

تحلیل الگوی دمای سطحی گنبدهای نمکی گچ و سیاه طاق با استفاده از روش‌های دورسنجی، منطقه زاگرس

بابک سامانی^۱، سجاد زارعی^۲ و عاطفه قنبری عدبوی^۳

^۱دانشیار، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران

^۲استادیار، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران

^۳دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران

اطلاعات مقاله

تاریخچه مقاله:

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۹/۱۹

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۴/۲۱

تاریخ انتشار: ۱۴۰۱/۰۱/۰۱

کلیدواژه‌ها:

دمای سطح زمین

الگوریتم پنجره مجزا

گنبد نمکی

شهرستان لار

ناهنجاری دمایی

چکیده

روش الگوریتم پنجره مجزا به عنوان یک روش مؤثر در استخراج دمای سطح زمین به شمار می‌آید. هدف از این پژوهش استفاده از الگوریتم پنجره مجزا برای به دست آوردن الگوی دمای سطحی گنبدهای نمکی گچ و سیاه طاق، واقع در جنوب خاور شهرستان لار در استان فارس است. در این پژوهش برای انجام تحلیل‌های حرارتی از تصاویر سنجنده‌های OLI و TIRS ماهواره لندست ۸ استفاده شده است. نتایج الگوی دمایی نشان می‌دهد که در حالت کلی دمای سطحی گنبد نمکی گچ در مقایسه با گنبد نمکی سیاه طاق از دمایی بیشتری برخوردار است. با توجه به نقشه LST حاصله، بیشترین دما در گنبد نمکی گچ ۴۱/۸۷ درجه سانتی‌گراد و در گنبد نمکی سیاه طاق ۳۶/۷ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. از لحاظ ساختاری بالاتر بودن دمای گنبد نمکی گچ را می‌توان احتمالاً در ارتباط با ریشه‌دار بودن این گنبد نمکی و ارتباط آن با ستون نمکی پی سنگی دانست. در حالی که دمای پایین‌تر گنبد نمکی سیاه طاق می‌تواند ناشی از عدم ارتباط گنبد نمکی با منبع نمکی سری هرمز باشد. نقشه‌های حاصله نشان‌دهنده الگوهای دمایی متفاوت در گنبدهای نمکی مورد مطالعه می‌باشد. الگوی مکانی ناهنجاری دمایی در گنبد نمکی سیاه طاق نشان‌دهنده یک روند خطی در بخش خاوری آن می‌باشد. این الگوی دمای خطی در گنبد نمکی سیاه طاق را می‌توان در ارتباط با تابش صبحگاهی خورشید به دامنه خاوری این نمکشار دانست. همچنین این الگوی دمای خطی در گنبد نمکی سیاه طاق را احتمالاً می‌توان به وسیله وجود یک سامانه گسلی عرضی در ضلع خاوری گنبد نمکی سیاه طاق توجیه کرد.

۱- پیش‌نویسار

و تحلیل آنها نشان داد که طیف گسترده‌ای از الگوهای هدایت گرمایی می‌تواند با جریانات بالا و پایین رفتن نمک در گنبدهای نمکی ارتباط داشته باشد. آنها دریافتند که هدایت گرمایی قادر به بالا کشاندن املاح نمکی در روی سطح گنبد است. دمای سطح زمین یکی از مهمترین پارامترهای مؤثر در مطالعات جهانی به شمار می‌آید که پارامتر مهمی در کنترل فرایندهای بیولوژیکی، شیمی و فیزیکی زمین است (Zareie and Kabolizadeh, 2020). دمای سطح زمین تابعی از انرژی خالص در سطح زمین است که به مقدار انرژی رسیده به سطح زمین، گسیلندگی سطح، رطوبت و جریان هوای اتمسفر بستگی دارد. استفاده از روش‌های دورسنجی و تصاویر ماهواره‌ای می‌تواند در برآورد دمای سطح زمین بسیار مفید باشند. در واقع یکی از کاربردهای مهم سنسجش از دور حرارتی تهیه نقشه دمای سطح زمین (Land Surface Temperature, LST) می‌باشد (Zareie et al., 2016; Rangzan et al., 2019; Zareie and Kabolizadeh, 2020). از جمله سنجنده‌هایی که می‌توان با استفاده از آنها دمای سطح زمین را تخمین زد می‌توان به سنجنده‌های سری Landsat و همچنین ASTER اشاره کرد. یکی از فناوری‌های سنسجش از دور،

گنبدهای نمکی ساختارهای زمین‌شناسی گنبدی شکلی هستند که در اثر حرکت نمک و صعود آن طی سازوکار دیاپیرسیم تشکیل می‌شوند (Twiss and Moores, 2007; Fossen, 2016). گنبدهای نمکی و رسوبات مجاور آنها نمونه‌ای از یک محیط زمین‌شناسی پیچیده هستند که بر همکنش‌های قوی میان جریان‌های آب زیرزمینی، غلظت نمک و دما در آنها رخ می‌دهد (Jackson and Hudes, 2017). در رابطه با مکانیسم هدایت گرما و نمک در زیر سطح زمین و تغییرات شیمیایی آن در بیرون از زمین، پژوهشگران زیادی از جمله (Langevin et al., 2010; Ranganathan, 1992; Younes, 2003; Hughes and Sanford, 2004; Geiger et al., 2006; Thorne et al., 2006) مختلفی به انجام رسانده‌اند. McPherson and Garven (1999) جریان انتقال گرمای نمک را در یک محیط متخلخل در اثر یک حرارت غیر یکنواخت از یک دامنه عمودی ۲ بعدی مورد بررسی قرار داد. (Evans and Nunn (1989) با توجه به تجزیه و تحلیل‌های شبیه‌سازی شده عددی، هدایت گرمایی و انتقال نمک در رسوب‌های همگن اطراف یک گنبد نمکی استوانه‌ای شکل را مورد مطالعه قرار دادند. تجزیه

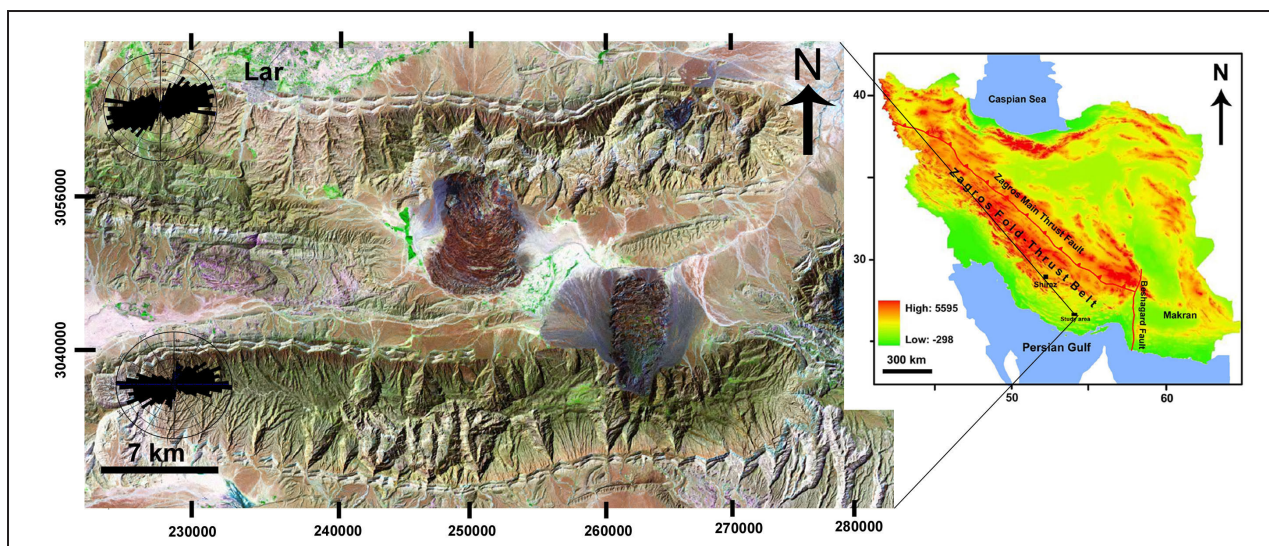
سری‌های تبخیری در ایران به جز گنبد‌های نمکی زاگرس که متعلق به پروتروزویک فوقانی - کامبرین تحتانی است، از ژوراسیک تا میوسن و پراکندگی آنها از آذربایجان تا نواحی مرکزی و جنوبی و به طرف خاور تا نیشابور دیده می‌شود. ساختارهای نمکی هم در مناطق زمین‌ساختی کششی و هم در مناطق زمین‌ساختی فشارشی تشکیل می‌شوند (Fossen, 2016). از آنجا که بسیاری از ایالت‌های نفتی دارای لایه‌های نمک بوده و با توسط زمین‌ساخت نمک دگرشکل شده‌اند مطالعه ساختارهای نمکی دارای اهمیت فراوانی است (Fossen, 2016). گنبد‌های نمکی، پلاگ‌های نمکی و نمک‌شارها مهمترین سیماهای سطحی نمک هستند. واژه نمک‌شار اولین بار توسط Lees (1926) برای حرکت‌های جانبی گنبد‌های نمکی تحت تأثیر شیب زمین به کار برده شد. گنبد‌های نمکی، پلاگ‌های نمکی و نمک‌شارها از سیماهای منحصراً به فرد زمین‌ساخت نمک در زاگرس هستند. سرعت جریان در نمک‌شارهای زاگرس بین ۱۶۰ تا ۳۰ سانتی‌متر در سال می‌باشد (Fossen, 2016).

