

بررسی آنومالی‌های جریان حرارتی در ساختار گنبد‌های نمکی جهانی، کنارسپاه و خوراب با استفاده از تصاویر سنجنده‌های OLI و TIRS ماهواره لندست ۸

کاظم رنگزن

گروه سنجش از دور و GIS، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید چمران اهواز

فرهاد کاوسی

گروه سنجش از دور و GIS، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید چمران اهواز

بابک سامانی

گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید چمران اهواز

عظیم صابری

گروه سنجش از دور و GIS، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید چمران اهواز

تاریخ دریافت: ۹۶/۱/۲۷ تاریخ پذیرش: ۹۶/۲/۶

kazemrangzan@scu.ac.ir

چکیده

مطالعه گنبد‌های نمکی به خاطر ویژگی‌های منحصر به فرد نمک از لحاظ نکتونیک و سنگ‌شناسی و برهم‌کنش‌های قوی میان جریان‌های حرکتی و حرارتی از اهمیت شایانی در زمین‌شناسی برخوردار است. فناوری سنجش از دور در سال‌های اخیر نقش پررنگی را در کسب اطلاعات از این پدیده‌های منحصر به فرد بر عهده گرفته است. هدف از این پژوهش استفاده از الگوریتم پنجره مجزا (Split-Window) برای به دست آوردن LST، دمای سطح گنبد‌های نمکی جهانی، کنارسپاه و خوراب با استفاده از تصاویر سنجنده‌های OLI و TIRS ماهواره لندست ۸، جهت تحلیل و بررسی گنبد‌های نمکی از لحاظ ساختاری و حرارتی می‌باشد. نتایج حاصل از LST نشان داد که جریان حرارتی بالاتر در یک جهت جغرافیایی مشترک در هر سه گنبد نمکی وجود دارد. مقایسه نیمرخ توپوگرافی توده‌های گنبد نمکی و میزان جریان حرارتی نشان دهنده یک ارتباط معکوس بین ارتفاع و میزان حرارت در آنها می‌باشد. کاهش نیروی بالاران در نتیجه افزایش ارتفاع گنبد نمکی و غلبه نیروی وزن نمک بر نیروی بالاران سبب شکل‌گیری یک جریان نمکی گرم‌تر از حاشیه گنبد در جهت شیب توپوگرافی شده است. نتایج نشان دهنده وجود نسبت مستقیم بین جهت شیب توپوگرافی و میزان جریان حرارتی و نسبت معکوس بین عامل ارتفاع و درجه حرارت در هر سه گنبد نمکی مورد مطالعه می‌باشد. بالاترین درجه حرارت در گنبد‌های نمکی خوراب، کنارسپاه و جهانی به ترتیب ۳۷، ۳۸ و ۳۷ درجه در نقاط ارتفاعی پایین به دست آمده است که نشان دهنده معکوس بودن رابطه عامل ارتفاع با درجه حرارت می‌باشد. از جمله جنبه‌های کاربردی این مقاله می‌توان به شناخت و مکان‌یابی مناطق بالقوه حرارتی جهت استفاده از منابع انرژی زمین گرمایی اشاره کرد.

کلمات کلیدی: گنبد‌های نمکی، سنجش از دور، انتقال گرما، LST گسل کره بس

مقدمه

حرکت نمک وقتی اتفاق می‌افتد که نمک به سطح زمین می‌رسد، توانایی تحمل وزن خود را نداشته و به اطراف خود (جایی که شیب کافی جهت حرکت داشته باشد) گسترش می‌یابد که به آن نمک‌شار (Salt glacier) گفته می‌شود (Lees 1927; Kent 1958, 1970; Talbot 1979; Zarei and raeisi, 2010). در واقع گنبد‌های نمکی در اثر ناپایداری ثقلی لایه‌هایی با چگالی کمتر (نمک)، که توسط سنگ‌هایی با چگالی بیشتر پوشیده شده‌اند و در اثر نیروی شناوری به وجود می‌آیند (Twiss and Moores, 1992). گنبد‌های نمکی و رسوبات مجاور آن نمونه‌ای از یک محیط زمین‌شناسی پیچیده است که بر هم‌کنش‌های قوی میان جریان‌های آب زیرزمینی، غلظت نمک و حرارت در آن رخ می‌دهد (Evans and Nunn, 1989). در رابطه با مکانیسم هدایت گرما و نمک در

شکیلات تبخیری از جمله سازندهای زمین‌شناسی هستند که از نظر جغرافیایی دارای گسترش چشمگیری می‌باشند (Goudie, 2004). نمک یکی از اجزاء اصلی شکیلات تبخیری بوده که تحت تأثیر نیروهای وارده با نرخ سرعت حرکت ۱۰ متر تا ۲ کیلومتر در میلیون سال، جا به جا شده (Jackson and Talbot, 1994) و اشکال مورفولوژیکی بزرگ مقیاسی را پدید می‌آورد (Fossen, 2012). یکی از پدیده‌های شاخص مورفولوژیکی مرتبط با این شکیلات تبخیری توسعه ساختاری گنبد‌های نمکی می‌باشد. گنبد‌های نمکی ساختارهای زمین‌شناسی گنبدی شکلی هستند که در اثر حرکت نمک و صعود آن طی مکانیزم دیابیرسم تشکیل می‌شوند (Twiss and Moores, 1992). یکی دیگر از سیمای متداول در ارتباط با فرایند

دقیقه طول جغرافیایی و ۲۸ درجه و ۳۰ دقیقه تا ۲۸ درجه و ۵۳ دقیقه عرض شمالی و در استان فارس واقع شده است (شکل ۱).

منطقه مورد مطالعه بخشی از زون ساختاری زاگرس چین خورده می‌باشد. در این پهنه ساختاری بیش از ۱۰۰ گنبد نمکی دارای رخنمون می‌باشد (Warren, 2010) (پورکاسب و همکاران، ۱۳۹۲).

منطقه فارس در جنوب باختری ایران است که بین اشکال مورفولوژیک و خاصه‌های زمین‌شناسی آن همخوانی در خور توجهی وجود دارند. از دیدگاه ژئومورفولوژی نواحی واقع در شمال و شمال باختر منطقه فارس متشکل از ارتفاعات به هم پیوسته و دره‌های عمیق است. در حالی که، در گستره‌های جنوب و جنوب باختری استان، در حد فاصل کوه‌ها دشت‌های حاصلخیز شیراز، کازرون، نیریز، مرودشت و... قرار دارد که توسط رودها آبیاری می‌شوند. این رودها در نهایت به دریاچه‌های بختگان، پریشان، مهارلو و کافت می‌ریزند. براساس تقسیمات حوضه‌های ساختاری - رسوبی، منطقه فارس در برگرفته زون سندج - سیرجان و زاگرس (زاگرس رانده شده، زاگرس مرتفع و زاگرس چین خورده) است و بیشتر ساختارها دارای روند شمال باختری - جنوب خاوری می‌باشند.

کمر بند چین خورده زاگرس با روند شمال باختری - جنوب خاوری و با طول نزدیک به ۲۰۰۰ کیلومتر در بخش میانی رشته کوه‌های آلپ - هیمالیا قرار گرفته است (Jaros, 1981; Alavi 1994) و نمونه‌ای کلاسیک از کوه‌های چین خورده و نمایی از توسعه تاقدیس‌ها و ناودیس‌ها است که سلسله جبال زاگرس را تشکیل داده‌اند (Rangzan, 1995). از دید ساختاری، این کمر بند از چینها و گسل‌های روانده تشکیل شده است. به طور کلی بیشتر گسل‌های این منطقه پنهان هستند و توسط رسوبات بالایی پوشیده شده‌اند و در سطح زمین کمتر قابل ردیابی می‌باشند (Leturmy, et al., 2010) (شکل ۲). در کمر بند چین خورده - راندگی زاگرس تعداد زیادی گنبد نمکی رخنمون یافته است که آنها را جزو سری هرمز می‌دانند. حوضه نمکی هرمز شامل دیاپیرهایی با سن اینفراکامبرین تا کامبرین است که به مرور زمان از ژرفا به سوی بالا حرکت کرده تا اینکه به سطح زمین رسیده و گنبد‌های نمکی را تشکیل داده‌اند (Ala, 1974). بالآمدگی این گنبد‌های نمکی در دوره‌های زمانی مختلف، در نتیجه تنش‌های حاصل از برخورد دو صفحه عربی و ایران صورت پذیرفته است. (Waltham, 2008; Farhoudi et al., 2008) (مهرابی و همکاران، ۱۳۹۴). در این گنبد‌ها سنگ‌های مختلفی بدون نظم چینه‌شناسی دیده می‌شوند که مربوط به سری هرمز هستند. مجموعه دره‌ای از آهک، مارن، شیل، گچ و نمک عمده پوشش سطح گنبد نمکی را تشکیل می‌دهند (Harrison, 1931).

روش کار

استفاده از روش‌های سنجش از دور و پردازش تصاویر ماهواره‌ای در شناسایی، تحلیل و بررسی انواع پدیده‌های زمین‌شناسی و ویژگی‌های آنها از اهمیت فراوانی برخوردار است. در این پژوهش سعی شد تا با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای، پدیده‌های مورد نظر شناسایی شده و با به کارگیری پردازش‌های مختلف، بررسی‌ها و تحلیل‌های لازم صورت پذیرد. همچنین از GIS به عنوان یک ابزار قدرتمند در تکمیل و تحلیل داده‌ها و پیشبرد اهداف پژوهش استفاده گردید. برای تهیه تصاویر ماهواره‌ای جهت تولید نقشه دمای سطح زمین فاکتورهای زیادی می‌توانند تاثیرگذار باشند. اما از مهمترین این فاکتورها می‌توان به هدف و زمان تصویربرداری اشاره نمود.

