



ISSN 2345 - 4997

Available online at: www.geo-dynamica.com

Vol. (2), No. 01, SN:04, (Special Issue on Saravan Earthquake) April 2014
6th Article- P. 23 to 32**GRIB**Geodynamics Research
International Bulletin

Studying Probability of Thermal Anomalies Before Earthquake And Its Application to Imminent Earthquake Prediction (A Case Study of Saravan Earthquake)

Shahab Adeli^{1*}, Khalil Valizadeh Kamran², Behroz Sari Saraf³,
Ali Mohhammad Khorshiddoust⁴¹ Department of Remote Sensing and Geographical Information System, Tabriz University, Tabriz, Iran.² Department of Remote Sensing and Geographical Information System, Tabriz University, Tabriz, Iran.³ Department of Meteorology, Tabriz University, Tabriz, Iran.⁴ Department of Meteorology, Tabriz University, Tabriz, Iran.

*Corresponding Author (shahab.adeli@gmail.com)

Article History:

Received: Mar 29, 2014

Reviewed: Apr 05, 2014

Revised: Apr 09, 2014

Accepted: Apr 13, 2014

Published: Apr 14, 2014

ABSTRACT

Natural hazards are adverse events that occur in the majority of cases and are associated with human and financial losses. The earthquakes dangerous have high importance for Iran because of this country position on the one of most dangerous belt of seismic (Alpine- Himalayan) in the world. Application of remote sensing technology and satellite image processing can compensate the lack of ground stations and earthquake observation and forecasting system improvement. In this research, we used this technology for analyzing thermal anomalies of a few days before the recent earthquake in Saravan with MODIS sensor of Terra satellite data by using split window algorithm and identifying and providing the resulting thermal anomalies to predict the nearly occurring earthquake in other areas.

Keywords: Saravan, Thermal Anomaly, Remote Sensing, Modis Images, Split Window Algorithm.

بررسی احتمال وقوع آنومالی حرارتی پیش از زلزله و استفاده برای پیش‌بینی نزدیک به وقوع زلزله (منطقه مورد مطالعه: زلزله سراوان)

شهاب عادل^۱، خلیل ولی‌زاده کامران^۲، بهروز ساری صراف^۳، علی محمد خورشید دوست^۴^۱ سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، دانشگاه تبریز، تبریز، نگارنده رابط (shahab.adeli@gmail.com).^۲ گروه سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، دانشگاه تبریز، تبریز.^۳ گروه آب و هواشناسی، دانشگاه تبریز، تبریز.^۴ گروه آب و هواشناسی، دانشگاه تبریز، تبریز.

تاریخ داوری: ۱۳۹۳/۱/۱۶

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۱/۰۹

تاریخچه انتشار مقاله

تاریخ انتشار: ۱۳۹۳/۱/۲۵

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۱/۲۴

تاریخ اصلاحات: ۱: ۱۳۹۳/۱/۲۰

چکیده

مخاطرات طبیعی پدیده‌های زیانباری می‌باشند که وقوع آن‌ها در اغلب موارد با تلفات جانی و مالی همراه می‌باشد. برای کشور ایران که در کمربند زلزله آلپ-همیالیا که یکی از پرخطرترین مناطق لرزه‌ای جهان می‌باشد، خسارات زلزله از اهمیت بسزایی برخوردار است. به کارگیری فناوری سنجش از دور و پردازش تصاویر ماهواره‌ها می‌تواند کمبود داده‌های ایستگاه‌های زمینی را جبران کرده و سیستم مشاهده زلزله‌ها و پیش‌بینی آن را بهبود بخشد. با استفاده از این فناوری در این تحقیق از داده‌های سنجنده MODIS ماهواره

از پیش‌نشانگرهای هواشناسی، آنومالی‌های حرارتی و ابرهای زلزله مورد توجه بسیاری از محققان قرار گرفته است.

تصاویر حرارتی ماهواره‌ها، ارتباط میدان‌های حرارتی بادوام را با ساختارهای خطی بزرگ و گسل در پوسته زمین و آنومالی‌های کم دوام قبل از زلزله‌های بزرگ را نشان می‌دهد (Tronin et al., 2000).

