

# مطالعات سنجش از دور و مغناطیسسنجی جهت اکتشاف منابع ژئوترمال در منطقه سیرچ- گلباف استان کرمان

محمدفهیم آویش<sup>۱</sup>، حجتاله رنجبر<sup>۲\*</sup>، آزاده حجت<sup>۲</sup>، سعید کریمینسب<sup>†</sup> و ایمان معصومی<sup>۵</sup>

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی معدن، دانشگاه شهید باهنر کرمان ۲- استاد، گروه مهندسی معدن، دانشگاه شهید باهنر کرمان ۳- استادیار، گروه مهندسی معدن، دانشگاه شهید باهنر کرمان ۴- دانشجوی دکتری، گروه مهندسی معدن، دانشگاه شهید باهنر کرمان ۵- دانشجوی دکتری، گروه مهندسی معدن، دانشگاه شهید باهنر کرمان

دریافت مقاله: ۱۳۹۵/۰۶/۲۳؛ پذیرش مقاله: ۱۳۹۵/۱۲/۰۹

\* نویسنده مسئول مکاتبات: h.ranjbar@uk.ac.ir

# **آویش و همکاران، مطالعات سنجش از دور و مغناطیس سنجی جهت اکتشاف منابع ژئوترمال در منطقه سیرچ- گلباف استان کرمان، صفحات ۹۱–۹۹.** ۱- مقدمه

با توجه به نیاز روز افزون به منابع انرژی، کاهش منابع سوختهای فسیلی، افزایش آلودگی هوا و غیره، استفاده از انرژیهای نو مانند انرژی ژئوترمال میتواند جایگاه ویژهای داشته باشد. از طرف دیگر، مصرف بیرویه نفت و مشتقات آن که از سرمایههای ارزشمند ملی کشور میباشند، گاهی زیانهای جبرانناپذیری را ایجاد میکند. از اینرو، صاحبنظران و کارشناسان به دنبال منابعی هستند که به تدریج جایگزین سوختهای فسیلی شوند (رشتیان، ۱۳۸۶).

به طور خلاصه یک منبع ژئوترمال به وسیله یک مخزن در داخل زمین تعریف می شود؛ که به صورت اقتصادی گرمازا است. این مخزن شامل یک منبع حرارت، محیط متخلخل و سیال است. گرما از منبع حرارتی به وسیله سیال حامل و از طریق گسلها، شکستگیها و واحدهای نفوذپذیر به سطح منتقل و به صورت فعالیت ژئوترمال مانند چشمه های آب گرم، آبفشانها و غیره پدیدار می شود ( Roy, 2007; Kimball, 2010 به عنوان منطقه دارای فعالیت ژئوترمال (مرحله شناسایی و پی جویی)، گام بعدی استفاده از روشهای مختلف برای تشخیص دقیق نواحی دارای منبع ژئوترمال است. مهم ترین این روش ها شامل روش های زمین شناسی و هیدروژئولوژی، روش های ژئوشیمیایی، روش های ژئوفیزیکی، روش های سنجش از دور و حفاری اکتشافی است (Dickson and Fanelli, 2003; Gupta and Roy, 2007).

روشهای دورسنجی بهعنوان ابزار مفید شناسایی اولیه در نواحی ژئوترمال امیدبخش در نظر گرفته میشوند ( .(. Calvin et al. میشوند ( .(. و تعیدی درباره خروج 2005). بررسیهای هوایی مادونقرمز اطلاعات مفیدی درباره خروج حرارت از سطح زمین به دست میدهد (2007) میهنجاریهای این دادهها میتواند برای نقشهبرداری و تعیین بیهنجاریهای حرارتی در ارتباط با ویژگیهای ظاهری انرژی ژئوترمال مورد استفاده قرار گیرد (Auselwimmer and Prakash, 2013). برای شناسایی قرار گیرد (Haselwimmer and Prakash, 2013). برای شناسایی بیهنجاریهای ژئوترمال ترکیبی از تصاویر طیفی روزانه و شبانه استفاده میشود. تصویر طیفی روزانه اطلاعاتی را در مورد بازتاب فراهم میکند؛ در صورتی که تصویر طیفی شبانه منعکسکننده بیهنجاریهای ژئوترمال از محیط سردتر اطراف خود است ( and Roy, 2007).

آنومالیهای ژئوفیزیکی مرتبط با یک هدف ژئوترمال معمولاً نتیجه مقایسه بین خصوصیات فیزیکی بین سنگها و سیالات داخل Gupta یا نزدیک مخزن ژئوترمال با محیط اطراف آنها میباشند ( Gupta and Roy, 2007). این خصوصیات شامل دما، خصوصیات الکتریکی، چگالی، تخلخل، مغناطیس پذیری و سرعت لرزهای میباشند (Dickson and Fanelli, 2003; Gupta and Roy, 2007). روشهای ژئوفیزیکی مختلفی از جمله حرارتی، الکتریسیته، الکترومغناطیس، لرزهای و مغناطیس سنجی در اکتشاف منابع

ژئوترمال استفاده شدهاند؛ که میتوان آنها را بر اساس عمق نفوذ دستهبندی کرد (Gupta and Roy, 2007).

در اکتشاف این منابع، روشهای مغناطیسی به طور گسترده در نقشهبرداری ساختارهای زمین شناسی استفاده می شوند ( Kana et معناطیس پذیری سالا که یکی از اهداف در اکتشاف منابع ژئوترمال معناطیس پذیری بالا که یکی از اهداف در اکتشاف منابع ژئوترمال میباشند، با روش مغناطیس سنجی قابل شناسایی هستند ( Gupta میباشند، با روش مغناطیس سنجی قابل شناسایی هستند ( ad Roy, 2007 معدتاً مکانیابی تودههای نفوذی پنهان و احتمالاً بر آورد عمق آنها یا ردیابی گسلها و دایکهای نفوذی و همچنین پیدا کردن زمینههای کاهش مغناطیس شدگی (زونهای دگرسانی) به دلیل فعالیتهای حرارتی است (Georgeson, 2009).

لی (۱۹۷۸) با استفاده از سنجش از دور حرارتی، بیهنجاریهای حرارتی را در منطقه صحرای بلک راک نوادا مشخص کرد. کولباخ و همکاران (۲۰۰۷) با استفاده از تصاویر مادونقرمز حرارتی سنجنده استر در چشمههای آب گرم نوادا، به شناسایی پیهنجاریهای دمای سطح زمین در ارتباط با منابع ژئوترمال پرداختند. لو و همکاران (۲۰۰۸) برای پیدا کردن بیهنجاریهای حرارتی وابسته به گسلها در مقیاس خاصی از گسل منجنده +ETM استفاده کردند. آنها مناطقی را که درجه حرارتی بالاتری نسبت به محیط اطراف داشتند، بهعنوان بیهنجاریهای مادونقرمز حرارتی سنجنده +ETM، بیهنجاریهای دمای سطح زمین مرتبط با انرژی ژئوترمال در منطقه تنگچانگ در چین بررسی و چهار منطقه ژئوترمال معرفی شدند (2011, 2011).

بسیاری از مطالعات نشان میدهد که گسلها و مناطق شکستگی مرتبط با آنها، مسیری را برای انتقال انرژی ژئوترمال فراهم میکنند (Wu et al., 2012). بر اساس مطالعات ترونین (۱۹۹۶ و ۲۰۰۰)، وجود شار تابش غیر عادی حرارتی در سطح بسیاری از گسلهای فعال و بزرگ در مناطق فعال زمین لرزه مشاهده شده است. نوراللهی و همکاران (۲۰۰۷) نتیجه گرفتند که بیش از ۵۹٪ چاههای تولیدی در میدانهای ژئوترمال، در فاصله شش کیلومتری گسلهای فعال و در فاصله چهار کیلومتری چشمههای آب گرم ژاپن قرار دارند.

بی هنجاری های مغناطیسی در میادین ژئوترمال نیوزیلند، به عنوان میادینی که در اثر تبدیل مگنتیت به پیریت تشکیل شده؛ تفسیر شدهاند (Studt, 1964). بررسی های مغناطیس سنجی انجام شده در میدان ژئوترمال اوهاکی نیوزیلند در ۱۹۶۰ نشان داد در داخل و اطراف میدان سیالات هیدروترمال باعث کاهش مغناطیس سنگها شده است (Hunt, 1989). در میادین کم دمای ایسلند،

بهمنظور ردیابی دایکها و گسلهای پنهانی که اغلب جریان آب ژئوترمال به سطح زمین را کنترل میکنند، بررسیهای Palmason, زمینی وسیعی بکار گرفته شده است ( ,1975; Flovenz and Georgeson, 1982).

