كاني‌هاي رسوبي عميق با استفاده از ميدان طبيعي IP و تصويرسازي داده‌هاي IP براي كاربردهاي مهندسي را ارائه نمودند. در اين قسمت قبل از معرفي منطقة مورد بررسي به‌طور مختصر به مدل كول-كول و پارامترهاي طيفي IP كه در اين مقاله مورد استفاده قرار گرفته است، اشاره مي‌كنيم.

2 مدل كول- كول (Cole-Cole model)

يك مدل افت (واهلش) ساده رو به تكامل براي تطبيق مجموعه‌اي از نتايج مقاومت ويژه مختلط آزمايشگاهي متنوع را مادن و كنت ول (1967) و پلتون و همكاران (1978) بررسي كردند. اين روش را كول و كول (1941) به شكلي ابتدائي براي پيش‌بيني رفتار دي‌الكتريك مختلط پيشنهاد كردند. مدار شكل 1، يك شبكة مقاوم است كه افت (واهلش) كول- كول را ارائه مي‌دهد.

در اين مدار، پارامتر $(i\omega x)^{-c}$، نمايانگر پاگيري (امپدانس) سطح مشترك (حد فاصل) الكتروليت- كانه معدني (يوني- فلزي) است. مقاومت R_o نمايانگر مقاومت الكتروليت در مسيرهاي خلل و فرج غير مسدود است و به عبارتي مقاومت ويژة جريان مستقيم (dc) به‌حساب مي‌آيد. مقاومت R_1 نمايانگر مقاومت الكتروليت در مسيرهاي خلل و فرج مسدود شده است. اگر تعريفي را كه سيگل در 1959 براي باريذيري m ارائه كرد، به مثابه نسبت ولتاژ بلافاصله بعد از توقف به ولتاژ بلافاصله قبل از توقف يك جريان بارگيري طولاني نامحدود بپذيريم، مي‌توانيم پاگيري مدار معادل را به صورت زير بنويسيم:

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

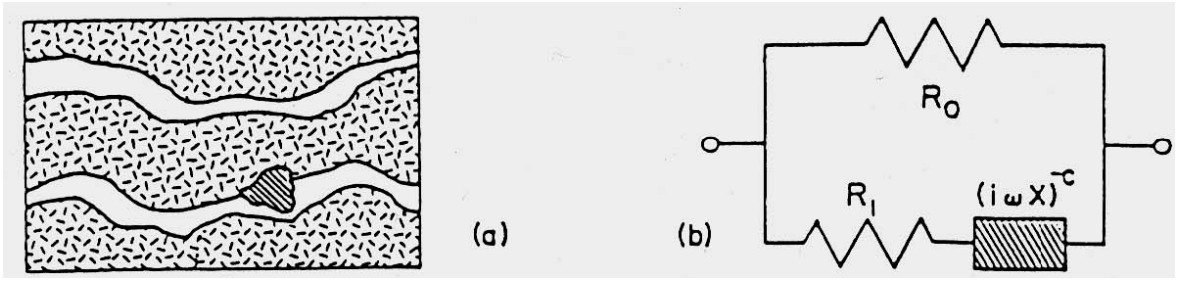
كه

$$m = \frac{1}{1+\frac{R_1}{R_o}} \quad , \quad \tau = X\left(\frac{R_\circ}{m}\right)^{1/c} \qquad (2)$$

m دامنة باريذيري و بدون بعد است و اثر اصلي افزايش باريذيري، افزايش قطبش‌پذيري يا زاوية فاز است. واحد ثابت زماني τ ثانيه است و طول مدت زماني را كه نياز است تا افت درحوزة زمان صورت بگيرد، تعيين مي‌كند. ثابت زماني τ وابسته به موقعيت ماكزيمم فاز روي محوربسامد است. وابستگي بسامدي c، شيب طيف فاز و بدون بعد است.

پارامترهاي طيفي

سه پارامتر IP كول- كول يعني c, τ, m هر يك داراي مفهومي فيزيكي وابسته به مواد توليدكننده قطبش القائي (IP) هستند (كلين، 1983). تغييرات خصوصيات قطبش‌پذيري مواد معدني با اندازة دانه‌بندي مواد معدني



شكل 1. a: سنگ كاني‌سازي شده، b: مدار معادل، (پلتون و همكاران، 1978).

