

# بر آورد دمای سطحی بازالت‌های گندم‌بریان - کرمان: به عنوان یکی از قطب‌های گرمایی کره زمین با استفاده از تصاویر فرورسرخ گرمایی سنجنده ETM<sup>+</sup>

بهرام بهرام‌بیگی<sup>۱\*</sup>، داود ریسی<sup>۲</sup>، سید کاظم علوی پناه<sup>۳</sup> و سید حسام‌الدین معین‌زاده<sup>۴</sup>

<sup>۱</sup> دانشجوی دکترا، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران

<sup>۲</sup> دانشجوی دکترا، دانشکده زمین‌شناسی، پردیس علوم، دانشگاه تهران، تهران، ایران

<sup>۳</sup> استاد، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، تهران، ایران

<sup>۴</sup> استادیار، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۰/۰۶/۲۷ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۰۳/۰۸

## چکیده

منطقه گندم‌بریان یا ریگ سوخته در شمال باختر کرمان و در کویر لوت واقع شده است. این ناحیه همواره از دید دمای زیاد مورد توجه بوده است. در این مطالعه با بهره‌گیری از مطالعات سنجنش از دور گرمایی و با استفاده از نرم‌افزار ENVI و تصاویر گرمایی سنجنده ETM<sup>+</sup> دمای سطحی منطقه گندم‌بریان اندازه‌گیری شده است (ساعت تصویربرداری ۱۰ صبح روز چهارشنبه ۷ مهرماه ۱۳۸۹). توزیع غیر یکنواخت سنگ‌های بازالتی و فرسایش و شکستگی سنگ‌ها در منطقه گندم‌بریان سبب شده است تا دمای سطحی محاسبه شده در بخش جنوبی گندم‌بریان که پوشیده از سنگ‌های بازالتی تیره رنگ است، شدت بازتاب گرمایی بیشتری نسبت به بخش شمالی منطقه از خود نشان دهد. از سوی دیگر بررسی فاکتور خطورگی در این ناحیه نشان می‌دهد که مناطق با شدت شکستگی بیشتر دمای سطحی کمتری نسبت به پیرامون خود دارند. وجود رشته‌کوه‌ها در همه جهات کویر لوت (شمال، جنوب، خاور و باختر)، نفوذ رطوبت دریایی به‌ویژه از سوی اقیانوس هند به درون آن را محدود می‌سازد و این امر سبب افزایش خشکی و تعداد ساعات آفتابی و کاهش ابرناکی منطقه شده است. به طور کلی موقعیت کویری، عرض جغرافیایی و ارتفاع پایین منطقه از عواملی هستند که در کنار جذب سطحی ویژه بازالت، دمای بسیار بالای سطح سرتخت بازالتی یادشده را سبب می‌شوند. با احتساب تصحیحات روزانه و ماهانه، دمای پایانی محاسبه شده به عنوان بالاترین دمای برآوردی سرتخت بازالتی گندم‌بریان در سال دست کم ۷۶ درجه سانتی‌گراد است که بر پایه بررسی‌های صورت پذیرفته می‌توان این ناحیه را به عنوان یکی از قطب‌های گرمایی کره زمین در نظر گرفت.

**کلیدواژه‌ها:** گندم‌بریان، سنجنش از دور حرارتی، فاکتور خطورگی، قطب‌های گرمایی کره زمین.

\* نویسنده مسئول: بهرام بهرام‌بیگی

E-mail: b.bahram.100@gmail.com

## ۱- پیش‌نویس

بسیار مهم است. پدیده‌ها و اجسام، امواج الکترومغناطیسی خورشید را جذب، بازتاب و عبور یا گسیل می‌کنند، بنابراین اصلی‌ترین عامل مؤثر دمای سطوح، انرژی حاصل از جذب امواج الکترومغناطیسی خورشید است. عوامل مؤثر دیگر بر دمای سطح ناشی از ویژگی‌های گرمایی و فیزیکی پدیده‌ها و شرایط کلی جو حاکم است. بنابراین با در نظر گرفتن روابط امواج گسیلی سطح اجسام می‌توان دمای سطح را بر حسب واحدهای نشان‌دهنده دما محاسبه و ارائه کرد. تاکنون از این روش در مطالعات بسیاری همچون مسائل نظامی، یافتن نقاط مستعد منابع زمین گرمایی و مسائل زیست‌محیطی و برنامه‌ریزی شهری استفاده شده است (Artis & Carnahan, 1982; Rothery et al., 1988; Schneider & Mauser, 1996; Urai, 2000; Franca & Cracknell, 1994; Suga et al., 2003; Yang et al., 2003; Wan et al., 2005; Coolbaugh et al., 2007; Zheng & Shao, 2007; Srivastava et al., 2009; Boudhar et al., 2009). امواج بازتابی از سطح منطقه را می‌توان از راه تصاویر چندطیفی مخاخره شده از ماهواره‌ها مورد تحلیل قرار داد. در مطالعه حاضر به منظور اندازه‌گیری میزان تشعشعات گرمایی از سطح سرتخت گندم‌بریان از تصاویر گرمایی سنجنده ETM<sup>+</sup> در طول موج‌های بلند طیف فرورسرخ استفاده شده است. داده‌های ماهواره‌ای به صورت مقادیر دیجیتال پیکسلی (DN value) دریافت می‌شوند. این مقادیر تابعی از شدت تابش نور در طول موج مورد نظر هستند. تبدیل واحد مقادیر پیکسلی به واحدی از شدت تابش بر حسب رادیانس امکان محاسبه انرژی معادل شدت تابش نور با هر بسامد مشخص را فراهم می‌آورد. انرژی به دست آمده از شدت تابش هر پیکسل نیز می‌تواند به صورت واحدی از واحدهای نشان‌دهنده دما ارائه شود. تعمیم دمای محاسبه شده از تصویر ماهواره به ساعات گرم روز و فصول گرم سال

چاله لوت از دید موقعیت و شکل عوارض موجود از سه بخش شمالی، جنوبی و مرکزی تشکیل شده است. این سه بخش در مجموع چاله عظیمی را می‌سازند که در آن شیب‌ها به‌طور عمومی به سوی درون چاله است و پایین‌ترین نقطه آن تقریباً ۲۰۰ متر از سطح دریا ارتفاع دارد. لوت مرکزی گسترده‌ترین بخش این بیابان و پست‌ترین نقطه آن از سطح دریا با ارتفاع کمینه ۱۹۰ متر است (احمدی، ۱۳۷۷؛ علوی پناه و همکاران، ۱۳۸۱). این چاله منطقه صحرائی گرم و پهناوری است که ویژگی‌های زمین‌ریخت‌شناختی ویژه‌ای دارد و بر پایه محمودی (۱۳۵۰) بادهای منطقه‌ای و محلی، گرمای زیاد، خشکی شدید و وجود گنبد‌های نمکی از عوامل تشکیل و گسترش بیابان لوت هستند. سرتخت بازالتی گندم‌بریان کرمان یکی از پدیده‌های جالب طبیعت کویر لوت است. این سرتخت مسطح پوشیده از سنگ‌های سیاه رنگی است که با قرار گرفتن در دل کویر، گرمای قابل توجهی را از تابش آفتاب جذب می‌کند. موقعیت کویری، عرض جغرافیایی و ارتفاع منطقه از جمله عواملی هستند که در کنار جذب سطحی ویژه بازالت، دمای بسیار بالای سطح سرتخت بازالتی یادشده را سبب می‌شوند. موقعیت جغرافیایی و راه‌های دسترسی به منطقه به گونه‌ای است که اندازه‌گیری مستقیم از بسیاری نقاط آن امکان‌پذیر نیست. در این مطالعه به منظور اندازه‌گیری دمای سطح سرتخت بازالتی یادشده و بررسی توزیع دما در سطح وسیع منطقه از روش غیر مستقیم امواج ساطع شده از سطح آن، در طول موج‌های فرورسرخ گرمایی استفاده شده است. دما و پایش آن کاربردهای متعددی در مطالعات محیطی دارد، زیرا دما به عنوان یکی از عوامل اقلیمی در تکامل بسیاری از منابع طبیعی دخالت دارد و سرعت واکنش‌ها را کنترل می‌کند. دما و الگوی رفتاری آن در سامانه‌های زیستی (رشد و نمو گیاهان و جانوران)، فیزیکی (تخریب و فرسایش) و شیمیایی همراه با رطوبت (تبخیر و ترق) به‌ویژه در شرایط جوی گرم و خشک

بالا تری باشند اما تصاویر در محدوده طول موج‌های TIR که موج‌های بلندتری دارند لزوماً دارای تفکیک مکانی پایین‌تری هستند تا انرژی لازم برای رسیدن به سنجنده از سطح وسیع‌تری فراهم شود. در سنجنده ETM<sup>+</sup> باندها دارای رزولوشن ۳۰ متر هستند؛ به علاوه باند پانکروماتیک (PANCROMATIC) سنجنده که تفکیک ۱۵ متر دارد. سنجنده ETM در باند ۶ خود دو تصویر با طول موج گرمایی دارد که با تفکیکی حدود ۹۰ متر ارائه می‌شوند (USGS, 2000).

