.0000	190.0000	-170.0000	-110.0000
14.6484	128.0000	61.1000	-67.0000	-56.0000	361.0000	183.0000	-160.0000	-100.0000
12.0117	120.0000	62.0000	-61.0000	-58.0000	333.0000	184.0000	-140.0000	-110.0000
9.7656	99.1000	54.8000	-49.0000	-46.0000	285.0000	165.0000	-110.0000	-88.0000
8.3008	96.2000	62.4000	-44.0000	-45.0000	270.0000	180.0000	-95.0000	-94.0000
5.6641	76.2000	57.3000	-33.0000	-43.0000	216.0000	159.0000	-75.0000	-89.0000
3.8086	56.4000	47.9000	-20.0000	-34.0000	166.0000	135.0000	-46.0000	-71.0000
2.4414	46.1000	31.0000	-17.0000	-19.0000	135.0000	90.8000	-36.0000	-38.0000
1.7188	38.0000	26.0000	-16.0000	-18.0000	107.0000	74.1000	-31.0000	-34.0000
1.2012	28.1000	19.2000	-15.0000	-14.0000	80.0000	54.2000	-29.0000	-26.0000
0.9766	34.1000	20.7000	-7.8000	-7.9000	98.3000	62.0000	-19.0000	-14.0000
0.8301	24.9000	17.2000	-13.0000	-13.0000	70.8000	48.3000	-26.0000	-25.0000
0.5664	24.0000	16.3000	-10.0000	-9.4000	68.6000	46.5000	-21.0000	-18.0000
0.3809	20.2000	13.5000	-13.0000	-9.1000	56.9000	37.9000	-30.0000	-19.0000
0.2441	23.6000	10.3000	-24.0000	-18.0000	67.1000	30.9000	-60.0000	-46.0000
0.1724	29.4000	17.8000	-15.0000	-8.6000	88.2000	56.8000	-34.0000	-17.0000
0.1465	15.4000	9.9400	-23.0000	-21.0000	44.4000	30.1000	-59.0000	-54.0000
0.1221	7.7000	19.6000	-6.9000	-13.0000	23.7000	57.4000	-17.0000	-31.0000
0.0977	21.7000	16.2000	-13.0000	-12.0000	60.3000	45.9000	-32.0000	-29.0000
0.0601	11.1000	8.7900	-4.0000	-5.1000	30.7000	25.8000	-9.6000	-11.0000
0.0415	10.3000	8.5700	-3.2000	-4.2000	28.4000	24.8000	-7.5000	-9.5000
0.0305	8.1600	7.4100	-2.2000	-3.5000	22.4000	21.2000	-5.2000	-8.1000
0.0283	8.0200	7.0700	-1.9000	-3.2000	22.1000	20.3000	-4.3000	-7.3000
0.0215	6.6600	6.5000	-1.4000	-2.7000	18.2000	18.5000	-3.2000	-6.2000
0.0190	6.3500	6.2600	-1.1000	-2.6000	17.6000	18.1000	-2.4000	-6.2000
0.0150	5.3600	5.8500	-0.8800	-2.2000	14.5000	16.6000	-1.8000	-5.2000
0.0122	4.6100	5.5500	-0.6600	-1.6000	12.6000	15.7000	-1.2000	-3.9000
0.0104	4.0700	5.0600	-0.5200	-1.4000	11.0000	14.2000	-0.9000	-3.2000
0.0073	3.0500	4.6200	-0.6000	-0.9800	8.2200	13.0000	-1.1000	-2.1000
0.0049	2.0200	3.5500	-0.4800	-0.7300	5.4400	9.8900	-0.9000	-1.6000
0.0031	1.5400	2.3700	-0.5400	-0.5000	4.1600	6.5500	-1.1000	-1.1000
0.0018	1.0500	1.8300	-0.4100	-0.3600	2.7700	5.0000	-0.7800	-0.7900
0.0012	0.7640	1.3900	-0.3100	-0.3100	2.1000	3.7600	-0.5400	-0.7100



جدول الف - ۵- مولفه های حقیقی و موهومی تانسور امیدانس MT سونداز (Moradzadeh, 1998) MUL

Freq.	Zxxr	Zxxi	Zxyr	Zxyi	Zyxr	Zyxi	Zyyr	Zyyi
120.117	-85	-52	-350	-210	212	88.9	34.4	-6
83.0078	-79	-35	-320	-210	205	96.2	31.5	7.49
56.6406	-71	-35	-280	-210	190	102	28.8	9.54
38.0859	-66	-28	-220	-200	169	101	27.3	5.56
24.4141	-58	-31	-160	-180	138	106	25.7	10.5
17.1875	-53	-32	-120	-160	114	102	26.5	14.1
14.6484	-53	-27	-100	-150	105	95.3	18.7	15.8
12.0117	-51	-33	-92	-140	96.5	93.9	20	20.8
9.7656	-42	-29	-64	-110	71.1	82.3	13	12.2
8.3008	-39	-29	-56	-110	69.2	81.1	13	13.2
5.6641	-33	-30	-36	-86	50.7	69.4	7.16	17
3.8086	-22	-28	-21	-57	33	52.9	4.36	14.7
3.4473	-14	-12	-15	-22	12.9	23.2	23.3	10.3
1.7188	-8.7	-13	-11	-24	1.62	24.5	10.1	9.48
1.4648	-7.2	-14	-12	-22	11	23.7	5.08	4.18
1.2012	-6.5	-10	-7.4	-18	1.22	19.1	8.72	4.97
0.9766	-4.8	-8.7	-7.1	-16	6.61	16.2	1.44	4.06
0.8301	-4.5	-7.3	-6.4	-12	-2.7	15.8	7.92	2.44
0.5664	-3.8	-5	-3.8	-8.3	-2.9	9.28	5.66	3.13
0.3809	-2.9	-4.1	-2.6	-5.9	-2.8	6.44	6.54	2.43
0.3413	-1.4	-1.6	-3.8	-2.8	2.97	2.98	4.16	2.2
0.2441	-2.2	-2.2	-3.1	-4.6	-1.4	4.19	3.51	1.63
0.1724	-1.1	1.03	-0.44	-2.5	2.77	2.85	2.17	3.15
0.1221	0.09	-1.1	-1.9	-3	0.42	2.28	1.15	1.44
0.0977	-4.9	-2.3	-3.4	-4.8	2.2	3.5	0.93	1.82
0.0859	-1.5	-1.2	-1.3	-3.9	0.9	1.89	0.18	1.26
0.0601	-2.6	-1.5	-1.4	-3	1.46	2.29	0.42	0.86
0.0415	-2.8	-1.4	-1.1	-2.4	1.25	1.94	0.32	0.68
0.0305	-2.6	-1.3	-1.1	-2	1.19	1.56	0.35	0.56
0.0283	-2.5	-1.3	-0.9	-2	1.21	1.52	0.3	0.51
0.0215	-2.4	-1.3	-0.81	-1.5	1.06	1.31	0.25	0.4
0.019	-2.3	-1.3	-0.75	-1.4	0.96	1.26	0.24	0.39
0.015	-2	-1.2	-0.58	-1.2	0.85	1.06	0.19	0.29
0.0122	-1.8	-1.2	-0.44	-1.1	0.72	0.92	0.14	0.31
0.0104	-1.6	-1.2	-0.39	-0.91	0.66	0.85	0.13	0.23
0.0073	-1.4	-1	-0.28	-0.67	0.58	0.7	0.1	0.16
0.0048	-1.3	-0.99	-0.28	-0.47	0.44	0.56	0.12	0.12
0.0031	-0.95	-0.83	-0.24	-0.36	0.34	0.46	0.12	0.1
0.0012	-0.32	-0.92	-0.09	-0.15	0.17	0.39	0.05	0.06

جدول الف - ۶- مولفه های حقیقی و موهومی تانسور امیدانس MT سونداز OAK (Moradzadeh, 1998).

Freq.	Zxxr	Zxxi	Zxyr	Zxyi	Zyxr	Zyxi	Zyyr	Zyyi
137.5	-0.41	0.77	34.4	0.12	-1.7	-0.48	5.24	0.76
96.0938	-2.6	1.68	57.7	5.93	-10	-1.7	6.18	2.63
66.4063	-3.7	1.1	113	25.7	-18	-6.9	9.62	10.9
45.3125	-58	-12	196	41.3	-91	-65	30	28.2
34.4727	-30	-2.7	127	80.6	-43	-39	6.47	13.5
24.4141	-41	-1.7	137	108	-67	-59	0.42	9.81
19.5313	-47	-3.1	130	125	-59	-68	4.99	2.71
17.1875	-50	-12	106	114	-53	-67	4.15	3.89
11.7188	-41	-8	86.6	76.5	-42	-44	4.22	2.23
8.3008	-41	-18	64.6	92	-30	-45	-2.1	3.91
7.8125	-41	-16	44.3	83.3	-28	-42	-1.8	4.47
5.6641	-39	-17	45	70.7	-25	-35	0.67	3.03
3.8086	-23	-18	30.3	54.2	-13	-23	1.89	3.2
3.4473	-10	-7.5	13.2	22.3	-6.1	-7.6	0.31	0.47
2.4414	-13	-17	15.3	33.5	-7.5	-14	0.8	1.81
1.7188	-6.9	-9.2	9.53	20.9	-4.2	-8.4	-0.07	-0.48
1.4648	-9.7	-10	6.83	24.9	-6.4	-8.6	0.11	2.31
1.2012	-5.9	-8.8	5.2	19	-4.1	-7.4	-0.33	0.1
0.9766	-7.7	-7.4	3.62	14.8	-5.1	-6.1	-0.62	0.44
0.8301	-6.5	-7.7	4.31	16.2	-4.2	-6.4	-0.39	-0.06
0.5664	-1.4	-4.5	3.04	11.2	-1.5	-4.7	-0.21	0.57
0.3809	-6.6	-4.8	3.56	7.79	-3.8	-4.5	0.31	-0.52
0.2441	-7.2	-2.6	4.28	3.55	-5.1	-2.5	-0.41	-0.14
0.1465	-4.3	-3.8	2.94	3.6	-2.9	-2.8	-0.33	-0.09
0.1221	-1.7	-5	1.63	3.24	-1.2	-3.5	-0.11	-0.05
0.0977	-4.4	-3.8	2.09	4.02	-2.7	-2.7	-0.4	0.31
0.0601	-2.4	-1.9	1.25	2.53	-1.6	-1.7	-0.32	0.06
0.0415	-2.3	-1.9	0.96	1.43	-1.4	-1.4	-0.29	-0.22
0.0305	-2.2	-1.6	0.77	1.18	-1.3	-1.2	-0.21	-0.22
0.0283	-2	-1.6	0.76	1.11	-1.2	-1.1	-0.19	-0.22
0.0215	-1.8	-1.5	0.57	0.91	-1.1	-0.96	-0.19	-0.2
0.019	-1.6	-1.3	0.53	0.88	-1	-0.87	-0.17	-0.17
0.015	-1.6	-1.1	0.53	0.79	-0.99	-0.71	-0.08	-0.12
0.0104	-1.4	-0.98	0.59	0.67	-0.91	-0.62	-0.01	-0.08
0.0073	-1.3	-0.85	0.34	0.44	-0.85	-0.55	-0.07	-0.08
0.0049	-1.2	-0.93	0.25	0.42	-0.82	-0.58	-0.16	-0.01
0.0031	-0.83	-0.84	0.27	0.44	-0.59	-0.53	-0.06	0.08
0.0018	-0.47	-0.82	0.02	0.28	-0.34	-0.52	-0.21	0.06
0.0012	-0.65	-0.34	-0.09	0.29	-0.43	-0.26	-0.23	0.08

جدول الف ۷- مولفه های حقیقی و موهومی تانسور امیدانس MT سونداز (Moradzadeh,1998) ODD

Freq.	Zxxr	Zxxi	Zxyr	Zxyi	Zyxr	Zyxi	Zyyr	Zyyi
120.117	-11	-0.49	-48	-23	-75	-63	2.29	-6.2
83.0078	-9.9	-0.34	-48	-17	-78	-49	3.08	-5
56.6406	-7.2	-5.8	-56	-10	-72	-36	17.6	-5.4
38.0859	-7.4	-3.7	-48	-13	-59	-44	6.17	-3.3
24.4141	-8.5	-2.3	-44	-17	-39	-38	3.44	-1.6
17.1875	-7.6	-3.4	-40	-17	-28	-33	3.73	-1.3
14.6484	-8.4	-4.2	-36	-16	-30	-32	4.18	-1.4
12.0117	-7.2	-3.1	-37	-16	-23	-29	3.88	-1.4
9.7656	-6.4	-11	-33	-8	-19	-21	7.04	-2.3
5.6641	-5.2	-3.4	-30	-14	-11	-19	4.56	-0.52
3.8086	-4.3	-2.8	-27	-14	-7.5	-14	4.44	0.22
2.4414	-2.5	-3	-23	-13	-5.2	-10	4.25	0.81
1.7236	-2.5	-0.29	-12	-2.5	-2.4	-0.27	1.93	0.64
1.2207	-1.4	-1.9	-13	-8.1	-2.2	-2.4	2.14	0.87
0.9766	-2.5	-0.89	-12	-10	-1.9	-3.6	2.07	1.41
0.8594	-1.7	-1.6	-11	-10	-1.7	-3.6	2.12	1.43
0.6006	-1.3	-1.1	-8.2	-9.7	-1.2	-3.2	1.73	1.6
0.415	-1.1	-0.81	-6	-8	-0.86	-2.5	1.34	1.49
0.3413	-1	-0.25	-5.6	-6.5	-1	-2	0.78	1.72
0.2832	-1.1	-0.57	-4.1	-6.5	-0.58	-1.9	0.94	1.17
0.2427	-0.97	-0.66	-4.3	-5.9	-0.78	-1.7	1.04	1.18
0.1904	-1.1	-0.54	-3.2	-5	-0.55	-1.4	0.63	0.87
0.1724	-0.94	0.07	-3.2	-4.4	-0.63	-1.3	0.43	1.1
0.1221	-1.1	-0.49	-2.6	-3.8	-0.52	-0.97	0.66	0.75
0.0859	-0.5	-0.37	-1.6	-3.2	-0.22	-0.85	0.44	0.63
0.0601	-0.66	-0.38	-1.4	-2.5	-0.15	-0.59	0.38	0.52
0.0488	-0.66	-0.38	-1.4	-2.3	-0.11	-0.5	0.35	0.47
0.0415	-0.69	-0.41	-1.1	-2	-0.05	-0.45	0.29	0.42
0.0303	-0.61	-0.44	-0.87	-1.6	-0.03	-0.33	0.25	0.35
0.0283	-0.57	-0.42	-0.83	-1.6	-0.02	-0.31	0.24	0.34
0.0215	-0.51	-0.44	-0.65	-1.3	-0.01	-0.22	0.19	0.28
0.019	-0.43	-0.46	-0.58	-1.2	-0.01	-0.18	0.18	0.26
0.0153	-0.36	-0.45	-0.44	-0.97	-0.01	-0.14	0.15	0.22
0.0122	-0.25	-0.44	-0.38	-0.78	-0.02	-0.11	0.13	0.18
0.0073	-0.12	-0.32	-0.32	-0.48	-0.03	-0.06	0.11	0.12
0.0052	-0.06	-0.28	-0.28	-0.35	-0.03	-0.04	0.1	0.08
0.0049	0.01	-0.25	-0.33	-0.38	-0.05	-0.05	0.1	0.09
0.0035	0.01	-0.19	-0.25	-0.24	-0.04	-0.04	0.08	0.06
0.0015	0.03	-0.07	-0.23	-0.17	-0.03	-0.03	0.08	0.04

جدول الف ۸- مولفه های حقیقی و موهومی تانسور امیدانس MT سونداز (Moradzadeh,1998) PIT

Freq.	Zxxr	Zxxi	Zxyr	Zxyi	Zyxr	Zyxi	Zyyr	Zyyi
120.117	-56	-5.3	-140	-55	247	56.2	75.2	4
83.0078	-54	-9.4	-150	-55	243	77	93.5	-8.9
56.6406	-50	-9.4	-140	-60	234	86.3	99	-0.45
38.0859	-50	-13	-130	-55	216	103	108	11.1
24.4141	-46	-20	-120	-58	181	121	103	18.4
17.1875	-41	-26	-110	-60	147	129	103	25.5
14.6484	-39	-26	-99	-56	139	123	97.1	29.1
12.0117	-35	-27	-95	-61	122	124	92.1	32.6
9.7656	-26	-31	-78	-55	90.1	116	81.5	35.1
8.3008	-24	-31	-78	-57	82	118	83.8	34.9
5.6641	-13	-30	-58	-53	46.9	101	63.9	38.4
3.8086	-1.3	-24	-44	-50	17.3	74.5	58.8	38.1
2.4414	0.15	-14	-30	-40	5.15	49.3	42.3	37.1
1.4648	1.9	-3.4	-18	-29	1.88	25.4	23.9	25.1
1.2207	-2.4	-1.1	-15	-14	9.25	8.09	14.4	14
0.9766	0.83	-3.5	-13	-19	-0.78	14.9	16.1	18.4
0.8594	0.86	-0.99	-13	-19	3.25	13.7	14.1	18.3
0.6006	0.47	-0.27	-8.4	-15	2.84	9.08	9.91	15.4
0.415	1.04	0.39	-6.5	-12	2.21	6.63	8.1	11.5
0.2832	0.46	0.41	-5.3	-9.4	2.47	5.02	7.59	9.19
0.1904	0.18	0.29	-3.6	-6.7	2.54	3.65	5.48	7.27
0.1724	0.59	1.72	-5.9	-5.7	5.73	2.19	8.38	7.97
0.1221	0.28	0.49	-2.8	-5.4	2.47	3.1	4.4	6.36
0.0859	-0.77	0.55	-2.6	-4.6	3.26	1.92	4.14	5.26
0.0732	-2	0.67	-2.3	-4.7	6.27	1.46	2.86	6.46
0.0601	-0.94	0.5	-2.3	-3.6	3.36	1	4.15	4.33
0.0488	-2.2	0.14	-2	-3	6.09	1.79	3.16	4.13
0.0303	-1.3	0.2	-1.5	-2.2	3.67	0.92	2.86	2.86
0.0283	-1.3	0.2	-1.5	-2.1	3.67	0.9	2.75	2.76
0.0215	-1.3	-0.07	-1.3	-1.7	3.51	1.27	2.43	2.28
0.019	-1.4	-0.04	-1.2	-1.5	3.63	1.15	2.17	2.03
0.0153	-1.3	-0.18	-1.1	-1.3	3.27	1.33	2.05	1.79
0.0107	-1.1	-0.17	-0.96	-1.1	2.78	1.02	1.85	1.57
0.0073	-0.97	-0.43	-0.9	-0.75	2.43	1.42	1.79	1.16
0.0052	-0.94	-0.51	-0.7	-0.7	2.17	1.55	1.32	1.06
0.0049	-0.86	-0.51	-0.78	-0.71	1.92	1.6	1.51	1.05
0.0035	-0.78	-0.45	-0.57	-0.52	1.88	1.31	1.12	0.85
0.0024	-0.69	-0.57	-0.41	-0.4	1.58	1.45	0.78	0.72
0.0015	-0.5	-0.46	-0.38	-0.39	1.13	1.13	0.73	0.75

جدول الف - ۹- مولفه های حقیقی و موهومی تانسور امیدانس MT سونداز (Moradzadeh, 1998) SWD

Freq.	Zxxr	Zxxi	Zxyr	Zxyi	Zyxr	Zyxi	Zyyr	Zyyi
120.117	3.03	4.39	-34.61	-56.4	19.39	-6.71	-3.7	39.9
83.0078	0.04	1.44	-30.83	-44.24	17.97	-3.79	-2.58	32.76
56.6406	0.04	1.49	-25.61	-36.06	15.89	-2.78	-1.79	25.24
38.0859	-0.81	0.89	-22.33	-23.7	14.27	-1.88	-1.34	16.1
24.4141	-0.49	1.49	-17.21	-14.69	12.99	-1.87	-0.99	11.01
17.1875	-0.37	1.2	-16.2	-11.53	12.6	-1.29	-0.9	8.11
14.6484	-0.81	0.97	-18.1	-10.51	12.6	-1.34	-0.45	6.84
9.7656	-1.1	0.76	-18	-6.78	12.6	-0.97	-0.15	3.97
8.3008	-1.08	1.16	-15.99	-6.24	12.31	-0.98	-0.35	3.95
5.6641	-1.28	1.05	-15.99	-5.1	11.71	-0.98	-0.44	3.46
3.8086	-0.66	1.25	-15.11	-3.5	11.19	-0.83	-0.63	2.16
3.4473	-1.43	0.2	-15.78	-2.46	11.92	-0.57	0.56	1.59
2.4414	-1.62	0.74	-15.79	-3.26	11.91	-1.08	0.31	1.65
1.4648	-1.76	0.74	-15.86	-2.91	10.44	-1.42	-0.01	1.49
1.2012	-2.31	0.5	-15.65	-3.12	10.85	-1.64	0.58	1.24
0.8301	-2.77	0.81	-14.63	-3.52	10.07	-0.69	0.2	1.51
0.5664	-2.36	0.5	-13.52	-3.98	9.69	-0.87	1.1	2.4
0.3809	-3.92	1.9	-12.99	-4.59	10.49	-1.44	2.41	0.71
0.3413	10.23	5.67	-6.29	-3.73	18.31	2.04	1.74	10.17
0.2441	-3.13	3.79	-12.9	-5.14	12.1	0.38	3.42	0.02
0.1724	13.11	12.3	-9.29	4.55	12.31	1.89	3.31	10.37
0.1465	-4.53	5.08	-16.94	-15.73	10.33	9.68	8.71	-1.23
0.1221	2.1	3.66	-3.68	-7.86	4.87	0.4	0.27	7.77
0.0977	-5.36	1.59	-12.99	-7.29	10.1	0.79	6.92	2.14
0.0859	-3.72	-0.22	-7.17	-5.77	6.97	-0.29	2.36	3.95
0.0601	-4.34	0.04	-6.19	-4.9	7.25	-0.25	3.11	3.2
0.0415	-4.22	-0.18	-5.02	-4.15	6.18	-0.21	3.08	2.77
0.0305	-3.88	-0.27	-4.1	-3.67	5.44	0.17	2.92	2.27
0.0283	-4.21	-0.4	-4.02	-3.61	5.79	0.29	2.94	2.58
0.0215	-4.23	-0.59	-3.18	-3.23	5.38	0.57	2.52	2.36
0.019	-4.06	-0.46	-3.19	-3.03	5.18	0.69	2.63	2.15
0.015	-3.78	-0.82	-2.86	-2.38	4.71	0.48	2.56	2.21
0.0104	-3.49	-1.13	-2.54	-1.98	4.22	0.73	2.4	2.14
0.0073	-3.33	-1.36	-2.47	-1.61	3.91	0.8	2.42	2.21
0.0048	-2.81	-1.45	-1.96	-1.39	3.3	0.84	1.88	2.08
0.0044	-2.59	-2.08	-1.66	-1.52	3	1.09	1.5	2.77
0.0031	-2.16	-1.7	-1.65	-1.14	2.54	0.81	1.47	2.19
0.0018	-1.63	-1.39	-0.61	-0.29	1.96	0.11	0.39	1.76
0.0012	-1.44	-1.12	0.07	0.2	1.68	-0.44	-0.15	1.58

جدول الف - ۱۰- مولفه های حقیقی و موهومی تانسور امیدانس MT سونداز (Moradzadeh, 1998) YAD

Freq.	Zxxr	Zxxi	Zxyr	Zxyi	Zyxr	Zyxi	Zyyr	Zyyi
120.117	8.45	-28	140	38.2	-92	-21	-7.7	14.2
96.0938	26.2	-14	140	37.3	-84	-13	-8	14.7
83.0078	17	-22	135	24.7	-81	-24	-7	13.6
66.4063	29.7	-32	135	18.8	-92	-6.7	-15	6.8
56.6406	37.1	-36	122	18.3	46.9	33.6	-79	-70
45.3125	45.9	-20	104	21.6	-52	63.6	-100	-120
38.0859	35.5	-34	124	31.1	-96	-4.3	-20	0.52
30.4688	43.2	-27	126	30.7	-98	-12	-19	0.44
24.4141	32.9	-7.9	105	33.3	-65	-20	-15	-0.02
19.5313	37.1	-8	113	37.2	-61	-19	-14	-2.5
17.1875	33.8	-1.1	93.2	39.1	-59	-21	-14	-3.3
14.6484	33.3	-4.3	101	40.4	-60	-18	-14	-6.1
11.7188	31.8	1.58	91.8	42.2	-56	-21	-12	-6.9
9.7656	36.8	8.03	85.1	44.5	-55	-23	-8.2	-8.4
5.6641	26.8	11.6	58	46.5	-46	-23	-4.4	-7.6
3.8086	19.3	9.07	41.8	42.2	-38	-23	-1.7	-6.6
2.4414	9.87	3.56	25.3	20.8	-21	-11	2.17	-0.99
1.7188	10.9	4.35	25	18.3	-21	-9.7	0.23	-1.1
1.2012	12.3	10.8	19.7	24.7	-21	-16	3.63	-3.2
0.9766	9.12	5.66	16.4	17.5	-17	-6.3	3.28	-2.9
0.5664	7.26	7.94	12.9	15.1	-16	-11	3.27	-1.4
0.3809	6.42	6.2	10.2	12.3	-14	-9.2	3.74	-0.69
0.3413	16.6	12.8	14.1	11	-11	-8.7	12.1	6.46
0.2441	5.41	5.47	8.79	9.8	-12	-8.2	3.87	0.04
0.1724	10.1	8.13	14.8	9.56	-11	-2.7	7.91	7.22
0.1465	2.34	4.21	10.7	10.9	-11	-8	4.86	0.88
0.0977	7.04	4.42	12.5	6.91	-13	-7	6.53	0.62
0.0601	2.7	3.11	6.01	4.79	-6.7	-5.6	3.52	1.12
0.0415	1.92	2.7	5.17	4.65	-5.9	-4.7	3.09	1.14
0.0305	1.53	2.12	3.97	4.29	-5	-3.9	2.76	1.27
0.0283	1.43	1.96	3.71	4.22	-4.8	-3.8	2.7	1.31
0.0215	1.09	1.56	2.81	3.55	-4.4	-3.3	2.48	0.98
0.019	0.95	1.35	2.56	3.3	-4.1	-3.1	2.39	0.98
0.015	0.74	1.11	2.08	2.7	-3.7	-2.7	2.17	0.96
0.0073	0.77	0.69	1.49	1.52	-3.2	-2.4	1.79	1.04
0.0049	0.85	0.41	1.35	1	-2.2	-2.6	1.53	1.43
0.0031	0.69	0.47	1.39	0.69	-1.9	-1.8	1.13	1.13
0.0018	0.52	0.41	1.35	0.61	-1.4	-1.6	0.72	1.03

پیوست (ب):

جدول داده های حاصل از تجزیه تانسوری لیلی

جدول ب-۱- داده های سونداژ DAW پس از تجزیه تانسوری لیلی.

