مجلهٔ فیزیک زمین و فضا، دوره ۳۳، شماره ۲، ۱۳۸۶، صفحهٔ ۴۷- ۵۳

کاربرد روش قطبش القایی طیفی (SIP) برای اکتشاف منابع هیدروکربوری

یگانه همتی[۱] و محمدعلی ریاحی[۲*]

[۱] دانش‌آموختهٔ کارشناسی ارشد ژئوفیزیک، مؤسسهٔ ژئوفیزیک، دانشگاه تهران، ایران
[۲] دانشیار گروه فیزیک زمین، مؤسسهٔ ژئوفیزیک، دانشگاه تهران، ایران

(دریافت: ۸۵/۳/۱۰ ، پذیرش نهایی: ۸۶/۶/۱۷)

چکیده

روش قطبش القایی طیفی، شاخه‌ای از روش‌های اکتشافی در ژئوفیزیک است که به‌طور گسترده‌ای در پی‌جویی‌های محیطی و ژئوفیزیکی، علاوه بر پی‌جویی‌های اکتشافی مواد معدنی در خصوص، نفت و گاز و زغال سنگ نیز به‌کار رفته است. روش قطبش القایی قادر است اندازه‌گیری‌هایی از مقاومت ویژه مختلط ظاهری چند بسامدی در محدوده بسامدهای 10^{-2} تا 10^{2} هرتز را فراهم کند. این اندازه‌گیری‌ها برای تعیین پارامترهای طیفی و توزیع‌های مکانی از ساختارهای زمین‌شناسی مدفون به‌کار می‌روند. در این بررسی، کاربرد روش قطبش القایی طیفی در اکتشاف مخازن نفت و گاز مورد بررسی قرار گرفته است. مقادیر متوسط پارامترهای بارپذیری، ثابت زمانی و وابستگی بسامدی درون محدودهٔ بی‌هنجاری، در تشخیص منبع بی‌هنجاری مفیدند. در این مقاله روش قطبش القایی طیفی روی مخزن نفتی دهدشت، مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج به‌دست آمده در این تحقیق نشان داد که متوسط پارامترهای طیفی ظاهری در مقاطع بی‌هنجاری برای تشخیص مولد یا چشمهٔ به‌وجود آورندهٔ بی‌هنجاری، مفید است.

واژه‌های کلیدی: قطبش القایی، مقاومت ویژه مختلط، مدل کول- کول، وارون‌سازی

۱ مقدمه

سازوکار شناسایی مخازن نفت و گاز

در اوایل دههٔ ۱۹۷۰، بررسی‌های آزمایشگاهی دربارهٔ اکتشاف نفت و گاز با روش IP صورت گرفت (نی و همکاران، ۱۹۸۹). از آن زمان تشخیص داده شد که سازوکار آثار IP در هیدروکربن‌ها پیریت ثانویه است که می‌تواند باعث بی‌هنجاری IP شود و این هنگامی شکل می‌گیرد که نفت و گاز از مخزن خارج می‌شوند، چرا که هیدروکربن‌ها با سولفات‌ها و آهن در رولایهٔ کم‌عمق واکنش نشان می‌دهند.

واضح است که سازوکار تجسس نفت و گاز با روش IP فرایندی از نشت است. هنگامی که نفت و گاز از مخزن به سمت بالا مهاجرت می‌کنند، تحت شرایط کاهش (reduction) در قسمت عمیق زمین، پیریت ثانویه با واکنش شیمیایی مواد هیدروکربنی با یون‌های آهن در لایه پوششی تولید می‌شوند و بی‌هنجاری IP را شکل می‌دهند.