آنومالی‌های کم دوام ۱۴-۷ روز قبل از زلزله در سطح هزارها و ده‌ها هزار کیلومتر مربع تغییرات ۷-۲ درجه سانتی‌گراد را نشان می‌دهد. این چنین آنومالی‌های حرارتی چند روز پس از حادثه محو می‌شوند. اطلاعات پیرامون آنومالی‌های حرارتی از راه سنجش از دور و اطلاعات زمینی قابل دسترسی‌اند (علوی پناه، ۱۳۸۶). کمالی و همکاران (۱۳۸۸) در مقاله‌ای با نام "پیش‌نشانگرهای گرمایی لرزه‌ای احتمالی حاشیه غرب صفحه لوت ایران - منطقه کرمان" به این نتیجه رسیده‌اند که در هر دو ایستگاه بم و زرنند، قبل از زلزله اصلی، کاهش محسوس دمای نسبی (حدود ۱/۵ درجه سلسیوس) و بعد از آن افزایش نسبی دما (حدود ۲ الی ۲/۵ درجه سلسیوس) در عمق یک متر مشاهده شد.

ژوانگ و همکاران (۲۰۰۸) در مطالعه‌ای بیان کردند که با سنجنده مودیس، تصاویر حرارتی برای فعالیت‌های زمین و رابطه آن با آنومالی‌های حرارتی مورد استفاده قرار بگیرند (Zhang et al. 2008). برای این مطالعه آن‌ها زلزله ونچوان چین را مورد استفاده قرار داده بودند و دریافتند که حرارت بین ۳ الی ۵ درجه سانتی‌گراد افزایش پیدا کرد و بعد از زلزله این آنومالی از بین رفت. کیانگ و همکاران (۱۹۹۹) گزارش کردند که ۶ روز قبل از زلزله Dongsha در قسمت جنوبی چین در سپتامبر ۱۹۹۲ آنومالی‌های افزایش درجه حرارت مشاهده شده است.

همچنین Qiang et al. (۱۹۹۹) گزارش کردند تصاویر ماهواره‌ای مادون‌قرمز حرارتی قبل از زلزله ۶ ریشتری Tiana تایوان در مارس ۱۹۹۱ نیز افزایش درجه حرارت در حدود ۶ روز قبل از زلزله را نشان داده است (Qiang et al. 1999).

زمین‌لرزه اخیر سراوان بزرگ‌ترین زمین‌لرزه رویداده در سده اخیر در این گستره می‌باشد (آمبرسز ۱۹۸۲). مهم‌ترین زمین‌لرزه‌های اتفاق افتاده، به قرار زیر است:

- زمین‌لرزه ۲۳ خرداد ۱۳۱۳ (۱۳ ژوئن ۱۹۳۴)
- شمال خاوری سراوان با بزرگی Mb 6/9
- زمین‌لرزه ۲۹ فروردین ۱۳۶۲ (۱۸ آوریل ۱۹۸۳)
- شمال باختری سراوان با بزرگی Mw 6/7 می‌باشد.

شناخت ویژگی‌های رفتاری پدیده‌های طبیعی، از جمله زلزله اهمیت زیادی در زندگی انسان‌ها برخوردار می‌باشد (ایزدخواه و امینی، ۱۳۸۴). زلزله در طول دوران حیات کره زمین وجود داشته و خواهد داشت. علی‌رغم پیشرفت‌های علمی و به‌کارگیری فناوری‌های گسترده در پیش‌بینی حوادث، از جمله زلزله، وقوع این پدیده هنوز هم هزینه‌ها و خسارات سنگینی را به جوامع انسانی وارد می‌سازد. در دهه‌های اخیر تلاش دانشمندان علوم مختلف، بیشتر در جهت یافتن فاکتورهای قابل پیش‌بینی و مؤثر در وقوع زلزله‌ها بوده است، تا بر اساس آن تغییرات زمانی وقوع زلزله‌ها را در دراز مدت ارزیابی و پیش‌بینی نمایند (ایزدخواه و امینی، ۱۳۸۴). پیش‌بینی زلزله عبارت است از مشخص نمودن یک ناحیه جغرافیایی و محدوده زمانی که در آن یک زمین‌لرزه روی خواهد داد و درصد اطمینان پیش‌بینی باید در آن گنجانده شده باشد (علوی پناه، ۱۳۸۶).