frequence	rhopyx	rhopyx	phipxy	phipyx	thetaer	thetaeq	thetahr	thetahq
120.117	25000	0.8036	-160	-23.9047	11.14	15.27	-16.1	-6.99
83.0078	25000	1.1091	-160	-28.0365	11.38	14.5	-19.23	-5.75
56.6406	25000	1.5013	-160	-32.6603	11.31	15.29	-21.6	-10.32
38.0859	25000	1.8581	-160	-45.0029	9.88	13.51	-22.77	-11.89
24.4141	25000	2.177	-160	-55.9826	9.54	12.51	-29.71	-14.46
17.1875	25000	2.4006	-160	-66.5622	11.84	10.85	-38.22	-16.36
12.0117	25000	2.3962	-160	-63.113	14.67	10.73	-43.23	-19.82
9.7656	25000	2.2983	-160	-69.567	16.14	11.37	-59.22	-22.37
8.3008	25000	2.6448	-160	-73.4443	17.99	11.77	-49.07	-23.84
5.6641	25000	2.7826	-160	-73.7549	19.4	12	-50.84	-27.79
3.8086	25000	2.6673	-160	-78.4527	7.91	12.33	-29.98	-27.93
2.4414	25000	2.1868	-160	-77.3969	16.48	12.32	-41.76	-28.93
1.7188	25000	2.5573	-160	-79.7431	-52.05	13.14	-1.16	-34.75
1.4648	25000	1.9904	-160	-80.1871	-15.73	11.46	-14.07	-26.88
1.2012	25000	2.6877	-160	-78.3168	-54.47	13.26	0.07	-35.82
0.9766	25000	1.6067	-160	-70.9665	-28.79	13.8	-4.9	-35.45
0.8301	25000	2.7944	-160	-77.1416	-54.78	14.27	9.18	-35.84
0.5664	25000	2.5847	-160	-79.1725	-53.09	15.2	3.82	-37.61
0.3809	25000	2.7119	-160	-76.8401	-51.93	12.81	5.07	-32.74
0.2441	25000	2.5611	-160	-57.944	-56.1	21.76	12	-53.03
0.1724	25000	2.66	-160	-54.631	-54.41	-52.8	9.21	23.36
0.1465	25000	3.1474	-160	-61.4334	-52.11	27.08	10.22	-58.67
0.1221	25000	3.6236	-160	-69.0641	-49.96	25.74	10.09	-63.22
0.0977	25000	4.1236	-160	-65.0709	-55.6	24.16	1.5	-52.49
0.0859	25000	3.8283	-160	-72.2641	-50.18	25.9	5.8	-54.86
0.0601	25000	4.12	-160	-71.6744	-53.82	26.46	0.8	-55.86
0.0415	25000	4.4134	-160	-72.3283	-55.03	-59.85	2.57	29.23
0.0305	25000	4.6847	-160	-74.566	-54.72	-59.11	1.45	27.42
0.0283	25000	4.8034	-160	-74.3186	-57.11	-58.91	1.79	26.29
0.0215	25000	4.9179	-160	-75.9102	-57.04	-58.77	-0.17	25.14
0.019	25000	5.0499	-160	-76.6571	-56.01	-59.08	1.13	24.35
0.015	25000	5.0915	-160	-79.0634	-54.69	-58.76	1.53	23.09
0.0122	25000	5.1919	-160	-79.9087	-58.58	-57.18	1.1	20.7
0.0104	25000	5.126	-160	-81.4628	-63.1	-57.84	2.41	20.68
0.0073	25000	5.1944	-160	-84.5697	-63.36	-56.54	4.42	18.38
0.0049	25000	5.3559	-160	-85.901	-41.66	-62.66	4.49	24
0.0031	25000	5.4038	-160	-81.8119	38.06	-58.36	-6.3	24.83
0.0018	25000	6.5802	-160	-78.0897	-34.8	-58.26	26.54	23.33
0.0012	25000	7.2632	-160	-63.233	-11.81	21.41	58.2	-45.81



جدول ب-۲- داده های سونداژ MAD پس از تجزیه تانسوری لیلی.

frequency	rhopyx	rhopyx	phipxy	phipyx	thetaer	thetaeq	thetahr	thetahq
120.1172	0.0312	0.0974	-67.671	-60.3782	7.64	7.07	9.69	9.61
83.0078	0.0386	0.1121	-65.4073	-58.5521	6.91	6.79	9.41	8.89
56.6406	0.0458	0.1304	-64.6713	-58.5208	6.66	6.33	9.48	7.62
38.0859	0.0488	0.142	-60.9061	-55.5363	6.42	5.79	8.85	7.34
24.4141	0.0549	0.1574	-57.3673	-52.7899	7.27	7.9	11	11.65
17.1875	0.0633	0.17	-53.2769	-48.5783	8.98	7.16	15.43	10.04
14.6484	0.0658	0.196	-48.9313	-44.4231	6.51	5.05	9.8	6.64
9.7656	0.0738	0.2268	-33.4162	-32.78	7.89	8.13	13.99	12.29
8.3008	0.0875	0.2663	-36.4306	-33.2718	7.81	5.64	12.66	6.48
5.6641	0.109	0.3553	-28.3774	-24.949	6.39	5.59	6.78	7.1
4.3091	0.1542	0.442	-13.0515	-31.7954	6.63	-3.83	6.58	-24.12
3.8086	0.1516	0.4641	-16.6775	-18.8736	8.08	9.42	10.03	17.53
3.0518	0.1562	0.6629	-36.2637	-21.0242	5.39	-15.01	19.71	-19.9
2.4414	0.2324	0.7264	-16.103	-15.1224	8.68	2.82	11.68	2.45
2.1484	0.2614	0.7014	-10.3878	-24.4393	10.11	5.58	11.07	-4.27
1.4648	0.3728	1.0298	-7.6291	-13.3974	7.02	6.33	9.93	6.6
1.0376	0.4292	1.385	-5.8714	-12.1033	7.25	12.75	8.06	3.13
0.9766	25000	1.6051	-160	-12.5468	7.28	-12.31	9.84	-63.13
0.708	0.5745	2.1506	-14.4422	-7.2999	8.36	-9.81	9.26	-32.55
0.4761	1.0373	3.0995	-5.2847	-12.9018	8.77	5.54	11.5	-5.54
0.3052	1.6225	5.2634	-8.6267	-12.4506	6.06	4.62	5.28	36.8
0.2427	1.7572	13.1985	-3.0403	-3.8491	-2.05	-6.96	-18.14	-13.73
0.1831	3.1609	8.1146	-4.5756	-8.497	4.03	-19.95	2.91	-53.28
0.1724	1.5496	28.3638	-40.1551	-26.1488	-1.79	1.6	-15.96	71.39
0.1221	25000	9.0788	-160	-67.1302	-18.03	-0.13	-39.65	-38.82
0.0859	4.2712	12.7322	-40.3855	-57.443	-2.21	2.36	-2.61	12.89
0.0601	7.0196	27.0995	-28.3005	-18.1126	6.84	-2.2	12.52	-0.42
0.0415	8.6508	33.4976	-28.7575	-19.5554	11.04	-8	21.82	-7.46
0.0305	10.8061	38.8684	-40.7601	-22.7722	10.06	-8.44	11.94	-7.76
0.0283	10.5201	41.8453	-40.6612	-23.608	10.49	-7.73	12.67	-9.28
0.0215	11.3839	53.2215	-45.9868	-24.3809	12.71	-2.33	22.11	-0.38
0.015	12.5407	70.5896	-51.8785	-27.2028	14.14	0.78	25.26	0.24
0.0122	13.6493	78.6476	-53.7447	-28.6363	14.71	3.66	25.49	4.82
0.0104	14.6816	88.6763	-56.8694	-29.422	15.66	7.02	29.23	12.75
0.0073	15.5682	103.29	-55.2909	-31.7765	15.09	7.34	23.57	9.91
0.0049	17.6462	107.244	-52.1853	-40.8525	20.03	17.76	41.92	41.21
0.0031	6.5311	171.761	-21.6205	-58.4227	17.28	8.17	58.47	-62.84
0.0018	10.0993	95.4093	-82.0535	-20.6023	-66.45	31.26	-7.41	50.61
0.0012	25000	156.978	-160	-49.5244	-68.89	83.43	-2.09	4.25

جدول ب-۳- داده های سونداژ MAN پس از تجزیه تانسوری لیلی.

frequency	rhopxy	rhopyx	phipxy	phipyx	thetaer	thetaeq	thetahr	thetahq
120.117	0.1382	1.1157	-70.2067	-14.2594	-20.31	-22.69	-28.28	-24.6
83.0078	0.1602	1.5625	-69.9426	-13.6085	-20.05	-25.35	-27.88	-30.96
56.6406	0.1747	2.2154	-77.3862	-14.9038	-19.74	-23.96	-26.35	-28.44
38.0859	0.1846	3.1183	-64.5585	-17.5718	-20.19	-21.83	-26.21	-31.55
24.4141	0.2176	4.5026	-64.7551	-23.2729	-20.08	-21.51	-25.41	-30.84
17.1875	0.2376	5.7738	-61.5657	-28.3155	-20.22	-21.18	-24.97	-31.76
14.6484	0.2798	6.5012	-64.5179	-28.0132	-20.07	-21.25	-24.34	-30.5
12.0117	0.3175	7.4725	-61.4455	-30.8246	-20.4	-21.28	-23.31	-32.5
9.7656	0.3433	7.8081	-55.7473	-31.5945	-19.84	-20.63	-21.71	-29.57
8.3008	0.3294	9.0179	-48.8996	-35.4179	-20.23	-20.6	-20.01	-28.6
5.6641	0.3748	11.0198	-56.8102	-38.8083	-19.92	-21.34	-19.64	-30.25
3.8086	0.4358	12.8523	-61.3415	-41.8497	-19.12	-20.94	-15.92	-28.72
2.4414	0.5537	14.859	-50.5792	-35.2951	-19.32	-20.11	-15.51	-23.75
1.7188	0.7959	17.1449	-48.8764	-36.3314	-20.21	-20.98	-16.96	-25.94
1.2012	0.9736	18.5404	43.482	-35.4057	-20.38	-21.33	-20.92	-27.02
0.9766	0.6509	25.7162	-69.3542	-32.3791	-19.25	-19.08	-11.15	-13.6
0.8301	1.1557	23.9453	-44.9438	-35.9921	-20.31	-21.42	-21.06	-28.67
0.5664	1.2723	32.8414	-48.5281	-34.9094	-19.85	-20.51	-17.67	-22.25
0.3809	1.4465	43.2014	-45.0018	-33.4673	-20.42	-20.89	-28.41	-27.56
0.2441	2.0127	92.4444	-34.5467	-31.6188	-20.47	-20.48	-42.25	-56.61
0.1724	5.0978	136.8287	-42.6559	-31.9572	-19.17	-18.26	-21.72	-17.56
0.1465	2.7725	140.3969	-45.3153	-39.9444	-20.53	-20.57	-53.43	-61.33
0.1221	3.7032	124.3307	-62.1809	-65.9553	-19.44	-19.77	-36.34	-28.97
0.0977	3.8127	190.3981	-48.6881	-38.4994	-20.31	-20.33	-28.31	-32.8
0.0601	4.2024	151.1189	-67.9519	-41.0268	-20.13	-19.81	-17.66	-23.9
0.0415	4.4167	203.0212	-61.619	-42.037	-20.15	-19.71	-15.09	-21.55
0.0305	4.2681	225.4451	-64.5664	-44.5568	-20.17	-19.81	-13.31	-21.41
0.0283	4.673	234.3902	-61.7462	-43.7113	-20.09	-19.74	-11.28	-20.3
0.0215	4.7557	266.0147	-65.5417	-46.4812	-20.21	-19.8	-10.2	-18.99
0.019	4.8551	291.8728	-61.7863	-47.0447	-19.93	-19.48	-8	-19.31
0.015	5.1434	322.3546	-58.8306	-49.8558	-20.38	-19.74	-7.35	-17.76
0.0122	4.7386	357.9881	-44.4202	-51.8646	-20.18	-19.64	-5.76	-14.19
0.0104	5.6834	373.8897	-53.7595	-52.7308	-20.38	-19.82	-4.99	-13.02
0.0073	7.695	453.5689	-50.6479	-57.665	-20.52	-19.71	-8.05	-9.49
0.0049	8.063	496.8587	-47.0249	-61.0605	-20.6	-19.88	-9.89	-9.47
0.0031	9.858	544.1386	-38.2024	-56.944	-20.73	-20.02	-15.38	-9.81
0.0018	13.5291	690.6758	-32.6441	-60.2034	-21.32	-20.22	-16.47	-9.24
0.0012	18.635	782.4249	-23.0462	-60.4187	-20.69	-20.41	-15.38	-10.92

جدول ب-۴- داده های سونداز MAF پس از تجزیه تانسوری لیلی.

frequency	rhopyx	rhopyx	phipxy	phipyx	thetaer	thetaeq	thetahr	thetahq
120.1172	0.0955	0.243	-17.0176	-26.024	11.35	6.89	12.06	13.43
83.0078	0.1368	0.3399	-12.0154	-27.1939	10.54	5.74	11.11	14.49
56.6406	0.2133	0.4455	-6.8635	-29.2999	11.65	5.38	11.55	15.91
38.0859	0.314	0.5986	-5.9304	-33.2766	13.56	4.61	10.91	17.82
24.4141	0.4285	0.7953	-8.194	-38.5892	10.99	3.27	5.64	15.75
17.1875	0.5844	0.9643	-9.956	-42.6251	4.74	3.74	-2.75	14.32
14.6484	0.7686	1.0997	-8.0943	-42.0159	6.28	8.37	-3.49	19.37
12.0117	0.8704	1.2465	-11.9269	-44.4677	31.63	6.69	20.49	16.06
9.7656	0.8036	1.5139	-18.9915	-37.0832	21.11	16.8	5.22	20.8
8.3008	0.964	1.6751	-20.5159	-40.7909	21.98	12.82	5.94	16.78
5.6641	0.8928	2	-32.4096	-36.4816	19.34	21.45	0.22	19.5
3.8086	0.8303	2.0914	-53.1147	-30.6393	21.76	-24.01	4.34	-36.21
3.4473	0.6315	2.227	-49.1636	-20.3693	23.48	3.88	9.92	-10.6
2.4414	0.8943	2.997	-63.6199	-34.2798	22.37	5.01	5.72	-10.84
1.7188	1.1211	3.7659	-65.6293	-39.3129	28.32	12.12	10.94	-1.31
1.4648	1.2663	3.7316	-62.1589	-45.6162	26.54	14.49	15.45	3.45
1.2012	1.46	4.4742	-70.4021	-45.2786	31.05	21.37	15.8	6.11
0.9766	1.3958	4.3611	-66.8087	-52.4718	30.9	18.35	18.32	-0.82
0.5664	2.0477	5.4248	-79.2257	-51.2081	35.52	26.65	11.61	14.73
0.3413	1.5466	6.6371	-46.0436	-38.5126	37.62	37.88	30.85	26.6
0.2441	2.1635	8.1373	-55.5933	-45.812	33.11	34.95	24.98	25.73
0.1724	1.8983	9.8772	-55.3044	-54.9271	36.75	38.97	28.95	33.11
0.1465	3.3393	10.8788	-58.9066	-53.921	27.4	35.21	11.21	23.92
0.1221	2.9392	11.2063	-75.0957	-68.7185	35.81	34.4	28.39	24.17
0.0977	3.6902	13.214	-51.6599	-49.3535	25.34	35.8	-0.02	27.78
0.0859	3.3515	12.2897	-71.4764	-68.561	33.43	34.8	19.86	24.15
0.0601	3.3984	13.5042	-68.1038	-66.7925	29.5	34.87	12.17	25.15
0.0415	3.6508	14.7022	-64.2036	-66.0784	28.02	35.68	3.91	26.9
0.0305	3.9954	15.5916	-60.5686	-63.7459	25.89	34.61	-2.39	27.06
0.0283	4.0662	16.2299	-59.3561	-62.5464	24.54	35.57	-4.68	27.86
0.0215	4.4116	17.3662	-57.9133	-60.4283	24.03	34.11	-10.2	27.02
0.015	4.9015	19.8723	-56.2353	-57.3247	20.64	35.11	-18.73	25.89
0.0122	5.458	21.1765	-59.1581	-53.8067	19.64	35.13	-24.49	25.6
0.0104	5.71	22.46	-60.9808	-50.2362	19.19	33.88	-24.9	23.93
0.0073	7.2364	25.5506	-56.0117	-46.0325	15.11	34.94	-34.99	19.97
0.0048	8.721	33.6468	-43.2993	-38.4002	15.72	27.45	-27.73	8.46
0.0044	10.4907	35.1894	-44.192	-42.5354	13.49	25.69	-33.71	-1.25
0.0031	12.3616	39.5757	-45.0158	-36.3722	10.68	30.77	-33.67	-1.96
0.0012	32.5032	91.0994	-21.7957	-52.0264	13.08	21.97	-28.01	1.02

جدول ب-5- داده های سونداژ MUL پس از تجزیه تانسوری لیلی.

frequency	rhopyx	rhopyx	phipxy	phipyx	thetaer	thetaeq	thetahr	thetahq
120.1172	0.3496	0.7191	-24.6169	-30.1653	-17.86	-4.91	-23.01	-15.89
83.0078	0.4964	0.9753	-26.8299	-31.9912	-19.34	-7.67	-24.51	-12.8
56.6406	0.6892	1.3121	-30.1723	-35.3372	-21.41	-8.87	-26.54	-13.54
38.0859	0.9092	1.6861	-34.7328	-39.2568	-27.83	-7.23	-33.51	-11.49
24.4141	1.2027	2.1954	-43.4391	-43.8879	-34.54	-12.59	-40.73	-16.69
17.1875	1.4228	2.6835	-50.4341	-46.887	-39.61	-17.29	-46.07	-21.19
14.6484	1.5189	2.8759	-52.3267	-48.3954	47.75	-17.71	38.26	-20.33
12.0117	1.687	3.3488	-53.7265	-49.3243	47.86	-23.21	38.52	-26.2
9.7656	1.6951	3.1791	-60.0189	-51.4135	47.38	-25.55	35.26	-30.54
8.3008	1.9154	3.653	-62.1715	-53.229	43.74	-25.43	32.01	-30.16
5.6641	2.0538	4.3282	-65.7906	-57.0795	43.25	-32.88	26.65	-37.66
3.8086	1.9246	4.6191	-67.6738	-60.8205	41.81	-38.81	23.72	-45.71
3.4473	25000	2.7555	-160	-45.3395	-52.61	44.54	-34.17	42.38
1.7188	25000	4.5786	-160	-64.6391	-34.91	46.44	-28.58	42.29
1.4648	2.0791	5.0536	-69.2759	-61.4152	-40.04	48.39	-45.31	36.27
1.2012	25000	4.8489	-160	-64.224	-41.17	46.76	-26.73	39.04
0.9766	2.1785	5.0856	-68.3284	-65.7801	-35.87	48.65	-49.64	40.45
0.8301	25000	5.4013	-160	-59.6117	-47	39.3	-26.41	29.39
0.5664	25000	5.4129	-160	-57.5373	-50.04	44.6	-34.53	38.53
0.3809	25000	6.5145	-160	-49.9868	27.4	46.49	61.38	38.78
0.3413	0.7686	4.7218	-49.9084	-36.6306	-51.84	40.68	-29.66	46.61
0.2441	25000	6.7761	-160	-49.9437	-44.83	-40.09	-28.59	-43.8
0.1724	2.9537	7.2183	-65.689	-45.9096	36.9	21.31	48.38	59.31
0.1221	2.2702	7.4485	-73.0059	-60.6981	-31.87	-38.93	-3.74	-35.24
0.0977	4.1929	18.4206	-77.1329	-44.589	-21.52	-34.59	-56.85	-37.9
0.0859	3.1954	11.5734	-72.2093	-64.4193	-22.82	-25.67	-53.79	-25.08
0.0601	4.8608	17.0102	-78.6382	-49.6671	63.09	-33.18	25.77	-40.08
0.0415	5.513	22.2692	-82.6432	-44.9536	66.89	-34.06	20.35	-43.47
0.0305	5.7184	27.1837	-81.4594	-41.9967	66.37	-32.47	21.88	-44.22
0.0283	6.1849	28.3644	-82.4101	-43.0551	64.94	-31.25	18.74	-43.9
0.0215	5.8333	33.5723	-81.3931	-40.2233	66.8	-32.93	17.81	-50.69
0.019	5.9103	36.3214	-83.4246	-40.7764	67.79	-33.19	17.48	-52.08
0.015	6.3006	39.9097	-83.9171	-41.0688	67.33	-31.35	15.64	-53.28
0.0122	5.6537	44.7309	-84.5893	-43.0903	68.42	-29.71	13.37	-53.49
0.0104	5.5866	47.5887	-84.514	-44.0457	67.8	-29.37	13.33	-58.23
0.0073	6.1311	56.807	-86.2835	-41.8622	67.6	60.02	11.09	28.5
0.0048	25000	77.852	-160	-41.2091	71.09	62.78	12.48	22.59
0.0031	25000	93.9953	-160	-44.249	69.86	62.77	14.8	21.09
0.0012	25000	180.007	-160	-69.5876	61.94	67.06	15.86	9.18

جدول ب-۶- داده های سونداژ OAK پس از تجزیه تانسوری لیلی.

frequency	rhopyx	rhopyx	phipxy	phipyx	thetaer	thetaeq	thetahr	thetahq
137.5	0.0025	0.0506	-21.6248	-1.6488	8.71	35.09	1.09	-33.5
96.0938	0.0206	0.1218	-12.9255	-6.4262	6.73	21.06	3.7	-8.4
66.4063	0.0568	0.3522	-21.0337	-13.8398	5.28	23.87	2.7	3.66
45.3125	0.36	0.9985	-21.9045	-19.9255	17.2	-25.41	22.77	-34.07
34.4727	0.3191	0.9007	-43.3048	-32.0417	7.79	13.22	15.67	8.06
24.4141	0.7059	1.4827	-42.6961	-36.9371	9.68	8	20.93	5.22
19.5313	0.8804	1.929	-52.1081	-41.6305	11.84	2.85	24.37	2.97
17.1875	0.9265	1.9425	-55.7124	-43.7313	14.76	8.06	30.85	10.62
11.7188	0.9513	2.1393	-50.943	-38.1055	14.72	7.37	30.68	10.11
8.3008	1.2087	2.9578	-58.8529	-50.5468	11.93	9.56	36.42	15.43
7.8125	1.151	2.7319	-62.4675	-53.6607	18.4	10.55	49.02	15.81
5.6641	1.3172	3.4055	-61.6908	-49.9042	17.27	10.88	45.97	18.41
3.8086	1.1714	3.6845	-66.4024	-55.9932	14.6	11.67	40.59	22.52
3.4473	0.4839	1.6949	-57.0285	-54.2782	14.39	7.62	41.05	20.85
2.4414	1.019	3.5856	-66.2809	-61.5443	16.19	13.12	44.34	30.85
1.7188	0.9895	3.0254	-66.6731	-62.4374	12.56	8.31	39.47	26.59
1.4648	1.051	4.1454	-64.9393	-64.4808	25.78	12.07	61.71	24.99
1.2012	1.1891	3.8003	-67.2823	-68.3099	22.51	9.63	56.32	27.87
0.9766	1.166	3.9794	-64.9615	-60.248	-60.92	11.8	-17.27	30.22
0.8301	1.4996	4.8342	-67.126	-64.84	24.99	9.49	63.98	28.45
0.5664	1.5231	4.5081	-70.5622	-74.6407	9.08	12.04	28.61	25.92
0.3809	2.2208	6.5818	-70.9038	-48.5489	-64.26	14.52	-23.75	37.93
0.2441	2.6922	8.6389	-37.1298	-26.218	-61.08	21.26	-22.03	45.63
0.1465	3.4654	10.9604	-46.6897	-44.6514	25.51	23.27	63.92	54.56
0.1221	3.1655	11.6993	-63.7053	-69.4839	21.13	-61.92	53.73	-25.08
0.0977	4.3519	16.459	-49.9663	-47.6756	-63.19	22.37	-18.13	49.82
0.0601	5.1345	15.0704	-53.6182	-48.099	-62.06	21.77	-18.39	45.28
0.0415	5.6694	18.3734	-52.0671	-43.1651	-62.66	26.07	-15	62.91
0.0305	6.4419	22.3747	-55.3331	-39.8873	-62.21	-63.29	-12.87	-25.88
0.0283	6.4747	22.6423	-54.0283	-41.4651	-62.25	25.06	-14.08	64.53
0.0215	7.0828	26.7528	-53.6361	-41.7251	-60.89	-65.04	-10.89	-22.76
0.019	7.501	27.0676	-54.1663	-41.6157	-60.48	24.73	-11.32	64.76
0.015	7.7801	32.2201	-54.5123	-37.1214	-60.51	23.11	-12.65	62.23
0.0104	9.5673	41.642	-50.5441	-36.4175	-60.13	23.71	-16.9	63.12
0.0073	10.3456	52.0938	-50.2306	-34.1747	-58.25	-62.54	-9.23	-19.33
0.0049	14.2694	75.8797	-38.8538	-38.3363	-56.54	-61.68	-4.73	-18.45
0.0031	16.3795	96.4628	-37.3261	-46.1544	-56.71	-61.25	-10.73	-23.17
0.0018	22.5067	129.804	-28.1789	-59.6172	-50.6	-59.14	11.5	-15.61
0.0012	37.7883	156.657	-24.3948	-33.2026	-54.4	30.31	8	55.61

جدول ب-۷- داده های سونداژ ODD پس از تجزیه تانسوری لیلی.

frequency	rhopyx	rhopyx	phipxy	phipyx	thetaer	thetaeq	thetahr	thetahq
120.1172	25000	0.1648	-160	-39.807	-12.02	-2.85	5.86	6.65
83.0078	25000	0.2238	-160	-32.0607	-9.34	-2.72	3.46	6.76
56.6406	25000	0.2947	-160	-26.436	11.03	-11.9	-21.99	11.4
38.0859	25000	0.3897	-160	-36.7426	-6.8	-6.56	-0.42	6.16
24.4141	25000	0.4865	-160	-40.0119	18.58	-5.62	-26.76	4.9
17.1875	25000	0.613	-160	-39.2897	4.21	-9.39	-13.67	6.98
14.6484	25000	0.6752	-160	-41.1097	12.16	-11.31	-22.96	7.98
12.0117	25000	0.796	-160	-37.9423	1.44	-10.63	-11.9	8.47
9.7656	25000	0.8552	-160	-35.8174	-8.55	-31.18	-5.94	14.48
5.6641	25000	1.2851	-160	-32.8438	-5.73	-21.54	-7.66	16.55
3.8086	25000	1.6565	-160	-29.1631	-7.31	-48.08	-6.9	41.92
2.4414	25000	2.2166	-160	-29.9635	-9.54	13.36	-3.92	-22.77
1.7236	25000	1.4632	-160	-11.8505	-6.85	-13.74	-10.25	-4.82
1.2207	25000	2.5592	-160	-32.2099	-8.51	-2.27	-4.6	-12.51
0.9766	25000	3.2715	-160	-39.2498	-7.88	-7.12	-10.32	-2.48
0.8594	25000	3.5352	-160	-42.0171	-9.66	-5.52	-7.08	-7.04
0.6006	25000	4.3203	-160	-49.3906	-10.69	-8.11	-7.18	-3.71
0.415	25000	4.9372	-160	-52.6637	-11.13	-9.7	-8.45	-2.65
0.3413	25000	5.1758	-160	-49.6338	-6.18	-15.57	-8.92	2.52
0.2832	25000	5.5737	-160	-56.8614	-10.47	-9.57	-13.08	-2.14
0.2427	25000	6.1935	-160	-53.2973	-11.36	-10.33	-10.22	-3.28
0.1904	25000	6.4309	-160	-56.1459	-7.35	-8.83	-17.41	-3.59
0.1724	25000	6.5533	-160	-53.7044	-4.23	-15.46	-15.45	5.22
0.1221	25000	7.8966	-160	-53.6989	-8.74	-9.91	-20.69	-4.66
0.0859	25000	8.5928	-160	-62.312	-12.41	-10.09	-14.9	-3.78
0.0601	25000	10.0194	-160	-58.486	-10.62	-10.22	-23.24	-6.02
0.0488	25000	11.6351	-160	-56.3848	-10.13	-9.87	-23.65	-7.01
0.0415	25000	11.818	-160	-57.5089	-9.79	-9.54	-30.65	-9.17
0.0303	25000	13.1767	-160	-57.2694	-10.25	-9.1	-33.45	-13.16
0.0283	25000	13.8701	-160	-58.5368	-10.73	-9.07	-32.89	-12.62
0.0215	25000	15.0771	-160	-58.833	-10.06	-8.46	-36.62	-16.89
0.019	25000	15.7042	-160	-60.4609	-11.14	-8.23	-34.82	-19.32
0.0153	25000	16.008	-160	-61.7654	-11.27	-7.81	-37.3	-23.3
0.0122	25000	16.6359	-160	-62.6894	-12.55	-6.83	-30.98	-28.04
0.0073	25000	18.6438	-160	-58.6056	-15.67	-6.86	-17.64	-32.32
0.0052	25000	20.8177	-160	-56.2107	-18.19	-4.94	-9.1	-37.77
0.0049	25000	23.4031	-160	-52.9241	-17.39	-6.23	4.06	-32.1
0.0035	25000	23.1128	-160	-49.3665	-18.38	-4.37	4.81	-37.39
0.0015	25000	41.1517	-160	-36.9938	-19.85	-8.36	8.96	-20.45

جدول ب-۸- داده های سونداژ PIT پس از تجزیه تانسوری لیلی.