تصاویر مورد نظر تحت عناوین High gain، Low gain هستند که یکی از آنها برای حساسیت بالاتر و محدوده اطلاعات کمتر و دیگری برای حساسیت کمتر و اطلاعات بیشتر قرار داده شده است. در مطالعات LST معمولاً تصویر دارای حساسیت بالاتر مورد استفاده قرار می‌گیرد (Suga et al., 2003). در پژوهش حاضر نیز تصویر Low gain باند ۶ مورد استفاده قرار گرفته است.

### ۳-۱. محاسبه دمای سطحی از تصویر گرمایی

در این مطالعه دمای سطح سنگ‌های بازالتی منطقه با استفاده از تصویر باند فروسرخ گرمایی سنجنده ETM<sup>+</sup> که در مواقع معتدل سال برداشت شده، برآورد شده است. تصویر فروسرخ گرمایی مورد مطالعه در ساعت ۱۰ صبح روز چهارشنبه، ۲۹ سپتامبر ۲۰۱۰ (۷ مهر ۱۳۸۹) توسط سنجنده از منطقه مورد نظر گرفته شده است. در نیمکره شمالی و در عرض‌های جغرافیایی حوالی ۳۰ درجه، اواخر سپتامبر از مواقع معتدل سال به شمار می‌آید که نوید آغاز پاییز است. دمای بیش از ۶۰ درجه سانتی‌گراد برای منطقه‌ای در عرض جغرافیایی ۳۰ درجه و در فصل پاییز پدیده‌ای بی‌همتا است که تنها در سرتخت سیاه و وسیع گندم‌بریان دیده می‌شود.

به منظور بازیابی دمای سطح سرتخت بازالتی از داده‌های گرمایی سنجنده ETM<sup>+</sup> از قوانین پلانک استفاده می‌شود. معادلات نور و تابش پلانک که از بنیادی‌ترین معادلات فیزیک نور به شمار می‌آیند، می‌توانند در محاسبه شدت تابش بر حسب رادیانس مورد استفاده قرار گیرند:

$$L_{\lambda} = L_{min} + (L_{max} - L_{min}) \times DN / DN_{max}$$

$L_{\lambda}$ : طول موج در واحد میکرومتر

T: دما در واحد کلوین

$L_{\lambda}$ : شدت بازتاب در واحد 1- $\mu\text{m}$ -ster-2-m

C: سرعت نور معادل 1-108x2.998ms

h: ثابت پلانک معادل 6.626\*10<sup>-34</sup>

$\lambda$ : میزان انتقال تشعشعات در جو

K: ثابت بولتزمن معادل 1.380\*10<sup>-23</sup>JK

$\lambda$ : میزان پراکنش طیفی

$\lambda$  نتیجه حاصل از معادله پلانک شدت تابش پیکسل‌ها بر حسب رادیانس است.

به منظور محاسبه این شدت تابش یا  $L_{\lambda}$  از داده‌های مخبره شده از سنجنده ETM<sup>+</sup> که تصاویری بر پایه تکنولوژی ۸ بیتی با مقادیر پیکسلی (DN Value) میان ۰ تا ۲۵۶ هستند، از معادله زیر استفاده می‌شود:

$$L_{\lambda} = L_{min} + (L_{max} - L_{min}) \times DN / DN_{max}$$

$L_{\lambda}$ : شدت بازتاب دریافتی توسط سنجنده در واحد 1- $\mu\text{m}$ -ster-2-m

$L_{min}$ : کمترین شدت بازتاب دریافتی توسط سنجنده از صحنه مورد برداشت

$L_{max}$ : بیشترین شدت بازتاب دریافتی توسط سنجنده از صحنه مورد برداشت

$DN_{max}$ : بیشترین مقدار پیکسل در سطح ۰ تا ۲۵۵

تبدیل شدت بازتاب طیفی یک طول موج خاص به واحدی از واحدهای اندازه‌گیری دما با در نظر گرفتن میانه طیف نور بازتابش شده و شدت تابش به دست آمده از قانون پلانک امکان‌پذیر است. بنابراین میانه طول موج باند ۶ لندست به دست می‌آید و به همراه شدت تابش محاسبه شده در معادله زیر جایگزین می‌شود:

از طریق داده‌های هواشناسی روشی است که در این پژوهش مینا قرار داده شده است. برای این منظور داده‌های آماری سالانه و روزانه هواشناسی محلی منطقه مورد بررسی قرار داده شد. در ادامه نقشه توزیع دما در نقاط مختلف سرتخت به صورت نقشه تراز هم‌دما ارائه شده و پراکنندگی توزیع جذب انرژی گرمایی در سطح سنگ‌ها مورد بررسی قرار گرفته است. با توجه به اینکه یکی از فاکتورهای موثر در اختلاف جذب انرژی گرمایی در سطح سرتخت بازالتی به‌ویژه در محل قرارگیری دهانه‌های آتشفشانی منطقه می‌تواند میزان گسلش و فرسودگی سنگ‌های بازالتی منطقه باشد، نقشه فاکتور خطوری پهنه مورد مطالعه، به منظور تطابق میزان جذب انرژی خورشید با میزان فرسودگی سنگ‌های سطحی این ناحیه ارائه شده است.

### ۲- موقیعت ناحیه

گندم‌بریان ناحیه‌ای پوشیده از گدازه‌های بازالتی در کویر لوت (شمال کرمان) است که در ۸۰ کیلومتری شهر شهداد قرار دارد و از دید زمین‌شناسی جزو پهنه لوت به شمار می‌رود (شکل‌های ۱ و ۲). مساحت تقریبی این منطقه ۴۸۰ کیلومتر مربع است. فازهای اصلی فوران در منطقه گندم‌بریان، زبان‌های گدازه‌های بازالتی هستند که در دو سوی شمال و جنوب دهانه‌ها گسترش یافته‌اند. بخش شمالی این گدازه‌ها نسبت به بخش جنوبی سن بیشتری دارند؛ زیرا رسوبات بخش عمده آنها را پوشانده‌اند و تنها در بخش‌هایی روانه‌های بازالتی به صورت سکناس‌هایی به ستبرای نزدیک به ۱۸ متر باقی مانده‌اند. روانه‌های بخش جنوبی محدوده‌ای با گسترش تقریبی ۳۵۰ کیلومتر مربع در بر می‌گیرند. ستبرای جریان یادشده حدود ۴ متر است و در لبه تخت آثار پخته‌شدگی رسوبات زیرین بازالت دیده می‌شود که ناشی از گرمای زیاد ماگمای بازالتی هنگام خروج است (شکل ۳). این منطقه که در گذشته به نام ریگ سوخته معروف بوده است، حدود ۴۰۰ متر از سطح دریا ارتفاع دارد. خشکی زیاد، ابرناکی کم و ساعات آفتابی زیاد در همه نواحی که از دید جغرافیایی شرایط بسته‌ای داشته و در عرض جغرافیایی ۲۵ تا ۳۸ قرار گرفته‌اند حکمفرماست و منطقه گندم‌بریان نیز با توجه به قرارگیری در کویر لوت و به دلیل موقعیت خاص جغرافیایی و اقلیمی، از میزان بالای تابش روزانه خورشید، روزهای صاف و هوای آفتابی برخوردار است و همین امر سبب شده است یکی از گرم‌ترین نقاط کره زمین باشد. به باور (Mildrexler et al., 2006 & 2011)، کویر لوت ایران به عنوان قطب گرمایی کره زمین است. Gabriel (1938) و Alavi Panah et al. (2007) نیز کویر لوت را از گرم‌ترین بیابان‌های جهان معرفی می‌کنند (Ehsani & Quiel, 2008). در سال‌های ۲۰۰۴ تا ۲۰۰۹ کویر لوت با داشتن دمایی در حدود ۶۹ درجه سانتی‌گراد به عنوان گرم‌ترین نقطه کره زمین مشخص شده است (شکل ۴؛ Mildrexler et al., 2011).

