

# تحلیل و مدلسازی داده‌های ژئوفیزیکی (IP,RS,M) در محل اندیس معدنی مس سوناجیل

غلامحسین نوروزی

دانشیار گروه مهندسی معدن - دانشکده فنی - دانشگاه تهران

سعید غلامی

فارغ التحصیل کارشناسی ارشد مهندسی اکتشاف معدن - دانشکده فنی - دانشگاه تهران

(تاریخ دریافت ۸۲/۲/۱۷، تاریخ دریافت روایت اصلاح شده ۸۳/۸/۲، تاریخ تصویب ۸۳/۱۰/۲۶)

## چکیده

مطالعات ژئوفیزیکی به سه روش مغناطیس سنجی (M) مقاومت ویژه ظاهری (RS) و بارپذیری (IP)، در منطقه سوناجیل، واقع در ۱۵ کیلومتری شرق شهرستان هریس در استان آذربایجان شرقی و در محدوده‌ای به ابعاد ۲۳۰۰×۸۰۰ متر انجام شده است. واحدهای سنگی موجود در منطقه شامل توف و آندزیت می‌باشد که در اکثر قسمتها به شدت دگرسان شده‌اند. مطالعات اولیه، تیپ احتمالی کانی سازی را مس پورفیری تشخیص داده است. جهت بررسی پدیده‌های ساختمانی و یا توده‌های نفوذی که میتوانند منشأ کانی سازی باشند از روش مغناطیسی استفاده شده است. به این ترتیب در سه بخش، مناطقی با شدت میدان بالا تشخیص داده شد که احتمالاً در ارتباط با توده‌هایی از جنس آندزیت می‌باشد. جهت بررسی شکل و موقعیت پدیده‌های ساختمانی و توده‌های نفوذی روش دیکانولوشن اولر مورد استفاده قرار گرفت. مطالعات ژئوالکتریک با آرایش الکترودی مستطیلی در کل منطقه و با آرایش دوقطبی-دوقطبی بر روی بیهنجاریهای بدست آمده از مرحله اول صورت گرفته است. از تکنیکهای آمار کلاسیک، برای تشخیص حد آستانه‌ای در داده‌های بارپذیری و از ضریب همبستگی جهت پی بردن به ارتباط دو متغیر بارپذیری و مقاومت ویژه ظاهری استفاده گردید. آنگاه عملیات مدلسازی وارون سازی به روش هموار جهت پردازش داده‌های ژئوالکتریک به کار رفت. در نهایت با توجه به بیهنجاریهای به دست آمده از روشهای ژئوفیزیکی نقاطی جهت عملیات حفاری پیشنهاد شد.

**واژه های کلیدی:** مغناطیس، پلاریزاسیون القایی، مقاومت ویژه، دیکانولوشن اولر، مدلسازی معکوس

## مقدمه

بهترین روشی که پاسخهای مناسبی در مورد کانیهای فلزی پراکنده ارائه میدهد، روش پلاریزاسیون القایی است، که بطور معمول همراه مقاومت ویژه به اجرا در می آید. بمنظور تعیین گسترش جانبی کانسار در محدوده مورد مطالعه از این روش با آرایش الکترودی مستطیلی استفاده شده است. در این آرایش، جریان توسط دو الکتروود با فاصله نسبتاً زیاد از هم بزمین تزریق شده و برداشتهای روی پروفیلهایی موازی با امتداد الکتروودهای جریان انجام گرفته است. همچنین جهت بررسی وضعیت عمقی بیهنجاریها از آرایش دوقطبی- دوقطبی استفاده شده است. در این آرایش بدلیل جدائی خط فرستنده جریان و خط پتانسیل نسبت سیگنال به نویز در مقایسه با آرایشهای معمول دیگر پائین بوده و تفسیر داده های برداشتی نیز آسان میباشد. اما باید دقت کرد که تعداد

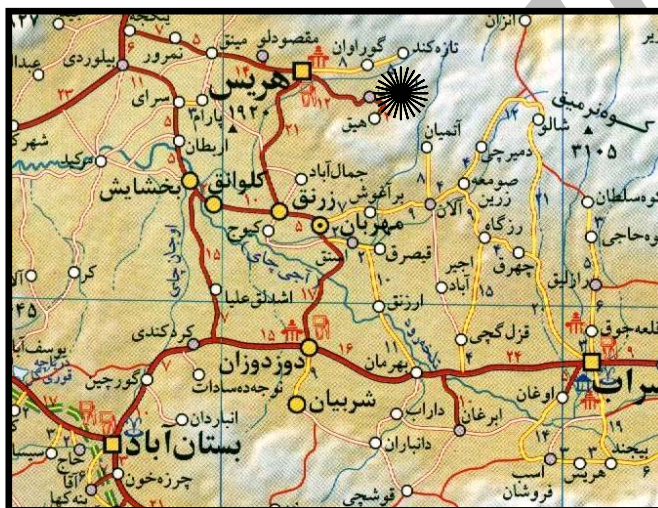
در محل اندیس معدنی سوناجیل پیش از برداشتهای ژئوفیزیکی، مطالعات ژئوشیمیائی که بطور سیستماتیک مقدم بر مطالعات ژئوفیزیکی میباشد، صورت نگرفته است. مطالعات ژئوشیمیائی جهت انتخاب بهتر روشهای ژئوفیزیکی و نیز انتخاب محدوده های مناسبتر این برداشتها میتواند مورد استفاده قرار گیرد. بنابراین در اینجا با توجه به مطالعات سنگ شناسی، عملیات مغناطیس سنجی به منظور تشخیص پدیده های ساختمانی (مانند گسلها و دایکها) و توده های نفوذی وهمچنین مقایسه آنها با مطالعات پلاریزاسیون القایی و مقاومت ویژه درجهت تفسیر اکتشافی بهتر و آگاهی از ارتباط یا عدم ارتباط بیهنجاریهای مغناطیسی با بیهنجاری های پلاریزاسیون القایی (کانی سازی مس) مورد نظر قرار گرفته است.

آندزیت مگاپرفیری (که خاستگاه مناسبی برای کانی-سازي مس هستند)، منجر به پیشنهاد انجام عملیات اکتشافی در محدوده‌ای به وسعت تقریباً دو کیلومتر مربع گردید. شکل کلی منطقه، به صورت مستطیلی به ابعاد ۲۳۰۰ در ۸۰۰ متر می باشد که ضلع کوچک این مستطیل تقریباً شمالی-جنوبی (با ۱۰ درجه انحراف به سمت شرق) است. مهمترین راه دسترسی منطقه از طریق شهرستان هریس، روستای هیق و از آنجا توسط یک جاده خاکی به طول حدود ۵ کیلومتر (هوایی) می باشد. آب و هوای منطقه، معتدل کوهستانی تا سرد است.

گامها (n) از ۶ یا ۸ تجاوز نکنند، زیرا در گامهای بالاتر سطح نويز افزایش چشمگیری پیدا میکند. بنابراین در صورت نیاز بعمق بررسی بیشتر بهتر است که طول گام در آرایش دوقطبی- دوقطبی افزایش داده شود.

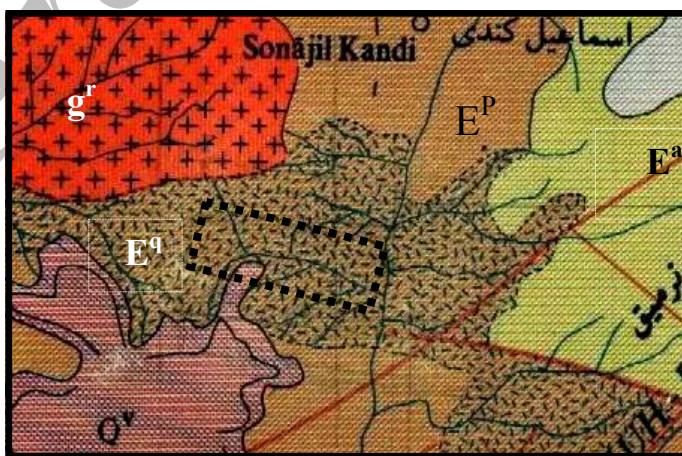
## موقعیت جغرافیائی و زمین شناسی منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در استان آذربایجان شرقی و در ۱۵ کیلومتری شهرستان هریس واقع شده است (شکل ۱). وجود آلتراسیون‌های فراوان و سنگ‌های آندزیتی تا



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه (☀).

