

کاربرد سیستم اطلاعات جغرافیایی و سنجش از دور در برنامه ریزی

دوره سوم، شماره چهارم، زمستان ۱۳۹۱

صص ۷۹-۸۶

تفسیر کمی داده‌های VLF به منظور شناسایی زون‌های شکسته و آبدار در منطقه الوسباین سوئد

محمد فروغی جباری^۱
mforoghi44@yahoo.com

چکیده

به منظور مشخص کردن خصوصیات و مشخصات الکتریکی لایه‌های زیرین، روش‌های مختلفی در ژئوفیزیک بکار برده می‌شود. یکی از این روش‌ها، روش فرکانس‌های خیلی پائین (VLF) بوده که در آن با استفاده از امواج فرستنده‌هایی که در ابتدا به منظور ارتباطات نظامی ایجاد شده بودند، به بررسی ساختار لایه‌های زیرین پرداخته می‌شود. در این تحقیق داده‌های VLF از منطقه الوسباین سوئد با استفاده از روش FEM و همچنین روش‌های معکوس که اساس نرم‌افزار INV2D-VLF می‌باشد، پردازش و برگردان شده و نهایتاً مقاطع مقاومت ویژه از این داده‌ها استخراج شده است. اطلاعات حاصله از این مقاطع وضعیت رسانایی لایه‌های زیرین را تا عمق حدود ۳۰۰ متر به تصویر می‌کشد. می‌توان گفت روش VLF و تفسیر کمی داده‌های آن روشی است که در حین سادگی در اجرا، قابلیت‌هایی در حد سایر روش‌های مقاومت ویژه را داراست.

کلمات کلیدی: روش VLF، تیپر، روش‌های معکوس، روش FEM، INV2D-VLF.

^۱ عضو هیأت علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد سمنان

مقدمه

داده‌ها پرداخت (۱) تفسیر کیفی، (۲) تفسیر کمی. در این تحقیق سعی بر این است که از روش تفسیر کمی داده‌ها استفاده شود تا بدین ترتیب بتوان به مقادیر مقاومت ویژه لایه‌های زیرین دست یافت.

زمین‌شناسی منطقه

اطلاعات بدست آمده از نقشه‌های سازمان زمین‌شناسی سوئد حاکی است منطقه مورد نظر (شکل ۱) عمدتاً توسط سنگ‌های آذرین پوشیده شده است. سنگ‌های مزبور هم از نوع درونی و هم از نوع بیرونی هستند سنگ‌های درونی از قبیل گرانیت، گرانودیوریت و گابرو و سنگ‌های بیرونی را ریولیت، لاسیت، آندزیت و بازالت تشکیل می‌دهند. همچنین در بعضی از بخش‌های منطقه مورد نظر سنگ‌های رسوبی از قبیل ماسه سنگ و گری وک وجود داشته که البته وجود این سنگها شاید به علت فرسایش سنگ‌های آذرین منطقه باشد.

