JRAG
نشریه پژوهش های ژئوفیزیک کاربردی
دوره ۳، شماره ۱، ۱۳۹۶، صفحات ۴۹-۴۳
شناسه دیجیتال (DOI): 10.22044/JRAG.2016.819

شناسایی مخازن زمین گرمایی با استفاده از مدل‌سازی وارون داده‌های گرانی‌سنجی در چشمه‌های آبگرم محلات

بهنام بابایی[1]، مهدی فلاحی‌پور[2] و حمیدرضا باغزندانی[3*]

۱- استادیار، گروه معدن- نفت، دانشگاه آزاد اسلامی واحد محلات
۲- کارشناس ارشد مهندسی اکتشاف معدن، شرکت عملیات اکتشاف نفت تهران
۳- کارشناس ارشد ژئوفیزیک (گرانی‌سنجی)

دریافت مقاله: ۱۳۹۵/۰۶/۲۲؛ پذیرش مقاله: ۱۳۹۵/۰۹/۱۸

* نویسنده مسئول مکاتبات: hbaghzendani@yahoo.com

واژگان کلیدی

گرانی‌سنجی
مدل‌سازی وارون
مخازن زمین گرمایی

چکیده

گرانی‌سنجی یکی از روش‌های ژئوفیزیکی است که به کمک دیگر روش‌های ژئوفیزیکی در حل بعضی از مسائل و مشکلات موجود در تفسیر ساختارهای زمین‌شناسی کمک می‌کند. هرچند به منظور دست‌یابی به یک تفسیر جامع می‌توان از مدل‌سازی داده‌های ژئوفیزیکی بهره برد. یکی از این روش‌ها، مدل‌سازی وارون داده‌ها است. مدل‌سازی وارون به منظور تعیین پارامترهای مدل از داده‌ها به کار می‌رود. در وارون‌سازی داده‌های ژئوفیزیکی، پارامترهای مدل دو دسته‌اند: ۱) فیزیکی ۲) هندسی. بر همین مبنا دو روش وارون‌سازی داده‌های میدان پتانسیل وجود دارد، در روش اول پارامترهای هندسی ثابت و پارامترهای فیزیکی به عنوان مجهولات مسئله در نظر گرفته می‌شود و در روش دوم پارامترهای فیزیکی مدل ثابت فرض شده و پارامترهای هندسی مانند عمق در روند وارون‌سازی تخمین زده می‌شود. در این تحقیق با برداشت ۳۸۰ داده گرانی‌سنجی در منطقه محلات و انجام تصحیحات لازم، پردازش داده‌ها و اعمال فیلترینگ مناسب جهت تشخیص روندهای سطحی و تلفیق داده‌ها با اطلاعات زمین‌شناسی موجود، سعی گردید روندهای سطحی و عمقی تأثیرگذار بر روی چشمه‌های آبگرم موجود در منطقه تعیین شده و مخازن احتمالی موجود در منطقه با استفاده از آن شناسایی گردد.

۱- مقدمه

گرانی‌سنجی یکی از روش‌های ژئوفیزیکی است؛ که به کمک دیگر روش‌های ژئوفیزیکی در حل بعضی از مسائل و مشکلات موجود در تفسیر ساختارهای زمین‌شناسی کمک می‌کند. هرچند به منظور دستیابی به یک تفسیر جامع می‌توان از مدل‌سازی داده‌های ژئوفیزیکی بهره برد. تئوری وارون دسته‌ای سازمان‌دهی شده از روش‌های ریاضی جهت به دست آوردن اطلاعات مفید درباره فیزیک بر اساس استنتاجات به دست آمده از مشاهدات، یعنی مجموعه‌ی اندازه‌گیری‌ها یا داده‌هاست. منظور از اطلاعات مفید در جمله فوق، پارامترهای مقادیر عددی یا آماری هستند که پارامترهای مدل نامیده می‌شوند. روش‌ها و تئوری‌های ریاضی گوناگونی برای مرتبط ساختن پارامترهای مدل به داده‌ها توسط پژوهشگران معرفی و بکار می‌رود. برای انجام مدل‌سازی بهتر که به واقعیت نزدیک‌تر باشد، باید به بهترین صورت امکان آنومالی ناحیه‌ای از محلی جدا شود.