منطقه مورد مطالعه با موقعیت عرض جغرافیایی ۲۶° ۴۲' ۲۷" تا ۱۹° ۵۲' ۲۷" شمالی و طول جغرافیایی ۳۷° ۱۰' ۵۴" تا ۴۰° ۴۰' ۵۴" خاوری بخشی از کمربند چین‌خورده پیش‌خشکی زاگرس می‌باشد و در جنوب خاوری شهرستان لار در استان فارس واقع شده است (شکل ۱). روند چیره ساختارهای منطقه خاوری - باختری، عمود بر سوی همگرایی صفحات عربی - اوراسیا می‌باشد. گسل لار (Berberian, 1995; Oveisi and Yousefi, 1999) مهم‌ترین گسل موجود در منطقه است. از لحاظ چینه‌شناسی بیرون‌زدگی‌های سری نمکی هرمز با سن اینفراکامبرین قدیمی‌ترین واحد سنگی در منطقه بوده و واحدهای سنگی با سن کرتاسه بالایی تا واحدهای سنگی سنوزویک و رسوبات عهد حاضر مهمترین رخنمون‌های موجود در منطقه مورد مطالعه می‌باشند. شکل ۲ نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد. در منطقه لار نه تنها نقش واحد جدایشی زیرین (سازند هرمز) اهمیت ویژه‌ای دارد، بلکه واحد تراز میانی دشتک نیز در الگوی گسترش تغییرشکل‌های جوان و کینماتیک چنین تغییرشکل‌هایی نقش مهمی دارد (هاشمی و همکاران، ۱۳۹۱). تاکدیس‌های کوه گچ و بورخ با روند محوری خاوری - باختری مهمترین تاکدیس‌ها در بخش‌های شمالی و جنوبی منطقه هستند. بارزسازی شکستگی‌ها و گسل‌های موجود در این تاکدیس‌ها به روش چشمی و رسم نمودار گل‌سرخ نشان‌دهنده روند غالب شکستگی‌ها با راستای خاوری - باختری و شمال خاوری - جنوب باختری می‌باشد (شکل ۱).

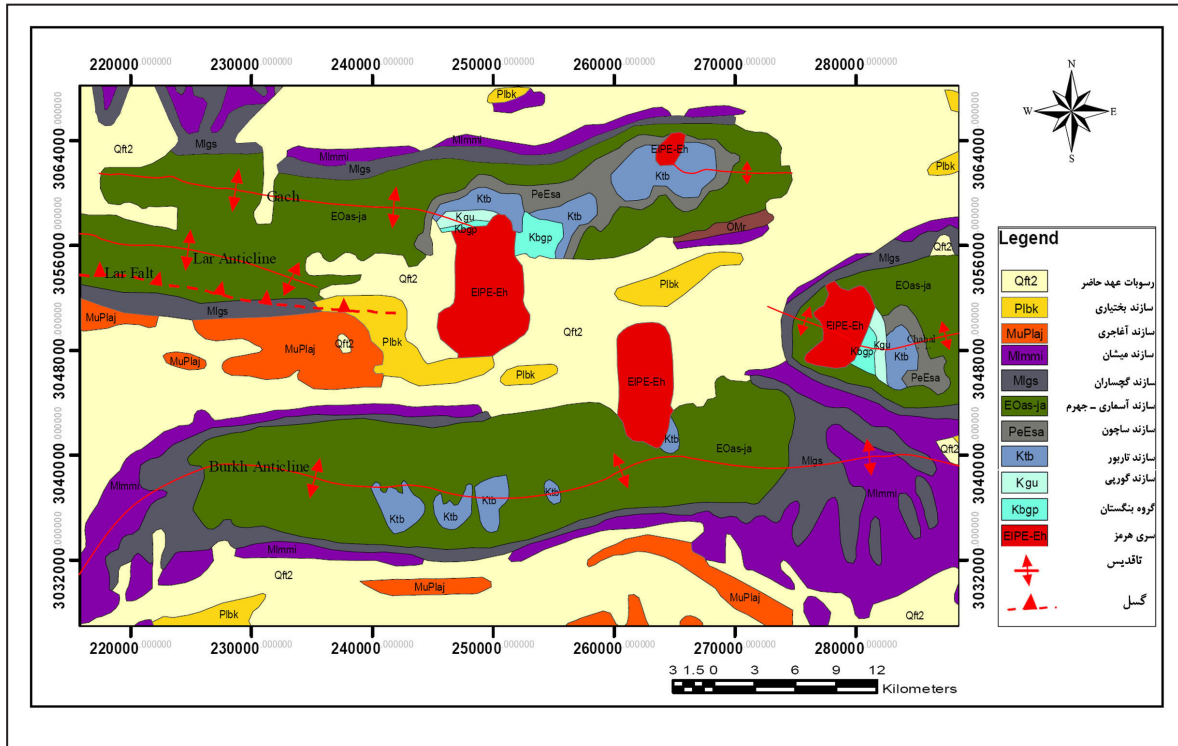
دمانگاری است که مبتنی بر اندازه‌گیری تابش‌های حرارتی اشیا در سطح زمین است. اطلاعات به دست آمده از ناحیه مادون قرمز حرارتی، کمک زیادی به مطالعه پدیده‌های مختلف می‌کند (علوی‌پناه، ۱۳۸۷). از این روش استفاده از روش‌های سنجش از دور و پردازش تصاویر ماهواره‌ای برای شناسایی و بررسی پدیده‌های زمین‌شناسی (از جمله گنبد‌های نمکی) بسیار کارآمد به نظر می‌رسد (Yassaghi, 2006). تاکنون مطالعات متنوعی در قلمرو زمین‌ریخت‌شناسی، زمین‌شناسی ساختاری و ژئوشیمی گنبد‌های نمکی ایران صورت پذیرفته است. اما مطالعات زیادی در خصوص بررسی الگوی دمایی در گنبد‌های نمکی ایران صورت پذیرفته است. مطالعه صورت گرفته بر روی الگوی دمای گنبد‌های نمکی جهانی، کنار سیاه و خوراب را می‌توان تنها مطالعه صورت گرفته در این زمینه دانست (رنگزن و همکاران، ۱۳۹۶). در این نوشتار سعی شده است تا با استفاده از روش‌های سنجش از دور به بررسی الگوی دمای سطحی گنبد‌های نمکی گچ و سیاه طاق پرداخته شود. این گونه مطالعات در شناخت سریع مناطق با الگوی حرارتی بالاتر از دمای معمول سطح زمین می‌تواند در راستای مکان‌یابی، برای استفاده از انرژی‌های زمین‌گرمایی مورد استفاده قرار گیرد.

۲- جایگاه زمین‌ساختی منطقه مورد مطالعه

کمربند چین‌خورده زاگرس با طول تقریبی ۱۸۰۰ کیلومتر با روند عمومی شمال باختر - جنوب خاور در بخش میانی کمربند کوهزایی آلپ - هیمالیا قرار گرفته است (Stocklin, 1968). رشته‌کوه زاگرس از کوه‌های تاوروس در شمال خاور ترکیه (Scott, 1981) تا تنگه هرمز در ایران توسعه یافته است (Falcon, 1969; Stocklin, 1968; Haynes and McQuillan, 1974; Alavi, 1994; Jahani et al., 2007). کمربند چین‌خورده - راندگی زاگرس یک زون ترفشارشی (transpression) است که در اثر برخورد بین صفحه سنگ کره‌ای آفرو - عربی و خرد قاره ایران مرکزی با زاویه‌ای حدود ۲۵ درجه ایجاد شده است (Sarkarinejad and Azizi, 2008). این همگرایی در بخش جنوب خاور تقریباً عمودی بوده و در بخش شمال باختر از تمایل بیشتری برخوردار می‌باشد (Vernant and Chery, 2006; Talebian and Jackson, 2004). برپایه انباشته‌های نمکی سری هرمز، زاگرس را به دو بخش جنوب خاوری، یا «حوضه هرمز» و بخش شمال باختری، یا «حوضه اهواز» تقسیم می‌کند که مرز جدایی این دو، بر خطواره قطر - کازرون منطبق است. همه سنگ‌های زاگرس را می‌توان به دو گروه پی‌سنگ دگرگونه پرکامبرین و پوشش رسوبی روی پی‌سنگ تقسیم کرد (Alavi, 2004).