سالتوس و همکاران (۲۰۰۵) از دادههای مغناطیسی هوابرد برای نقشهبرداری گسلهای فعال در دو حوضه پیجت ساند واشنگتن و کوک اینلت آلاسکا استفاده کردند. گایلر و همکاران (۲۰۱۴) نیز با استفاده از دادههای مغناطیسی هوابرد و زمینی میدان ژئوترمال منطقه بویلانت (جزیره گوادلوپ فرانسه در اقیانوس اطلس)، توانستند ساختارهای مختلف را از هم تشخیص دهند. این اطلاعات پایه، برای فهم ارتباط بین گسلها و جریان سیالات ژئوترمال بسیار مهم هستند فهم ارتباط بین گسلها و جریان سیالات ژئوترمال بسیار مهم هستند محاسبات عمق کوری ناحیه جنوب شرق استان کرمان و یوسفی و همکاران (۲۰۰۷) نیز ناحیه مرکزی کرمان (بافت) را بهعنوان ناحیه پتانسیل ژئوترمال در ایران معرفی کردند.

از آنجا که در استان کرمان مطالعهای در زمینه اکتشاف منابع ژئوترمال از دید سنجش از دور و مغناطیسسنجی صورت نگرفته، در

### نشریه پژوهشهای ژئوفیزیک کاربردی، دوره 3، شماره ۱، ۱۳۹۶.

تحقیق حاضر از دادههای سنجش از دور و مغناطیسسنجی هوابرد و زمینی برای بررسی نشانههای وجود پتانسیل ژئوترمال در شرق این استان استفاده شده است.

#### ۲- معرفي منطقه مورد مطالعه

ناحیه مورد مطالعه (سیرچ- گلباف) در فاصله ۵۵ کیلومتری شرق شهر کرمان و در عرض جغرافیایی '50 °20 تا '20 °30 شمالی و طول جغرافیایی '25 °57 تا '55 °57 شرقی قرار گرفته است. نزدیک ترین راه دسترسی به این ناحیه جاده کرمان-سیرچ است. از قبیل کنگلومرا و ماسهسنگ، سنگهای منطقه را سنگهای رسوبی از قبیل کنگلومرا و ماسهسنگ، سنگهای آهکی و دولومیتی، شیل، رسوبات کواترنری و به مقدار کمی توربیدایت، رسوبات آتشفشانی و تراورتن (شکل ۱) تشکیل میدهند (آقانباتی، ۱۹۹۳؛ سهندی، سانتی گراد وجود دارد که در تقسیم, ندی شجاعی (۱۳۸۲)، در گروه چشمههای آب گرم داغ قرار گرفته است.



شکل ۱: نقشه زمینشناسی منطقه مورد مطالعه (برگرفته از سهندی، ۱۳۷۰؛ Aghanabati, 1993).

#### آویش و همکاران، مطالعات سنجش از دور و مغناطیس سنجی جهت اکتشاف منابع ژئوترمال در منطقه سیرج- کلباف استان کرمان، صفحات ۱۱۸-۹۹.

### ۳- دادهها و روش تحقیق

دادههای مورد استفاده در این پژوهش، تصاویر روز و شب سنجنده مودیس محصول MOD11\_L2 نسخه ۲۰۰۵ در سال ۲۰۱۵، تصاویر شب سنجنده استر محصول AST L1T به تاریخ ۲۰۱۵/۱۱/۱۰ تصویر روز سنجنده +ETM ماهواره لندست به تاریخ ۲۰۱۵/۱۱/۱۴ دادههای مغناطیس سنجی هوابرد شرکت تگزاس هوستون آمریکا در سالهای ۱۹۷۷–۱۹۷۷، با فاصله میان خطوط پرواز ۷/۵ کیلومتر، نقشه همتراز ۱۰۵۰۰۰۰ شدت کل مغناطیسی گوک، سازمان انرژی اتمی سال ۱۹۷۸ و دادههای برداشت مغناطیس زمینی حاصل از این مطالعه در محدوده جوشان میباشند.

به منظور بررسی محدوده چشمه آب گرم جوشان، برداشت مغناطیس زمینی توسط مغناطیسسنج پروتون مدل G-856 ساخت شرکت Geometrics انجام شد. مجموع ۱۳۷ نقطه بر روی پروفیلهای با فاصله ۱۰۰ متر و فاصله ایستگاهی ۲۵ متر، در امتداد شمال شرقی– جنوب غربی برداشت شد.

# ۲−۱− تخمین دمای سطح زمین (LST)

# ٣-١-١- الگوريتم پنجره مجزا تعميم يافته

الگوریتم Land Surface Temperature) LST) پنجره مجزا تعمیم یافته (Generalized Split-Window Algorithm) اولین بار توسط (Wan and Dozier (1996، برای تصحیح اثرات جوی و گسیلندگی نوع پوشش زمین با باندهای گسیلش شناخته شده سنجنده مودیس ارائه شد. در توسعه این الگوریتم، یک پایگاه داده برای مقادیر درخشندگی حرارتی جوی در باندهای ۳۱ و ۳۲ مودیس ایجاد شد؛ که محدوده درجه حرارت هوای سطح (آزr (ز ۲۵۶ تا ایجاد شد؛ که محدوده درجه حرارت هوای سطح (آزr (ز ۲۵۶ تا مفسر از باندهای آدع و 23 گسیلندگی برای سطوح واقعی زمین بستگی دارد (Wan, 1999).

بکر و لی (۱۹۹۰) یک الگوریتم LST پنجره مجزا را با اضافه کردن تصحیح بخار آب اتمسفر ارائه دادند:

$$T_{s} = A_{0} + P \frac{T_{4} + T_{5}}{2} + M \frac{T_{4} - T_{5}}{2}$$
(1)

این الگوریتم سپس توسط (Wan and Dozier (1996) توسعه

$$\begin{split} \mathbf{T}_{s} &= \mathbf{C} + \left(\mathbf{A}_{1} + \mathbf{A}_{2} \frac{1 - \varepsilon}{\varepsilon} + \mathbf{A}_{3} \frac{\Delta \varepsilon}{\varepsilon^{2}}\right) \frac{\mathbf{T}_{4} + \mathbf{T}_{5}}{2} \\ &+ \left(\mathbf{B}_{1} + \mathbf{B}_{2} \frac{1 - \varepsilon}{\varepsilon} + \mathbf{B}_{3} \frac{\Delta \varepsilon}{\varepsilon^{2}}\right) \frac{\mathbf{T}_{4} - \mathbf{T}_{5}}{2} \end{split} \tag{7}$$

که  $T_s$  برابر LST و  $T_4$  و  $T_5$  و  $T_4$  و  $T_5$  مای روشنایی بالای  $T_s$  حو (TOA) در طول موجهای ۱۰/۳–۱۰/۳ و ۱۰/۵–۱۰/۵ میکرومتر (TOA) میکند. 3 و  $\Delta \epsilon$  و  $\Delta \epsilon$  هستند. 3 و  $\Delta \epsilon$  به ترتیب میانگین و اختلاف گسیلندگی در طول موجهای ۱۱ و ۱۲ میکرومتر و  $C_1$ ،  $C_2$  و  $B_3$  موجهای ۱۱ و ۱۲ میکرومتر و  $C_1$ ،  $C_2$  ( $C_2$  و  $C_3$ ) موجهای ۱۱ و ۱۲ میکرومتر و Cong et al., 2013).

۳-۱-۲ روش نرمالسازی گسیلندگی

روش نرمال سازی گسیلندگی ( Emissivity Normalization ) بخشی از الگوریتم تفکیک دما- گسیلندگی (Method: NEM)، بخشی از الگوریتم تفکیک دما- گسیلندگی استر (Temperature Emissivity Separation: TES) سنجنده است؛ که طیف گسیلندگی و دمای نرمال شده را محاسبه میکند (۱۹۹۹) برای گسیلندگی در نظر گرفته و خروجیهای دما و گسیلندگی مقدار دما را میلندگی مقدار دما را میکند. این روش با استفاده از مقدار ثابت گسیلندگی، مقدار دما را برای هر پیکسل و باند محاسبه میکند. مقادیر بالاتر دما در هر برای هر پیکسل، با استفاده از تابع پلانک برای محاسبه مقادیر گسیلش استفاده از تابع پلانک برای محاسبه مقادیر گسیلش استفاده می تواند محاسبه میکند. این روش یک مقادیر بالاتر دما در هر بیکسل، با استفاده از تابع پلانک برای محاسبه مقادیر گسیلش استفاده می شود (Haq et al., 2012).