### ۳- روش کار

محاسبه انرژی امواج الکترومغناطیس و معادل دمایی آن برای طیف‌هایی با طول موج کوتاه انحرافات زیادی را نشان می‌دهد. بهترین محدوده‌ای که می‌توان انرژی و معادل دمایی آن را با کمترین انحراف از قانون پلانک محاسبه کرد طول موج‌های طیف‌های ۳ تا ۵ میکرومتر و ۸ تا ۱۴ میکرومتر از محدوده فروسرخ گرمایی هستند (Sabins, 1997). امواج الکترومغناطیسی در طول موج‌های گرمایی دارای طبیعت گسیلشی هستند که بیانگر میزان انرژی الکترومغناطیس گسیل داده شده از سطح هستند. تصاویر تهیه شده توسط ETM<sup>+</sup> در طول موج‌های مجزا و در قالب ۶ باند بازتابی، دو باند گرمایی و یک باند پانکروماتیک است که از این میان، باندهای گرمایی برای این پژوهش مناسب بودند.

تصاویر تهیه شده در محدوده طول موج‌های NIR، VISIBILE و SWIR به دلیل قدرت نفوذ امواج با طول موج کوتاه‌تر می‌توانند دارای رزولوشن یا تفکیک مکانی

### ۳-۲. ارتباط فاکتور خطاوری با توزیع دما در سطح سرخت بازالتی

فاکتور خطاوری شاخصی است که نمایانگر شدت گسلش و خرد شدگی در یک منطقه است (Hardcastle, 1995). در محاسبه فاکتور خطاوری عوامل مختلفی در نظر گرفته می‌شوند. در اینجا به منظور این بررسی تعداد، طول و تقاطع خطواره‌ها در روی سطح سرخت محاسبه و در نظر گرفته شد. برای ایجاد فاکتور خطاوری ابتدا شبکه‌ای ۵×۷ طراحی و روی تصویر ماهواره‌ای منطقه قرار داده شد؛ برای هر کدام از سلول‌های شبکه مورد نظر فابل نقطه‌ای تعریف شد که در اطلاعات مربوط به جدول فابل، تمرکز خطواره‌ها در آن سلول ذخیره شد. سپس با استفاده از تصویر ماهواره‌ای فیلتر شده منطقه، نقشه ۱/۱۰۰۰۰۰ منطقه لکرکوه و مطالعات پیشین انجام شده توسط Walker et al. (2009) تصویر کاملی از نقشه گسل‌های منطقه به دست آمد. در فیلتراسیون تصویری منطقه از فیلتراسیون Diredtion و کرنل‌های ۳×۳ در سه سوی اصلی خطواره‌ها استفاده شد. در پایان طول، تقاطع و شمار گسل‌ها در هر کدام از سلول‌های مورد نظر با استفاده از فرمول زیر و نیز نقشه نهایی فاکتور خطاوری منطقه به دست آمد (شکل ۹):

$$Ff = 1/L + n/N + c/C$$

$l$  = طول گسل‌ها در هر سلول؛  $L$  = میانگین طول گسل‌ها در کل پهنه مورد مطالعه.  
 $n$  = تعداد گسل‌ها در هر سلول؛  $N$  = میانگین تعداد گسل‌ها در کل پهنه مورد مطالعه.  
 $c$  = تعداد تقاطع گسل‌ها در هر سلول؛  $C$  = میانگین تعداد تقاطع گسل‌ها در کل پهنه مورد مطالعه.

مقایسه نقشه فاکتور خطاوری و نقشه مربوط به پراکنندگی دما در سطح بازالت‌ها، نمایانگر تطابق نسبی ارتباط وارون فاکتور خطاوری و دمای سطح سرخت بازالتی است. توجه به این نکته ضروری است که تطابق یادشده را باید تنها در روی بازالت‌ها مورد توجه قرار داد که دارای جذب گرمایی مشابه هستند. بنابراین یکی از مهم‌ترین عوامل توزیع دما در سطح سرخت بازالتی گندم‌بریان پراکنندگی ناهمسان شکستگی‌ها در روی سطح سنگ‌های بازالتی است. شکستگی‌ها و گسل‌های ریز و درشت سطحی شرایط فرسودگی را در روی سطح سنگ‌های تیره رنگ منطقه فراهم می‌آورند. فرسایش و هوازدگی فیزیکی و شیمیایی، تیرگی سطح سنگ‌ها را می‌کاهد. بنابراین شدت جذب گرما توسط سنگ‌های بازالتی سیاه رنگ با پیشروی هوازدگی رو به کاهش می‌گذارد. از این رو فاکتور خطاوری عاملی مهم در توزیع ناهمسان دما در سطح بازالت‌هاست.

### ۳-۳. تغییرات روزانه و ماهانه دما در منطقه

مطالعات انجام شده بر پایه داده‌های گرمایی ماهواره‌ای است و از این رو محاسبات، محدود به بازه زمانی (ساعت و فصلی) تصویربرداری ماهواره است. دمای ساعت تصویربرداری با داده‌های آماری مستند بر گرفته از ایستگاه هواشناسی شهداد، به ساعات گرم‌تر روز و ماه‌های گرم‌تر سال تعمیم داده شد. نمودار تغییرات ماهانه دما در ایستگاه هواشناسی شهداد، اختلاف دمایی برابر با ۱۱ درجه سانتی‌گراد را برای ماه اکتبر (مهر ماه) که ماه برداشت داده‌های گرمایی است در مقایسه با ماه جولای (مرداد) که بیشینه دمای سال را شامل می‌شود نشان می‌دهد. به منظور تعمیم روزانه دما به گرم‌ترین ساعت شبانه‌روز، تغییرات روزانه دما در ماه‌های معتدل سال در منطقه بررسی شد. این بررسی با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای هواشناسی انجام گرفت. نمودار تغییرات دما در ساعات شبانه‌روز، افزایش دمایی معادل ۵ درجه سانتی‌گراد از ساعت ۱۰ صبح (ساعت تصویربرداری ماهواره) تا ساعت ۲ بعد از ظهر (ساعت بیشترین شدت تابش آفتاب) را نشان می‌دهد (شکل ۱۰). بر پایه نکات ذکر شده در مورد ساعت و روز تصویربرداری ماهواره و ساعت و روز بیشینه دمای منطقه، به منظور رسیدن به بیشینه دمای روزانه در روز تصویربرداری ماهواره، به دمای به دست آمده از داده‌های گرمایی در ساعت ۱۰ صبح، ۵ درجه سانتی‌گراد افزوده می‌شود. بر پایه داده‌های آماری اقلیم منطقه، میانگین اختلاف دمای ماهانه اکتبر و جولای برابر با ۱۱ درجه سانتی‌گراد است (جدول ۱).

$$T = c_2 / [\lambda \ln \{ (\tau_s \varepsilon_s c_1 \lambda^{-5} / \pi L_s) + 1 \}],$$

$$C1 = 2\pi hc \quad C2 = hc / k \quad \lambda = (12.5 - 10.4) / 2$$

$\varepsilon_s \lambda$  در مطالعه حاضر  $\tau_s$  یا اثر شفافیت جوی ۰/۹۳ در نظر گرفته شده است. این مقدار برای عرض‌های جغرافیایی میانه در منابع بین‌المللی در نظر گرفته می‌شود.  $\varepsilon_s$  یا اثر پراکنش طیفی نیز در اینجا بر طبق منابعی که تاکنون در دسترس است ۰/۹۸ در نظر گرفته شده است (Suga et al., 2003).

Suga et al. (2003) طی مطالعه‌ای که به منظور بررسی امکان دماسنجی با تصاویر فرورسرخ گرمایی لندست در اطراف هیروشیما انجام داده‌اند ضرایب تصحیح دمایی برای محاسبات مورد نظر ارائه کرده‌اند. ضرایب یادشده از مقایسه دقیق و مکرر داده‌های مخابره شده از سنجنده و اطلاعات حاصل از اندازه‌گیری‌های مستقیم به دست آمده است. اعمال محاسبات یادشده روی تصاویر گرمایی از طریق بسیاری از نرم‌افزارهای دورسنجی امکان‌پذیر است. در مطالعه حاضر، محاسبات با استفاده از نرم‌افزار ENVI 4.8 روی تصویر گرمایی منطقه اعمال شد.