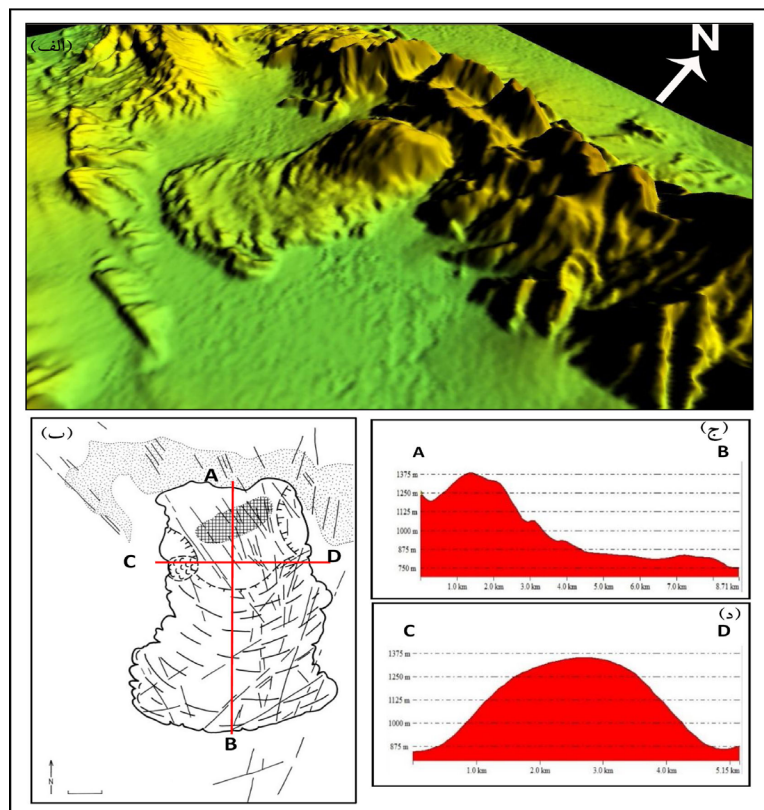
شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه در کمربند چین و گسل خورده زاگرس و تصویر ماهواره‌ای منطقه.



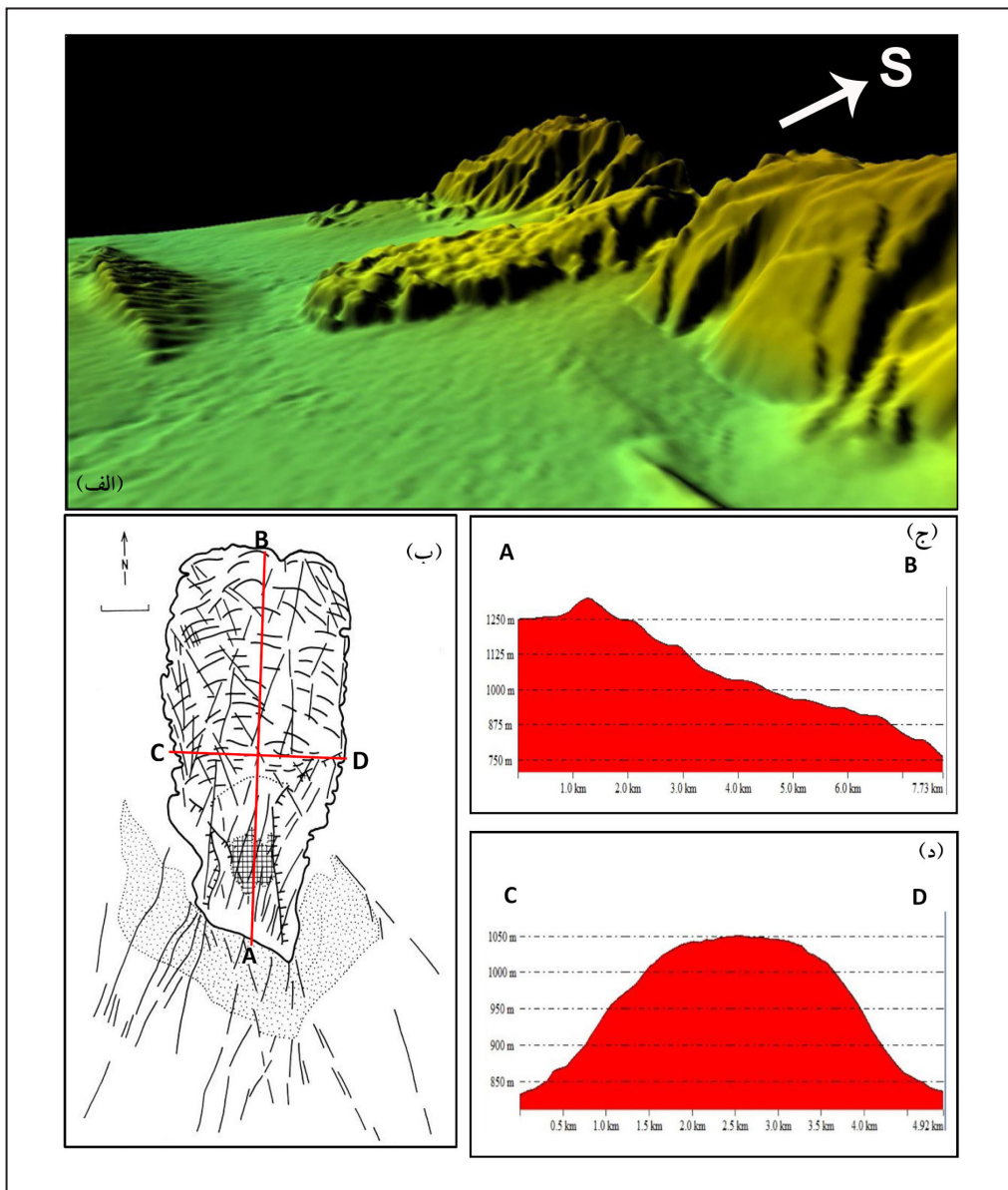
شکل ۲- نقشه زمین‌شناسی محدوده مورد مطالعه.

۸ کیلومتر و عرض آن حدود ۶ کیلومتر است (شکل ۳). گنبد نمکی سیاه طاق دارای ظاهر تخم‌مرغی شکل تا دوزنقه‌ای کشیده می‌باشد. بیشترین طول این ساختار ۷ کیلومتر و عرض آن حدود ۴ کیلومتر است (شکل ۴).

همچنین گنبد‌های نمکی گچ و سیاه در شمال و جنوب منطقه از مهمترین ساختارهای گنبد نمکی منطقه به شمار می‌آیند. گنبد نمکی گچ در یال جنوبی تاق‌دیس کوه قرار دارد و دارای ظاهر گلابی شکل است. بیشترین طول نمکشار



شکل ۳. الف) تصویر سه بعدی از گنبد نمکی گچ؛ ب) نمای کلی نمکشار گچ (Bosak et al., 1998)؛ ج) نیمرخ توپوگرافی طولی در جهت AB و د) نیمرخ توپوگرافی عرضی در جهت CD.



شکل ۴- الف) تصویر سه‌بعدی از گنبد نمکی سیاه طاق؛ ب) نمای کلی نمک‌شمار سیاه طاق (Bosak et al., 1998)؛ ج) نیمرخ توپوگرافی طولی در جهت AB و د) نیمرخ توپوگرافی عرضی در جهت CD.

۳- روش کار

در این مطالعه به منظور انجام مطالعات مربوط به سنجش از دور حرارتی، تصویر سنجنده OLI و TIRS ماهواره لندست ۸ که در تاریخ ۱۱ دسامبر ۲۰۱۸ در ساعت ۶ و ۵۱ دقیقه صبح تصویربرداری شده است، مورد استفاده قرار گرفته است. سنجنده‌های حرارتی قادر هستند حرارت سطح زمین را به وسیله ثبت رادینانس حرارتی صادر شده از سطح زمین (مناطق که در میدان دید سنجنده هستند) بازیابی کنند. به طور کلی دمای سطح زمین پارامتر کلیدی در فیزیک رفتارهای سطح زمین است. از روش‌های تخمین دمای سطح زمین می‌توان به Single-Window، Split-Window و Dual Angle Algorithm اشاره کرد. در این پژوهش با توجه به اینکه از تصاویر لندست ۸ که دارای دو باند حرارتی در محدوده طول موج ۱۰/۵ تا ۱۲/۵ میکرومتر هستند استفاده شده است بنابراین برای محاسبه دمای سطح زمین از الگوریتم پنجره مجزا (Split-Window) به دلیل در نظر گرفتن کل انرژی گسیل شده در محدوده ۱۰/۵ تا ۱۲/۵ استفاده شده است. شکل ۵ روند محاسبه دمای سطح زمین با استفاده از

