

اکتشاف زون سولفور و کربنات مس با روش قطبش الکتریکی (IP) و مقاومت ویژه

بلال شیرین پور^۱، محمود میرزایی^۲

^۱کارشناسی ارشد، دانشگاه آرک، shirinpourb@gmail.com
^۲دانشیار، دانشگاه آرک، m.mirzaei5736@gmail.com

چکیده

منطقه جنوب غرب دانسفهان در استان قزوین به عنوان منطقه مورد مطالعه، جهت اکتشاف کانی های مس در نظر گرفته شده است. عملیات ژئوفیزیکی شامل برداشت های مقاومت ویژه و قطبش القایی در این منطقه با ۱۱ پروفیل با فواصل الکترودی ۵ متر و حداقل طول پروفیل ۱۰۰ متر و با ۱۹۶۱ داده انجام گرفته است. به منظور شناسایی نواحی شامل کانی شدگی سولفید فلزی در زیر سطح زمین، پروفیل ها بصورت دوقطبی-دوقطبی و قطبی-دوقطبی، طراحی و اجرا گردیده اند تا روند ناهنجارهای احتمالی در عمق بهتر شناسایی گردد. تفسیر داده های حاصل در امتداد پروفیل های مذکور با استفاده از نرم افزار RES2DINV انجام گرفته است. استفاده از دوشیوه برداشت مذکور به مردمی از قدرت تفکیک بالا و عمق نفوذ آنها می باشد. پس از معکوس سازی داده های مقاومت ویژه و بارپذیری ظاهری توسط نرم افزار مذکور، مقاطع مختلف مقاومت ویژه و بارپذیری از نتایج معکوس سازی ها مذکو یعنی مقاطع مقاومت ویژه و بارپذیری واقعی شکل گرفتند. مقاطع مذکور با توجه به مقادیر عددی پریندی شده تفسیر گردیده اند.

کلمات کلیدی: قطبش القایی، مقاومت ویژه الکتریکی، آرایه قطبی-دوقطبی، آرایه دوقطبی-دوقطبی، دانسفهان، ذخایر مس

Exploration of Sulfuric and Carbonate of Copper Zone by Induced Polarization (IP) and Resistivity Method

Belal Shirinpour¹ Mahmud Mirzaei²

¹ M.Sc, Arak University

² Associate Professor, Arak University

Abstract

South western danesfahan area in Ghazvin province is considered as study area, for exploration copper minerals. Geophysics surveys were doing by eleven dipole-dipole and pole-dipole profiles with profile spacing electrode of 5 meters and profile length of 100 meter and with total number of 1961 data. In order to recognize areas including metal sulfide minerals in the subsurface, profiles in form of dipole-dipole and pole-dipole were designed to explore probable anomalies at depth. Interpretation of dipole-dipole and pole-dipole profiles data was done by RES2DINV software. Advantages of using two methods for collecting data are power of their high resolution and high penetration depth. After doing inversion of apparent resistivity and chargeability data using mentioned software, resistivity and chargeability sections are performed.

Key words: Induced polarization (IP), Electrical resistivity, Copper deposits, Pole-dipole array, Dipole-dipole array, Danesfahan area.

۱ مقدمه

روش های ژئوفیزیکی از جمله روش هایی هستند که در پی جویی و اکتشاف منابع زیرزمینی کمک قابل توجهی می کنند. این روش ها، اطلاعاتی در مورد تشکیلات زیر سطحی زمین برای اهداف مختلف اکتشافی، مهندسی یا بنیادی ارائه می دهند. روش های ژئوفیزیکی نسبت به روش های اکتشافی مستقیم از جمله حفاری ارزان تر بوده و غیر مخرب هستند. مقاومت ویژه الکتریکی و قطبش القایی از جمله مهم ترین روش های ژئوفیزیکی می باشند؛ که به منظور شناسایی و اکتشاف مناطق مستعد کانی سازی های مختلف فلزی (سولفیدی) مورداستفاده قرار می گیرند از آنجاکه نواحی کانی زا در زیر سطحی وقتی به صورت پراکنده باشند بارپذیری نسبتاً بالا را نشان داده در صورتی که مقاومت ویژه این نوع کانی های پراکنده به خودی خود پایین نمی باشد لذا تلفیق دو روش فوق می تواند در رسیدن به هدف موردنظر بسیار مؤثر باشد.