اندازه‌گيري شده ثابت زماني τ، با افزايش اندازة دانه‌بندي مواد معدني، افزايش مي‌يابد و براي مواد معدني مرتبط است. (پلتون و همکاران، 1978؛ دي ويت، 1978؛ سيل، 1983). آنها پي بردند که در حالت کلي، مقادير نشان‌دهندة خصوصيات رگه‌اي، بيشترين مقدار را دارد. مقادير زياد ثابت زماني مشاهده شده را مي‌توان به طول زياد مسير در مواد دانه درشت يا رگه‌اي نسبت داد. τ به‌طور معمول از 0/01 تا بيش از 100 ثانيه تغيير مي‌کند. وابستگي بسامدي c نه تنها به توزيع اندازة دانه‌بندي مواد معدني فلزي مربوط است، بلکه به هندسة خلل و فرج (روزنه‌ها) که به‌طور اجتناب‌ناپذيري با اين توزيع‌ها هماهنگ است نيز وابستگي دارد. بارپذيري ظاهري m پارامتري است که شدت بي‌هنجاري قطبش القايي را نشان مي‌دهد.

4 موقعيت جغرافيايي و زمين‌شناسي منطقه مورد بررسي

محدودة مورد بررسي در شهر دهدشت استان کهگيلويه و بويراحمد واقع است. شهر دهدشت در 60 کيلومتري شمال شرق شهرستان بهبهان قرار دارد. اهميت منطقه دهدشت از لحاظ اکتشاف هيدروکربوري وجود مخازن و تاقديس‌هاي مجاور و روند تاقديس‌ها و مخازن جنوب و جنوب غرب ايران است.

وضعيت ساختاري در منطقه دهدشت که با گچساران پوشش يافته است به‌صورت چين‌خوردگي پلکاني است و نبايد انتظار داشت که در مناطق دشت، ساختمان‌هاي بزرگي به نقشه درآيند بلکه ساختارها به صورت کم عرض و با طول نسبتاً مناسب‌اند. از آن‌جايي‌که آهك درز وشکاف‌دار آسماري (سنگ مخزن) با اين وضعيت چين‌خورده است و با گچساران پوشش يافته، مي‌تواند تله‌هاي هيدروکربوري را به‌وجود آورد.

5 عمليات صحرايي

در منطقة دهدشت، براي برداشت‌هاي قطبش القايي طيفي، از آرايش مستطيلي استفاده شده است. مشخصات اين آرايش شامل AB=10000 متر و MN=50 متر است که هر دو در طول پيمايش ثابت گرفته مي‌شوند. در اين تحقيق سه پروفيل 34، 35 و 36 با فواصل 500 متر از يکديگر انتخاب شده‌اند. در روي هر پروفيل، برداشت‌هاي فاز روي ايستگاه‌هايي به فاصله 50 متر از يکديگر صورت گرفته است. در هر ايستگاه مقادير فاز در 16 دورة زماني از 0/032 ثانيه تا 8/192 ثانيه مورد اندازه‌گيري قرار گرفتند که معادل با مقادير فاز در 16 بسامد از 31/25 هرتز تا 0/122 هرتز هستند. براي به‌دست آوردن اطلاعات طيفي از داده‌هاي فاز اندازه‌گيري شده، وارون‌سازي سه پارامتر قطبش القايي طيفي در مدل کول- کول اهميت اساسي دارد. به تعداد ايستگاه‌هاي اندازه‌گيري، طيف فاز وجود دارد و از هر طيف فاز، مجموعه پارامترهاي (m, τ, c) به‌دست مي‌آيد. پس از به‌دست آوردن پارامترهاي طيفي در هر ايستگاه، مي‌توان شبه مقاطع مربوط به اين سه پارامتر را ترسيم کرد. در اينجا از روش وارون‌سازي براساس الگوريتم ژنتيك توسعه يافته (کائو و همکاران، 2005) براي به‌دست آوردن پارامترهاي طيفي هدف قطبش‌پذير استفاده شده است.