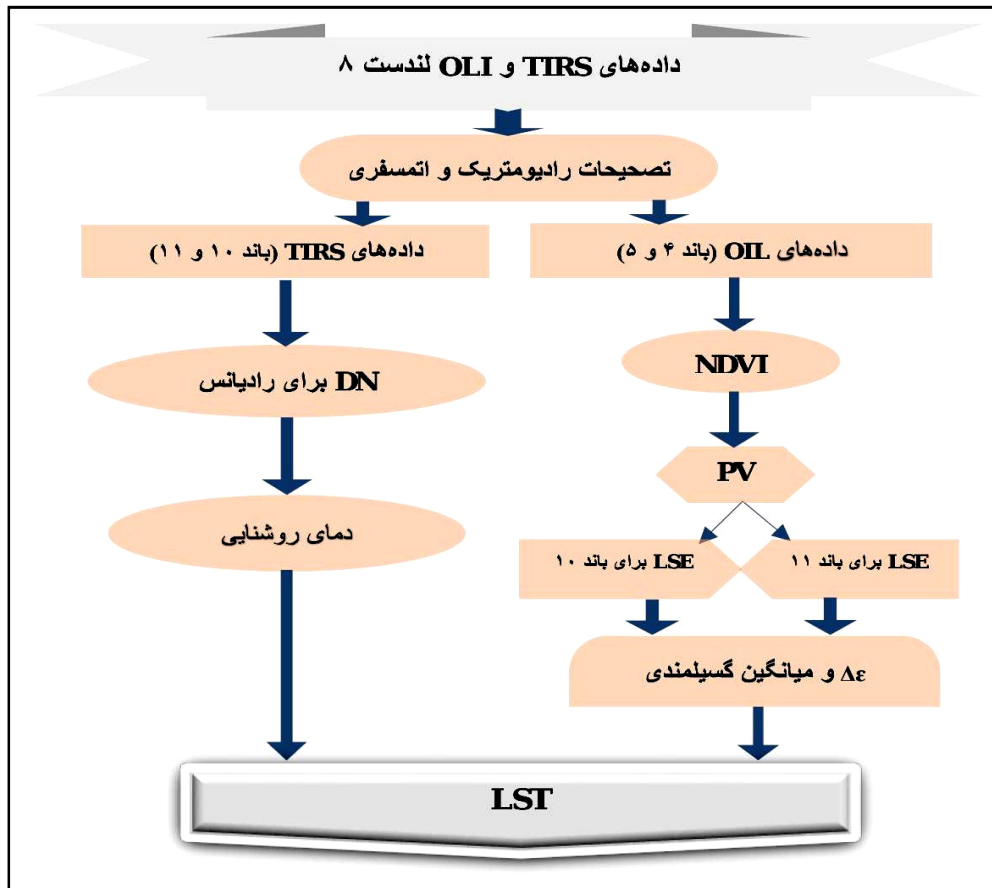
الگوریتم پنجره مجزا را نشان می‌دهد.

۴- شاخص پوشش گیاهی NDVI

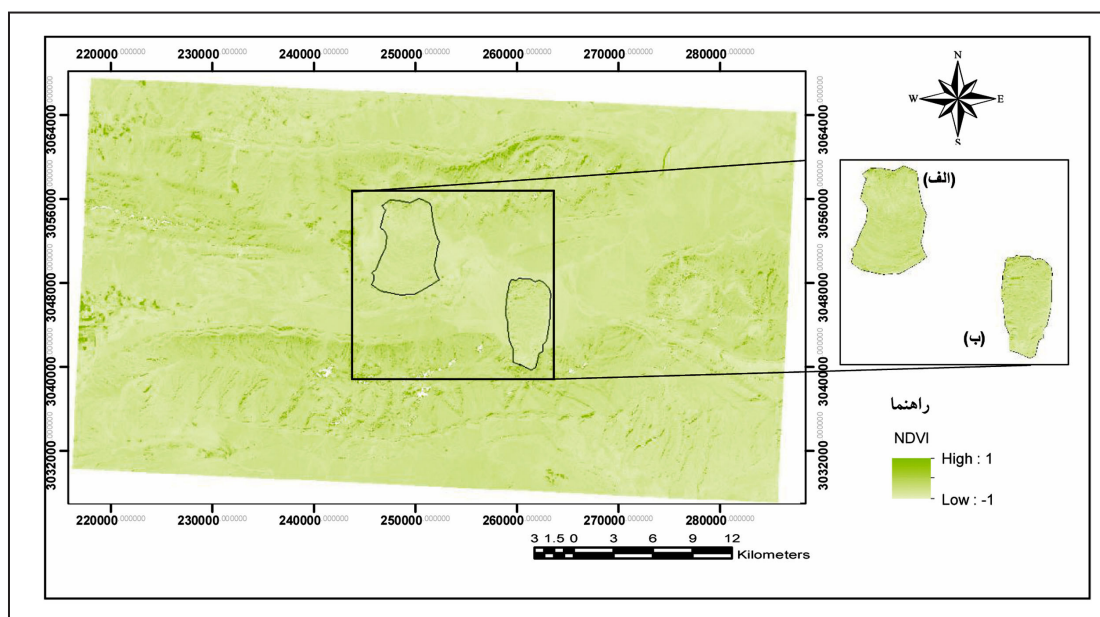
با توجه به اینکه شاخص پوشش گیاهی نقش عمده‌ای در نقل و انتقال انرژی بین زمین و اتمسفر دارد و آثار متفاوتی بر روی عناصر اقلیمی از جمله دمای پیرامون خود می‌گذارد، در نتیجه می‌توان آن را به عنوان یکی از فاکتورهای تأثیرگذار در محاسبه دمای سطح زمین (LST) به حساب آورد. این شاخص بیشترین حساسیت را به تغییرات پوشش گیاهی داشته و در مقابل اثرات جوی و زمینه خاک (به جز در مواردی که پوشش گیاهی کم باشد)، حساسیت کمتری دارد. برای برآورد شاخص پوشش گیاهی از باندهای قرمز (۴) و مادون قرمز نزدیک (۵) تصاویر لندست ۸ استفاده شده است. فرمول شاخص پوشش گیاهی (Reutter et al., 1994)؛ (Rajeshwari and Mani, 2014) به شرح زیر است:

مقدار آن بین اعداد +۱ تا -۱ متغیر است. مقادیر منفی در این شاخص حاکی از عدم حضور پوشش گیاهی و مقادیر مثبت مناطق با پوشش گیاهی بالا را نشان می‌دهد (شکل ۶).

رابطه (۱) $NDVI = (NIR - Red) / (NIR + Red)$ در فرمول بالا NIR باند مادون قرمز نزدیک و Red باند قرمز تصویر ماهواره‌ای منطقه است. این شاخص با استفاده از فرمول مذکور محاسبه و



شکل ۵- طرح کلی مراحل محاسبه LST (Zareie et al., 2016).



شکل ۶- الف) شاخص پوشش گیاهی منطقه و نمکشارهای گچ و (ب) سیاه طاق.

۴- محاسبه پوشش گیاهی سبز جزء به جزء (FVC)

پوشش گیاهی سبز جزء به جزء (FVC) یکی از پارامترهایی است که در بسیاری از برنامه‌های کاربردی محیط زیست و تغییرات آب و هوایی کاربرد دارد. یک رویکرد مشترک برای برآورد FVC شامل ترکیبی غیر خطی از دو عنصر طیفی در یک تصویر سنجنش از راه دور شامل؛ خاک لخت و پوشش گیاهی سبز است. برای محاسبه FVC فرمول زیر (Shaouhua et al., 2009; Rajeshwari and Mani, 2014) (به کار گرفته می‌شود):

$$FVC = \frac{(NDVI - NDVI_s)}{(NDVI_v - NDVI_s)} \quad \text{رابطه ۲}$$

$$NDVI_s = 0.2$$

$$NDVI_v = 0.8$$

در این رابطه، NDVI شاخص پوشش گیاهی، NDVI_s مناطق بدون پوشش گیاهی شاخص و NDVI_v مناطق پوشیده از گیاه شاخص می‌باشند.

– **گسیلمندی سطح زمین (LSE):** قابلیت انتشار در سطح زمین یکی از معیارهایی است که برای محاسبه دمای سطح زمین لازم و ضروری است. این معیار به صورت جدا گانه در هر دو باند حرارتی ماهواره لندست ۸ برای گیاه و خاک محاسبه می‌شود. رابطه محاسبه LSE (Shaouhua et al., 2009; Rajeshwari and Mani, 2014) به صورت زیر می‌باشد:

$$LSE = (\epsilon_v \times FVC) + (\epsilon_s \times (1 - FVC)) + d\epsilon \quad \text{رابطه ۳}$$

در رابطه فوق FVC پوشش گیاهی سبز جزء به جزء، dε اثر توزیع هندسی سطوح طبیعی و بازتاب داخلی، ε_v و ε_s مقادیر ضریب انتشار خاک و گیاه به تفکیک باند هستند که مقادیر ضرایب انتشار در زیر ارائه شده است:

$$\begin{cases} \epsilon_v = 0.987 \\ \epsilon_s = 0.971 \end{cases} \quad \text{باند ۱۰}$$

$$\begin{cases} \epsilon_v = 0.989 \\ \epsilon_s = 0.977 \end{cases} \quad \text{باند ۱۱}$$

– **رادینانس طیفی بالای اتمسفر:** برای محاسبه رادینانس باندهای حرارتی لندست ۸ فرمول زیر به کار گرفته می‌شود که در این فرمول M_L و A_L ثابت‌های تبدیل می‌باشند:

$$L_\lambda = M_L \times QCAL + A_L \quad \text{رابطه ۴}$$

در این فرمول M_L و A_L ضرایب تبدیل بوده که از فرا داده استخراج می‌شوند و QCAL تصویر خام باندهای ۱۰ و ۱۱ می‌باشد (Shaouhua et al., 2009).

