

## مطالعه کانسار هادی قلعه زری بیرجند با استفاده از روش الکترومغناطیسی VLF

غلامرضا نوروزی\*، ناصر حسین زاده گویا\* و محمدرضا حاتمی\*

### چکیده

اگر ماده رسانایی در یک میدان مغناطیسی قرار گیرد، در آن جریانهای الکتریکی که به جریانهای ادی معروفند القا می شود و در مسیرهای بسته ای جاری می شوند. این جریانها به نوبه خود تولید یک مغناطیسی ثانویه می کنند. بنابراین در هر نقطه از فضای اطراف هادی، میدان کلی ترکیبی از دو میدان مغناطیسی اولیه و ثانویه است. بطور کلی نتیجه این ترکیب یک میدان مغناطیسی است که بیضی وار قطبیده شده است.

در روش VLF میدان اولیه توسط آنتن هایی که امواج الکترومغناطیسی با بسامد ۵ تا ۳۰ کیلوهرتز منتشر می کنند بوجود می آید. این امواج بصورت دوار متحدالمركز افقی در اطراف آنتن پراکنده می شوند و در محل اندازه گیری بصورت یکنواخت فرض می شوند. اساس روش VLF اندازه گیری و تجزیه و تحلیل میدان مغناطیسی کلی حاصل از ترکیب میدان اولیه و میدان ثانویه بوجود آمده به وسیله یک هادی است. در این مقاله کشف کانسار هادی با روش الکترومغناطیسی VLF مورد بررسی قرار گرفته است. منطقه مورد مطالعه، کانسار مس قلعه زری در فاصله ۱۸۰ کیلومتری جنوب شهرستان بیرجند می باشد. در تابستان ۱۳۷۴ اندازه گیری بر روی ۲۱ پروفیل در امتداد شرقی - غربی انجام گرفته و با استفاده از روشهای متداول تفسیر شده اند. نتایج بدست آمده درباره موقعیت رگه، عمق و ضخامت آن با استفاده از اطلاعات زمین شناسی و مطالعات ژئوفیزیکی IP و مقاومت ویژه تایید شده اند. احتمال تشخیص گسلهای سطحی با این روش نیز بررسی و به کمک مطالعات زمین شناسی و بررسی منطقه دو گسل پیشنهاد شده است.

کلیدواژه ها: الکترومغناطیسی VLF، قلعه زری بیرجند، کانسار مس

### ۱ مقدمه

امواج برای مقاصد نظامی و بطور کلی مخابرات دور مورد استفاده قرار می گیرند. در این روش از این امواج رادیویی بعنوان یک چشمه انرژی برای مطالعه خواص الکتریکی زمین استفاده می شود. بسامد بکار برده شده در مقایسه با سایر روشهای

روش VLF<sup>۱</sup> از جمله روشهای الکترومغناطیسی است که در آن از فرستنده صحرائی استفاده نمی شود. بلکه فرستنده آنتنهایی هستند که امواج الکترومغناطیسی در دامنه بسامدی ۵ تا ۳۰ کیلوهرتز منتشر می کنند. این

1. Very Low Ferquency

\* موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران، صندوق پستی ۶۴۶۶-۱۴۱۵۵، تهران.

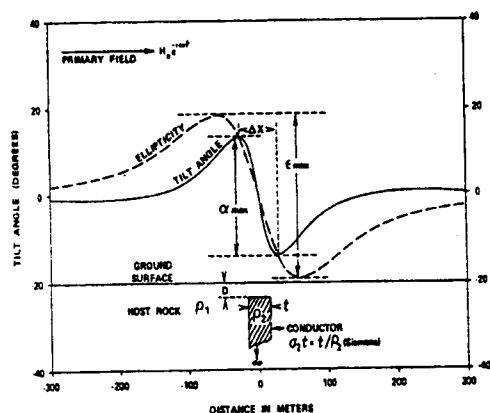
تجزیه و تحلیل نمود. آنتن فرستنده VLF از یک دکل بسیار بلند که اغلب به حدود صد متر می‌رسد، ساخته شده است و به وسیله یک سیگنال قوی تغذیه می‌گردد. قدرت فرستنده بطور مشخص بین ۳۰۰ تا ۱۰۰۰ وات است. خطوط میدان بصورت حلقه‌های متحدالمركز از آنتن پخش می‌شوند. چنین فرستنده‌هایی در تعدادی از کشورها فعال هستند. بعضی از مفیدترین فرستنده‌ها در جدول ۱ آورده شده‌اند. همچنین موقعیت مهمترین ایستگاههای فرستنده VLF در شکل ۱ نشان داده شده‌اند. این ایستگاهها طوری قرار گرفته‌اند که در بیشتر کشورها می‌توان موج چندین فرستنده را