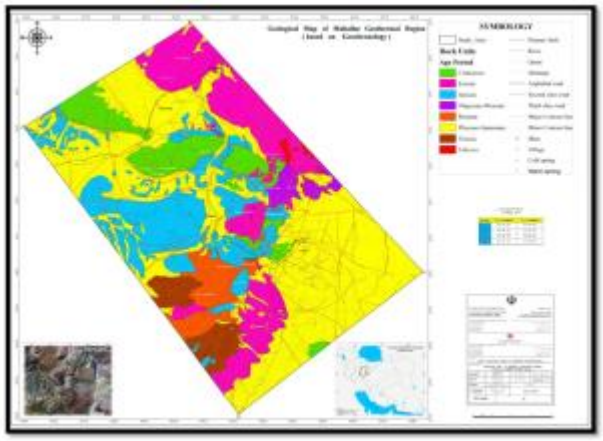
روش‌های مرسوم زیادی جهت تفکیک آنومالی‌های و تفسیر آن‌ها کاربرد دارند. ولی عمدتاً این روش‌ها دارای نواقصی نیز می‌باشند؛ که در عمل استفاده از آن‌ها یا دامنه کاربرد آن‌ها را محدود می‌نماید. یکی از انعطاف‌پذیرترین روش‌های تحلیلی برای تعیین اثرات ناحیه‌ای، روش روند سطحی است. در این روش، میدان ناحیه‌ای از مقادیر مشاهده‌ای به وسیله روش کمترین مربعات یا روش اورتونرمال تقریب زده می‌شود.

در سال ۱۹۷۹ پیتر مورفی و همکاران خصوصیات چشمه‌های آبگرم در ایالت یوتا آمریکا را با استفاده از داده‌های گرانی‌سنجی مورد مطالعه قرار دادند (Murphy et al., 1979). امیلو و همکاران در سال ۱۹۸۱ داده‌های گرانی‌سنجی را بر روی منطقه زمین گرمایی تانگونان در فیلیپین مورد بررسی قرار داده و بر اساس آن مقاطع زمین‌شناسی را تفسیر کردند (Ignacio et al., 1981). وات و همکاران در سال ۲۰۰۷ در منطقه زمین گرمایی شمال نوادا با استفاده از داده‌های گرانی‌سنجی مدل‌های سه بعدی زمین‌شناسی را تهیه کردند (Watt et al., 2007). حکیم سیبی و همکاران در سال ۲۰۰۸ در ژاپن و در شهر فوکوکا، رابطه بین ساختارهای زمین‌شناسی و دمای آب‌های زمین گرمایی را با استفاده از مدل‌سازی دو بعدی داده‌های گرانی‌سنجی با الگوریتم تالوانی (Talwani et al., 1959) مورد مطالعه قرار دادند (Saibi, et al, 2008). منجوکووا در سال ۲۰۱۳ و در کشور تانزانیا، با استفاده از انواع روش‌های ژئوفیزیکی مناطق زمین گرمایی را برای استفاده از انرژی آن‌ها مورد بررسی قرار داده است (Mnjokava, 2013).

در این تحقیق پس از بررسی و مطالعات روش‌های مختلف و انجام گرفته در مناطق زمین گرمایی کشورهای مختلف، سعی خواهد شد با استفاده از تلفیق داده‌های گرانی‌سنجی و برداشت‌های صحرایی زمین‌شناسی و الگوهای تکتونیکی منطقه مورد مطالعه و تعیین زون‌های گسلی و خردشده، مخازن آبگرم در ناحیه مدل‌سازی شده و عمق تخمینی نیز برای این مخازن به جهت توسعه و استفاده از منابع انرژی آن محاسبه و تعیین گردد.

۲- موقعیت جغرافیایی

منطقه زمین گرمایی مورد مطالعه در شمال شهرستان محلات (منطقه آبگرم و خورهه) از عرض جغرافیائی ۳۳ درجه و ۵۶ دقیقه تا ۳۴ درجه و ۶ دقیقه و طول جغرافیائی ۵۰ درجه و ۲۵ دقیقه تا ۵۰ درجه و ۳۸ دقیقه را شامل می‌شود. شکل ۱ نیز موقعیت منطقه زمین گرمایی محلات و نحوه‌ی توزیع نقاط را در این منطقه نشان می‌دهد. از نظر توپوگرافی بخش عمده‌ای از منطقه زمین گرمایی محلات شامل زمین‌های پست و ارتفاعات صعب‌العبور می‌شود. با توجه به تجربه و به منظور افزایش سرعت و حفظ دقت کار، عملیات اندازه‌گیری گرانی‌سنجی و نقشه‌برداری ایستگاه‌ها به صورت همزمان انجام پذیرفت. به منظور اتصال مشاهدات گرانی به شبکه سراسری گرانی کشور و اتصال به شبکه سراسری ژئودزی کشور، از نزدیک‌ترین ایستگاه‌های چند منظوره ژئودزی واقع در منطقه یعنی مشاهدات ایستگاه درجه ۲ چند منظوره به شماره ۲۲۰۱۷۸ استفاده گردید که دقت مسطحاتی برداشت ۱۰ cm± و دقت ارتفاعی ۳ cm± بوده است. جمعاً تعداد ایستگاه‌های طراحی شده ۳۸۰ ایستگاه اندازه‌گیری بوده که تماماً با کیفیت و دقت بسیار خوب برداشت گردید.



شکل ۱: موقعیت کلی منطقه و نقشه زمین‌شناسی آن.