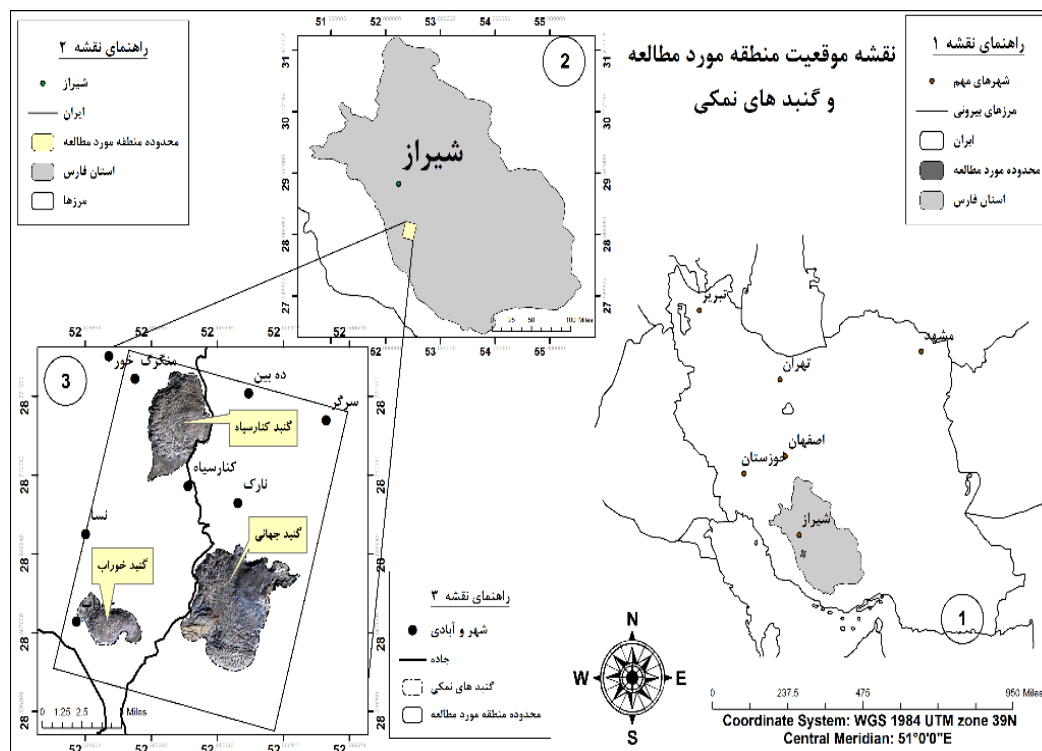
زیر سطح زمین و تغییرات شیمیایی آن در بیرون از زمین، محققان زیادی از جمله (Ranganathan, 1992; Diersch and Kolditz, 1989; Thorne and et al., Hughes and Sanford, 2004; Younes, 2003; Langevin and et al, 2010; Geiger and et al, 2006) مطالعات مختلفی به انجام رسانده‌اند. همچنین (Edler, 1967) جریان انتقال گرمای نمک را در یک محیط متخلخل در اثر یک حرارت غیر یکنواخت از یک دامنه عمودی ۲ بعدی (2D) مورد بررسی قرار داد. (Ranganathan and Hanor, 1989)، تراکم شورآب‌ها را اطراف گنبد نمکی با استفاده از مدل STURA (Voss, 1984) بررسی کردند که در نتیجه مقدار اثر جریان ناشی از هدایت گرمایی را کمتر از محور تراکم شور آب‌ها در اطراف گنبد نمکی مورد مطالعه دانستند. 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 و تحلیل آنها نشان داد که طیف گسترده‌ای از الگوهای هدایت گرمایی می‌تواند با جریان‌ها 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 می‌باشد.

(Liu and et al, 2014) با استفاده از روش تقریب خطی‌های پی در پی (Successive linear Approximation)، مدل دو بعدی را با کمک اعداد شبیه‌سازی کردند که تأثیر هدایت گرمایی را در نوع شکل پذیری نوع گنبد نمکی نشان می‌داد. هر چند این مدل روش مفیدی در نمایش مراحل تشکیل گنبد‌های نمکی بود اما این شبیه‌سازی با توجه به این که برای تشکیل آنها میلیون‌ها سال زمان لازم است نمی‌تواند کاملاً با واقعیت تطابق داشته باشد. با این حال می‌توان این گونه استنباط کرد که تحقیقات صورت گرفته به وسیله محققان و پژوهشگران ذکر شده در ارتباط با گنبد‌های نمکی و انتقال گرمای ذاتی آنها، بیشتر در حوزه تغییرات شیمیایی نمک و ارتباط آن با شورآب‌ها بوده است و از تصاویر حرارتی ماهواره‌ای برای تغییرات دمایی گنبد‌های نمکی بسیار محدود استفاده شده است.

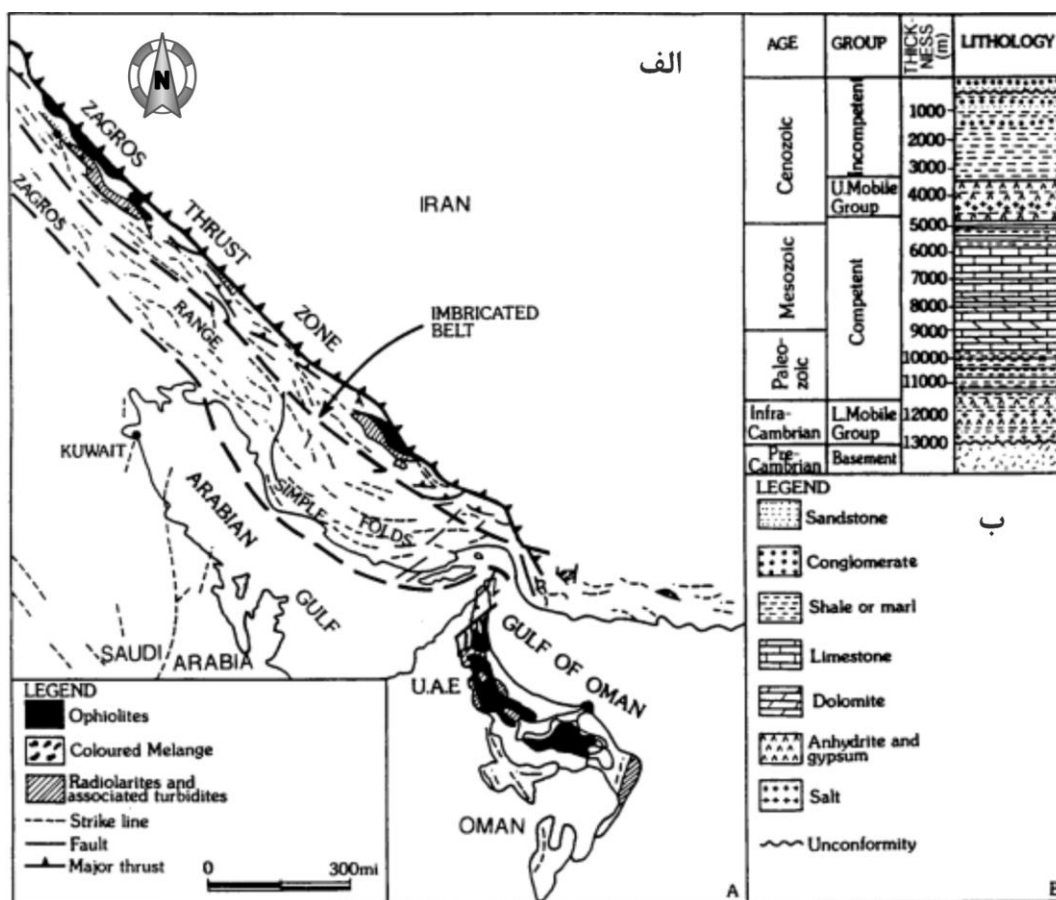
از جمله راه‌های بررسی تغییرات حرارتی پدیده‌ها بر روی سطح زمین در سال‌های اخیر علم سنجش از دور می‌باشد. به طور کلی یکی از فناوری‌های سنجش از دور، دمانگاری است که مبتنی بر اندازه‌گیری تابش‌های حرارتی اشیا در سطح زمین است. اطلاعات به دست آمده از ناحیه مادون قرمز حرارتی، کمک زیادی به مطالعه پدیده‌های مختلف می‌کند (علوی پناه، ۱۳۸۷). از این رو 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). در این مقاله با استفاده از تکنیک‌های سنجش از دور سعی شده تا رابطه حرارت گنبد‌های نمکی، با ویژگی‌های زمین‌شناختی آشکار و علت وجود تغییرات حرارت در قسمت‌های مختلف گنبد‌های نمکی، با استفاده از باند-های حرارتی تصاویر ماهواره‌ای تشخیص داده شود.

منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه با مساحتی حدود ۱۱۶۷ کیلومتر مربع در کمر بند زاگرس چین خورده با مختصات ۵۲ درجه و ۳۵ دقیقه تا ۵۲ درجه و ۱۰



شکل ۱. موقعیت گنبد های نمکی در منطقه مورد مطالعه

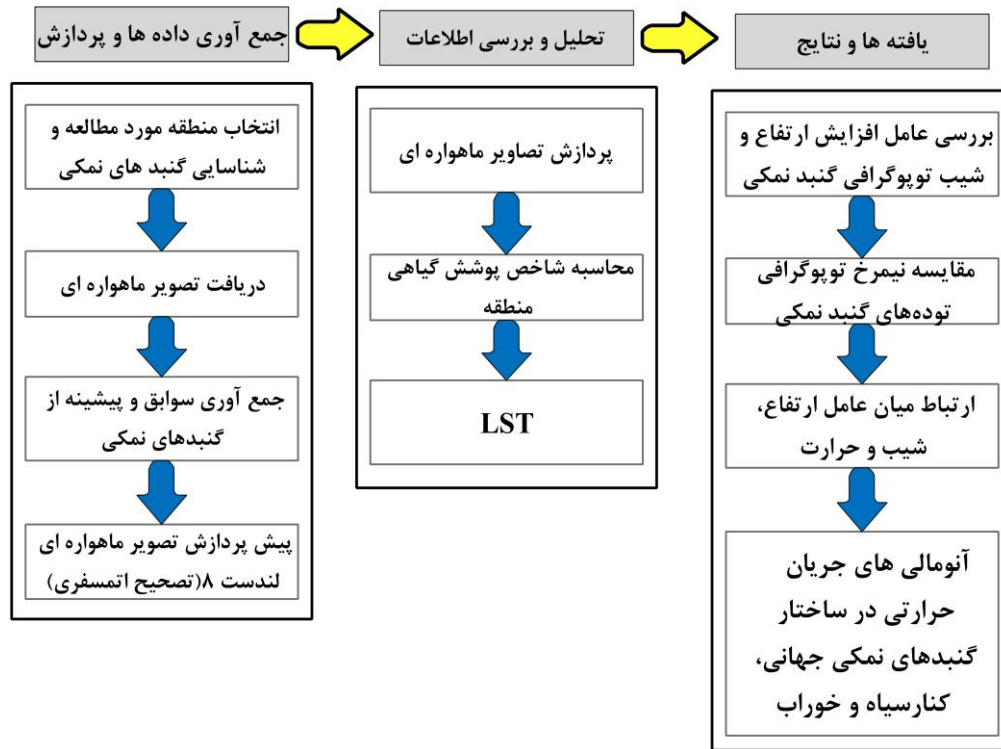


شکل ۲. الف - افیولیت و روند ساختاری اصلی در جنوب و جنوب غربی ایران (اصلاح شده از Stocklin 1974, ب - بخش گرافیکی از کمربند زاگرس در ایران (اصلاح شده از (Sharhan And Nairn , 2003), (Sadd, 1978 - Colman , O'Brien, 1957)