الکترومغناطیسی ژئوفیزیکی بالاست. اما از آنجا که بسامد امواج VLF در مقایسه با دیگر امواج رادیویی که بسامدی در محدوده ۵۴۰ کیلوهرتز تا ۳۰ مگاهرتز دارند، خیلی کم است، به روش الکترومغناطیسی بسامد خیلی کم یا VLF معروف شده است. این امواج در اطراف یک توده هادی باعث بوجود آمدن میدان مغناطیسی ثانویه می‌شوند. ساختارهای هادی در داخل زمین حتی اگر بوسیله لایه‌های با ضخامت زیاد پوشیده شده باشند، بطور موضعی جهت و شدت میدان ایجاد شده بوسیله فرستنده را تحت تاثیر قرار می‌دهند. تاثیر این میدان ثانویه را می‌توان اندازه‌گیری و

جدول شماره ۱. مشخصات بعضی از مفیدترین فرستنده‌های VLF

Location	Designation	Frequency (Khz)	power (Kw)
Bordeaux, France	FUO	15.1	500
Rogby Great Britain	GBR	16.9	750
Belgeland	JXN	16.4	350
Gorki, USSR	ROR	17.0	315
Moscow	UMS	17.1	1000
Yosamai, Japan	NDT	17.4	500
Oxford, Great Britain	GBZ	19.6	550
Annapolis, USA	NSS	21.4	400
Northwest Cape,	NWC	22.3	1000
Hauderfehm, Ger.	DMB	23.4	
Laulualei; USA	NPM	23.4	600
Buenosaires, Arg.	LPZ	23.6	
Cutler, USA.	NAA	24.6	1000
Seattele, USA	NLK	24.8	125





شکل ۲. یک شکل نمونه از زاویه شیب و بیضویت حاصل از ورقه هادی قائم به منظور تشخیص پیک تاپیک زاویه شیب ( $\alpha_{max}$ ) و پیک تاپیک بیضویت ( $e_{max}$ ) و فاصله افقی پیک‌های زاویه شیب ( $\Delta X$ ).

سنگ در برگیرنده از این نمودارها، عمق و هدایت کلی الکتریکی یا حاصلضرب هدایت - ضخامت هادی بدست می‌آید (سیدام، ۱۹۸۱).

ب) روش دوم. در این روش استفاده از چگالی جریان معادل بر اساس صافی کردن خطی داده‌های VLF می‌باشد.

خروجی حاصل از صافی، بصورت چگالی جریان معادل در یک عمق بخصوص که عامل بوجود آورنده میدان مغناطیسی است، می‌باشد و در بررسی این روش فرض می‌شود که امتداد هادی بر خط اندازه‌گیری تقریباً عمود است و با این فرض، چگالی جریانی که باعث بوجود آمدن میدان مغناطیسی القایی شده است، محاسبه می‌شود. چگالی جریان معادل، شامل جریان القایی داخل هادیها و جریان متمرکز شده در هادی بواسطه محیط اطراف می‌باشد.