در مطالعات Suga et al. (2003) ضرایب تصحیح به دست آمده برای مقادیر پیکسلی از ۰/۹۸۹۱ تا ۰/۹۹۹۴ محاسبه شده است. مقادیر متوسط اختلاف دمای به دست آمده از تبدیل داده‌های سنجنده به دمای دقیق اندازه‌گیری شده به روش مستقیم در فصل تابستان (۰/۷ تا ۱/۵-)، پاییز (۰/۴ تا ۰/۹-)، زمستان (۱/۶- تا ۳/۴-) و بهار (۰/۵ تا ۰/۵-) به دست آمده است (Suga et al., 2003). هر چند در برابر دمای محاسبه شده از پهنه مورد مطالعه، این اختلاف چندان مورد توجه نیست؛ اما با نزدیک‌تر شدن به فصول سرد سال، باید تصحیح مثبت‌تری روی داده‌ها اعمال شود؛ برای نمونه در زمستان ۱/۶ تا ۳/۴ درجه باید به داده‌های به دست آمده از سنجنده افزوده شود.

به منظور نشان دادن شدت بازتاب گرما از سطح بازالت‌های سرخت تصاویر رنگی دروغین در طول موج‌های مختلف به همراه باند ۶ به نمایش در آمده است. در تصاویر ارائه شده اختلاف سطح بازتاب باند گرمایی از سطح سنگ‌های بازالتی نسبت به دیگر طول موج‌ها دیده می‌شود. باند گرمایی در شکل ۵- a با رنگ سرخ، در شکل ۵- b با رنگ سبز، در شکل ۵- c با ترکیب Hue در سامانه رنگی دکارتی HSV و در شکل ۵- d با رنگ آبی به نمایش در آمده است. در انتخاب ترکیب‌های رنگی سعی شده باندهای ترکیب شونده با باند گرمایی به گونه‌ای انتخاب شوند که غیر از رنگ دروغین باند ۶ باقی رنگ‌ها با کمترین اغراق همراه باشند. نمودار توزیع دما در سطح سرخت نیز به وسیله تبدیل مقادیر گسیلشی به دمای سطحی ایجاد شد (شکل ۶- a). به منظور واضح‌سازی اختلافات جذب گرمایی سطحی، نمودار مدل ارتفاعی بازتاب گرمایی سطحی سرخت نیز ارائه شده است که مشخصاً مناطق با برجستگی بیشتر نمایانگر جذب گرمایی بالاتری هستند (شکل ۶- b).

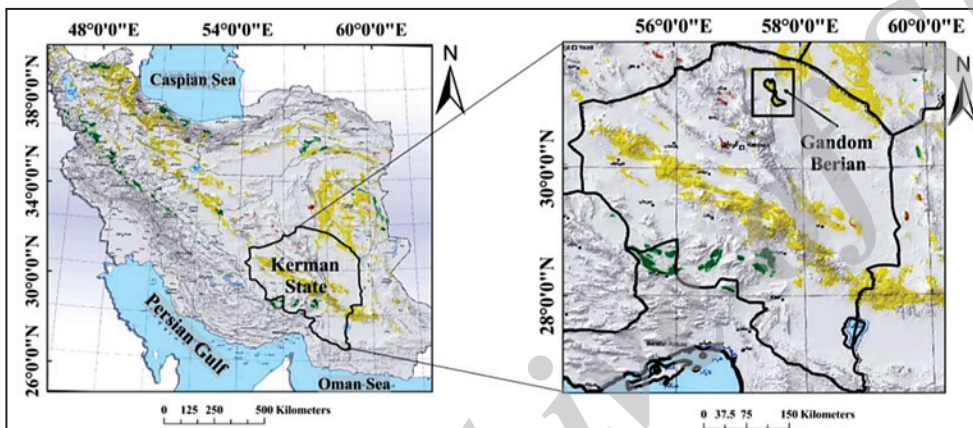
در نمودارهای تهیه شده از تصویر گرمایی منطقه دیده می‌شود که بیشترین شدت بازتاب مربوط به بخش جنوبی بازالت گندم‌بریان است که تختی پوشیده از بازالت است. همان گونه که دیده می‌شود در بخش شمالی سرخت بازالتی و در محدوده بازالت‌های قدیمی شدت بازتاب با توجه به رخنمون کمتر بازالت‌ها روی سطح زمین و دگرسانی بیشتر در این باند ضعیف‌تر است. شدت بازتاب به نسبت بالا در حاشیه خاوری و بازتاب ضعیف‌تر در حاشیه باختری می‌تواند به دلیل سوی جریان بازالتی و شاید شیب توپوگرافی به سوی جنوب خاوری منطقه باشد که در منطقه مورد مطالعه سبب شده است قطعات بازالتی در بخش خاوری منطقه گندم‌بریان پراکنندگی بیشتری داشته باشند؛ حال آنکه در بخش باختری منطقه، این سنگ‌ها پراکنندگی کمتری دارند. اختلاف دمای منطقه بازالتی و سطوح دو سوی سرخت بازالتی در مقطع دمایی شکل ۷ نمایش داده شده است. اختلاف جذب تابش‌های خورشیدی و گسیلش‌های گرمایی برای سنگ‌های بازالتی منطقه و سطح عادی کویر در نمودار شکل ۸ به خوبی دیده می‌شود.

#### ۴- نتیجه‌گیری

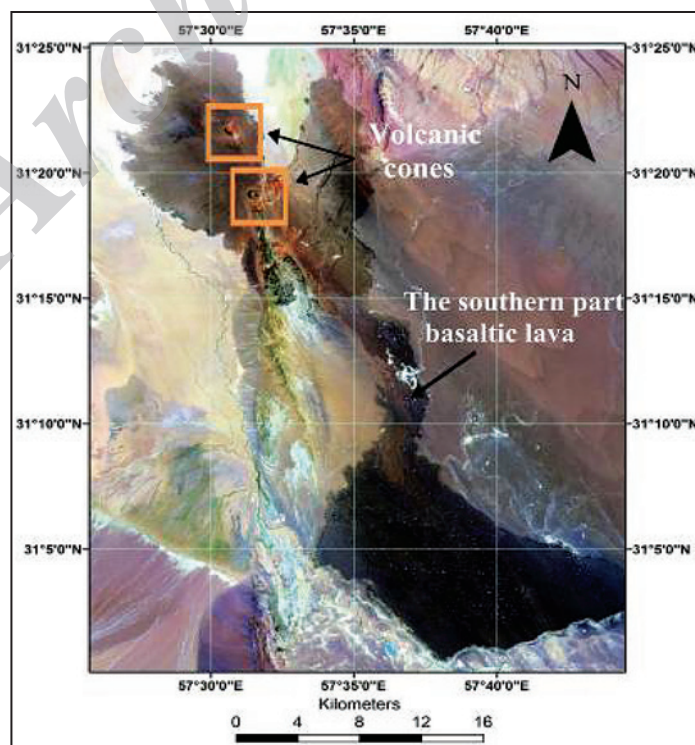
برآورد دمای سطحی زمین با بهره‌گیری از تصاویر ماهواره‌ای به‌ویژه در مناطقی که امکان اندازه‌گیری مستقیم دما امکان‌پذیر نیست، بسیار سودمند است. بازلت‌های گندم‌بریان کرمان همواره به لحاظ دمای سطحی مورد توجه بوده‌اند؛ اما تاکنون دمای این منطقه گزارش نشده است. در این مطالعه با بهره‌گیری از علم سنجش از دور با پردازش تصاویر ماهواره لندست دمای سطحی ناحیه اندازه‌گیری شده است. یکی از مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار بر عدم یکنواختی توزیع دما در سطح سرتخت بازلتی گندم‌بریان، پراکندگی ناهمسان شکستگی‌ها در روی سطح سنگ‌های بازلتی است. به‌طور کلی موقعیت کویری، عرض جغرافیایی و ارتفاع پایین منطقه از جمله عواملی هستند که در کنار جذب سطحی ویژه بازلت، دمای بسیار بالای سطح سرتخت بازلتی گندم‌بریان را سبب می‌شوند. با احتساب تصحیحات روزانه و ماهانه دما، دمای پایانی محاسبه شده به عنوان بالاترین دمای برآوردی سرتخت بازلتی گندم‌بریان در سال دست کم برابر با ۷۶ درجه سانتی‌گراد است؛ بنابراین در این مطالعه منطقه گندم‌بریان به عنوان قطب گرمایی کره زمین معرفی می‌شود.