بر اساس مطالعات کول و همکاران (۲۰۰۷)، مقادیر اعداد رقومی DN باندهای سنجنده استر میتوانند با استفاده از مجموعهای از ثابتهای تبدیل واحد استاندارد، به تابش سطح سنجنده تبدیل شوند:

$$L_{Srad,j} = (DN_j - 1) \times UCC_j \tag{7}$$

که L<sub>Srad,j</sub> تابش رادیانس طیفی سنجنده استر در طول موج J، UCCj باند سنجنده استر، DN مقدار DN بیبعد باند J و ثابت تبدیل واحد باند J است که در جدول ۱ آمده است.

جدول ۱: مقادير UCCj محاسبه شده سنجنده استر (Banerjee et al., 2014).

Band	Maximum Radiance (Wm <sup>-2</sup> sr <sup>-1</sup> µm <sup>-1</sup> )					
	High gain	Normal Gain	Low Gain 1	Low gain 2		
10		0.006822				
11		0.006780				
12	N/A	0.006590	N/A	$N/A^*$		
13		0.005693				
14		0.005225				
* N/A= دادهای موجود نیست.						

# برای محاسبه دمای روشنایی بالای جو، میتوان از تابع رادیانس پلانک (رابطه ۴) استفاده کرد (Banerjee et al., 2014):

$$B_{\lambda}\left(T\right) = \frac{C_{1}}{\lambda^{5}\left(e^{C_{2}/\lambda T} - 1\right)} \tag{(f)}$$

 $c_1=1.19104356\times 10^{-16}$  Wm<sup>2</sup> که  $C_2=1.43876869\times 10^{-2}$  mK

دمای یک شیء زمینی را میتوان با معکوس کردن رابطه ۴ تخمین زد (Banerjee et al., 2014):

$$T = \frac{C_2 / \lambda}{\ln\left(\frac{C_1}{\lambda^5} \frac{1}{B_\lambda(T)} + 1\right)}$$
( $\Delta$ )

#### نشریه پژوهشهای ژئوفیزیک کاربردی، دوره 3، شماره ۱، ۱۳۹۶.

در نهایت رابطه (۵) را میتوان بهصورت زیر بازنویسی کرد:

$$T = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{K_1}{L_\lambda} + 1\right)} \tag{5}$$

و  $K_2$  و  $K_2$  ضرایب ثابت بوده که با استفاده از طول موج مؤثر  $K_1$  و  $C_2/\lambda$  و  $C_1/\lambda^5$  و به ترتیب معادل  $^5/\lambda^5$  و  $C_2/\lambda$  هستند. ( $T_\lambda$  همان شدت درخشندگی اندازهگیری شده ماهواره  $B_\lambda(T)$ ،  $\lambda$  طول موج مؤثر باند j و T دمای جسم زمینی (کلوین) میباشند.

جدول ۲: مقادیر محاسبه شده  $K_1$  و  $K_2$  باندهای حرارتی سنجنده استر (Banerjee et al., 2014).

Band	Bandpass (µm)	Effective Wavelength (µm)	UCC	$K_1 (Wm^{-2}\mu m^{-1})$	K <sub>2</sub> (K)
10	8.125-8.475	8.291	0.006882	3040.136402	1735.337945
11	8.475-8.825	8.634	0.006780	2482.375199	1666.398761
12	8.925-9.275	9.075	0.006590	1935.060183	1585.420044
13	10.25-10.95	10.657	0.005693	866.468575	1350.069147
14	10.95-11.65	11.318	0.005225	641.326517	1271.221673

# T-1-۳- روش محاسبه LST سنجنده +

دادههای باندهای حرارتی سنجنده +ETM بهصورت DN برداشت می شوند. برای تبدیل این دادهها به مقادیر رادیانس، می توان از روش مقیاس بندی رادیانس طیفی استفاده کرد (Barsi et al., 2003):

$$L_{cal} = \frac{L_{max} - L_{min}}{Q_{max} - Q_{min}} \left( Q_{cal} - Q_{min} \right) + L_{min} \tag{V}$$

که Q<sub>max</sub> ،L<sub>min</sub> ،L<sub>max</sub> و Q<sub>min</sub> فاکتورهای مقیاس بندی بوده و از داده همراه (Metadata) تصویر استخراج می شوند. L<sub>cal</sub> تابش رادیانس و Q<sub>cal</sub> مقدار DN باند مورد نظر است.

رادیانس به دست آمده در جو تا حد زیادی با شرایط جوی تغییر میکند؛ بنابراین تصحیح جوی برای بازیابی پارامترهای واقعی سطح، با از بین بردن اثرات جوی ضروری است (A) انجام داد ( Qin et al., 2010). تصحیح جوی را میتوان با استفاده از رابطه (A) انجام داد ( al., 2005; Coll et al., 2010).

$$L_{\lambda} = \frac{L_{cal} - L_{u}}{\varepsilon\tau} - \frac{1 - \varepsilon}{\varepsilon} L_{d} \tag{A}$$

که  $L_{u}$  ،T تابش جسم مورد نظر در دمای  $L_{u}$  ،T مقدار تابش  $\tau$  رادیانس داخل اتمسفر،  $L_{d}$  مقدار تابش در فضای خارج اتمسفر، Raj قابلیت انتقال اتمسفر و  $\mathfrak{F}$  گسیلندگی (معمولاً  $\mathfrak{I}/\mathfrak{I}$ ) میباشند ( and Fleming, 2008).

دمای سطح زمین برحسب درجه کلوین را میتوان با استفاده از

تابع پلانک (رابطه ۶) به دست آورد.

K<sub>1</sub> و K<sub>2</sub> ضرایب کالیبراسیون بوده و برای سنجنده +ETM، به ترتیب برابر ۶۶۶٬۰۹ و ۱۲۸۲٬۷۱ میباشند.

# ۲-۲- اینرسی حرارتی ظاهری زمین

اینرسی حرارتی ظاهری زمین ( : Apparent Thermal Inertia است؛ با این حال میتوان آن (ATI ) به اینرسی حرارتی واقعی وابسته است؛ با این حال میتوان آن (ATI ، را به طور مستقیم از دادههای سنجش از دور به دست آورد. ATI ، اندازه گیری آلبدوی منعکس شده خورشید به اختلاف دمای روشنایی ساطع شده زمین در طول چرخه شبانهروز است و معمولاً بهصورت زیر نوشته می شود ( ...Sobol et al ( 2010; Scheidt et al ( 2010)) 2006; Scheidt et al ( 2010; Qin et al ( 2013))

$$ATI = NC \frac{1 - \alpha}{\Delta LST}$$
(1)

TIU:  $Ws^{1/2}m^{-2}K^{-}$ ) که در آن، ATI اینرسی حرارتی ظاهری (ATI مین در محدوده  $^{1}$ )، N و C مقادیر ثابت،  $\alpha$  آلبدوی سطح زمین در محدوده مادونقرمز نزدیک (VNIR) و مادونقرمز موج کوتاه (SWIR) و مادونقرمز موج کوتاه (ATI کا کتلاف دمای روشنایی شبانهروز سطح زمین در زمان عبور سنجنده میباشند.

فاکتورهای پیمایش اضافی و دیگر ثابتها (N و C)، به خاطر تغییرات در شار خورشیدی با طول و عرض میل خورشیدی محاسبه می شوند و ممکن است به شرایط مطالعه وابسته باشند. آلبدو و دمای سطح زمین، پارامترهای مهم سنجش از دور هستند. برای مناطق با

### آویش و همکاران، مطالعات سنجش از دور و مغناطیس سنجی جهت اکتشاف منابع ژئوترمال در منطقه سیرچ- گلباف استان کرمان، صفحات ۱۱۸-۹۹.

آلبدوی سطح مشابه، مقدار ATI بالا، از ΔLST کمتر بین روز و شب نتیجه میشود، در حالی که مقدار ATI کم، از یک تغییر بزرگ در دمای شب و روز به دست میآید. برای یک ΔLST ثابت، آلبدوی بالاتر در یک مقدار پایینتر ATI به دست میآید و برعکس (Scheidt et al., 2010).