فناوری سنجش از دور و استفاده از ماهواره‌ها نیز در سال‌های اخیر بر وسعت تحقیقات پیش‌بینی زلزله افزوده و نظریه‌های مختلف موجود در این زمینه را مورد بررسی قرار می‌دهد و هم‌اکنون نقش انکارناپذیری در این زمینه تحقیقاتی ایفا می‌کند. هزینه پایین، ناحیه پوششی بالا، سرعت بالا، اطلاعات بیشتر و مشاهده پیوسته و قابلیت فراهم ساختن پوشش جهانی از خصوصیات به‌کارگیری فناوری سنجش از دور و ماهواره‌ها می‌باشد که می‌تواند کمبود داده‌های ایستگاه‌های زمینی را جبران کرده و سیستم مشاهده زلزله‌ها و پیش‌بینی آن را بهبود بخشد (علوی‌پناه، ۱۳۸۶).

۲. منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در ۶۴ کیلومتری شمال باختری سراوان و ۱۲ کیلومتری شهر گشت ساتان سیستان و بلوچستان، محل وقوع زلزله ۷/۷ ریشتری می‌باشد. این زمین‌لرزه بر اساس لرزه نگاشت‌های ثبت‌شده در شبکه ملی لرزه‌نگاری باند پهن پژوهشگاه در مختصات ۲۷/۸۸ درجه عرض شمالی و ۶۲/۳۰ درجه طول شرقی قرار دارد (گزارش مقدماتی سازمان لرزه‌نگاری کشور) (شکل ۲).

ترانین (۲۰۰۲) در مطالعه‌ای پی‌به‌پی به وجود آنومالی حرارتی یک هفته قبل از زلزله ۱۹ مارس ۱۹۸۴ با بزرگی ۷/۴ در منطقه Gazli واقع در آسیای مرکزی برد (Tronin 2002). در تصویر مادون‌قرمز حرارتی ۱۱ مارس ۱۹۸۴ یعنی یک هفته قبل از زلزله، آنومالی‌های مثبت حرارتی در حوالی کانون زلزله مشاهده شد. ناحیه آنومال، وسعتی در حدود ۱۰۰۰۰۰ کیلومترمربع را شامل می‌شد. در این پژوهش سعی گردیده است تا با استفاده از فناوری سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، آنومالی حرارتی پیش از وقوع زلزله اخیر سراوان را با تصاویر ماهواره‌ای MODIS مورد بررسی قرار گیرد.



شکل ۲. موقعیت جغرافیایی منطقه مورد بررسی

حد شمالی زون خاور و جنوب خاوری ایران را گسل میامی یا گسل شاهرود، حد خاوری آن را مرز ایران با پاکستان و افغانستان و حد جنوبی آن را دریای عمان و حد باختری آن را زون ایران مرکزی تشکیل می‌دهد. بخشی وسیعی از این زون به وسیله شن و ماسه و سنگ‌های آتشفشانی سنوزوئیک پوشیده شده است. سنگ‌های آتشفشانی سنوزوئیک کانسارهای فلزی (مس، سرب، روی، قلع، کرم، تنگستن) و غیرفلزی (پنبه نسوز، منیزیت) فراوانی را دارا می‌باشند (آقا

استان سیستان و بلوچستان در زون ساختمانی - رسوبی خاور و جنوب خاوری ایران واقع شده است که از نظر زمین‌شناسی دارای تقسیمات زیر می‌باشد:

- نهندان - خاش یا فلیش (رسوبات توریدیتی)
- بلوک لوت
- مکران و گودال جازموریان.

که در این رابطه، C_1 و C_2 برابر است با:

$$C_1 = 1.19106 \times 10^4 W cm^{-2} \mu m^4 Sr^{-1}$$

$$C_2 = 1.43883 \times 10^4 K \mu m$$

$L_i(T)$: رادیانس اندازه‌گیری شده در باند i در دمای تابشی T است. $f_i(\lambda)$ تابع پاسخ طیفی در باند i و λ_1 و λ_2 محدوده طول موج هر باند می‌باشند.

اگر هیچ جذبی در اتمسفر نباشد و توان تشعشعی هم معلوم باشد، دمای تابشی (T) سطح لامبرتی از راه عکس قانون پلانک قابل محاسبه است.

با تعریف یک طول موج مرکزی برای هر باند λ می‌توان دمای تابشی را با عکس قانون پلانک چنین به دست آورد:

$$T = \frac{\left(\frac{hc}{k}\right)}{\lambda \ln \left(\left(\frac{2hc^2}{L\lambda^5} \right) + 1 \right)} \quad (3)$$

که در آن T دمای تابشی، λ طول موج، h ثابت پلانک، c سرعت نور، k ثابت استفان بولتزمن و L رادیانس است.