این اختلاف نیز به عنوان تصحیح مثبت و ماهانه دما تا گرم‌ترین بازه زمانی سال، به داده گرمایی محاسبه شده افزوده شد. با احتساب تصحیحات روزانه و ماهانه یادشده، دمای پایانی محاسبه شده به عنوان بالاترین دمای برآوردی سرتخت گندم‌بریان در سال حدوداً برابر با ۷۶ درجه سانتی‌گراد خواهد بود.

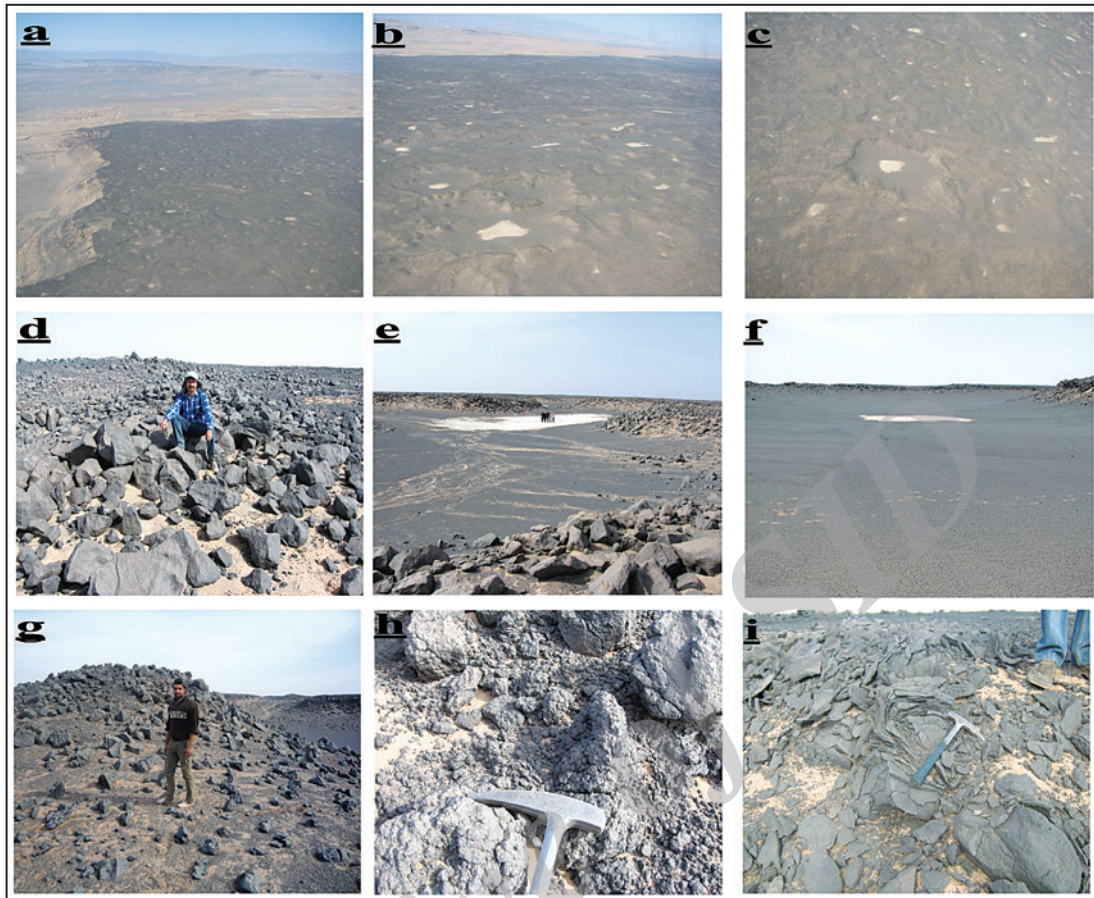
این در حالی است که نمودار افزایش دمای روزانه در روی سرتخت بازلتی سیاه رنگ گندم‌بریان مطمئناً بیش از آن چیزی است که در محاسبات مربوط به این مطالعه آورده شده است و با توجه به فصل و ساعت تصویربرداری ماهواره دمای سطح سرتخت قطعاً به سطوح بالاتری قابل تعمیم است. در مطالعه حاضر تغییرات دمای روزانه از روی نزدیک‌ترین ایستگاه هواشناسی (ایستگاه هواشناسی شهداد) مورد بررسی قرار گرفت؛ کاملاً مشخص است که وضعیت استثنایی جذب دما در سرتخت سیاه گندم‌بریان قابل مقایسه با موقعیت ایستگاه هواشناسی نیست، بنابراین دمای سرتخت تیره و یکدست گندم‌بریان در گرم‌ترین مواقع سال به راحتی تا بیش از ۸۰ درجه سانتی‌گراد خواهد رسید.



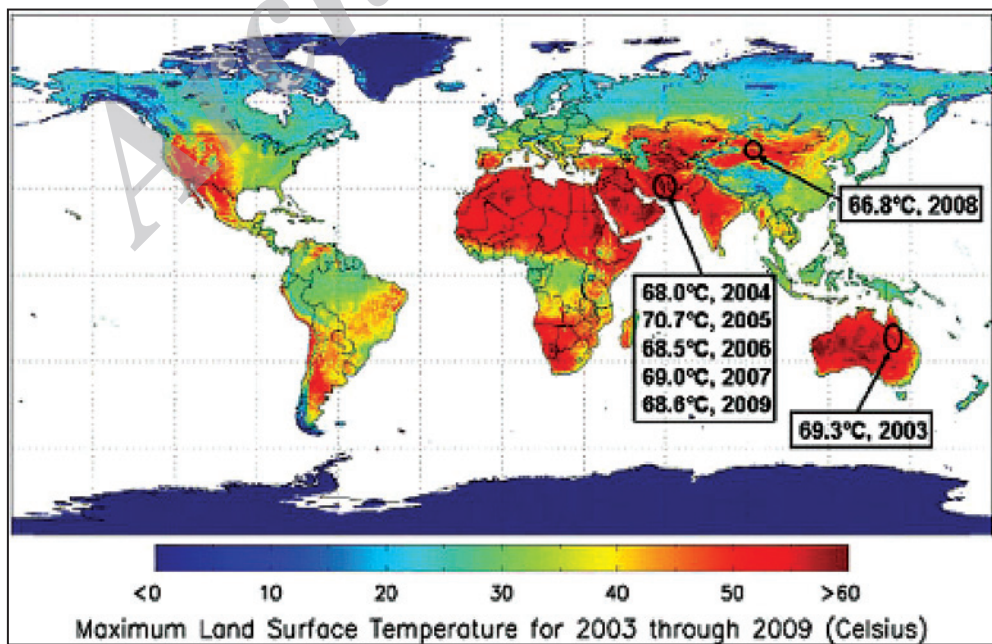
شکل ۱- نقشه پراکندگی سنگ‌های آتشفشانی بر پایه سن (بر گرفته شده از سایت سازمان زمین‌شناسی کشور).