۳- برداشت داده‌ها و انجام تصحیحات

برای انجام این عملیات از یک دستگاه گرانی‌سنجی CG-5 استفاده گردید. بعد از انجام کالیبراسیون استاتیکی و دینامیکی دستگاه گرانی‌سنجی و انتقال شتاب جاذبه مطلق عملیات برداشت در منطقه آغاز شد، به نحوی که هر روز صبح با قرائت در ایستگاه دارای شتاب مطلق کار شروع و پس از قرائت نقاط مشخص شده توسط گروه نقشه‌برداری به ایستگاه شتاب مطلق مجدداً بازگشته و عملیات به

پایان می‌رسد. پردازش اطلاعات گرانی‌سنجی در دو بخش ۱- پردازش در حین عملیات و ۲- پردازش بعد از عملیات انجام می‌گیرد.

۱- پردازش در حین عملیات شامل تصحیح جذر و مد و دریفت روزانه است که هر دو به وسیله دستگاه محاسبه و اعمال می‌گردد.

۲- پردازش بعد از عملیات شامل تصحیح عرض جغرافیایی، تصحیح هوای آزاد، تصحیح بوگه و تصحیح توپوگرافی است:

الف) گرانی نرمال بوده و به تنهایی برای عرض جغرافیایی کافی نیست.

چرخش زمین و برآمدگی خفیف استوایی آن هر دو باعث افزایش گرانی با عرض جغرافیایی می‌شوند. شتاب جانب مرکز به علت چرخش زمین که در قطبین صفر و در استوا ماکزیمم است، در جهت مخالف شتاب گرانی اثر می‌کند؛ در حالی که تخت‌شدگی قطبی نیز باعث افزایش گرانی در قطبین می‌شود. این تصحیح طبق رابطه زیر برای هریک از ایستگاه‌ها محاسبه و اعمال می‌گردد (Otieno et al., 2011):

$$g_L = 9.78049(1 + 0.0052884\sin^2\phi - 0.000059\sin 2\phi) \quad (۱)$$

در این رابطه g_L مقدار شتاب جاذبه میدان تئوری و φ عرض جغرافیایی تک‌تک ایستگاه‌های برداشتی است؛ که واحد آن‌ها به ترتیب بر حسب میلی گال و درجه است.

ب) تصحیح هوای آزاد

چون گرانی با عکس مربع فاصله تغییر می‌کند لذا لازم است مقدار آن به علت تغییرات ارتفاعی بین ایستگاه‌ها تصحیح شود و تمام قرائت‌ها به یک سطح مبنا برگردانده شوند. چون مواد بین هر ایستگاه و سطح مبنا (ژئوئید) در این مورد در نظر گرفته نمی‌شود، این تصحیح به نام تصحیح هوای آزاد معروف است. تصحیح هوای آزاد مطابق رابطه ذیل محاسبه می‌گردد (نوروزی، ۱۳۸۸):

$$g_f = 0.30859h_s \quad (۲)$$

در رابطه بالا h_s ارتفاع هر ایستگاه برحسب متر بوده که به صورت قدر مطلق بر مقدار شتاب جاذبه ایستگاه اثر می‌نماید.

ج) تصحیح بوگه

این تصحیح برای در نظر گرفتن ربایش مواد بین ایستگاه و سطح مبنا اعمال می‌شود. اگر ایستگاه اندازه‌گیری در مرکز فلاتی با گسترش افقی زیاد و ضخامت و چگالی یکنواخت باشد قرائت‌های گرانی در اثر این تخته بین ایستگاه و سطح مبنا افزایش می‌یابد. تصحیح بوگه در جهت مخالف تصحیح هوای آزاد بکار می‌رود؛ بدین معنی که وقتی ایستگاه در بالای سطح مبنا باشد کاسته و وقتی در زیر آن باشد، اضافه می‌شود (نوروزی، ۱۳۸۸).

د) تصحیح توپوگرافی

وجود تپه‌های بالاتر از ایستگاه سبب می‌شود که مؤلفه شتابی به سمت بالا (ربایش به سمت بالا) ایجاد می‌شود و همچنین وجود دره‌های پایین‌تر از ایستگاه اندازه‌گیری و تهی بودن مواد در این قسمت‌ها (فقدان ربایش به سمت پایین) هر دو سبب کاهش شتاب جاذبه قرائت شده در ایستگاه می‌گردد. در این تحقیق به کمک نرم‌افزار (ژئوسافت) GeoSoft تصحیح توپوگرافی بر روی داده‌ها انجام شد. بعد از انجام تمام تصحیحات لازم بر روی داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار Grav3D که بر اساس الگوریتم لی و اولدنبرگ کار می‌کند؛ مدل‌سازی صورت گرفت؛ که در ادامه ارائه می‌گردد.