(Rajeshwari and Mani, 2014).

$$M_L = 0.0003342$$

$$A_L = 0.1$$

– **دمای روشنایی (BT):** در سنجنش از دور دمای سطح زمین را که در فضای بالای اتمسفر توسط سنجنده‌ها به دست می‌آید دمای روشنایی می‌نامند که تحت تأثیر جذب و پخش اتمسفری کمتر از دمای سطح زمین می‌باشد (Reutter et al., 1994).

داده‌های باند حرارتی را می‌توان با ثابت حرارتی موجود در فایل فرا داده از رادینانس طیفی به دمای روشنایی تبدیل کرد. برای این امر فرمول زیر مورد استفاده قرار می‌گیرد:

$$BT = \frac{K_2}{L_n \left(\frac{k_1}{L_\lambda} + 1 \right)} \quad \text{رابطه ۵}$$

در این رابطه L_λ رادینانس طیفی بالای اتمسفر و K₁ و K₂ ثابت‌های حرارتی می‌باشند که مقادیر آنها برای باندهای ۱۰ و ۱۱ متفاوت است.

$$\begin{cases} k_1 = 774.89 \\ k_2 = 1321.08 \end{cases} \quad \text{باند ۱۰}$$

$$\begin{cases} k_1 = 480.89 \\ k_2 = 1201.14 \end{cases} \quad \text{باند ۱۱}$$

محاسبه LST

با توجه به در دسترس نبودن یک پایگاه داده برای اندازه‌گیری‌های LST با ماهواره لندست ۸ ضرایب C از طریق شبیه‌سازی با اعداد مختلف از شرایط اتمسفر و سطح به دست آمد (جدول ۱).

در مرحله آخر، تصویر رادینانس و دمای روشنایی باند حرارتی همراه با تصویر گسیلمندی برای محاسبه دمای سطح زمین به صورت ترکیبی مورد استفاده قرار می‌گیرد (شکل ۷).

رابطه ۶)

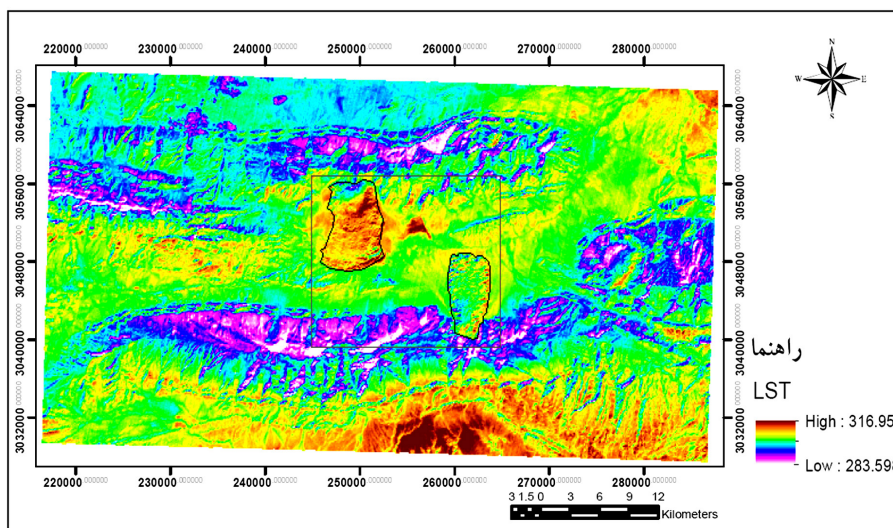
$$LST = BT_{10} + (C_1 \times (BT_{10} - BT_{11})) + (C_2 \times (BT_{10} - BT_{11})^2) + C_0 + ((C_3 + C_4 \times W) \times (1 - \epsilon)) + ((C_5 + C_6 \times W) \times \Delta\epsilon)$$

$$\text{دمای روشنایی} = (BT_{10} - BT_{11})$$

$$C_6 - C_0 = \text{ضرایب الگوریتم}$$

$$W = \text{بخار آب}$$

$$\Delta\epsilon = \text{اختلاف LSE}$$



شکل ۷- نقشه LST منطقه و نمکشارهای گچ و سیاه طاق.

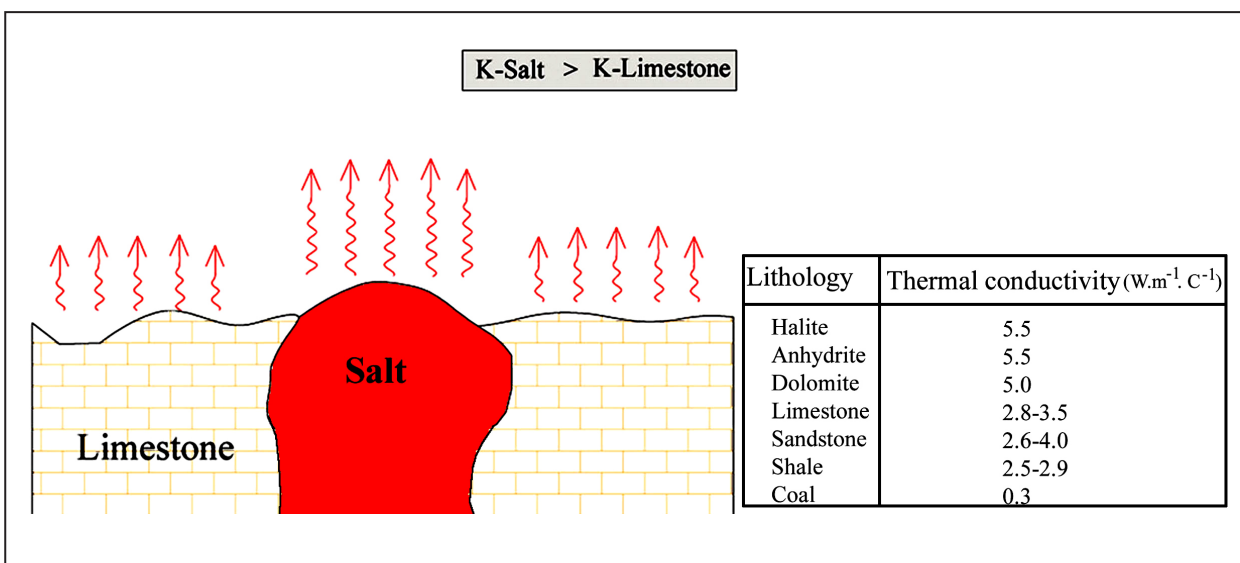
جدول ۱ - مقادیر ضرایب ثابت C (Shaouhua et al., 2009; Rajeshwari and Mani, 2014).

ضرایب	مقادیر
C ₀	-۰.۲۶۸
C ₁	۱.۳۷۸
C ₂	۰.۱۸۳
C ₃	۵۴.۳۰۰
C ₄	-۲.۲۳۸
C ₅	-۱۲۹.۲۰۰
C ₆	۱۶.۴۰۰

۶- بحث

از پیکره گنبد، نسبت به دیگر سنگ‌های همجوار است. شکل ۸ به صورت نمادین وجود جریان حرارتی بالاتر بر روی توده‌های نمکی نسبت به سنگ‌های همجوار در نتیجه بالاتر بودن ضریب انتقال حرارتی نمک و انتقال بهتر انرژی زمین گرمایی در فراز یک توده نمکی را نشان می‌دهد.

ترکیب گنبد‌های نمکی به تنهایی شامل نمک نبوده و از لحاظ سنگ‌شناسی سنگ‌های دیگری همچون ژئیس، مارن و سنگ‌آهک نیز در پیکره آنها وجود دارد. عامل اصلی در بالاتر بودن دمای توده‌های گنبد‌های نمکی نسبت به واحدهای سنگی مجاور در حقیقت بیشتر بودن ضریب انتقال حرارتی نمک به‌عنوان بخش اعظمی



شکل ۸- تصویر شماتیک از جریان حرارتی بالاتر بر روی یک توده نمکی نسبتاً خالص نسبت به سنگ‌های همجوار در نتیجه بالاتر بودن ضریب انتقال حرارتی نمک (رنگزن و همکاران، ۱۳۹۶).