# ۳-۳- فیلتر برگردان به قطب

در تفسیر دادههای مغناطیسی، اولین گام حذف اثر دوقطبی میدان مغناطیسی است. برای این منظور از روش برگردان به قطب (RTP) استفاده میشود. با استفاده از این فیلتر، میدان مغناطیسی از یک عرض مغناطیسی که در آن بردار میدان زمین مایل و شیبدار است، به قطب مغناطیسی (جایی که میدان القایی قائم است) منتقل میشود ( Arkani-Hamed and Urquhart, 1990; Gunn et al., میشود ( . 1997). مقادیر اوج به طور مستقیم بر روی جسم قرار می گیرد، در حالی که حداکثر شیب بی هنجاری نامتقارن، دقیقاً بر روی لبههای جسم منطبق میشود. این حالت معمولاً بر روی دادههای مغناطیسی در عرضهای جغرافیایی پایین روی میدهد ( . 2013).

### ۳–۴– فيلتر ادامه فراسو

فیلتر ادامه فراسو، اثر بی هنجاری های سطحی با فرکانس بالا را حذف و به این طریق، اثر بی هنجاری های عمیق تر را بهتر آشکار می سازد (Gunn, 1996). این فیلتر تأثیر منابع محلی و کم عمق را که در نقشه های گرادیان عمودی آشکار بود، حذف می کند و بدین وسیله اثر بی هنجاری های عمیق بهتر آشکار می شود. در واقع این روش، بی هنجاری های با طول موج کوتاه را حذف کرده و دامنه بی هنجاری را تضعیف و اختلالات را کاهش می دهد ( ...Tarlowski et al اولین ارتفاعی است را تضعیف و اختلالات را کاهش می دهد ( یاده ها، اولین ارتفاعی است که بعد از آن میزان تغییرات عمق و اندیس ساختاری جزئی است (Salem and Ravat, 2003).

# ۳–۵– فيلتر مشتق قائم

مشتق قائم، روش دیگری است که برای برجسته کردن بیهنجاریهای مغناطیسی به کار می ود. با اعمال این فیلتر بر روی نقشه برگردان به قطب، بیهنجاریهای سطحی نمود بیشتری پیدا میکند. بدین وسیله میتوان رفتار این تودههای مغناطیسی را در سطح، بهتر مورد بررسی قرار داد (Gunn et al., 1997). مشتق قائم در واقع یک فیلتر بالاگذر است. زیرا بسامدهای بالا را نسبت به بسامدهای پایین افزایش می دهد (Neawsuparp et al., 2005). در عمل، مشتق قائم عرض بی هنجاریها را باریک تر و موقعیت آن ها را با دقت بیشتری مشخص می کند (Cooper and Cowan, 2004).

۳-۶- فیلتر سیگنال تحلیلی

سیگنال تحلیلی در تعیین محل و عمق منبعهای مغناطیسی کاربرد دارد. دامنه سیگنال تحلیلی بسته به شکل منبع، روی منبع یا روی مرزهای آن به مقدار بیشینه خود میرسد. برای منبعهای دو بعدی

(دایک، استوانه افقی، سطح تماس) شکل منحنی دامنه سیگنال تحلیلی کاملاً مستقل از کمیتهای جهتی مانند جهت مغناطیس، زاویه شیب، زاویه میل میدان و امتداد بوده و همواره یک انحراف تابع زوج و متقارن است؛ بنابراین مغناطیس باقیمانده عامل مزاحمی زوج و متقارن است؛ بنابراین مغناطیس باقیمانده عامل مزارمی نخواهد بود و نیازی به دانستن آن نیست. این کمیتها فقط روی نخواهد مود و نیازی به دانستن آن نیست. این کمیتها فقط روی اندازه دامنه سیگنال تحلیلی تأثیر دارند Nabighian, 1972; Rao et al., 1981; Roest et al., 1998).

# ۴– یافتهها و بحث

# ATI و LST و LST و ATI

برای محاسبه LST با استفاده از سنجنده مودیس، از الگوریتم پنجره مجزا تعمیم یافته استفاده شد. دمای سطح زمین برای تصاویر ده شبانهروز اول هر ماه میلادی سال ۲۰۱۵ پس از ژئورفرنس و کالیبره کردن تصاویر، با نرمافزار ENVI 5.1 محاسبه شد. سپس تعداد ۴۴ جفت تصویر (شب و روز) که منطقه را بیشتر پوشش میدادند، از بین تصاویر انتخاب گردید. با توجه به بزرگی پیکسلهای این تصاویر (ابعاد یک کیلومتر)، نمونه گیری مجدد انجام و پیکسلهای این تصاویر کافی کوچکتر گردید. سپس اختلاف دمای شبانهروز با استفاده از نسخه ۲/۱۰ نرمافزار ArcGIS محاسبه شد. با توجه به این که تعداد تصاویر برای ماههای مختلف، متفاوت بود؛ برای هر ماه میانگین نشان میدهد. برای محاسبه اختلاف دمای سطح زمین بر اساس سنجندههای استر و +ETM، ابتدا تصاویر سنجنده استر موزایک و محاسبه و در نهایت اختلاف آنها به دست آمد (شکل ۳).

به منظور بررسی بیشتر تصاویر دمای سطح زمین با استفاده از سنجنده مودیس، تغییرات اختلاف دمای شبانهروز برای کل سال بر روی پروفیل AB رسم گردید (شکل ۴). شکل ۵ نمودار محاسبه اختلاف دمای شبانهروز سطح زمین، با استفاده از سه سنجنده را نشان میدهد.

تصویر طیفی شبانه، منعکس کننده بی هنجاری های ژئوتر مال از محیط سردتر اطراف خود است (Gupta and Roy, 2007). به این صورت که در تصویر شبانه مناطق دارای بی هنجاری های حرارتی گرمتر دیده می شوند. چرا که در طول شب سطح زمین گرمای جذب شده در روز را از دست می دهد. در حالی که مناطق دارای بی هنجاری حرارتی در شب نیز گرمای منشأ حرارتی نزدیک به سطح را منتشر می کنند. اختلاف دمای شبانه روز کمتر به معنی گرمتر بودن سطح در شب است.

برای محاسبه اینرسی حرارتی ظاهری، همانند مرحله محاسبه LST، تصاویر حرارتی و انعکاسی سنجنده مودیس برای کل سال ۲۰۱۵ گرفته شد. پس از تصحیح هندسی تصاویر انعکاسی، ابتدا

آلبدوی موج کوتاه هر تصویر بر اساس دستورالعمل پیشنهادی Liang (2000) و Smith (2010) محاسبه و در نهایت اینرسی حرارتی تصاویر و میانگین هر ماه محاسبه شد. شکل ۶، ATI سنجنده مودیس را برای ماه نوامبر (آذر) نشان میدهد. به دلیل تعداد زیاد تصویر، تغییرات اینرسی بر روی پروفیل AB برای ۱۱ ماه سال ۲۰۱۵ رسم گردید (شکل ۲).

جهت تخمین اینرسی حرارتی ظاهری با استفاده از

# نشریه پژوهشهای ژئوفیزیک کاربردی، دوره ۳، شماره ۱، ۱۳۹۶. سنجندههای استر و لندست، از باندهای مرئی سنجنده لندست برای

سنجنده های استر و لندست، از باندهای مربی سنجنده لندست برای محاسبه آلبدوی سطح استفاده شد. پس از کالیبره کردن و تبدیل به باندهای انعکاسی، بر روی تصویر تصحیح هندسی انجام گرفت. سپس آلبدوی موج کوتاه برای سنجنده +ETM نیز محاسبه و در نهایت اینرسی حرارتی ظاهری با استفاده از اختلاف دمای شبانهروز دو سنجنده محاسبه شد (شکل ۸).



شکل ۲: نقشه اختلاف دمای شبانهروز اندازهگیری شده سنجنده مودیس در ماه نوامبر ۲۰۱۵ به همراه موقعیت چشمه آب گرم جوشان، گسل گوک و مراکز زمینلرزه. محدودههای A، B1، A2 و a دارای بیهنجاری حرارتی میباشند. بر روی پروفیل AB تغییرات دمای سطح زمین کل سال ۲۰۱۵ بررسی شد. خطچین قرمز رنگ یک گسل فرعی است.