38°15'00"  
47°15'00"



38°10'00"  
47°15'00"

38°15'00"  
47°22'30"

38°10'00"  
47°22'30"

محدوده مورد مطالعه

شکل ۲: نقشه زمین شناسی به همراه موقعیت محدوده مورد مطالعه.

تغییرات مشخص میدان که حاکی از یک تغییر لیتولوژی که همراه با تغییر خودپذیری سنگها میباشد، رسم شده است. از طرف دیگر زمانیکه در محدوده بیهنجاری تغییرات توپوگرافی شدید نباشد، گرادیان افقی آنومالی در جهت فروشیب کمتر از جهت مخالف آن است.

## مدلسازی انومالی مغناطیسی اصلی در منطقه

### مورد مطالعه

#### معرفی روش

عمده ترین کاربرد داده‌های مغناطیسی، محاسبه عمق چشمه‌های مغناطیسی می‌باشد. یکی از تکنیکهای مهم برای نیل به این هدف بر پایه معادله هموزن اولر استوار است. در این روش، شاخص ساختمان<sup>۱</sup> و عمق، در دامنه وسیعی از ساختارهای زمین شناسی، مانند گسلها، کنتاکتها، دایکها و توده‌های نفوذی تخمین زده می‌شوند. این روش جزء تکنیکهای تخمین عمق خودکار<sup>۲</sup> (مانند روش دیکانولوشن ورنر<sup>۳</sup>) است [۱].

تابع  $f(x,y,z)$  در دستگاه معادلات سه بعدی کارترین  $(x,y,z)$  و صفحه اندازه گیری داده‌ها به عنوان  $Z=0$  در نظر گرفته می‌شود و جهت مثبت  $Z$  به سمت پایین، جهت محور  $X$  به سمت شمال و جهت محور  $Y$  را به سمت شرق فرض می‌کنیم. تابع  $f(x,y,z)$  را هموزن از درجه  $n$  می‌گویند اگر  $f(tx,ty,tz) = t^n f(x,y,z)$ . علاوه بر این ثابت می‌شود اگر  $f(x,y,z)$  همواره از درجه  $n$  باشد، معادله زیر صادق است:

$$x \frac{\partial f}{\partial x} + y \frac{\partial f}{\partial y} + z \frac{\partial f}{\partial z} = nf \quad (1)$$

این معادله دیفرانسیل، تحت عنوان معادله هموزن اولر یا به طور ساده معادله اولر خوانده میشود. معادله اکثر چشمه‌های مغناطیسی نقطه‌ای ساده، به شکل  $f(x,y,z) = \frac{G}{r^N}$  است که در آن  $r = (x^2 + y^2 + z^2)^{1/2}$  و  $N=3,2,1,\dots$  و  $G$  مستقل از  $(x,y,z)$  می‌باشد. معادله فوق، هموزن از درجه  $n=-N$  است.  $N$  شاخص ساختمان میباشد که بیانگر شکل منبع بیهنجاری است. مدلهای ساده، مقادیر مشخصی از  $N$  را نشان میدهند. بعنوان مثال این شاخص برای قطب نقطه ای ۲ و برای دوقطبی نقطه ای ۳ میباشد.

ناحیه مورد بررسی در نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ اهر واقع است. از نظر زمین شناسی، دو واحد سنگی در منطقه یافت می‌شود:

(الف) توف برشی - ایگنمبریت به همراه آندزیت پیروکسن دار ( $E^P$ ) و تراکی آندزیت ( $E^Q$ ) که قسمت عمده منطقه را پوشانده و اکثراً تحت تأثیر محلولهای هیدروترمال، به صورت آلتزه درآمده است. توف‌ها بیشتر اسیدی و درحد ریوداسیت تا داسیت می‌باشند.

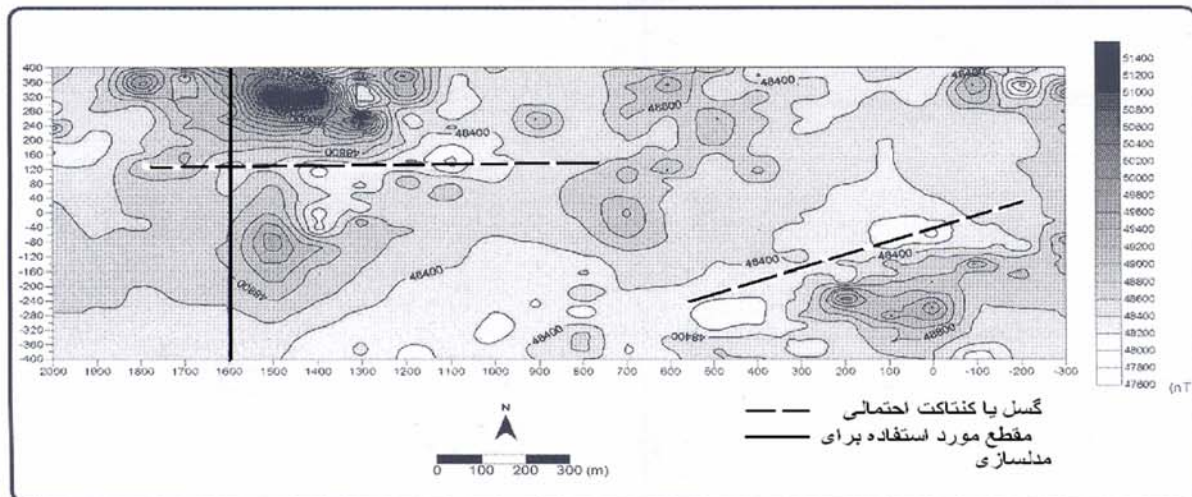
(ب) گدازه‌های بازالتی ( $Q^V$ ) که قسمتهای محدودی از جنوب دره مورد مطالعه را می‌پوشاند.

(ج) آکالی گرانیت تا هورنبلند بیوتیت گرانیت انزان ( $G^T$ ).

(د) آموزیت تا تراکی آندزیت پرفیری و مگاپرفیری ( $E^A$ ).

## مغناطیس سنجی

عملیات مغناطیس سنجی بر روی پروفیلهایی به فاصله ۱۰۰ متر در امتداد تقریباً شمالی - جنوبی و با فاصله ایستگاهی ۲۰ متر انجام گرفته است. همچنین تغییرات میدان در طول زمان برداشت، توسط یک مغناطیس سنج مستقر در ایستگاه مینا واقع در خارج از منطقه مطالعاتی اندازه گیری شده است تا بتوان علاوه بر پی بردن به وقوع طوفانهای مغناطیسی، تصحیحات روزانه رانیز انجام داد. با استفاده از داده‌های مغناطیسی ایستگاه مینا تصحیحات روزانه انجام شده، ضمن اینکه در طول برداشتها تغییراتی که حاکی از وزش طوفانهای مغناطیسی باشد، مشاهده نشده است. در نقشه شدت میدان کل مغناطیسی در شمال غرب محدوده مطالعاتی بیهنجاری مغناطیسی با شدت میدان در حد ۵۰۰۰۰ نانوتسلا وجود دارد که در جنوب آن توسط یک بیهنجاری با شدت کمتر دنبال می‌شود. در جنوب شرق هم درحد فاصل پروفیلهای صفر تا ۲۰۰، بیهنجاری دیگری مشاهده می‌گردد که البته دارای شدت پایین تری نسبت به حالت قبل است (شکل ۳). بیهنجاریهای مغناطیسی موجود بطور عمده مربوط به توده‌های آندزیتی می‌باشند، زیرا با توجه به اطلاعات سنگ شناسی منطقه بیشترین خودپذیری مغناطیسی مربوط به سنگهای آندزیتی است که در این بین بیهنجاری واقع در شمال غرب منطبق بر رخنمون توده آندزیتی بوده دارای فروشیبی سمت جنوب غربی است. خطواره‌های گسلی احتمالی (یا کنتاکت آندزیتها) روی نقشه نشان داده شده است. این خطواره‌ها براساس



شکل ۳: نقشه شدت میدان مغناطیسی کل در منطقه مورد مطالعه.