پیریت ثانویه تولید شده مرتبط با هیدروکربن‌ها، در طی زمانی طولانی تحت شرایط کاهش شکل گرفته و در نتیجه دارای محتوای کمتری در حجم و دانه‌بندی همگن کوچک‌تری است. بنابراین از نظر خصوصیات پارامترهای طیفی، بارپذیری پایین‌تر (معمولاً کوچک‌تر از ٪۱۰)، ثابت زمانی متوسط پایین‌تری (حدود 10^{-1} ثانیه) و وابستگی بسامدی متوسط بالاتری (بزرگ‌تر از ۰/۵) را نشان می‌دهند. این ویژگی‌ها، به خصوص مقدار وابستگی بسامدی، تشخیص بی‌هنجاری‌های IP ایجاد شده با نفت و گاز را از بی‌هنجاری‌های سایر آثار مثل کانی‌سازی و دگرگونی، ممکن می‌سازند. گسپریکوا و همکاران (۲۰۰۵) و کنما و همکاران (۲۰۰۴) به‌ترتیب اکتشافات

*نویسنده رابط: تلفن: ۶۱۱۱۸۲۱۹-۰۲۱ دورنگار: ۸۸۶۳۰۵۴۸-۰۲۱ E-mail: mariahi@ut.ac.ir

کانی‌های رسوبی عمیق با استفاده از میدان طبیعی IP و تصویرسازی داده‌های IP برای کاربردهای مهندسی را ارائه نمودند. در این قسمت قبل از معرفی منطقهٔ مورد بررسی به‌طور مختصر به مدل کول-کول و پارامترهای طیفی IP که در این مقاله مورد استفاده قرار گرفته است، اشاره می‌کنیم.

۲ مدل کول- کول (Cole-Cole model)

یک مدل افت (واهلش) ساده رو به تکامل برای تطبیق مجموعه‌ای از نتایج مقاومت ویژه مختلط آزمایشگاهی متنوع را مادن و کنت ول (۱۹۶۷) و پلتون و همکاران (۱۹۷۸) بررسی کردند. این روش را کول و کول (۱۹۴۱) به شکلی ابتدائی برای پیش‌بینی رفتار دی‌الکتریک مختلط پیشنهاد کردند. مدار شکل ۱، یک شبکهٔ مقاوم است که افت (واهلش) کول- کول را ارائه می‌دهد.

در این مدار، پارامتر $(i\omega x)^{-c}$، نمایانگر پاگیری (امپدانس) سطح مشترک (حد فاصل) الکترولیت- کانه معدنی (یونی- فلزی) است. مقاومت R_o نمایانگر مقاومت الکترولیت در مسیرهای خلل و فرج غیر مسدود است و به عبارتی مقاومت ویژهٔ جریان مستقیم (dc) به‌حساب می‌آید. مقاومت R_1 نمایانگر مقاومت الکترولیت در مسیرهای خلل و فرج مسدود شده است. اگر تعریفی را که سیگل در ۱۹۵۹ برای بارپذیری m ارائه کرد، به مثابه نسبت ولتاژ بلافاصله بعد از توقف به ولتاژ بلافاصله قبل از توقف یک جریان بارگیری طولانی نامحدود بپذیریم، می‌توانیم پاگیری مدار معادل را به صورت زیر بنویسیم:

$$Z(\omega)=R_o\left[1-m(1-\frac{1}{1+(i\omega\tau)^c})\right] \qquad (۱)$$

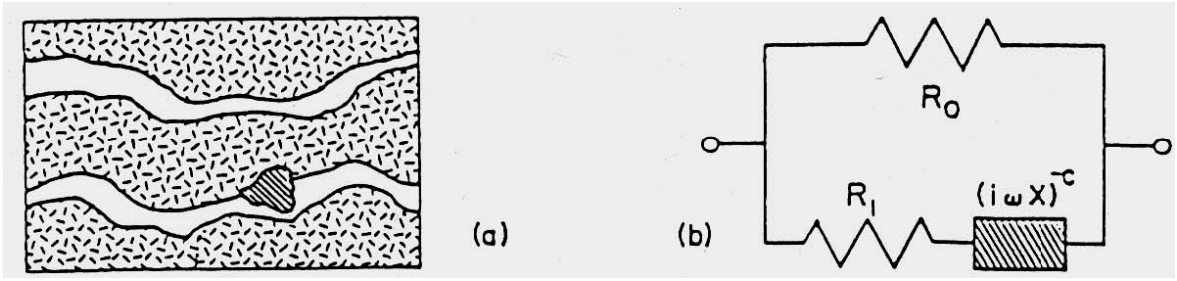
که

$$m=\frac{1}{1+\frac{R_1}{R_o}} \quad , \quad \tau=X(\frac{R_\circ}{m})^{1/c} \qquad (۲)$$