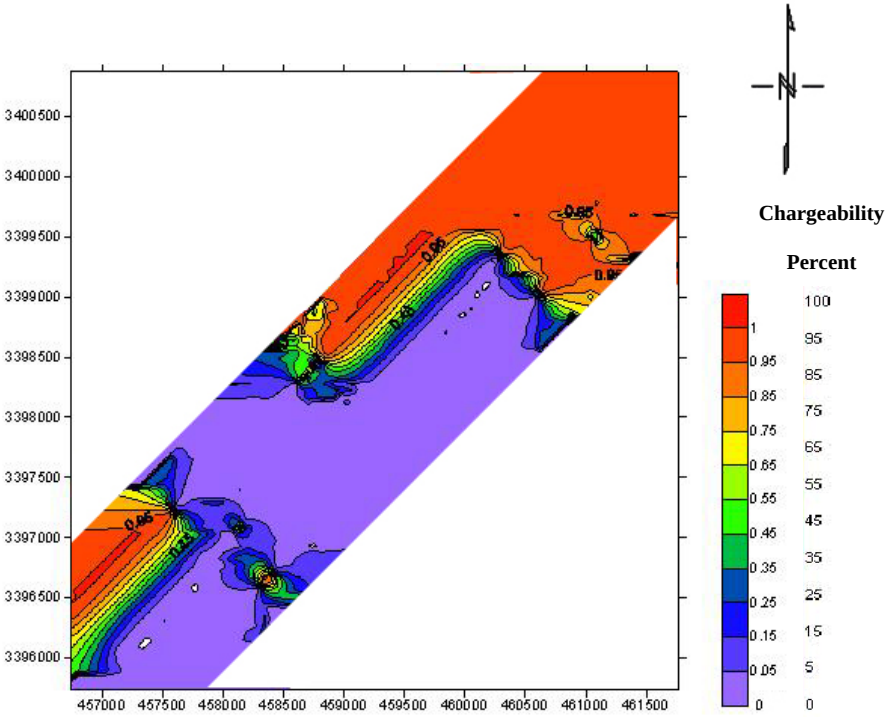
6 تفسير نتايج

به دليل فاصلة الکترودي بزرگ به کار رفته در اکتشافات هيدروکربني، آثار جفت‌شدگي الکترومغناطيسي هميشه در داده‌هاي قطبش القايي طيفي وجود دارند، بنابراين براي اطمينان از مقادير پارامترهاي طيفي لازم است مقادير ميانگين پارامترهاي طيفي، در نقشه‌هاي بي‌هنجاري براي تشخيص توده‌هاي قطبش‌پذير به کار روند. مقادير ميانگين پارامترهاي طيفي روي محدودة بي‌هنجاري در جدول 1 آورده شده است.

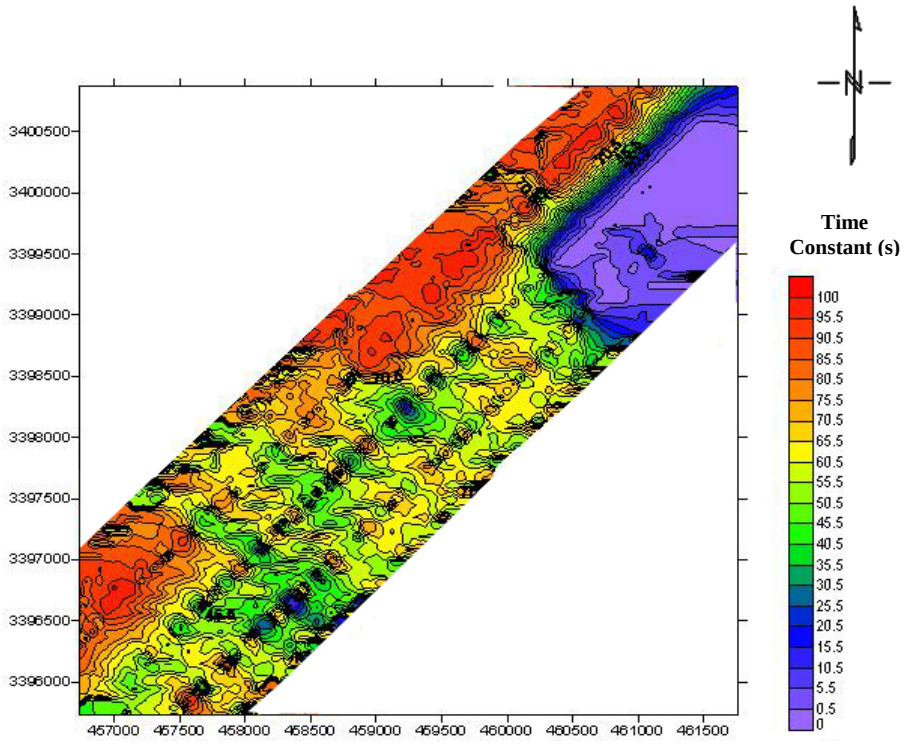
جدول 1. مقادير ميانگين پارامترهاي طيفي.