شکل ۳: نقشه اختلاف دمای شبانهروز اندازهگیری شده بر اساس سنجندههای +ETM و استر. محدودههای 'A، 'B و 'a دارای بیهنجاری حرارتی میباشند. خطچین قرمز رنگ یک گسل فرعی است.



شکل ۴: تغییرات اختلاف دمای شبانهروز اندازهگیری شده سنجنده مودیس بر روی پروفیل AB در سال ۲۰۱۵. کمترین اختلاف دما بر روی گسل گوک (شاخه سمت راست) و نیز در نزدیکی گسل فرعی است.



شکل ۵: نمودار محاسبه اختلاف دمای شبانهروز با استفاده از سه سنجنده مودیس، +ETM و استر.

#### نشریه پژوهشهای ژئوفیزیک کاربردی، دوره ۳، شماره ۱، ۱۳۹۶.



شکل ۶: نقشه اینرسی حرارتی ظاهری اندازه گیری شده سنجنده مودیس در ماه نوامبر ۲۰۱۵. محدودههای C، E ،D ، E و F دارای بیهنجاری حرارتی میباشند.



شکل ۲: تغییرات اینرسی حرارتی اندازهگیری شده سنجنده مودیس بر روی پروفیل AB. الف) ۱۱ ماه سال ۲۰۱۵، ب) میانگین سال ۲۰۱۵. بیشترین اینرسی حرارتی بر روی گسل گوک (شاخه سمت راست) و نیز در نزدیکی گسل فرعی است.

آویش و همکاران، مطالعات سنجش از دور و مغناطیس سنجی جهت اکتشاف منابع ژئوترمال در منطقه سیرچ- گلباف استان کرمان، صفحات ۱۱۸-۹۹.



شکل ۸: نقشه اینرسی حرارتی ظاهری اندازهگیری شده بر اساس سنجندههای استر و +ETM. محدودههای <sup>(</sup>C، (C، <sup>E</sup> و <sup>E</sup> دارای بیهنجاری حرارتی میباشند.

شکل ۲ یک بی هنجاری حرارتی را در اطراف چشمه آب گرم جوشان (A) و دو بی هنجاری حرارتی دیگر را بر روی گسل گوک (B1 و B2) نشان می دهد که در امتداد آن به طرف جنوب شرق ادامه می یابد. با این تفاوت که بی هنجاری حرارتی موجود در اطراف چشمه آب گرم جوشان به صورت ضعیف تر بارز شده است. همچنین یک بی هنجاری دیگر در غرب گسل گوک (a) خود را نشان داده است که شکل ۳ بی هنجاری های شناسایی شده در شکل ۲ را تائید و موقعیت شکل ۳ بی هنجاری های شناسایی شده در شکل ۲ را تائید و موقعیت آن ها را با توجه به اندازه کوچک تر پیکسل سنجنده ها بهتر مشخص حرارتی 'B رسوبات آتش فشانی و تراورتن وجود دارد. شکل ۴ نشان می دهد که تغییرات اختلاف حرارت شبانه روز سطح، در فاصله کمتر از شش کیلومتری گسل فرعی و بر روی گسل گوک (شاخه سمت همکاران (۲۰۰۷) مطابقت می کند.

نتایج اینرسی حرارتی در شکلهای ۶ و ۸ نیز، یک شار حرارتی بالا را در اطراف (C و 'C) و بین دو بخش گسل گوک (E، D و 'E) (D) نشان میدهد که نتایج قبل را بهخوبی تائید میکند. همچنین شکلهای ۶ و ۸ نشان میدهند یک شار حرارتی بالا (F و 'F) در ناحیه غربی گسل گوک وجود دارد که با نتایج شکلهای ۲ و ۳ مطابقت داشته و باید بررسی شود. شکل ۷ نیز نشان میدهد بیشترین تغییرات اینرسی حرارتی سنجنده مودیس در ۱۱ ماه سال

۲۰۱۵ بر روی گسل گوک (شاخه سمت راست) و نیز در نزدیکی گسل فرعی است که با اختلاف کمتر دمای شبانهروز در این دو ناحیه (شکل ۴) مطابقت دارد.

وجود چشمه آب گرم جوشان (۴۵ درجه سانتی گراد) و تراورتن در جنوب شرق منطقه، گسل فعال گوک و تمرکز زمین لرزههای با شدت متوسط به بالا در امتداد این گسل و اطراف بی هنجاری های حرارتی، به احتمال زیاد میتواند در ارتباط با فعالیت های زیرین و وجود تودههای نفوذی مدفون باشند؛ که به عنوان نشانه ای از وجود منابع ژئوتر مال استفاده می شوند.

### ۲-۴- نتایج پردازش دادههای مغناطیسی

در این پژوهش، از دادههای مغناطیسی هوابرد بهمنظور تشخیص وجود تودههای نفوذی استفاده شد. ابتدا دادههای ناهمخوان حذف شدند. سپس تصحیح منطقهای دادهها با حذف اثر مغناطیسی میدان مرجع وابسته به میدان مغناطیسی زمین انجام شد. پس از حذف دادههای ناهمخوان از مجموعه دادهها و حذف اثر IGRF، نقشه شدت کل میدان مغناطیسی رسم شد. همچنین نقشه شدت کل مغناطیسی گوک ابتدا رقومی شده و سپس در محیط ژئوسافت پردازشهای مورد نظر بر روی آن انجام گرفت (شکل ۹). مستطیل خطچین در نقشههای مغناطیسی هوابرد، موقعیت نقشه مغناطیسی

فیلتر برگردان به قطب در منطقه مورد مطالعه با استفاده از زاویه میل ۴۴٬۹۲ درجه و انحراف مغناطیسی ۱٬۴۸ درجه و مقدار

میانگین IGRF برابر ۴۶۰۷۲ نانوتسلا و برای برگه گوک با استفاده از زاویه میل ۵۳٬۹ درجه و انحراف مغناطیسی ۳٫۵ درجه و مقدار IGRF برابر ۴۷۲۵۰ نانوتسلا اعمال شد (شکل ۱۰).

با استفاده از اعمال فیلتر ادامه فراسو بر روی دادههای برگردان

### نشریه پژوهش های ژئوفیزیک کاربردی، دوره 3، شماره ۱، ۱۳۹۶.

به قطب، داده ها به سطوح بالاتر از ۱۰۰ و ۵۰ متر (برای برگه گوک) تا ۲۰۰ متر منتقل شدند (شکلهای ۱۱ و ۱۲). در نهایت فیلتر مشتق قائم (شکل ۱۳) و سیگنال تحلیلی (شکل ۱۴) نیز بر روی داده ها اعمال شد.



شکل ۹: نقشه شدت مغناطیس کل. الف) منطقه مورد مطالعه، ب) برگه گوک. G، H و g نشاندهنده بیهنجاری مغناطیسی میباشند.



شکل ۱۰: نقشه فیلتر برگردان به قطب. الف) منطقه مورد مطالعه، ب) برگه گوک. K ،J ،I و h نشان دهنده بی هنجاری مغناطیسی می باشند.



آویش و همکاران، مطالعات سنجش از دور و مغناطیس سنجی جهت اکتشاف منابع ژئوترمال در منطقه سیرچ- گلباف استان کرمان، صفحات ۱۱۸-۹۹.

شکل ۱۱: نقشه فیلتر ادامه فراسو در ارتفاع ۱۰۰ متر. الف) منطقه مورد مطالعه، ب) برگه گوک. 'J' ،'J و 'h نشاندهنده بیهنجاری مغناطیسی میباشند.



شکل ۱۲: نقشه فیلتر ادامه فراسو در ارتفاع ۷۰۰ متر. الف) منطقه مورد مطالعه، ب) برگه گوک. "I، "J" ، "K و "h نشاندهنده بیهنجاری مغناطیسی میباشند.



شکل ۱۳: نقشه فیلتر مشتق قائم. الف) منطقه مورد مطالعه، ب) برگه گوک. i، O، N، M، L و j نشاندهنده بیهنجاری مغناطیسی میباشند.



شکل ۱۴: نقشه فیلتر سیگنال تحلیلی. الف) منطقه مورد مطالعه، ب) بر گه گوک. R ،Q ،P ، R و m نشاندهنده بیهنجاری مغناطیسی می-باشند.



آویش و همکاران، مطالعات سنجش از دور و مغناطیس سنجی جهت اکتشاف منابع ژئوترمال در منطقه سیرچ- گلباف استان کرمان، صفحات ۱۱۸-۹۹.