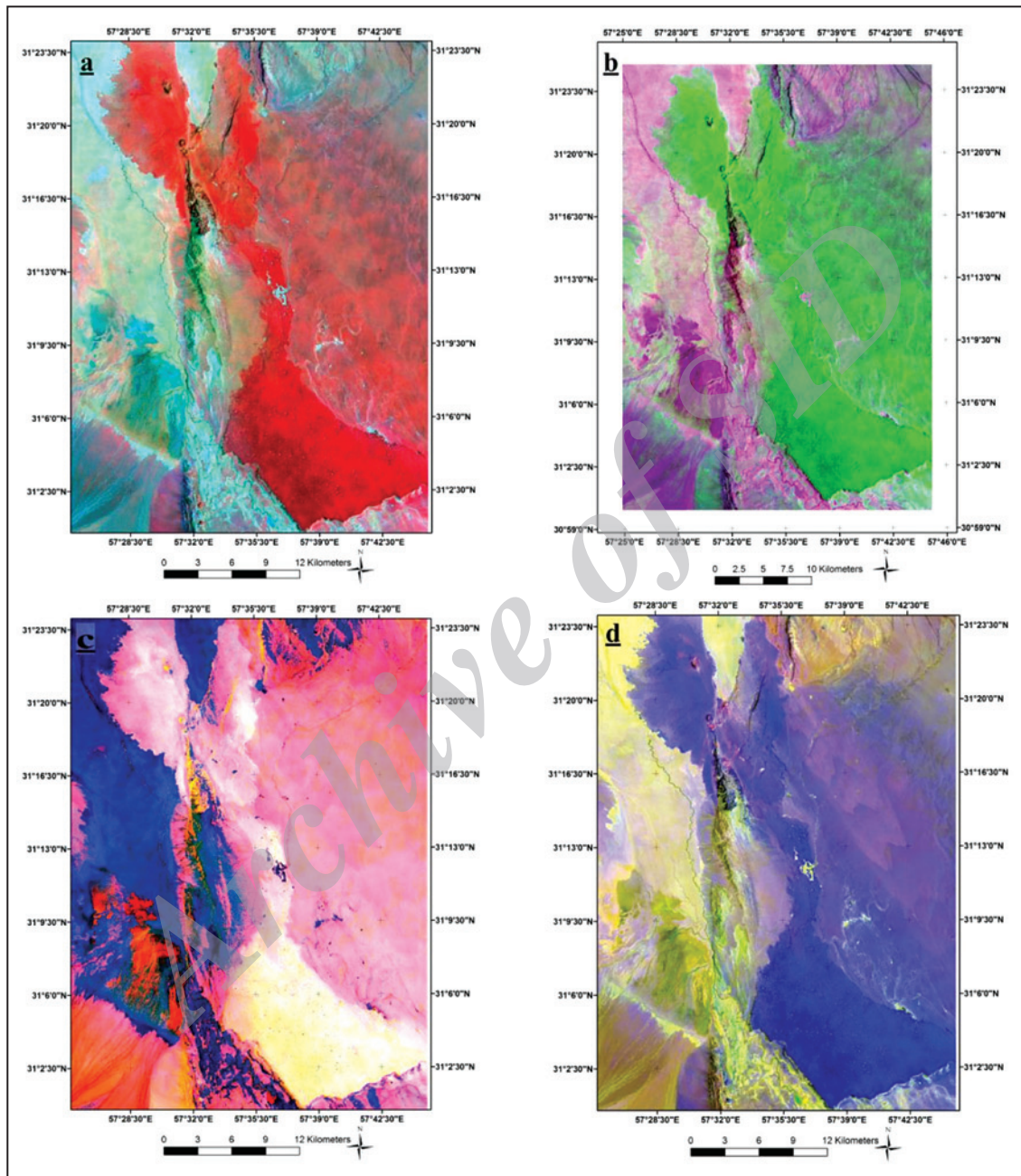
شکل ۲- تصویر حاصل از ترکیب باندهای ۱-۴-۷ سنجنده لندست در منطقه گندم‌بریان.



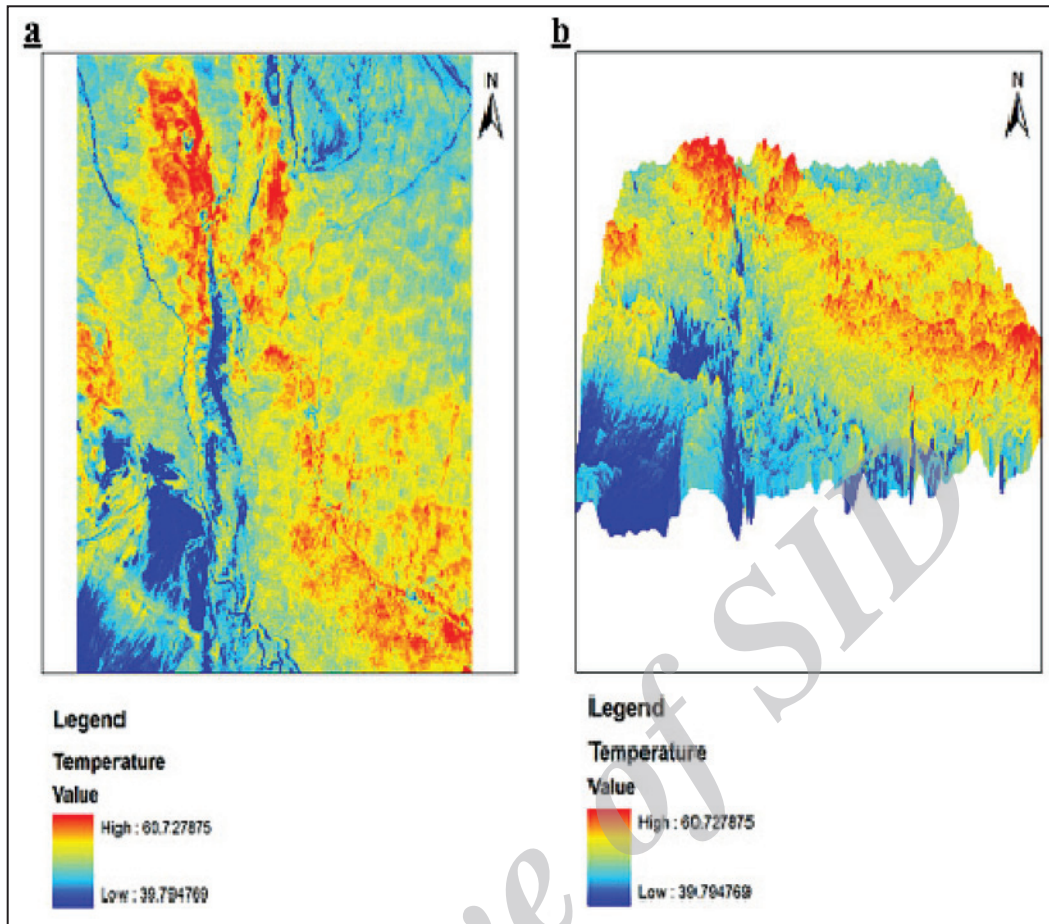
شکل ۳- تصاویری از منطقه گندم‌بریان. (a تا c) تصاویری از سرتخت بازالتی گندم‌بریان (برداشت شده در بازدید هوایی)؛ (d تا h) قطعات گدازه بازالتی در دامنه سرتخت بازالتی گندم‌بریان آتشفشانی؛ (i) آثار فرسایش پوست پیازی در سنگ بازالتی گندم‌بریان.



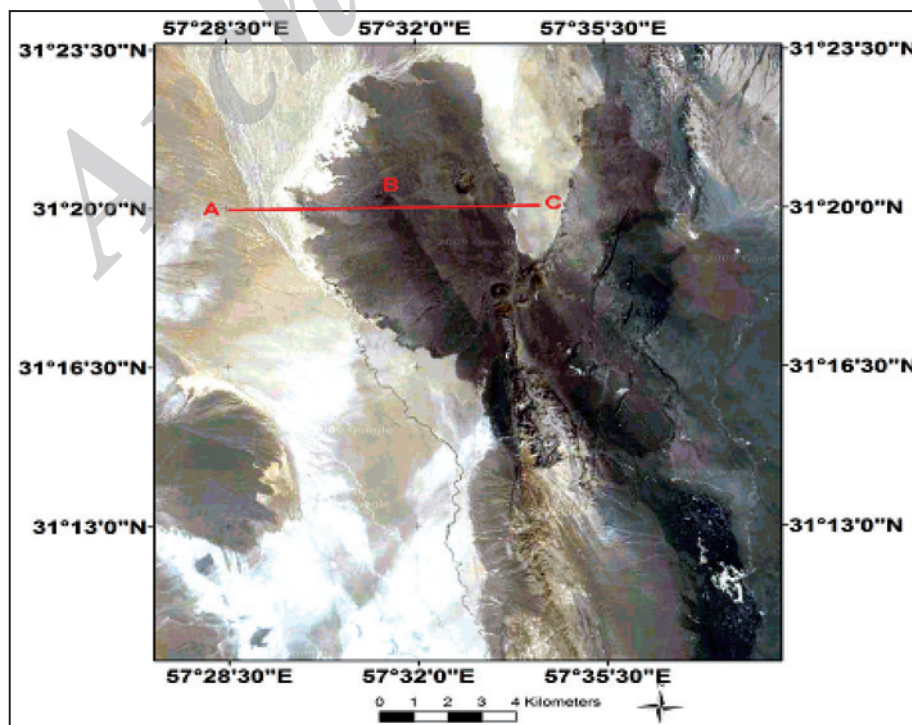
شکل ۴- نقشه جهانی بیشینه دمای سطحی (LST) سالانه با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای Aqua/Modis در فاصله زمانی سال‌های ۲۰۰۳-۲۰۰۹. مناطق با رنگ سرخ بیشترین دمای سطحی را نشان می‌دهند (Mildrexler et al., 2011).