۴. بحث و نتایج

با استفاده از تصاویر سنجنده MODIS و الگوریتم پنجره مجزا، دمای سطح زمین برای منطقه سراوان بدست آمد و آنومالی‌های حرارتی آن استخراج شد که در شکل (۳) آمده است:

نباتی (۱۳۸۳). از گسل‌های منطقه می‌توان به گسل سراوان، گسل بم پشت، گسل بیرگ، گسل دامن، گسل کشین، گسل جنوب زابلی و گسل قصر قند نام برد (حسامی آذر و همکاران ۱۳۸۲).

۳. مواد و روش‌ها

برای انجام این پژوهش از تصاویر ماهواره Terra، سنجنده MODIS و محصول کالیبره شده LEVEL1 برای 1Km استفاده گردید که بازه زمانی از ۲۰ تا ۲۷ فروردین ۱۳۹۲ رادر برداشت.

این تصاویر با استفاده از نرم‌افزار سنجنش از دوری ENVI نسخه ۵.۰ مورد تصحیح هندسی و رادیومتریک و اتمسفری قرار گرفت. باندهای مورد استفاده از این تصاویر، باندهای ۳۱ و ۳۲ که از باندهای حرارتی سنجنده MODIS می‌باشد مورد استفاده قرار گرفتند و اقدام به برآورد دمای سطح زمین از این باندها برای منطقه با الگوریتم پنجره مجزایی که آقای DASH در سال ۲۰۰۴ منتشر نمود استفاده کردیم که بدین شرح می‌باشد:

$$T_s = a + \left[b + c \left(\frac{1-\bar{\epsilon}}{\bar{\epsilon}} \right) + d \frac{\Delta\epsilon}{\bar{\epsilon}^2} \right] \left(\frac{TB_{\tau_1} + TB_{\tau_2}}{2} \right) + \left[e + f \left(\frac{1-\bar{\epsilon}}{\bar{\epsilon}} \right) + g \frac{\Delta\epsilon}{\bar{\epsilon}^2} \right] \left(\frac{TB_{\tau_1} - TB_{\tau_2}}{2} \right) \quad (1)$$

که در این رابطه:

$\bar{\epsilon}$ میانگین گسیلمندی‌ها

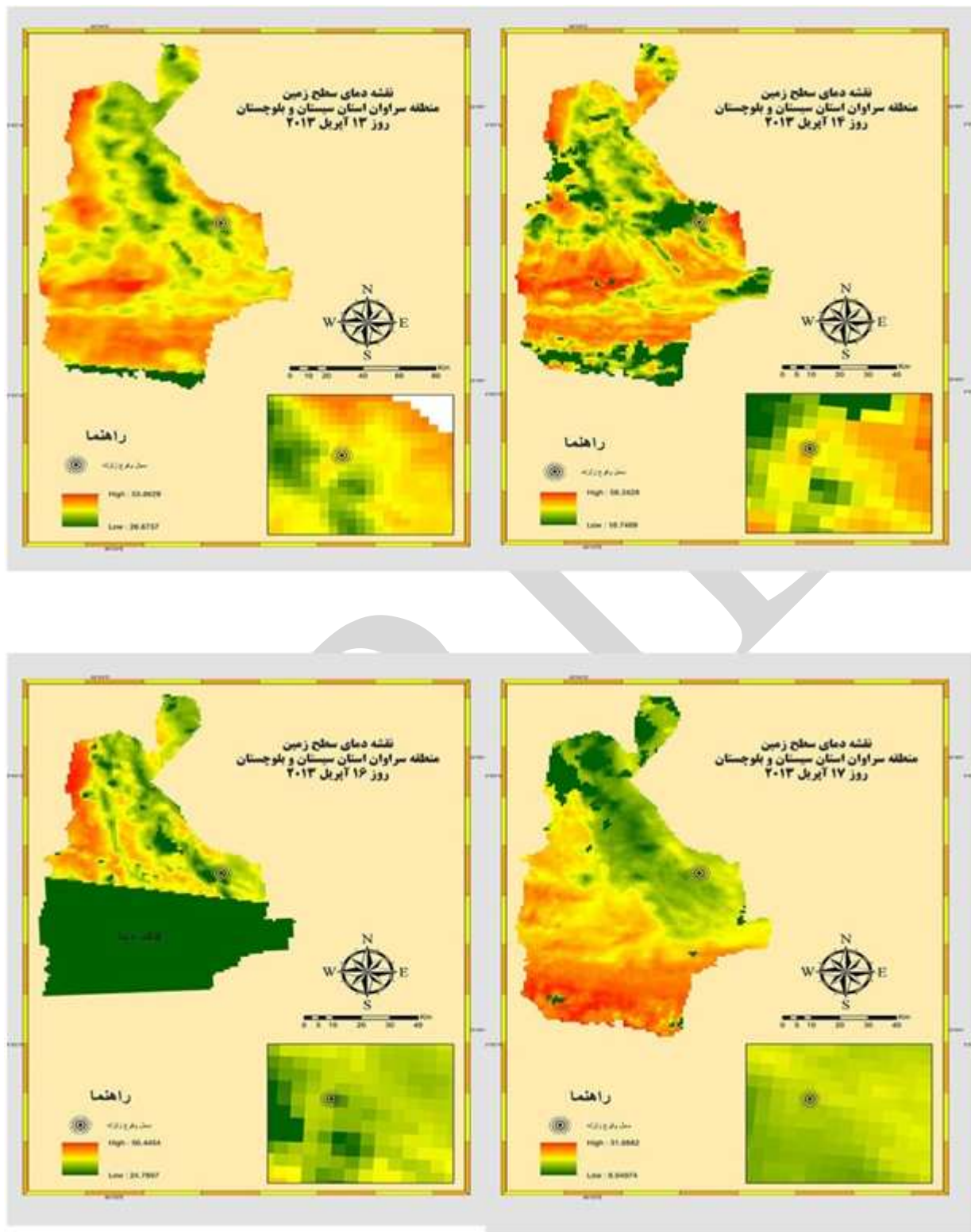
$\Delta\epsilon$ اختلاف دو گسیلمندی

a, b, c, d, e, f, g ضرایب رگرسیونی بوده

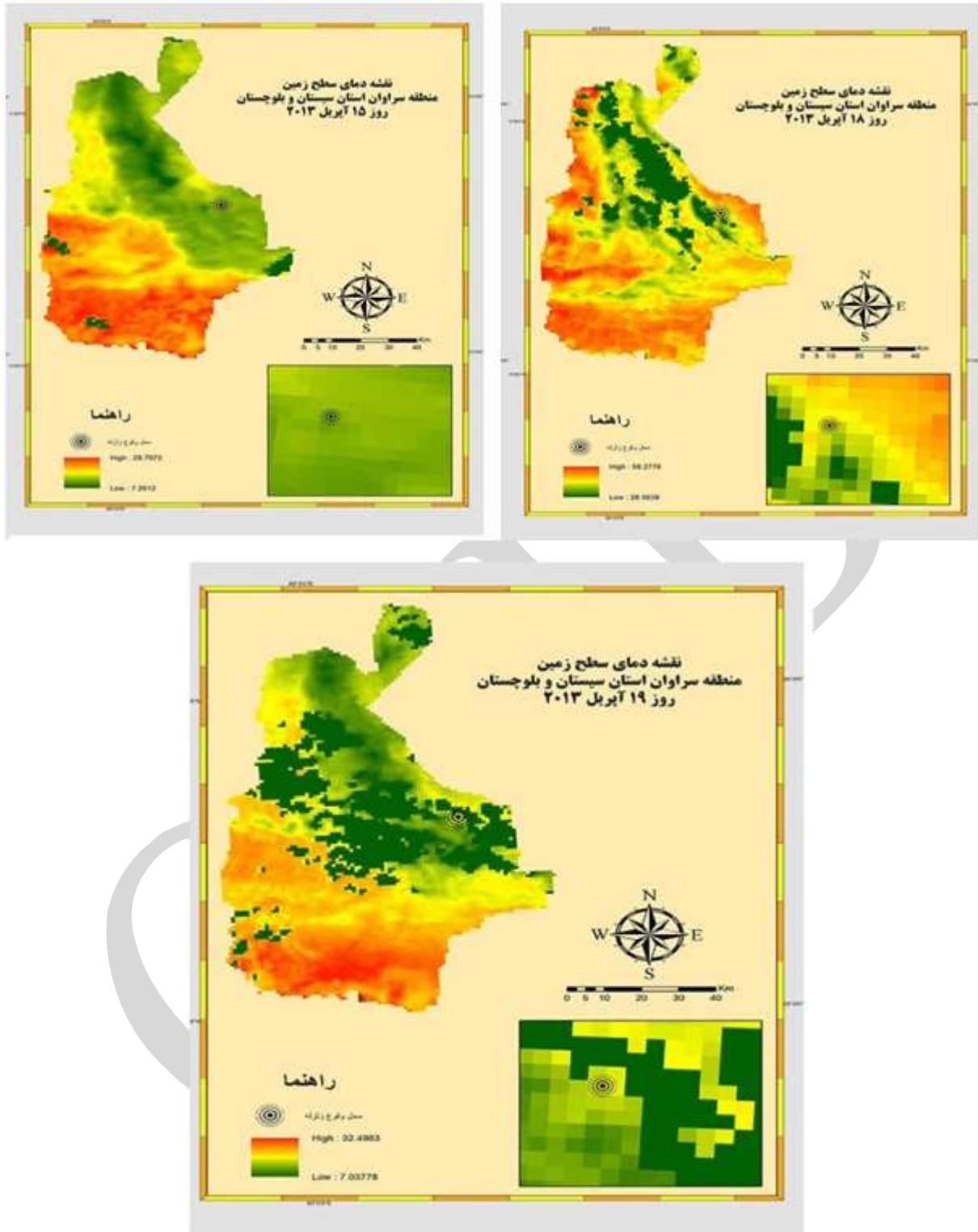
TB_{31} و TB_{32} دمای درخشندگی باند ۳۱ و ۳۲ می‌باشد.