شکل ۱۵: الف) نقشه شدت مغناطیس کل محدوده جوشان و پروفیلهای برداشت، ب) نقشه فیلتر برگردان به قطب محدوده جوشان، ج) نقشه فیلتر ادامه فراسو محدوده جوشان در ارتفاع ۱۰ متر و د) نقشه فیلتر ادامه فراسو محدوده جوشان در ارتفاع ۴۰ متر. محدوده بیضی آبی ناهنجاری مغناطیسی است.

نقشه شدت کل میدان مغناطیسی دادههای مغناطیسی زمینی محدوده جوشان نیز، پس از تصحیح دادههای ناهمخوان و حذف اثر IGRF رسم شد (شکل ۱۵– الف). فیلتر برگردان به قطب، با استفاده از مقدار زاویه میل ۴۷/۸ و انحراف مغناطیسی ۳/۳ و مقدار متوسط IGRF ۶۹۹۹۶ نانوتسلا اعمال شد (شکل ۱۵– ب). در نهایت با استفاده از فیلتر ادامه فراسو، دادههای تبدیل به قطب شده به ارتفاع ۱۰ تا ۴۰ متر انتقال داده شدند (شکل ۱۵– ج و ۱۵– د).

نتایج شکلهای ۹ و ۱۰ نشان میدهد در بخشهای جنوبی و غربی ناحیه و همچنین شمال شرق چشمه آب گرم جوشان، بیهنجاریهای مغناطیسی (به ترتیب I، K و J) وجود دارند. بیشترین میزان این بیهنجاری (G) در برگه گوک و ناحیه شرق آن قرار دارد. نتایج پردازش فیلتر ادامه فراسو (شکل ۱۱ و ۱۲) نیز نشان میدهد با افزایش ارتفاع، بیهنجاری مغناطیسی جنوبی (I) به سمت جنوب ناحیه و گسل گوک ('I و "I) کشیده میشود و از شدت بیهنجاری شمال شرق محدوده جوشان ('I و "I) کاسته میشود. با

این حال شدت این بی هنجاری ("ل) از بین نرفته است. به نظر می رسد این بی هنجاری ها با توده های نفوذی مدفون و درگیر با چشمه آب گرم جوشان و تراورتن های موجود در جنوب شرق منطقه که حاصل چشمه های آب گرم هستند، مرتبط باشند. توده های نفوذی پنهان به عنوان نشانه ای از وجود منابع ژئوتر مال استفاده می شوند؛ که می توانند با یک منبع حرارتی عمیق تر در ارتباط باشند یا خود جوان بوده و حرارت داشته باشند. نتایج فیلتر مشتق قائم (شکل ۱۳) نشان می دهد که بیشتر بی هنجاری های مغناطیسی سطحی ناحیه در بخش شمال شرقی (شرق چشمه آب گرم جوشان) منطقه (M و N) و تا حدودی شمال شرق بر گه گوک (L) قرار دارند. فراسو (<sup>۲</sup>I و <sup>۳</sup>I)، در نقشه این فیلتر کاسته شده که این، نشان دهنده عمیق تر بودن این بی هنجاری است. بی هنجاری های نقشه فیلتر سیگنال تحلیلی (شکل ۱۴) به دلیل گرفتن مشتق در سه جهت می تواند متفاوت باشند. با این حال، نتایج این فیلتر نشان می دهد در

#### نشریه پژوهشهای ژئوفیزیک کاربردی، دوره 3، شماره ۱، ۱۳۹۶.

اختیار گذاشتن امکانات و تجهیزات برداشت مغناطیس زمینی، تشکر و قدردانی می گردد.

### ۷- منابع

- رشتیان، س.، ۱۳۸۶، انرژی زمین گرمایی، نشریه سازمان انرژیهای نو ایران (پیام سانا)، ۱ (۱)، ۱–۱۱.
- سهندی، م. ر.، ۱۳۷۰، نقشه زمین شناسی کرمان، مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰ سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- شجاعی، م. ر.، ۱۳۸۲، مجموعه اطلاعات پیرامون چشمههای آبگرم استان کرمان، مطالعه هیدروژئولوژی شرکت سهامی آب منطقهای کرمان.
- Aghanabati, A., 1993, Geological quadrangle map of Iran, No. J11, (Bam Quadrangle Map 1:250000), Geological Survey of Iran.
- Arkani-Hamed, J. and Urquhart, W.E.S., 1990, Reduction to pole of the North American magnetic anomalie, Geophysics, 55 (2), 218-225.
- Atomic Energy Organization of Iran, 1978, Airborne geophysical survey, Geomagnetic total intensity contour map, Gok, 1:50000, Sheet 7549 IV.
- Banerjee, K., Panda, S., Jian, M.K., Jeyaseelan, A.T. and Sharma, R.K., 2014, Comparison of Aster thermal bands and feature identification using advance Spectroscopic techniques, International Journal of Innovation and Scientific Research, 7 (1), 11-18.
- Barsi, J.A., Schott, J.R., Palluconi, F.D. and Hook, S.J., 2005, Validation of a web-based atmospheric correction tool for single thermal band instruments, International Society for Optics and Photonics.
- Barsi, J.A., Schott, J.R., Palluconi, F.D., Helder, D.L., Hook, S.J., Markham, B.L., Chander, G. and O'Donnell, E.M., 2003, Landsat TM and ETM+ thermal band calibration, Canadian Journal of Remote Sensing, 29 (2), 141-153.
- Becker, F. and Li, Z.L., 1990, Towards a local split window method over land surfaces, Remote Sensing, 11 (3), 369-393.
- Calvin, W.M., Coolbaugh, M., Kratt, C., Vaughan, R.G. and Calvin, W., 2005, Application of remote sensing technology to geothermal exploration, Geological Survey of Nevada, pp. 1083-1089.
- Coll, C., Caselles, V., Valor, E., Niclos, R., Sanchez, J.M., Galve, J.M. and Mira, M., 2007, Temperature and emissivity separation from ASTER data for low spectral contrast surfaces, Remote Sensing of Environment, 110, 162-175.
- Coll, C., Galve, J.M., Sanchez, J.M. and Caselles, V., 2010, Validation of Landsat-7/ETM+ thermal-band

شرق چشمه آب گرم جوشان و گسل گوک، بی هنجاری های مغناطیسی (به ترتیب P، Q، R و S) وجود دارند. همچنین یک تغییر ناگهانی در شرق برگه گوک و جنوب شرقی ناحیه وجود دارد، به طوری که بخش هایی از گسل گوک نیز در این نواحی قرار دارد.

نتایج پردازش دادههای مغناطیسی زمینی در محدوده جوشان (شکلهای ۱۵- الف تا ۱۵- د) نشان میدهد یک بیهنجاری مغناطیسی (آبی) در شمال شرق محدوده وجود دارد که در امتداد گسل گوک قرار گرفته است. در اطراف چشمه آب گرم جوشان به دلیل وجود فلزات متعدد و تیرهای برق امکان برداشت داده وجود نداشت. کاهش مغناطیس در این ناحیه را می توان با دو دلیل مرتبط دانست. اول خطای حاصل از درونیابی دادهها و دوم وجود یک منبع حرارتی عمیق. حرارت حاصل از منبع گرمایی بهوسیله سیال به سنگهای موجود در مسیر آن منتقل و در صورت وجود کانیهای مغناطیسی در این سنگها، باعث کاهش مغناطیس آنها میشود. در غرب محدوده جوشان نیز به دلیل وجود پرتگاه و نبود داده، یک تغییر ناگهانی (محدوده بیضی قهوهای) ایجاد شده است. نتایج فیلتر ادامه فراسوی این دادهها نیز (شکلهای ۱۵- ج و ۱۵- د) نشان میدهد روند تغییرات این بیهنجاری به سمت شمال شرق محدوده جوشان گسترش می یابد؛ که با بی هنجاری مشاهده شده در دادههای مغناطیسی هوابرد (J، 'J و ''J؛ شکلهای ۱۰ تا ۱۲) مطابقت میکند. وجود سنگهای رسوبی در منطقه و بیهنجاریهای مغناطیسی بالا، می تواند حاکی از حضور تودههای نفوذی در زیر آنها باشد. در صورتی که این فرض درست باشد، ارتباط مناسبی بین چشمههای آب گرم با تودههای نفوذی مدفون می تواند داشته باشد؛ چرا که رسوبات به تنهایی باید خاصیت مغناطیسی کمی از خود نشان دهند.