frequency	rhopyx	rhopyx	phipxy	phipyx	thetaer	thetaeq	thetahr	thetahq
120.1172	0.2004	0.4743	-25.0201	-12.2202	23.98	41.66	26.82	40.99
83.0078	0.2977	0.7109	-26.7626	-15.2542	26.01	4.6	31.75	-3.3
56.6406	0.4123	1.0244	-30.5927	-17.4939	25.14	11.32	32.61	7.47
38.0859	0.5258	1.5003	-31.3901	-21.7488	25.96	13.67	35.48	12.99
24.4141	0.735	2.1764	-35.9035	-28.4086	28.51	15.94	39.23	15.43
17.1875	0.9009	2.8874	-41.6502	-33.6645	31.01	18.44	44.58	18.29
14.6484	0.9447	3.2041	-41.8212	-34.4902	29.95	19.22	43.67	20.21
12.0117	1.1353	3.7178	-46.1616	-37.4927	31.63	20.84	46.37	22.57
9.7656	1.0894	3.9588	-49.6731	-42.4621	32.65	22.96	50.92	24.34
8.3008	1.2765	4.6316	-53.5617	-43.5412	33.69	22.97	54.18	24.24
5.6641	1.4242	5.4214	-61.1687	-50.7485	-53.84	25.91	-27.95	29.03
3.8086	1.6102	6.3954	-72.6547	-52.0441	-54.61	31	-11.44	37.47
2.4414	1.67	7.2827	-81.2764	-54.1846	-54.93	32.59	-4.55	47.09
1.4648	2.0691	7.2254	-79.9346	-55.5676	-53.08	-52.27	-0.69	-30.53
1.2207	1.0812	5.02	-45.2012	-43.0048	-48.72	-49.45	-22.39	-19.17
0.9766	1.7661	7.4613	-58.7782	-54.4838	-53.74	-51.56	-12.41	-27.83
0.8594	2.0837	8.0061	-71.6249	-55.9443	-48.13	-51.27	-5.5	-23.37
0.6006	2.0761	8.7019	-69.6112	-59.8432	-51.11	-50.72	-8.39	-18.58
0.415	2.5765	9.7058	-65.9101	-58.765	-52.55	-48.38	-6.17	-15.83
0.2832	2.9287	11.6685	-64.9096	-55.2002	-57.18	-48.57	-11.17	-14.92
0.1904	3.1388	12.9375	-60.4673	-56.0528	-60.68	-51.27	-18.01	-15.13
0.1724	5.0545	17.3238	-37.6913	-41.1784	-63.2	-55.76	-25.55	-4.92
0.1221	3.648	16.5829	-49.1253	-56.4802	-63.51	-51.45	-21.91	-8.87
0.0859	4.3935	21.3868	-61.4144	-50.3846	26.22	-51.03	56.12	-9.33
0.0732	4.97	29.9147	-50.0167	-47.1632	22.51	-54.97	28.24	-5.8
0.0601	4.0331	27.0711	-57.3501	-43.9865	24.34	-51.11	53.9	-4.72
0.0488	5.4309	37.4363	-57.9975	-35.4136	22.94	-57.42	29.71	-15.71
0.0303	5.2317	41.1504	-63.4614	-35.9616	22.83	-54.37	39.62	-9.93
0.0283	5.6143	43.1141	-60.8152	-35.249	23.08	-54.75	38.74	-10.13
0.0215	6.7249	51.6162	-65.2466	-33.2893	23.07	-58.14	36.29	-21.49
0.019	7.0672	56.2248	-64.7655	-30.4471	23.35	-58.65	32.41	-21.75
0.0153	7.831	64.2147	-68.3273	-30.9573	23.66	28.83	33.4	60.3
0.0107	8.1431	78.9416	-66.4447	-30.4633	23.49	-60.4	34.83	-26.96
0.0073	8.5893	105.6519	-64.112	-31.3701	23.58	24.28	37.42	42.87
0.0052	10.9038	133.3497	-69.4498	-36.2636	24.71	23.92	32.25	37.65
0.0049	12.138	139.3312	-75.6692	-37.6286	25.39	23.57	38.92	36.73
0.0035	11.1148	167.5345	-64.7985	-35.3723	23.76	23.19	31.66	35.52
0.0024	9.3155	217.9816	-59.5634	-42.2774	24.45	23.11	27.04	27.75
0.0015	10.3693	279.7221	-56.0823	-44.978	24.98	23.87	33.64	34.68

جدول ب-۹- داده های سونداژ SWD پس از تجزیه تانسوری لیلی.

frequency	rhopyx	rhopyx	phipxy	phipyx	thetaer	thetaeq	thetahr	thetahq
120.1172	0.0338	0.1292	-23.2163	-62.9203	12.28	-35.31	11.57	-0.24
83.0078	0.0441	0.1522	-12.3168	-60.6234	7.25	-36.6	4.27	-1.15
56.6406	0.057	0.18	-11.1957	-59.7076	6.54	-35.02	4.12	-0.49
38.0859	0.0758	0.1909	-8.1822	-52.0199	3.56	-34.24	0.2	-0.64
24.4141	0.1082	0.2063	-10.4223	-46.7943	4.78	-36.82	1.98	0.22
17.1875	0.148	0.2502	-7.8893	-40.9742	5.45	-35	2.93	0.99
14.6484	0.1736	0.3009	-7.4661	-34.6871	-0.7	-33.01	-3.05	0.38
9.7656	0.2587	0.4033	-5.5466	-23.5224	-3.82	-30.16	-6.16	1.24
8.3008	0.2982	0.4257	-6.7074	-24.76	-4.16	-31.62	-7.06	3.67
5.6641	0.4159	0.6074	-6.8186	-21.024	-3.78	-33.45	-7.33	3.12
3.8086	0.5927	0.8239	-6.8461	-15.3994	1.18	-28.52	-1.62	9.7
3.4473	0.6788	0.9453	-2.8736	-10.3687	-12.74	-33.45	-14.54	-2.88
2.4414	0.9642	1.3471	-6.3221	-12.8544	-11.87	-25.75	-14.58	3.09
1.4648	1.4275	2.2334	-8.8093	-11.5291	-7.02	-26.98	-10.87	0.27
1.2012	1.7674	2.7351	-9.2523	-11.8074	-13.66	-23.32	-17.39	-3.24
0.8301	2.3471	3.764	-5.5716	-14.3091	-13.57	-21.38	-19.51	7.48
0.5664	3.2122	5.2768	-6.3315	-18.12	-19.49	-31.15	-22.6	-0.27
0.3809	4.4701	8.3803	-10.844	-18.1394	-32.38	-1.35	-36.06	22.05
0.3413	5.1174	13.8658	-43.6305	-27.2454	-30.59	-69.7	-4.64	0.28
0.2441	7.5436	13.9642	-1.9765	-22.0186	-41.85	1.88	-41.19	36.5
0.1724	15.3044	26.7005	-50.2323	-35.6877	-55.06	-19.09	-17.82	55.05
0.1465	14.4988	37.2804	-52.9758	-39.0959	-36.09	18.79	-27.38	27.41
0.1221	7.1371	20.6196	-39.8579	-63.9529	-36.23	-41.5	-20.74	12.65
0.0977	11.0461	39.859	-12.7196	-23.3307	-40.31	-14.81	-36.45	9.97
0.0859	9.4589	28.6976	-1.6204	-34.6114	-41.31	-34.44	-46.8	-2.83
0.0601	9.9651	40.035	-4.4272	-29.1131	43.57	-33.19	38.34	-1.01
0.0415	9.3233	50.9835	-2.2108	-28.1845	43.39	-33.77	37.58	-3.06
0.0305	8.7128	61.1429	-0.1096	-27.6497	42.3	-31.74	36.55	-4.23
0.0283	8.926	68.6603	-0.1514	-27.3572	41.74	-35.56	34.36	-6.35
0.0215	7.6485	82.8375	-7.6827	-27.284	41.62	-36.47	30.33	-11.49
0.019	8.5222	90.7003	-21.0089	-26.1362	41.56	-36.28	31.87	-11.84
0.015	25000	105.533	-160	-25.6325	41.44	-42.68	32.29	-18.46
0.0104	25000	139.057	-160	-26.2346	41.62	-44.76	32.46	-24.32
0.0073	25000	189.671	-160	-26.6767	42.03	-48.32	33.91	-28.89
0.0048	25000	245.731	-160	-29.957	42.04	-48.46	32.01	-32.68
0.0044	25000	265.585	-160	-38.9362	42.51	-49.12	29.35	-32.72
0.0031	25000	320.519	-160	-36.5314	42.79	-49.63	33.44	-35.52
0.0018	25000	373.394	-160	-38.1823	41	30.96	15.24	52.97
0.0012	25000	471.502	-160	-38.1979	41.83	24.61	5.72	60.31

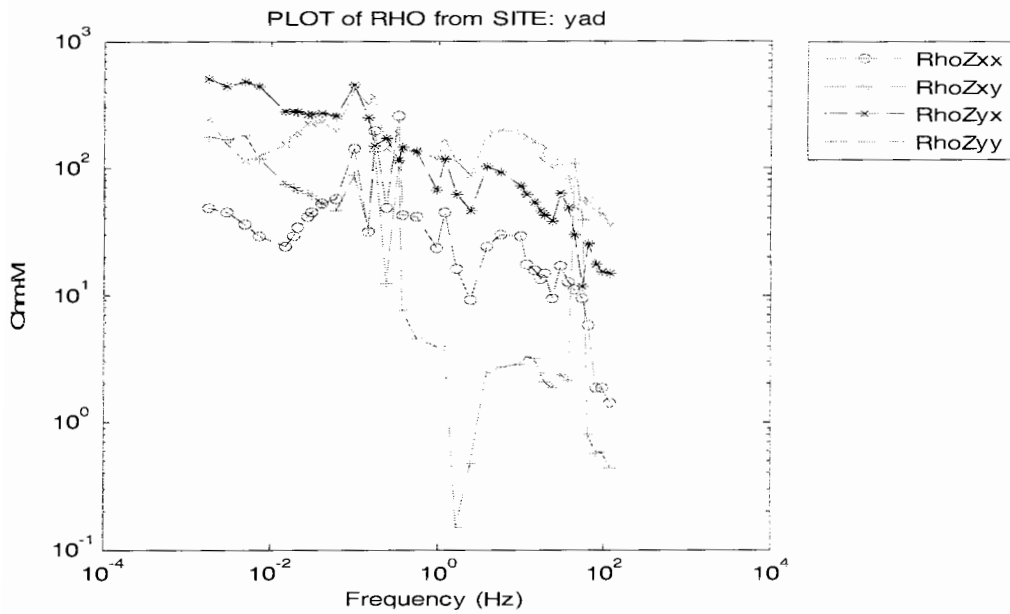


جدول ب-۱۰- داده های سونداژ YAD پس از تجزیه تانسوری لیلی.

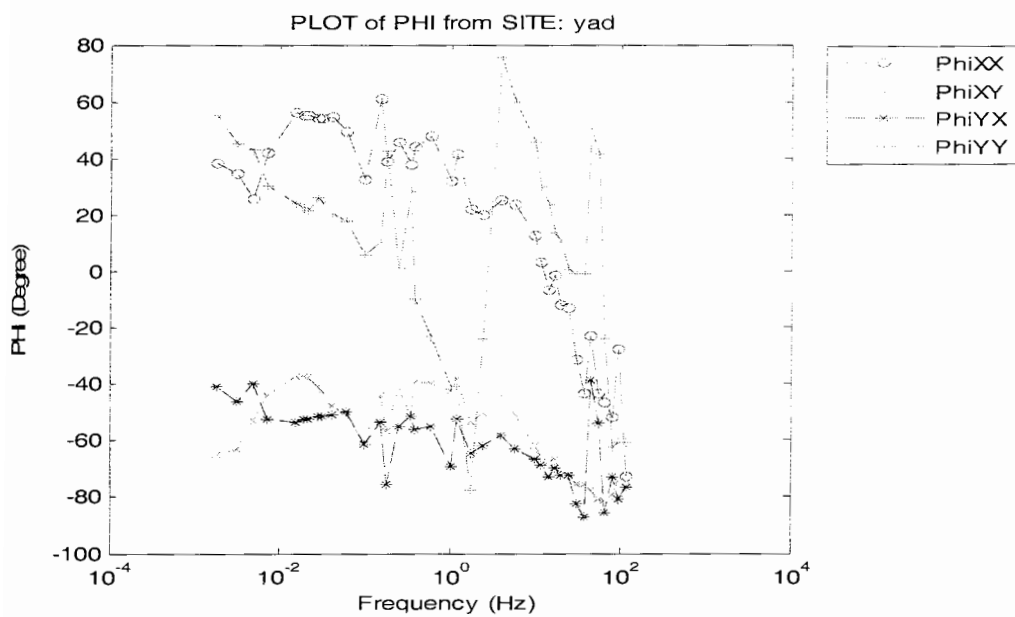
frequency	rhopyx	rhopyx	hipxy	hipyx	thetaer	thetaeq	thetahr	thetahq
120.1172	0.1515	0.2514	-4.7961	-20.621	-9.21	27.35	-9.39	40.47
96.0938	0.1661	0.3157	-4.5631	-16.8446	-13.38	25.27	-18.03	24.47
83.0078	0.19	0.3471	-5.0233	-17.1618	-10.66	39.54	-13.31	49.33
66.4063	25000	0.4509	-160	-14.8009	-21.2	14.01	-24.91	58.67
56.6406	0.1559	0.6158	-66.1188	-26.4419	-35.52	0.93	-21.59	64.84
45.3125	0.1244	0.9274	-79.5476	-40.4004	-44.75	4.27	-25.63	62.95
38.0859	0.4161	0.781	-1.8163	-18.1042	-29.6	4.39	-33.63	47.79
30.4688	0.5186	1.0015	-6.2053	-15.8788	-29.8	11.92	-35.97	43.8
24.4141	0.4716	0.9971	-19.4962	-16.5506	-22.06	11.1	-28.07	19.55
19.5313	0.5606	1.3304	-20.3976	-17.0489	-18.47	3.12	-26.03	13.7
17.1875	0.6028	1.3167	-23.9298	-20.2947	-23.5	-5.56	-30.91	-1.37
14.6484	0.7247	1.6327	-20.3099	-19.9975	-21.12	-7.35	-27.96	2.75
11.7188	0.8624	1.9033	-23.681	-22.7509	-21.55	-13.31	-29.18	-8.49
9.7656	0.9996	2.2388	-24.4735	-25.6265	-22.34	-18.85	-33.88	-18.54
5.6641	1.4628	3.0344	-28.2913	-35.5634	-28.4	-17.98	-40.56	-21.27
3.8086	1.9084	3.593	-33.8296	-41.1396	-33.65	-18.52	-46.09	-20.69
2.4414	1.817	2.9062	-28.4007	-37.0082	-23.12	-10.14	-37.7	-14.76
1.7188	2.3383	4.0811	-26.6166	-33.1607	-27.92	-12.87	-41.53	-19.49
1.2012	3.5728	6.5043	-35.4982	-47.8081	51.42	-23.78	30.05	-34.36
0.9766	3.21	5.7655	-18.3378	-42.5225	52.25	-15.39	31.88	-22
0.5664	5.4128	9.1048	-33.0205	-46.0181	36.09	-26.12	16.07	-40.18
0.3809	6.8497	11.2605	-34.1323	-43.9173	28.98	-25.7	6.21	-40.08
0.3413	11.3469	16.2512	-32.4972	-38.1931	-3.3	-12.85	-52.13	-57.21
0.2441	9.5391	14.7291	-34.4252	-42.9237	24.84	-28.28	0.79	-45.3
0.1724	17.3546	25.8817	-25.1704	-36.5387	2.48	21.91	-32.44	-29.47
0.1465	17.3072	23.8488	-36.7136	-43.3625	-32.43	-16.94	-50.78	-32.01
0.0977	30.9528	35.7797	-21.318	-32.1387	36.79	54.28	8.77	34.36
0.0601	26.482	33.7067	-34.7397	-41.2866	-11.92	45	-38	22.85
0.0415	33.1345	43.0522	-38.4305	-40.7754	-16.84	55.25	-41.19	32.92
0.0305	37.7262	49.655	-43.5558	-40.3178	-12.25	-21.43	-37.81	-43.92
0.0283	39.1609	51.5656	-45.3711	-40.2807	-11.74	-17.47	-37.62	-39.66
0.0215	41.5365	59.9573	-48.3621	-38.0054	-7.41	-23.17	-33.75	-43.51
0.019	43.838	63.0852	-50.105	-37.1082	-8.22	-20.8	-34.86	-40.81
0.015	47.2871	69.8299	-52.5777	-34.5023	-7.36	-34.51	-34.08	-55.49
0.0073	64.8003	123.412	-44.877	-35.5017	-1.09	1.06	-29.72	-22.75
0.0049	78.3797	163.323	-33.9615	-47.927	-2.41	-2.72	-36.25	-29.79
0.0031	113.1726	198.138	-28.3943	-43.7976	-5.92	0.99	-34.87	-31.73
0.0018	176.1962	277.06	-27.6055	-49.7422	-25.85	0.52	-50.12	-32.57

پیوست (ج):

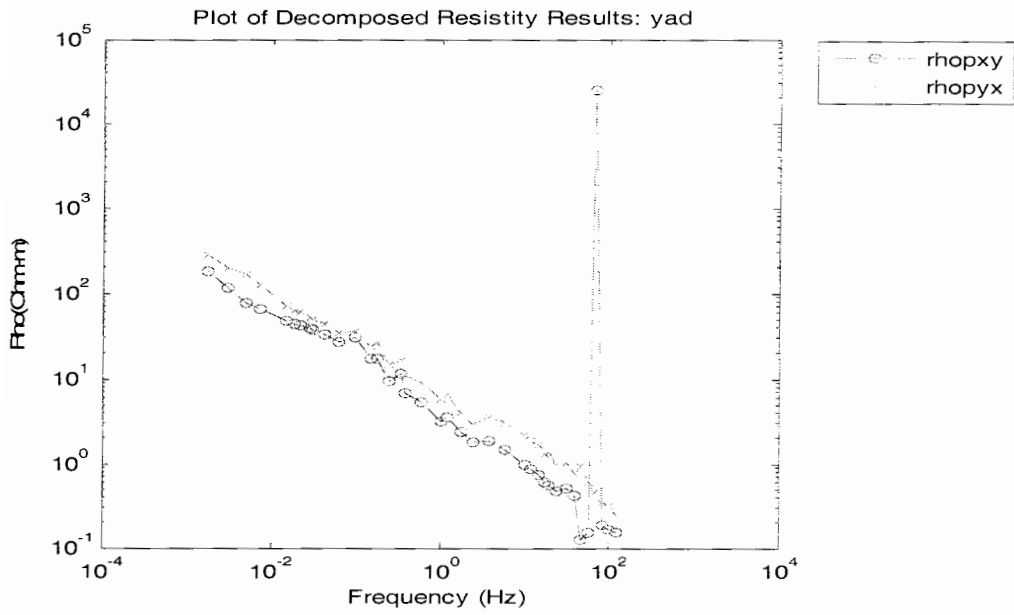
نمودار های مقاومت و فاز تک تک سونداژ ها قبل و بعد از تجزیه تانسوری  
لیلی و نیز مقادیر قسمت های حقیقی و موهومی  $\theta_e$  و  $\theta_h$  بر حسب فرکانس



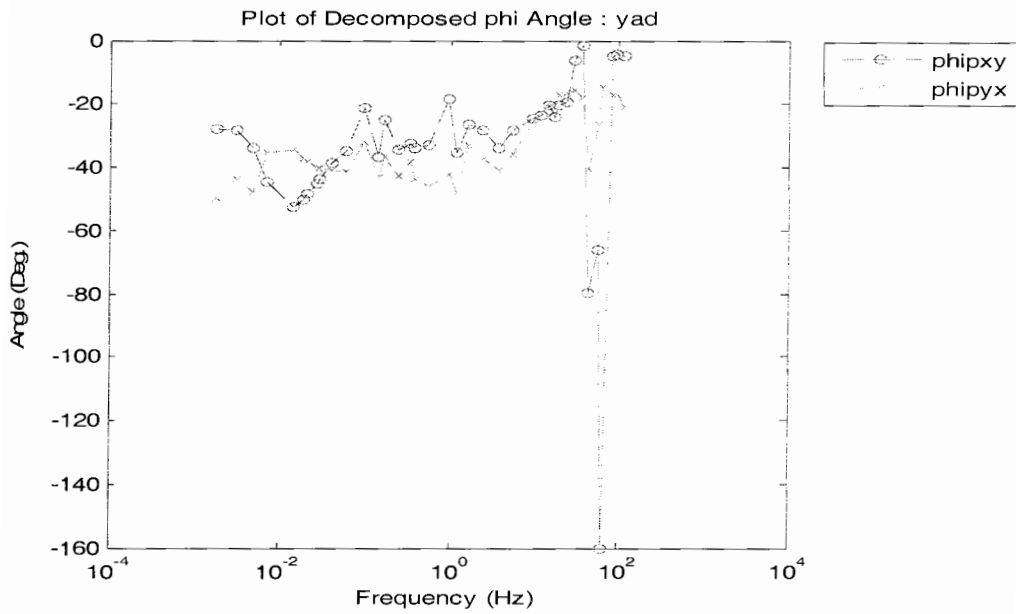
شکل ج-۱- نمودار مقاومت ویژه عناصر تانسور امیدانس سونداژ YAD داده های خام.



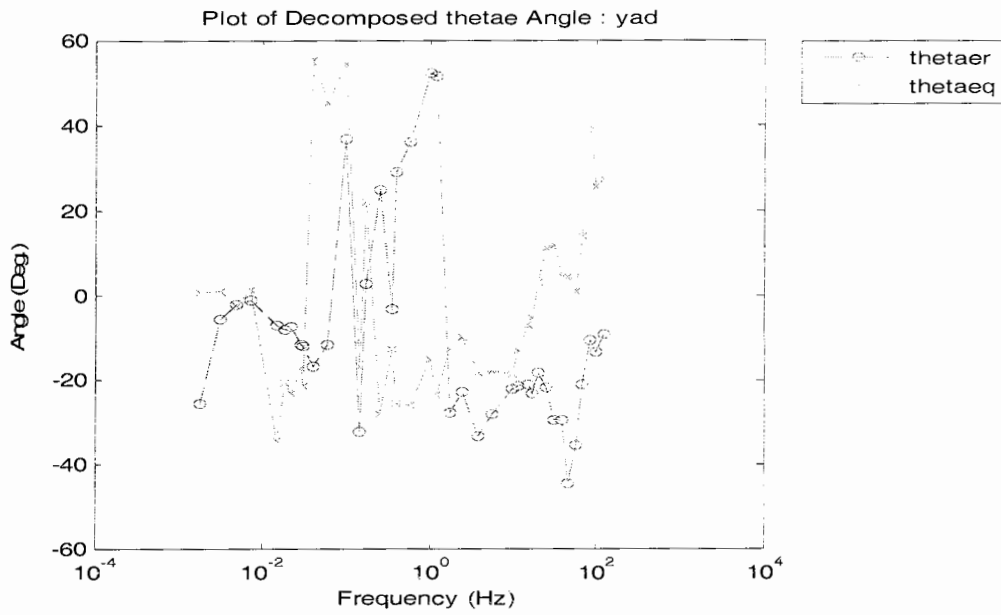
شکل ج-۲- نمودار فاز عناصر تانسور امیدانس سونداژ YAD داده های خام .



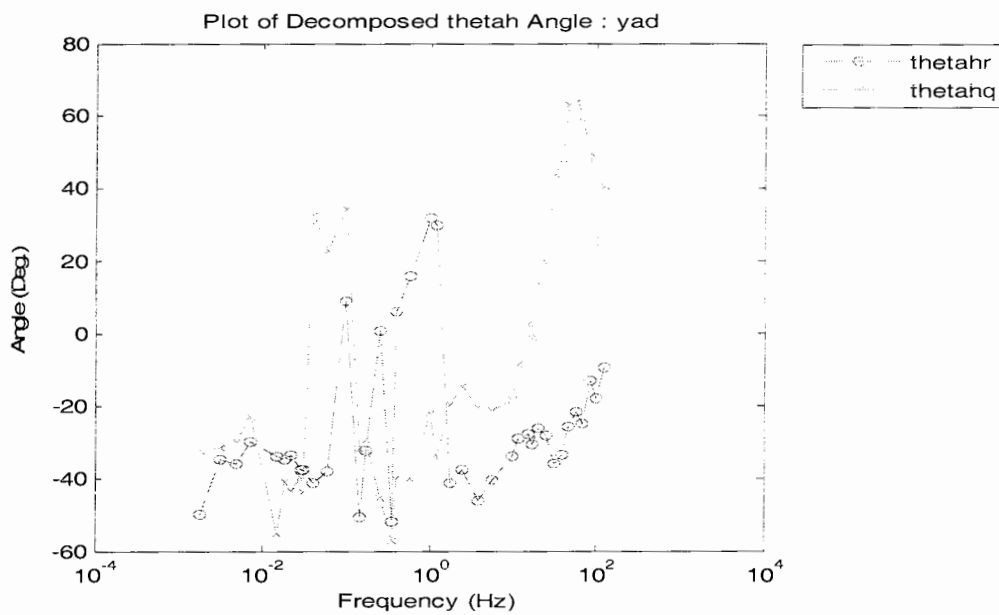
شکل ج-۳- نمودار مقاومت ویژه عناصر تانسور امیدانس سونداژ YAD بعد از تجزیه تانسوری لیلی.



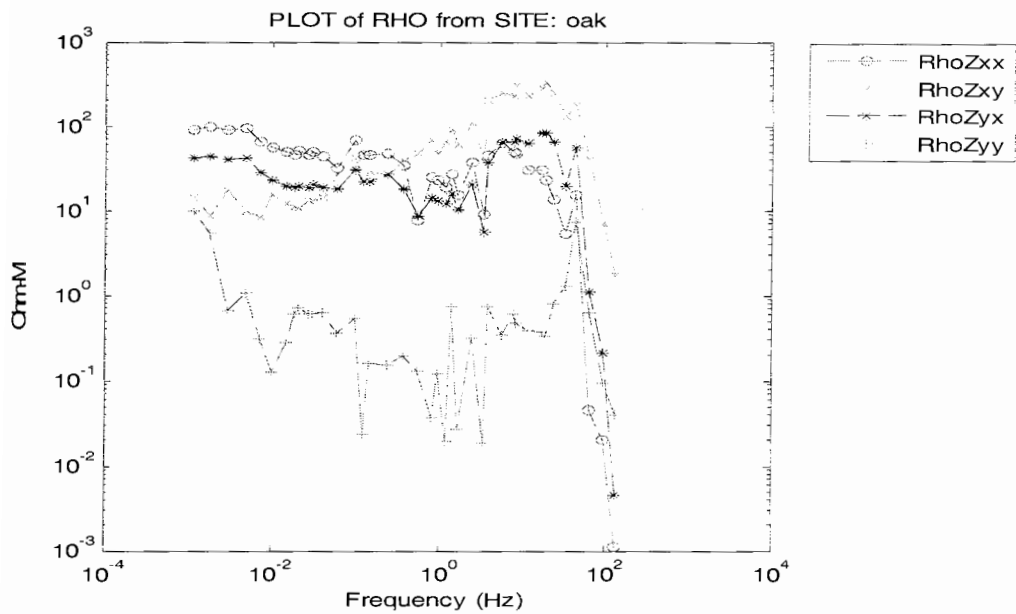
شکل ج-۴- نمودار فاز عناصر تانسور امیدانس سونداژ YAD بعد از تجزیه تانسوری لیلی.



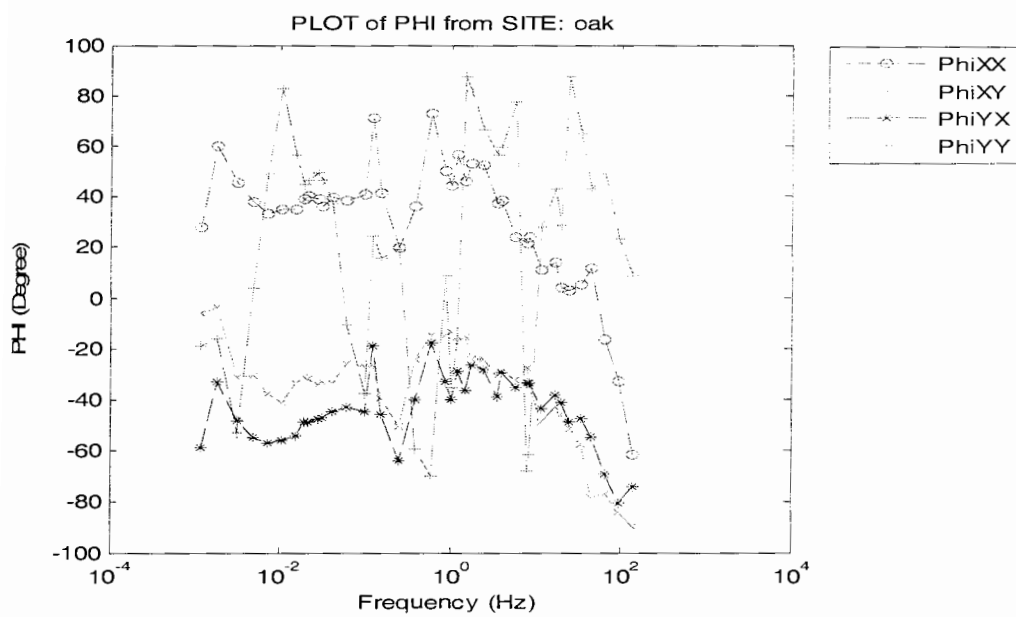
شکل ج-۵- نمایش مقادیر قسمت‌های حقیقی و موهومی  $\theta_e$  حاصل از تجزیه تانسوری لیلی بر حسب فرکانس برای سونداژ YAD.