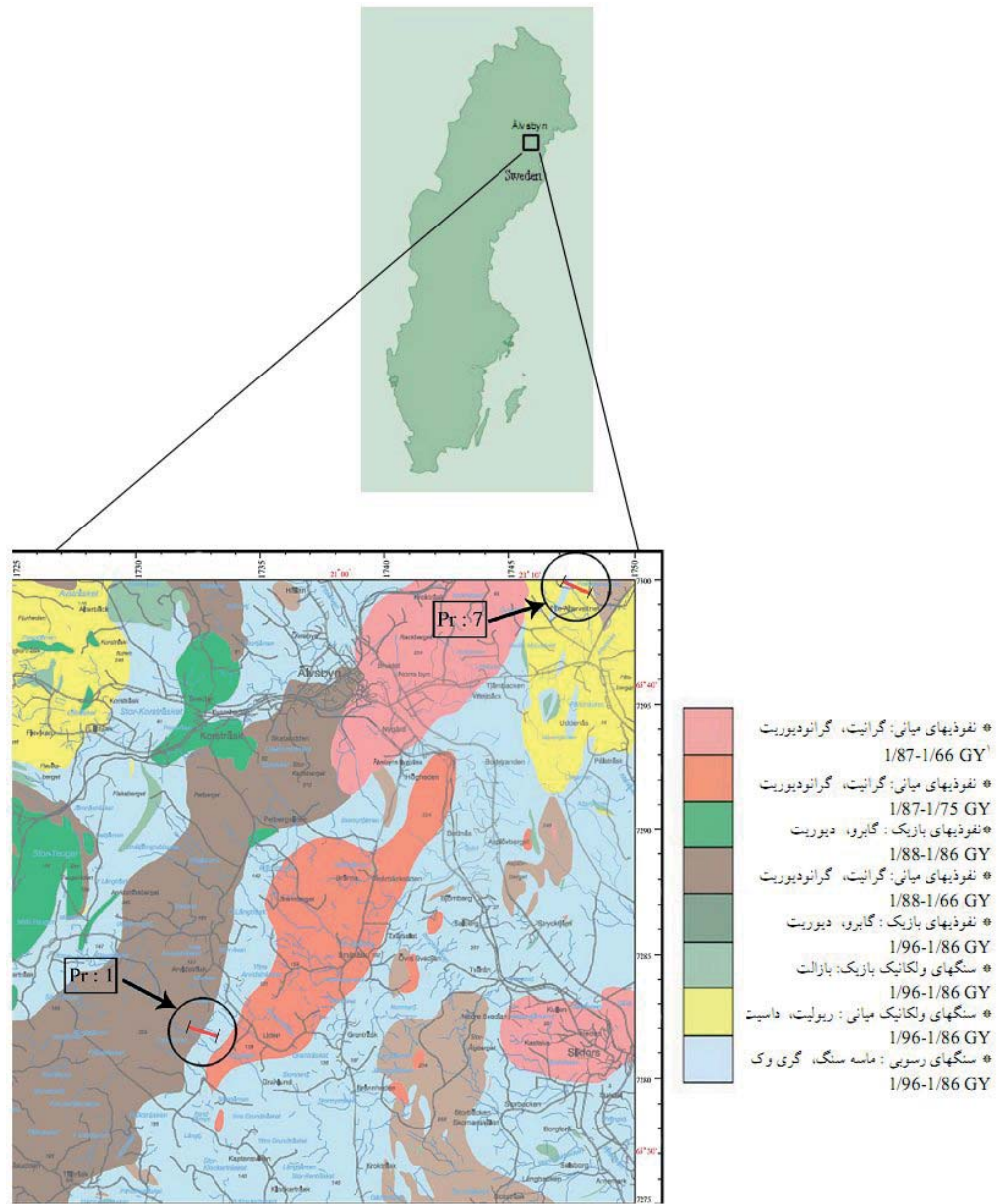
به منظور مشخص کردن خصوصیات و مشخصات الکتریکی لایه‌های زیرین، روش‌های مختلفی در ژئوفیزیک بکار برده می‌شود. یکی از این روشها، روش فرکانس‌های خیلی پائین^۱ (VLF) بوده که در آن با استفاده از امواج فرستنده‌هایی که در ابتدا به منظور ارتباطات نظامی ایجاد شده بودند، به بررسی ساختار لایه‌های زیرین پرداخته می‌شود. روش VLF یا روش فرکانس‌های خیلی پایین (10-30kHz) یک روش سریع برای اکتشاف آنومالی‌های سطحی است. سرعت عمل در فرآیند اکتشاف و هزینه پائین آن باعث شده است که روش VLF به عنوان یک روش مناسب اکتشافات مقدماتی و سریع بحساب آید (Monteiro Santos et al., 2006). روش VLF بر اساس پارامترهای اندازه‌گیری شده به دو دسته اصلی تقسیم‌بندی می‌شود (Oskooi and Pedersen, 2005).

(۱) دسته اول: (VLF-EM) یا (VLF-Z)، در این روش نسبت مؤلفه‌ی عمودی به مؤلفه‌ی افقی میدان مغناطیسی را اندازه‌گیری می‌کنند $\left(\frac{Hz}{Hy}\right)$.

(۲) دسته دوم: (VLF-R)، که در آن مؤلفه‌های افقی و قائم میدان مغناطیسی و یک مؤلفه افقی میدان الکتریکی اندازه‌گیری می‌شود. از این لحاظ این روش شبیه روش مگنتوتلوریک به محاسبه امپدانس $\left(Z = \frac{E_x}{H_y}\right)$ می‌پردازد.