m دامنهٔ بارپذیری و بدون بُعد است و اثر اصلی افزایش بارپذیری، افزایش قطبش‌پذیری یا زاویهٔ فاز است. واحد ثابت زمانی τ ثانیه است و طول مدت زمانی را که نیاز است تا افت درحوزهٔ زمان صورت بگیرد، تعیین می‌کند. ثابت زمانی τ وابسته به موقعیت ماکزیمم فاز روی محوربسامد است. وابستگی بسامدی c، شیب طیف فاز و بدون بُعد است.

پارامترهای طیفی

سه پارامتر IP کول- کول یعنی c, τ, m هر یک دارای مفهومی فیزیکی وابسته به مواد تولیدکننده قطبش القائی (IP) هستند (کلین، ۱۹۸۳). تغییرات خصوصیات قطبش‌پذیری مواد معدنی با اندازهٔ دانه‌بندی مواد معدنی



شکل ۱. a: سنگ کانی‌سازی شده، b: مدار معادل، (پلتون و همکاران، ۱۹۷۸).

اندازه‌گیری شده ثابت زمانی τ، با افزایش اندازهٔ دانه‌بندی مواد معدنی، افزایش می‌یابد و برای مواد معدنی مرتبط است. (پلتون و همکاران، ۱۹۷۸؛ دی ویت، ۱۹۷۸؛ سیل، ۱۹۸۳). آنها پی بردند که در حالت کلی، مقادیر نشان‌دهندهٔ خصوصیات رگه‌ای، بیشترین مقدار را دارد. مقادیر زیاد ثابت زمانی مشاهده شده را می‌توان به طول زیاد مسیر در مواد دانه درشت یا رگه‌ای نسبت داد. τ به‌طور معمول از ۰/۰۱ تا بیش از ۱۰۰ ثانیه تغییر می‌کند. وابستگی بسامدی c نه تنها به توزیع اندازهٔ دانه‌بندی مواد معدنی فلزی مربوط است، بلکه به هندسهٔ خلل و فرج (روزنه‌ها) که به‌طور اجتناب‌ناپذیری با این توزیع‌ها هماهنگ است نیز وابستگی دارد. بارپذیری ظاهری m پارامتری است که شدت بی‌هنجاری قطبش القایی را نشان می‌دهد.

۴ موقعیت جغرافیایی و زمین‌شناسی منطقه مورد بررسی

محدودهٔ مورد بررسی در شهر دهدشت استان کهگیلویه و بویراحمد واقع است. شهر دهدشت در ۶۰ کیلومتری شمال شرق شهرستان بهبهان قرار دارد. اهمیت منطقه دهدشت از لحاظ اکتشاف هیدروکربوری وجود مخازن و تاقدیس‌های مجاور و روند تاقدیس‌ها و مخازن جنوب و جنوب غرب ایران است.

وضعیت ساختاری در منطقه دهدشت که با گچساران پوشش یافته است به‌صورت چین‌خوردگی پلکانی است و نباید انتظار داشت که در مناطق دشت، ساختمان‌های بزرگی به نقشه درآیند بلکه ساختارها به صورت کم عرض و با طول نسبتاً مناسب‌اند. از آن‌جایی‌که آهک درز وشکاف‌دار آسماری (سنگ مخزن) با این وضعیت چین‌خورده است و با گچساران پوشش یافته، می‌تواند تله‌های هیدروکربوری را به‌وجود آورد.