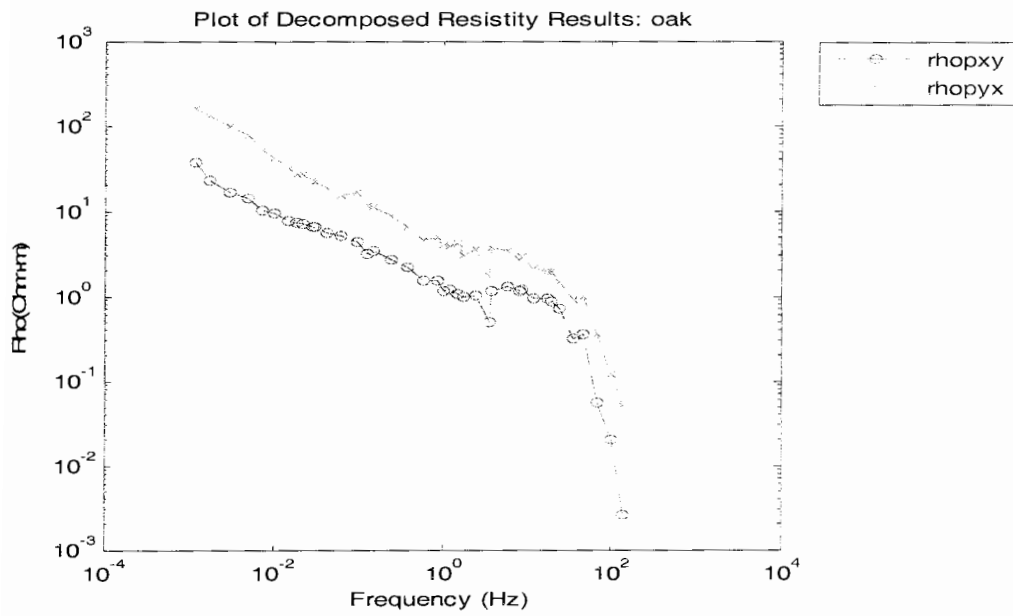
شکل ج-۶- نمایش مقادیر قسمت‌های حقیقی و موهومی  $\theta_h$  حاصل از تجزیه تانسوری لیلی بر حسب فرکانس برای سونداژ YAD.



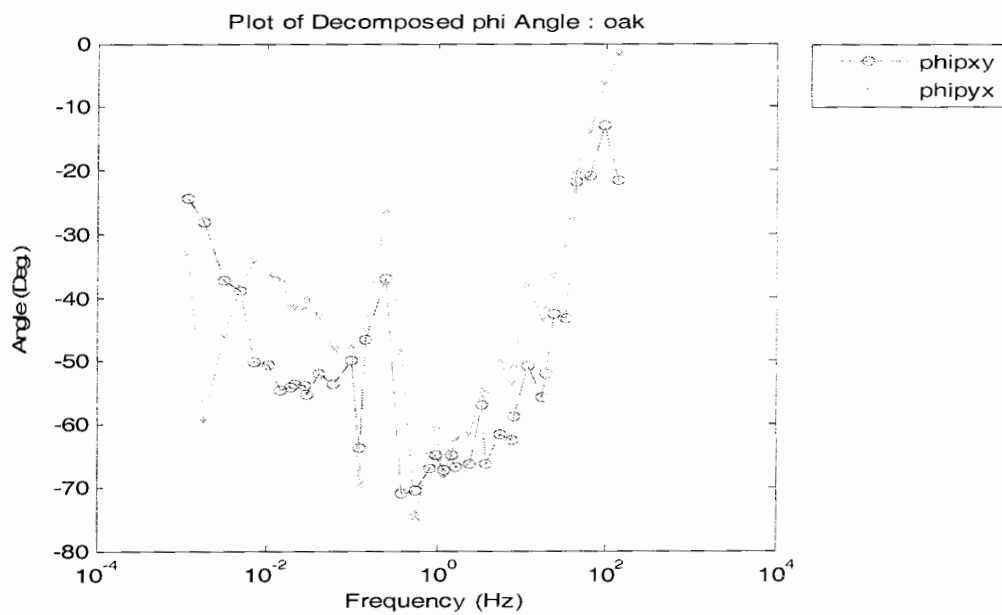
شکل ج-۷- نمودار مقاومت ویژه عناصر تانسور امیدانس سونداژ OAK داده های خام.



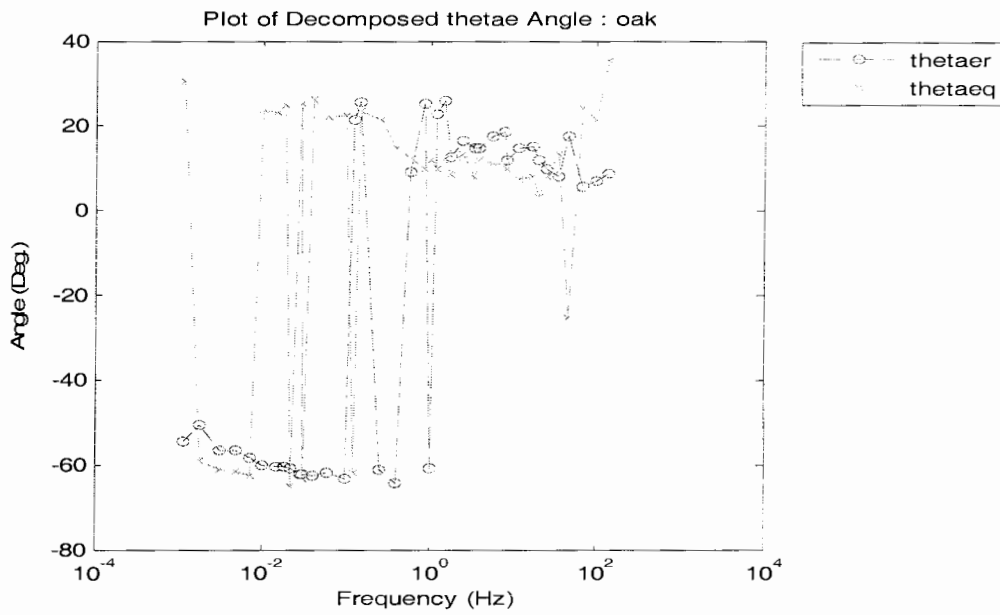
شکل ج-۸- نمودار فاز عناصر تانسور امیدانس سونداژ OAK داده های خام.



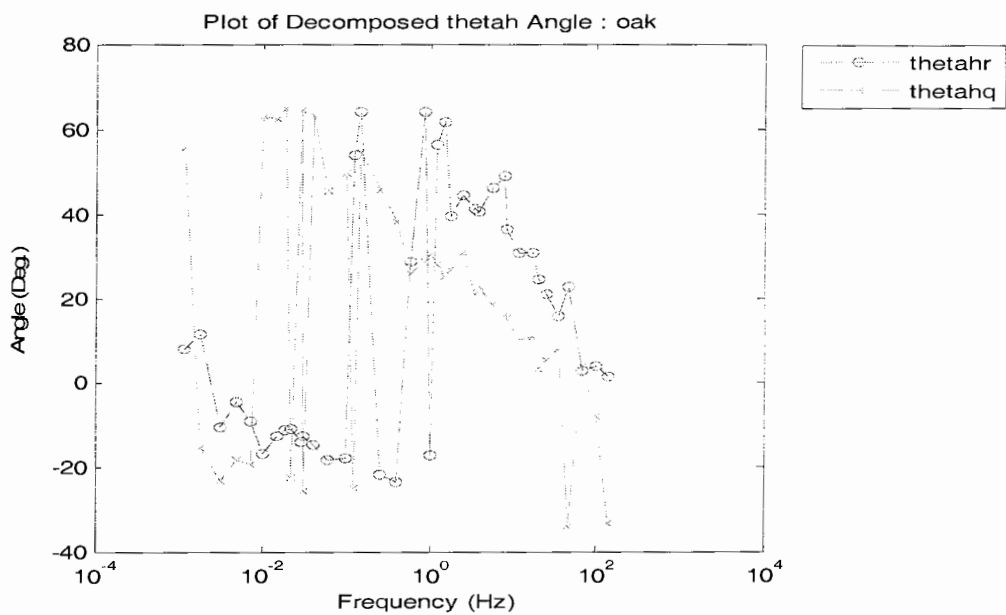
شکل ج-۹- نمودار مقاومت ویژه عناصر تانسور امیدانس سونداژ OAK بعد از تجزیه تانسوری لیلی.



شکل ج-۱۰- نمودار فاز عناصر تانسور امیدانس سونداژ OAK بعد از تجزیه تانسوری لیلی.

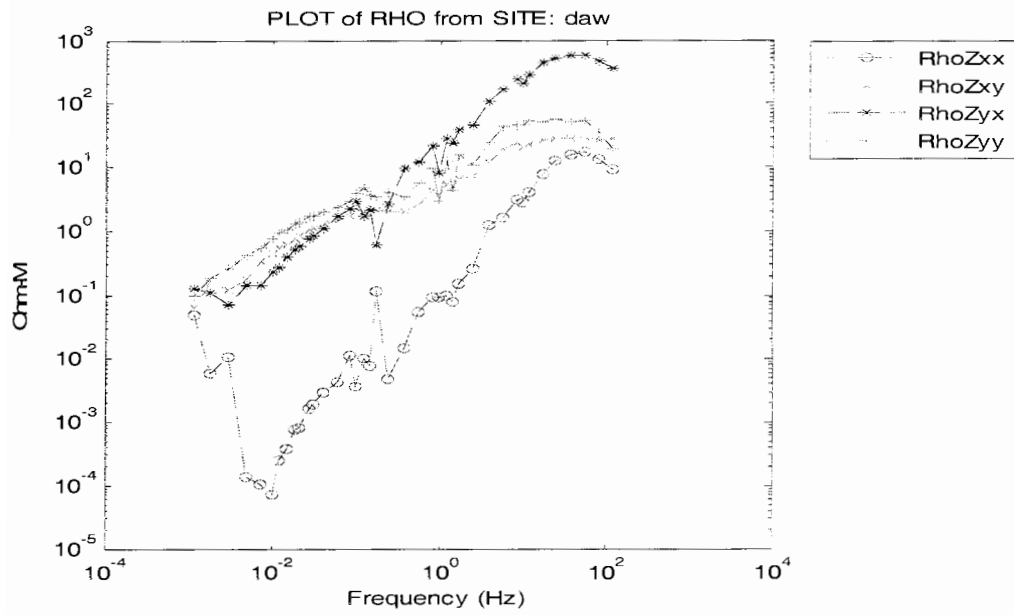


شکل ج-۱۱-نمایش مقادیر قسمتهای حقیقی و موهومی  $\theta_e$  حاصل از تجزیه تانسوری لیلی بر حسب فرکانس برای سونداژ OAK.

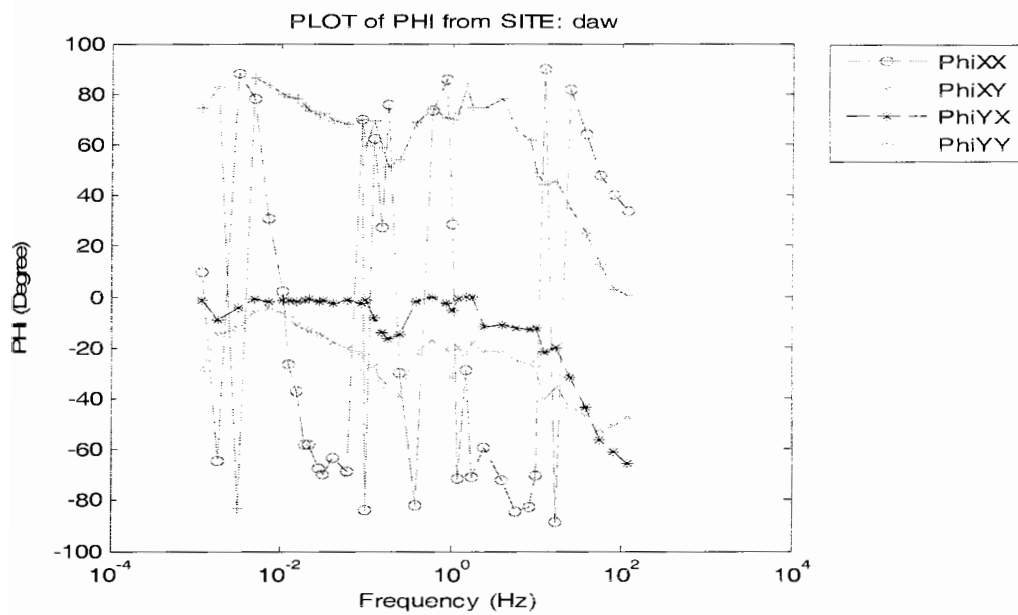


شکل ج-۱۲-نمایش مقادیر قسمتهای حقیقی و موهومی  $\theta_h$  حاصل از تجزیه تانسوری لیلی بر حسب فرکانس برای سونداژ OAK.

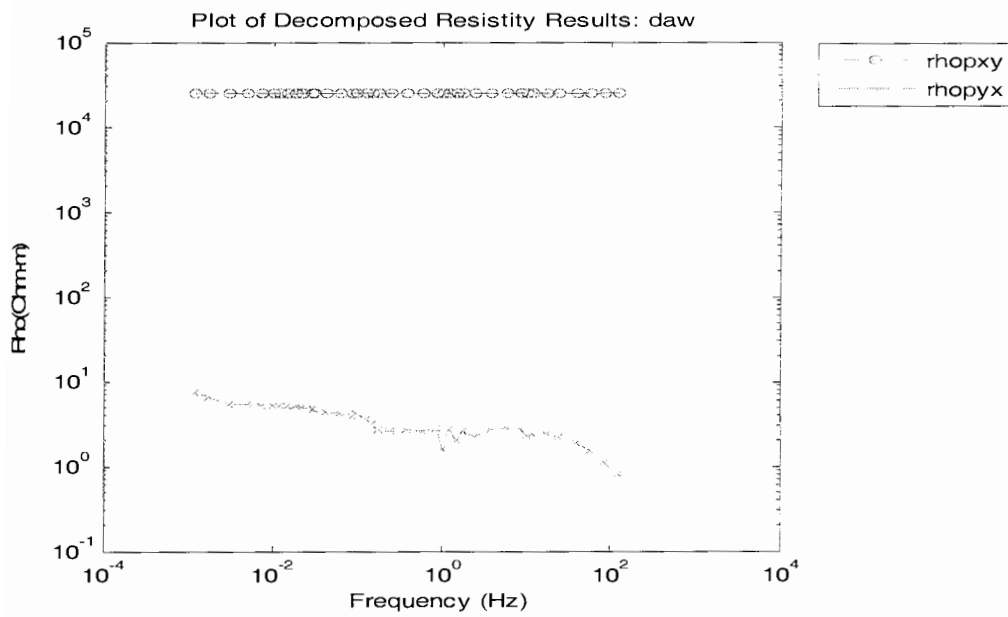




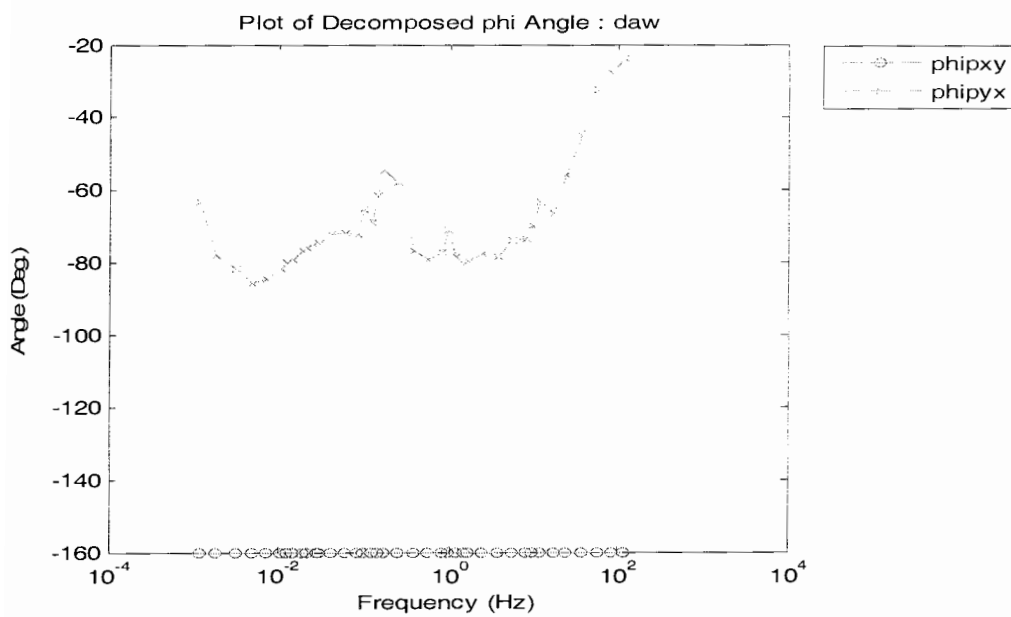
شکل ج-۱۳- نمودار مقاومت ویژه عناصر تانسور امیدانس سونداژ DAW داده های خام.



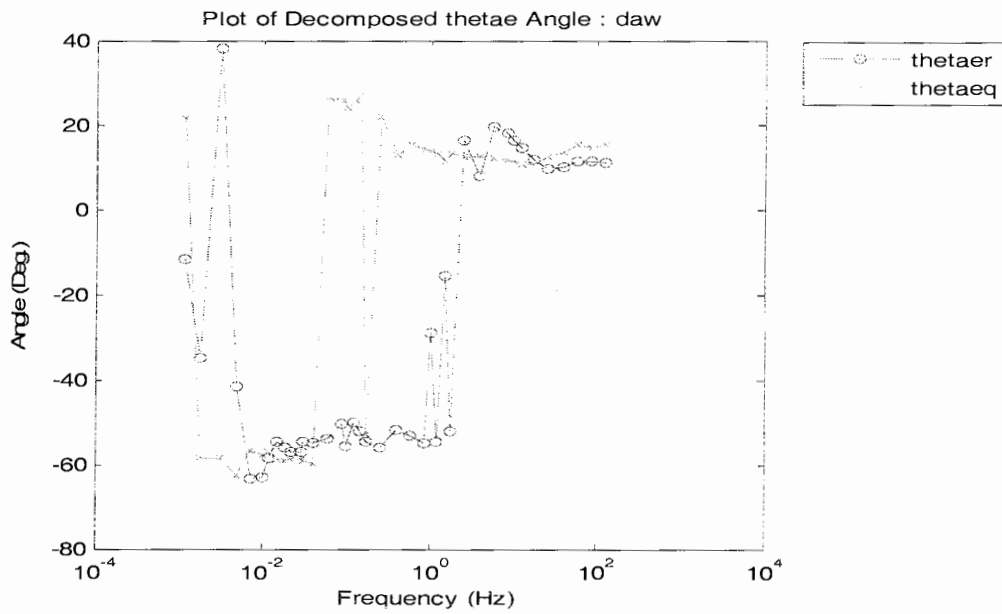
شکل ج-۱۴- نمودار فاز عناصر تانسور امیدانس سونداژ DAW داده های خام.



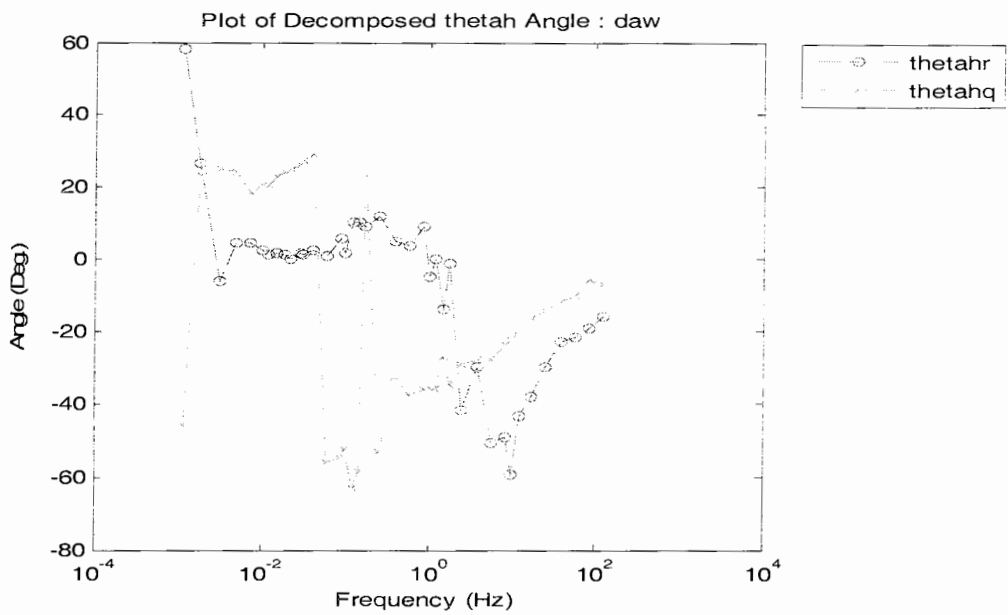
شکل ج-۱۵- نمودار مقاومت ویژه عناصر تانسور امیدانس سونداژ DAW بعد از تجزیه تانسوری لیلی.



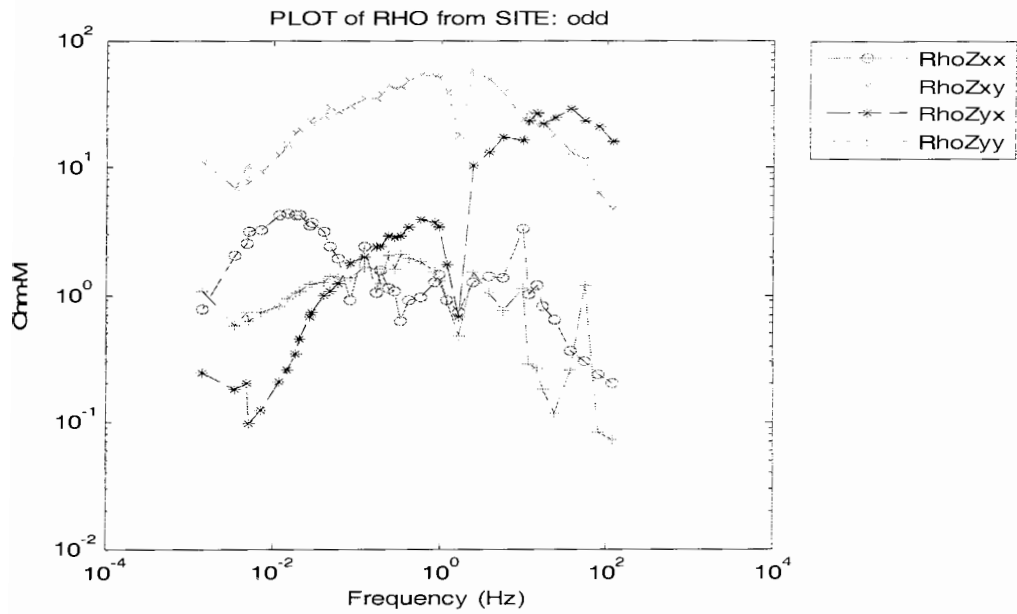
شکل ج-۱۶- نمودار فاز عناصر تانسور امیدانس سونداژ DAW بعد از تجزیه تانسوری لیلی.



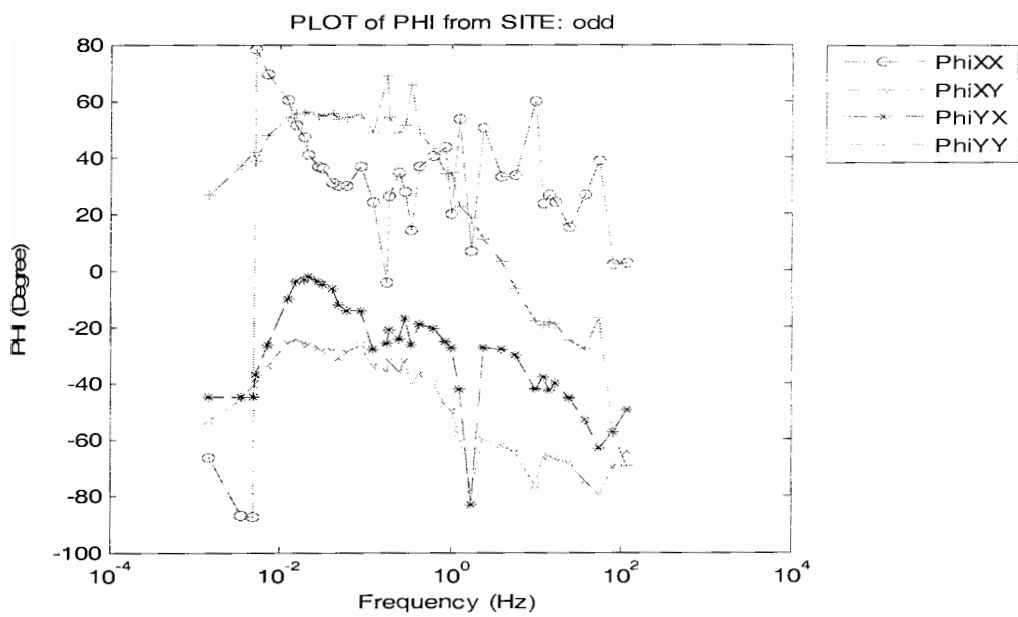
شکل ج-۱۷-نمایش مقادیر قسمتهای حقیقی و موهومی  $\theta e$  حاصل از تجزیه تانسوری لیلی بر حسب فرکانس برای سونداژ DAW.



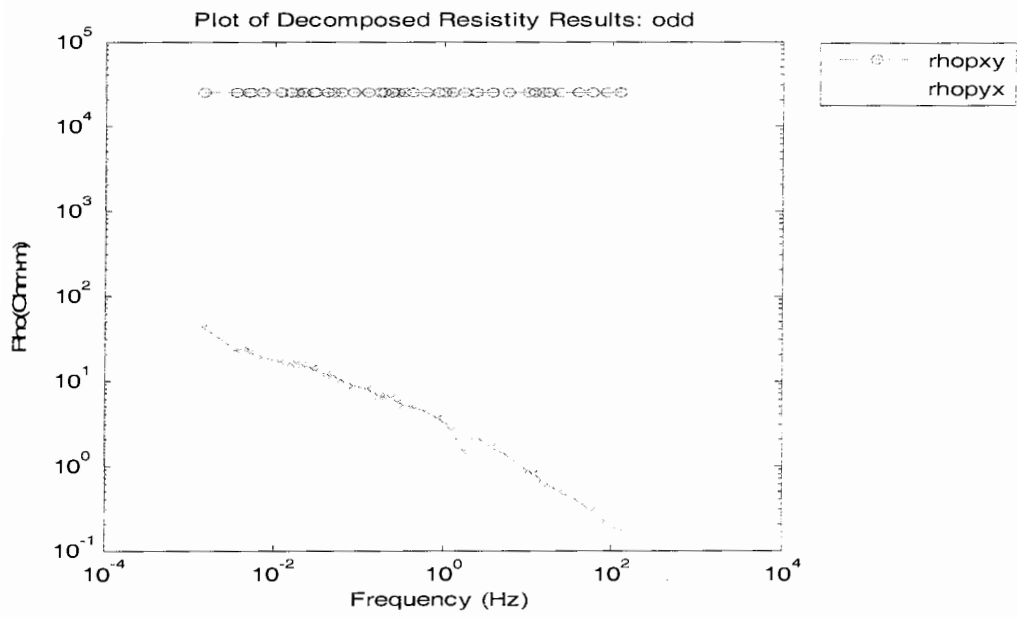
شکل ج-۱۸-نمایش مقادیر قسمتهای حقیقی و موهومی  $\theta h$  حاصل از تجزیه تانسوری لیلی بر حسب فرکانس برای سونداژ DAW.