پیش پردازش تصاویر ماهواره‌ای برای تهیه نقشه دما

در فرایند پیش پردازش تصاویر ماهواره‌ای، قبل از شناخت و استخراج اطلاعات حرارتی، حذف هر گونه خطایی از جمله آثار جوی ضرورت دارد (رنگزن و همکاران، ۱۳۹۳). خطای اتمسفری که بر اثر فعل و انفعالات فوتون‌ها توسط مولوکول‌ها و ذرات معلق گرد غبار در اتمسفر زمین ایجاد می‌شود. یکی از نمونه‌های تصحیح خطای اتمسفری روش آنالیز طیفی فوق

مکعبی با استفاده از آنالیز سریع خط دید جوی یا فلش (FLAASH) می‌باشد که برای استخراج و بازیابی انعکاس طیفی از تصاویر رادیانس فراطیفی به کار می‌رود. این روش از مدل انتقال رادیانس MODTRAN4 برای حذف اثرات اتمسفری استفاده می‌کند. به علاوه این روش ابزاری است که طول موج های مرئی، مادون قرمز نزدیک و مادون قرمز کوتاه را تا حدود ۲.۵ میکرومتر پشتیبانی می‌کند.



شکل ۳. مدل مفهومی مراحل کار تحقیق

جدول ۱. نوع سنجنده، تعداد باند و تاریخ تصویر برداری ماهواره

Path/Row	تاریخ تصویر برداری	تعدادباند	سنجنده
۴۰/۱۶۳	۲۰۱۴-۱۱-۱۵	۹	OLI
۴۰/۱۶۳	۲۰۱۴-۱۱-۱۵	۲	TIRS

سنجنده‌های حرارتی قادر هستند حرارت سطح زمین را به وسیله ثبت رادیانس 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. روش‌های تخمین دمای سطح زمین بسیار متنوع‌اند؛ Window - Split، Window - Single، Dual Angle Algorithm و غیره.

در میان این روش‌ها، رایج‌ترین روش، الگوریتم پنجره‌ی مجزا است که با استفاده از این الگوریتم برای حذف اثر جو و بدست آوردن دمای سطح زمین با ترکیب خطی یا غیرخطی از درجه روشنایی حرارت دو کانال مجاور ۱۱ و ۱۲ میکرومتر استفاده شده است (Becker and et al, 1995). باندهای حرارتی لندست ۸ در محدوده طیفی ۱۱ و ۱۲ میکرومتر فعال هستند. این خود باعث می‌شود که در الگوریتم پنجره مجزا بتوان از

پردازش تصاویر ماهواره‌ای

استفاده از روش‌های دور سنجی (Remote Sensing) و تصاویر ماهواره‌ای از جمله روش‌هایی هستند که می‌توانند در تخمین دمای سطح زمین بسیار مفید عمل کنند. در واقع یکی از کاربردهای مهم سنجش از دور حرارتی تهیه نقشه دمای سطح زمین یا LST (Land Surface Temperature) می‌باشد. از جمله ماهواره‌هایی که می‌توان با استفاده از آن‌ها دمای سطح زمین را تخمین زد می‌توان به ماهواره‌های سری Landsat و همچنین ماهواره ترا (سنجنده ASTER) اشاره کرد. همچنین پردازش تصاویر ماهواره‌ای یکی از مهمترین تکنیک‌های تعیین گسل‌ها در مناطق مختلف محسوب می‌شود (بمانی و همکاران، ۱۳۹۵). در این پژوهش به منظور انجام مطالعات مربوط به سنجش از دور حرارتی، از تصویر سنجنده‌های OLI (سنجنده تصویربرداری عملیات زمینی) و TIRS (سنجنده مادون قرمز حرارتی) ماهواره لندست ۸ در تاریخ ۱۵ نوامبر ۲۰۱۴ استفاده گردید (جدول ۱). این سنجنده دارای ۱۱ باند است که باندهای ۱ تا ۷ و باند ۹ دارای قدرت تفکیک مکانی ۳۰ متر، باند ۸، ۱۵ متر و باندهای حرارتی ۱۰ و ۱۱ دارای قدرت تفکیک ۱۰۰ متر دارند (کریم‌پور و ملک زاده، ۱۳۹۵).

جدول ۲. مقادیر K1 و K2 مورد استفاده در این مطالعه

ثابت حرارتی	باند ۱۰	باند ۱۱
K1	۱۳۲۱/۰۸	۱۲۰۱/۱۴
K2	۷۷۷/۸۹	۴۸۰/۸۹

جدول ۳. مقادیر ثابت تبدیل

مقادیر ثابت تبدیل	باند ۱۰	باند ۱۱
ML	۰/۰۰۰۳۴۲	۰/۰۰۰۳۴۲
AL	۰/۱	۰/۱

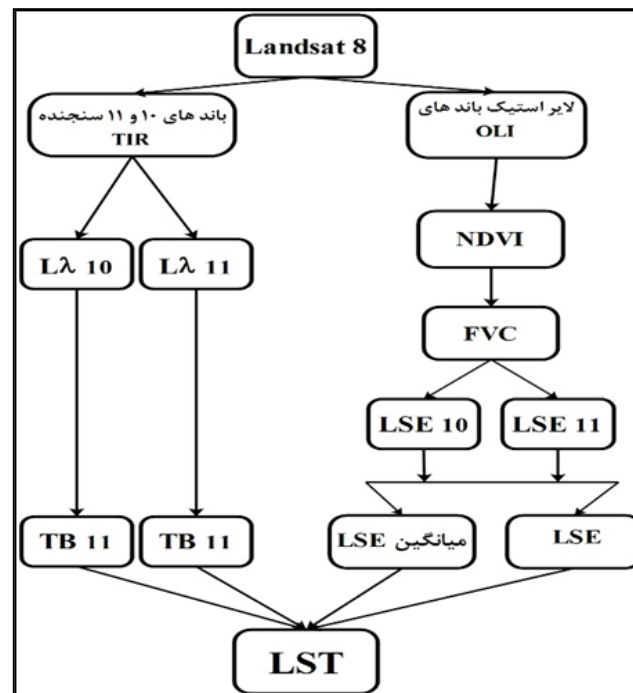
داده‌های این ماهواره استفاده کرد. در مقایسه TIRS با سنجنده های ETM و (+ETM) که تنها یک کانال مادون قرمز حرارتی دارند سنجنده TIRS دارای دو مزیت است.

اول TIRS دو کانال مادون قرمز حرارتی در پنجره جوی دارد که یک فرصت بازبایی LST جدید با استفاده از آرایه الگوریتم پنجره مجزا نسبت به روش تک کانال است. دوم، فیلترهای طیفی دو باند LST باریک تر از باند حرارتی پردازنده TM و ETM هستند. دو کانال مادون قرمز حرارتی پهنای باند باریک در TIRS، که می‌تواند بهتر اطلاعات سطح زمین را دریافت کند. در نتیجه سنسورهای حرارتی لندست ۸ درک بهتری از دمای سطح زمین ارائه می‌دهند و در مطالعات آینده یک مرجع مناسب برای اندازه‌گیری دمای سطح زمین است (فیضی‌زاده و دیده بان، ۱۳۹۵). در این پژوهش با توجه به توضیحات فوق از الگوریتم پنجره مجزا Window - Split برای محاسبه دمای سطح زمین استفاده شده است.

LST

داده‌های مورد استفاده

ماهواره لندست، متادیتایی فراهم می‌کند که در آن، ثابت حرارتی (K)، ضرایب و مقادیر تبدیل گوناگون و غیره را که می‌توانند برای محاسبه الگوریتم‌های مختلف مانند LST به کار روند، تولید کند (جدول ۲ و ۳).



شکل ۴. مدل مفهومی انجام مراحل LST (Rajeshwari and Mani, 2014)

الگوریتم مورد استفاده به شرح زیر می‌باشد:

رابطه (۱)

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

در این الگوریتم:

LST - دمای سطح زمین

روش تولید LST

در این مقاله LST با استفاده از یک ساختار الگوریتم ریاضی، یعنی دو پنجره مجزای طیفی (Split Window, WT) محاسبه شد. در واقع با توجه به داده‌های زمینی و اتمسفری با استفاده از مدل‌های انتقال تابشی و اندازه‌گیری در محدوده مادون قرمز حرارتی، LST تعیین می‌شود (شکل ۴).

C_0 تا C_6 - مقادیر ضریب دو پنجره مجزای طیفی (جدول ۴)

TB_{10} و TB_{11} - دمای روشنایی باند ۱۰ و باند ۱۱

ϵ - میانگین LSE یا ضریب انتشار سطح زمین باندهای حرارتی سنجنده

W - مقدار بخار آب موجود در جو

$\Delta\epsilon$ - اختلاف LSE دو باند ۱۰ و ۱۱.

Qcal = تصویر خام

ضریب تشعشعی سطح زمین (Land Surface Emissivity, LSE)

برای به دست آوردن LST محاسبه مقدار LSE ضروری است.