۴- زمین‌شناسی منطقه

منطقه محلات قسمت کوچکی از زون ایران مرکزی و در حد فاصل کمربند آتشفشانی ارومیه - کرمان و زون سنندج - سیرجان قرار دارد. رسوبات موجود در منطقه که به رخساره پالئوزوئیک محلات معروف می‌باشند؛ که به ترتیب شامل دولومیت‌های سلطانیه، زاگون، لالون، میلا و پرمین است.

علاوه بر آن واحد آبرفتی کواترنری نیز در گستره منطقه مشاهده می‌شود. واحدهای سنگی دوران اول شامل دوره‌های کامبرین و پرمین هستند. پس از آن واحدهای دولومیتی و آهکی با سن پرمین مشاهده می‌شود. واحد آهکی تریاس و کنگلومرای ائوسن از دیگر واحدهای سنگی موجود در منطقه هستند. منطقه از نظر نفوذپذیری با توجه به گسترش واحدهای آهکی و دولومیتی موجود و درز و شکاف‌های موجود در آن‌ها، وضعیت مناسبی دارد.

در منطقه آبگرم توده‌ای نفوذی نیمه ژرف و با ترکیب اسیدی برونزد دارد؛ که به احتمال بسیار فراوان عامل اصلی چشمه‌های آبگرم منطقه است. بافت سنگ‌ها در بخش مرکزی از نوع گرانولار و در حاشیه از نوع پورفیریتیک است. ترکیب شیمیایی این توده گرانیت تا گرانودیوریت است؛ که واحدهای رسوبی آئوسن را قطع و دگرگون کرده است.

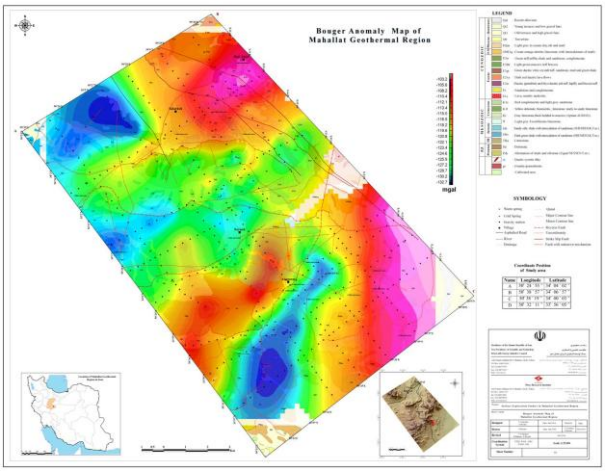
۵- پردازش و تفسیر داده‌های گرانی

پس از بررسی وضعیت زمین‌شناسی منطقه و پردازش داده‌ها، آنومالی بوگه محاسبه و نقشه آن تهیه گردید (شکل‌های ۲ و ۳). تعبیر و تفسیر داده‌ها در دو مرحله کمی و کیفی انجام شد. در مرحله کیفی نخست آنومالی‌های ناحیه‌ای و باقیمانده با استفاده از روش تحلیل روند سطحی از آنومالی بوگه به دست آمد. همچنین فیلترهای گرادیان مشتق در حالت قائم و افقی نیز با استفاده از نرم‌افزار ژئوسافت بر روی داده‌ها اعمال گردیده و نقشه‌های آن‌ها ترسیم شد و در نهایت تعبیر و تفسیر مناطق دارای پتانسیل مشخص و مدل‌سازی آن صورت گرفت.

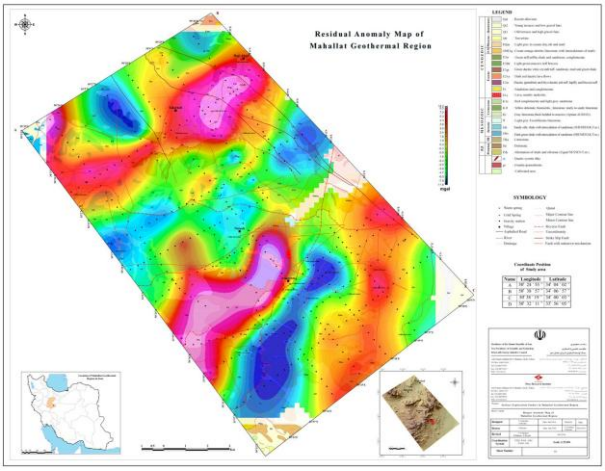
پس از این برداشت کلی از منطقه بر اساس نتایج به دست آمده از نقشه آنومالی باقیمانده و بر اساس اطلاعات به دست آمده از

بررسی زمین‌شناسی و با توجه به اینکه هدف در این مطالعه یافتن مخازن زمین گرمایی است و به دلیل وجود تخلخل فراوان در این نوع مخزن‌ها و پائین بودن چگالی سنگ مخزن نسبت به محیط اطراف مناطق مشخص شده در نقشه آنومالی باقیمانده به‌صورت آنومالی منفی به عنوان نقاط دارای پتانسیل معرفی می‌گردد به نحوی که این نقاط با توجه به تمامی اطلاعات اعم از زمین‌شناسی، نقشه‌های بوگه، ناحیه‌ای و چشمه سطحی مورد تائید قرار گرفته است.