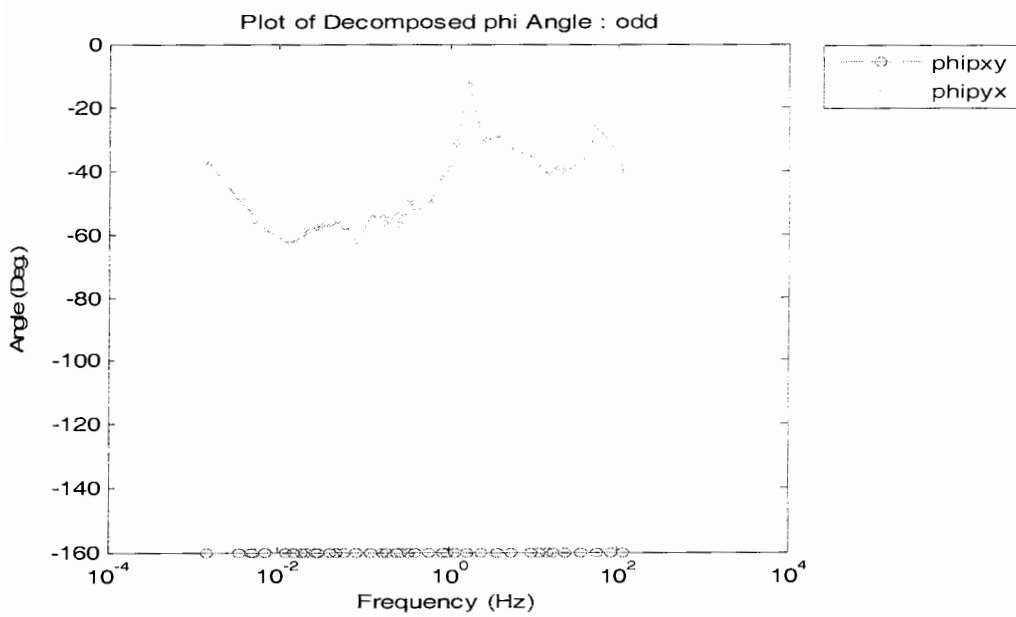
شکل ج-۱۹- نمودار مقاومت ویژه عناصر تانسور امپدانس سونداژ ODD داده های خام.



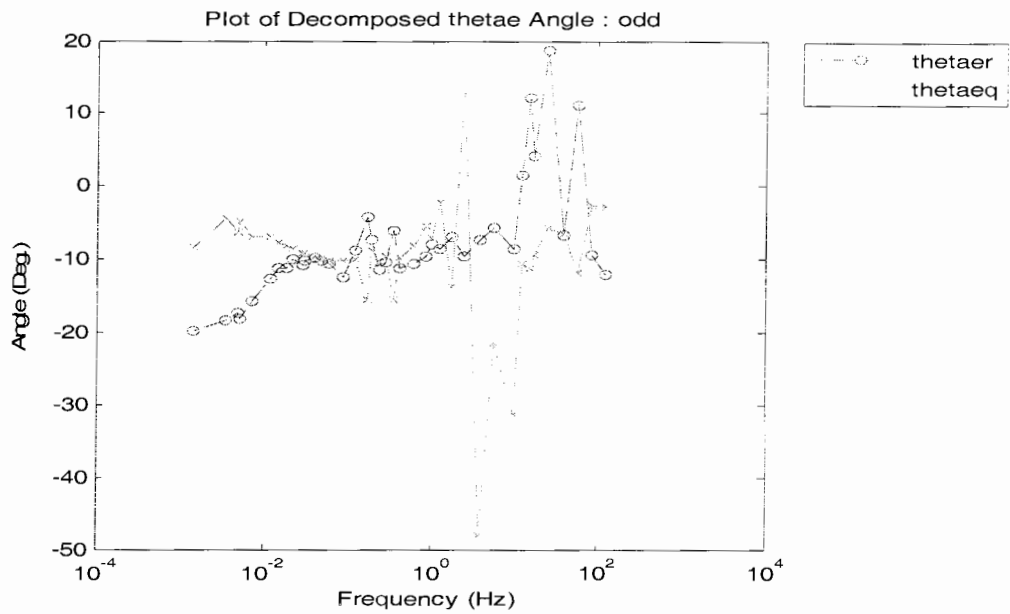
شکل ج-۲۰- نمودار فاز عناصر تانسور امپدانس سونداژ ODD داده های خام.



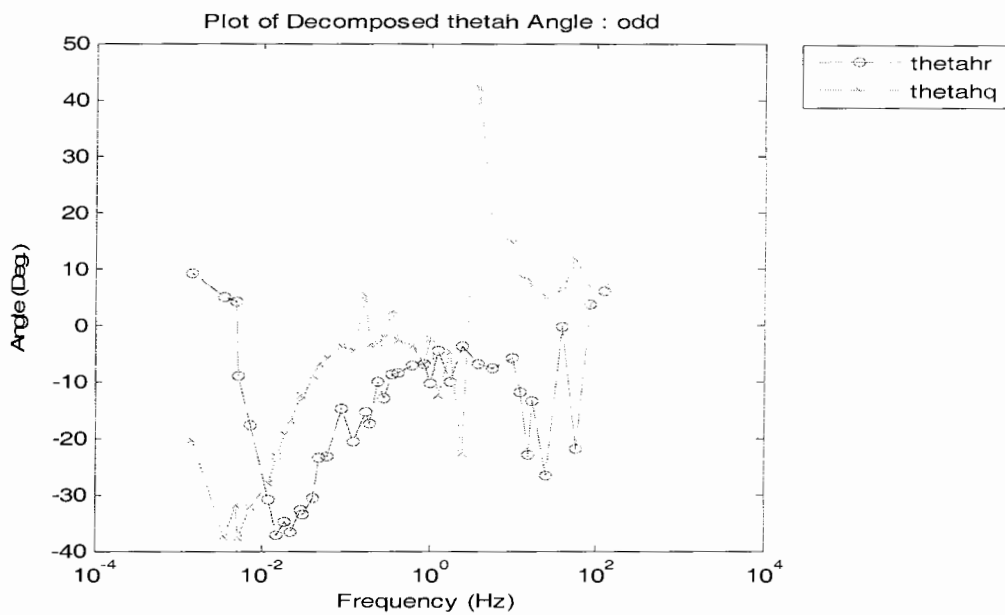
شکل ج-۲۱- نمودار مقاومت ویژه عناصر تانسور امیدانس سونداژ ODD بعد از تجزیه تانسوری لیلی.



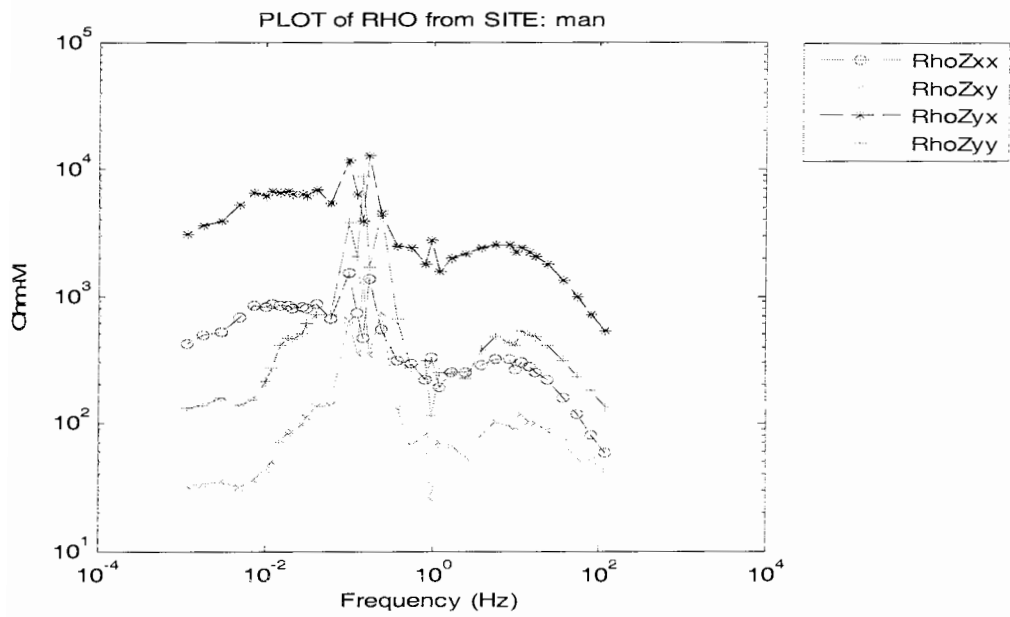
شکل ج-۲۱- نمودار فاز عناصر تانسور امیدانس سونداژ ODD بعد از تجزیه تانسوری لیلی.



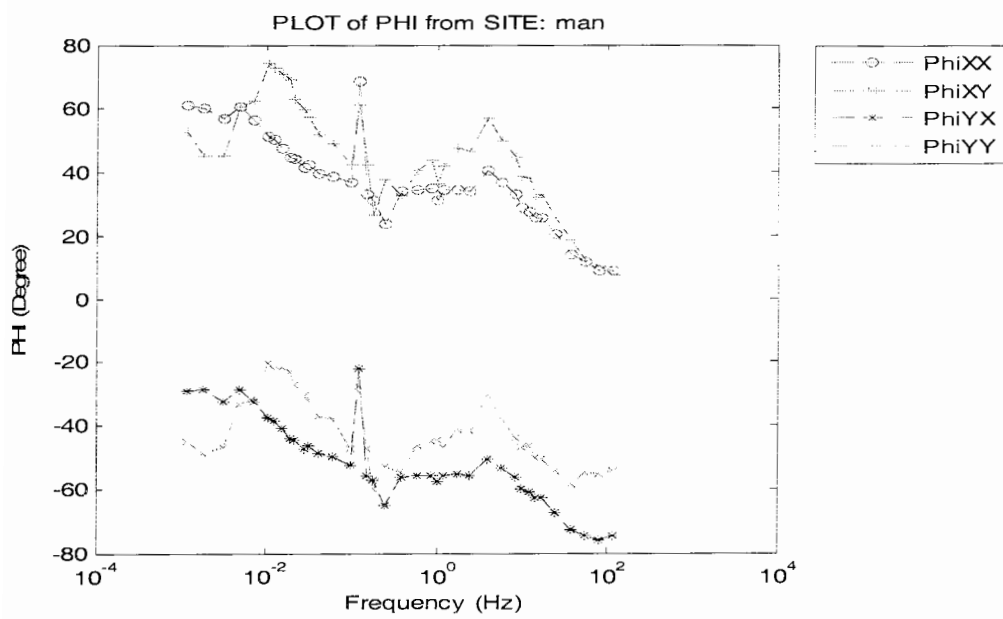
شکل ج-۲۲-نمایش مقادیر قسمت‌های حقیقی و موهومی  $\theta_e$  حاصل از تجزیه تانسوری لیلی بر حسب فرکانس برای سونداژ ODD.



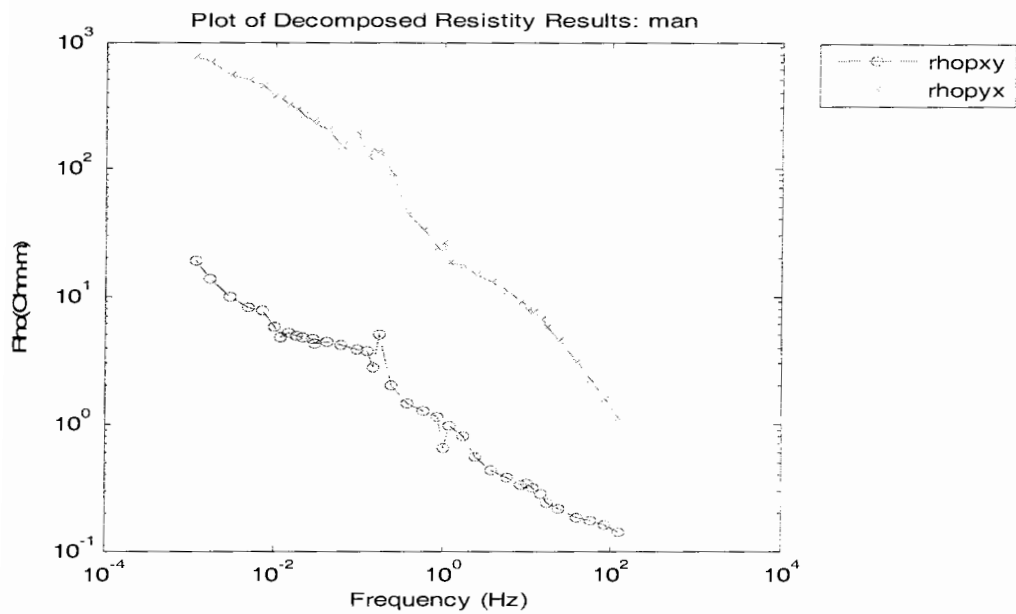
شکل ج-۲۳-نمایش مقادیر قسمت‌های حقیقی و موهومی  $\theta_h$  حاصل از تجزیه تانسوری لیلی بر حسب فرکانس برای سونداژ ODD.



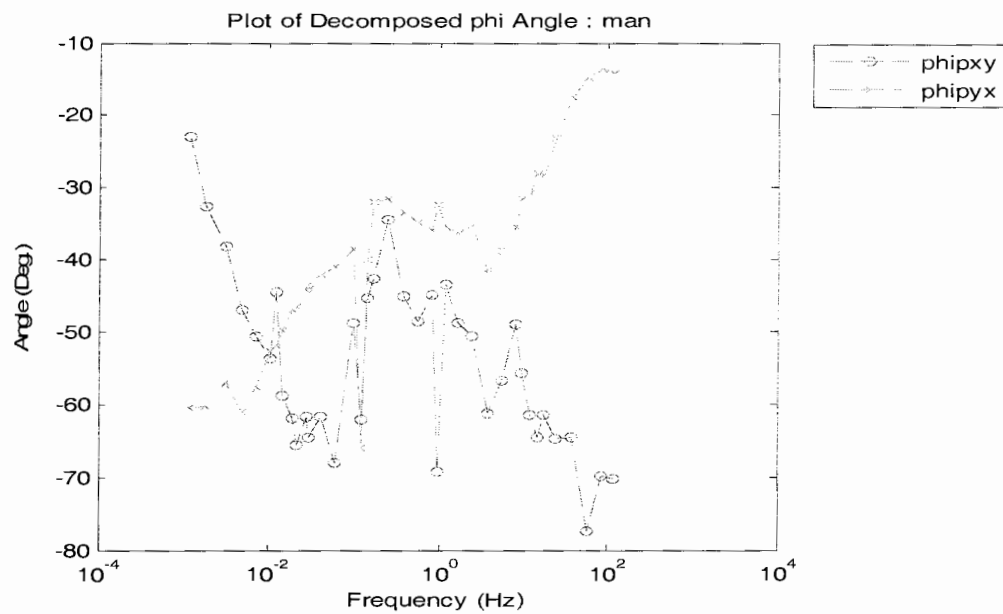
شکل ج-۲۴- نمودار مقاومت ویژه عناصر تانسور امیدانس سونداژ MAN داده های خام.



شکل ج-۲۵- نمودار فاز عناصر تانسور امیدانس سونداژ MAN داده های خام.

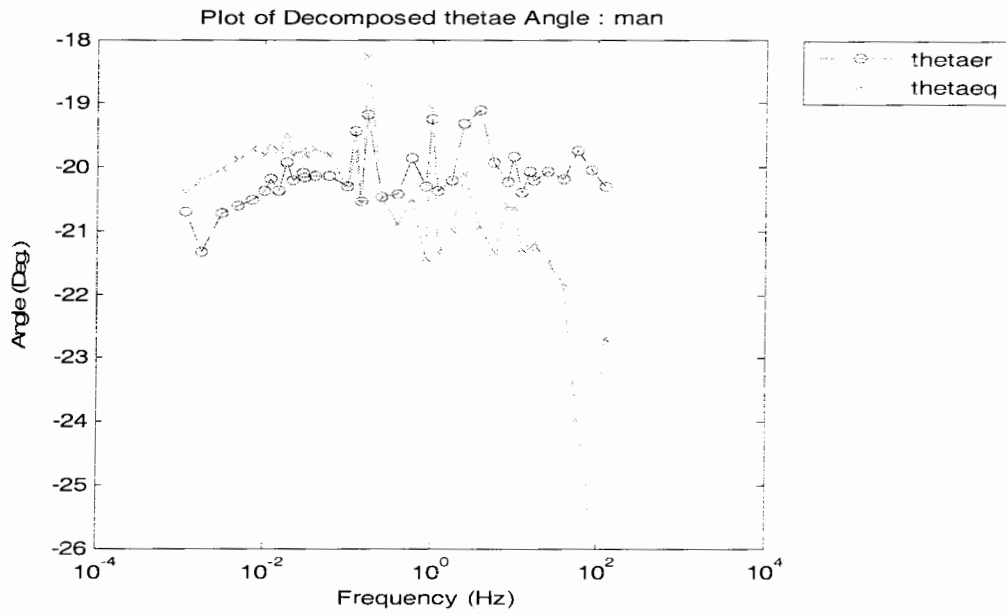


شکل ج-۲۶- نمودار مقاومت ویژه عناصر تانسور امیدانس سونداژ MAN بعد از تجزیه تانسوری لیلی.

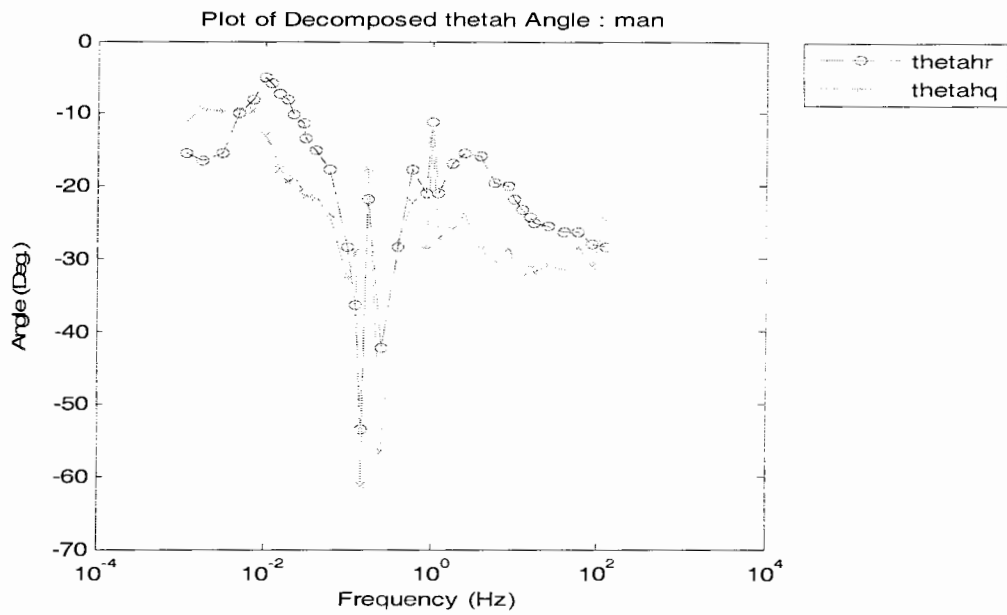


شکل ج-۲۷- نمودار فاز عناصر تانسور امیدانس سونداژ MAN بعد از تجزیه تانسوری لیلی.

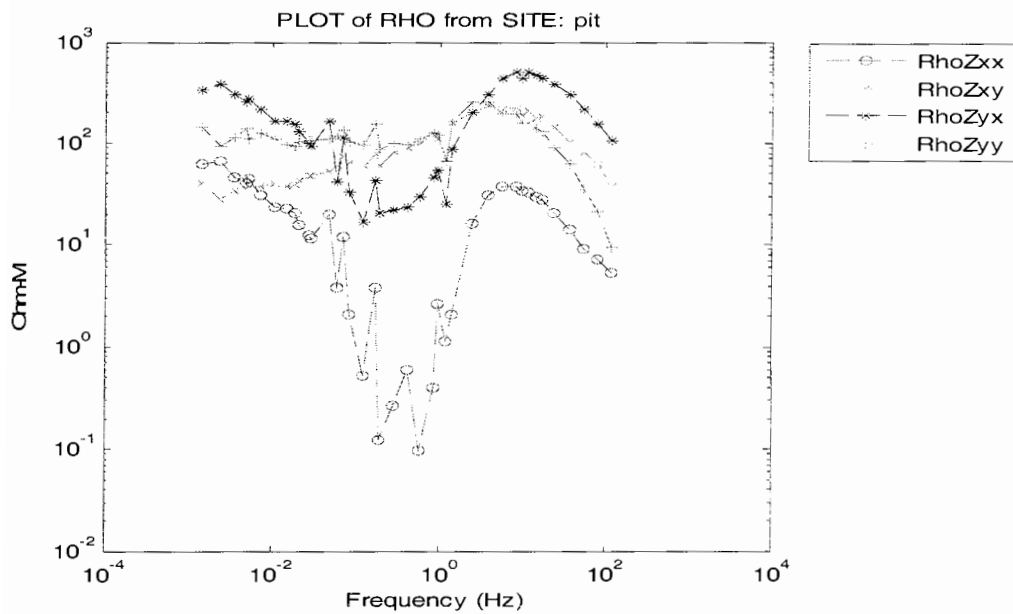




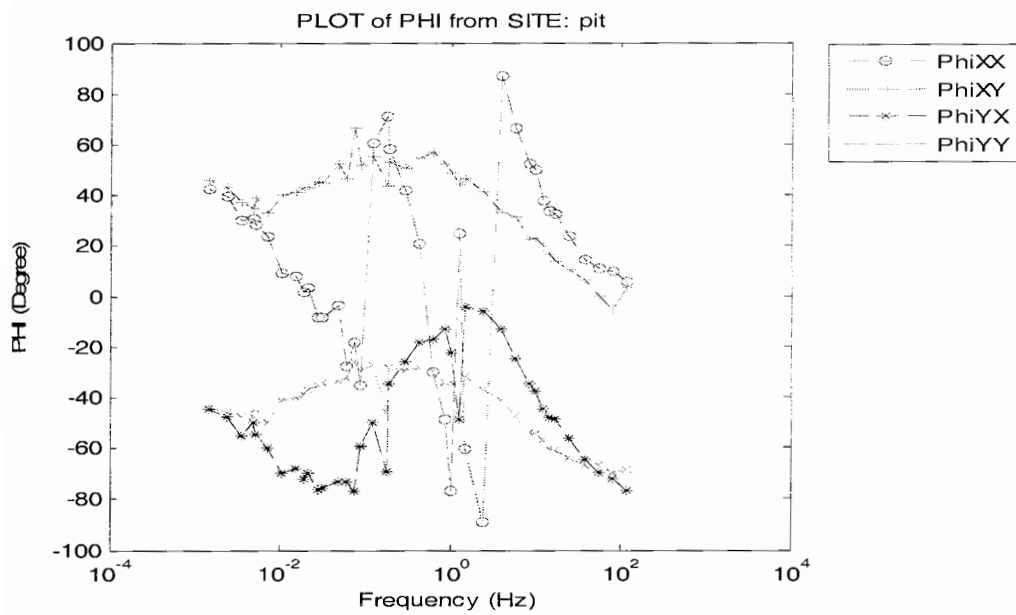
شکل ج-۲۸-نمایش مقادیر قسمتهای حقیقی و موهومی  $\theta e$  حاصل از تجزیه تانسوری لیلی بر حسب فرکانس برای سونداژ MAN.



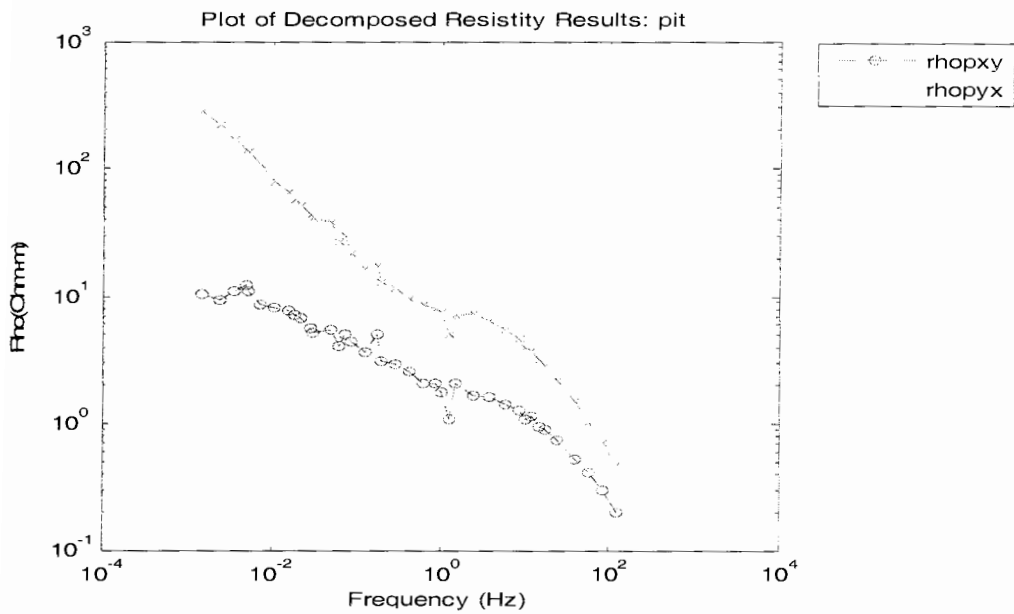
شکل ج-۲۹-نمایش مقادیر قسمتهای حقیقی و موهومی  $\theta h$  حاصل از تجزیه تانسوری لیلی بر حسب فرکانس برای سونداژ MAN.



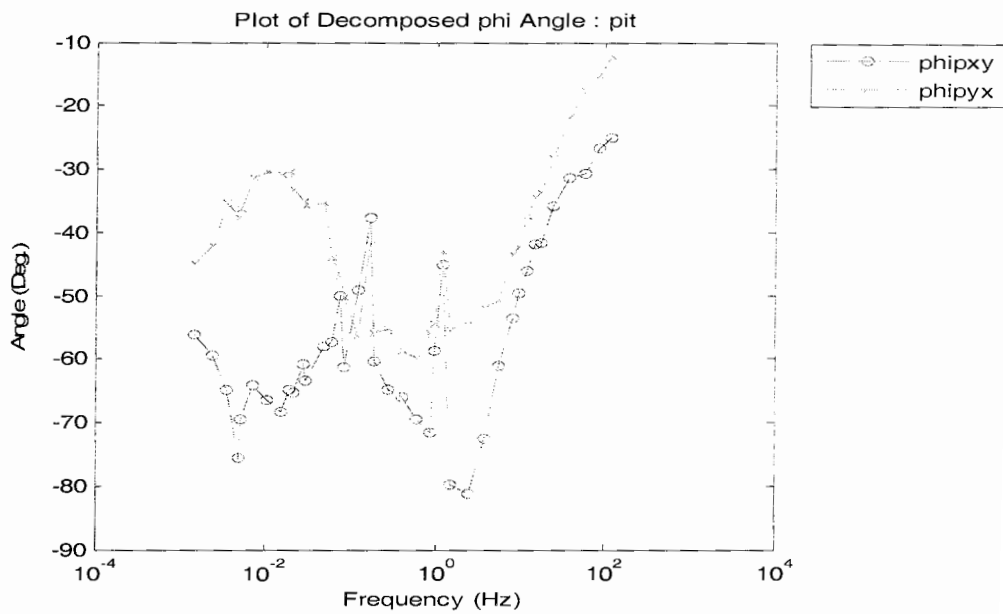
شکل ج-۳۰- نمودار مقاومت ویژه عناصر تانسور امیدانس سونداژ PIT داده های خام.



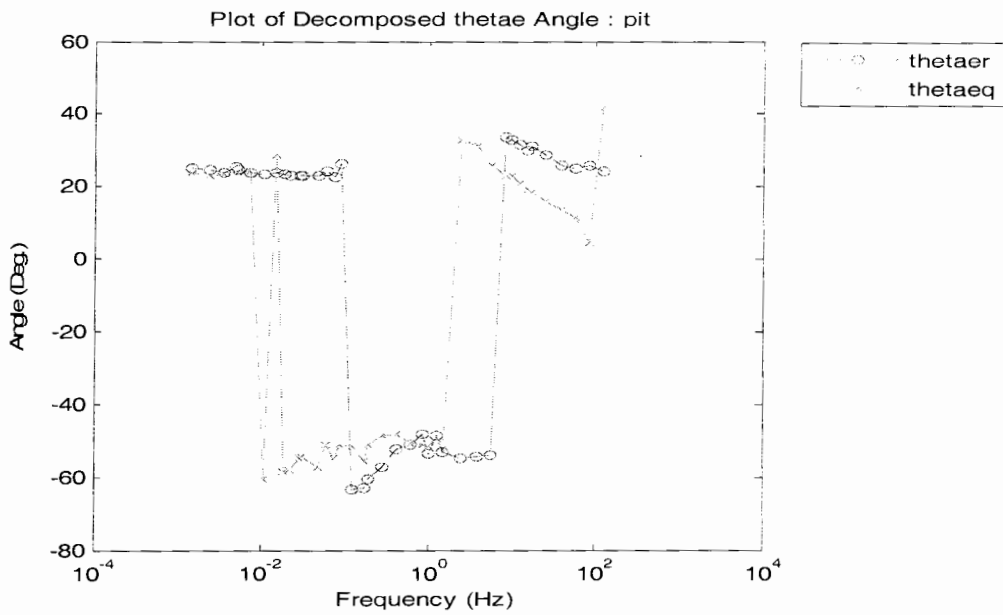
شکل ج-۳۱- نمودار فاز عناصر تانسور امیدانس سونداژ PIT داده های خام.