در این مرحله ضریب انتشار سطح زمین LSE یا Land Surface Emissivity تخمین زده می‌شود. ضریب انتشار سطح زمین ویژگی‌های ذاتی سطح زمین را اندازه‌گیری می‌کند. LSE توانایی خود در تبدیل انرژی حرارتی یا گرمایی را به انرژی تابشی اندازه می‌گیرد. برای محاسبه LSE به سه فاکتور نیاز است:

۱. ضریب انتشار خاک ۲. ضریب انتشار پوشش گیاهی ۳. (Fractional Vegetation Cover, FVC) رابطه (۴)

$$LSE = \epsilon_s(1 - FVC) + \epsilon_v \cdot FVC$$

که در اینجا ϵ_s و ϵ_v مقادیر ضریب انتشار خاک و گیاه به تفکیک باند هستند که در (جدول ۵) مقادیر ضرایب انتشار ارائه شده است:

جدول ۵. مقادیر ضریب انتشار خاک و گیاه

مقادیر توان تشعشعی	باند ۱۰	باند ۱۱
ϵ_s	۰/۹۷۱	۰/۹۷۷
ϵ_v	۰/۹۸۷	۰/۹۸۹

در رابطه ۴، FVC یا پوشش گیاهی جزء به جزء، برآوردی کسری از منطقه تحت پوشش گیاهی می‌باشد. از این فاکتور برای تخمین LSE استفاده می‌شود. برای محاسبه این فاکتور از شاخص NDVI استفاده می‌شود.

$$NDVI_s = \frac{NDVI_v - NDVI_n}{NDVI_v + NDVI_n} \quad \text{رابطه (۵)}$$

که مقدار $NDVI_s$ مربوط به خاک و مقدار $NDVI_v$ مربوط به گیاه می‌باشد. برای به دست آوردن NDVI از باندهای قرمز و مادون قرمز نزدیک تصویر سنجنده OLI استفاده شد. دامنه تغییرات این شاخص بین +۱ و -۱ است. پس از به دست آوردن LSE برای هر دو باند مادون قرمز حرارتی، میانگین (ϵ) و اختلاف ($\Delta\epsilon$) LSE را نیز باید به دست آورد:

$$\epsilon = \frac{\epsilon_{10} + \epsilon_{11}}{2} \quad \text{رابطه (۶)}$$

$$\Delta\epsilon = \epsilon_{10} - \epsilon_{11} \quad \text{رابطه (۷)}$$

که در این رابطه، ϵ_{10} و ϵ_{11} LSE باند های ۱۰ و ۱۱ هستند. پس از انجام مراحل فوق و انجام فرایندهای ذکر شده، نقشه دمای سطحی منطقه مورد مطالعه تهیه گردید. علاوه براین به ترتیب، نقشه ضریب انتشار سطح زمین (LSE) و دامنه تغییرات پوشش گیاهی (NDVI) از منطقه نیز برای درک صحیح و کامل از LST ارائه شده است (شکل ۵، الف - ب).

(شکل ۶) نیز نقشه دمای سطحی (LST) گنبدهای نمکی مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

جدول ۴. مقادیر عددی ضرایب الگوریتم Window - Split

مقدار	ثابت
-۰/۲۶۸	C0
۱/۳۷۸	C1
۰/۱۸۳	C2
۵۴/۳	C3
-۲/۲۳۸	C4
-۱۲۹/۲	C5
۱۶/۴	C6

مخذ: (Skokovic et al, 2014; Sobrino et al, 1996; 2003; Shaouhua Zhao et al, 2009; Rajeshwari and Mani, 2014)

دمای تابشی (TB)

برای به دست آوردن دمای تابشی (Brightness Temperature)، مقادیر رادیانس طیفی بالای اتمسفر ($L\lambda$) ضروری است. بنابراین ابتدا باید داده‌های مادون قرمز حرارتی را به رادیانس تبدیل کرد. لذا ابتدا مقادیر درجات خاکستری (DN - Digital Number) باندهای شماره ۱۰ و ۱۱ سنجنده TIRS ماهواره لندست ۸ باید به صورت جداگانه به رادیانس طیفی بالای اتمسفر ($L\lambda$) تبدیل شوند. به طور کلی دمای تابشی (TB)، با اتخاذ فرمول زیر محاسبه می‌شود:

$$TB = \frac{K2}{Ln \left[\left(\frac{K1}{L\lambda} \right) + 1 \right]} \quad \text{رابطه (۲)}$$

در رابطه مذکور: $K1$ و $K2$ ثابت تبدیل حرارتی باند های ۱۰ و ۱۱ و $L\lambda$ نیز مقدار رادیانس طیفی بالای اتمسفر می‌باشند.

رادیانس طیفی بالای اتمسفر ($L\lambda$)

با استفاده از رابطه زیر و داده‌های موجود در متادیتای تصاویر (جدول ۳) می‌توان باندهای سنجنده‌های OLI و TIRS ماهواره لندست ۸ را به رادیانس تبدیل کرد.

$$L\lambda = ML \cdot Qcal + AL \quad \text{رابطه (۳)}$$

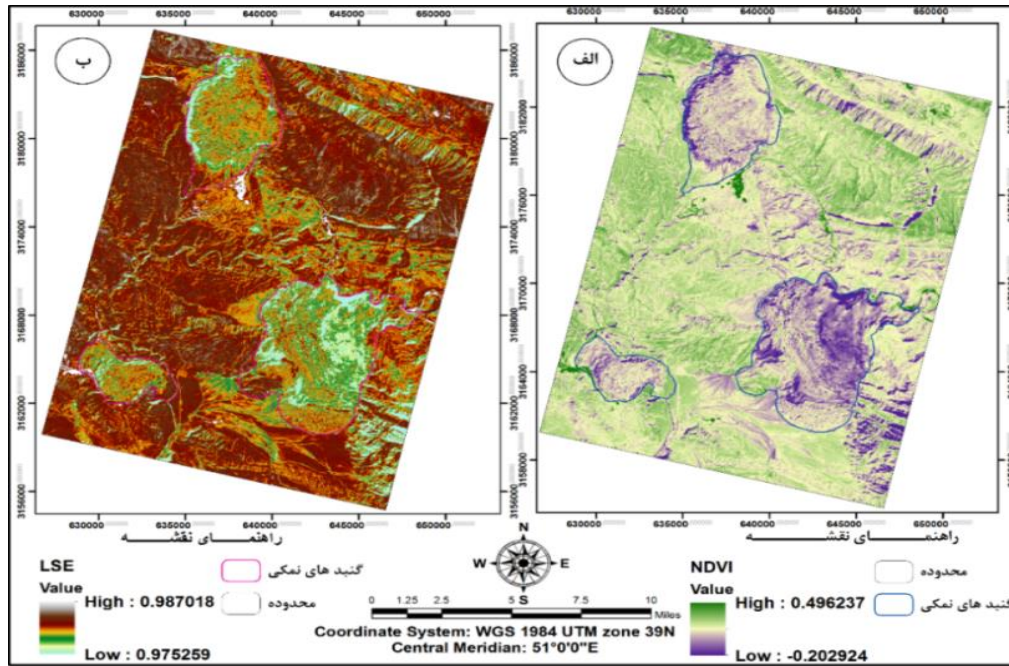
$L\lambda$ = رادیانس طیفی بالای اتمسفر ($Watts / (m^2 * srad * \mu m)$)

ML = ضریب تبدیل که از متادیتا استخراج می‌شود

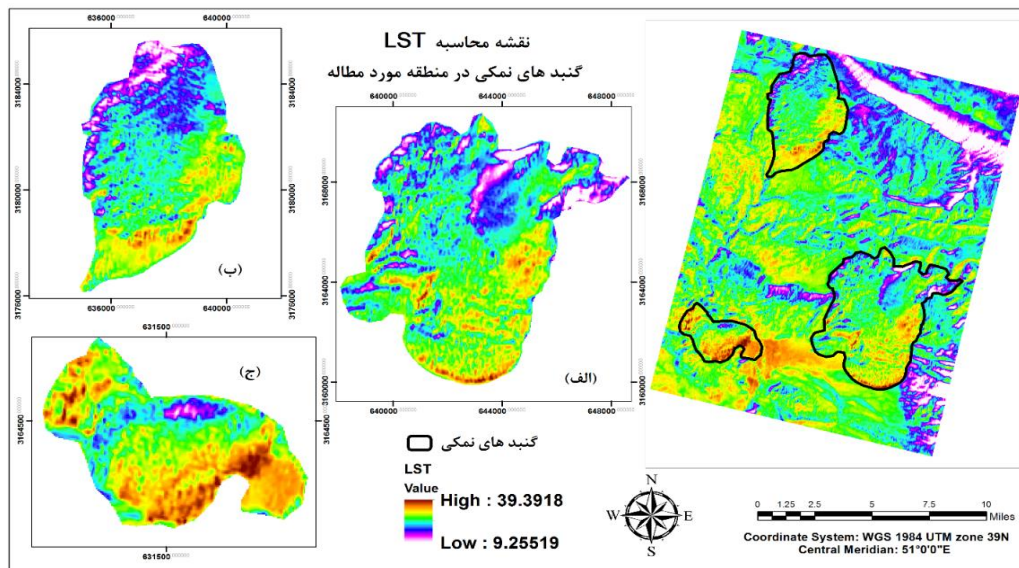
(RADIANCE_MULT_BAND_ شماره باند)

AL = ضریب تبدیل که از متادیتا استخراج می‌شود

(RADIANCE_ADD_BAND_ شماره باند)



شکل ۵. الف نقشه NDVI از گنبد های نمکی در منطقه مورد مطالعه ب - نقشه ضریب انتشار سطح زمین (LSE)



شکل ۶. نقشه LST از گنبد های نمکی در منطقه مورد مطالعه

بحث و نتایج

انتقال گرما (Heat transfer) به تبادل انرژی گرمایی بین چندین سیستم فیزیکی گفته می‌شود. انتقال گرما بین مواد و یا سیستم های گوناگون، از نظر فیزیک کلاسیک از طریق یکی از سه مکانیزم یا روش: ۱ - هدایتی ۲ - جابه جایی (همرفت) ۳ - تابشی انجام می‌شود. به طور کلی انتقال گرما با تغییر انرژی درونی ماده همراه است و بر پایه قانون دوم ترمودینامیک همیشه از جسم داغ‌تر به جسم سردتر روی می‌دهد. تعادل گرمایی زمانی روی می‌دهد که جسم‌های درگیر و پیرامونشان به دمایی یکسان برسند.