# ۵- نتیجهگیری

بررسیهای سنجش از دور در ناحیه سیرچ-گلباف نشان داد که یک بیهنجاری حرارتی در بخش جنوب شرقی منطقه و یک بیهنجاری حرارتی دیگر در محدوده جوشان وجود دارد؛ که میتوانند در ارتباط با منابع ژئوترمال سطحی باشند. علاوه بر این، پردازش دادههای مغناطیسی بیهنجاریهایی را در محدوده مورد مطالعه نشان داد که با توجه به ارتباط چشمههای آب گرم و تودههای نفوذی این بیهنجاریها میتوانند در ارتباط با تودههای نفوذی و نیز بیهنجاریهای حرارتی آشکار شده از روش دورسنجی باشند. از طرفی، بیهنجاریهای حرارتی تشخیص داده شده با روش دورسنجی، با بیهنجاریهای مغناطیسی آشکار شده مطابقت میکنند.

# ۶- سپاس گزاری

بدین وسیله از شرکت مهندسین مشاور کوشا معدن، به خاطر در

#### آویش و همکاران، مطالعات سنجش از دور و مغناطیسسنجی جهت اکتشاف منابع ژئوترمال در منطقه سیرچ- گلباف استان کرمان، صفحات ۱۱۸-۹۹.

Interpreting aeromagnetic data in areas of limited outcrop, AGSO Journal of Australia Geology and Geophysics, 17 (2), 175-185.

- Gupta, H.K. and Roy, S., 2007, Geothermal energy: an alternative resource for the 21<sup>st</sup> century, First edition, Elsevier, 279 P.
- Haq, M.A., Jain, K. and Menon, K.P.R., 2012, Surface temperature estimation of Gangotri Glacier using thermal remote sensing, International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Vol. XXXIX (B8), 115-119.
- Haselwimmer, C. and Prakash, A., 2013, Thermal infrared remote sensing of geothermal systems, In Thermal Infrared Remote Sensing, pp. 453-473.
- Hojat, A., Fox Maule, C. and Hemant Singh, K., 2016, Reconnaissance exploration of potential geothermal sites in Kerman province, using Curie depth calculations, Journal of the Earth and Space Physics, 41 (4), 95-104.
- Hsu, S.K., Coppens, D. and Shyu, C.T., 1998, Depth to magnetic source using the generalized analytic signal, Geophysics, 63, 1947-1957.
- Hunt, T.M., 1989, Geophysical exploration of the Broadlands (Ohaaki) geothermal field: review, 11<sup>th</sup> New Zealand Geothermal Workshop, Auckland, New Zealand, pp. 31-38.
- Jiang, G.M., Zhou, W. and Liu, R., 2013, Development of split-window algorithm for land surface temperature estimation from the VIRR/FY-3A measurements, Geoscience and Remote Sensing Letters, IEEE, 10 (4), 952-956.
- Kana, J.D., Djongyang, N., Raïdandi, D., Nouck, P.N. and Dadjé, A., 2015, A review of geophysical methods for geothermal exploration, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 44, 87-95.
- Kimball, S., 2010, Favourability map of British Columbia geothermal resources, Ph.D Thesis, Vancouver, Canada, University of British Colombia, The Faculty of Graduate Studies, Mining Engineering.
- Lee, K., 1978, Analysis of thermal infrared imagery of the Black Rock Desert geothermal area, Colorado School of Mines Quarterly, 4 (2), 31-44.
- Liang, S., 2000, Narrowband to broadband conversions of land surface albedo I: Algorithms, Remote Sensing of Environment, 76 (2), 213-238.
- Lu, S.L., Shen, X.H., Zou, L.J., Zhang, G.F., Wu, W.Y., Li, C.J. and Mao, Y.J., 2008, Remote sensing image enhancement method of the fault thermal information based on scale analysis: A case study

calibration and atmospheric correction with ground-based measurements, Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions on, 48 (1), 547-555.

- Coolbaugh, M.F., Kratt, C., Fallacaro, A., Calvin, W.M. and Taranik, J.V., 2007, Detection of geothermal anomalies using Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER) thermal infrared images at Bradys Hot Springs, Nevada, USA, Remote Sensing of Environment, 106 (3), 350-359.
- Cooper, G.R.J. and Cowan, D.R., 2004, Filtering using variable order vertical derivatives, Computers and Geosciences, 30 (5), 455-459.
- Dickson, M.H. and Fanelli, M., 2003, Geothermal energy: utilization and technology, United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization, 220 P.
- Flovenz, O.G. and Georgeson, L.S., 1982, Prospecting for near-vertical aquifers in low-temperature geothermal areas in Iceland, Transaction, Geothermal Resource Council, 6, 19-22.
- Gailler, L.S., Bouchot, V., Martelet, G., Thinon, I., Coppo, N., Baltassat, J.M. and Bourgeois, B., 2014, Contribution of multi-method geophysics to the understanding of a high-temperature geothermal province: The Bouillante area (Guadeloupe, Lesser Antilles), Journal of Volcanology and Geothermal Research, 275, 34-50.
- Ganbat, E., 2004, Geothermal investigations at the Ásgardur farm, Reykholtsdalur, W-Iceland, Report 6 in geothermal training in Iceland. UNU-GTP, Iceland, pp. 83-98.
- Ganiyu, S.A., Badmus, B.S., Awoyemi, M.O., Akinyemi, O.D. and Olurin, O.T., 2013, Upward continuation and reduction to pole process on aeromagnetic data of Ibadan Area, South-Western Nigeria, Earth Science Research, 2 (1), 66-73.
- Georgsson, L.S., 2009, Geophysical methods used in geothermal exploration, Presentation in short course IV on exploration for geothermal resources, UNU-GTP KenGen, GDC, Naivasha, Kenya, pp. 1-16.
- Gillespie, A.R., Rokugawa, S., Hook, S.J., Matsunaga, T. and Kahle, A.B., 1999, Temperature/emissivity separation algorithm theoretical basis document, version 2.4, NASA/GSFC, Greenbelt, MD.
- Gunn, P.J., 1996, Workshop Interpretation of aeromagnetic data, AGSO Journal of Australian Geology and Geophysics.
- Gunn, P.J., Maidment, D. and Milligan, P.R., 1997,

#### نشریه پژوهشهای ژئوفیزیک کاربردی، دوره 3، شماره ۱، ۱۳۹۶.

Danilina, I., 2006, Differential thermal inertia of geological surfaces, 2<sup>nd</sup> Annual International Symposium of Recent Advances in Quantitative Remote Sensing, Univ. of Valencia, Torrent, Spain, pp. 25-29.

- Salem, A. and Ravat, D., 2003, A combined analytic signal and Euler method (AN-EUL) for automatic interpretation of magnetic data, Geophysics, 68 (6), 1952-1961.
- Saltus, R.W., Blakely, R.J., Haeussler, P.J. and Wells, R.E., 2005, Utility of aeromagnetic studies for mapping of potentially active faults in two forearc basins: Puget Sound, Washington, and Cook Inlet, Alaska, Earth, planets and space, 57 (8), 781-793.
- Scheidt, S., Ramsey, M. and Lancaster, N., 2010, Determining soil moisture and sediment availability at White Sands Dune Field, New Mexico, from apparent thermal inertia data, Journal of Geophysical Research: Earth Surface, 115 (F2).
- Smith, R.B., 2010, The heat budget of the earth s surface deduced from space, Available on http://www.yale.edu/ceo/Documentation/ceojfaq.ht ml.
- Sobrino, J.A. and El Kharraz, M.H., 1999, Combining afternoon and morning NOAA satellites for thermal inertia estimation: 1. Algorithm and its testing with Hydrologic Atmospheric Pilot Experiment-Sahel data, Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 104 (D8), 9445-9453.
- Studt, F.E., 1964, Geophysical prospecting in New Zealand's hydrothermal fields, U.N. Conference on New Sources of Energy, Unesco, Paris, 380 P.
- Tarlowski, C., Gunn, P.J. and Mackey, T., 1997, Enhancements of the magnetic map of Australia, AGSO Journal of Australia Geology and Geophysics, 17 (2), 77-82.
- Tronin, A.A., 1996, Satellite thermal survey- a new tool for the study of seismoactive regions, International Journal of Remote Sensing, 17 (8), 1439-1455.
- Tronin, A.A., 2000, Thermal IR satellite sensor data application for earthquake research in China, International Journal of Remote Sensing, 21 (16), 3169-3177.
- Wan, Z. and Dozier, J., 1996, A generalized splitwindow algorithm for retrieving land-surface temperature from space, Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions on, 34 (4), 892-905.
- Wan, Z., 1999, MODIS land-surface temperature algorithm theoretical basis document (LST ATBD), Institute for Computational Earth System

of Jiangshan-Shaoxing Fault between Jinhua and Quzhou of Zhejiang Province, China, Chinese Journal of Geophysics, 51 (5), 1048-1058.