بزرگتر را ترجیح می‌دهند. همچنین یک سطح تراز مطلق از میدان بیهنجاریهای محلی به ندرت مشخص می‌شود. زیرا همیشه در اطراف آنومالی، میدان ناحیه‌ای وجود دارد. علاوه بر این بیهنجاریها به ندرت توسط چشمه‌های نقطه ای مشخص می‌شوند. بنابراین باید شاخصهای ساختمان را به صورت پیش فرض به مسئله بدهیم. شاخص ساختمانی صحیح تر شاخصی است که بیشترین کلاستر یا خوشه بندی را در پاسخها داشته باشد. برای تشخیص صحیح بیهنجاری از داده‌های مشاهده‌ای فرض کنید میدان بیهنجاری با مقدار ثابتی مانند  $B$  در پنجره-ای که معادله (۲) ارزیابی می‌شود آلوده شده باشد. پس مقدار مشاهده‌ای به صورت  $T(x) = \Delta T(x) + B$  است که  $B$  در موقعیت  $X$  در بخشی از پروفیل که آنالیز انجام می‌شود ثابت است. بنابراین داریم [۲]:

$$x_0 \frac{\partial T}{\partial x} + z_0 \frac{\partial T}{\partial z} + NB = x \frac{\partial T}{\partial x} + NT \quad (3)$$

چون بیهنجاری واقعی فقط با مدل‌های ساده تخمین زده می‌شود، سومین مشکل نیز با ایجاد یک مجموعه معادلات خطی تحت بررسی حل می‌شود. اگر معادله (۳) در چهار یا تعداد بیشتری نقطه، با در نظر گرفتن یک پنجره بر روی پروفیل حل شود، یک مجموعه از معادلات تحت بررسی به وجود می‌آید. معمولاً از یک اپراتور، شامل هفت نقطه، استفاده می‌شود و سه معادله با سه مجهول  $X_0$  و  $Z_0$  و  $B$  با استفاده از روش کمترین مجموع مربعات حل می‌گردد. این فرایند با استفاده از شکل (۴) قابل توضیح

شاخص ساختمان اندازه‌ای از تیزی بیهنجاری را که در ارتباط با عمق چشمه می‌باشد، نشان می‌دهد. رابطه بین شاخص ساختمان و بیهنجاریهای زمین شناسی واقعی اساس روش دیکانولوشن اولر را تشکیل می‌دهند [۱]. اگر چشمه نقطه‌ای موجود در موقعیت  $(x_0, y_0, z_0)$  مرتبط با صفحه اندازه‌گیری باشد، شدت میدان مغناطیسی کل به شکل  $T(x, y, z) = F[(x-x_0), (y-y_0), (z-z_0)]$  است. معادله اولر برای این تابع بدین صورت نوشته می‌شود.

$$(x-x_0) \frac{\partial \Delta T}{\partial x} + (y-y_0) \frac{\partial \Delta T}{\partial y} - z_0 \frac{\partial \Delta T}{\partial z} = -N \Delta T(x, y) \quad (2)$$

در اینجا رابطه فوق بر روی داده‌های خطی یا پروفیل به کار برده می‌شود، که در این صورت  $y$  حذف می‌شود. بنابراین مقادیر مجهول در اینجا  $N, Z_0, x_0$  است که مختصات  $(X_0, Z_0)$  عمق و موقعیت چشمه بر روی پروفیل در جهت  $X$  و  $N$ ، بسته به نوع چشمه‌ای است که بیشترین انطباق را با بیهنجاری دارد. این معادله را میتوان با استفاده از مشتق و مقادیر میدان کلی برای این سه مجهول در سه نقطه با مختصات  $X$  مختلف در طول پروفیل حل کرد. در این حالت سه معادله و سه مجهول داریم که در صورت صفر نشدن دترمینان ضرایب آن دارای جواب است. اما به چند دلیل این پاسخها دقیق نیستند: یکی اینکه اکثر بیهنجاریها شاخصهای ساختمان

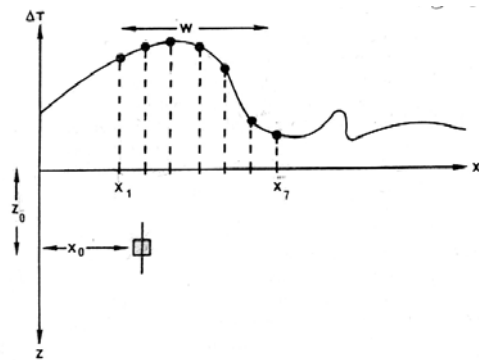
شدت میدان مغناطیسی افزایش شدیدی نشان می دهد. برای اجرای روش دی کنولوشن اولر از میدان باقیمانده که با حذف میدان ناحیه ای از روی مقادیر میدان اندازه گیری شده بدست آمده استفاده شده است. بر روی این پروفیل از محل ایستگاه ۲۰ تا ۴۰۰ شاهد افزایش در شدت میدان و تغییرات گرادیانهای قائم و افقی هستیم (شکل ۵). در قسمت بالای شکل منحنی تغییرات میدان باقیمانده (خط پر) و منحنی میدان انتقال به قطب (نقطه چین) و در قسمت پائین منحنی گرادیان قائم (خط پر) و گرادیان افقی (خط چین) رسم شده است. همچنین بر اساس محاسبات حاصل از روش دکونولوشن اولر تغییرات عمقی ساختار مغناطیسی (علامت +) در زیر پروفیل ۱۶۰۰ نشان داده شده است. بدین ترتیب در عمق حدود ۱۵۰ متری کنتاکتی بین دو نوع سنگ با خودپذیری مغناطیسی متفاوت نشان داده شده که به تدریج به سمت شمال پروفیل ادامه پیدا می کند و به سطح زمین می رسد. این کنتاکت از روی منحنیهای گرادیان افقی و قائم از محلی شروع میشود که این دو منحنی بطور مشخص از یکدیگر فاصله میگیرند. در اینجا از فاصله ۲۰ تا ۱۷۰+ این کنتاکت بخوبی دیده میشود. همانگونه که بیان شد احتمالاً در این محل یک توده نفوذی با جنسی متفاوت از سنگهای اطراف وجود دارد و چون دارای خودپذیری مغناطیسی بالایی است میتوان آن را به سنگهای اندزیت نسبت داد که در اینجا کاملاً به سطح نزدیک شده و رخنمون آن نیز روی سطح زمین دیده شده است. همانطور که روی مدل شکل (۵) دیده میشود، شیب سنگهای آندزیتی در جهتی قرار دارد که گرادیانها (تغییرات میدان بر حسب فاصله) آرامتر است.

### روش پلاریزاسیون القایی

پلاریزاسیون القایی از روشهای کارآمد در تشخیص کانیهای سولفیدی است. اندازه گیریهای IP می تواند درحوزه زمان یا فرکانس انجام شود. بارپذیری معمولترین مقدار اندازه گیری زمان-حوزه ای محسوب می شود و از رابطه زیر به دست می آید:

$$M = \frac{1}{V_c} \int_{t_1}^{t_2} V_t dt \quad (4)$$

است. برای یک شاخص ساختمان داده شده، طول پنجره و موقعیت آن در طول پروفیل برای هفت نقطه داده ها انتخاب شده، پاسخهایی برای  $\partial Z / \partial X_0$  و  $B$  بدست می آید. اگر جوابها در ملاک پذیرش صادق بود، یک نشانه، مربوط به آن شاخص ساختمان در موقعیت  $(Z_0, X_0)$  رسم می شود. بسته به ملاک پذیرش، فقط آن تخمینهایی که به قدر کافی قابلیت تولید مجدد (یعنی واریانس کم) دارند برای خروجی پذیرفته می شوند [۳].