همرفت (Convection)، انتقال حرارت توسط انتقال ماده در مواد قابل شارش می‌باشد. در این مکانیزم با افزایش انرژی حرارتی در ماده یک

اختلاف چگالی ایجاد می‌شود که باعث حرکت یا شارش ماده از نقاط گرم به نقاط سردتر و در نتیجه انتقال حرارت می‌شود. تابش (Radiation)، انتقال حرارت از طریق انتشار امواج الکترومغناطیس می‌باشد. این فرایند در دمایی بیشتر از صفر کلوین رخ داده و به دمای سطح جسم و جنس سطح جسم بستگی دارد. هدایت (Conduction)، این نوع انتقال حرارت در تمام محیط‌های مادی بوقوع می‌پیوندد اما در جامدات و گازها بیشتر دارای عمومیت می‌باشد. در این مکانیزم گرما توسط عواملی مانند حرکت تصادفی مولکول‌ها و یا ارتعاش شبکه کریستالی جامد انجام شود. معادله حاکم بر انتقال حرارت هدایتی در حالت یک بعدی به صورت زیر نوشته می‌شود (قانون فوریه):

$$q = -k \frac{\partial T}{\partial x} \quad \text{رابطه (۷)}$$

در رابطه فوق q شار حرارتی، T درجه حرارت، $\frac{\partial T}{\partial x}$ گرادیان حرارتی در بعد x و K ضریب انتقال حرارتی می‌باشد. در محیط‌های غیر فلزی مقدار k کمتر از محیط‌های فلزی می‌باشد از این رو مواد غیرفلزی انتقال حرارتی کمتری نسبت به مواد فلزی خواهند داشت. عامل اصلی در گرم‌تر بودن دمای توده‌های گنبد‌های نمکی نسبت به واحدهای سنگی مجاور در حقیقت بالاتر بودن ضریب انتقال حرارتی نمک نسبت به سایر سنگ‌های هم‌جوار می‌باشد. (شکل ۷) بصورت شماتیک وجود جریان حرارتی بالاتر بر روی توده‌های نمکی نسبت به سنگ‌های هم‌جوار در نتیجه بالاتر بودن ضریب انتقال حرارتی نمک و انتقال بهتر انرژی زمین‌گرمایی در فراز یک توده نمکی را نشان می‌دهد.

در اثر افزایش وزن، رسوبات فوقانی گنبد‌های نمکی گاهی ب ضخامت بیش از ۱۰ هزار متر و فشردگی آنها باعث تغییرات درجه حرارت و در نتیجه اعمال نیروهای زمین‌ساختی و تنش‌های فشاری - مماسی و تغییرات حرارتی می‌شود که موجب ذوب مجدد و تبلور دوباره و تغییر آرایش کانی‌های سنگ و دگرگونی رسوبات قدیمی و جوان می‌گردد. ایجاد حرارت و تمرکز آن در هسته مرکزی دیاپیر باعث تغییر فازهای سه‌گانه در عبور جسم از حالت جامد به حالت مایع و بخار می‌گردد. با تغییرات فشار نیز بعلافت رفتار خمیری نمک در اثر اعمال فشارهای تکتونیکی و فشارهای رسوبات رویی، تغییر شکل‌های پیچیده‌ای بوجود می‌آید. اگر در بالای یک طبقه نمک اصلی، سطوح ضعیفی همچون گسل یا شکستگی‌های عمیق وجود داشته باشد حرکت نمک به طرف بالا شروع می‌شود و نمک از لایه‌های تغذیه کننده بیرون کشیده می‌شود.

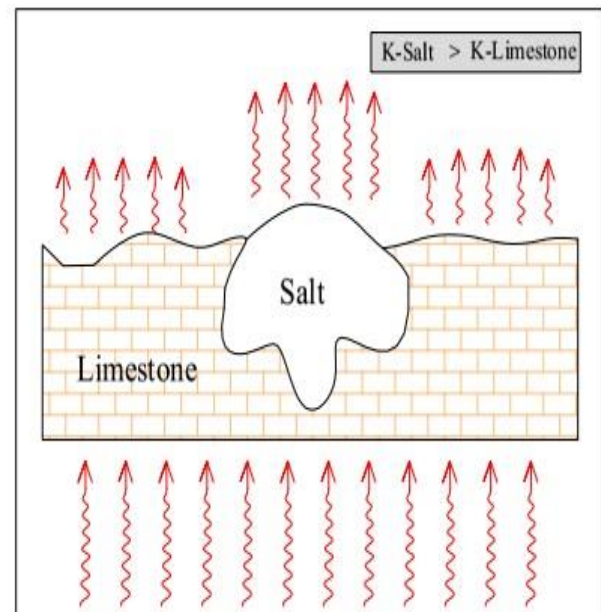
ستون یا لوله صعود کننده نمک به دلیل حرکات و فشارهای زمین‌ساختی ممکن است به اندازه‌ای نازک و فشرده شود که ارتباط آن با منشأ تغذیه کاملاً قطع شود. بر این اساس ممکن است انواع سیمایهای زیرزمینی از توده‌های نمک تشکیل شود (شکل ۹).

اعمال نیروهای زمین‌ساختی و تنش‌های فشاری - مماسی، تغییرات حرارتی، لغزندگی واحدهای ساختمانی و همچنین فرو نشستن لایه‌های فوقانی بر روی نمک، جریانهای قائم و افقی پیچیده‌ای را در توده‌های نمکی ایجاد خواهد کرد.

بالا آمدگی گنبد‌های نمکی تحت تاثیر فرآیند دیاپیریسم یا نیروی بالاران (Bouncy) شدیداً تحت تاثیر اختلاف چگالی توده‌های نمکی و سنگهای هم‌جوار، حرارت توده و حجم آن می‌باشد. بزرگتر بودن این سه پارامتر سبب حرکت سریع تر و افزایش ارتفاع بیشتر توده نمکی خواهد گردید. بدیهی است که با حرکت نمک به سمت بالا و افزایش ارتفاع توده نمکی از نیروی محرکه بالاران (Bouncy driving force) و حرارت آن کاسته می‌شود و نمک در پاسخ به نیروی وزن خود و نیروی گرانش زمین دچار یک جریان افقی با شیب ملایم شده و همچون یک سیال به سمت نقاط کم فشار و حاشیه‌ها حرکت می‌کند (شکل ۱۰).

سیمای ساختاری نمک شارها (Salt glacier) در ارتباط با همین حرکات افقی نمک می‌باشد. اعمال نیروهای زمین‌ساختی و تنش‌های فشاری - مماسی، تغییرات حرارتی، لغزندگی واحدهای ساختمانی و همچنین فرو نشستن لایه‌های فوقانی بر روی نمک، جریان‌های قائم و افقی پیچیده‌ای را در توده‌های نمکی ایجاد خواهد کرد.

گسل کره‌بس یک سامانه گسلی عرضی (صحابی فرد و همکاران، ۱۳۹۴: ۱۸۱) با راستای تقریبی شمالی - جنوبی، و یک گسل پی سنگی (Kent, 2004) حاصل از انرژی جریان حرارتی درون زمین یا زمین‌گرمایی، حرارت حاصل از انباشتگی رسوب و دیگری حرارت حاصل از عمل نیروهای فشاری - مماسی که در هسته مرکزی دیاپیر نمکی ایجاد شده و چرخشی شبیه جریانهای جابجایی را بوجود می‌آورد.



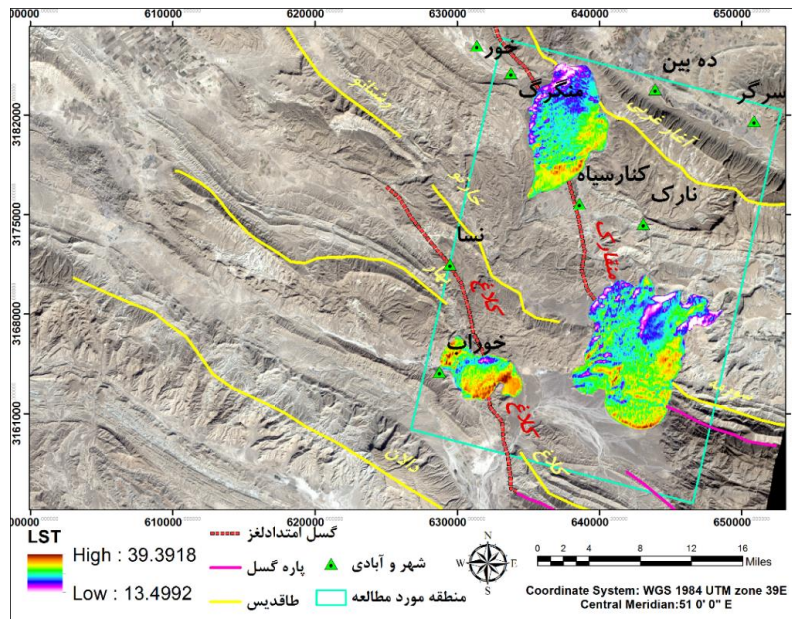
شکل ۷. جریان حرارتی بالاتر بر روی توده‌های نمکی نسبت به سنگ‌های هم‌جوار در نتیجه بالاتر بودن ضریب انتقال حرارتی نمک

حرارت در اثر فرونشستن و انباشتگی (Loading) رسوبات رویی در عمق افزایش یافته و نمک بعلافت بالا بودن ظرفیت حرارتی ویژه و ضریب انتقال حرارتی بالا می‌تواند در انتقال حرارت نقش بسزایی داشته باشد.

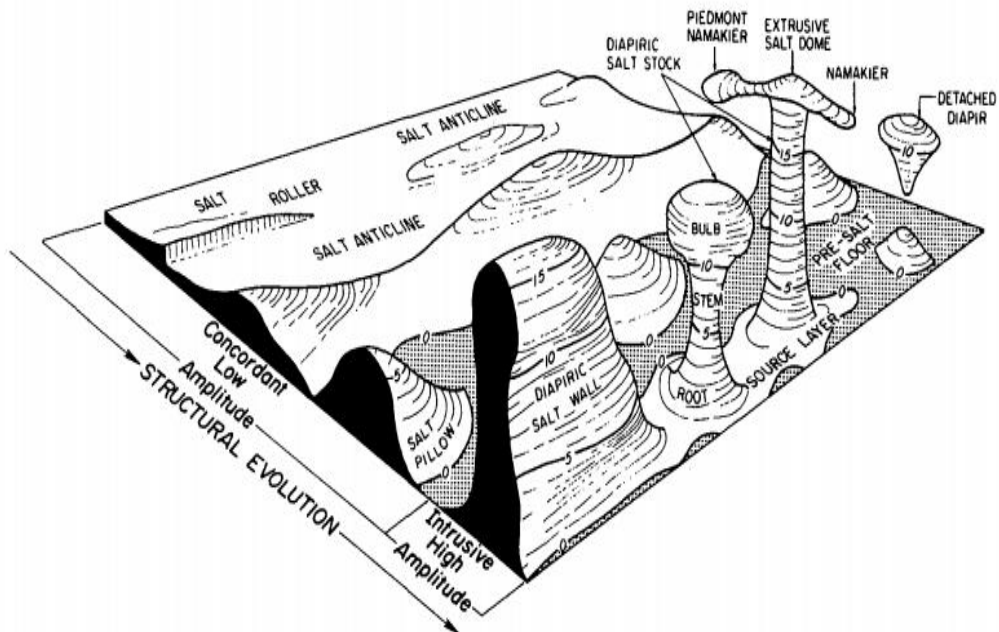
اعمال درجه حرارت بر تشکیلات تبخیری بر سه گونه است: حرارت حاصل از انرژی جریان حرارتی درون زمین یا زمین‌گرمایی، حرارت حاصل از انباشتگی رسوب و دیگری حرارت حاصل از عمل نیروهای فشاری - مماسی که در هسته مرکزی دیاپیر نمکی ایجاد شده و چرخشی شبیه جریانهای جابجایی را بوجود می‌آورد.