کاروس و هجالت<sup>۲</sup> (۱۹۸۳) صافی مناسبی را

عبارتند از

الف) استفاده از ضرایب بیضی قطبش

ب) استفاده از چگالی جریان معادل

الف) روش اول. ضرایب بیضی قطبش عبارت از زاویه شیب محور بزرگ بیضی و بیضویت آن می‌باشند. سیدام<sup>۱</sup> (۱۹۸۱) ضرایب بیضی قطبش را بصورت زیر بیان کرده است.

$$\alpha = \mp \frac{1}{2} \tan^{-1} \left[ \frac{2(H_z/H_x) \cos \Delta\theta}{1 - (H_z/H_x)^2} \right] \quad (2)$$

$$e = \frac{H_z H_x \sin \Delta\theta}{H_1^2} \times 100 \quad (3)$$

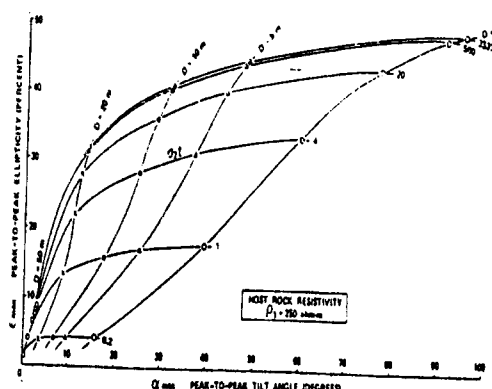
در روابط فوق  $\alpha$  زاویه شیب،  $e$  بیضویت،  $H_z$  و  $H_x$  مولفه‌های قائم و افقی میدان منتجه و  $\Delta\theta$  اختلاف فاز بین مولفه‌های قائم و افقی و  $H_1$  محور بزرگ بیضی قطبش می‌باشد. یک شکل نمونه از زاویه شیب و بیضویت حاصل از یک ورقه هادی قائم در شکل ۲ نشان داده شده است که فاصله بیشینه تا کمینه زاویه شیب و بیشینه تا کمینه بیضویت برای تفسیر در این روش مورد استفاده قرار می‌گیرند.

نمودارهای مشخصه‌ای در ارتباط با مقاومت ویژه سنگ در برگیرنده بر اساس بیشینه تا کمینه زاویه شیب ( $\alpha_{max}$ ) و بیشینه تا کمینه بیضویت ( $e_{max}$ ) وجود دارند. نمونه‌ای از این نمودارها برای سنگ در برگیرنده‌ای با مقاومت ویژه ۲۵۰ اهم متر در شکل ۳ دیده می‌شود. خطوط مورب در منحنی‌ها مشخص کننده هدایت کلی الکتریکی یا حاصل ضرب هدایت - ضخامت و عمق هستند و مقادیر ( $e_{max}$  و  $\alpha_{max}$ ) از منحنی زاویه شیب بیضویت بدست آمده، و با توجه به مقاومت ویژه

ضرایب صافی را می‌توان بطور جداگانه برای مؤلفه‌های حقیقی و موهومی نسبت مؤلفه‌های مغناطیسی بکار برد تا مؤلفه‌های چگالی جریان بدست آید. برای محاسبه چگالی جریان در اعماق بیشتر از  $Z=X$  می‌توان فرمول را برای فواصل  $3X$  و  $2X$  استفاده کرد. تعداد سطوح عمقی محاسبه شده بستگی به تعداد نقاط روی نیمرخ دارد. استفاده از شبه مقاطع چگالی جریان برای اطلاع از مقطع هادی مفید می‌باشد. نمونه‌ای از این شبه مقاطع در شکل ۴ ملاحظه می‌شود. در این بررسی برای تفسیر داده‌های بدست آمده از دو روش تفسیری فوق استفاده شده است.