به علت پنهان بودن ذخایر معدنی به کارگیری روش‌های ژئوفیزیکی در اکتشاف مواد معدنی می‌توان از روش‌های ژئوفیزیکی استفاده کرد: نخست مرحله پی‌جوبی است. در این مرحله می‌توان از اطلاعات ژئوفیزیکی هوایی که در مقیاس ناحیه‌ای و کوچک برای پیدا کردن، در یک منطقه وسیع برداشت شده است استفاده کرد. مرحله دیگر استفاده از روش‌های ژئوفیزیکی در مراحل مقدماتی، نیمه تفصیلی و تفصیلی اکتشاف است. در این مرحله پس از استفاده از مدل‌های تکتونیکی، پترولوبیکی و آلتراسیون و انتخاب محل مناسب، برای پیدا کردن محل دقیق ذخیره پنهان، شکل، گسترش و عمق آن می‌توان از روش یا روش‌های ژئوفیزیکی مناسب استفاده کرد. بر پایه اطلاعات ژئوفیزیکی توانم با اطلاعات زمین‌شناسی، کانی‌سازی، آلتراسیون و ژئوشیمی می‌توان محل‌های مناسب را برای حفاری تعیین و در صورت موفقیت مقدار ذخیره کانسار را تخمین زد.

برای شناسایی و استخراج معادن علاوه بر اطلاعات زمین‌شناسی، به اطلاعات ژئوفیزیکی، ژئوشیمیایی و حفاری گمانه‌های اکتشافی نیاز است. رسیدن به یک مدل دقیق از یک کانسار برای دستیابی به یک طراحی و استخراج بهینه ماده معدنی امری ضروری است. این مدل دقیق بدون استفاده از داده‌های اکتشافی متنوع و مختلف علی‌الخصوص در مناطق پیچیده زمین‌شناسی و معدنی ناممکن است.

در این تحقیق هدف این است که با استفاده از روش‌های الکتریکی مقاومت ویژه و قطبش القایی که جزء روش‌های نسبتاً ارزان‌قیمت و سریع الکتریکی می‌باشد، بهترین مکان‌ها جهت حفاری کانی‌های فلزی سولفید مس با حداقل تعداد گمانه‌های اکتشافی موردنیاز تعیین شوند.

۲ روش تحقیق

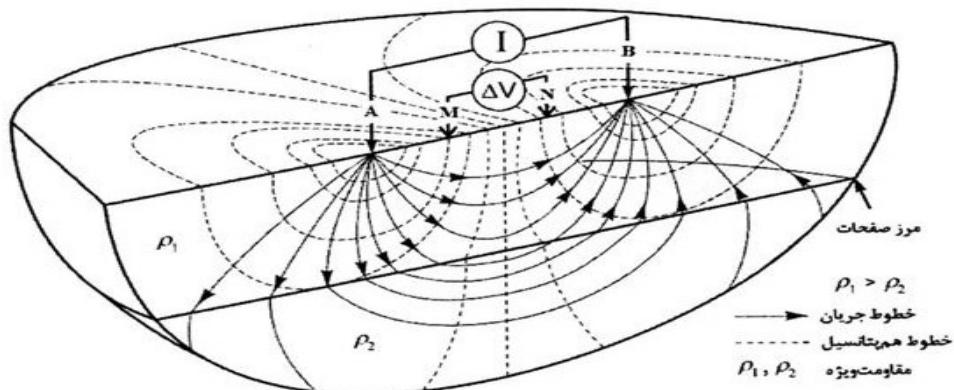
با توجه به بررسی‌های صحرایی اولیه و رخمنون‌های سطحی، موقعیت چند رخمنون حاوی کانی زائی از نوع سولفور و کربنات مس در مناطق آلتره که اکثراً از شکستگی‌ها و گسل‌های منطقه تبعیت می‌کنند، دیده شد. با توجه به فواصل رخمنون‌ها با یکدیگر از یکسو و با توجه به ابعاد رخمنون‌ها، رخمنون‌ها را به چهار منطقه دسته‌بندی کرده و مطالعات ژئوفیزیکی به طور جداگانه در هر منطقه انجام داده شد.