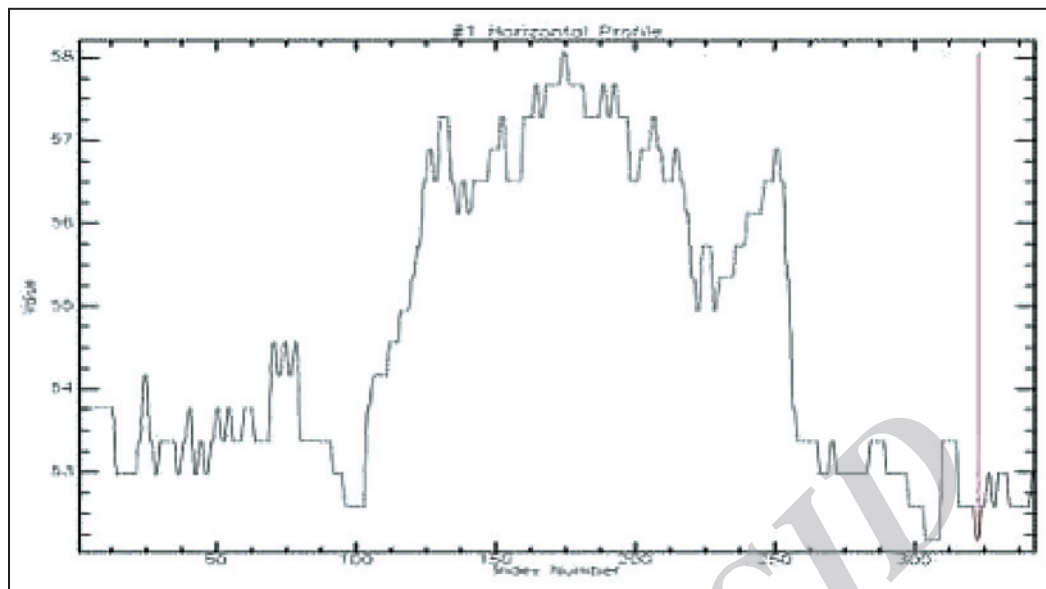
شکل ۵- نمایش باند گرمایی منطقه گندم‌بریان. (a) باند گرمایی با رنگ سرخ؛ (b) باند گرمایی با رنگ سبز؛ (c) باند گرمایی با ترکیب Hue در سامانه رنگی دکارتی (d) باند گرمایی با رنگ آبی. HSV



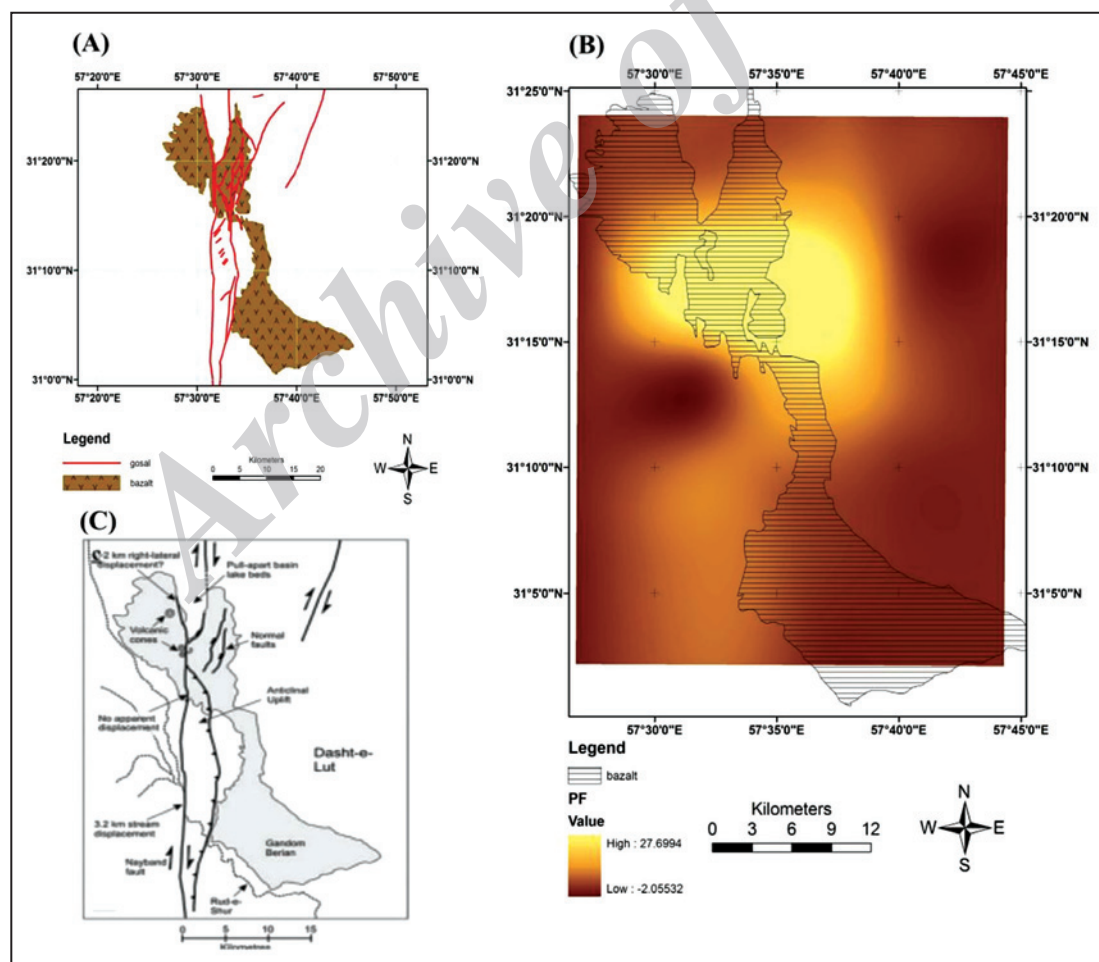
شکل ۶- (a) نقشه هم دمای پراکندگی بازتاب گرمایی در سطح سرسخت بازالتی؛ (b) مدل ارتفاعی توزیع دما در سرسخت بازالتی.



شکل ۷- خط عرضی ABC مربوط به نیمرخ دمایی.

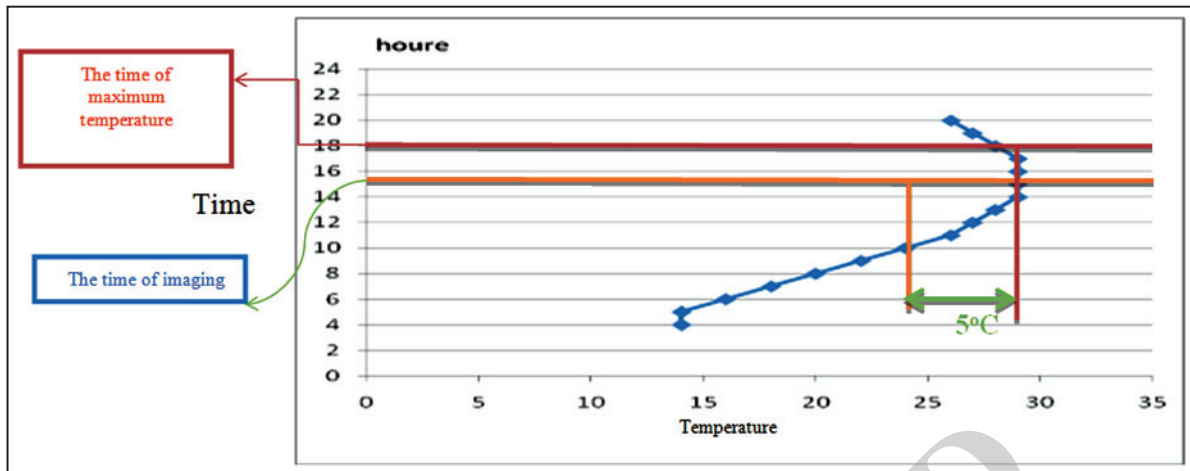


شکل ۸- مقطع عرضی تغییرات دمای سنگ‌های گندم‌بریان و سطح دشت در دو سوی محدوده بازالتی در طول خط ABC.