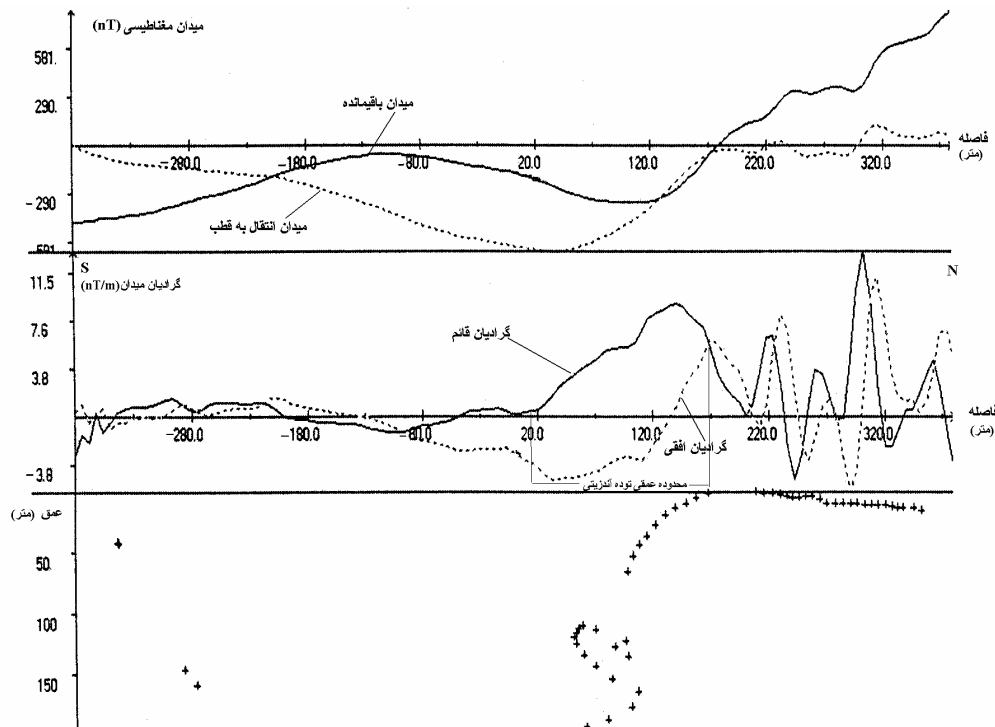


شکل ۴: طرحی شماتیک از یک تخمین عمق معتبر.

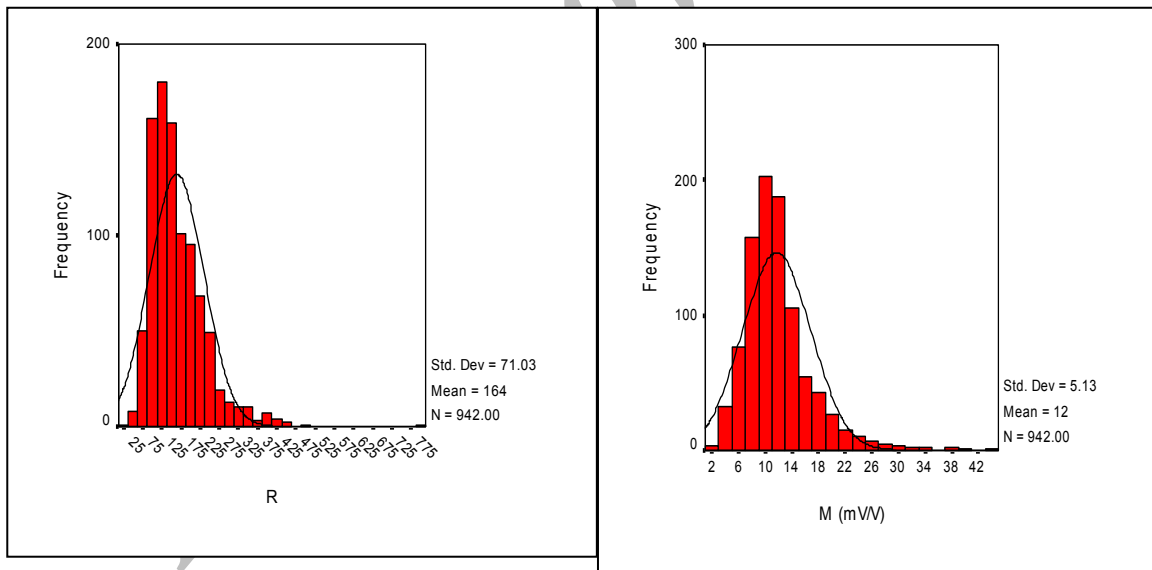
لازم به ذکر است که کمینه عمق برابر اندازه فاصله شبکه و بیشینه عمق، دو برابر اندازه پنجره در نظر گرفته می شود. از مزیت های این روش در مورد داده های مغناطیسی آن است که کلیه محاسبات، مستقل از زوایای میل و انحراف مغناطیسی است. اندازه پنجره باید به اندازه ای بزرگ باشد تا بتواند تغییرات یک میدان را به صورت پیوسته نشان دهد. از طرف دیگر نباید بزرگی آن به حدی باشد که چند چشمه مختلف در یک پنجره قرار گیرند. براساس مبانی نظری گفته شده از نرم افزار ارائه شده توسط جی کوپر استاد دانشگاه ویتواترز رند آفریقای جنوبی در این مطالعات استفاده شده است [۴].

### اجرای روش بر روی ساختار مغناطیسی اصلی در منطقه مورد مطالعه

از آنجایی که در این منطقه فاصله ایستگاههای برداشت برای مدل سازی تقریباً زیاد است (۲۰ متر)، احتمال از دست دادن ساختارهای کوچک وجود دارد. در شکل (۵) پاسخ این روش بر روی پروفیل شمالی- جنوبی ۱۶۰۰ آورده شده است. همانگونه که در نقشه شدت میدان کل منطقه ملاحظه گردید، در قسمت شمال غرب منطقه



شکل ۵: پاسخ روش اولر بر روی پروفیل ۱۶۰۰.



شکل ۶: هیستوگرامهای توزیع مقاومت ویژه (R) و بارپذیری (M).

به سیگنال شود، ولی بدلیل مقاومت ویژه نسبتا زیاد در محل کانی سازی از شدت نوفه ها کاسته میشود.

### تفسیر داده‌های بارپذیری و مقاومت ویژه ظاهری

در برداشتهای IP در هر ایستگاه علاوه بر بارپذیری،

در این منطقه از آرایش مستطیلی با فاصله خطوط جریان ۱۲۰۰ متر و الکترودهای پتانسیل ۲۰ متر برای بررسی تغییرات کل منطقه و از آرایش دوقطبی-دوقطبی با فاصله الکترودی ۴۰ متر و تعداد گامها (n) از ۱ تا ۱۴ در چند پروفیل استفاده شده است. این مقدار n همانطور که پیش از این گفته شد، میتواند باعث افزایش نسبت نوفه

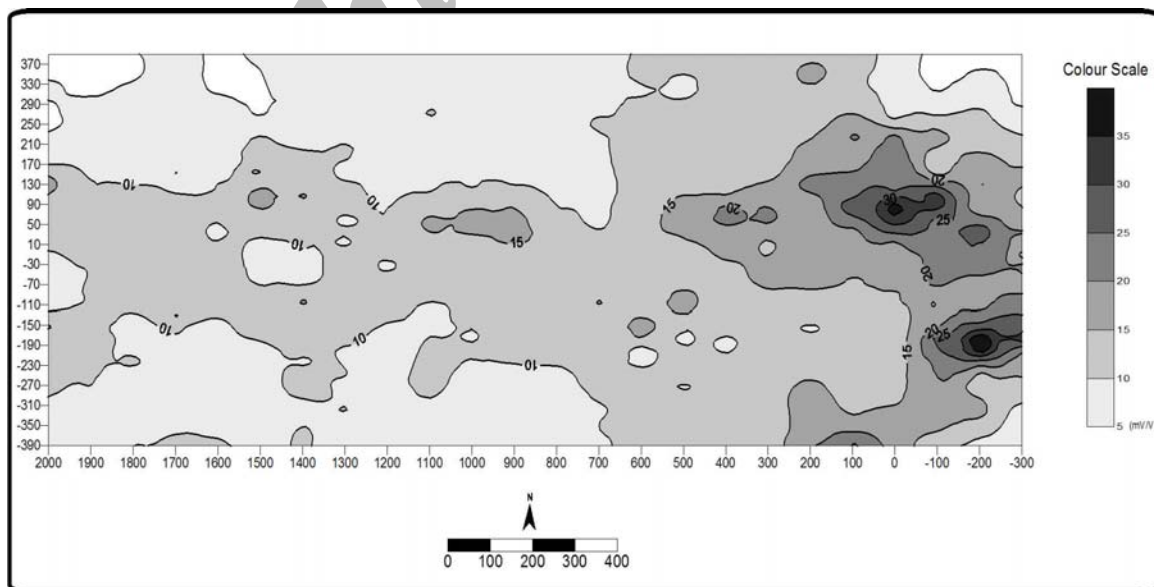


در صورت نرمال نبودن، باید عملیات نرمال سازی بر روی آن انجام شود). سپس مقادیر میانگین و واریانس، محاسبه شده و مقدار  $\bar{x} + 2s$  به عنوان حد آستانه ای در نظر گرفته شود. با در نظر گرفتن این معیار ( $\bar{x} + 2 \times S \geq 24$ ) یعنی مقدار بار بپذیری بیشتر از ۲۴ (mv/v) و اعمال آن روی نقشه بارپذیری محدوده‌های آنومال مشخص می‌شود (شکل ۸). بدین ترتیب روی نقشه بارپذیری فقط دو بیهنجاری موجود در بخش شرقی نقشه ارزش بررسی بیشتر را از نظر کانی سازی دارا می‌باشند. بهمین دلیل برای مطالعه بیشتر این دو بیهنجاری دو مقطع شبه عمق (مقطع صفر و -۲۰۰) روی آنها به اجرا در آمده است.