روش مطالعه ژئوفیزیک در این محدوده از نوع ژئوالکتریک و با اندازه‌گیری دو پارامتر اصلی قطبش القایی و مقاومت ویژه الکتریکی صورت گرفت. با توجه به این‌که بررسی‌های سطحی و عمقی مدنظر بود از آرایش‌های قطبی-دوقطبی برای بررسی‌های سطحی و دوقطبی-دوقطبی برای بررسی‌های عمقی استفاده شد. برداشت‌ها با فاصله الکترودی ۵ متر و حداقل طول پروفیل ۱۰۰ متر برای بررسی بی‌亨جاری‌های مقاومت ویژه الکتریکی و شارژ پذیری انجام گرفت. درنهایت مدل‌سازی معکوس داده‌های برداشت شده با نرم‌افزار RES2DINV انجام شد و با استفاده از تفسیر مقاطع به دست آمده بهترین نقاط برای حفاری‌های اکتشافی زون کانسار فلزی مس مشخص گردید.

۱-۲ روش مقاومت ویژه الکتریکی

روش‌های مقاومت ویژه الکتریکی فقط در صورتی که مقاومت ویژه هدف به طور قابل توجهی با محیط دربرگیرنده آن متفاوت باشد، مورد استفاده قرار می‌گیرد. هدف از تولید و اندازه‌گیری میدان الکتریکی، تعیین توزیع سه‌بعدی مقاومت ویژه الکتریکی در زمین با استفاده از اندازه‌گیری‌های سطحی و سپس به نقشه درآوردن این مقاومت الکتریکی هست. با تفسیر آنها به شکل و جنس ساختارهای زمین پی می‌برند. اگر اندازه‌گیری در محیط همسانگرد و همگن انجام شود، مقاومت ویژه الکتریکی به دست آمده، مقاومت ویژه واقعی (P_{t_k}) و اگر زمین ناهمگن باشد، مقاومت ویژه محاسبه شده، مقاومت ویژه ظاهری نامیده می‌شود و با P_a نشان داده می‌شود. مقاومت ویژه ظاهری به ساختار زمین‌شناسی زیرسطحی منطقه، فواصل بین الکترودها و هندسه الکترودهای نصب شده در زمین بستگی دارد.

همان‌طور که در شکل ۱ دیده می‌شود، در اندازه‌گیری‌های مقاومت ویژه زمین، دو الکترود جریان A و B که به ترتیب به قطب‌های مثبت و منفی یک باتری و دو الکترود پتانسیل M و N که به یک ولتمتر حساس متصل است؛ را در سطح زمین قرار می‌دهند. جریان ارسالی از الکترود A وارد و از الکترود B خارج و اختلاف ولتاژ حاصل، توسط دو الکترود پتانسیل اندازه‌گیری می‌شود.



شکل ۱. آرایه اساسی چهار الکترودی برای اندازه‌گیری مقاومت ویژه زمینی.

۲-۲ روش قطبش القایی (IP) (Induced Polarization)

تجارب آزمایشگاهی نشان داده است که انرژی الکتریکی در سنگ‌ها اساساً توسط فرآیند الکتروشیمیایی ذخیره می‌شود. جریان‌های تزریقی در داخل زمین جریان می‌یابند و باعث قطبیده شدن الکتریکی قسمت‌هایی از حجم سنگ می‌شوند. این فرآیند مشابه فرآیند شارژ شدن خازن یا باتری ماشین است و هر دو اثر خازنی و الکتروشیمیایی را شامل می‌شوند. اثر IP به علت دو مکانیسم به وجود می‌آید؛ اثر قطبش غشایی و اثر قطبش الکترودی.