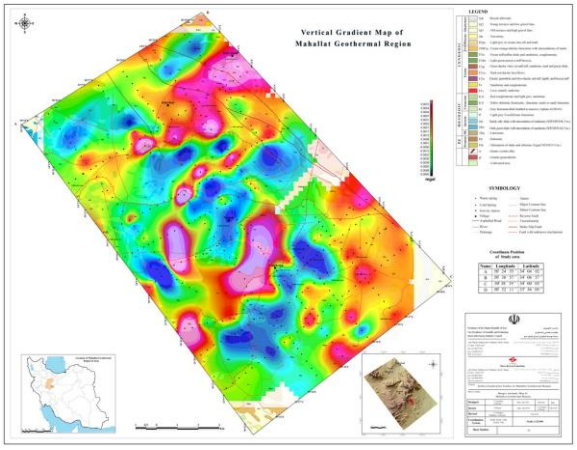
با استفاده از نرم‌افزار ژئوسافت از آنومالی بوگه، مقادیر مشتق اول (در حالت گرادیان افقی و قائم) شکل‌های ۴ و ۵ به دست آمد؛ که در این نقشه‌ها نیز در مشتق اول چه در حالت افقی و چه در حالت قائم بیانگر ارتباط بخش آنومالی منفی با چشمه‌ها است که تمامی نقشه‌ها دو گسل شمالی - جنوبی را تائید نموده و همچنین در بخش آنومالی منفی ارتباط دو گسل با آنومالی‌ها و چشمه آبگرم به خوبی مشهود است و از طرفی نیز بخش جنوبی منطقه به عنوان آنومالی ژئوترمال را تائید و همچنین نشان می‌دهد که این آنومالی بسته نشده و لذا پیشنهاد می‌گردد کار در بخش جنوبی ادامه یابد.



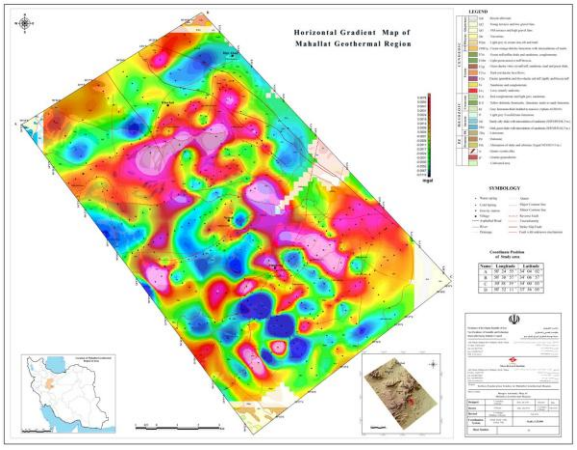
شکل ۲: آنومالی بوگر در منطقه مورد مطالعه.



شکل ۳: نقشه آنومالی باقی‌مانده به همراه گسل‌های منطقه که با خط‌های قرمز مشخص شده است.



شکل ۴: نقشه مشتق اول قائم به همراه گسل‌های منطقه که با خط‌های قرمز مشخص شده است.



شکل ۵: نقشه مشتق اول افقی به همراه گسل‌های منطقه که با خط‌های قرمز مشخص شده است.

پس از بررسی داده‌ها و نقشه‌های آنومالی بوگه، باقیمانده، ناحیه‌ای، مشتق قائم و افقی و اطلاعات زمین‌شناسی از دیدگاه زمین گرمایی، بخش جنوبی، شرقی و بخش مرکزی منطقه محلات به عنوان پتانسیل مخزن زمین گرمایی معرفی گردید در این مرحله با استفاده از نرم‌افزار ژئوسافت عمق حدودی آن‌ها محاسبه گردید و چند گسل شمال شرقی- جنوب غربی نیز در این قسمت تائید گردید و از نظر عمقی نیز افتادگی در بخش غربی کاملاً مشهود است و عمق به دست آمده از نقشه سه بعدی حدود ۸۰۰ الی ۲۰۰۰ متر از سطح زمین است.