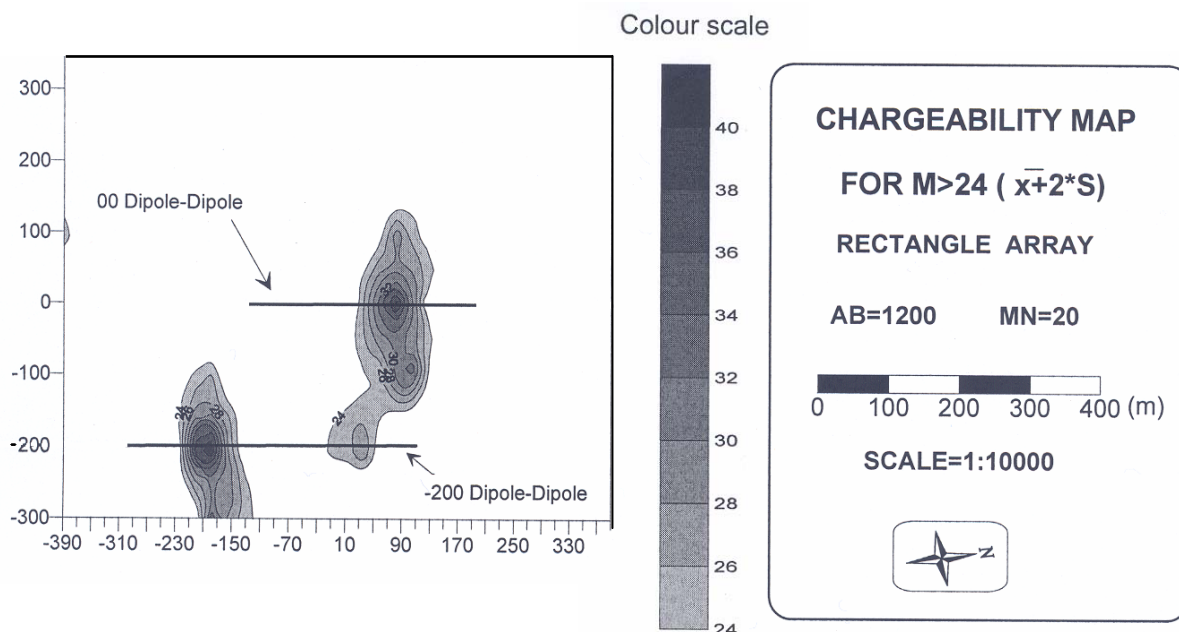
با توجه به شکل (۹) مقاومت ویژه در این منطقه نوسانات کمی دارد و تنها زون بی هنجاری قابل ذکر با روند شرقی غربی در حد فاصل پروفیل‌های ۲۰۰ و ۸۰۰ مشاهده می‌شود که آن هم منطبق بر رودخانه موجود در منطقه است. آلتراسیون‌های شدید در کل منطقه می‌تواند باعث همگنی زمین از نظر مقاومت ویژه ظاهری شده باشد. از طرف دیگر در محل دو بیهنجاری بارپذیری افت قابل توجهی در مقادیر مقاومت ویژه ظاهری مشاهده نمی‌گردد که این به معنای کم عیار بودن این بیهنجاریها میباشد.

مقاومت ویژه ظاهری نیز به طور همزمان اندازه‌گیری می‌شود. قبل از رسم نقشه‌های بارپذیری و مقاومت ویژه ظاهری بهتر است از طریق محاسبه پارامترهای آماری داده‌های حاصل از برداشت، علاوه بر بررسی صحت و دقت داده‌ها به پیش بینی وجود یا عدم وجود مناطق امید بخش در منطقه بپردازیم. بدین منظور هیستوگرام فراوانی مقاومت ویژه ظاهری و بارپذیری برای داده‌های منطقه مورد مطالعه رسم شده و پارامترهای آماری آنها محاسبه گردیده است (شکل ۶). ملاحظه می‌گردد که مقاومت ویژه‌های ظاهری دارای چولگی مثبت می‌باشند و شکل تابع توزیع آن کشیدگی به راست دارد. در مورد مقاومت ویژه ظاهری که مقادیر کمتر مطلوب تر می‌باشند، این حالت عدم وجود کانی سازی فلزی با عیار بالا را نشان می‌دهد. داده‌های بارپذیری وضعیت کانی سازی مطلوبتری، نشان می‌دهند، چرا که دارای چولگی مثبت بوده و مقادیر بارپذیری بالا که فراوانی کمی دارند در بین داده‌ها مشاهده می‌شود و این از ویژگیهای جوامع آنومال است [۷].

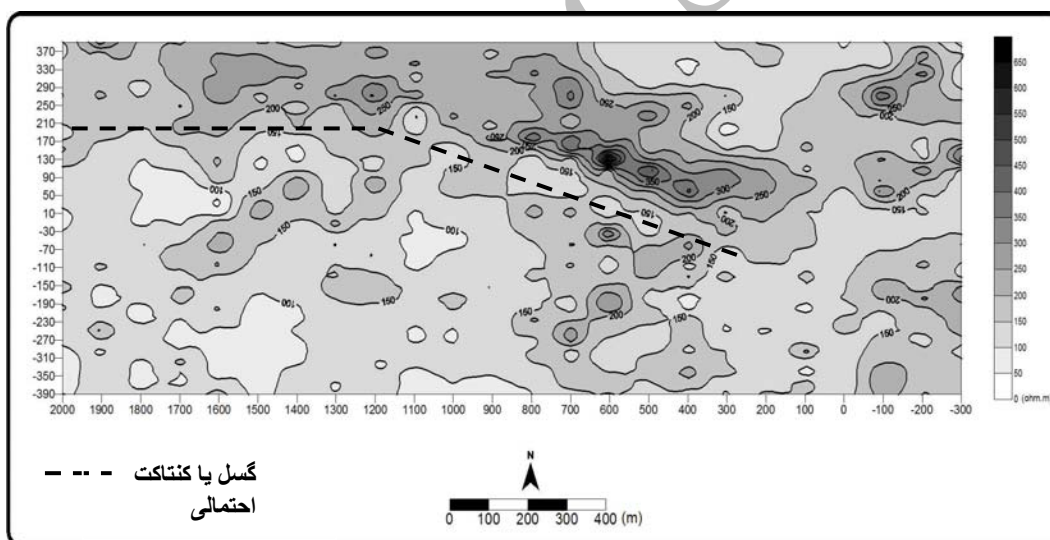
در شکل (۷) نقشه بارپذیری در کل منطقه مشاهده می‌گردد. برای تعیین مقدار زمینه می‌توان از روشهای آماری همچون میانگین به علاوه انحراف معیار استفاده کرد. بدین منظور لازم است تابع توزیع داده‌ها نرمال باشد.



شکل ۷: نقشه بارپذیری در منطقه مورد مطالعه.



شکل ۸: محدوده بیهنجاری IP با در نظر گرفتن بارپذیری بزرگتر از ۷۲۴ mv.



شکل ۹: نقشه مقاومت ویژه ظاهری در منطقه مورد مطالعه.

جدول ۱: ضریب همبستگی بین داده‌های IP و RS در منطقه مورد مطالعه.