گنبد‌های نمکی مورد مطالعه از جمله گنبد نمکی جهانی از بزرگترین برون رانی‌های فعال نمک، در کوه‌های زاگرس در بین رخنمون‌های نمک بر روی گسل کره‌بس می‌باشد (پورکاسب و همکاران، ۱۳۹۲). دگرشکلی و تغییر شکل در نقاط مختلف کمربند چین خورده - رانده زاگرس با نرخ‌های متفاوتی از سرعت، جهت و شیب در حال وقوع می‌باشد (Alavi, 2004).

گسل کره‌بس یک سامانه گسلی عرضی (صحابی فرد و همکاران، ۱۳۹۴: ۱۸۱) با راستای تقریبی شمالی - جنوبی، و یک گسل پی سنگی (Kent, 2004)



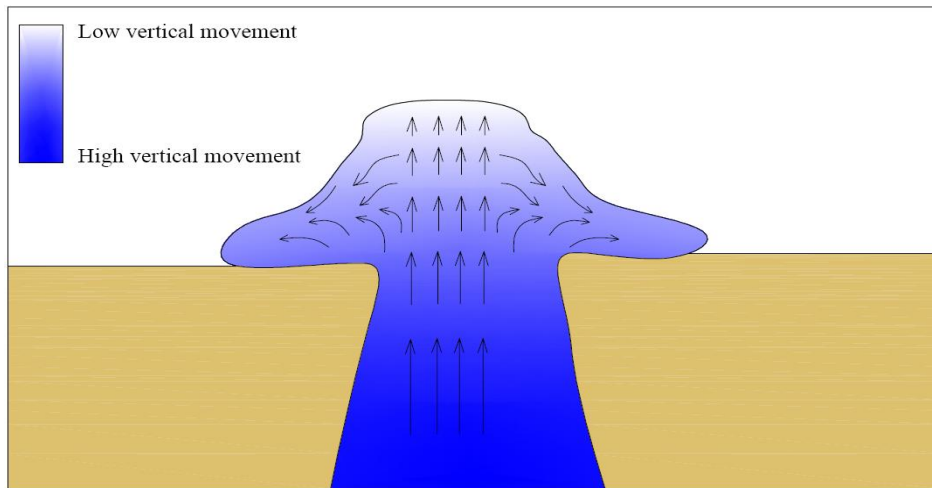
شکل ۸. پهنه گسل کره‌بیس و نمایش گسل‌های امتداد لغز کلاخ و منقارک



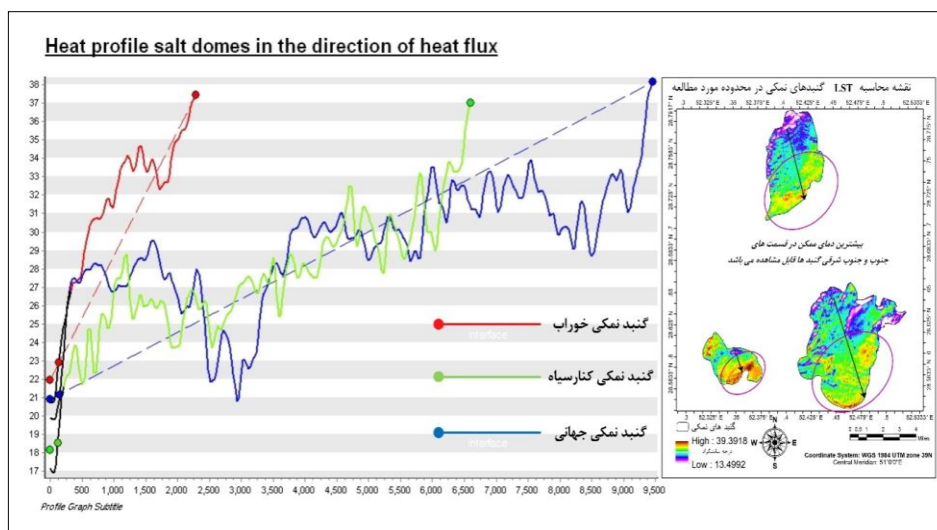
شکل ۹. شکل هندسی متفاوت از گنبد‌های نمکی در اثر عوامل مختلف (Twiss and Moores; 1992)

سیمای ساختاری نمک‌شارها (Salt glacier) در ارتباط با همین حرکات افقی نمک می‌باشد. شیب توپوگرافی در الگوی انتشار جانبی و افقی نمک و سیمای مورفولوژیکی نمک‌شار بسیار با اهمیت می‌باشد. مقایسه الگوی حرارتی گنبد‌های نمکی مورد مطالعه نشان دهنده گرمتر بودن این توده‌های نمکی در بخش‌های جنوبی در راستای شارش افقی و کم شیب نمک می‌باشد. مقایسه نیمرخ توپوگرافی توده‌های گنبد نمکی و میزان شارش حرارتی نشان دهنده یک ارتباط معکوس بین ارتفاع و میزان حرارت در آنها می‌باشد (شکل ۱۱ و ۱۲).

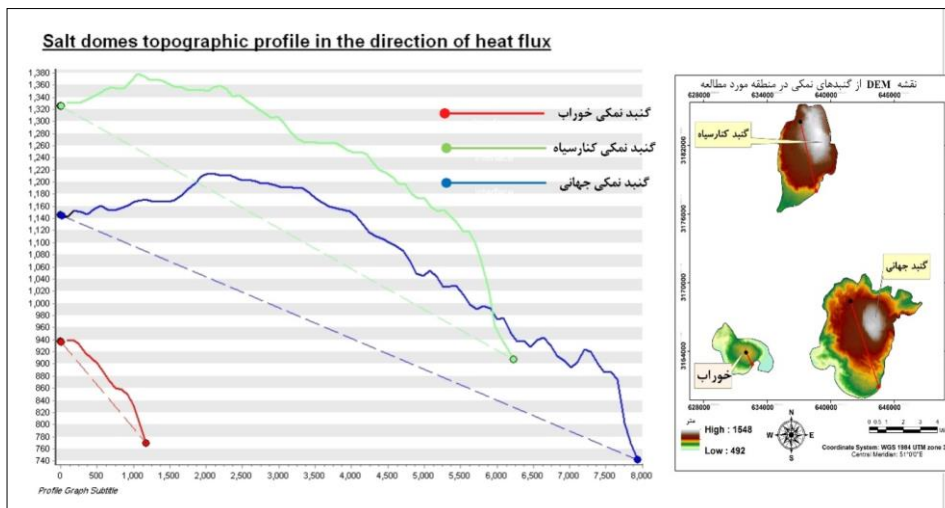
بالآمدگی گنبد‌های نمکی تحت تاثیر فرآیند دیاپیریسم یا نیروی بالاران (Bouncy) شدیداً تحت تاثیر اختلاف چگالی توده‌های نمکی و سنگ‌های همجوار، حرارت توده و حجم آن می‌باشد. بزرگتر بودن این سه پارامتر سبب حرکت سریع‌تر و افزایش ارتفاع بیشتر توده نمکی خواهد گردید. بدیهی است که با حرکت نمک به سمت بالا و افزایش ارتفاع توده نمکی از نیروی محرکه بالاران (Bouncy driving force) و حرارت آن کاسته می‌شود و نمک در پاسخ به نیروی وزن خود و نیروی گرانش زمین دچار یک جریان افقی با شیب ملایم شده و همچون یک سیال به سمت نقاط کم فشار و حاشیه‌ها حرکت می‌کند (شکل ۱۰).



شکل ۱۰. کاهش نیروی بالاراز با افزایش ارتفاع گنبد نمکی و افزایش شارش جانبی



شکل ۱۱. نیمرخ حرارتی گنبد‌های نمکی در جهت شار گرمایی - با جهت شمال به جنوب و شمال غرب به جنوب شرقی.



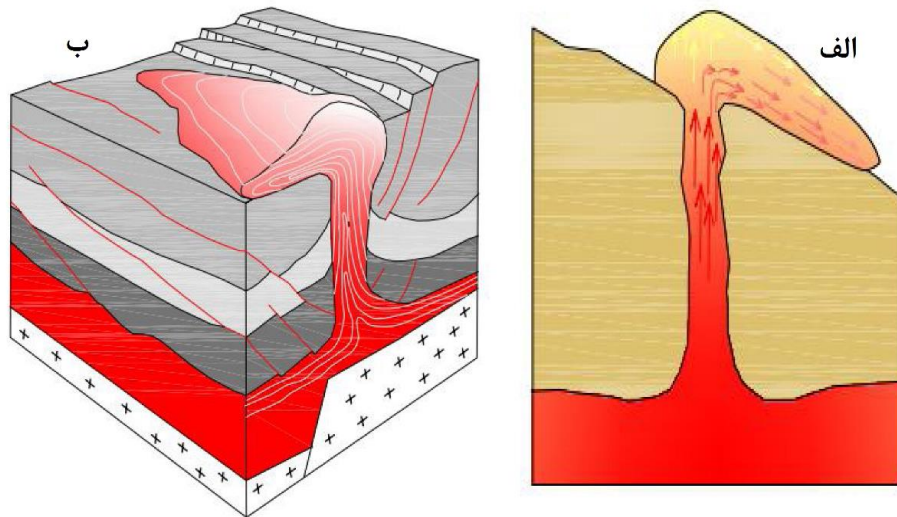
شکل ۱۲. نیمرخ توپوگرافی گنبد‌های نمکی در جهت شار گرمایی - با جهت شمال به جنوب و شمال غرب به جنوب شرقی.