## ۲ زمین‌شناسی منطقه

به منظور بررسی استفاده از روش VLF در مطالعه کانسارهای هادی، مطالعه نمونه‌ای در منطقه معدنی قلعه زری در فاصله ۱۸۰ کیلومتری جنوب شهرستان بیرجند و در طول ۱۵" و ۵۵" و ۵۸" شرقی و عرض جغرافیایی ۴۳" و ۴۹" و ۳۱" شمالی واقع شده است. منطقه مورد مطالعه شامل یک سری گدازه‌های آندزیتی و توفهای مربوطه است. این سنگهای آتشفشانی که در امتداد شمال غرب- جنوب شرقی با شیب به طرف جنوب گسترش دارند، دارای سنی معادل ائوسن بالایی و احتمالاً الیگوسن می‌باشند. در این سنگهای آتشفشانی یک سری رگه‌های سیلیسی با امتداد شمال-جنوب در منطقه مورد مطالعه تشکیل شده‌اند که حاوی کانی‌سازی مس بوده و کانسار با ارزش قلعه زری را پدید آورده‌اند. گدازه‌های آندزیتی شامل گدازه‌های میکروپریر آندزیتی که سنگ میزبان رگه‌های سیلیسی حاوی کانی‌سازی مس در معدن



شکل ۳. نمودار مشخصه در ارتباط با مقاومت ویژه ۲۵۰ اهم متر برای سنگ در برگرفته که بر اساس بیشینه تا کمینه زاویه شیب و بیشینه تا کمینه بیضویت رسم شده است (سیدام، ۱۹۸۱).

پیشنهاد کردند که توسط فرمول زیر داده شده است.

$$\frac{\Delta Z}{2\pi} I_a \left( \frac{\Delta X}{2} \right) = -0.205 H_{-2} + 0.323 H_{-1} \quad (۴)$$

$$-1.446 H_0 - 1.446 H_1 - 0.323 H_2 + 0.205 H_3$$

در این فرمول  $\Delta x$  و  $\Delta z$  ابعاد سطح در مقطعی از زمین و  $I_a$  چگالی جریان است. ضرایب مختلف صافی در جدول ۲ داده شده است. در تفسیر داده‌های صحرائی، مقادیر اندازه‌گیری شده قبل از صافی کردن هموار می‌شوند. اوگیلی و لی (۱۹۹۱)، با متوسط‌گیری از مقادیر مجاور هم برای  $I_a H_i$  صافی مقارنی بصورت زیر بدست آورده‌اند.

$$\frac{\Delta Z}{2\pi} I_a (0) = 0.102 H_{-3} + 0.059 H_{-2} \quad (۵)$$

$$-0.561 H_{-1} + 0.561 H_1 - 0.059 H_2 - 0.102 H_3$$

i	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
n										
0	1.250									
1	1.383	-0.115								
2	1.446	-0.323	0.205							
3	1.434	-0.299	-0.109	0.102						
4	1.434	-0.298	0.116	-0.001	0.116					
9	1.434	-0.279	0.109	0.013	0.027	0.029	0.019	0.022	0.022	0.081

جدول ۲. ضرایب صافی برای مقادیر مختلف n، فقط نیمی از صافی نشان داده شده‌اند.  $K_{10}^{-1}$  ضرایب برای  $i+1$  منفی ضریب  $i$  می‌باشد (کایکونن، ۱۹۷۹).

۳ اندازه‌گیریهای VLF

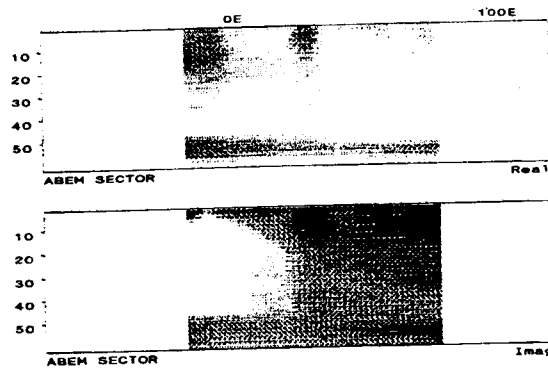
برای شروع، اندازه‌گیری یک خط مبنا به طول ۲۲۰ متر انجام شد. سپس شبکه اندازه‌گیری روی این خط مبنا بگونه‌ای طراحی شد که فاصله نیمرخها ۱۰ متر و فاصله اندازه‌گیری ۵ متر تعیین گردید. امتداد خطوط اندازه‌گیری تقریباً شرقی - غربی است. با استفاده از ایستگاه فرستنده URS که دارای بسامد ۱۸/۱ کیلوهرتز و شدت ۱۰۰۰ کیلووات است و با استفاده از دستگاه اندازه‌گیری WADI موجود در موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران، ۲۱ نیمرخ اندازه‌گیری شده است. سیدام (۱۹۸۱) عمق نفوذ امواج الکترومغناطیسی را بصورت زیر بیان می‌کند