۵ عملیات صحرایی

در منطقهٔ دهدشت، برای برداشت‌های قطبش القایی طیفی، از آرایش مستطیلی استفاده شده است. مشخصات این آرایش شامل AB=۱۰۰۰۰ متر و MN=۵۰ متر است که هر دو در طول پیمایش ثابت گرفته می‌شوند. در این تحقیق سه پروفیل ۳۴، ۳۵ و ۳۶ با فواصل ۵۰۰ متر از یکدیگر انتخاب شده‌اند. در روی هر پروفیل، برداشت‌های فاز روی ایستگاه‌هایی به فاصله ۵۰ متر از یکدیگر صورت گرفته است. در هر ایستگاه مقادیر فاز در ۱۶ دورهٔ زمانی از ۰/۰۳۲ ثانیه تا ۸/۱۹۲ ثانیه مورد اندازه‌گیری قرار گرفتند که معادل با مقادیر فاز در ۱۶ بسامد از ۳۱/۲۵ هرتز تا ۰/۱۲۲ هرتز هستند. برای به‌دست آوردن اطلاعات طیفی از داده‌های فاز اندازه‌گیری شده، وارون‌سازی سه پارامتر قطبش القایی طیفی در مدل کول- کول اهمیت اساسی دارد. به تعداد ایستگاه‌های اندازه‌گیری، طیف فاز وجود دارد و از هر طیف فاز، مجموعه پارامترهای (m, τ, c) به‌دست می‌آید. پس از به‌دست آوردن پارامترهای طیفی در هر ایستگاه، می‌توان شبه مقاطع مربوط به این سه پارامتر را ترسیم کرد. در اینجا از روش وارون‌سازی براساس الگوریتم ژنتیک توسعه یافته (کائو و همکاران، ۲۰۰۵) برای به‌دست آوردن پارامترهای طیفی هدف قطبش‌پذیر استفاده شده است.

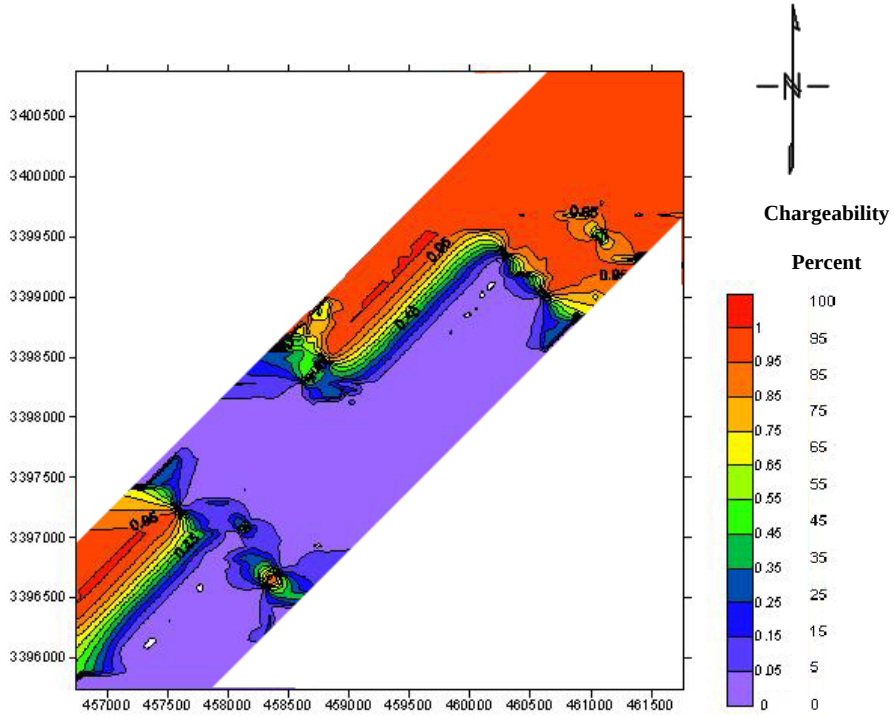
۶ تفسیر نتایج

به دلیل فاصلهٔ الکترودی بزرگ به کار رفته در اکتشافات هیدروکربنی، آثار جفت‌شدگی الکترومغناطیسی همیشه در داده‌های قطبش القایی طیفی وجود دارند، بنابراین برای اطمینان از مقادیر پارامترهای طیفی لازم است مقادیر میانگین پارامترهای طیفی، در نقشه‌های بی‌هنجاری برای تشخیص توده‌های قطبش‌پذیر به کار روند. مقادیر میانگین پارامترهای طیفی روی محدودهٔ بی‌هنجاری در جدول ۱ آورده شده است.