گرم در مقایسه با شارش قائم نمک تحت نیروی بالاراز دی‌پایریسم می‌باشد (شکل ۱۳). بصورت یک مدل ساختاری شماتیک در یک نمای دو بعدی و سه بعدی کاهش نیروی بالاراز نمک در نتیجه افزایش ارتفاع، کاهش

نتایج نشان دهنده وجود نسبت مستقیم بین جهت شیب توپوگرافی و میزان جریان حرارتی در هر سه گنبد نمکی مورد مطالعه می‌باشد. عامل اصلی این پدیده در ارتباط با پیشی گرفتن شارش افقی و کم شیب نمک

به عنوان عاملی تعیین‌کننده در بالاتر بودن آنومالی جریان حرارتی در حاشیه‌های جنوبی گنبد‌های نمکی شناخته شد. علاوه بر این در نقاط ارتفاعی و قله گنبد‌های نمکی، با انحلال تدریجی نمک و شسته شدن آن، لایه ای به صورت پوششی برجا می‌ماند، مسلماً هر قدر جریان آب و شستشو زیادتر باشد ضخامت لایه های پوششی بیشتر و شارش حرارت نمک کمتر می‌شود.

حرارت و افزایش چگالی نمک و شارش نمک گرمتر در جهت شیب توپوگرافی را نشان می‌دهد. بر این اساس می‌توان نتایج بدست آمده از نقشه حرارتی LST و وجود آنومالی حرارتی بیشتر در بخش‌های جنوبی گنبد‌های نمکی کنار سیاه، جهانی و خوراب (کوه گچ) را توجیه نمود. در این پژوهش عامل افزایش ارتفاع و کاهش نیروی بالاران و پاسخ نمک به نیروی وزن خود و نیروی گرانش زمین در جهت شیب توپوگرافی



شکل ۱۳. الف - مدل ساختاری دو بعدی، ب - مدل ساختاری سه بعدی، جهت نمایش وجود آنومالی حرارتی بیشتر در بخش های مختلف گنبد‌های نمکی مورد مطالعه

کره‌بس می‌توان استفاده کرد، که بر این اساس عامل افزایش ارتفاع و کاهش نیروی بالاران و پاسخ نمک به نیروی وزن خود و نیروی گرانش زمین در جهت شیب توپوگرافی به عنوان عاملی تعیین‌کننده در بالاتر بودن آنومالی جریان حرارتی در حاشیه‌های جنوبی گنبد‌های نمکی شناخته شد.

مقایسه نیمرخ توپوگرافی توده‌های گنبد نمکی و میزان جریان حرارتی نشان دهنده یک ارتباط معکوس بین ارتفاع و میزان حرارت در آنها می‌باشد. کاهش نیروی بالاران در نتیجه افزایش ارتفاع گنبد نمکی و غلبه نیروی وزن نمک بر نیروی بالاران سبب شکل گیری یک جریان نمکی گرمتر از حاشیه گنبد در جهت شیب توپوگرافی شده است. نتایج نشان دهنده وجود نسبت مستقیم بین جهت شیب توپوگرافی و میزان جریان حرارتی و نسبت معکوس بین عامل ارتفاع و درجه حرارت در هر سه گنبد نمکی مورد مطالعه می‌باشد. به گونه‌ای که بالاترین درجه حرارت در گنبد‌های نمکی خوراب، کنارسیاه و جهانی به ترتیب ۳۷، ۳۷ و ۳۸ درجه در نقاط ارتفاعی پایین حدود ۷۶۰، ۹۰۰ و ۷۴۰ متر از سطح دریا به دست آمده است که نشان دهنده معکوس بودن رابطه عامل ارتفاع با درجه حرارت می‌باشد. به طور کلی عامل اصلی این پدیده در ارتباط با پیشی گرفتن شارش افقی و کم شیب نمک گرم در مقایسه با شارش قائم نمک تحت نیروی بالاران آن می‌باشد. از مهمترین جنبه‌های کاربردی این مقاله می‌توان به مکان یابی نقاط با آنومالی حرارتی بالاتر جهت استفاده از انرژیهای زمین گرمایی در اطراف گنبد‌های نمکی اشاره کرد.

نتیجه گیری

از کاربردهای مهم تصاویر حرارتی دور سنجی می‌توان به کشف انرژی‌های درونی زمین و بررسی تغییرات دمایی پدیده‌ها اشاره کرد. تشکیلات تبخیری از جمله سازندهای زمین‌شناسی هستند که از نظر جغرافیایی در کشور ما از جمله زاگرس چین‌خورده، دارای گسترش چشمگیری می‌باشند. یکی از پدیده‌های شاخص مورفولوژیکی مرتبط با این تشکیلات تبخیری توسعه ساختاری گنبد‌های نمکی می‌باشد.

مطالعه گنبد‌های نمکی به خاطر ویژگی‌های منحصر به فرد نمک از لحاظ تکتونیکی و سنگ‌شناسی و برهم‌کنش‌های قوی میان جریان‌های حرکتی و حرارتی از اهمیت شایانی در زمین‌شناسی برخوردار می‌باشد. جریان حرارتی بالا در گنبد‌های نمکی از ویژگی‌های اصلی این پدیده‌های زمین‌شناسی به شمار می‌آید. عامل اصلی در گرمتر بودن دمای توده‌های گنبد‌های نمکی نسبت به واحدهای سنگی مجاور در حقیقت بالاتر بودن ضریب انتقال حرارتی نمک نسبت به سایر سنگ‌های همجوار می‌باشد. فناوری سنجش از دور در سال‌های اخیر نقش پررنگی را در کسب اطلاعات از این پدیده‌های منحصر به فرد بر عهده گرفته است. در واقع استفاده از روش‌های سنجش از دور حرارتی و تصاویر ماهواره‌ای از جمله روش‌هایی هستند که می‌توانند در تخمین دمای سطح گنبد‌های نمکی منطقه مورد مطالعه (LST) بسیار مفید عمل کنند. نتایج نشان می‌دهد که از تصویر سنجنده‌های OLI (سنجنده تصویربرداری عملیات زمینی) و TIRS (سنجنده مادون قرمز حرارتی) ماهواره لندست ۸ جهت بررسی دلایل آنومالی جریان حرارتی در ساختارهای گنبد نمکی سامانه گسلی

پیشنهادات

تصاویر سنجنده استر و ماهواره مادیس نیز می‌تواند با دارا بودن باندهای حرارتی، برای بررسی‌های دمای پدیده مفید واقع شوند.

برای بررسی دمای نواحی و گنبد‌های نمکی با وسعت زیاد پیشنهاد می‌شود حتی الامکان از تصاویر ماهواره‌ای با باندهای حرارتی استفاده شود.

منابع

- آرین، م.، قرشی، م.، پورکرمانی، م.، احمدنیا، ع.، ۱۳۸۴، تأثیر ساختاری سامانه‌های گسلی تراگذر کره بس در کمربند چین خورده و رانده زاگرس، فصلنامه علوم زمین، دوره ۱۵، شماره ۵۷، ص ۱۲۶ - ۱۳۳
- بمانی، م. و مجتهدزاده، س.ح. و کوهساری، ا.ح.، ۱۳۹۵، تعیین پتانسیل کانی سازی بورات در جنوب سبزوار با استفاده از GIS و RS، مجله زمین‌شناسی کاربردی پیشرفته، شماره ۲۰، ص ۶۳ - ۷۶
- پورکاسب، ه.، دمیری، ک.، رنگزن، ک.، سعیدی، س.، ۱۳۹۲، بارزسازی واحدهای سنگ شناختی گنبد نمکی جهانی (فیروزآباد)، با استفاده از تحلیل مؤلفه‌های اصلی، مجله زمین‌شناسی اقتصادی، شماره ۱، جلد ۵، ص ۸۳ - ۹۰
- ثروتی، م.، حمدی، ب.، یزدجردی، ک.، ادیب پور، م.، ۱۳۸۹، بررسی مورفولوژی گنبد نمکی جهانی در جنوب غرب فیروزآباد، فصل نامه جغرافیای طبیعی، سال سوم، شماره ۷، ۱۵ - ۳۲.
- رجیبی، م.، طرز، ع.، ۱۳۸۸، تکنوتیک نمکی و آثار ژئومورفولوژی آن در آذربایجان: مطالعه موردی گنبد‌های نمکی جنوب شمال تبریز، جغرافیا و توسعه، شماره ۱۶، ص ۴۷ - ۷۰
- رنگزن، ک.، زراسوندی، ع.، ر.، عبدالخانی، ع.، مجردی، ب.، ۱۳۹۳، مدل‌سازی آلودگی هوا با استفاده از تصاویر سنجنده مودیس: مطالعه موردی توده‌های گرد و غبار استان خوزستان، مجله زمین‌شناسی کاربردی پیشرفته دانشگاه شهید چمران اهواز، شماره ۱۴، ص ۳۸ - ۴۵.
- زمردیان، م.، ۱۳۸۳، ژئومورفولوژی ایران، انتشارات دانشگاه فردوسی، چاپ دوم، مشهد، ص. ۲۶۸.
- شایان، س.، زارع، غ.، ۱۳۹۰، گنبد‌های نمکی ایران، مجله آموزش جغرافیا، دوره بیست و پنجم، شماره ۳، ص ۱۸ - ۲۶.
- صحابی فرد، د.، یساقی، ع.، گودرزی، م.، ۱۳۹۴، تحلیل ساختاری پاره‌گسل‌های جنوبی پهنه گسل عرضی کره‌بس در جنوب فیروزآباد، کمربند چین رانده زاگرس، فصلنامه علوم زمین، سال بیست و چهارم، شماره ۹۵، ص ۱۸۱ - ۱۹۰.
- فیضی زاده، ب. و دیده بان، خ.، ۱۳۹۵، برآورد دمای سطح زمین با استفاده از تصاویر ماهواره لندست ۸ و الگوریتم پنجره مجزا مطالعه موردی: حوضه آبریز مهاباد، فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (سپهر) دوره ۲۵، شماره ۹۸، ص ۱۷۱ - ۱۸۱.
- علوی پناه، س. ک.، ۱۳۸۷، سنجش از دور حرارتی و کاربرد آن در علوم زمین، انتشارات تهران، چاپ دوم، ص. ۵۵۲.
- کرم پور، م. و ملکزاده، آ.، ۱۳۹۵، تلفیق تصاویر لندست ۸ و ژئوشیمی رسوبات رودخانه ای برای اکتشاف منابع معدنی: مطالعه موردی در ناحیه ده سلیم، شرق ایران، مجله زمین‌شناسی کاربردی پیشرفته، دوره ۶، شماره ۲۰، ص ۱۵ - ۲۸.
- مهرابی، ع.، استانبور، م.، رادفر، ش.، وزیری، م.، درخشانی، ر.، ۱۳۹۴، شناسایی خطواره‌های گسلی کمربند چین خورده - راندگی زاگرس برپایه تفسیر تصاویر ماهواره‌ای و تعیین ارتباط آنها با موقعیت گنبد‌های نمکی رخنمون یافته سری هرمز با استفاده از تحلیل‌های GIS، فصلنامه علوم زمین، سال بیست و چهارم، شماره ۹۵، ص ۱۷ تا ۲۳.
- Ala, M. A., 1974, Salt diapirism in southern Iran. Amer. Assoc. Petrol. Geol. Bull., vol: 58, No: 9, p: 1758 - 1770.
- Bahroudi, A. and Talbot, C. J., 2003, configuration of the Basement beneath the Zagros basin, Journal of Petroleum Geology, vol: 26, p: 257 - 282.
- Barzegar, F., 1994, Basement fault mapping of E - Zagros foreland belt, southwest Iran, based on spaceborne remotely sensed data. Proceeding of the tenth thematic conference on geologic remote sensing, exploration, environment and engineering.
- Baskent, E. Z., Keles, S., 2005. Spatial forest planning: A review, Ecological modelling vol: 188, p: 145-173.
- Becker, F., Li, Z. - L., 1995. Surface temperature and emissivity at various scales: Definition, measurement and related problems, Remote Sens. Vol: 12, p: 225 - 253
- Berberian, M., 1995, Master blind thrust fault hidden under the Zagros fold: active basement tectonics and surface morphotectonics, Tectonophysics, vol: 241, p: 193 - 224.
- Coleman - Sadd, S. P., 1978. Fold development in Zagros simply folded belt, southwest Iran: Am. Assoc. Petrol Geol. Bull., vol. 62, p. 984 - 1003.
- Diersch, H.J.G, Kolditz .O, 1998, Coupled groundwater flow and transport: thermohaline and 3D convection systems. Adv Water Resour, vol: 21, p: 401-425.
- Elder, JW. 1967, Transient convection in a porous medium. J Fluid Mech, vol: 27(3), p: 609-623.
- Evans, D.G, Nunn JA., 1989, Free thermohaline convection in sediments surrounding a salt column. J Geophys Res, vol: 94, p: 413-422.
- Farhoudi, G., Faghih, A., Mosleh, H., Keshavarz, T., Heyhat, M. R. and Rahnama - Rad, J., 2008, Using GIS/RS techniques to interpret different aspects of salt domes in southern Iran. Geophysical Research Abstracts, vol: 10, p: 652 - 661.