برای محاسبه دمای درخشندگی از این رابطه استفاده گردید:

$$L_i(T) = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \frac{f_i(\lambda) C_1}{\lambda^5 \exp\left(\frac{C_2}{\lambda T} - 1\right)} d\lambda \quad (W cm^{-2} \mu m^{-1} Sr^{-1}) \quad (2)$$



شکل ۳. نقشه‌های دمای سطح زمین منطقه سراوان

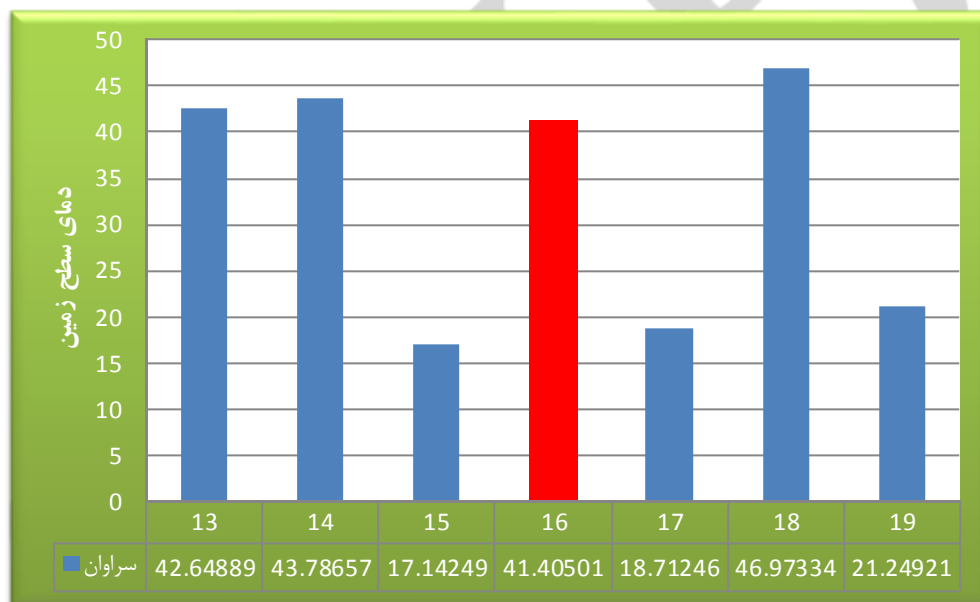


ادامه شکل ۳. نقشه‌های دمای سطح زمین منطقه سراوان

همچنین دماهای بدست آمده از این الگوریتم در جدول (۱) و نمودار (۱) گزارش گردیده که بدین شرح می‌باشد:

جدول ۱ دمای سطح زمین در طی ۱۳ الی ۱۹ آوریل

دمای سطح زمین برای منطقه سراوان بر حسب درجه سانتی‌گراد	روز
42.64889	۱۳ آوریل ۲۰۱۳
43.78657	۱۴ آوریل ۲۰۱۳
17.14249	۱۵ آوریل ۲۰۱۳
41.40501	۱۶ آوریل ۲۰۱۳
18.71246	۱۷ آوریل ۲۰۱۳
46.97334	۱۸ آوریل ۲۰۱۳
21.24921	۱۹ آوریل ۲۰۱۳