	آرایش مستطیلی	مقطع شبه عمق صفر	مقطع شبه عمق ۲۰۰-
ضریب همبستگی (r)	۰/۰۵۱۰۴۹	-۰/۰۴۶۰۳	۰/۱۹۴۷۶۷

همبستگی رابطه بین دو متغیری را نشان میدهد که هر دو تحت تأثیر عوامل مشترک، تغییر پذیری هم جهت یا در خلاف جهت یکدیگر از خود بروز می دهند. بنابراین ضریب همبستگی، آینه ای است که در آن نحوه ارتباط

### محاسبه ضریب همبستگی بین مقاومت ویژه ظاهری و بار پذیری

به طور کلی در تعیین رابطه بین متغیرها از همبستگی و روشهای رگرسیون استفاده می گردد. ضریب



منطقه از داده های مغناطیسی بخوبی امکان پذیر میباشد در حالیکه داده های مقاومت ویژه ظاهری و بارپذیری قادر به تفکیک توده های اندزیتی نمیشوند.

### تفسیر مقاطع شبه عمق IP و مقاومت ویژه و مدلسازی انها

همانطور که گفته شد (نگا: ۷) دو مقطع شبه عمق بارپذیری و مقاومت ویژه روی هریک از پروفیلهای صفر و ۲۰۰- برای بررسی گسترش عمقی کانسار در منطقه مورد مطالعه به اجرا در آمده است.

مدلسازی مقاطع شبه عمق به روش معکوس سازی هموار توسط نرم افزار RES2DINV که بصورت دوبعدی عملیات مدلسازی را انجام میدهد صورت گرفته است. در این افزار ابتدا زمین به تعدادی بلوک مستطیلی شکل با مقاومت ویژه ثابت برای هر بلوک تقسیم میشود. ضخامت بلوکهای نزدیک به سطح کمتر از بلوکهای عمیق در نظر گرفته میشود، زیرا با افزایش عمق، تاثیر بلوکها بر روی داده ها کمتر میشود. روند تغییرات ضخامت بلوکها از سطح به عمق توسط فاکتور مربوط که در برنامه پیش بینی شده انتخاب میگردد [۵]. بعنوان مثال بلوک بندی بر روی شبه مقطع پروفیل صفر در شکل (۱۰) نشان داده شده است.

شرح مفصلتر چگونگی مدلسازی معکوس داده های قاومت ویژه و IP توسط الدنبرگ<sup>۴</sup> و همکاران ارائه شده است [۶].

#### پروفیل صفر

الف- شبه مقاطع مقاومت ویژه و بارپذیری ( شکل ۱۱ الف و ب )

باتوجه به مقادیر بارپذیری بیشتر از ۲۴ mv/v انومالیهای IP بصورت دو نوار یکی در بخش جنوبی و دیگری در بخش شمالی پروفیل با فروشیبی حدود ۴۵ درجه تایک عمق ظاهری حدود ۲۵۰ متر گسترش پیدا کرده اند (شکل ۱۱- ب). مقایسه مقاطع بارپذیری و مقاومت ویژه ظاهری نشان میدهد که هر دو این انومالیاها در قسمتهای سطحی نزدیک به زمینهایی قرار دارند که افزایش مقاومت ویژه وجود دارد و بنابراین قسمتی از افزایش بارپذیری در این عمقها بدلیل افزایش اختلاف مقاومت ویژه کانی سازی با سنگ میزبان میباشد. ایمن

متقابل تغییرات دو متغیر تصادفی منعکس می گردد. تغییرات ضریب همبستگی در بازه [۱، -۱] می باشد، بدین معنی که ضریب همبستگی احد اکثر رابطه مستقیم بین دو متغیر را نشان می دهد و ضریب همبستگی -۱- ماکسیمم رابطه بین آنها اما در جهت مخالف یکدیگر را بیان می کند. ضریب همبستگی صفر دلالت بر آن دارد که بین تغییرات این دو پارامتر یک توزیع تصادفی بدون هیچ گونه همبستگی متقابلی وجود دارد. در جدول (۱) ضریب همبستگی بین مقاومت ویژه ظاهری و بار پذیرى برای برداشتهای کل منطقه مورد مطالعه، با آرایش مستطیلی، همچنین دادههای بدست آمده از مقاطع دو قطبی-دوقطبی آورده شده است.

کم بودن ضریب همبستگی IP و RS در برداشتهای انجام شده با آرایش مستطیلی در کل منطقه، مبین آن است که دو پارامتر فوق، همبستگی بسیار ضعیفی با هم دارند، به طوری که افزایش یا کاهش IP در ارتباط با تغییرات RS نیست و این نتیجه از روی نقشه های رسم شده در قسمتهای قبل نیز مشخص است. در شبه مقطع دوقطبی- دو قطبی بر روی پروفیل صفر نیز ضریب همبستگی، همین وضعیت را دارد. در شبه مقاطع ۲۰۰- رابطه مستقیمی بین IP و RS وجود دارد و از نظر کانی سازی مطلوب نمی باشد، چرا که در صورت انجام کانی سازی در منطقه، با افزایش بارپذیری، مقاومت ویژه ظاهری باید کاهش یابد.

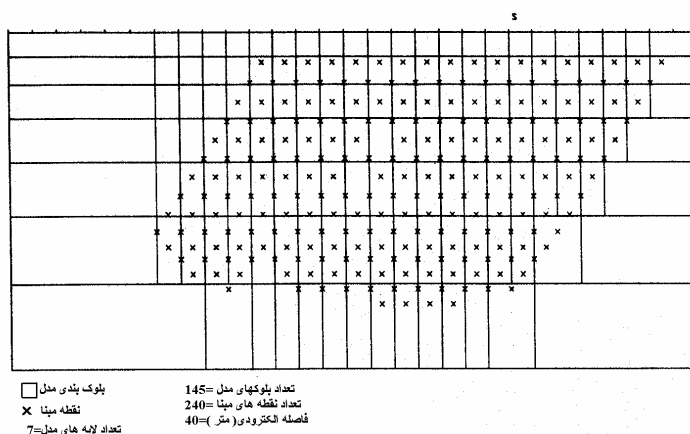
### مقایسه نقشه های بارپذیری، مقاومت ویژه و مغناطیسی

مقایسه داده های مغناطیسی، بارپذیری و مقاومت ویژه ظاهری نشان میدهد که:

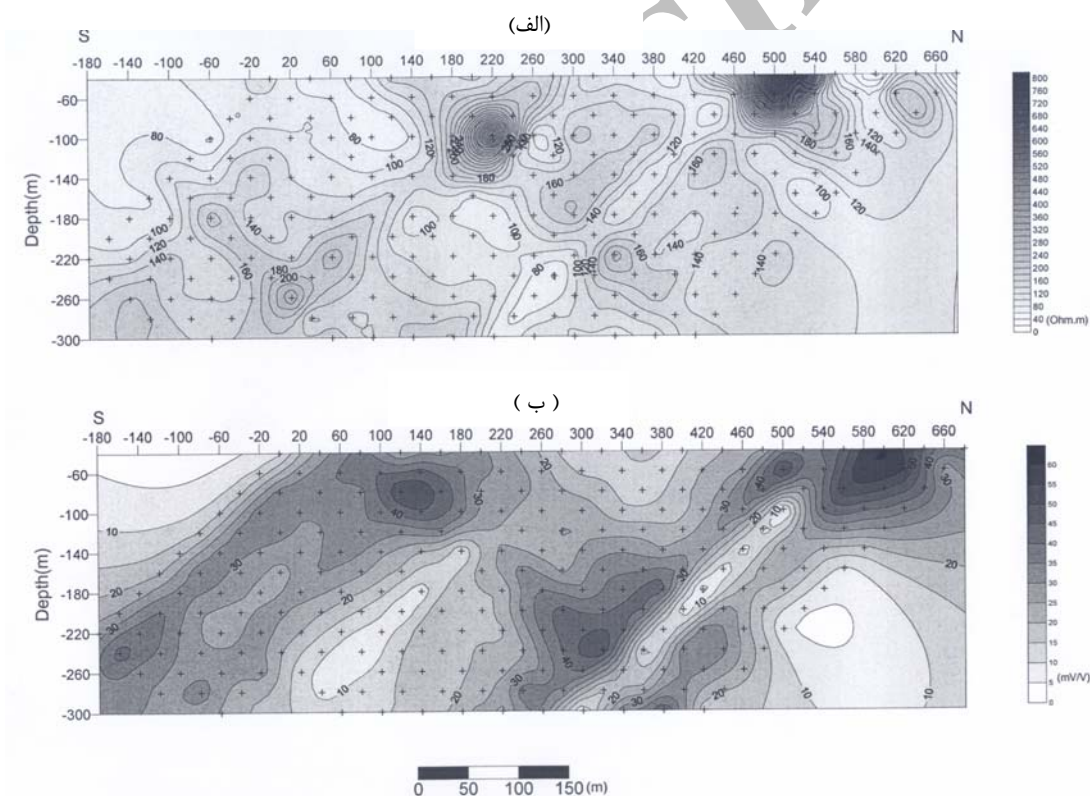
الف- رابطه مشخصی بین کانی سازی مس و انومالیهای مغناطیسی در منطقه مورد مطالعه وجود ندارد.