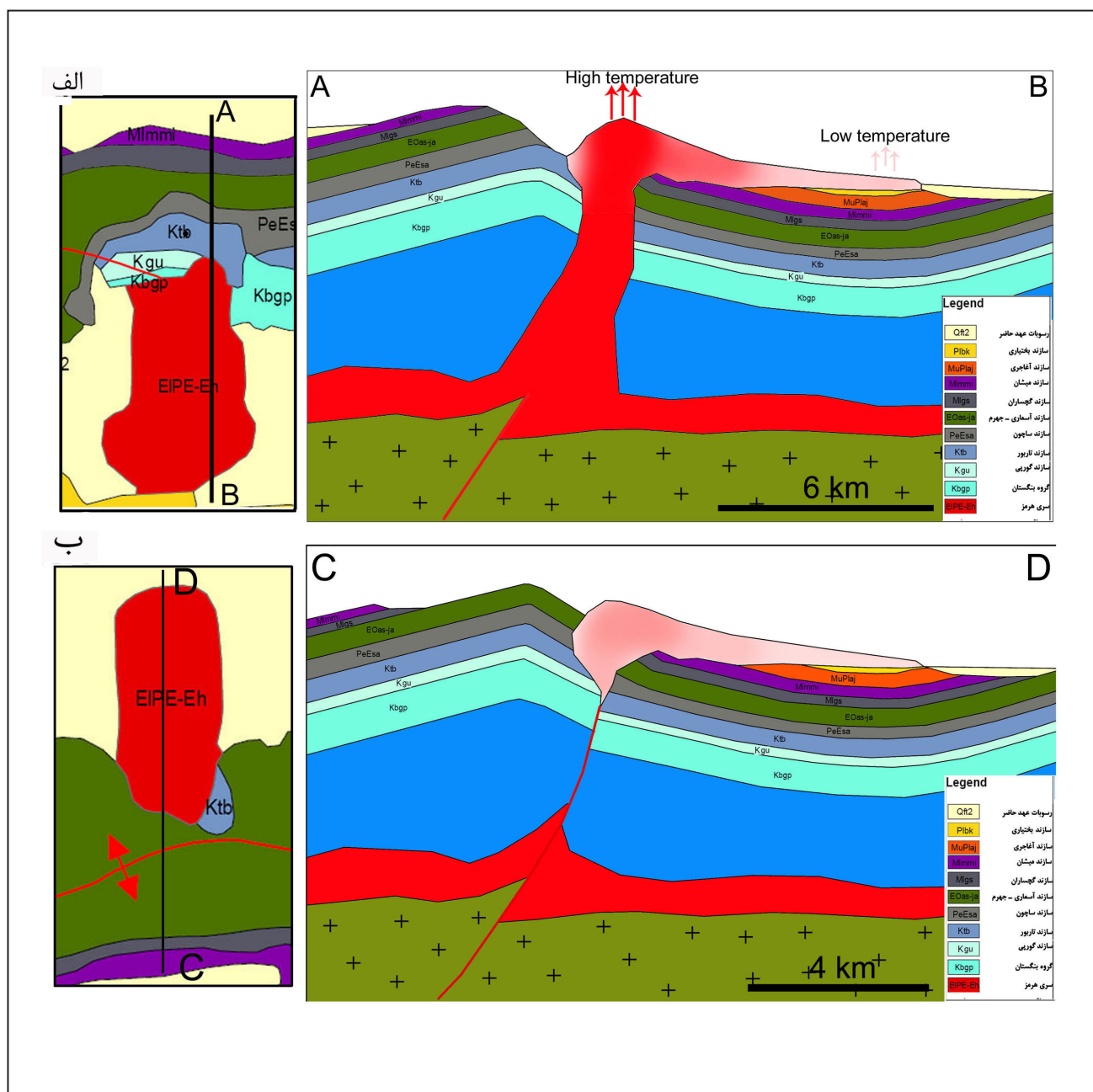
نشان داد که دمای سطحی بالاتر در یک جهت جغرافیایی مشترک در هر سه گنبد نمکی جهانی، کنار سیاه و خوراب وجود دارد. مقایسه نیمرخ توپوگرافی توده‌های گنبد نمکی و میزان دمای سطحی نشان‌دهنده یک ارتباط معکوس بین ارتفاع و میزان دما در این گنبد‌های نمکی است. با افزایش ارتفاع گنبد نمکی و غلبه نیروی وزن نمک بر نیروی بالاران یک جریان نمکی گرمتر از حاشیه گنبد در جهت شیب توپوگرافی در این گنبد‌های نمکی شکل گرفته است. نتایج نسبت مستقیم بین جهت شیب توپوگرافی و میزان دمای سطحی و نسبت معکوس بین عامل ارتفاع و دمای سطحی در هر سه گنبد نمکی مورد مطالعه را نشان می‌دهد. الگوی دمایی به‌دست آمده برای گنبد‌های نمکی سیاه طاق و گچ نشان می‌دهد که در حالت کلی گنبد نمکی گچ نسبت به گنبد نمکی سیاه طاق از دمای بالاتری برخوردار است (شکل ۷).

ستون صعودکننده نمک به دلیل حرکات و فشارهای زمین‌ساختی ممکن است به اندازه‌ای نازک و فشرده شود که ارتباط آن با منشأ تغذیه کاملاً قطع شود. بنابراین ممکن است سیمای متفاوتی از توده‌های زیرزمینی نمکی تشکیل شود. اعمال نیروهای زمین‌ساختی و تنش‌های فشاری - مماسی، تغییرات حرارتی، لغزندگی واحدهای ساختمانی و همچنین فرونشستن لایه‌های فوقانی بر روی نمک، جریان‌های قائم و افقی پیچیده‌ای را در توده‌های نمکی ایجاد می‌کند. بالاآمدگی گنبد‌های نمکی تحت تأثیر فرآیند دیاپیریسیم یا نیروی بالاران شدیداً وابسته به اختلاف چگالی توده‌های نمکی و سنگ‌های همجوار، حرارت توده و حجم آن است. بزرگ‌تر بودن این سه پارامتر سبب حرکت سریع‌تر و افزایش ارتفاع بیشتر توده نمکی خواهد شد. در مطالعه‌ای که توسط رنگزن و همکاران (۱۳۹۶) انجام شد، نتایج حاصل از LST

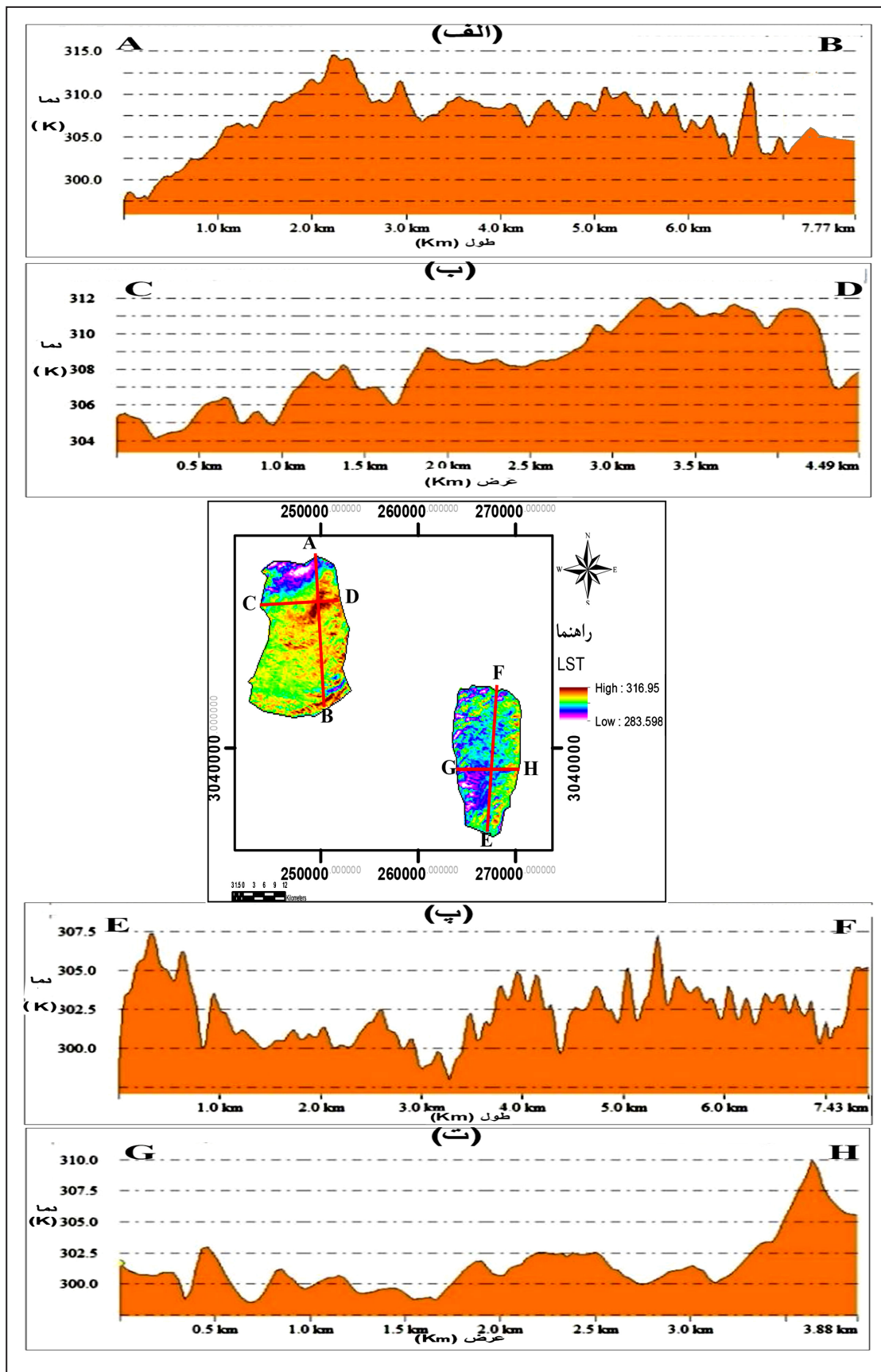
نشان‌دهنده بالاتر بودن دما در بخش‌های مرکزی گنبد نمکی نسبت به نواحی حاشیه ای آن است. درحالی که الگوی دمای سطحی در گنبد نمکی سیاه طاق نشان می‌دهد که دیواره خاوری گنبد دارای دمای بیشتری نسبت به دیگر نقاط آن است.