شکل ۴. نمودار دمای سطح زمین

اندازه‌گیری شده به وسیله ابزار و ادوات هواشناسی که داده‌های آن از طریق سازمان هواشناسی استان سیستان و بلوچستان اخذ شده مقایسه گردیدند. در مورد تأمین داده‌های واقعی دمای سطح زمین جهت ارزیابی عملکرد الگوریتم پنجره مجزا، خاطرنشان می‌شود که اطلاعات ایستگاه‌های هواشناسی در مورد دمای خاک مربوط به دمای خاک در اعماق مختلف از جمله ۵، ۱۰، ۲۰ سانتی‌متری می‌باشد، در صورتی که جهت بررسی عملکرد الگوریتم نیاز به داده‌های واقعی دمای سطح زمین می‌باشد. تحقیق انجام گرفته توسط

با توجه به جدول و نمودار (۱)، ملاحظه می‌گردد که روز قبل از زلزله و روز بعد از زلزله دمای سطح زمین به طور چشمگیری کاهش یافته است و روز ۱۹ آوریل هم به علت وجود زلزله دیگر منتها نه به شدت زلزله اصلی تغییرات کمتری نسبت به روز ۱۵ و ۱۷ یعنی روز قبل و بعد زلزله داشته است اما همچنان نشان‌دهنده آنومالی حرارتی می‌باشد.

آنومالی‌های حرارتی به دست آمده از سنجنده MOIDS که از طریق الگوریتم پنجره مجزا محاسبه گردید با داده‌های

است. با استفاده از داده‌های زمینی دمای سطح زمین، داده‌های به دست آمده از تصاویر ماهواره‌ای مقایسه گشته و این نتیجه حاصل گردید که اختلاف بین داده‌های زمینی و ماهواره‌ای معنی‌دار نمی‌باشد. با توجه به مطالعه انجام گرفته و پیشینه تحقیق در این جهت، می‌توان از این روش یعنی آنومالی حرارتی پیش از وقوع زلزله به عنوان ابزاری در کنار سایر ابزار و روش‌های پیش‌بینی زلزله مورد استفاده قرار داد.

منابع

اسلامی، آ.، تقابنی، م. و اشعری، ع. (۱۳۹۲) گزارش مقدماتی زمین‌لرزه بیست و هفتم فروردین، شمال باختری سراوان، پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله، www.iiees.ac.ir.

آقابیاتی، ع. ا. (۱۳۸۳) زمین‌شناسی ایران، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

آمبرسیز، ن. ن. و ملویل ج. پ. (۱۹۸۲) تاریخ زمین‌لرزه‌ای ایران، ترجمه: ابوالحسن رده، انتشارات آگاه، ۱۳۷.

ایزدخواه، ی. و امینی، ک. (۱۳۸۴) ارزیابی آمادگی در برابر سوانح در چهار زلزله بزرگ ایران، فصلنامه ژئوپلیتیک بهار- (ویژه نامه) ۶۱-۷۵.

حسامی آذر، خ. (۱۳۸۲) نقشه گسل‌های فعال ایران، پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله.

عادل‌قرجه داغی، ش. (۱۳۹۲) کاربرد تصاویر MODIS در بررسی احتمال وقوع آنومالی حرارتی پیش از وقوع زلزله و استفاده برای پیش‌بینی نزدیک به وقوع زلزله (مطالعه موردی: زلزله اهر-ورزقان)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، دانشگاه تبریز.

علوی‌پناه، ک. (۱۳۸۳) بررسی دمای سطحی بیابان لوت با استفاده از اندازه‌گیری‌های میدانی و داده‌های حرارتی ماهواره‌ای، مجله بیابان، ۱ (۷).

علوی‌پناه، ک. (۱۳۸۶) سنجش از دور حرارتی و کاربرد آن در علوم زمین، انتشارات دانشگاه تهران.

قنوتی، ع.، قلمی، ش. و عبدلی، ا. (۱۳۸۸) توانمندسازی مدیریت بحران شهری در جهت کاهش بلایای طبیعی (زلزله) نمونه موردی: شهر خرم آباد، جغرافیای طبیعی، تابستان ۸۸.