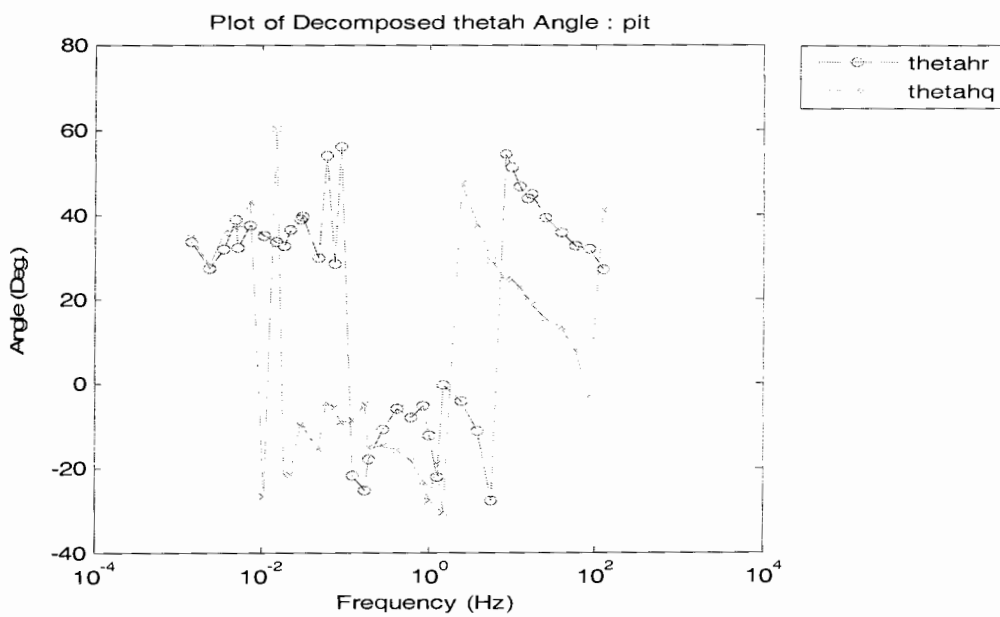
شکل ج-۳۲- نمودار مقاومت ویژه عناصر تانسور امیدانس سونداژ PIT بعد از تجزیه تانسوری لیلی.



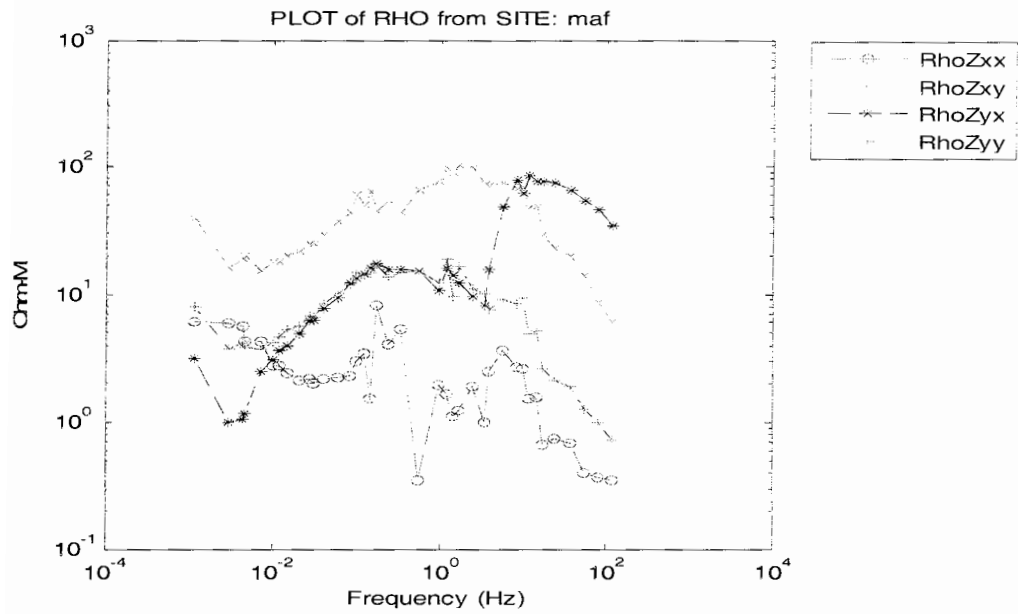
شکل ج-۳۳- نمودار فاز عناصر تانسور امیدانس سونداژ PIT بعد از تجزیه تانسوری لیلی.



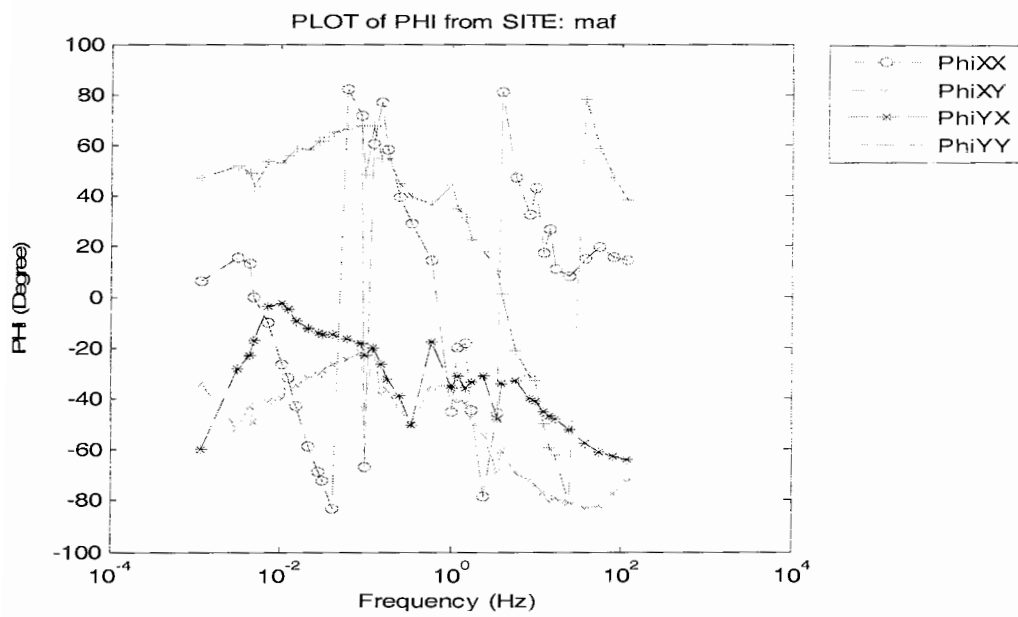
شکل ج-۳۴-نمایش مقادیر قسمت‌های حقیقی و موهومی  $\theta_e$  حاصل از تجزیه تانسوری لیلی بر حسب فرکانس برای سونداژ PIT.



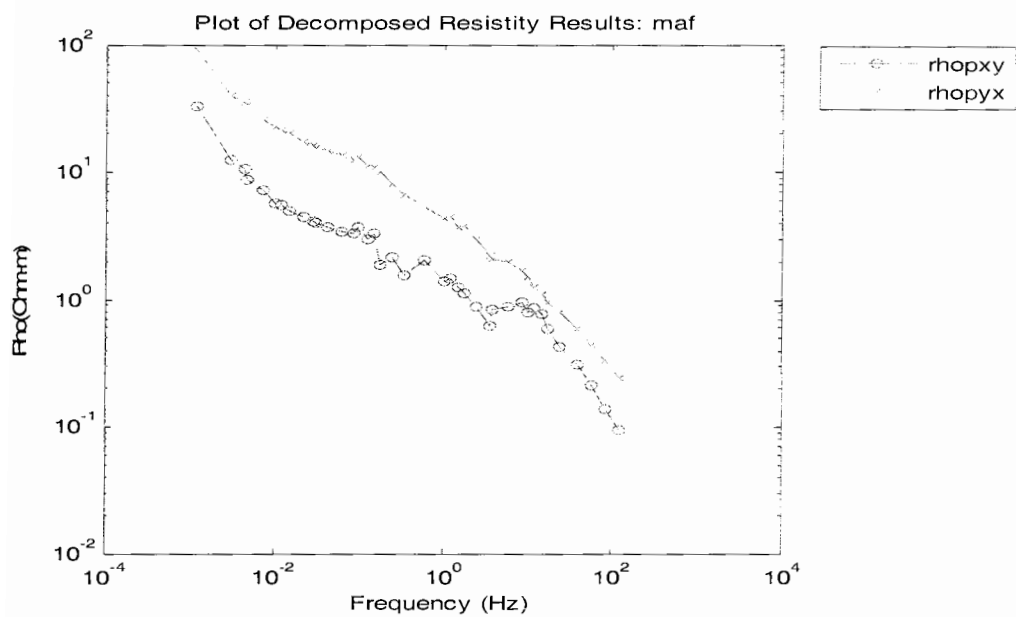
شکل ج-۳۵-نمایش مقادیر قسمت‌های حقیقی و موهومی  $\theta_h$  حاصل از تجزیه تانسوری لیلی بر حسب فرکانس برای سونداژ PIT.



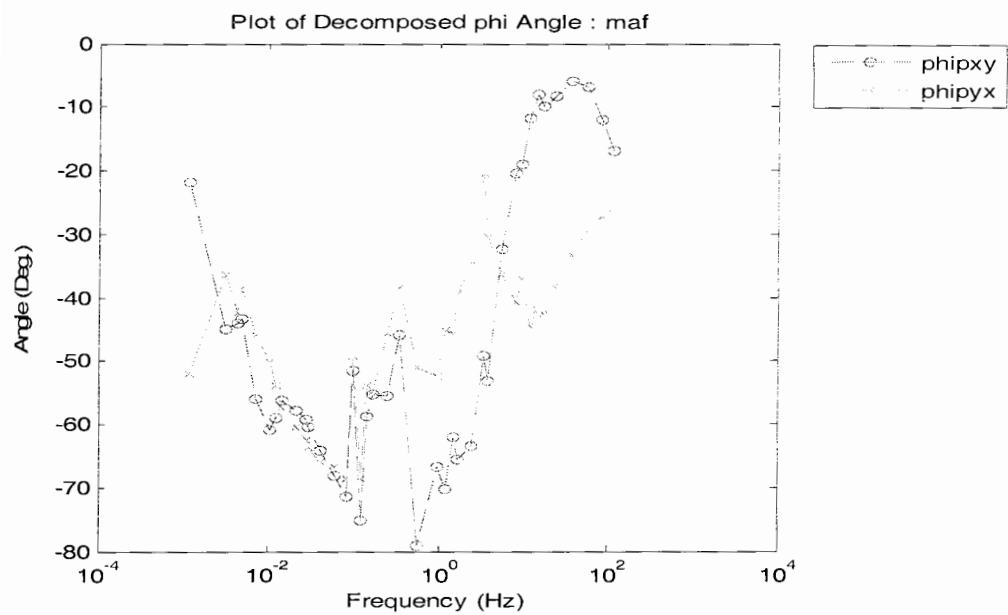
شکل ج-۳۶- نمودار مقاومت ویژه عناصر تانسور امیدانس سونداژ MAF داده های خام.



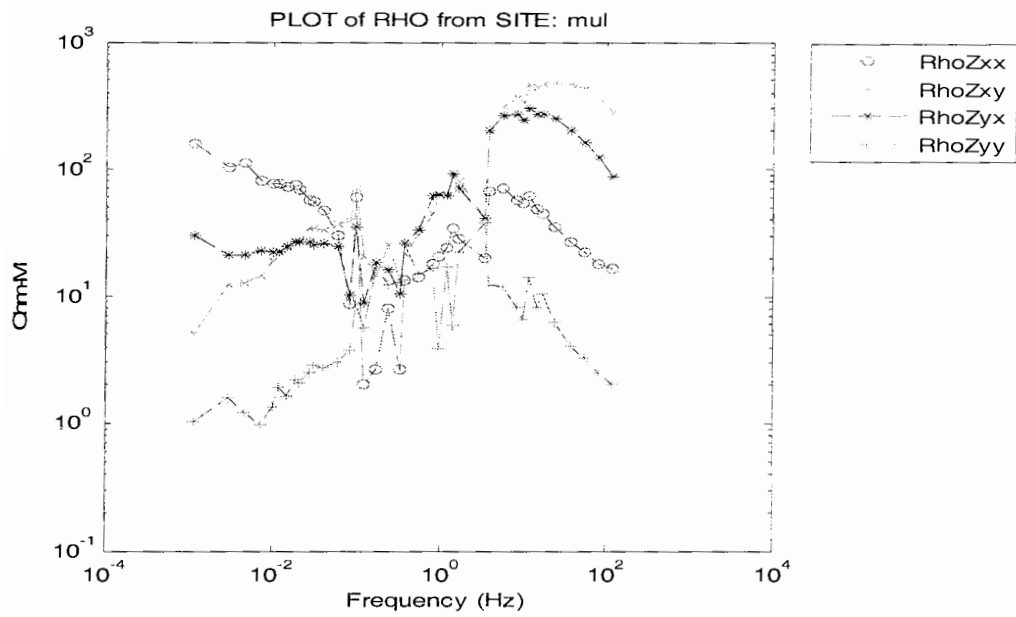
شکل ج-۳۷- نمودار فاز عناصر تانسور امیدانس سونداژ MAF داده های خام.



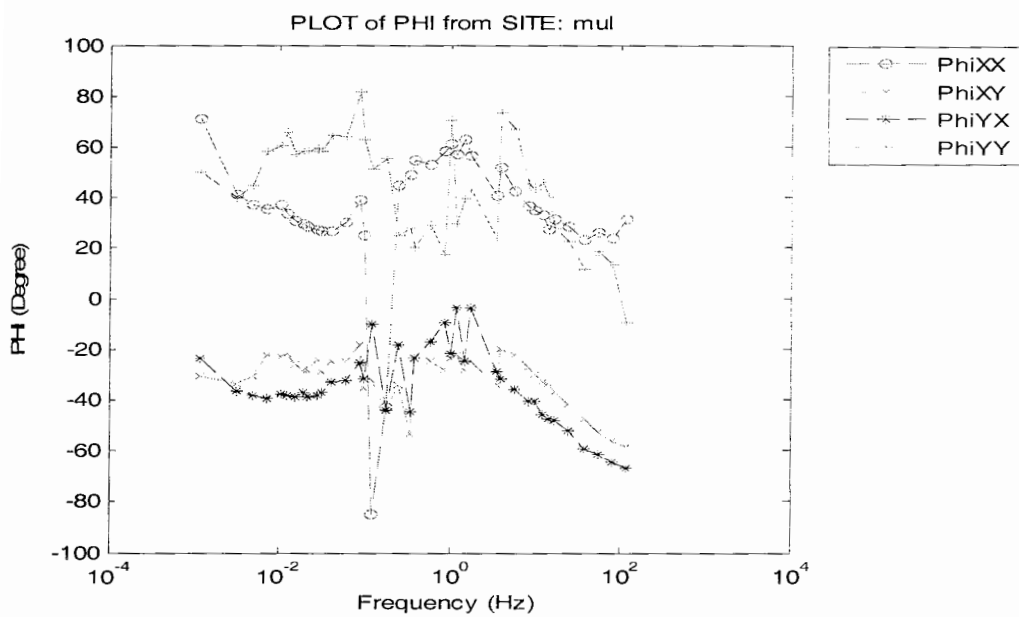
شکل ج-۳۸- نمودار مقاومت ویژه عناصر تانسور امیدانس سونداژ MAF بعد از تجزیه تانسوری لیلی.



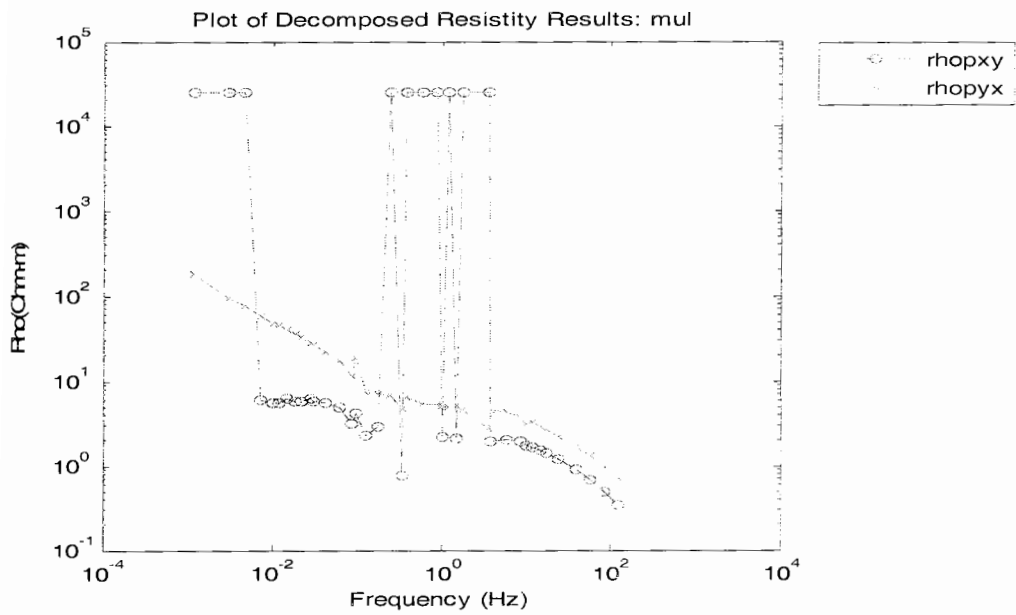
شکل ج-۳۹- نمودار فاز عناصر تانسور امیدانس سونداژ MAF بعد از تجزیه تانسوری لیلی.



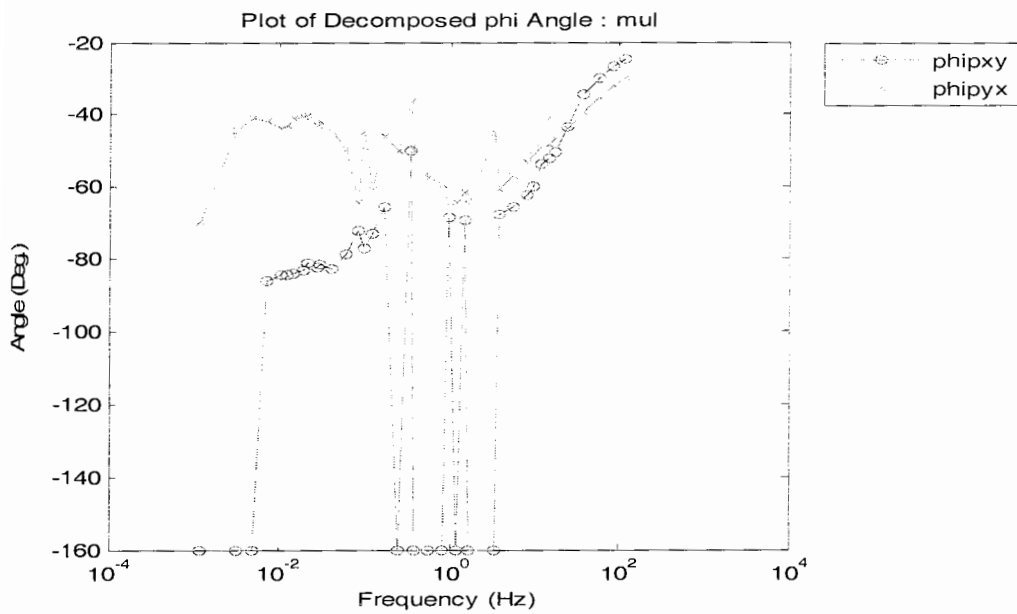
شکل ج-۴۲- نمودار مقاومت ویژه عناصر تانسور امپدانس سونداژ MUL داده های خام.



شکل ج-۴۳- نمودار فاز عناصر تانسور امپدانس سونداژ MUL داده های خام.

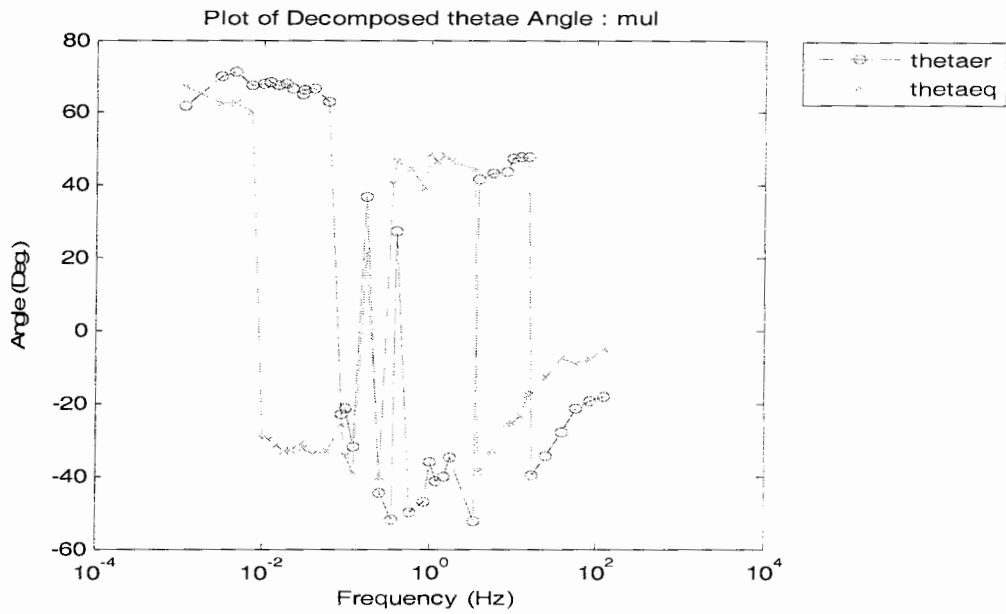


شکل ج-۴۴- نمودار مقاومت ویژه عناصر تانسور امیدانس سونداژ MUL بعد از تجزیه تانسوری لیلی.

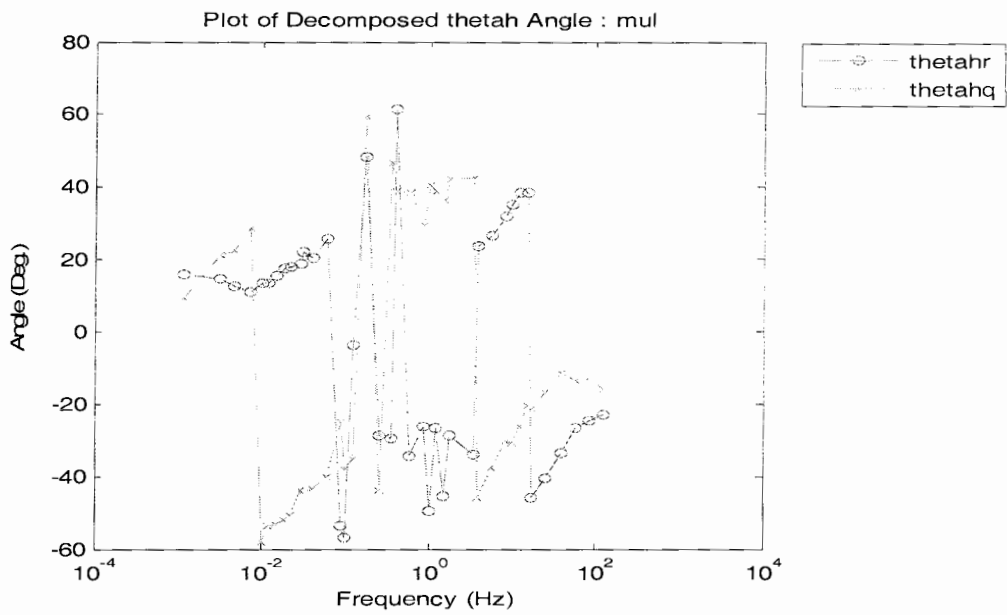


شکل ج-۴۵- نمودار فاز عناصر تانسور امیدانس سونداژ MUL بعد از تجزیه تانسوری لیلی.

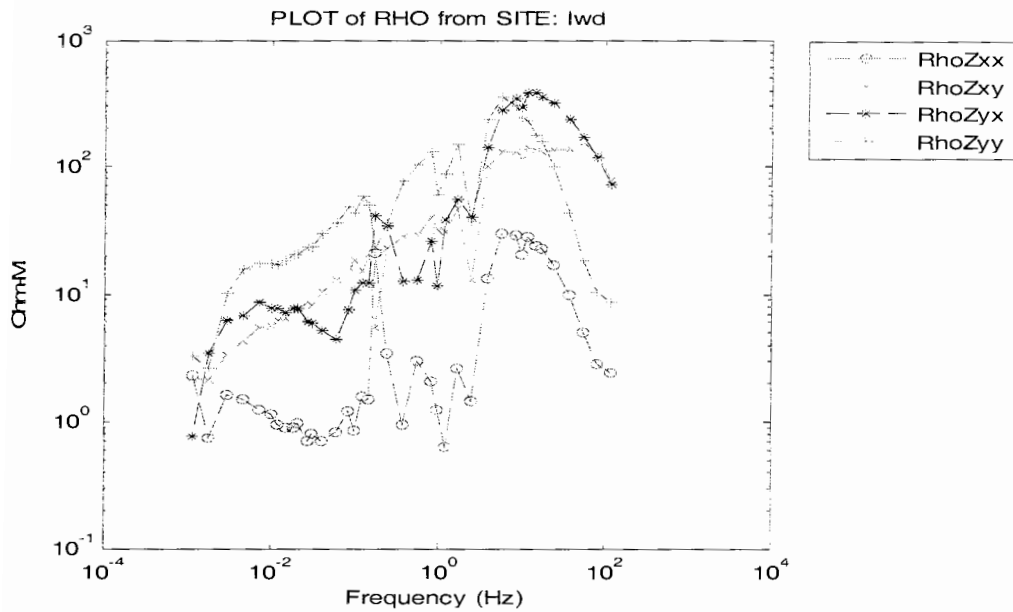




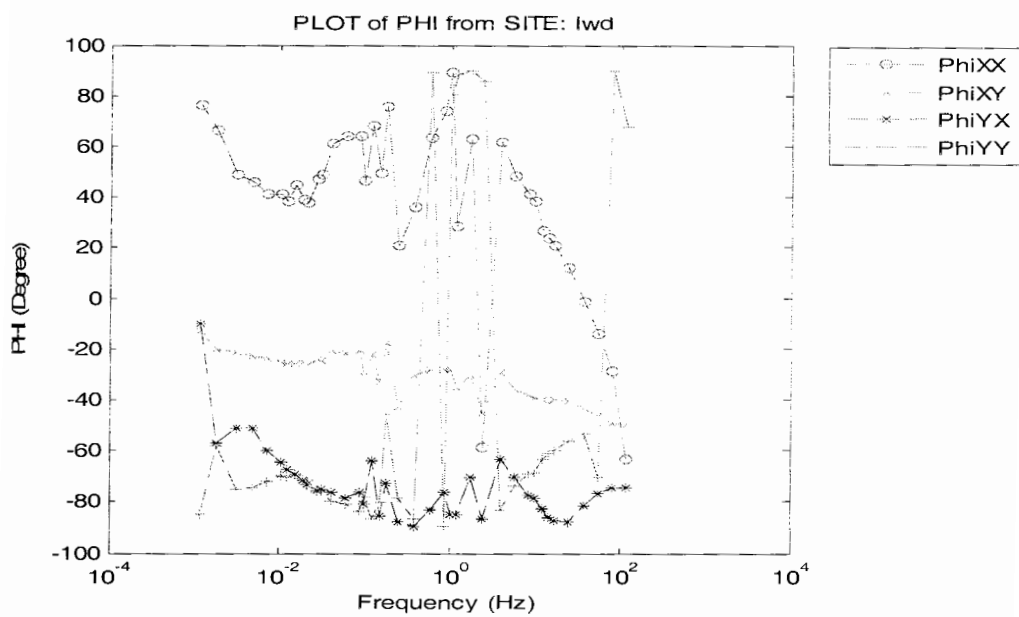
شکل ج-۴۶-نمایش مقادیر قسمتهای حقیقی و موهومی  $\theta e$  حاصل از تجزیه تانسوری لیلی بر حسب فرکانس برای سونداژ MUL.