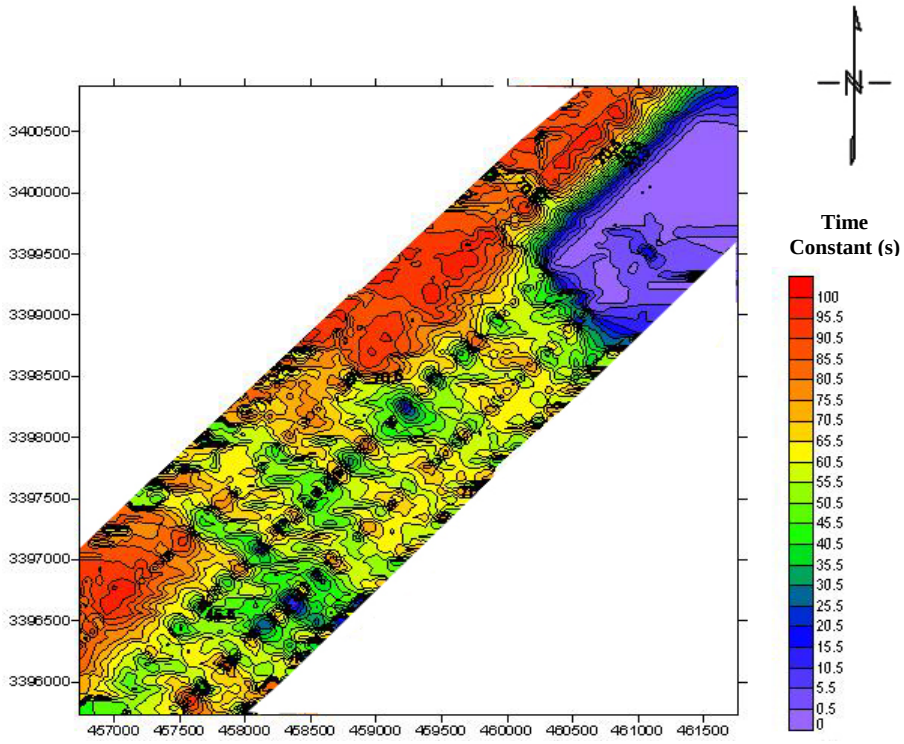
جدول ۱. مقادیر میانگین پارامترهای طیفی.