در روش (VLF-EM) یا (VLF-Z) یا به طور خلاصه VLF که روش مد نظر قرار گرفته در این تحقیق می‌باشد، به دو طریق می‌توان به تفسیر

Very Low Frequency - ۱



Sc. : 1/200,000

شکل ۱: نقشه زمین‌شناسی منطقه الوسابین (Älvsbyn) سوئد و موقعیت پروفیل‌ها

جمع آوری داده‌ها

مؤلفه عمودی میدان مغناطیسی به مؤلفه افقی میدان مغناطیسی ($\frac{Hz}{Hy}$) اندازه‌گیری شده است (شکل ۲). عملیات صحرائی با استفاده از دستگاه WADI ساخت شرکت ABEM سوئد انجام شده است و فرکانس فرستنده مورد استفاده ۱۸۳۰۰ هرتز بوده است. اندازه‌گیریها در امتداد

روش بکار گرفته شده در این تحقیق روش (VLF-EM) یا (VIF-Z) می‌باشد در این روش مقادیر حقیقی^۱ و مجازی^۲ بردار تیپریا نسبت

¹ Real
² Imaginary

دو پروفیل (۱ و ۷) که مختصات آن در جدول ۱ آورده شده است، انجام شده و فواصل بین ایستگاه‌های اندازه‌گیری در امتداد هر پروفیل ۱۰ متر بوده است.

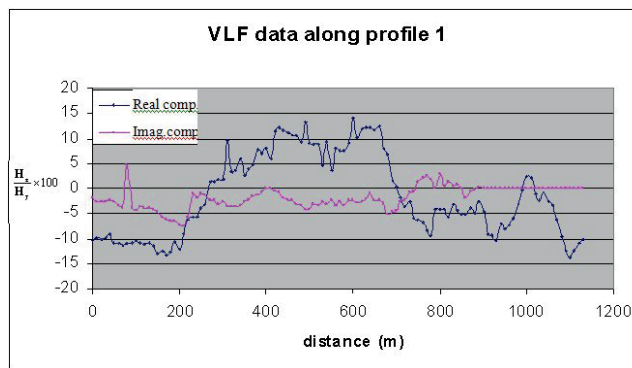
جدول ۱: مختصات ابتدا و انتها و اندازه هر پروفیل

شماره پروفیل	مختصات نقطه ابتدائی (m)	مختصات نقطه انتهایی (m)	طول پروفیل (m)
Pr = 1	X=32130	X=33275	1130
	Y=82035	Y=81687	
Pr = 7	X=47141	X=48194	1000
	Y=99969	Y=99462	

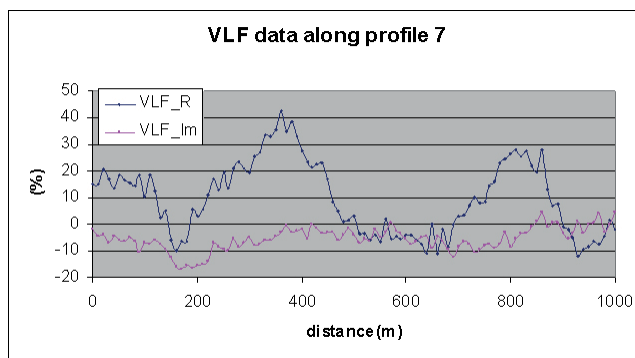
نئوری تحقیق

روش‌های تفسیر کمی که منحصراً برای داده‌های VLF طراحی شده اند طی سال‌های اخیر پیشرفت چشمگیری را داشته‌اند. از آن جمله کارهای انجام شده به منظور بدست آوردن مقاطع مقاومت ویژه از مقادیر تبیین توسط غریبی و پترسن (Gharibi and Pedersen, 1999) و هم چنین تبدیل داده‌های VLF به مقادیر مقاومت ویژه توسط بیکن و پترسن (Becken and Pedersen, 1999) را می‌توان نام برد. در این راستا فیلتر دیگری توسط چاتنو و

همکاران وی در سال ۱۹۹۶ (Chouteau et al., 1996) ارائه گردید که اساس نرم‌افزار INV2D-VLF را تشکیل می‌دهد. این نرم‌افزار برای پردازش داده‌های VLF در این مقاله مورد استفاده قرار گرفته است. نرم‌افزار مورد نظر، اولین بار توسط مونتیرو سانتوز و همکاران جهت تفسیر کمی داده‌های VLF به کار گرفته شده است (Monteiro Santos et al., 2006).



شکل الف



شکل ب

شکل ۲: مقادیر حقیقی و موهومی تیپر در امتداد هر پروفیل الف) ۱ (ب) ۷

$$\rho \Big|_y^{\frac{1}{2}} - \rho \Big|_0^{\frac{1}{2}} = -(i\omega\mu)^{\frac{1}{2}} \int_0^y \frac{H_z}{H_y} dy \quad (\lambda)$$

(علامت منفی با توجه به مثبت گرفتن جهت روبه

بالای مؤلفه عمودی آورده شده است).