$$SD = 503 \sqrt{\frac{\rho}{f}} \quad (۶)$$

که  $\rho$  مقاومت ویژه در برگیرنده بر حسب اهم‌متر و  $f$  بسامد استفاده شده بر حسب هرتز می‌باشد. یوسفی (۱۳۶۸) مقاومت ویژه منطقه را با استفاده از مطالعات RS و IP در حدود ۲۵۰ اهم‌متر بدست

قلعه زری می‌باشد، بیشترین گسترش را در منطقه داشته و تحت تاثیر نفوذ محلولهای گرمایی کانی‌ساز، دگرسانی ضعیفی را متحمل شده و آیدوتی و کلریتی گردیده‌اند، گدازه‌های مگاپرفیر آندزیتی اطراف رگه‌های حاوی کانسار را احاطه کرده‌اند. دو توده نفوذی گرانودیوریتی نیز در منطقه مورد مطالعه وجود دارد که موزوديوریتی می‌باشند. یک سیستم گسلی با روند شمال شرق - جنوب غرب در محدوده مورد مطالعه دیده می‌شود که مهمترین این گسلها با امتداد N50E با شیب ۸۰ درجه به طرف جنوب می‌باشد. رگه کانی‌سازی از نوع کانسارهای گرمایی است که دارای خاستگاه ماگمایی است. (گزارش مهندسین مشاور پراکوه، مرجع شماره ۱)

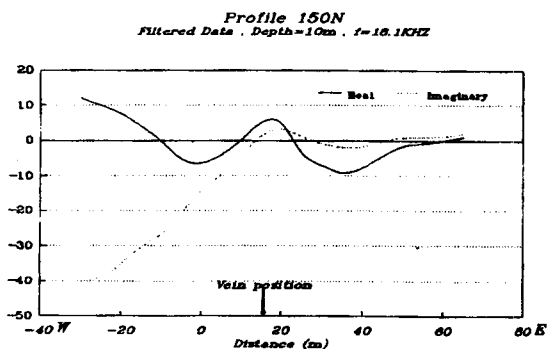
این رگه در قسمت مورد مطالعه دارای امتداد شمال - جنوب است. شیب آن زیاد و در حدود ۸۵ درجه به طرف شمال و شمال شرق می‌باشد. ضخامت رگه در حدود ۲ متر است (یوسفی، ۱۳۶۸).



شکل ۴. یک شبه مقطع چگالی جریان که روی نیمرخ ۱۵۰N در معدن قلعه‌زری بیرجند بدست آمده است. شکل بالا مربوط به مولفه حقیقی چگالی جریان و شکل پایین مربوط به مولفه موهومی چگالی جریان می‌باشد.

در محدوده نقاط 20E تا 30E پیش‌بینی کرد. منحنی‌های صافی شده برای عمق ۱۰ متر که در شکل ۶ نشان داده شده‌اند بخوبی موقعیت رگه هادی را روی نقطه 15E نشان می‌دهند. منحنی صافی شده در این نقطه دارای یک بیشینه است که نشان دهنده موقعیت هادی است. در شکل ۴ علاوه بر اینکه رگه در نقطه 25E بواسطه پررنگ‌تر بودن مقطع تایید می‌شود، ایده‌ای در مورد عمق و شیب رگه بدست می‌آید. شروع قسمت‌های تیره‌رنگ موید عمق کانسار و کشیدگی آن به یک طرف موید شیب کانسار می‌باشد. ملاحظه می‌شود که عمق رگه کم و شیب آن خیلی زیاد و قائم است. اظهار نظر در مورد عمق، با استفاده از شبه مقاطع چگالی جریان، همیشه کیفی است. با استفاده از منحنی‌های داده‌های اولیه، منحنی‌های صافی شده برای اعماق مختلف و شبه مقاطع چگالی جریان، موقعیت رگه هادی روی نیمرخها تعیین شده که در شکل ۷ نشان داده شده است.