- Geiger S, Driesner T, Heinrich CA, Mattha SK., 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.
- Goudie,A.S., 2004.(ed), *Encyclopedia of Geomorphology*, Vol: 2, Routldge.
- Honor JS, Bailey JE.1983, Use of hydraulic head and hydraulic gradient to characterize geopressed sediments and the direction of fluid migration in the Louisiana Gulf Coast. *Gulf Coast Association of Geological Societies Transactions* Vol. 33, P: 115 - 122
- Harrison J. V., 1931, "Salt domes in Persia", *Journal of institute of petroleum technology*, vol: 17 p: 300 - 320.
- Hessami, Kh., Koyi, H. A., Talbot, C. J., 2001, The significance of strike - slip faulting in the basement of the Zagros fold and thrust belt, *Journal of Petroleum Geology*, vol: 24,p: 5 - 28.
- Hart BS, Flemings PB, 2012, Porosity and pressure: role of compaction disequilibrium in the development of geopressures in a Gulf Coast Pleistocene basin. *Geology*, vol: 23 p: 45-48.
- Hughes JD, Sanford WE.2004, SUTRA - MS: a version of SUTRA modified to simulate heat and multiple - solute transport. *US Geol Surv Open - File Rep*, p: 1207, 152.
- Jackson, M. P. A., Talbot, C. J., 1994, *Advances in salt tectonics*. In: *Continental Deformation*, (Ed. By P. L. Hancock) Pergamon PressLtd. Oxford, p: 173 - 176.
- Jamshidzadeh Z, Frank T, Ghasemzadeh H, Tavangari Barzi M, Jeffrey S. Hanor, 2015, Dispersive thermohaline convection near salt domes: a case at Napoleonville Dome, southeast Louisiana, USA. *Hydrogeology Journal* Issue, vol: 5, p: 983-998.
- Jaros, J., 1981, The Zagros Mountains, its development and analysis of tectonic styles. *Vist. Ústø. Úst. Geol.*, vol: 56, No: 2, p: 113 - 120.
- Kent, P.E.1958, Recent studies of south Persian salt plugs. *Am Assoc Petroleum Geol Bull* 422, p: 2951-2972
- Kent, P.E.1970, The salt plugs of the Persian Gulf region. *Trans Leicester lit phil Soc*, Vol: 44, p: 56-88.
- Kent, P. E.1979, The emergent hormoz salt structures of southern Iran. *Journal of petroleum geology*, vol: 2, 2, p:17 - 144.
- Lathrop, G.R., and Bognar, J.A., 1998. Applying GIS and landscape ecological principles to evaluate land conservation alternatives, *Landscape and urban planning*, vol: 41, p: 27 - 41.
- Langevin, C.D., Dausman A.M, Sukop M.C., 2010, Solute and heat transport model of the Henry and Hilleke laboratory experiment. *Ground Water*, vol: 48, No:5, p: 757-770.
- Lees, GM., 1927, Salzgletscher in Persien. *Mitt geol Ges Wien*, vol: 22, p: 29-34.
- Liu, I.Shih, Rolci. A, I.Shih Liu1, Rolci .A. Cipolatti, Mauro A. Rincon, Luiz A. Palermo, 2014, Successive linear approximation for large deformations - Instability of salt migration. *J Elast*, vol: 114, p: 19-39.
- McPherson, B.J.O.L, Garven. G., 1999, Hydrodynamics and overpressure mechanisms in the Sacramento basin, California. *Am J Sci*, vol: 299 p: 429-466.
- Manchanda, M.L., Kudrat, M. and Tiwari, A.K., 2002. Soil survey and mapping using remote sensing, *Tropical ecology*, vol: 43, p: 61 - 74.
- Nunn, J.A.1996, Buoyancy - driven propagation of isolated fluidfilled fractures: implications for fluid transport in Gulf of Mexico geopressed sediments. *J Geophys Res*, vol: 101, p: 2963-2970.
- O'Brien, C. A. E., 1957. Salt diapirism in south Persia: *Geol. en Mijnb. n. s.* 19, p. 357 - 376.
- Rangzan, k., 1995, Morpho - Tectonic Study of Zagros Structural Belt of SW Iran Using Remote Sensing Techniques, *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, Vol.23, No. 4,p: 212 - 224.
- Rajeshwari, A.1, 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.
- Ranganathan, V, Hanor, J.S., 1988, Basin density - driven groundwater flow near salt domes. *Chem Geol*,vol: 74,p:173-188.
- Ranganathan, V., 1992, Basin dewatering near salt domes and formation of brine plumes. *J Geophys Res*, vol: 97, p: 4667-4683.
- Shaohua, Z, Qiming. Q, Yonghui, Y, Yujiu, X, Guoyu, Q, 2009, Comparison og two SplitWindow Mehtods for Retrieving Land Surface Temperature from MODIS Data , *Journal of Earth Syst. Science*, Vol.118, No.4, p: 345 - 353.
- Sharhan .A.L., Nairn .A.E.M., 2003, *Sedimentary basins and petroleum geology of the Middle East*, Elsevier science b.v, p - 899.
- Skokovic.D, Sobrino.J.A, Jimenez - Munoz.J.C, Soria.G, Julien.Y, Mattar.C, Jordi C., 2014, Calibration and Validation of Land Surface Temperature for Landsat 8 - TIRS Sensor, *Land product Validation and Evolution, ESA/ESRIN Frascati (Italy)*, vol: 6, p: 28 - 30,.
- Sobrino.J.A, Reillo.S, Cueca.J and Prata.A.J, Algorithms for Estimating Surface Temperature from ASTR - 2 Data, http://earth.esa.int/pub/ESA_DOC/gothenburg/101sobri.pdf.
- Srivastava, S.K. and Gupta, R.D., 2003. Monitoring of changes in land use/ land cover using multi - sensor satellite data, *Map India conference 2003*, New Dehli, India.
- Strcklin, J., 1974. Possible ancient margins in Iran, in Burke, C. A., and Drake, C. L., eds., *The geology of continental margin: New York*, Springer - Verlag, p. 873 - 887.
- Talbot, C.J., 1979, Fold trains in a glacier of salt in southern Iran. *J Struct Geol*, vol: 1, p: 5-18
- Talbot C. J., Medvedev S., Alavi M., Shabrivar H., Heidavi E, 2000, Salt Extrusion Rates at kuh - EJahani, Iran: June (1994) to November, (1997), *Spec. Pub - Geol. Soc. Lond*, vol: 174, p: 93 - 110.
- Thapa, R. T., and Murayama, Y., 2008. Land evaluation for peri - urban agriculture using analytical hierarchical process and geographic information system techniques, *Land use policy*, vol: 25: p: 225-239.
- Thorne, D, Langevin C.D, 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.
- Twiss R. J., E. M .Moore, 1992, *Structural Geology: New York*, W.H. Freeman and Company, 532 p.

- Voss .C.I, 1984, A finite - element simulation model for saturated– unsaturated, fluid - density - dependent ground - water flow with energy transport or chemically - reactive single - species solute transport. US Geol Surv Water Resour Invest Rep 84–4369, p: 409.
- Waltham, T., 2008, Salt terrains of Iran. *Geology Today*, vol: 24, NO: 5, p: 188 - 194.
- Warren J.k., 2010, Evaporites through time: Tectonic, climatic and eustatic controls in marine and nonmarine Deposits, *Journal of Earth science reviews*, vol: 98, p: 217 - 268.
- 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, No: 12, p: 152 - 167.
- 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.
- Zarei, M., Raeisi, E., 2010. Karst development and hydrogeology of Konarsiah salt diapir, south of Iran, *Carbonates Evaporites*, vol: 25, p: 217–229.