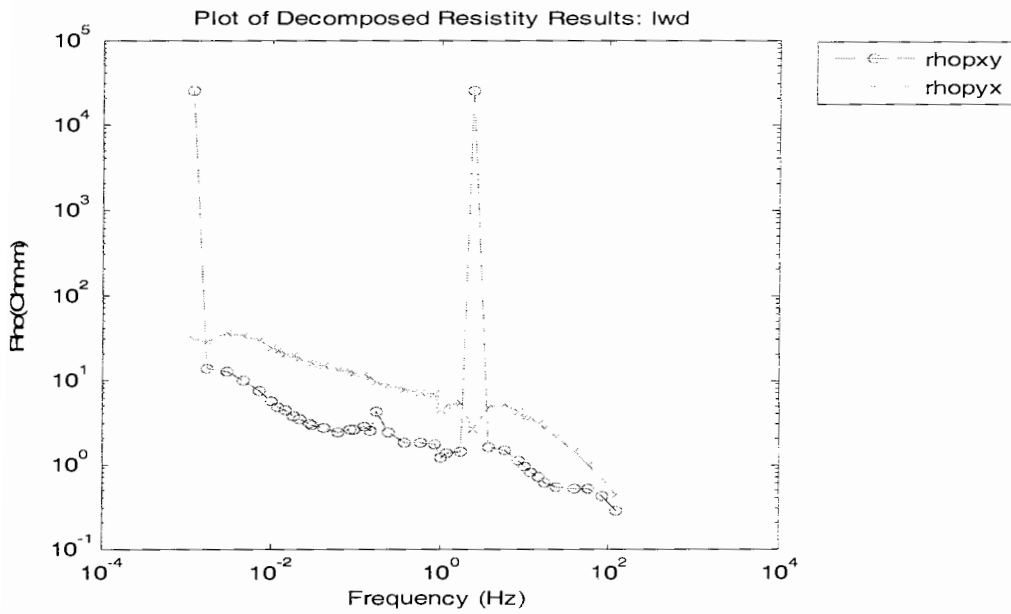
شکل ج-۴۷-نمایش مقادیر قسمتهای حقیقی و موهومی  $\theta h$  حاصل از تجزیه تانسوری لیلی بر حسب فرکانس برای سونداژ MUL.



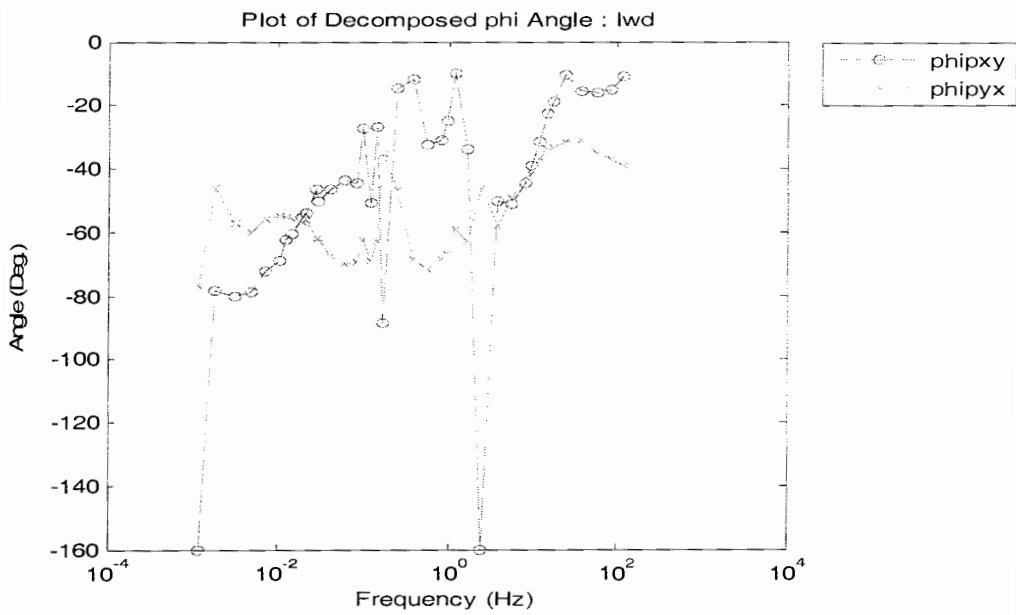
شکل ج-۴۸- نمودار مقاومت ویژه عناصر تانسور امپدانس سونداژ LWD داده های خام.



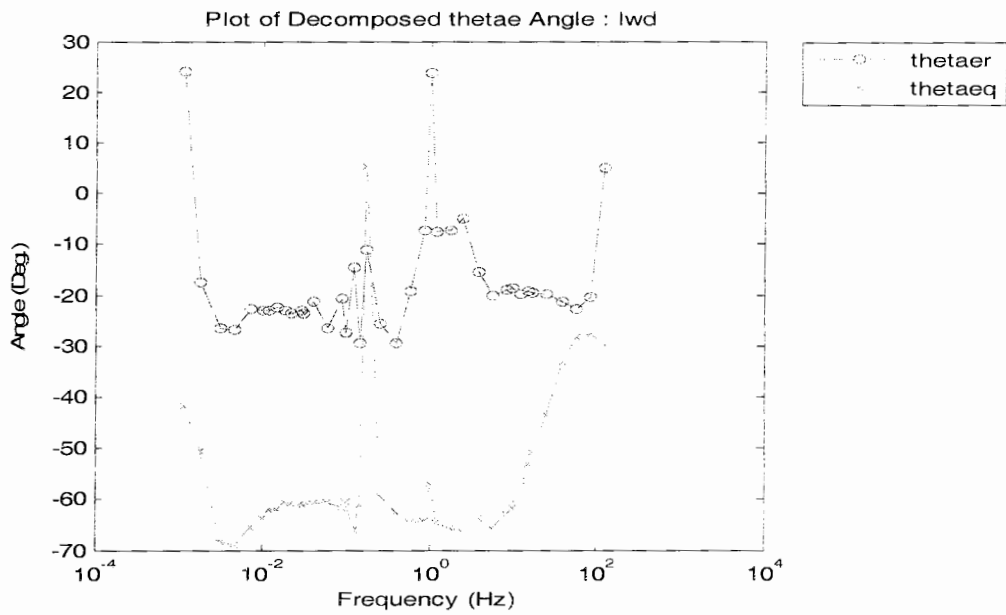
شکل ج-۴۹- نمودار فاز عناصر تانسور امپدانس سونداژ LWD داده های خام.



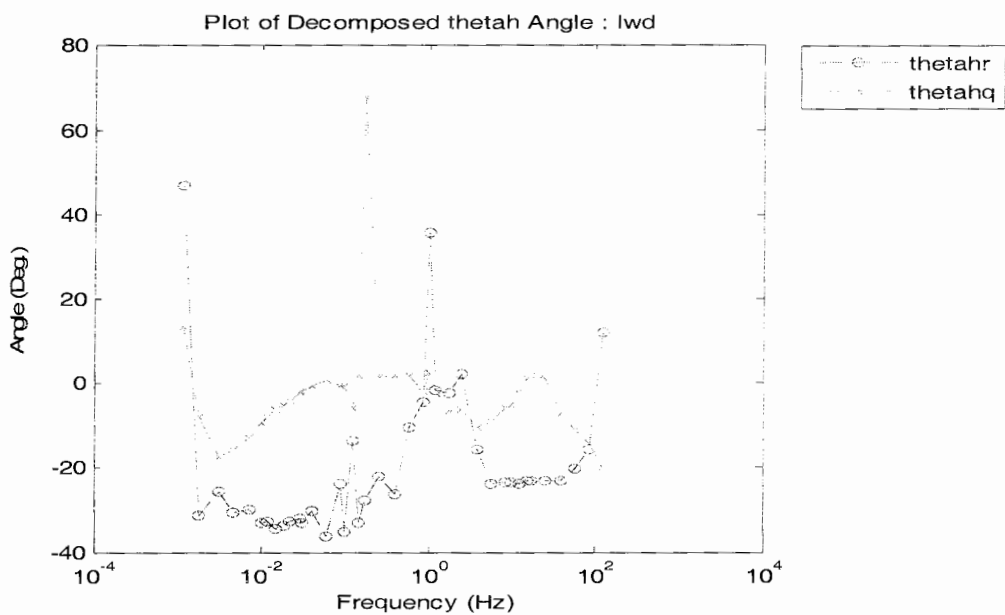
شکل ج-۵۰- نمودار مقاومت ویژه عناصر تانسور امپدانس سونداژ LWD بعد از تجزیه تانسوری لیلی.



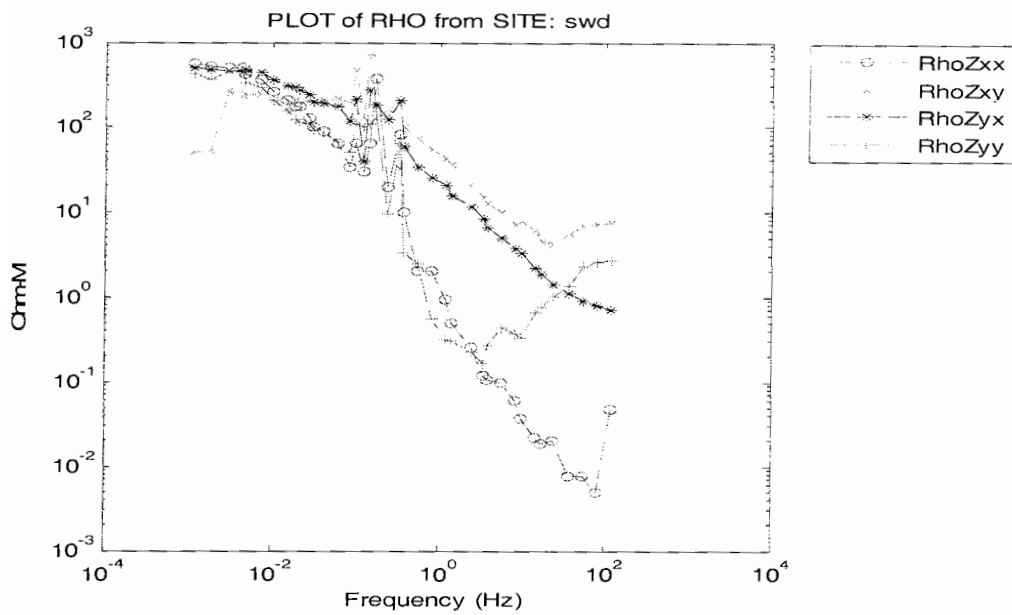
شکل ج-۵۱- نمودار فاز عناصر تانسور امپدانس سونداژ LWD بعد از تجزیه تانسوری لیلی.



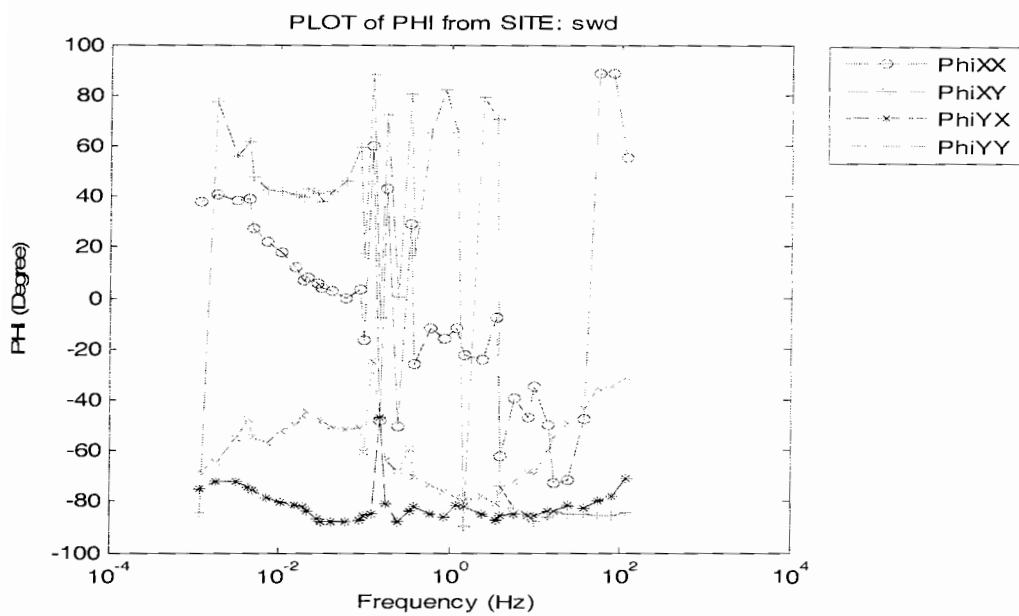
شکل ج-۵۲-نمایش مقادیر قسمتهای حقیقی و موهومی  $\theta_e$  حاصل از تجزیه تانسوری لیلی بر حسب فرکانس برای سونداژ LWD.



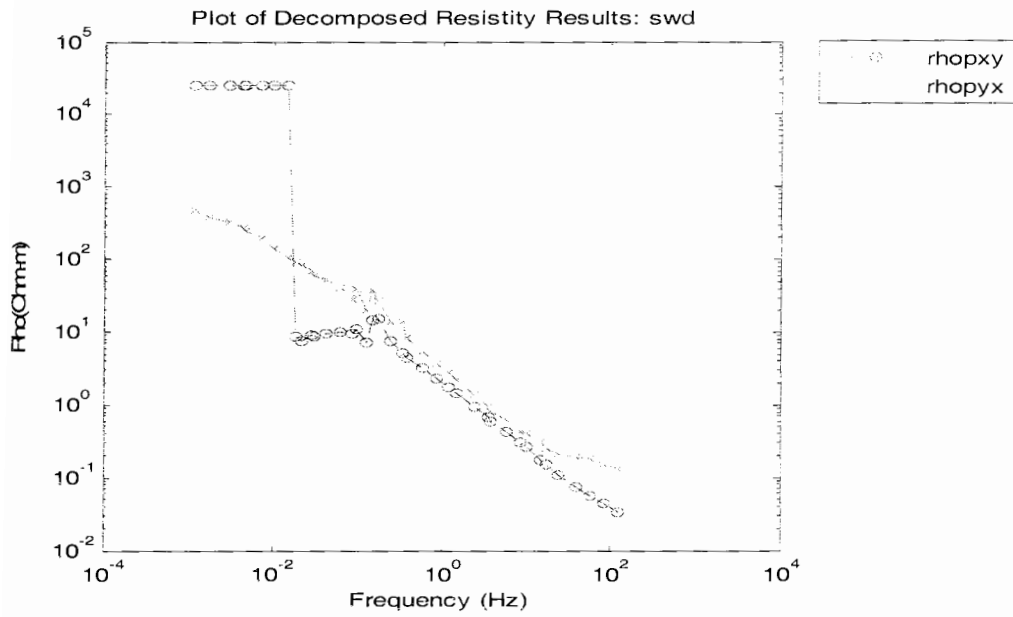
شکل ج-۵۳-نمایش مقادیر قسمتهای حقیقی و موهومی  $\theta_h$  حاصل از تجزیه تانسوری لیلی بر حسب فرکانس برای سونداژ LWD.



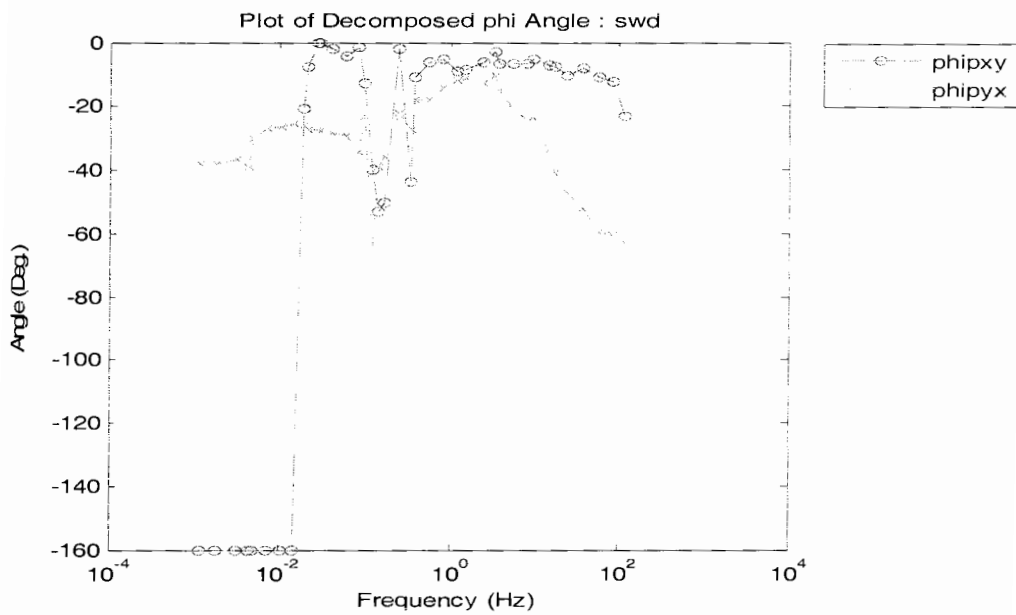
شکل ج-۵۴- نمودار مقاومت ویژه عناصر تانسور امپدانس سونداژ SWD داده های خام.



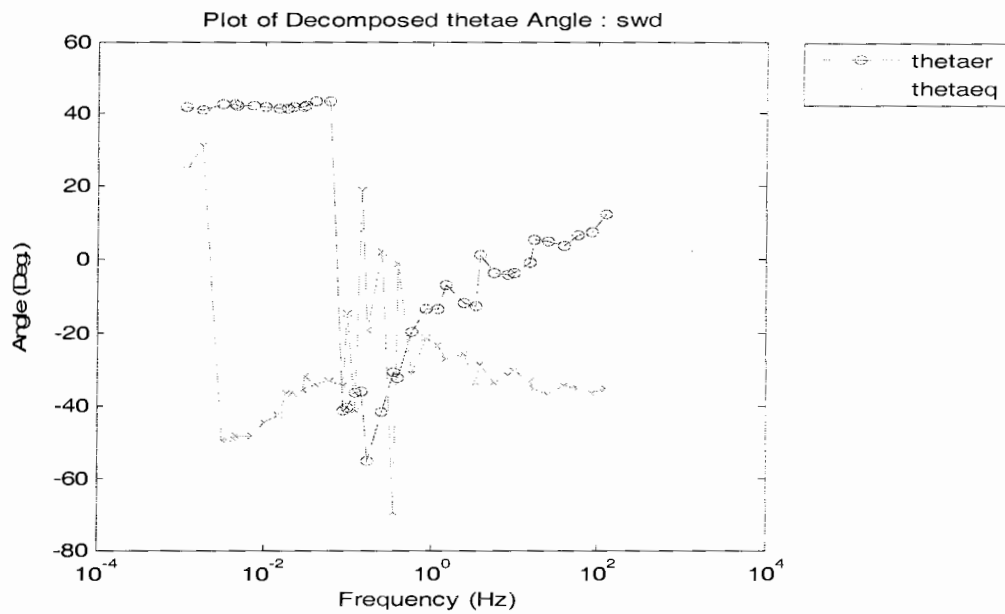
شکل ج-۵۵- نمودار فاز عناصر تانسور امپدانس سونداژ SWD داده های خام.



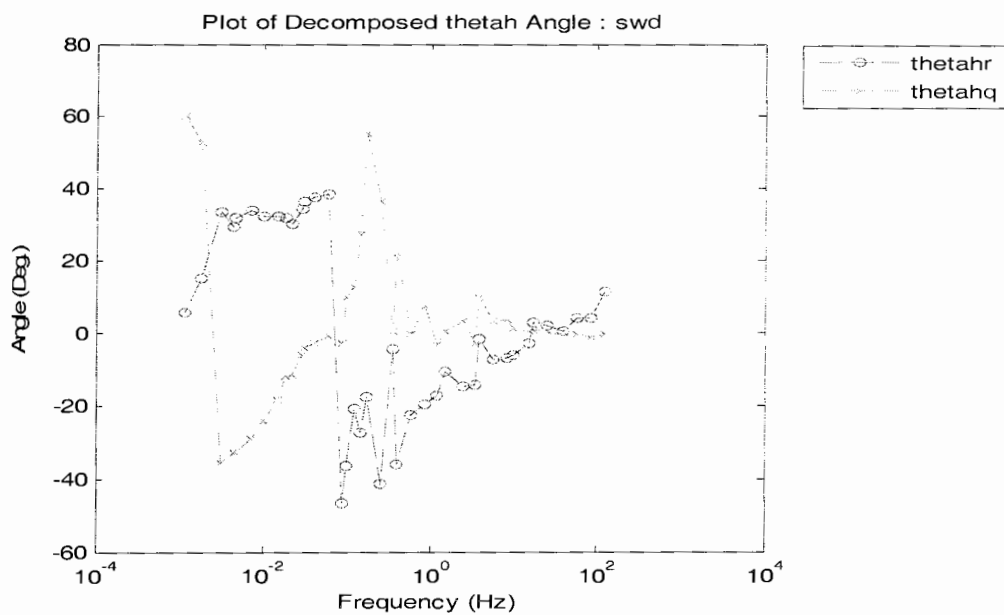
شکل ج-۵۶- نمودار مقاومت ویژه عناصر تانسور امیدانس سونداژ SWD بعد از تجزیه تانسوری لیلی.



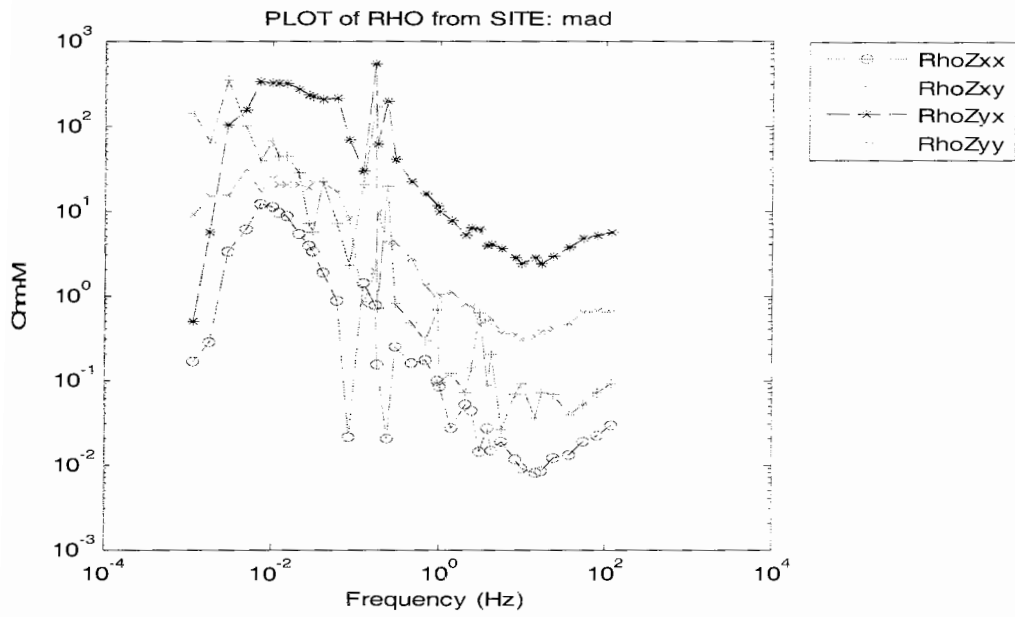
شکل ج-۵۷- نمودار فاز عناصر تانسور امیدانس سونداژ SWD بعد از تجزیه تانسوری لیلی.



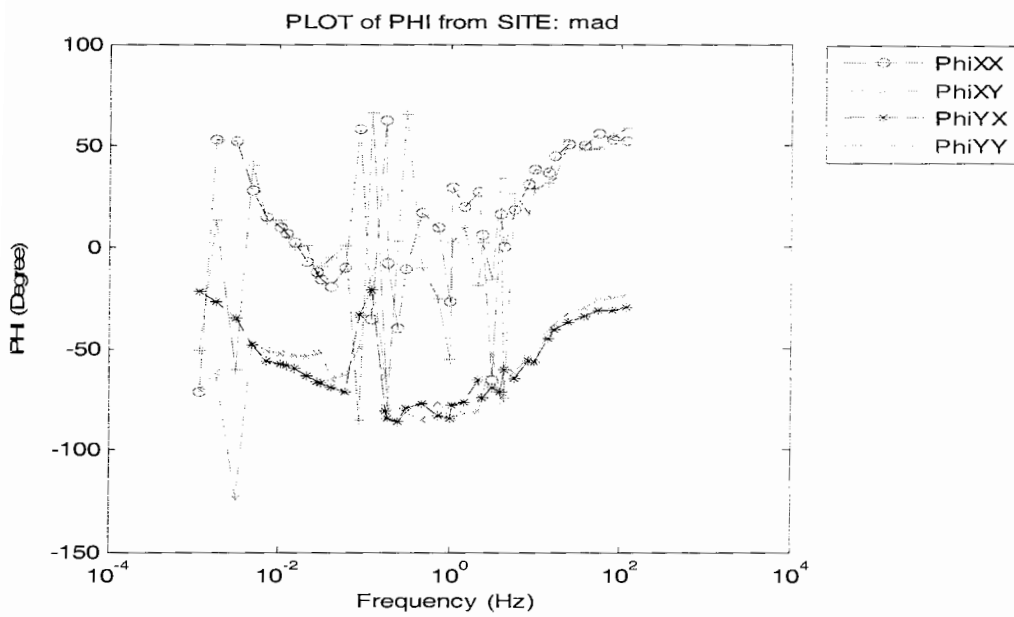
شکل ج-۵۸-نمایش مقادیر قسمتهای حقیقی و موهومی  $\theta_e$  حاصل از تجزیه تانسوری لیلی بر حسب فرکانس برای سونداژ SWD.



شکل ج-۵۹-نمایش مقادیر قسمتهای حقیقی و موهومی  $\theta_h$  حاصل از تجزیه تانسوری لیلی بر حسب فرکانس برای سونداژ SWD.

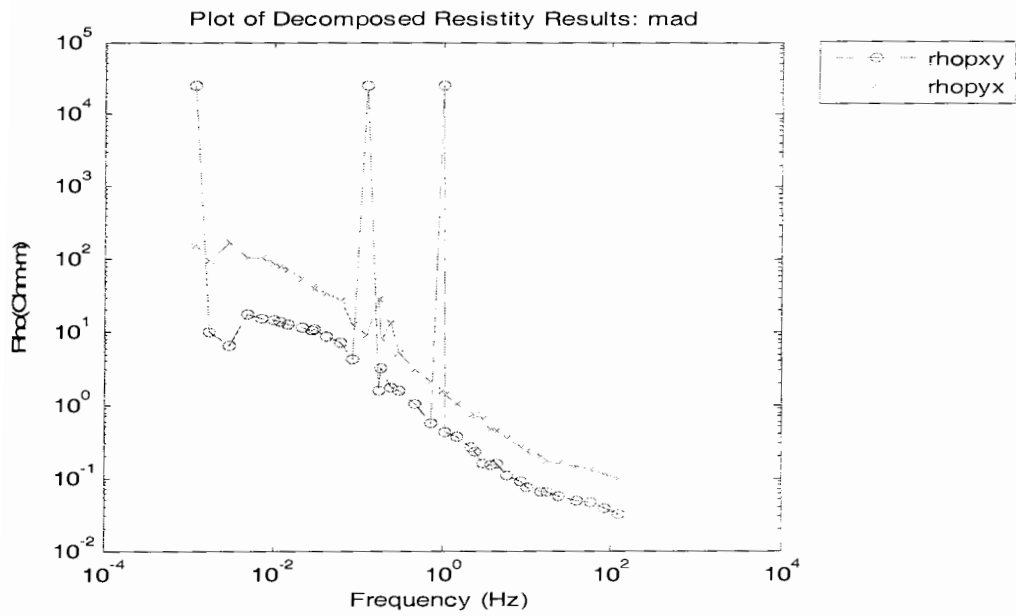


شکل ج-۶۰- نمودار مقاومت ویژه عناصر تانسور امیدانس سونداژ MAD داده های خام.