پس از اتمام مدل‌سازی‌های وارون گرانی‌سنجی بر اساس الگوریتم لی و اولنبرگ، تحلیل اویلر نیز با توجه به شاخصه‌های این تحلیل بر روی مدل‌سازی‌ها اعمال گردید. در واقع این شاخصه‌ها بیانگر میزان تضعیف آنومالی با فاصله تعریف می‌شوند. در این تحلیل شاخصه‌های با میزان کمتر از یک و یا صفر به عنوان گسل و دایک، برابر با یک استوانه‌ها و یا تنوره‌ها و پایپ‌ها و برابر با یک و نیم تا دو

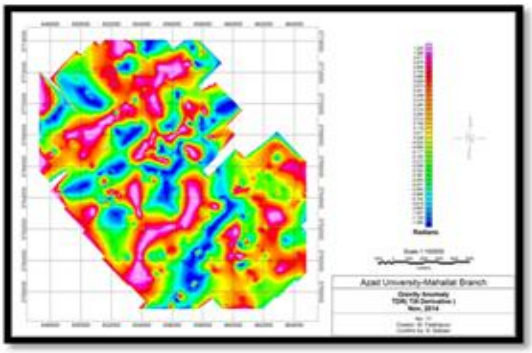
به عنوان سیگنال‌های دایره‌ای بیان می‌شوند؛ اما برای شناخت بیشتر و تعیین دقیق‌تر روندهای ساختاری منطقه با استفاده از داده‌های گرانی‌سنجی از روش‌های مختلفی استفاده می‌شود. یکی از این روش‌ها که از داده‌های مشتق اول افقی و قائم حاصل می‌شود با عنوان (Tilt Derivative) از داده‌های گرانی است.

این تحلیل بر اساس ترکیب گرادیان افقی، TDR و تحلیل‌گر اویلر است؛ که روندهای ساختاری مانند گسل‌ها را بهتر آشکار می‌سازد. بر اساس این تحلیل مقادیر ماکزیمم گرادیان افقی معرف لبه‌های آنومالی می‌باشند و تحلیلگر اویلر نیز عمق آنومالی‌ها را مشخص می‌سازد (Saibi et al., 2008).

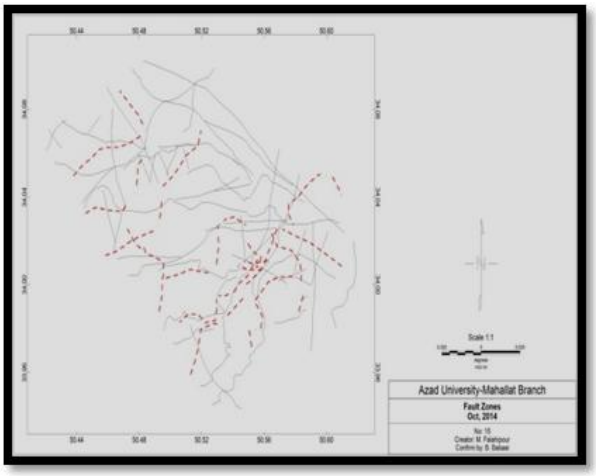
بر این اساس و با استفاده از مقایسه مشتق قائم (شکل ۴) و گرادیان افقی (شکل ۵) و سپس با استفاده از ترکیب لایه‌ها و آرک تانژانت آن‌ها، مقدار TDR برای منطقه محاسبه گردید (شکل ۶). از این روش برای تعیین دقیق گوشه‌های آنومالی‌ها و تعیین خطوط گسلی استفاده می‌شود.

در شکل ۶ و همان‌طور که قبلاً توضیح داده شد محدوده صفر درجه معرف گسل‌های اصلی و احتمالی در منطقه هستند؛ که در مقایسه با نقشه زمین‌شناسی می‌توان اکثر گسل‌های منطقه را شناسایی نمود. پس از مقایسه نقشه گسل‌های منطقه که از نقشه زمین‌شناسی و پی‌جویی‌های منطقه‌ای به دست آمده بود؛ با نقشه حاصل از روش TDR، گسل‌های دیگری نیز شناسایی گردید؛ که در شکل ۷ نمایش داده شده است.

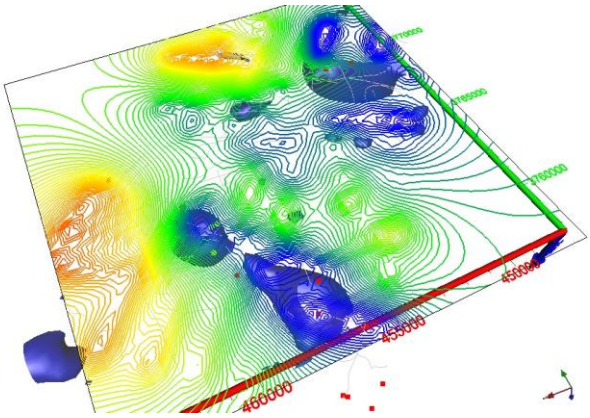
با توجه به پردازش‌ها، فیلترینگ و تفسیر داده‌های گرانی‌سنجی در منطقه، در نهایت محدوده مخزن‌های زمین‌گرمایی منطقه محلات شناسایی شده و در شکل‌های ۸ و ۹ مشخص گردید. همان‌طور که در این اشکال مشخص است، عمق این مخازن تا ۲۰۰۰ متر می‌رسد و با احتمال بسیار زیاد توده نفوذی بسیار بزرگی در اعماق منطقه وجود دارد و یا به عبارت دیگر منبع زمین گرمایی در این سامانه، یک توده نفوذی آذرین بزرگ است؛ که احتمالاً آخرین مراحل سرد شدن را طی می‌کند (با توجه به سن ائوسن) و آب چشمه‌های آبگرم محلات به آخرین مراحل سرد شدن ماگمایی این توده مذاب در منطقه و شیب زمین‌گرمایی بیشتر منطقه به واسطه وجود توده نفوذی، مربوط می‌شود.