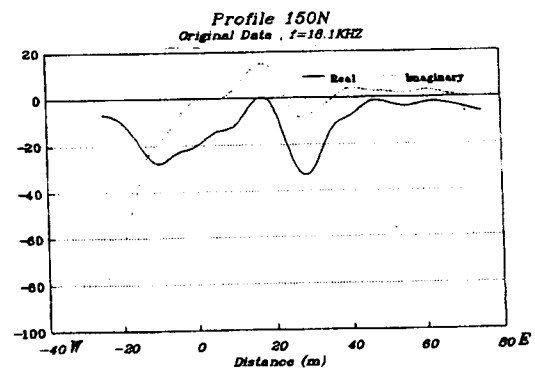
با استفاده از چگالی جریان معادل در محدوده



شکل ۶. منحنی‌های حقیقی و موهومی صافی شده (چگالی جریان معادل بدست آمده برای عمق ۱۰ متر مربوط به نیمرخ 150N مطالعه نمونه)

مورد مطالعه دوگسل تشخیص داده شد که در

آورده است. با توجه به مقاومت ویژه ناحیه در برگیرنده و بسامد استفاده شده، عمق نفوذ امواج در حدود ۶۰ متر می‌باشد. نمونه‌ای از منحنی‌های اولیه در شکل ۵ دیده می‌شوند. این داده‌ها روی نیمرخ 150N بدست آمده‌اند. این داده‌ها عبارت از قسمت حقیقی و موهومی نسبت  $H_z/H_x$  مربوط به میدان مغناطیسی کلی می‌باشند.



شکل ۵. نمونه‌ای از داده اولیه بدست آمده روی نیمرخ 150N در منطقه قلعه‌زری بیرجند.

#### ۴ تفسیر داده‌های VLF

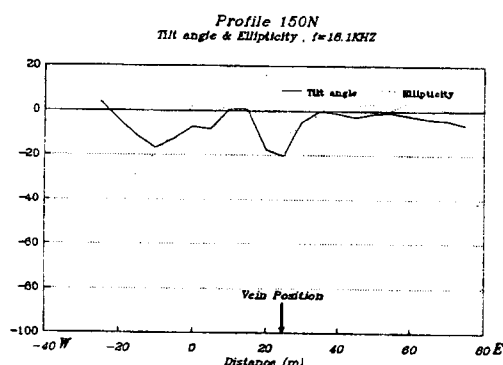
برای تفسیر داده‌های اندازه‌گیری شده اولیه از روش چگالی جریان معادل و ضرایب بیضی قطبش استفاده شده است. مطابق آنچه برای روش چگالی جریان معادل توضیح داده شد می‌توان با فیلتر ارایه شده با رابطه (۵) مولفه‌های حقیقی و موهومی چگالی جریان معادل و همچنین شبه مقاطع چگالی جریان را بدست آورد. نمونه‌ای از این نیمرخها در شکل‌های ۴ و ۶ دیده می‌شوند. با استفاده از این منحنی‌ها و شبه مقاطع می‌توان موقعیت رگه هادی را روی نیمرخ بدست آورد. بعنوان مثال در شکل ۵ مربوط به داده‌های اولیه نیمرخ 150N با توجه به تغییر انحنا و تغییر علامت منحنی‌های مولفه حقیقی و مولفه موهومی می‌توان موقعیت هادی را

$$R\% = \tan(\alpha) \times 100 \quad (۷)$$

$$I\% = e\% \quad (۸)$$

با استفاده از روابط فوق می توان منحنی های زاویه شیب ( $\alpha$  بر حسب درجه) و بیضویت ( $e$ ) را بدست آورد. نمونه ای از این منحنی ها در شکل ۸ مربوط به نیمرخ 150N نشان داده شده است. کمیت های لازم برای تفسیر با استفاده از این نمودارها محاسبه، سپس با استفاده از نمودار مشخصه شکل ۳، مقادیر (D) و عمق حاصل ضرب هدایت - ضخامت برای تمام نیمرخها بدست آمده است.