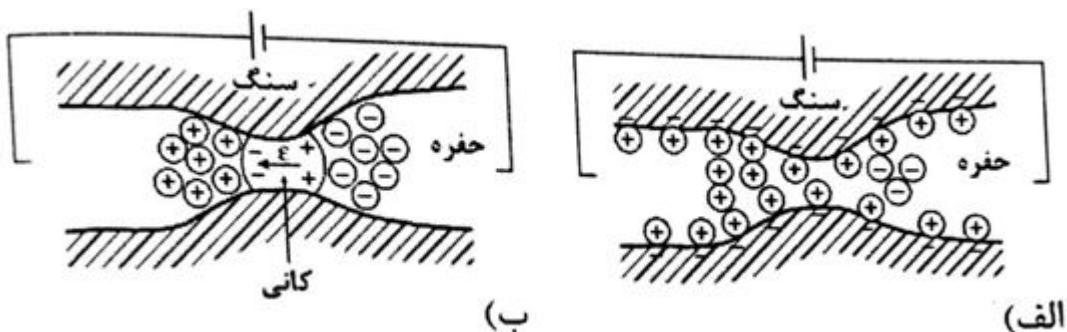
الف- قطبش غشایی

سطح رس‌ها و بعضی دیگر از کانی‌های صفحه‌ای دارای بار منفی است؛ که باعث قطبش غشایی در سنگ‌ها با فضاهای خلل و فرج کوچک می‌شود. در این گونه سنگ‌ها یون‌های مثبت آب در کنار دیواره منافذ تجمع می‌کنند (شکل ۲. الف). اگر تجمع یون‌های مثبت در داخل روزنه آبدار برابر با قطر دهانه روزنه باشد، حرکت یون‌ها در سیال متوقف می‌شود. بدین گونه یون‌های مثبت و منفی باعث بسته شدن مسیر جریان الکتریکی می‌شوند. پس از قطع جریان الکتریکی یا جریان ولتاژ مؤثر، شارش جریان معکوس برای برگرداندن به حالت اولیه اتفاق می‌افتد. یون‌های مثبت و منفی در زمان محدودی به محل اصلی‌شان برمی‌گردند؛ که این امر باعث به وجود آمدن افت ولتاژ ناگهانی می‌شود. این اثر قطبش غشایی یا الکتروولیتی نامیده می‌شود. اثر قطبش غشایی به طور عمده به علت وجود کانی رس در سنگ یا رسوبات هست، مخصوصاً جایی که روزنه‌ها کوچک هست، مشخص‌تر است. این اثر با افزایش شوری الکتروولیت درون خلل و فرج افزایش می‌یابد. اثر قطبش غشایی در برداشت‌های مهندسی و زیستمحیطی مورد توجه قرار می‌گیرد.

ب- قطبش الکترودی

اثر قطبش الکترودی به علت وجود کانی‌های هادی در سنگ است؛ به طوری که قسمتی از عبور جریان الکتریکی از طریق آب زیرزمینی (الکتروولیتی) و قسمتی از طریق کانی رسانا (الکترونیکی) هست. شکل ۲. ب نشان می‌دهد که یک کانی فلزی باعث سد شدن راه خلل و فرج شده است. وقتی ولتاژ به هر طرف فضای حفره وارد می‌شود، بار مثبت و منفی روی طرفین کانی با بار مخالف تحمیل می‌شود. یون‌های مثبت و منفی که قصد تبادل الکترون با کانی را دارند، بر روی هر دو طرف کانی تجمع می‌کنند.

میزان عبور الکترون‌ها از میزان معاوضه الکترون‌ها از طریق یون‌ها هست؛ درنتیجه یون‌ها در هر دو طرف کانی تجمع می‌یابند و باعث جمع شدن بار الکتریکی می‌شوند. وقتی که ولتاژ مؤثر از بین می‌رود، یون‌ها به طور آهسته پراکنده می‌شوند و به محل اصلی‌شان بازمی‌گردند و باعث افت زودگذر ولتاژ می‌شوند. این اثر تحت عنوان قطبش الکترودی یا ولتاژ اضافی (Overvoltage) شناخته می‌شود. تمام کانی‌هایی که قابلیت هدایت خوبی دارند (مثل سولفیدها، اکسیدها و گرافیت)، در این اثر شرکت می‌کنند. این اثر وقتی که کانی‌ها در سنگ می‌بیان پراکنده‌اند، مشخص‌تر است؛ به دلیل این‌که سطح قابل دسترسی یون‌ها برای تبادل الکترونیکی بیشترین است. همچنین با افزایش خلل و فرج به عنوان راه قابل دسترسی دیگری برای عبور جریان و هدایت یون مؤثر، اثر قطبش الکترودی کاهش بیشتری می‌یابد. بزرگی این اثر به بزرگی ولتاژ مؤثر و تجمع کانی‌ها بستگی دارد. اثر قطبش الکترودی بیشتر در برداشت برای کانی‌های فلزی مثل سولفیدها پراکنده مورد توجه قرار دارد.