ب- تطابق خوبی بین خطواره های گسلی حاصل از مطالعات مغناطیسی و مقاومت ویژه ظاهری در بخش شمال غربی وجود دارد، ولی خطواره موجود در بخش شمال و بطرف مرکز در روی نقشه مقاومت ویژه روی نقشه مغناطیسی، مشخص نیست..

ج- تعیین محدوده توده اندزیتی بدلیل اختلاف خودپذیری مغناطیسی بارز نسبت به سنگهای دیگر



شکل ۱۰: نحوه بلوک بندی زمین در شبه مقطع صفر در منطقه مورد مطالعه توسط نرم افزار Res2Dinv.



شکل ۱۱: شبه مقطعی بدست آمده روی پروفیل صفر، الف: مقاومت ویژه، ب: بارپذیری.

های مقاومت ویژه و بارپذیری آورده شده است ( شکل ۱۲ الف و ب ). تعداد تکرارها برای رسیدن به مدل نهایی در هر دو مقطع ۶ میباشد اما خطای مدل مقاومت ویژه ظاهری بیشتر از مدل بارپذیری است.

مدل حاصل از بارپذیری در مقایسه با مقطع شبه عمق بارپذیری پروفیل صفر (شکل ۱۱-ب) تفاوتی را نشان میدهد. انومالی جنوبی دارای فروشیبی بیش از ۴۵ درجه

انومالیها در قسمتهای پایین در سنگهای با مقاومت ویژه نسبتا کم و یکنواخت قرار گرفته اند که از نظر عیار میتوانند نسبت به محدوده های سطحی از اهمیت بیشتری برخوردار باشند.

#### ب- مدلسازی بروش وارون کردن

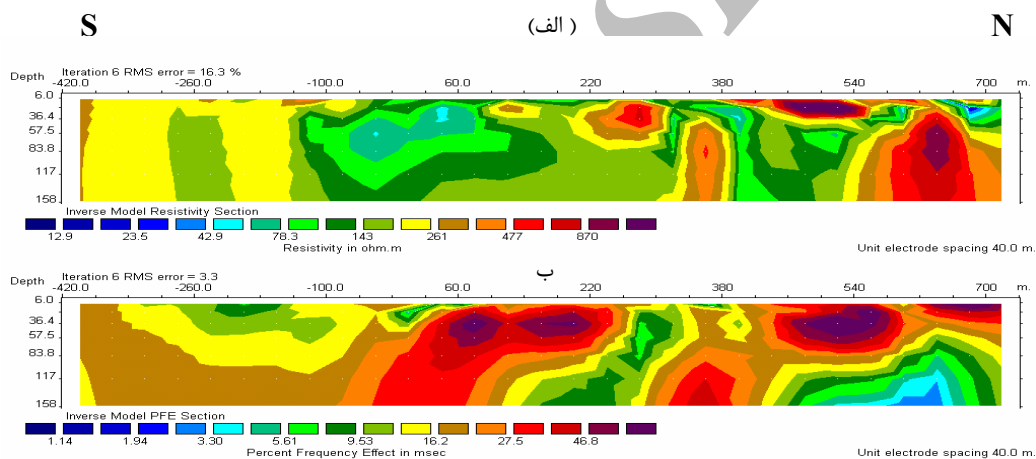
در اینجا فقط مدل نهایی حاصل از وارون کردن<sup>۵</sup> داده -

### پروفیل ۲۰۰-

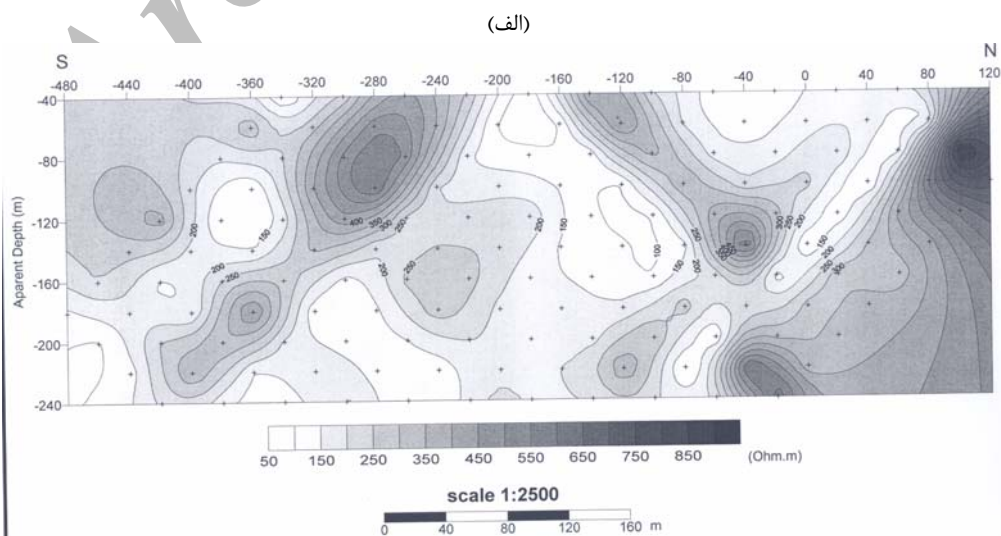
#### الف- شبه مقاطع بارپذیری و مقاومت ویژه

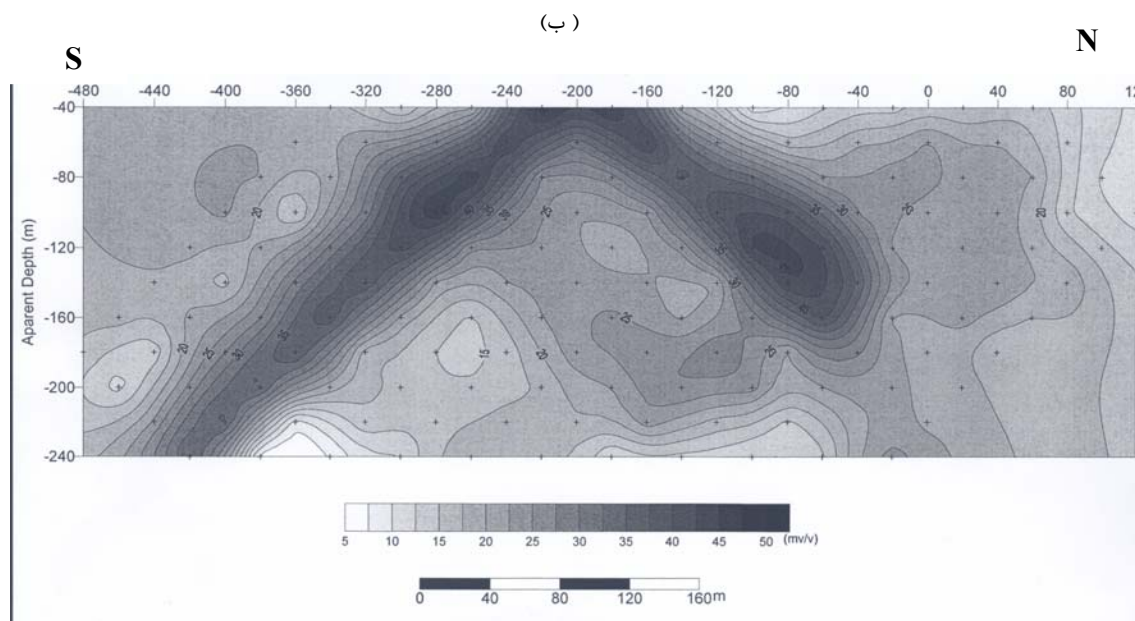
انومالی بارپذیری موجود روی مقطع شبه عمق (شکل ۱۳- ب) در محدوده ۱۶۰- تا ۲۴۰- پروفیل به سطح نزدیک شده و دارای دو شاخه شمالی و جنوبی است که با زاویه حدود ۴۵ درجه به عمق میرود. گسترش عمقی شاخه جنوبی به بیش از ۲۴۰ متر و شاخه شمالی به ۱۶۰ متر میرسد. اما نکته قابل توجه این است که روی مقطع شبه عمق مقاومت ویژه (شکل ۱۳- الف) درست در محدوده این انومالی افزایش مشخص مقاومت ویژه نیز مشاهده میگردد که این موضوع بصورت قابل توجهی از اهمیت این انومالی و در نتیجه عیار کانی سازی در این محدوده میکاهد.