شکل ۱۰ نشان دهنده نیمرخ‌های حرارتی در جهت طولی و عرضی گنبد‌های نمکی گچ و سیاه طاق است.

از لحاظ ساختاری دمای بالاتر گنبد نمکی گچ را احتمالاً می‌توان در ارتباط با ریشه‌دار بودن این گنبد و ارتباط آن با ستون نمکی پی‌سنگی مرتبط دانست. این در حالی است که دمای پایین‌تر گنبد نمکی سیاه طاق می‌تواند در نتیجه عدم ارتباط گنبد نمکی با منبع نمکی سری هرمز و ریشه‌دار نبودن آن باشد (شکل ۹). حداکثر دمای محاسبه شده برای گنبد نمکی گچ ۴۱/۸ و برای گنبد نمکی سیاه طاق ۳۶/۷ درجه سانتی‌گراد است. الگوی دمای سطحی در گنبد نمکی گچ



شکل ۹- مدل ساختاری دو بعدی شماتیک (بدون رعایت مقیاس قائم) برای نمایش هندسه عمومی گنبد‌های نمکی در خصوص ارتباط یا عدم ارتباط با ریشه نمکی. به طور شماتیک تغییرات شدت رنگ قرمز در گنبد‌های نمکی نشان‌دهنده ناهنجاری دمای سطحی در بخش‌های مختلف آنها است. بخش تحتانی و آبی رنگ در مقاطع، نشان‌دهنده سنگ‌های پیش از کرتاسه می‌باشد. الف) گنبد نمکی گچ؛ ب) گنبد نمکی سیاه طاق.



شکل ۱۰- ۱- نیمرخ‌های حرارتی از گنبد نمکی‌های مورد مطالعه (دما برحسب کلون (K)). الف) نیمرخ حرارتی طولی از گنبد نمکی گچ در جهت A-B؛ ب) نیمرخ حرارتی عرضی از گنبد نمکی گچ در جهت C-D؛ پ) نیمرخ حرارتی طولی از گنبد نمکی سیاه طاق در جهت E-F؛ ت) نیمرخ حرارتی عرضی از گنبد نمکی سیاه طاق در جهت G-H.

۷- نتیجه‌گیری

ارائه یک مدل قطعی از وضعیت هندسه درونی گنبد‌های مطالعه شده میسر نمی‌باشد. - با مقایسه الگوی دمای سطحی گنبد نمکی سیاه طاق و گنبد نمکی گچ، مشاهده می‌شود میزان دمای گنبد نمکی گچ با الگوی توپوگرافی دارای نسبت مستقیم بوده به گونه‌ای که بخش‌های مرتفع‌تر دارای دمای بالاتری نسبت به مناطق کم ارتفاع‌تر و بخش‌های نمکشار شده می‌باشد. الگوی ناهنجاری دمای سطحی در گنبد نمکی سیاه طاق نشان‌دهنده گرم‌تر بودن دامنه خاوری این گنبد نمکی نسبت به دیگر نقاط آن است. این الگو در دامنه خاوری گنبد نمکی سیاه طاق را می‌توان در ارتباط با تابش صبحگاهی خورشید در دامنه خاوری این گنبد نمکی و گرم‌تر بودن این بخش گنبد نسبت به دیگر بخش‌ها دانست، چرا که زمان ثبت تصویر ساعت ۵:۶ صبح بوده که گرم‌تر بودن دامنه خاوری می‌تواند به تابش صبحگاهی خورشید در این ضلع مرتبط باشد.

- افزودن بر نتیجه‌گیری فوق، این الگوی دمای سطحی در گنبد نمکی سیاه طاق را احتمالاً می‌توان در ارتباط با وجود سامانه گسلی عرضی در دامنه خاوری این گنبد نمکی نیز دانست که اثبات آن منوط به مطالعات دقیق‌تر صحرایی و ژئوفیزیکی است.

سیاسگزار

بدین وسیله نویسندگان مقاله از حمایت‌های صورت گرفته توسط معاونت پژوهش و فناوری دانشگاه شهید چمران اهواز در قالب پژوهانه (GN: SCU.SG99.216) در انجام این پژوهش کمال تشکر و قدردانی را می‌نمایند.

یکی از مهمترین جنبه‌های کاربردی سنجش از دور در مطالعات اقلیم‌شناسی برآورد دمای سطح زمین است. در این راستا، الگوریتم پنجره مجزا به عنوان یک روش مؤثر در استخراج دمای سطح زمین محسوب می‌شود که براساس منابع علمی بیشترین دقت را ارائه می‌دهد. استفاده از تصاویر سنجنده‌های OLI و TIRS ماهواره لندست ۸، برای تحلیل و بررسی گنبد‌های نمکی از لحاظ ساختاری و حرارتی بسیار کارآمد می‌باشد. با توجه به نقشه LST حاصل و نیمرخ‌های حرارتی تهیه شده از گنبد‌های نمکی مورد مطالعه، بیشترین دما در گنبد نمکی گچ ۴۱/۸۷ درجه سانتی‌گراد و در گنبد نمکی سیاه طاق ۳۶/۷ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. براساس تحلیل‌های صورت گرفته و الگوی دمای سطحی به دست آمده برای گنبد‌های نمکی سیاه طاق و گچ نتایج زیر قابل مشاهده می‌باشد:

- در حالت کلی الگوی دمای سطحی حاصله نشان می‌دهد که گنبد نمکی گچ از دمای بالاتری برخوردار می‌باشد، از لحاظ ساختاری دمای بالاتر گنبد نمکی گچ را احتمالاً می‌توان در ارتباط با ریشه دار بودن این گنبد و ارتباط آن با ستون نمکی پی‌سنگی مرتبط دانست. چرا که ریشه دار بودن گنبد نمکی و ارتباط گنبد نمکی با لایه تغذیه‌کننده نمک باعث می‌شود تا جریان حرارتی درون زمین به طور بهتری به سطح هدایت شود. این در حالی است که دمای پایین‌تر گنبد نمکی سیاه طاق احتمالاً می‌تواند در نتیجه عدم ارتباط گنبد نمکی با منبع نمکی سری هرمز و ریشه دار نبودن آن باشد. اشاره به این نکته ضروری است که این مدل یک مدل احتمالی بوده و اثبات ریشه دار بودن یا نبودن گنبد‌های نمکی به طور قطع از طریق مطالعه الگوی دمای سطحی امکان‌پذیر نخواهد بود. با توجه به وجود داده‌های لرزه‌ای بازتابی امکان

کتابنگاری

- رنگزن، ک.، کاوسی، ف.، سامانی، ب. و طابری، ف.، ۱۳۹۶- بررسی آنومالی‌های جریان حرارتی در ساختارهای گنبد‌های نمکی جهانی، کنارسیاه و خوراب با استفاده از تصاویر سنجنده‌های OLI و TIRS ماهواره لندست ۸، مجله زمین‌شناسی کاربردی پیشرفته، پاییز ۹۶، شماره ۲۵، ۱۶۹۶-۱۶۹۷. doi: 10.22055/AAG.2017.21768.1696
- هاشمی، خ.، اویسی، ب. و سعیدی، ع.، ۱۳۹۱- ارائه مدل کینماتیکی برای چین مرتب با گسلس لار و ارتباط ساختاری آن با رویداد زمین‌لرزه ۱۹۶۰ لار، جنوب خاوری زاگرس، مجله علوم زمین، پاییز ۹۳، سال بیست و چهارم، شماره ۹۳، صفحات ۹-۱۸. doi: 10.22071/GSJ.2014.43442
- علوی پناه، س. ک.، ۱۳۸۷- سنجش از دور حرارتی و کاربرد آن در علوم زمین، انتشارات تهران، چاپ دوم، ۵۵۲ ص.