اگر داده‌ها در فواصل Δy بدست آیند خواهیم

داشت:

$$(\rho_{j+\frac{1}{2}})^{\frac{1}{2}} = -(i\omega\mu)^{\frac{1}{2}} \sum_{k=1}^j \left(\frac{H_z}{H_y}\right) \Delta y + (\rho_{j-\frac{1}{2}})^{\frac{1}{2}} \quad (9)$$

در عبارت فوق $(\rho_{j-\frac{1}{2}})^{\frac{1}{2}}$ بیانگر حد پائینی

انتگرال می‌باشد.

از آنجائیکه $\frac{H_z}{H_y}$ یک کمیت مختلط است می‌توان

نوشت:

$$(10)$$

$$(i\omega\mu)^{\frac{1}{2}} \frac{H_z}{H_y} = \left(\frac{\omega\mu}{2}\right)^{\frac{1}{2}} [(P - Q) + i(P + Q)]$$

P و Q به ترتیب قسمت‌های حقیقی و مجازی

$$\frac{H_z}{H_y} \text{ هستند.}$$

در عمل مقدار Q در مقابل P خیلی کوچک است

به همین جهت و به دلیل حقیقی بودن سمت

اساس تئوری فیلتر ارائه شده توسط چاتنو بر پایه

معادلات ماکسول بنا شده است:

$$\nabla \times E = -\frac{\partial B}{\partial t} \quad (1)$$

از آنجائیکه در یک محیط 2D تغییراتی در

راستای X نداریم خواهیم داشت:

$$\frac{\partial E_x}{\partial y} = \frac{\partial B_z}{\partial t} \quad (2)$$

و از آنجائیکه وابستگی زمانی القای مغناطیسی B

عبارتست از: $e^{i\omega t}$ خواهیم داشت:

$$\frac{\partial E_x}{\partial y} = i\omega\mu H_z \quad (3)$$

از تقسیم طرفین رابطه به H_y خواهیم داشت:

$$i\omega\mu \frac{H_z}{H_y} = \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{E_x}{H_y}\right) = \frac{\partial Z_{xy}}{\partial y} \quad (4)$$

(H_y در امتداد y تغییراتی ندارد)

$$Z_{xy} = (i\omega\mu\rho)^{\frac{1}{2}} \quad (5)$$

$$i\omega\mu \frac{H_z}{H_y} = (i\omega\mu)^{\frac{1}{2}} \frac{\partial(\rho)^{\frac{1}{2}}}{\partial y} \quad (6)$$

$$\frac{\partial(\rho)^{\frac{1}{2}}}{\partial y} = (i\omega\mu)^{\frac{1}{2}} \frac{H_z}{H_y} \quad (7)$$

پس از انتگرال گیری از طرفین رابطه خواهیم

داشت:

زمین‌شناسی منطقه نیز می‌باشد هماهنگی دارد. زیرا همانطور که در نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد نظر نیز مشخص است، اواسط پروفیل تا انتهای سمت راستی آن منطبق بر منطقه ای است که به لحاظ زمین‌شناسی دارای سنگ‌های رسوبی می‌باشد. همچنین در امتداد پروفیل ۷ نیز این هماهنگی به خوبی به چشم می‌خورد به طوری که اواسط پروفیل دارای مقاومت ویژه کم بوده که این منطقه نیز در شکل ۱ در ناحیه سنگ‌های رسوبی واقع شده است. بدین ترتیب هماهنگی بین مقادیر مقاومت ویژه کم با زون‌های خرد شده و احتمالاً آبدار بخوبی مشخص است.

مقادیر مقاومت ویژه بالا در انتهای پروفیل ۱ و ابتدای پروفیل ۷ به علت قرار گرفتن در حاشیه مدل و نبود قید کافی، قابل اعتماد نمی‌باشد. در انتها می‌توان گفت روش VLF و تفسیر کمی داده‌های آن روشی است که در حین سادگی در اجرا، قابلیت‌هایی در حد سایر روش‌های مقاومت ویژه را داراست.

راست معادله (۹)، می‌توانیم معادله مزبور را بصورت زیر بنویسیم:

$$\rho_{j+\frac{1}{2}}^{\frac{1}{2}} = -(\omega\mu)^{\frac{1}{2}} \Delta y P_j + \rho_{j-\frac{1}{2}}^{\frac{1}{2}} \quad j=1, \dots, n \quad (11)$$

در معادله بالا مقدار محاسبه شده مقاومت، مربوط به نقطه وسط بازه Δy می‌باشد.