عمق بدست آمده با احتساب حدود یک متر ارتفاع آنتن دستگاه می باشد و عمق واقعی معمولاً یک متر کمتر است، نتیجه تفسیر با استفاده از ضرایب بیضی قطبش، عمق و حاصل ضرب هدایت - ضخامت می باشد. با توجه به اینکه



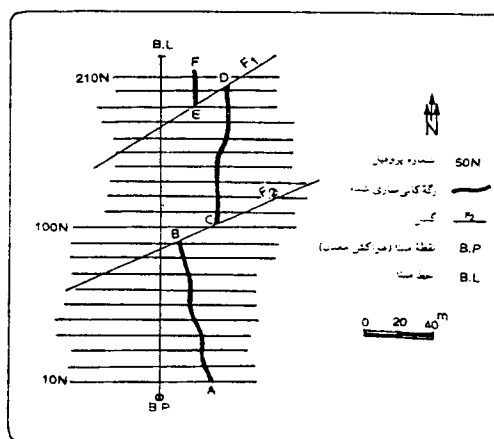
شکل ۸. منحنی های نمونه زاویه شیب (درجه) و بیضویت (%) روی نیمرخ 150N، مربوط به مطالعه نمونه در منطقه قلعه زری بیرجند، موقعیت رگه هادی مشخص شده است.

ضخامت رگه در حدود ۲ متر می باشد، می توان هدایت رگه کانی سازی را بدست آورد. در شکل ۹، مقطع طولی آن شده در امتداد خط شکسته ای روی

مطالعات زمین شناسی به آنها اشاره نشده است. این گسلها در شکل ۷ نشان داده شده اند و با مراجعه مجدد به منطقه و شواهد زمین شناسی که در نقاط دورتر وجود دارد این گسلها تایید شدند. مطابق آنچه توضیح داده شد با داشتن مقادیر بیشینه تا کمینه زاویه شیب و بیشینه تا کمینه بیضویت و داشتن مقدار مقاومت ویژه ناحیه در برگیرنده و با استفاده از نمودارهای مشخصه ای که به این منظور تهیه شده اند می توان عمق (D) و حاصل ضرب هدایت - ضخامت رگه را بدست آورد.

دستگاه اندازه گیری WADI، مولفه حقیقی و مولفه موهومی نسبت مولفه قائم به مولفه افقی میدان مغناطیسی کلی را بر حسب درصد اندازه گیری می کند.

عبدالملک<sup>۱</sup> و همکاران (۱۹۸۵) رابطه بین مولفه حقیقی و موهومی با زاویه شیب و بیضویت را بصورت زیر ارایه کرده اند.



شکل ۷. موقعیت رگه هادی نسبت به نیمرخ و همچنین موقعیت گسلهای تشخیص داده شده با استفاده از چگالی جریان در منطقه قلعه زری بیرجند. خطوط شرقی - غربی مسیر نیمرخها اندازه گیری شده را نشان می دهند.



الکترومغناطیسی VLF از جمله روشهای اکتشافی ژئوفیزیکی است که اهداف مذکور را بخوبی تامین می‌کند. استفاده از روش VLF برای مطالعه کانسارهای هادی رگه‌ای که در یک سنگ مقاوم قرار گرفته باشند، کاملاً رضایت‌بخش است. بعنوان مثال با استفاده از این روش بخوبی موقعیت و عمق بالای ناهنجاری مورد نظر در منطقه مطالعاتی معدن قلعه‌زری مشخص گردید. از محدودیتهای روش VLF برای مطالعه کانسارهای هادی اینست که برای هادیهای افقی نتایج جالبی نمی‌دهد. علاوه بر این از آنجا که روش VLF نیز مانند تمام روشهای الکترومغناطیسی به اختلاف مقاومت ویژه حساس است و نه به مقادیر مطلق آن، این موضوع را نیز باید در موقع تفسیر داده‌ها مورد توجه قرار داد.