References

- Alavi, M., 1994- Tectonics of the Zagros orogenic belt of Iran: new data and interpretation. *Tectonophysics* 229, 211–238, doi: 10.1016/0040-1951(94)90030-2.
- Alavi, M., 2004- Regional stratigraphy of the Zagros fold-thrust belt of Iran, and its proforeland evolution. *American Journal of Science* 304, 1–20, doi: 10.2475/ajs.304.1.1.
- Berberian, M., 1995- Master 'blind' thrust faults hidden under the Zagros folds: active basement tectonics and surface morphotectonics, *Tectonophysics*, 241, 193–224, doi: 10.1016/0040.
- Bosák, P., Jaros, J., Spudil, J., Sulovsky, P. and Vaclavek, V., 1998- Salt diapirs in the Eastern Zagros, Iran: results of regional geological reconnaissance. *Inst. Geol. Acad. Sci. Czech Repub. Geolines* 7, 3–174.
- Evans, D. G. and Nunn, J. A., 1989- Free thermohaline convection in sediments surrounding a salt column. *J Geophys Res*, vol: 94, p:413– 422. Doi: 10. 1029/JB094iB09p12413, doi: 10. 1029/JB094iB09p12413.
- Falcon, N. L., 1969- Problems of the relationship between surface structures and deep displacements illustrated by the Zagros range. *Geol. Soc. Lond. Spec. Pub.* 3, 9–22, doi: 10.1144/GSL.SP.1969.003.01.02.
- Fossen, H., 2016- *Structural Geology*. Cambridge University Press, doi: 10.1017/CBO9780511777806.
- Geiger, S., Driesner, T., Heinrich, C. A. and Mattha, S. K., 2006- Multiphase thermohaline convection in the Earth's crust: II. Benchmarking and application of a finite element-finite volume solution technique with a NaCl–H₂O equation of state. *Transp Porous Media*, vol: 63, p:435–461, doi: 10.1007/s11242-005-0109-y.

- Haynes, S. J. and McQuillan, H., 1974- Evolution of the Zagros suture zone, Southern Iran. *Geol. Soc. Am. Bull.* 85, 739–744, doi: 10.1130/0016-7606.
- Hughes, J. D. and Sanford, W. E., 2004- SUTRA - MS: a version of SUTRA modified to simulate heat and multiple-solute transport. *US Geol Surv Open-File Rep.* p: 1207, 152, doi: 10.3133/ofr20041207.
- Jackson, M. P. A. and Hudec, M. R. R., 2017- *Salt Tectonics: Principles and Practice*, Cambridge, United Kingdom, Cambridge University Press, doi: 10.1017/9781139003988.
- Jahani, S., Callot, J. P., Frizon de Lamotte, D., Letouzey, J. and Leturmy, P., 2007- The Salt Diapirs of the eastern Fars province (Zagros, IRAN): a Brief outline of their past and present. In: Lacombe, O., Lavé, J., Roure, F., Vergés, J. (Eds.), *Thrust Belt and Foreland Basin*. Springer Berlin Heidelberg, pp. 289–308, doi: 10.1007/978-3-540-69426-7_15
- Langevin, C. D., Dausman, A. M. and Sukop, M. C., 2010- Solute and heat transport model of the Henry and Hilleke laboratory experiment. *Ground Water*, vol: 48(5), p: 757–770, doi: 10.1111/j.1745-6584.2009.00596.x.
- Lees, A., 1926- Insect attack and internal condition of the plant, *Annals of Applied Biology* 13 (4): 506-515.
- McPherson, B.J.O.L., Garven, G., 1999- Hydrodynamics and overpressure mechanisms in the Sacramento basin, California. *Am J Sci* 299 p: 429–466, doi: 10.2475/AJS.299.6.429.
- Oveisi, B. and Yousefi, T., 1999- Geological Map of Lar, 1/100000 scale. Geological survey of Iran.
- Rajeshwari, A. and Mani, N. D., 2014- Estimation of Land Surface Temperature, Of Dingdigul District Using Landsat 8 data, *IJRET: International Journal of Research in Engineering and Technology* e, p: 2319-1163, doi: 10.15623/ijret.2014.0305025.
- Ranganathan, V., 1992- Basin dewatering near salt domes and formation of brine plumes. *J Geophys Res*, vol: 97, p: 4667–4683, doi: 10.1029/91JB03082.
- Rangzan, K., Kabolizadeh, M., Karimi, D. and Zareie, S., 2019- Supervised cross-fusion method: a new triplet approach to fuse thermal, radar, and optical satellite data for land use classification. *Environ Monit Assess.* 191- 48, doi: 10.1007/s10661-019-7621-y.
- Reutter, H., Olesen, F-S. and Fischer, H. 1994- Distribution of the brightness temperature of land surfaces determined from AVHRR data, *Remote Sensing* 15 (1), 95-104, doi:10.1080/01431169408954053.
- Sarkarinejad, K. and Azizi, A., 2008- Slip partitioning and inclined dextral transpression along the Zagros Thrust System, Iran. *J. Struct. Geol.* 30, 116–136, doi:10.1016/j.jsg.2007.10.001.
- Shaohua, Z., Qiming, Q., Yonghui, Y., Yujiu, X. and Guoyu, Q., 2009- Comparison of two SplitWindow Methods for Retrieving Land Surface Temperature from MODIS Data, *Journal of Earth Syst. Science*, Vol.118, No.4, p: 345-353, doi: 10.1007/s12040-009-0027-4.
- Stocklin, J., 1968- Structural history and tectonics of Iran, a review, *A. A. P. G. Bull.*, 52(7), PP. 1229-1258, doi:10.1306/5D25C4A5-16C1-11D7-8645000102C1865D.
- Talebian, M. and Jackson, J., 2004- A reappraisal of earthquake focal mechanisms and active shortening in the Zagros mountains of Iran. *Geophys. J. Int.* 156, 506–526, doi: 10.1111/j.1365-246X.2004.02092.x.
- Thorne, D., Langevin C. D. and Sukopc, M. C, 2006- Addition of simultaneous heat and solute transport and variable fluid viscosity to SEAWAT. *J Comput Geosci*, vol: 32, p: 1758–1768, doi:10.1016/j.cageo.2006.04.005.
- Twiss, R. J. and Moores, E. M., 2007- *Structural Geology*, 2nd ed., New York-W.H. Freeman, p: 532, doi: :10.1002/gj.3350290408.
- Vernant, P. and Chéry, J., 2006- Mechanical modeling of oblique convergence in the Zagros, Iran. *Geophys. J. Int.* 165, 991–1002, doi: 10.1111/j.1365-246X.2006.02900.x.
- Yassaghi, A., 2006- Integration of landsat imagery interpretation and geomagnetic data on verification of deep-seated transverse fault lineaments in SE Zagros, Iran, *Int. J. of Remote Sensing*, vol: 56(12), p: 152-167, doi: 10.1080/01431160600661283.
- Younes, A., 2003- On modeling the multidimensional coupled fluid flow and heat or mass transport in porous media. *Int J Heat Mass Tran.* Vol: 46, p: 367–379, doi: 10.1016/S0017-9310(02)00264-8.
- Zareie, S., Khosravi, H., Nasiri, A. and Dastorani, M., 2016- Using Landsat Thematic Mapper (TM) sensor to detect change in land surface temperature in relation to land use change in Yazd, Iran. *Solid Earth*, 7, pp: 1551–1564, doi: 10.5194/se-7-1551.
- Zareie, S. and Kabolizadeh, M., 2020- The natural resources potential assessing aimed at territorial planning using time-varying space data of vegetation index and LST. *Environ Monit Assess* 192:503, doi: 10.1007/s10661-020-08476-y.

Original Research Paper

Surface temperature pattern analysis of Gach and Siah Tagh salt domes using remote sensing methods, Zagros area

Babak Samani^{1*}, Sajad Zareie² and Atefeh Ghanbari Adyoni³

¹Associate Professor, Faculty of Earth Sciences, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran

²Assistant Professor, Faculty of Earth Sciences, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran

³Ms.c Student, Faculty of Earth Sciences, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran

ARTICLE INFO

Article history:

Received: 2020 December 09

Accepted: 2021 July 12

Available online: 2022 March 21

Keywords:

land surface temperature

Split-window algorithm

Salt dome

Lar city

Temperature anomaly

ABSTRACT

Split-window algorithm is the effective method for determination of land surface temperature. The main goal of this research is application of Split-window algorithm for determination of surface temperature pattern of Siah Tagh and Gach salt domes in the southwestern of Lar city in the Fars province. In this research LST analysis has made using of Landsat 8 TIRS and OLI sensors. The results of temperature pattern show that the Gach salt dome has a higher temperature than the Siah Tagh salt dome. According to the resulting LST map, the highest temperature in the Gach salt dome is 41.87 °C and 36.7 °C in the Siah Tagh salt dome. From a structural point of view, the higher temperature of the Gach salt dome can be related to the rooting of this dome and its relationship with the basement salt column. While the lower temperature of the Siah Tagh salt dome can be due to the lack of connection between the salt dome and the salt source of Hormuz Series. Temperature anomaly maps show the different temperature pattern in these two salt domes. Spatial pattern of temperature anomaly in the Siah Tagh dome show the linear trend in the eastern part of the dome. This temperature linear pattern in the Siah Tagh dome probably is related to the morning sunshine in the eastern slope of this dome. However this temperature linear pattern probably can be related to the existence a transverse fault system in the eastern side of the Siah Tagh dome.

* Corresponding author: Babak Samani; E-mail: b.samani@scu.ac.ir

E-ISSN: 2645-4963; Copyright©2021G.S. Journal & the authors. All rights reserved.

doi: 10.22071/GSJ.2021.258561.1860

dor: 20.1001.1.10237429.1401.32.1.5.5