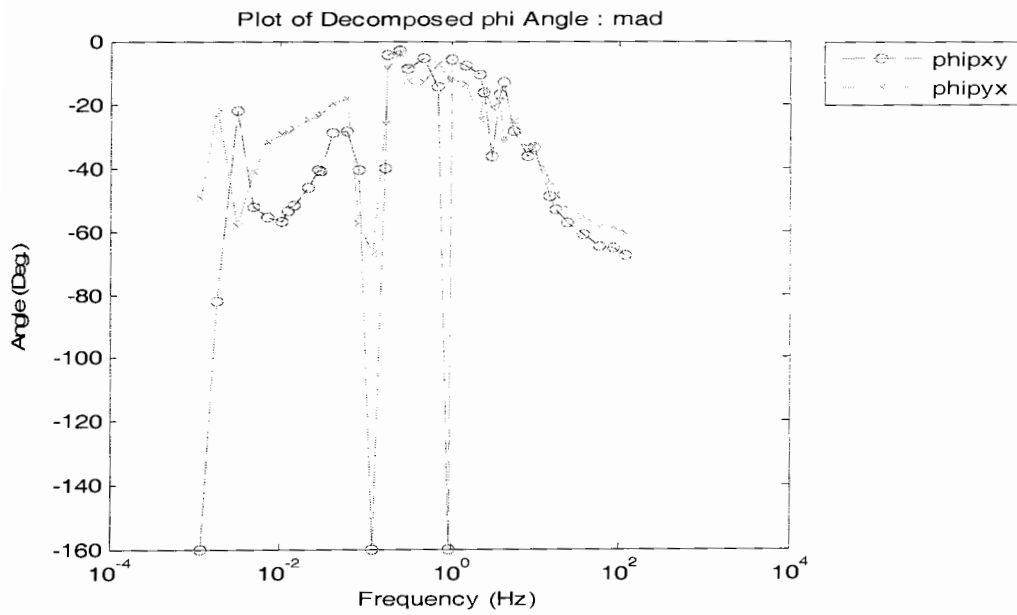


شکل ج-۶۱- نمودار فاز عناصر تانسور امیدانس سونداژ MAD داده های خام.

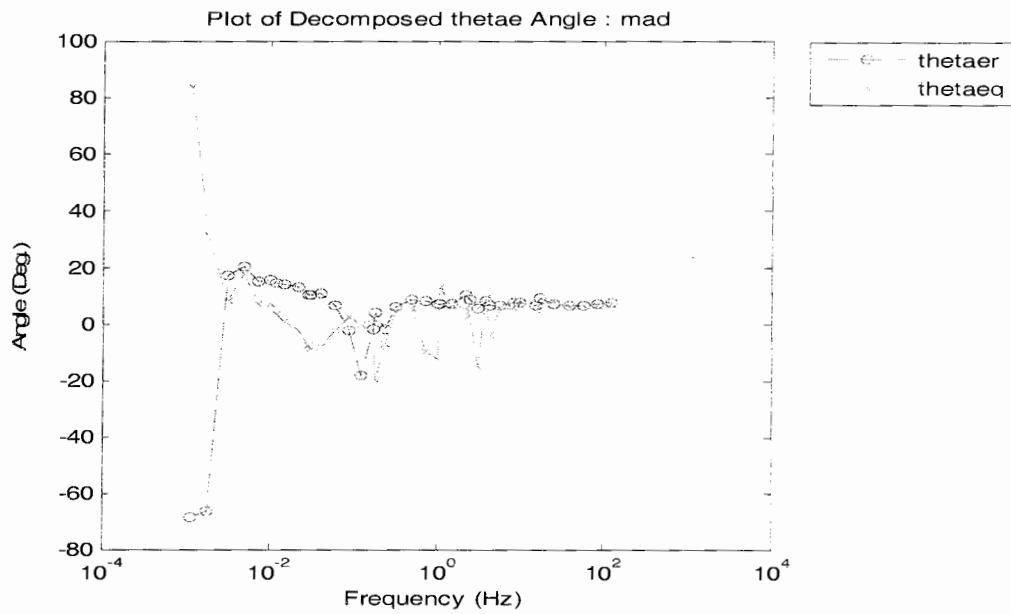




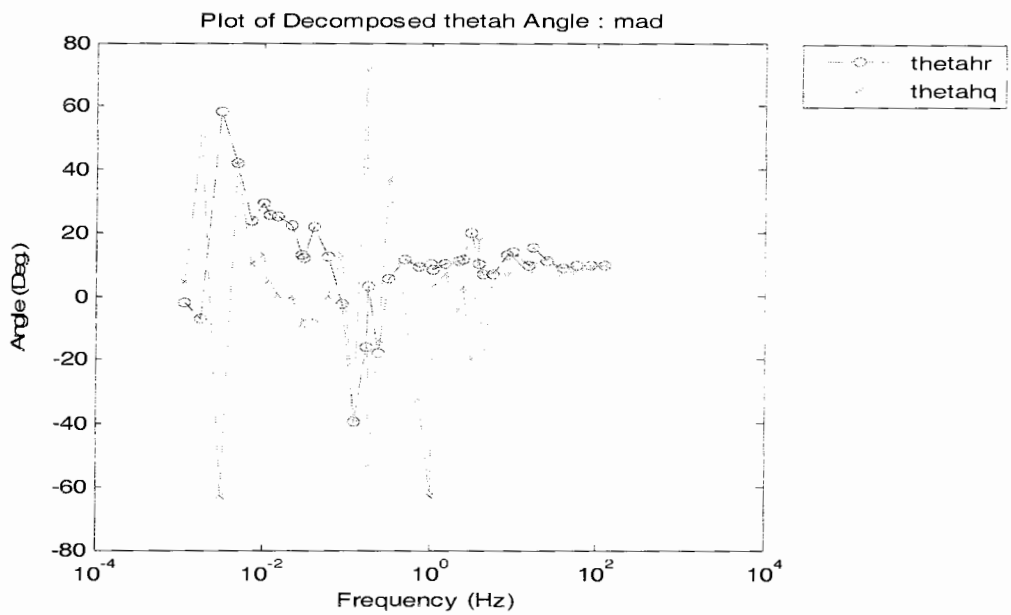
شکل ج-۶۲- نمودار مقاومت ویژه عناصر تانسور امپدانس سونداژ MAD بعد از تجزیه تانسوری لیلی.



شکل ج-۶۳- نمودار فاز عناصر تانسور امپدانس سونداژ MAD بعد از تجزیه تانسوری لیلی.



شکل ج-۶۴-نمایش مقادیر قسمتهای حقیقی وموهومی  $\theta_e$  حاصل از تجزیه تانسوری لیلی بر حسب فرکانس برای سونداژ MAD.



شکل ج-۶۰-نمایش مقادیر قسمتهای حقیقی و موهومی  $\theta_h$  حاصل از تجزیه تانسوری لیلی بر حسب فرکانس برای سونداژ MAD.

پیوست (د):

نمونه ای از فایل ورودی به نرم افزار IPI2WIN

Lincoln Line, TM mode.

Example

1 1

9

yad

1.0000 0.0000

38

0.0083 0.2022 -20.621

0.0104 0.254 -16.845

0.012 0.2792 -17.162

0.0151 0.3627 -14.801

0.0177 0.4954 -17.898

0.0221 0.7461 -19.432

0.0263 0.6283 -18.104

0.0328 0.8057 -15.879

0.041 0.8021 -16.551

0.0512 1.0703 -17.049

0.0582 1.0592 -20.295

0.0683 1.3134 -19.997

0.0853 1.5311 -22.751

0.1024 1.801 -25.626

0.1766 2.441 -35.563

0.2626 2.8904 -37.33

0.4096 2.3379 -39.886

0.5818 3.2831 -39.886

0.8325 5.2324 -40.909

1.024 4.6381 -42.522

1.7655 7.3244 -46.018

2.6254 9.0586 -43.917

2.93 13.073 -42.955

4.0967 11.849 -42.924

5.8005 20.821 -42.443

6.8259 19.185 -43.362

10.235 28.783 -40.398

16.639 27.116 -41.287

24.096 34.634 -40.775

32.787 39.945 -40.318

35.336 41.482 -40.281

46.512 48.233 -38.005

52.632 50.749 -37.108

66.667 56.175 -34.502

136.99 99.28 -35.502

204.08 131.39 -40.909

322.58 159.39 -43.798

555.56 222.88 -49.742

oak

1.0000 17.0591

39

0.0073 0.0469 -1.6488

0.0104 0.113 -6.4262

0.0151 0.3268 -13.84

0.0221 0.9264 -19.926

0.029 0.8357 -32.042

0.041 1.3756 -36.937

0.0512 1.7897 -41.631

0.0582 1.8022 -43.731

0.0853 1.9848 -45.818

0.1205 2.7442 -50.547  
0.128 2.5346 -53.661  
0.1766 3.1596 -55.227  
0.2626 3.4184 -58.5  
0.2901 1.5725 -60.545  
0.4096 3.3267 -61.544  
0.5818 2.8069 -62.437  
0.6827 3.8461 -64.481  
0.8325 3.5259 -65.045  
1.024 3.6921 -63.818  
1.2047 4.4851 -64.84  
1.7655 4.1826 -65.864  
2.6254 6.1065 -63  
4.0967 8.0151 -59.318  
6.8259 10.169 -55.227  
8.19 10.854 -52.364  
10.235 15.271 -49.909  
16.639 13.982 -48.099  
24.096 17.047 -43.165  
32.787 20.759 -39.887  
35.336 21.007 -41.465  
46.512 24.821 -41.725  
52.632 25.113 -41.616  
66.667 29.893 -37.121  
96.154 38.635 -36.417  
136.99 48.332 -34.175  
204.08 70.4 -34.364  
322.58 89.497 -35.182  
555.56 119.96 -34.364  
833.33 144.54 -33.411  
man  
1.0000 55.0366  
38  
0.0083 0.2234 -14.259  
0.012 0.3128 -13.608  
0.0177 0.4435 -14.904  
0.0263 0.6243 -17.572  
0.041 0.9014 -23.273  
0.0582 1.1559 -28.316  
0.0683 1.3015 -28.013  
0.0833 1.4959 -30.825  
0.1024 1.5631 -31.594  
0.1205 1.8053 -35.418  
0.1766 2.2061 -38.808  
0.2626 2.5729 -41.85  
0.4096 2.9746 -35.295  
0.5818 3.4323 -36.331  
0.8325 3.7116 -35.406  
1.024 5.1482 -32.379  
1.2047 4.7936 -35.992  
1.7655 6.5746 -34.909  
2.6254 8.6486 -33.467  
4.0967 18.507 -31.619  
5.8005 27.392 -31.957  
6.8259 28.106 -36.307  
8.19 24.89 -38.352  
10.235 38.116 -38.499

16.639 30.253 -41.027  
24.096 40.643 -42.037  
32.787 45.132 -44.557  
35.336 46.923 -43.711  
46.512 53.254 -46.481  
52.632 58.431 -47.045  
66.667 64.533 -49.856  
81.967 71.666 -51.865  
96.154 74.85 -52.731  
136.99 90.801 -57.665  
204.08 99.467 -61.061  
322.58 108.93 -56.944  
555.56 138.27 -60.203  
833.33 156.63 -60.419  
pit  
1.0000 67.9249  
39  
0.0083 0.3529 -12.22  
0.012 0.529 -15.254  
0.0177 0.7623 -17.494  
0.0263 1.1164 -21.749  
0.041 1.6195 -28.409  
0.0582 2.1486 -33.665  
0.0683 2.3842 -34.49  
0.0833 2.7665 -37.493  
0.1024 2.9458 -42.462  
0.1205 3.4464 -43.541  
0.1766 4.0341 -50.749  
0.2626 4.7589 -52.044  
0.4096 5.4192 -54.185  
0.6827 5.3765 -55.568  
0.8192 3.7354 -53.693  
1.024 5.552 -54.484  
1.1636 5.9574 -55.944  
1.665 6.4752 -59.843  
2.4096 7.2222 -58.765  
3.5311 8.6827 -55.2  
5.2521 9.627 -53.182  
5.8005 12.891 -54.716  
8.19 12.34 -56.48  
11.641 15.914 -50.385  
13.661 22.26 -47.163  
16.639 20.144 -43.986  
20.492 27.857 -38.352  
33.003 30.621 -35.962  
35.336 32.082 -35.249  
46.512 38.408 -33.289  
52.632 41.838 -30.447  
65.359 47.783 -30.957  
93.458 58.742 -30.463  
136.99 78.617 -31.37  
192.31 99.227 -36.264  
204.08 103.68 -37.629  
285.71 124.66 -39.375  
416.67 162.2 -42.277  
666.67 208.14 -44.978  
maf

```
1.0000 71.5069
39
0.0083 0.4665 -26.024
0.012 0.6525 -27.194
0.0177 0.8553 -29.3
0.0263 1.1492 -33.277
0.041 1.5268 -38.589
0.0582 1.8513 -42.625
0.0683 2.1112 -42.016
0.0833 2.3931 -44.468
0.1024 2.9064 -41.42
0.1205 3.2159 -40.791
0.1766 3.8396 -36.482
0.2626 4.0151 -30.639
0.2901 4.2754 -28.636
0.4096 5.7537 -34.28
0.5818 7.2299 -39.313
0.6827 7.164 -45.616
0.8325 8.5897 -45.279
1.024 8.3725 -52.472
1.7655 10.415 -51.208
2.93 12.742 -42.955
4.0967 15.622 -45.812
5.8005 18.962 -54.927
6.8259 20.885 -55.739
8.19 21.514 -68.718
10.235 25.368 -66.989
11.641 23.594 -68.561
16.639 25.926 -66.793
24.096 28.226 -66.078
32.787 29.933 -63.746
35.336 31.159 -62.546
46.512 33.34 -60.428
66.667 38.151 -57.325
81.967 40.655 -53.807
96.154 43.119 -50.236
136.99 49.053 -46.033
208.33 64.596 -38.4
227.27 67.557 -38.352
322.58 75.978 -38.352
833.33 174.89 -52.026
mul
1.0000 84.7073
39
0.0083 0.7907 -30.165
0.012 1.0724 -31.991
0.0177 1.4427 -35.337
0.0263 1.854 -39.257
0.041 2.414 -43.888
0.0582 2.9507 -46.887
0.0683 3.1622 -48.395
0.0833 3.6822 -49.324
0.1024 3.4956 -51.414
0.1205 4.0167 -53.229
0.1766 4.7591 -57.079
0.2626 5.079 -60.82
0.2901 3.0298 -61.875
```

0.5818 5.0345 -64.639  
0.6827 5.5568 -63.409  
0.8325 5.3317 -64.224  
1.024 5.5919 -62.898  
1.2047 5.9391 -59.612  
1.7655 5.9518 -57.537  
2.6254 7.1631 -49.987  
2.93 5.1919 -52.159  
4.0967 7.4508 -49.944  
5.8005 7.937 -45.91  
8.19 8.1901 -45.511  
10.235 12.991 -48.068  
11.641 12.726 -48.58  
16.639 18.704 -49.667  
24.096 24.486 -44.954  
32.787 29.89 -41.997  
35.336 31.188 -43.055  
46.512 36.915 -40.223  
52.632 39.938 -40.776  
66.667 43.883 -41.069  
81.967 49.185 -43.09  
96.154 52.327 -44.046  
136.99 62.463 -41.862  
208.33 85.603 -41.209  
322.58 103.35 -44.249  
833.33 197.93 -69.588  
lwd  
1.0000 100.7424  
39  
0.0083 0.4756 -39.027  
0.012 0.7255 -37.358  
0.0177 1.0765 -35.423  
0.0263 1.5472 -31.066  
0.041 2.2864 -31.422  
0.0582 2.9866 -33.519  
0.0683 3.3353 -33.851  
0.0833 3.855 -36.626  
0.1024 3.9329 -41.887  
0.1205 4.6553 -42.789  
0.1766 5.5921 -49.463  
0.2626 5.2792 -58.059  
0.4096 2.8664 -59.318  
0.5818 5.7676 -62.724  
0.8325 5.3849 -62.045  
1.024 4.8785 -67.128  
1.2047 7.339 -68.585  
1.7655 7.649 -71.726  
2.6254 8.4253 -68.598  
4.0967 9.3468 -68.864  
5.8005 10.217 -70.227  
6.8259 11.432 -67.5  
8.19 12.765 -69.008  
10.235 13.112 -68.864  
11.641 13.947 -69.661  
16.639 14.488 -69.95  
24.096 16.118 -67.411  
32.787 17.007 -61.79



35.336 17.858 -62.105  
46.512 19.831 -56.365  
52.632 21.212 -56.786  
66.667 22.362 -55.925  
81.967 24.513 -55.332  
96.154 26.345 -54.94  
136.99 31.76 -56.103  
208.33 36.092 -55.227  
322.58 38.323 -57.418  
555.56 31.051 -60.682  
833.33 33.737 -76.935  
swd  
1.0000 134.3169  
39  
0.0083 0.1254 -62.92  
0.012 0.1477 -60.623  
0.0177 0.1747 -59.708  
0.0263 0.1853 -52.02  
0.041 0.2002 -46.794  
0.0582 0.2428 -40.974  
0.0683 0.292 -34.687  
0.1024 0.3914 -23.522  
0.1205 0.4132 -24.76  
0.1766 0.5895 -21.024  
0.2626 0.7997 -15.399  
0.2901 0.9175 -12.273  
0.4096 1.3075 -12.854  
0.6827 2.1677 -11.529  
0.8325 2.6546 -11.807  
1.2047 3.6532 -14.309  
1.7655 5.1215 -18.12  
2.6254 8.1337 -18.139  
2.93 13.458 -19.432  
4.0967 13.553 -22.019  
5.8005 25.915 -35.688  
6.8259 36.183 -39.096  
8.19 20.013 -39.886  
10.235 38.686 -36.818  
11.641 27.853 -34.611  
16.639 38.857 -29.113  
24.096 49.483 -28.184  
32.787 59.344 -27.65  
35.336 66.64 -27.357  
46.512 80.4 -27.284  
52.632 88.031 -26.136  
66.667 102.43 -25.632  
96.154 134.96 -26.235  
136.99 184.09 -26.677  
208.33 238.5 -34.261  
227.27 257.77 -33.75  
322.58 311.09 -36.531  
555.56 362.41 -38.182  
833.33 457.63 -38.198  
mad  
1.0000 185.3218  
39  
0.0083 0.0974 -60.378

0.012	0.1121	-58.552
0.0177	0.1304	-58.521
0.0263	0.142	-55.536
0.041	0.1574	-52.79
0.0582	0.17	-48.578
0.0683	0.196	-44.423
0.1024	0.2268	-32.78
0.1205	0.2663	-33.272
0.1766	0.3553	-24.949
0.2321	0.442	-24.545
0.2626	0.4641	-18.874
0.3277	0.6629	-21.024
0.4096	0.7264	-15.122
0.4655	0.7014	-17.386
0.6827	1.0298	-13.397
0.9638	1.385	-12.103
1.024	1.6051	-12.547
1.4124	2.1506	-10.739
2.1004	3.0995	-12.902
3.2765	5.2634	-12.451
4.1203	8.5473	-11.761
5.4615	8.1146	-23.011
5.8005	12.329	-26.149
8.19	9.0788	-28.636
11.641	12.732	-32.216
16.639	27.1	-24.545
24.096	33.498	-19.555
32.787	38.868	-22.772
35.336	41.845	-23.608
46.512	53.222	-24.381
66.667	70.59	-27.203
81.967	78.648	-28.636
96.154	88.676	-29.422
136.99	103.29	-31.777
204.08	107.24	-35.284
322.58	171.76	-35.795
555.56	129.91	-37.33
833.33	156.98	-49.524

پیوست (و):

برنامه نوشته شده به زبان برنامه نویسی مطلب به منظور اجرای روش تجزیه  
تانسوری لیلی

```

% Lillie decomposition algorithm
clear all;
clc;
%data files in order are: daw.xls lwd.xls mad.xls maf.xls man.xls
mul.xls
%oak.xls odd.xls pit.xls swd.xls yad.xls
nf=11;
[data filename]=xlsread('datafile-names.xls');
figcount=0;
%loop over sounding sites and writing results in files
for k=1:nf
    data=xlsread(filename{k});
    rhoname=filename{k};
    sitename=rhoname(1:3);
    rhoname=['Rho' sitename];
    phiname=['Phi' sitename];
    freq=data(:,1);zxxr=data(:,2);zxxi=data(:,3);zxyr=data(:,4);zxyi=data(:,5);
    zyxr=data(:,6);zyxi=data(:,7);zyyr=data(:,8);zyyi=data(:,9);
    rhoxx=0.2*(zxxr.^2+zxxi.^2)./freq;
    rhoxy=0.2*(zxyr.^2+zxyi.^2)./freq;
    rhoyx=0.2*(zyxr.^2+zyxi.^2)./freq;
    rhoyy=0.2*(zyyr.^2+zyyi.^2)./freq;
    phixx=atan(zxxi./zxxr)*180/pi;
    phixy=atan(zxyi./zxyr)*180/pi;
    phiyx=atan(zyxi./zyxr)*180/pi;
    phiyy=atan(zyyi./zyyr)*180/pi;

    loglog(freq,rhoxx,'--ro','MarkerSize',5);hold on;loglog(freq,rhoxy,'--
gx','MarkerSize',5);loglog(freq,rhoxy,'--
b*','MarkerSize',5);loglog(freq,rhoxy,'--
m+','MarkerSize',5);hold off
    graphtitle=['PLOT of RHO from SITE: ' sitename];
    title(graphtitle);
    ylabel('Ohm-M');xlabel('Frequency (Hz)');
    legend('RhoZxx','RhoZxy','RhoZyx','RhoZyy','Location','NEO');
    h1 = gcf;
    saveas(h1,rhoname,'emf');
    semilogx(freq,phixx,'--ro','MarkerSize',5);hold
on;semilogx(freq,phixy,'--gx','MarkerSize',5);semilogx(freq,phiyx,'--
b*','MarkerSize',5);semilogx(freq,phiyy,'--m+','MarkerSize',5);hold off
    graphtitle=['PLOT of PHI from SITE: ' sitename];
    title(graphtitle);
    ylabel('PHI (Degree)');xlabel('Frequency (Hz)');
    legend('PhiXX','PhiXY','PhiYX','PhiYY','Location','NEO');
    h2 = gcf;
    saveas(h2,phiname,'emf');
    valcount=0;
    for i=1:length(freq)
        mr1=zxyr(i)*zyxr(i);mr2=zxxr(i)*zyyr(i);
        mq1=zxyi(i)*zyxi(i);mq2=zxxi(i)*zyyi(i);
        if mr1<mr2 && mq1<mq2

            validindex(i)=i;
            gr(i)=atan((zyyr(i)+zxxr(i))/(zxyr(i)-zyxr(i)));
            gq(i)=atan((zyyi(i)+zxxi(i))/(zxyi(i)-zyxi(i)));
            tr1=(zyyr(i)+zxxr(i))^2;tr2=(zxyr(i)-zyxr(i))^2;

```

```

tr3=(zyyr(i)-zxxr(i))^2;tr4=(zxyr(i)+zyxr(i))^2;
zpxyr(i)=(sqrt(tr1+tr2)-sqrt(tr3+tr4))/2;
tq1=(zyyi(i)+zxxi(i))^2;tq2=(zyxi(i)-zxyi(i))^2;
tq3=(zyyi(i)-zxxi(i))^2;tq4=(zxyi(i)+zyxi(i))^2;
zpxyq(i)=(sqrt(tq1+tq2)-sqrt(tq3+tq4))/2;
zpyxr(i)=(sqrt(tr1+tr2)+sqrt(tr3+tr4))/2;
zpyxq(i)=(sqrt(tq1+tq2)+sqrt(tq3+tq4))/2;

zpxyt(i)=sqrt(zpxyr(i)^2+zpxyq(i)^2);
zpyxt(i)=sqrt(zpyxr(i)^2+zpyxq(i)^2);
phipxy(i)=atan(zpxyq(i)/zpxyr(i))*180/pi;
phipyx(i)=atan(zpyxq(i)/zpyxr(i))*180/pi;
rhopxy(i)=0.2*((zpxyr(i).^2+zpxyq(i).^2).^5)./freq(i);
rhopyx(i)=0.2*((zpyxr(i).^2+zpyxq(i).^2).^5)./freq(i);

sr1=zyyr(i)-zxxr(i);sr2=zxyr(i)+zyxr(i);
sr3=zyyr(i)+zxxr(i);sr4=zxyr(i)-zyxr(i);
thetaer(i)=(atan(sr1/sr2)+atan(sr3/sr4))*180/2/pi;
thetahr(i)=(atan(sr1/sr2)-atan(sr3/sr4))*180/2/pi;

sq1=zyyi(i)-zxxi(i);sq2=zyxi(i)+zxyi(i);
sq3=zyyi(i)+zxxi(i);sq4=zxyi(i)-zyxi(i);
thetaeq(i)=(atan(sq1/sq2)+atan(sq3/sq4))*180/2/pi;
thetahq(i)=(atan(sq1/sq2)-atan(sq3/sq4))*180/2/pi;
else
validindex(i)=i;
tr1=(zyyr(i)+zxxr(i))^2;tr2=(zxyr(i)-zxyr(i))^2;
tr3=(zyyr(i)-zxxr(i))^2;tr4=(zxyr(i)+zyxr(i))^2;
tq1=(zyyi(i)+zxxi(i))^2;tq2=(zyxi(i)-zxyi(i))^2;
tq3=(zyyi(i)-zxxi(i))^2;tq4=(zxyi(i)+zyxi(i))^2;

zpyxr(i)=(sqrt(tr1+tr2)+sqrt(tr3+tr4))/2;
zpyxq(i)=(sqrt(tq1+tq2)+sqrt(tq3+tq4))/2;

zpyxt(i)=sqrt(zpyxr(i)^2+zpyxq(i)^2);
phipyx(i)=atan(zpyxq(i)/zpyxr(i))*180/pi;
rhopyx(i)=0.2*((zpyxr(i).^2+zpyxq(i).^2).^5)./freq(i);
rhopxy(i)=25000;
phipxy(i)=160;
sr1=zyyr(i)-zxxr(i);sr2=zxyr(i)+zxyr(i);
sr3=zyyr(i)+zxxr(i);sr4=zxyr(i)-zyxr(i);
thetaer(i)=(atan(sr1/sr2)+atan(sr3/sr4))*180/2/pi;
thetahr(i)=(atan(sr1/sr2)-atan(sr3/sr4))*180/2/pi;

sq1=zyyi(i)-zxxi(i);sq2=zyxi(i)+zxyi(i);
sq3=zyyi(i)+zxxi(i);sq4=zxyi(i)-zyxi(i);
thetaeq(i)=(atan(sq1/sq2)+atan(sq3/sq4))*180/2/pi;
thetahq(i)=(atan(sq1/sq2)-atan(sq3/sq4))*180/2/pi;

end
end

decomp=[freq(:) zxyr(:) zxyi(:) zyxr(:) zyxi(:)];

fname=filename{k};

```

```

fname=[fname(1:3) '.out'];
fid=fopen(fname,'w');
validindex=validindex(1:length(freq));
freq=freq(validindex);
zpyxt=zpyxt(validindex);phipxy=phipxy(validindex);
phipyx=phipyx(validindex);
thetaer=thetaer(validindex);thetaeq=thetaeq(validindex);
thetahr=thetahr(validindex);thetahq=thetahq(validindex);
rhopxy=rhopxy(validindex);rhopyx=rhopyx(validindex);
    for ii=1:length(freq)
        fprintf(fid,'%10.4f %10.4f %10.4f %10.4f %10.4f %10.2f %10.2f
%10.2f %10.2f
\r\n',freq(ii),rhopxy(ii),rhopyx(ii),phipxy(ii),phipyx(ii),thetaer(ii),
thetaeq(ii),thetahr(ii),thetahq(ii));
    end
    fclose(fid);

    rhomat=[rhopxy(:), rhopyx(:)];
    phimat=[phipxy(:), phipyx(:), thetaer(:), thetaeq(:),
thetahr(:), thetahq(:)];

    rhofigtitles=['RhoPxy ','RhoPyx '];
    phifigtitles=['PhiPxy ','PhiPyx
','Thetaer','Thetaeq','Thetahr','Thetahq'];
    rhofigtitles=cellstr(rhofigtitles);
    phifigtitles=cellstr(phifigtitles);
    colmat=[1 0 0;0 1 0;0 0 1;1 1 0;0 1 1;1 0 1;1 .5 0;1 .5 .5];
    for jj=1:2
        loglog(freq,rhomat(:,jj),'--
+', 'Color',colmat(jj,:), 'MarkerSize',5);hold on;
    end

    graphtitle=['Plot of Decomposed Resistivity Results: '
sitename];
    title(graphtitle);
    ylabel('Rho(Ohm-m)');xlabel('Frequency (Hz)');
    legend(rhofigtitles, 'Location', 'NEO');

    hh =(gcf);
    graphfile=[sitename '-decomposed-Rhos'];

    saveas(hh,graphfile,'emf'); hold off;

    for jj=1:6

        semilogx(freq,phimat(:,jj),'--
x', 'Color',colmat(jj,:), 'MarkerSize',5);hold on;
    end

    graphtitle=['Plot of Decomposed Angle Results: '
sitename];
    title(graphtitle);
    ylabel('Angle (Deg.)');xlabel('Frequency (Hz)');
    legend(phifigtitles, 'Location', 'NEO');

```

```
hh = gcf;  
graphfile=[sitename '-decomposed-Angles'];  
    saveas(hh,graphfile,'emf'); hold off;  
  
end
```