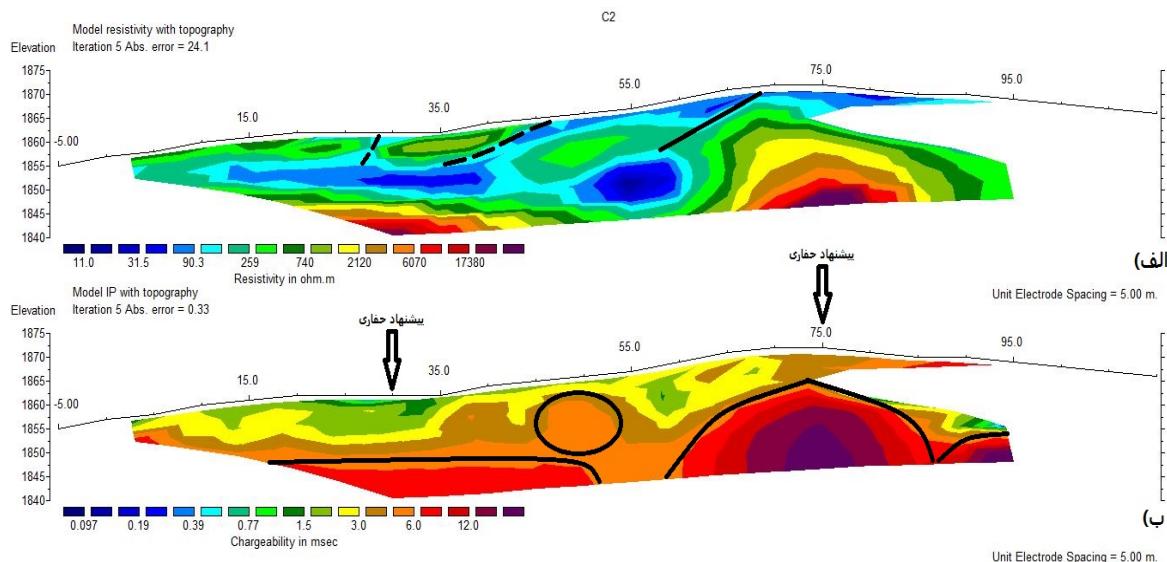


شکل ۲. مکانیسم IP، (الف) قطبش غشایی ب) قطبش الکترودی.

طی بازدید صحرایی از محدوده مورد نظر موقعیت چند رخنمون حاوی کانه زائی از نوع سولفور و کربنات مس در زون‌های آلتره که اکثراً از شکستگی‌ها و گسل‌های منطقه تبعیت می‌کند، دیده شد. موقعیت رخنمون‌ها برداشت شد و سپس دو روش مطالعه ژئوفیزیکی در این محدوده از نوع ژئوالکتریک و با اندازه‌گیری دو پارامتر اصلی قطبش القایی و مقاومت ویژه الکتریکی در نظر گرفته شد و سپس اندازه‌گیری این دو پارامتر در نقاط مختلف اندازه‌گیری و در امتداد پروفیل‌های طراحی شده صورت گرفت.

خصوصیات پروفیل‌های ژئوفیزیکی برای تمامی زون‌ها یکسان در نظر گرفته شده است؛ زیرا ابعاد رخنمون‌ها تقریباً مشابه و در حدود چند متر عرض هستند. طول همه پروفیل‌ها حداقل ۱۰۰ متر در نظر گرفته شده تا امکان مطالعه تا عمق ۲۵ متری میسر گردد. کاهش طول پروفیل‌ها منجر به کاهش عمق و نیز کمبود اطلاعات بین طرفین زون کانی زایی می‌گردد. لذا این طول به عنوان کمترین طول موردنیاز برای کسب اطلاعات مناسب از زیرزمین خواهد بود.

تعداد نقاط داده‌برداری شده در هر پروفیل از سطح زمین تا عمق ۲۵ متر به طول ۱۰۰ متر حدود ۱۷۰ ایستگاه هست. پروفیل‌ها به صورت موازی باهم و با فواصل مساوی از هم برداشت می‌شود که بتوان نهایتاً بلوکی سه‌بعدی را با دقت خوب به دست آورد. شکل ۳ نمونه‌ای از مقاطع مدل‌سازی شده است که نتیجه گیری‌های به دست آمده از این مدل‌سازی‌ها در صفحه بعد آورده شده است.