c (%) وابستگی بسامدی	τ (S) ثابت زمانی	m (%) بارپذیری
۰/۸۵	۰/۳	۰/۸۵

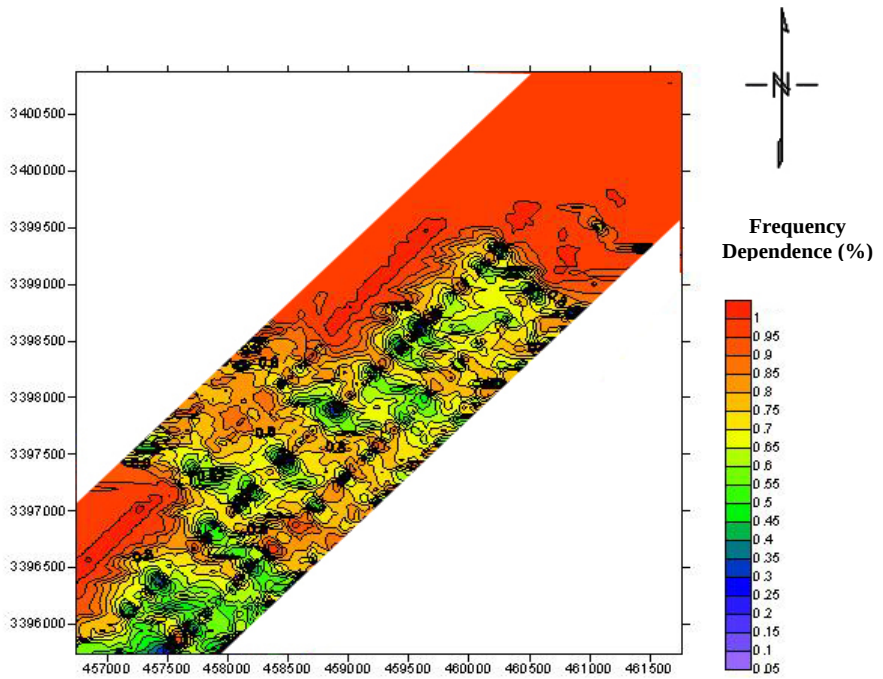
نقشه‌های بی‌هنجاری بارپذیری، ثابت زمانی و وابستگی بسامدی در شکل‌های‌های ۲، ۳ و ۴ نشان داده شده است. در این نقشه‌ها، محورهای افقی و عمودی مختصات نقاط (ایستگاه‌های) اندازه‌گیری را نشان می‌دهند، که به کمک GPS به‌دست آمده‌اند. در هر ایستگاه مقادیر فاز در ۱۶ بسامد برداشت شده‌اند. با استفاده از روش وارون‌سازی براساس الگوریتم ژنتیک توسعه یافته (کائو و همکاران، ۲۰۰۵) پارامترهای طیفی حاصل می‌شوند. به کمک مقادیر میانگین دو پارامتر ثابت زمانی و وابستگی بسامدی در محدودهٔ بی‌هنجاری، می‌توان مخزن نفتی را به‌طور مؤثری آشکار ساخت. پارامتر بارپذیری در شکل ۲ به درصد نشان داده شده است و مقدار آن با نتایج به‌دست آمده روی مخازن نفتی به‌خوبی سازگار است. با توجه به سه نقشه بی‌هنجاری بارپذیری، ثابت زمانی و وابستگی بسامدی، محدوده بی‌هنجاری مطابق با محدودهٔ بارپذیری پایین به رنگ آبی (که کمتر از ۱۰ درصد است)، ثابت زمانی پایین به رنگ آبی و از مرتبهٔ 10^{-1} ثانیه و وابستگی بسامدی بالا به رنگ سرخ و حدود ۰/۸ است که به صورت هاله‌ای، مخزن را دربر می‌گیرد. ثابت زمانی از مرتبهٔ 10^{-1} ثانیه و وابستگی بسامدی بزرگ‌تر از ۰/۸ روی مخزن نفتی، به‌خوبی با تجربه توافق دارند.



شکل ۲. نقشه بی‌هنجاری بارپذیری، محدوده بی‌هنجاری مطابق با محدودهٔ بارپذیری پایین به رنگ آبی (که کمتر از ۱۰ درصد است) است و به صورت هاله‌ای، مخزن را دربرگرفته است.



شکل ۳. نقشه بی‌هنجاری ثابت زمانی، مقادیر پایین ثابت زمانی به رنگ آبی (از مرتبهٔ $^{-1}$۱۰ ثانیه) نشان دهندهٔ دانه‌بندی همگن و کوچک است.



شکل ٤. نقشه بی‌هنجاری وابستگی بسامدی، محدوده بی‌هنجاری مطابق با وابستگی بسامدی بالا و به رنگ سرخ (حدود ۰/۸) است که به صورت هاله‌ای، مخزن را دربر می‌گیرد.

۷ نتیجه‌گیری

از نظر کیفی، پارامتر ثابت زمانی را می‌توان به‌طور مستقیم برای تشخیص یک تودهٔ قطبش‌پذیر براساس ساختارش به کار برد. بنابراین، ثابت زمانی، پارامتر مهمی در بررسی‌های به روش قطبش القایی طیفی است. وابستگی بسامدی ظاهری نیز در اکتشافات نفت پارامتر مهمی است چون این پارامتر معمولاً دارای مقدار میانگین ۰/۲۵ است و تغییر چندانی ندارد ولی در اکتشاف مخازن هیدروکربنی مقادیر زیادی (بالاتر از ۰/۵) را نشان می‌دهد و می‌توان از آن برای تشخیص توده معدنی غنی، از سنگ میزبان کانی‌سازی شده استفاده کرد. با استفاده از نقشه‌های بی‌هنجاری بارپذیری، ثابت زمانی و وابستگی بسامدی، می‌توان مخزن نفتی را به‌خوبی آشکار کرد. با توجه به سه نقشه بی‌هنجاری بارپذیری، ثابت زمانی و وابستگی بسامدی، محدوده بی‌هنجاری مطابق با محدودهٔ بارپذیری کم به رنگ آبی (که کمتر از ۱۰ درصد است)، ثابت زمانی پایین به رنگ آبی و از مرتبهٔ 10^{-1} ثانیه و وابستگی بسامدی زیاد به رنگ سرخ و حدود ۰/۸ است که به صورت هاله‌ای، مخزن را دربر می‌گیرد. بارپذیری کم، ثابت زمانی از مرتبهٔ 10^{-1} ثانیه و وابستگی بسامدی بزرگ‌تر از ۰/۸ روی مخزن نفتی، با نتایج به‌دست آمده روی مخازن نفتی به خوبی سازگار هستند (لوو ژانگ، ۱۹۹۸). هر چند که روش قطبش القایی روشی جهانی نیست، اما می‌توان با آن، اطلاعات گرانبهایی برای اکتشافات عمیق و تشخیص توده‌های قطبش‌پذیر براساس ساختار و بافت آنها فراهم آورد. روش وارون‌سازی به‌کار رفته، برای محاسبه پارامترهای طیفی بسیار مفید است. کاربرد روش قطبش القایی طیفی در مخزن نفتی دهدشت، محدودهٔ مخزن را به‌خوبی مشخص می‌سازد.