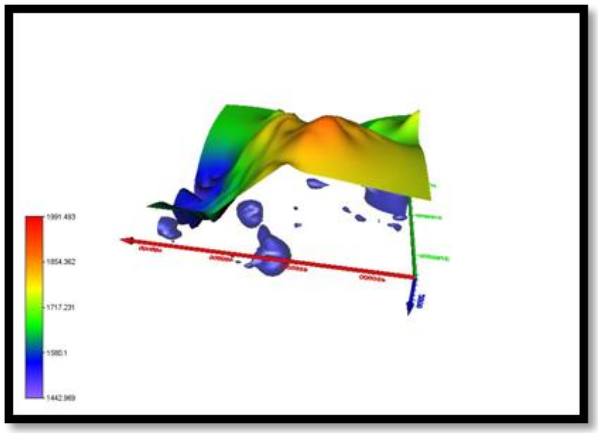
شکل ۶: گسل‌های شناسایی شده (قرمز رنگ) در منطقه آبگرم محلات بر اساس روش TDR.



شکل ۷: گسل‌های شناسایی شده (قرمز رنگ) در منطقه آبگرم محلات بر اساس روش TDR.



شکل ۸: محل مخازن زمین‌گرمایی در منطقه محلات و محل چشمه‌ها که با نقاط قرمز و سبز مشخص شده است.



شکل ۹: کشف مخازن زمین‌گرمایی در منطقه و نقشه توپوگرافی منطقه.

۶- نتیجه‌گیری

پس از برداشت اطلاعات و پردازش آن، نقشه‌های آنومالی بوگه، ناحیه‌ای، باقیمانده، مشتق اول تهیه شده و بر اساس آن تعبیر و تفسیر کیفی و کمی صورت گرفت و نتایج زیر به دست آمد.

رسوبات آبرفتی جوان‌تر، بخش‌هایی از تراورتن‌های منطقه را پوشانده‌اند و این به این معنی است که در زیر منطقه، رسوبات تراورتنی وجود دارد که حاصل از همین چشمه‌های آبگرم قدیمی است. در شکل ۳ و دیگر مقاطع مدل‌سازی شده در پروفیل‌های انتخابی در منطقه، به وضوح زون حاوی رسوبات و آبرفت‌های جوان با چگالی کمتر از دیگر نواحی مشخص است؛ که سفره‌های آب را در خود جای داده و توسط گسل‌های موجود در منطقه که این رسوبات را قطع نموده‌اند، آب به سطح زمین می‌رسد.

مخزن زمین گرمایی به احتمال بسیار زیاد در همین رسوبات احتمالاً تراورتنی با عمق ۸۰۰ تا ۲۰۰۰ متر قرار دارد و به دلیل وجود سازند قم در منطقه دارای سنگ پوشی از جنس توف و یا مارن (احتمالاً) است؛ که باعث گردیده آب‌های موجود در مخزن پس از گرم شدن توسط توده نفوذی، راهی به بالا نداشته باشند و به ناچار با فشار از درزه‌ها و گسل‌های منطقه به سطح راه یابند.

حضور چندین گسل عمیق در منطقه عامل بسیار خوبی برای نفوذ آب به اعماق و سپس بالا آمدن پس از گرم شدن مجدد در مخزن است. حجم و ضخامت بسیار زیاد تراورتن‌ها در منطقه شاهد بسیار خوبی از قدمت زیاد این سیستم زمین‌گرمایی و گسل‌های منطقه است.

در نهایت با توجه به تحقیقات گرانی‌سنجی، زمین‌شناسی و تکتونیک منطقه به نظر می‌رسد نهشته‌های آبرفتی و تراورتنی که با چگالی کمتر از دیگر نقاط و با عمق ۸۰۰ تا ۲۰۰۰ متر در نقشه‌ها مشخص می‌شود، مخزن زمین‌گرمایی را در محلات تشکیل داده و توده نفوذی که در قسمت شمال شرقی منطقه برونزد دارد و به احتمال بسیار زیاد در عمق نیز بزرگ‌تر می‌شود؛ منبع گرما را برای این سیستم زمین‌گرمایی به وجود آورده است.

۷- منابع

نوروزی، غ.، ۱۳۸۸، ژئوفیزیک اکتشافی، انتشارات دانشگاه تهران.