شکل ۹- (a) تصویر گسل‌های منطقه؛ (b) نقشه پایانی شاخص فاکتور خطوارگی منطقه مورد مطالعه؛ (c) موقعیت دهانه‌های آتشفشانی و حوضه کششی- جدایشی در گندم‌بریان (برگرفته از Walker et al., 2009).





شکل ۱۰- میانگین تغییرات روزانه دما در ایستگاه شهرداد در مهر ماه سال ۸۹ (سایت اداره کل هواشناسی استان کرمان. <http://weather.kr.ir>).

جدول ۱- آمار دمای ماهانه ایستگاه هواشناسی شهرداد در سال‌های ۱۹۹۰ تا ۲۰۰۳؛ ماه اکتبر به عنوان ماهی که در آن داده گرمایی اندازه‌گیری شده و ماه جولای به عنوان ماه با بیشترین دما در طول سال مشخص شده‌اند (سایت اداره کل هواشناسی استان کرمان. <http://weather.kr.ir>).

YEAR	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUNE	JULY	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC	ANNUAL
1990	21.5	24.2	28.7	36.2	44.3	46.8	46.5	48.4	44.4	38.3	31.7	25.3	36.4
1991	21.9	23.3	26.5	37	42.6	49.8	48.7	46.4	43.4	37	30	24.4	35.9
1992	19.3	24.6	25.3	37	40.8	48	49.1	44.8	42.9	36.7	28.8	22.4	35
1993	18	26.4	26.2	38.6	43	49.3	49.7	47.8	43.8	35.5	28.1	22.5	35.7
1994	23.2	24.3	31.6	38.1	44.3	49.3	49.6	47.7	40.6	34.8	31.4	21.6	36.4
1995	20.7	24.4	28.1	36.1	39.2	44.9	48.5	46.3	41.8	36.7	29.1	19.7	34.6
1996	17.5	19.4	27.7	35.3	41.4	46.7	45.5	45.6	45.8	36.6	28.7	21.4	34.3
1997	20.7	22.6	25.9	33.2	38.8	44.6	47.4	45.3	42.3	35.2	25.7	20.7	33.5
1998	20.2	22.4	28.4	36.3	41.4	43.8	46.9	45.1	42.1	35.9	30	24.5	34.7
1999	19	23.4	26.5	36.2	41.1	47.2	47.3	44.8	42.4	36.6	28.1	21.3	34.5
2000	*****	23.4	28.5	39.4	45.4	45.3	44.7	44.6	43.2	36	26.4	22.4	*****
2001	18.9	22.8	31.3	38.8	43.6	45.5	47.2	45.2	43.8	37	25.2	28.3	35.6
2002	20.9	24.3	31.9	36.4	42.2	44.9	45.7	45.8	42.6	37.8	26.1	20.4	34.9
2003	19.6	26	29.4	37.3	39	46	48	44.6	41	36.7	27.4	20.4	34.6
MEAN	20.02857	23.67857	28.28571	36.85	41.93571	46.57857	47.48571	45.88571	42.86429	36.48571	28.33571	22.52143	35.00714
NAME OF STATION		ZONECODE		LATITUDE		LONGITUDE		ELEVATION					
ZIYARATGAH-DEH-SEYF		...		3034		5749		353					

## کتابنگاری

احمدی، ح.، ۱۳۷۷- ژئومورفولوژی کاربردی، جلد ۲، بیابان- فرسایش، انتشارات دانشگاه تهران، ۵۹۲ ص.

سایت اداره کل هواشناسی استان کرمان. <http://weather.kr.ir>

علوی‌پناه، س. ک.، سراجیان، م. و کمکی، ج. ب.، ۱۳۸۱- بررسی محدودیت‌های تهیه نقشه دمای سطحی بیابان لوت با استفاده از داده‌های باند حرارتی ماهواره لندست، مجله بیابان، شماره ۱ (جلد ۷)، ص ۸۵ تا ۹۹.

محمودی، ف.، ۱۳۵۰- بررسی اجمالی علوم طبیعی (لوت). نوشته تنودور، م.، مجله گزارش‌های جغرافیایی. شماره ۰، ص ۵۶ تا ۱۰۰.

## References

- Alavi Panah, S. K., Komaki, C. B., Goorabi, A. & Matinfar, H. R., 2007- Characterizing land cover types and surface condition of yardang region in Lut desert (Iran) based upon Landsat satellite images. *World Applied Sciences Journal*, 2: 212–228 .
- Artis, D. A. & Carnahan, W. H., 1982- Survey of emissivity variability in the rmography of urbanareas. *RemoteSensingofEnvironment*, 12:313–329.
- Boudhar, A., Hanich, L., Boulet, G., Duchemin, B., Berjamy, B. & Chehbouni, A., 2009- Impact of the snow cover estimation method on the Snowmelt Runoff Model performance in the Moroccan High-Atlas Mountains. *Hydrol. Sci. J./J. Sci. Hydrol*, 54 (6).
- Coolbaugh, M. F., Kratt, C., Fallacaro, A., Calvin, W. M. & Taranik, J. V., 2007- Detection of geothermal anomalies using Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER) thermal infrared image sat Bradys HotSprings ,Nevada,USA.*Remote Sensing of Environment*, 106: 350–359.
- Ehsani, A. H. & Quiel, F., 2008- Application of Self Organizing Map and SRTM data to characterize yardangs in the Lut desert, Iran. *Remote Sensing of Environment*, 112 : 3284–3294.
- Franc, G. B. & Cracknell, A. P., 1994- Retrieval of land and sea surface temperature using NOAA-11 AVHRR data in north-eastern Brazil. *International Journal of Remote Sensing*, 15:1695-1712.
- Gabriel, A., 1938- The southern Lut and Iranian Baluchistan. *Geographical Journal*, 92:193-208.
- Hardcastle, K. C., 1995- Photolineament Factor: A new computer-aided method for remotely sensing the degree to which bedrock is fractured, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 61:739-747.
- Mildrexler, D. G., Zhao, M. & Running, S. W., 2011- Satellite finds highest land skin temperatures on earth, *American Meteorological Society*, 92: 855-860.
- Mildrexler, D. J., Zhao, M. & Running, S. W., 2006- Where are the hottest spots on earth? *Eos, Transactions. American Geophysical Union*, 87: 461-467.
- Rothery, D. A., & Francis, P. W. & Wood, C. A., 1988- Volcano monitoring using short wavelength infrared data from satellites. *Journal of Geophysical Research*, 93:7993-8008.
- Sabins, F. F., 1997- *Remote sensing Principles and interpretation*. Third edition, Freeman and company, New York, 494p.
- Schneider, K. & Mauser, W., 1996- Processing and accuracy of Landsat Thematic Mapper data for lake surface temperature measutement. *International Journal of Remote Sensing*, 17:2027-2041.
- Srivastava, P. K., Majumdar, T. J. & Bhattacharya, A. K., 2009- Surfacetemperatureesti- mation in Singhbhum Shear Zone of Indiausing Landsat-7ETM+thermal infrared data. *Adv. Ancesin Space Research*, 43:1563–1574.
- Suga, Y., Ogawa, H., Ohno, K. & Yamada, K., 2003- Detection of surface temperature from landsat-7/etm+. *Adv. Space Res*, 32: 2235- 2240.
- Urai, M., 2000- Volcano monitoring with Landsat TM short-wave infrared bands: the 1990-1994 eruption of Unzen Volcano, Japan. *Intemational Journal of Remote Sensing*, 21:861-872.
- USGS, 2000- *Landsat 7 Science Data Users Handbook*.
- Walker, R. T., Gans, P., Allen, M. B., Jackson, J., Khatib, M., Marsh, N. & Zarrinkoub, M., 2009- Late Cenozoic volcanism and rates of active faulting in eastern Iran, *Geophysical Journal International*, 177: 783-805.
- Wan, Z., Zhao, Y. & Kang, J., 2005- Forecast and evaluation of hot dry rock geothermal resource inChina.*RenewableEnergy*, 30:1831–1846.
- Yang, B., Wu, D., Lai, J. & Tang, P., 2003- The application of remote sensing technology to the study and forecast of terrestrial heat resources insouthwestern Tengchong Yunnan province.*Remote Sensing for Land and Resources*, 2:23–26.
- Zheng, J. & Shao, Y., 2007- StudyonthewaterenvironmentofvolcanoesinYunnan Tengchong. *WaterResourcesPlanningandDesign*, 6:21–24.