و نزدیک به قائم می‌باشد و گسترش عمقی آن روی مقطع تا حدود ۱۶۰ است. در اینجا نیز بنظر میرسد قسمتی از افزایش بارپذیری در سطح و در نزدیک فاصله ۲۲۰ متری روی پروفیل مربوط به افزایش مقاومت ویژه سنگ میزبان است. انومالی شمالی روی مدل بارپذیری سطحی است و در عمق ۸۰ متری قطع میشود ضمن اینکه این انومالی بطور عمده منطبق بر محدوده ای است که مقاومت ویژه نیز افزایش پیدا کرده که بدین ترتیب از ارزش آن کاسته میشود. در سمت چپ این انومالی و زیر فاصله ۳۸۰ متری پروفیل انومالی کوچکی وجود دارد که گسترش آن از عمق حدود ۹۰ متری شروع میشود و ممکن است با انومالی جنوبی در عمقهای پایین تر از ۱۶۰ متر مرتبط باشد.

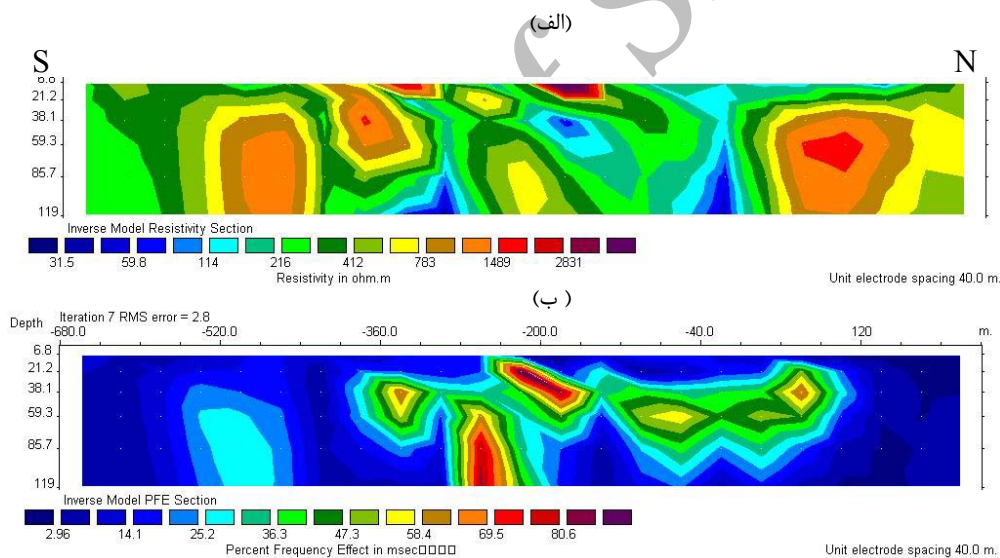


شکل ۱۲: پاسخ مدل‌سازی بر روی پروفیل صفر، الف: مقاومت ویژه، ب: بارپذیری.





شکل ۱۳: شبه مقطعی بدست آمده روی پروفیل ۲۰۰-، الف: مقاومت ویژه، ب: بارپذیری.



شکل ۱۴: پاسخ مدل‌سازی بر روی پروفیل ۲۰۰-، الف: مقاومت ویژه، ب: بارپذیری.

نیز آنومالی IP بطور عمده در سنگهای با مقاومت ویژه نسبتاً زیاد قرار گرفته است. در مجموع آنومالی مربوط به پروفیل ۲۰۰- نسبت به آنومالی پروفیل صفر از گسترش و اهمیت کمتری برخوردار است.

### نتیجه گیری و پیشنهاد

مقایسه داده های مغناطیسی، بارپذیری و مقاومت ویژه نشان میدهد که:

### ب- مدل‌سازی به روش وارون کردن

روی مدل بدست آمده محدوده آنومالی بارپذیری (شکل ۱۴-ب) نسبت به آنومالی مقطع شبه عمق (شکل ۱۳-ب) دارای تفاوت مشخصی است. شیب شاخه جنوبی آنومالی به حالت قام و شاخه شمالی بصورت افقی در آمده است. علاوه بر آن گسترش عمقی شاخه جنوبی روی مقطع به بیش از ۱۲۰ متر میرسد ولی عمق شاخه شمالی از ۹۰ متر بیشتر نمیشود. مقایسه مدل بارپذیری و مقاومت ویژه (شکل ۱۴-الف) نشان میدهد که در که در اینجا

دستیابی به اطلاعات لیتولوژی و ساختمانی میتوان استفاده کرد.

■ با توجه به داده های بارپذیری و مقاومت ویژه و مدل‌سازی آنها دو بیهنجاری عمده در ارتباط با کانی-سازی مس وجود دارد که در این بین بیهنجاری مربوط به پروفیل صفر از اهمیت بیشتری برخوردار بوده و اولویت اول حفاری را میتوان در نقطه ۸۰ از این پروفیل در نظر گرفت زیرا در آن مقدار بارپذیری حداکثر و مقاومت ویژه آن نسبتاً کم است.

■ مقایسه اطلاعات حاصل از حفاری اکتشافی و نتایج مدل‌سازی میتواند نقاط ضعف وقوت مدل بدست آمده را نشان دهد.

الف- رابطه مشخصی بین کانی سازی مس و بیهنجاریهای مغناطیسی در منطقه مورد مطالعه وجود ندارد.

ب- تطابق نسبتاً خوبی بین خطواره های گسلی حاصل از مطالعات مغناطیسی و مقاومت ویژه ظاهری در بخش شمال غربی منطقه وجود دارد.

ج- تعیین محدوده توده آندزیتی بدلیل اختلاف خود پذیری مغناطیسی بارز نسبت به سنگهای دیگر منطقه از داده های مغناطیسی بخوبی امکان پذیر میباشد، در حالیکه داده های مقاومت ویژه و بارپذیری قادر به تفکیک توده های آندزیتی نمیشاند.

از مجموعه مطالعات ژئوفیزیکی انجام شده در محدوده اکتشافی سوناجیل میتوان گفت که:

■ داده های مغناطیسی وابستگی مشخصی به کانی سازی مس نشان نمیدهند و از آنها بطور عمده در جهت

## مراجع

- 1 - Thompson, D. T, (1982). "Euldph: A new technical for making computer assisted depth estimates from magnetic data." *Geophysics*, Vol. 47, No. 1, PP. 31-37.
- 2 - Reid, A. B., Allsop, J. M., Granser, H., Millet, A. J. and Somerton, I. W. (1990). "Magnetic interpretation in three dimension using Euler deconvolution." *Geophysics*, Vol. 55, No. 1, PP. 80-91.
- 3 - Valeria, C. F., Joao, B. C., Silva, and Medeiros, W. E. (1999). "Stability analysis and improvement of structural index estimation in Euler deconvolution." *Geophysics*, Vol. 64, No. 1, PP. 48-60.
- 4 - Durrheim, R. J. and Cooper, G. R. J. (1998). "Euldep: a program for the Euler deconvolution of magnetic and gravity data." *Computer and Geosciences*, Vol. 24, No. 6, PP. 545-550.
- 5 - Loke, M. H. (2000). "Electrical imaging surveys for environmental and engineering studies." *A Practical Guide to 2-D and 3-D Surveys*.
- 6 - Oldenburg Douglas, W. and Yaoguo Li. (1994). "Inversion of induced polarization data." *Geophysics*, Vol. 59, No. 9, PP. 1327-1341.

۷- حسنی پاک، ع.ا. و شرف الدین، م. "تحلیل داده های اکتشافی." انتشارات دانشگاه تهران، ۹۸۷ صفحه، (۱۳۸۰).

## واژه های انگلیسی به ترتیب استفاده در متن

1 - The Structural Index  
4 - Oldenberg

2 - Automatic  
5 - Inversion

3 - Werner Deconvolution