m (%) **باريذيري**	τ (S) **ثابت زماني**	c (%) **وابستگي بسامدي**
0/85	**0/3**	**0/85**

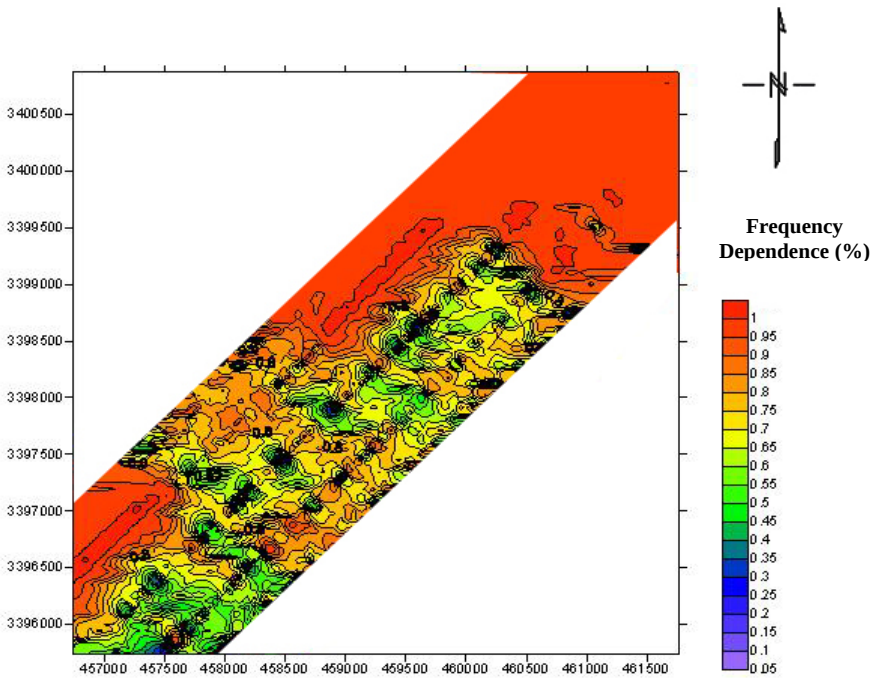
نقشه‌هاي بي‌هنجاري باريذيري، ثابت زماني و وابستگي بسامدي در شكل‌هاي‌هاي 2، 3 و 4 نشان داده شده است. در اين نقشه‌ها، محورهاي افقي و عمودي مختصات نقاط (ايستگاه‌هاي) اندازه‌گيري را نشان مي‌دهند، كه به كمك GPS به‌دست آمده‌اند. در هر ايستگاه مقادير فاز در 16 بسامد برداشت شده‌اند. با استفاده از روش وارون‌سازي براساس الگوريتم ژنتيك توسعه يافته (كائو و همكاران، 2005) پارامترهاي طيفي حاصل مي‌شوند. به كمك مقادير ميانگين دو پارامتر ثابت زماني و وابستگي بسامدي در محدودة بي‌هنجاري، مي‌توان مخزن نفتي را به‌طور مؤثري آشكار ساخت. پارامتر باريذيري در شكل 2 به درصد نشان داده شده است و مقدار آن با نتايج به‌دست آمده روي مخازن نفتي به‌خوبي سازگار است. با توجه به سه نقشه بي‌هنجاري باريذيري، ثابت زماني و وابستگي بسامدي، محدوده بي‌هنجاري مطابق با محدودة باريذيري پايين به رنگ آبي (كه كمتر از 10 درصد است)، ثابت زماني پايين به رنگ آبي و از مرتبة 10^{-1} ثانيه و وابستگي بسامدي بالا به رنگ سرخ و حدود 0/8 است كه به صورت هاله‌اي، مخزن را دربر مي‌گيرد. ثابت زماني از مرتبة 10^{-1} ثانيه و وابستگي بسامدي بزرگ‌تر از 0/8 روي مخزن نفتي، به‌خوبي با تجربه توافق دارند.