- Nabighian, M.N., 1972, The analytic signal of twodimensional magnetic bodies with polygonal Across- section: Its properties and use for automated anomaly interpretation, Geophysics, 37, 507-517.
- Neawsuparp, K., Charusiri, P. and Meyers, J., 2005, New processing of airborne magnetic and electromagnetic data and interpretation for subsurface structures in the Loei area, Northeastern Thailand, Science Asia, 31, 283-298.
- Noorollahi, Y., Itoi, R., Fujii, H. and Tanaka, T., 2007, GIS model for geothermal resource exploration in Akita and Iwate prefectures, northern Japan, Computers & Geosciences, 33 (8), 1008-1021.
- Palmason, G., 1975, Geophysical methods in geothermal exploration, In: Proceedings of the 2nd U.N. Symposium on the Development and Use of Geothermal Resources, 2, U.S. Government Printing Office, Washington, DC, pp. 1175-1184.
- Qin, J., Yang, K., Lu, N., Chen, Y., Zhao, L. and Han, M., 2013, Spatial upscaling of in-situ soil moisture measurements based on MODIS-derived apparent thermal inertia, Remote Sensing of Environment, 138, 1-9.
- Qin, Q., Zhang, N., Nan, P. and Chai, L., 2011, Geothermal area detection using Landsat ETM+ thermal infrared data and its mechanistic analysis-A case study in Tengchong, China, International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 13 (4), 552-559.
- Raj, K.B.G. and Fleming, K., 2008, Surface temperature estimation from Landsat ETM+ data for a part of the baspa basin, NW Himalaya-India, Bulletin of Glaciological Research, 25, 19-26.
- Rao, D.A., Babu, H.R. and Narayan, P.S., 1981, Interpretation of magnetic anomalies due to dikes: The complex gradient method, Geophysics, 46 (11), 1572-1578.
- Reynolds, R.L., Rosenbaum, J.G., Hudson, M.R. and Fishman, N.S., 1990, Rock magnetism, the distribution of magnetic minerals in the Earth's crust, and aeromagnetic anomalies, US Geological Survey Bulletin, 1924, 24-45.
- Roest, W.R., Verhoef, J. and Pilkington, M., 1992, Magnetic interpretation using the 3-D analytic signal, Geophysics, 57, 116-125.

Sabol, D.E., Gillespie, A.R., McDonald, E. and

110-117.

.

- Yousefi, H., Ehara, S. and Noorollahi, Y., 2007, Geothermal potential site selection using gis in Iran, Thirty-Second workshops on geothermal reservoir engineering, Stanford University, California, pp. 174-182.
- Wu, W., Zou, L., Shen, X., Lu, S., Su, N., Kong, F. and Dong, Y., 2012, Thermal infrared remote-sensing detection of thermal information associated with faults: A case study in Western Sichuan Basin,

China, Journal of Asian Earth Sciences, 43 (1),

Science, Santa Barbara, 75 P.



JOURNAL OF RESEARCH ON APPLIED GEOPHYSICS

(JRAG) 2017, Vol 3, No 1 (DOI): 10.22044/jrag.2017.885



# Remote sensing and magnetic studies to explore geothermal resources in Sirch-Golbaf area, Kerman province

Mohammad Fahim Avish<sup>1</sup>, Hojjatollah Ranjbar<sup>2\*</sup>, Azadeh Hojat<sup>3</sup>, Saeed Karimi Nasab<sup>4</sup> and Iman Masoumi<sup>5</sup>

1- M.Sc. Student, Department of Mining Engineering, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran 2- Professor, Department of Mining Engineering, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran

2- Professor, Department of Mining Engineering, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran

3- Assistant Professor, Department of Mining Engineering, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran

4- Associate Professor, Department of Mining Engineering, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran
5- Ph.D. Student, Department of Mining Engineering, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran

#### Received: 13 September 2016; Accepted: 27 February 2017

Corresponding author: h.ranjbar@uk.ac.ir

Keywords	Extended Abstract		
MODIS	Summary		
Landsat ETM+	In this study, satellite images, and aeromagnetic and ground magnetic data were		
ASTER	analyzed to explore the geothermal potential in Sirch-Golbaf area in Kerman		
LST	province. Thermal anomalies and apparent thermal inertia images were studied		
Apparent Thermal Inertia	using MODIS, Landsat and ASTER images. As a result, two thermal anomalies		
Aeromagnetic Data	were obtained; one in the southeastern part of the study area and the other one in		
Ground Magnetic Data	Jooshan location. Magnetic investigations also detected two anomalies; a deep		
C	magnetic anomaly in the southern part of the area and another magnetic		
	anomaly near Jooshan hot spring in the northeastern part. These magnetic		

anomalies were correlated with thermal anomalies.

#### Introduction

Remote sensing techniques are helpful reconnaissance tools for detecting surface temperature anomalies and identifying geothermal indicators (Calvin et al., 2005). Lu et al. (2008) used Landsat ETM+ thermal images to detect thermal anomalies strongly correlated with faults in certain scales in the Jiangshan-Shaoxing fault in the Zhejiang Province, China. They defined thermal anomalies as areas having temperatures higher than the temperature of the spatial background. In a geothermal resource exploration in Akita and Iwate prefectures, northern Japan, Noorollahi et al. (2007) showed that 95% of the production wells were located in a zone within 6000 m to the active faults and 4000 m to hot springs.

Magnetic measurements are also generally used in geothermal exploration programs to locate hidden intrusive bodies and possibly estimate their depths. Moreover, they can be used to trace buried dykes and faults, and also to detect areas of reduced magnetization due to thermal activity (Georgeson, 2009). A variety of magnetic studies in geothermal exploration projects having different objectives can be found in the literature (e.g. Hojat et al., 2016; Gailler et al., 2014; Georgsson, 2009; Hunt, 1989; Palmason, 1975). The aim of this study is to analyze remote sensing and magnetic data (airborne and ground measurements) for evaluating the geothermal potential zones in an area east of Kerman Province.

#### Methodology and Approaches

The input data in this research include MODIS, MOD11\_L2 005 (day and night) reflectance and LST products, for the year 2015, ASTER L1T night-time image on November 10, 2015, Landsat ETM+ day-time image on November 14, 2015, aeromagnetic data collected by Houston Texas Co., USA, in 1975-1977, and geomagnetic total intensity contour map of Gowk area having 1:50000 scale, which surveyed by Atomic Energy Organization of Iran. Ground magnetic survey is also carried out in an area around Joshan hot spring.

A comparison of the day-time and night-time images can reveal surface thermal differences for detecting geothermal anomalies. Land surface temperature was calculated using generalized split-window algorithm for MODIS sensor (Wan and Dozier, 1996), emissivity normalization method for ASTER (Coll et al., 2007; Banerjee et al., 2014), and LST calculation method for Landsat sensor (Barsi et al., 2003; Barsi et al., 2005; Coll et al., 2010). Apparent thermal inertia of the three sensors was calculated using albedo and LST difference of day and night (Sabol et al., 2006; Scheidt et al.,

### JRAG, 2017, VOL 3, NO 1.

# 2010; Chang et al., 2012; Qin et al., 2013).

After removal of noise from the observed magnetic data, processing steps including main field removal using IGRF model of the proper period, reduction to the pole, and upward continuation were applied on the magnetic data. The processed magnetic data were finally interpreted in order to locate the hidden intrusive bodies and faults.

#### **Results and Conclusions**

Two thermal anomalies were detected on the maps and charts obtained for the average temperature difference (day and night) and apparent thermal inertia. One anomaly was located in the Jooshan area and the other one was situated in the western part of Gowk fault and continues along it to the southeastern side. Gowk fault is an active fault with Jooshan (45 C) hot spring, and most earthquakes larger than magnitude 5 have occurred in this part. These might be evidences of a thermal anomaly. The results of magnetic interpretations confirmed thermal anomalies showing a deep magnetic anomaly in the southern part of the study area and another magnetic anomaly in the Jooshan hot spring.