#### تشکر و قدردانی

در خاتمه از معاونت پژوهشی دانشگاه تهران که با تصویب طرح پژوهشی شماره ۶۵۱/۱/۲۱۶ و قرار دادن امکانات مالی، اجرای این طرح را ممکن ساخته کمال تشکر را داریم.

#### منابع

گزارش زمین‌شناسی-معدنی کانسار قلعه‌زری، ۱۳۶۸، شرکت مهندسی مشاور پراکوه، شرکت ملی صنایع مس ایران.

یوسفی، ا.، ۱۳۶۸، گزارش مطالعات ژئوفیزیک در معدن مس قلعه‌زری، وزارت معادن و فلزات، شرکت ملی مس ایران.

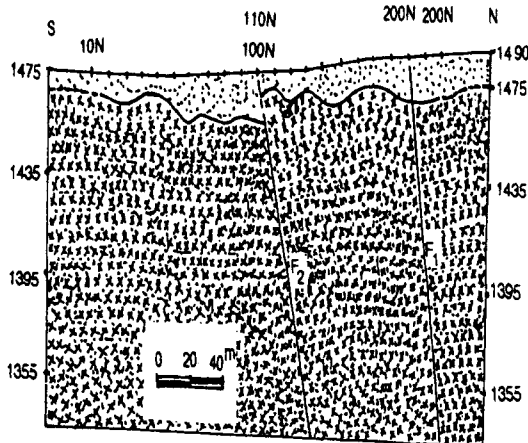
Abdul-malik, M. M., Myers, Y.O., and Mcfarlane, J., 1985, Model studies of topographic noise in VLF- EM data:

رگه کانی‌سازی رسم شده است. اطلاعات حاصل از حفاریهای معدنی بصورت ترانسه تونل و ... نشان می‌دهند که تا عمق ۲۰ متری از سطح زمین، آثار قابل توجهی از کانی‌سازی وجود ندارد. اگر چه کانی‌سازی تا عمق ۷۰ متری نیز اقتصادی نیست و عیار اقتصادی در اعماق بیشتر قرار دارد. عمقی که کانی‌سازی بوجود نیامده یا از بین رفته و یا به کانی‌هایی با هدایت کم تبدیل شده است و عمقی که کانی‌سازی بوجود آمده و تا حدود عمق ۲۲۰ متری ادامه دارد.

$F_1$  و  $F_2$  گسلهایی هستند که توسط مطالعات VLF شناسایی شده‌اند.

#### ۵ نتیجه‌گیری

نیاز روزافزون به مواد معدنی و کاهش مداوم



شکل ۹. مقطع طولی رگه کانی‌سازی شده در امتداد خط شکسته‌ای روی آن شده در محدوده مورد مطالعه در معدن قلعه‌زری بیرجند.

منابع معدنی پرعیار سطحی، موجب گردیده است تا استفاده از روشهای ارزان، دقیق و سریع اکتشافی، کاملاً ضروری به نظر برسد. روش

- accounting for the direction of morphological strine relative to survey line and magnetic field direction: *Geoexploration*, 23, 217-225.
- ABEM intepretation guid. 1990, ABEM AB, Bromma, Sweden.
- Fraser, D. C., 1968. Contouring of VLF -EM data: *Geophysics*, 34, 958-969.
- Gran, F. S., and West, G.F., 1965, *Intepretation theory in applied geophysics*: McGraw-Hill.
- Kaikonen, P., 1979, Numerical VLF modeling: *Geophys. prosp.*, 27, 815-834.
- Karous, M., and Hjelt., S. E., 1983, Linear filtering of VLF dip angle measurements: *Geophys. Prosp.*, 31, 272-794.
- Ogily, R. D., and Lee, A. C., 1991, Interperetation of VLF -EM in phase data using current density pseudosection: *Geophys. prosp.*, 39, 567-580.
- Sacit Saydam, A., 1981, Very low frequency electromagnetic interpretation using tilt angle and ellipticity measurement: *Geophysics*, 46, 1594-1605.
- Sinha, A. U., 1990, Interpretation of ground VLF- EM data in terms of vertical conductor models: *Geoexploration*, 26, 213-231.