Ignacio, C.P. and Bromley, C.J., 1981, Interpretation of Gravity Surveys at Tongonan Geothermal Fiel, Report of Philippine National Oil Company.

Mnjokava, T.T., 2013, Geothermal Exploration in Tanzania-Status Report, Exploration for Geothermal Resources, Kenya.

Murphy, P. and Gwynn, J.W., 1979, Geothermal Investigation of the Warm Springs Fault Geothermal System, Report of Investigation Utah Geological and Mineral Survey.

Oskooi, B., Mohammadi, B. and Mirzaei, M., 2014, A Study on the Geothermal Reservoirs in Mahallat Area, Markazi Province by 1D and 2D Inversion of the Magnetotelluric Data, Iran Geophysics Magazine, 8 (2), 10-25.

Otieno, A.B., Antony, O., Ambusso, W.J. and Gitonga, G.J., 2011, Geophysical Structure of Homa Hills Geothermal Field Based on Gravity and Magnetic Survey, Kenya Geothermal Conference.

Saibi, H., Nishijmia, J., Hirano, T., Fujimitsu, Y. and Ehara, S., 2008, Relation Between Structure and Low-Temperature Geothermal System in Fukuoka City, Southwestern Japan, Earth Planets Space, 60, 821-826.

Talwani, M. and Ewing, M., 1960, Rapid Computation of Gravitational Attraction of Three-Dimensional Bodies of Arbitrary Shape, Geophysics, 25, 203-225.

Talwani, M., Worzel, J. and Landisman, M., 1959, Rapid Gravity Computations for Tow-Dimensional Bodies with Application to the Mendicino Submarine Fracture Zone, Geophysics J. Res, 64, 49-59.

Watt, J.T., Glen, J.M.G., John, D.A. and Ponce, D.A., 2007, Three-Dimensional Geologic Model of the Northern Nevada Rift and the Beowawe Geothermal System, North-Central Nevada, Geosphere, 3 (6), 667-682.

Shahrood University of Technology

JOURNAL OF RESEARCH ON APPLIED GEOPHYSICS

(JRAG)

2017, VOL 3, NO 1

(DOI): 10.22044/JRAG.2016.819

Recognition of geothermal reservoirs using inverse modeling of gravimetric data in the Mahallat hot springs

Behnam Babaei [1], Mahdi Falahipour [2] and Hamid Reza Baghzendani[3*]

1- Assistant Professor, School of Mining and Petroleum, Mahallat Azad University, Mahallat, Iran
2- M.Sc. in Mine Exploration Engineering, Oil Exploration Operations Company, Tehran, Iran.
3- M.Sc. in Geophysics (Gravimetry), Iran

Received: 12 September 2016; Accepted: 8 December 2016

Corresponding author: hbaghzendani@yahoo.com

Keywords

Gravimetry
Inverse Modeling
Geothermal Reservoirs

Extended Abstract

Summary

Gravimetric survey, together with other geophysical methods, could be used for analysis and interpretation of geological structures. For a more comprehensive interpretation, we could employ geophysical data modeling methods. One of these methods is the method of data inverse modeling, which is used to determine the model parameters from the obtained data. In this method, we consider two types of model parameters, namely, physical and geometrical parameters. Consequently, there are two types of inverse modeling for interpretation of potential field data. In the first type, the geometrical parameters are considered to be constants and physical parameters are considered to be variables which need to be determined, while in the second type, physical parameters are constants and geometrical parameters, such as depth, should be calculated. In the present study, gravity data were measured in 380 points in Mahallat area, and then, necessary corrections and appropriate filtering and processing, were applied on the acquired data to determine surface trends. After combining the gravity data with the existing geological information, an attempt was made to find out the effective surface and deep trends on local hot springs, and hence, to determine the possible presence of geothermal reservoirs in the area.

Introduction

In this paper, after reviewing various geophysical methods in studying geothermal areas of different countries, the geothermal reservoir in the study area is modeled and the depth of the reservoir is estimated using combination of gravity data and geological field observations, and also, determination of tectonic patterns, especially fault zones and fractures in the study area.

Methodology and Approaches

After processing the obtained gravity data, the Bouguer anomaly map of the area weas obtained. Considering the geological information of the area, the anomalous zones of the area were obtained using the trend analysis of the Bouguer anomaly map. The gradient filters derived in vertical and horizontal modes were also applied on the gravity data. Finally, the geothermal potential areas were determined as a result of the modeling and interpretation of the gravity data.

Results and Conclusions

The presence of geothermal resources in the study area is evident considering hot springs, geological and tectonic observations in the area such as formation of travertine rocks due to possible geothermal reservoirs and outcrops of an intrusive body in the northeast of the area that is very likely larger in depth. Processing, modeling and interpretation of the acquired gravity data, combined with the geological and tectonic information of the study area have led to determination of the geothermal potential zones in the area.