شکل ۳. نتایج حاصل از مدل‌سازی معکوس داده‌های مقاومت ویژه و قطبش القایی پروفیل C2، (الف) مقاومت ویژه الکتریکی، ب) قطبش القایی

۳ نتیجه‌گیری

- مقدار بارپذیری روی پروفیل‌ها از خیلی کم تا حدود ۲۰ میلی‌ثانیه متغیر است که مقدار ۷ میلی‌ثانیه به بالا برای اکتشافات مس موردنوجه قرار می‌گیرد.

- با توجه به قرار گرفتن منطقه مورد مطالعه روی گسل حسن آباد احتمالاً کانی زایی نیز در ارتباط با همین گسل و شکستگی‌ها است.
- در مقاطع دوبعدی بی‌هنجری‌های دارای بارپذیری بالا برای اکتشاف کانسارهای فلزی مهم می‌باشند. در مقاطع پروفیل‌ها، اکثر بی‌هنجری‌های بارپذیری متناظر با مقاومت ویژه بالا دیده شد میزان مقاومت ویژه بالا نشانگر وجود رگه‌ی کوارتز و سنگ‌های آذرین و بارپذیری بالا نشان‌دهنده فراوانی فلزات و سولفیدهای پراکنده در آن است در برخی نواحی مقاومت ویژه پایین است که دلیل آن وجود گسل و خردشگی همراه با آب در آن ناحیه است.
- در مقطع به دست آمده از پروفیل C2 که در شکل ۴-۶ آمده است، بی‌هنجری مشخص شده نسبت به دیگر مقاطع، از شدت بارپذیری بیشتری برخوردار است؛ که با توجه به مقاومت ویژه بالا این بی‌هنجری، احتمالاً کانی‌سازی در این محدوده با عیار بالاتری صورت گرفته است.
- نتایج حاصل از مدل‌سازی بر روی پروفیل C3 که در شکل ۴-۷ دیده می‌شود، در مقایسه با دیگر مقاطع، بارپذیری پایین‌تر و مقاومت ویژه متوسط تا بالاتری را نشان می‌دهد؛ که احتمالاً ناشی از کانی‌سازی ضعیف فلزی است.
- به کارگیری روش مقاومت ویژه و قطبش القایی با آرایه‌های قطبی-دوقطبی و دوقطبی-دوقطبی برای بی‌جوبی‌های با عمق نسبتاً کم در بررسی‌های صورت گرفته شده منجر به محتمل‌ترین نواحی امیدبخش برای اجرای حفاری گردید که این نواحی معمولاً زون‌هایی بودند که مقاومت ویژه و قطبش القایی نسبتاً بالایی را نمایش دادند.
- با در نظر گرفتن نتایج حاصل از مدل‌سازی داده‌های مقاومت ویژه و قطبش القایی، پیشنهاد حفاری برای بررسی‌های بیشتر اکتشافی و تأیید زون‌های کانی‌سازی حاصل از تفسیر نتایج ژئوفیزیکی در نقاطی که دارای اهمیت بیشتری است؛ ارائه گردید.

منابع

- Selley R. C. Cocks L. R. M. and Plimer I. R., "Encyclopedia of geology", Vol. 1, First Edition, Elsevier Ltd, Oxford, (2005), pp.482.
- Reynolds J. M., "An introduction to applied and environmental geophysics", Vol. 1, First Edition, John Wiley & Sons Ltd, Oxford, (1997), pp.418.
- Knödel K., Lange G. and Voigt H. J., "Environmental geology: Handbook of field methods and case studies", Vol. 1, First Edition, Springer, Heidelberg, (2007), pp.206.
- Loke, M. H."Tutorial: 2-D and 3-D electrical imaging surveys", (2012).
- Kirsch R., "Groundwater geophysics", Vol. 1, Second Edition, Springer, Heidelberg, (2009), pp.100.
- Telford W. M., Geldart L.P. and Sheriff R. E., "Applied geophysics", Vol. 1, Second Edition, Cambridge university press, UK, (1990), pp 535.
- Kearey P., Brooks M. and Hill I., "An introduction to geophysical exploration", Vol. 1, Third Edition, John Wiley & Sons Ltd, Oxford, (2002), pp.196.
- Milsom J., "Field geophysics", Vol. 1, Third Edition, John Wiley & Sons Ltd, Oxford, (2007), pp.100.