منابع

همتی، ی.، ۱۳۸۵، تعیین اندیس‌های معدنی با استفاده از طیف دامنه و فاز داده‌های IP طیفی، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، مؤسسهٔ ژئوفیزیک دانشگاه تهران.

Campbell, D. L., 2001, Spectral induced polarization measurements at the main iron incline mine dump near Leadville, Colorado: U. S. Geological survey open-file report 01-315, 9p.

Cao, Z., Chang, Y., and Luo, Y., 2005, Inversion study of spectral induced polarization based on improved genetic algorithm", Progress In Electromagnetics Research Symposium, Hangzhou, China, August 22-26.

Cole, K. S., and Cole, R. H., 1941, Dispersion and absorption in dielectrics: J. Chem. Phys., **9**, 341-351.

DeWitt, G. W., 1978, Parametric studies of induced polarization spectra. M. S. Thesis, University of Utah, Salt Lake City, Utah.

Gasperikova, E., Cuevas, N. H., and Morrison, H. F., 2005, Natural field induced polarization for mapping of deep mineral deposits: A field example from Arizona: Geophysics, **70**, B61-B66.

Kemna, A., A. Binley, and Slater, L., 2004, Cross-borehole IP imaging for engineering and environmental applications, Geophysics, **69**, 97-105.

Klein, J. D., 1983, Spectral induced polarization survey, David Field, Alberta: presented at the 36th Annual Meeting of the Midwest SEG, Denver.

Luo, Y., and Zhang, G., 1998, Theory and application of spectral induced polarization", Geophysical monograph series no. 8, Society of Exploration Geophysicists, Tulsa, Oklahoma, 1-171.

Madden, T. R., and Cantwell, T., 1967, Induced polarization: a review. Mining Geophysics, 2, SEG, 373-400.

Major, J., and Silic, J., 1981, Restrictions on the use of cole-cole dispersion models in complex resistivity interpretation, Geophysics, **46**, 916-931.

Nie X., Zhou, A., Yang, G., Zhang, SA., Jian, A., and Zhang, SH., 1989, Exploration for oil and. gas with IP method-A discussion on the results and the anomaly model: in An Overview of Exploration Geophysics in China-1989, SEG Series 3.

Pelton, W. H., Word, S. H., Hallof, P. G., Sill, W. R., and Nelson, P. H., 1978, Mineral discrimination and removal of inductive coupling with multifrequency IP, Geophysics,

43, 588-609.

Seigel, H. O., 1959, Mathematical formulation and type curves for induced polarization, Geophysics, XXIV, 547-565.

Sill, W. R., 1983, Cultural effects in induced polarization data, in Electrical methods in oil and gas exploration, v. 2: Salt Lake City, Earth Science Laboratory, University of Utah Research Institute.

Zonge, K. L., Sauck, W. A., and Sumner, J. S., 1971, Comparison of time, frequency and phase measurements in induced polarization, department of Geosciences, University of Arizona, Tuscon, Arizoana.