بدین ترتیب ملاحظه می‌شود با در دست داشتن مقادیر بردار تیپر $(\frac{Hz}{Hy})$ می‌توان به مقادیر مقاومت ویژه دستیابی پیدا کرد.

داده‌هایی که در این تحقیق به عنوان ورودی در نظر گرفته شده است، مقادیر حقیقی و مجازی بردار تیپر می‌باشند. نرم‌افزار INV2D-VLF با مش بندی و شبکه کردن صفحه XZ و با استفاده از روش المان محدود^۱ به عنوان روش مستقیم^۲ به محاسبه مقاومت ویژه هر یک از نقاط شبکه می‌پردازد و در ادامه با استفاده از روش معکوس^۳ به بهینه سازی مدل بدست آمده می‌پردازد. با استفاده از کدهای نرم‌افزار Matlab مقاطع مقاومت ویژه برای پروفیل‌های مختلف رسم شده است.

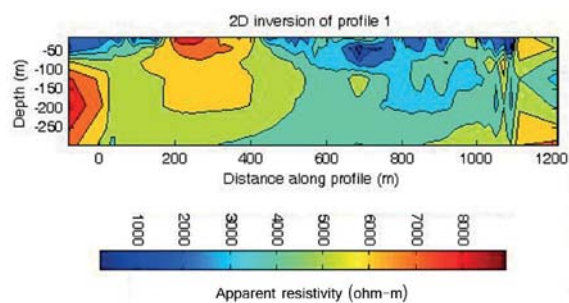
نتیجه گیری

مقاطع بدست آمده از پردازش داده‌های VLF در شکل ۳ آورده شده است. در این مقاطع نواحی دارای مقاومت ویژه کم بخوبی مشخص شده اند در امتداد پروفیل ۱ ناحیه مقاومت ویژه کم از فاصله ۵۰۰ متری طول پروفیل شروع شده که این مسئله با محل پروفیل در شکل ۱ که بیانگر نقشه

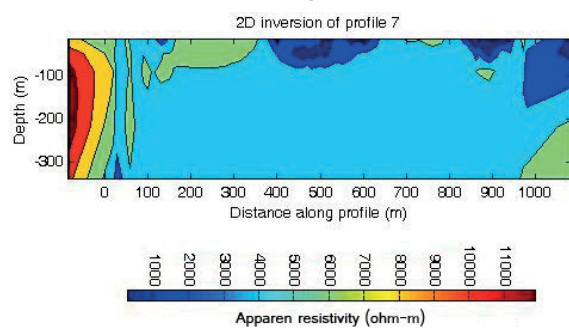
^۱ Finite Element Method

^۲ Forward

^۳ Inverse Methods



شکل الف



شکل ب

شکل ۳: مقاطع مقاومت ویژه مربوط به پروفیل‌های (الف) ۱، (ب) ۷. (مقادیر مقاومت ویژه بر حسب اهم - متر می‌باشد)

از پروفیسور مونتیرو سانتوز، عضو هیئت علمی
دانشگاه لیسبون، برای در اختیار گذاشتن نرم‌افزار
INV2D-VLF کمال تشکر را داریم.

تشکر و قدردانی

methods. *Jornal of African Earth sciences* 45,421-430.

5- Monteiro Santos , F. A. , Mateus , A. , Figueris as , J. and Goncalves , M. A. , 2006. Mapping groundwater contamination around a landfill facility using the VLF-EM method – A case study. *jornal of Applied Geophysics* 60 , 125.

6- Oskooi , B. and Pederson , L. B. , 2005. Comparison Between VLF and RMT methods A combined tool for mapping conductivity changes in the sedimentary cover. *jornal of Applied Geophysics* , 227-241.

7- Pederson , L. B. and Oskooi , B. , 2004. Airborne VLF measurments and variations of ground conductivity : A tutorial. *Surveys in Geophysics* 25 , 151-181.

منابع:

1- Becken, M. and Pedersen, L.B., 2003. Transformation of VLF anomaly maps into apparent resistivity and phase. *Geophysics* 68.497-505.

2- Chouteau, M., Huang, P. and Chapellier, D., 1996. Computation of apparent resistivity date using Linear Filtering. *Geophysical prospecting* 44, 215-232.

3- Gharibi, M. and Pedersen, L. B., 1999. Transformation of VLF data into apparent resistivities and phases. *Geophysics* 64, 1343-1402.

4- Monteiro Santos , F. A , Almeida E. p. , Gomes , M. and Pina , A. , 2006. Hydrogeological investigation in Santiago Island (Cabo Verde) using magnetotellurics and VLF