شكل 2. نقشه بي‌هنجاري باريذيري، محدوده بي‌هنجاري مطابق با محدودة باريذيري پايين به رنگ آبي (كه كمتر از 10 درصد است) است و به صورت هاله‌اي، مخزن را دربرگرفته است.



شكل 3. نقشه بي‌هنجاري ثابت زماني، مقادير پايين ثابت زماني به رنگ آبي (از مرتبة 10^{-1} ثانيه) نشان دهندة دانه‌بندي همگن و كوچك است.



شكل 4. نقشه بي‌هنجاري وابستگي بسامدي، محدوده بي‌هنجاري مطابق با وابستگي بسامدي بالا و به رنگ سرخ (حدود 0/8) است كه به صورت هاله‌اي، مخزن را دربر مي‌گيرد.

7 نتيجه‌گيري

از نظر كيفي، پارامتر ثابت زماني را مي‌توان به‌طور مستقيم براي تشخيص يك تودة قطبش‌پذير براساس ساختارش به كار برد. بنابراين، ثابت زماني، پارامتر مهمي در بررسي‌هاي به روش قطبش القايي طيفي است. وابستگي بسامدي ظاهري نيز در اكتشافات نفت پارامتر مهمي است چون اين پارامتر معمولاً داراي مقدار ميانگين 0/25 است و تغيير چنداني ندارد ولي در اكتشاف مخازن هيدروكربني مقادير زيادي (بالاتر از 0/5) را نشان مي‌دهد و مي‌توان از آن براي تشخيص توده معدني غني، از سنگ ميزبان كاني‌سازي شده استفاده كرد. با استفاده از نقشه‌هاي بي‌هنجاري باريذيري، ثابت زماني و وابستگي بسامدي، مي‌توان مخزن نفتي را به‌خوبي آشكار كرد. با توجه به سه نقشه بي‌هنجاري باريذيري، ثابت زماني و وابستگي بسامدي، محدوده بي‌هنجاري مطابق با محدودة باريذيري كم به رنگ آبي (كه كمتر از 10 درصد است)، ثابت زماني پايين به رنگ آبي و از مرتبة 10^{-1} ثانيه و وابستگي بسامدي زياد به رنگ سرخ و حدود 0/8 است كه به صورت هاله‌اي، مخزن را دربر مي‌گيرد. باريذيري كم، ثابت زماني از مرتبة 10^{-1} ثانيه و وابستگي بسامدي بزرگ‌تر از 0/8 روي مخزن نفتي، با نتايج به‌دست آمده روي مخازن نفتي به خوبي سازگار هستند (لوو ژانگ، 1998). هر چند كه روش قطبش القايي روشي جهاني نيست، اما مي‌توان با آن، اطلاعات گرانبهايي براي اكتشافات عميق و تشخيص توده‌هاي قطبش‌پذير براساس ساختار و بافت آنها فراهم آورد. روش وارون‌سازي به‌كار رفته، براي محاسبه پارامترهاي طيفي بسيار مفيد است. كاربرد روش قطبش القايي طيفي در مخزن نفتي دهدشت، محدودة مخزن را به‌خوبي مشخص مي‌سازد.

منابع

همتي، ي.، 1385، تعيين انديس‌هاي معدني با استفاده از طيف دامنه و فاز داده‌هاي IP طيفي، پايان‌نامه كارشناسي ارشد، مؤسسة ژئوفيزيك 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.