وازیوز و همکاران جهت مقایسه الگوریتم‌های برآورد دمای سطح زمین توسط سنجنده AVHRR، حاکی از افزایش دمای سطح زمین نسبت به دمای عمق ۵ سانتی متری در ساعات اولیه روز تا ساعت ۱۷ می‌باشد که میزان اختلاف بین دمای سطح زمین و دمای عمق ۵ سانتی متری در طول روز افزایش می‌یابد. ولی از ساعت ۱۷ به بعد دمای عمق ۵ سانتی متری بیشتر از دمای سطح زمین می‌شود. پیشینه اختلاف دمای سطح و دمای ۵ سانتی متری حدوداً ۱۱ درجه سانتی گراد می‌باشد (Vazquez 1997). به همین دلیل در این مطالعه بر اساس پیشنهاد تحقیق مذکور به داده‌های مشاهداتی عمق ۵ سانتی متری به میزان ۴/۵ درجه سانتی گراد اضافه شده است. سپس با استفاده از آزمون T-Test جفت شده، دقت و صحت داده‌های به دست آمده از تصاویر ماهواره‌ای را بررسی کردیم که شرح آن در جدول (۲) گزارش شده است:

جدول مقایسه دمای واقعی سطح زمین با دمای محاسباتی با استفاده از آزمون T جفت شده

نوع مقایسه	خطای معیار میانگین	انحراف معیار	T	Prob> T
دمای سطح زمین و دمای محاسبه شده به روش پنجره مجزا برای سراوان	۱/۰۵۰۹	۳/۶۴۰۴	-۲/۵۰۳	۰/۰۲۹

۵. نتیجه‌گیری

در این مطالعه با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای سنجنده MODIS و باندهای ۳۱ و ۳۲، به وسیله الگوریتم پنجره مجزا، دمای سطح زمین برای ۷ روز یعنی ۳ روز قبل و ۳ روز بعد از زلزله و روز زلزله محاسبه گردید و آنومالی حرارتی آن مشخص گردید و مشاهده کردیم که روز قبل از زلزله دمای سطح زمین نسبت به روز قبل خود کاهش چشمگیری داشته و این کاهش ناگهانی بوده و روز زلزله این آنومالی به حالت ثابت برگشته و روز بعد از زلزله دوباره دما کاهش پیدا کرده

کمالی، ح.، بیددختی، ع. و امیری، ح. (۱۳۹۱) پیش‌نشانگرهای زمین لرزه‌ای احتمالی حاشیه غرب صفحه لوت ایران - منطقه کرمان، *مجله فیزیک زمین و فضا*، ۳۸(۲)، ۲۰۳-۲۱۸.

نامی، م.، آقاپاھر، ر. و سامانی، ن. (۱۳۸۹) زمین‌لرزه و مدیریت بحران، انتشارات زیتون سبز، ۲۱۵ صفحه.

ولی‌زاده، ک. (۱۳۸۳) *پهنه‌بندی خطر زلزله در شهرستان اهر با استفاده از فناوری GIS*، طرح تحقیقاتی، دانشگاه آزاد اهر.

Dash, P. (2004) Land Surface Temperature and Emissivity Retrieval from Satellite Measurements. Ph.D. Thesis, *University of Karlsruhe, Germany*, 87 p.

Vazquez, D.P., Reyes, F.J.O. and Arboledas, L.A. (1997) A comparative study of algorithms for estimating land surface temperature from avhrr data, *Remote Sensing of Environment*, 62 (3), 215-222.

De, M.P., Pino, A., Valensise, G., Mazza, S. (1998) Geodetic and seismologic evidence for slip variability along a blind normal fault in the umbria-marche 1997-1998 earthquakes (central Italy). *Geophysical Journal International*, 155 (3), 819-829.

Vafaiezhad, A.R., Alesheikh, A.A. and Nouri, J. (2010) Developing a spatio-temporal model of risk management for earthquake life detection rescue team. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 7 (2), 243- 250.

Zhang, Y. Sh., Guo, X., Wei, C.X., Shen, W.R., Hui, Shao-X., (2011) Characteristics of Seismic Thermal Radiation of The Japan Ms 9.0 and Myanmar Ms7.2 Earthquake. *Chinese Journal of Geophysics*, 54 (5), 670-676.

Qiang, Z., Dian, C., Li, L., Xu, M., Ge, F., Liu, T., Zhao, Y. and Guo, M. (1999) Satellite thermal infrared brightness temperature anomaly image - short term and impending earthquake precursor. *Science Sinica D.*, 42, 1- 8.

Tronin, A.A., Hayakawa, M. and Molchanov, O.A. (2002) Thermal IR satellite data application for earthquake research in japan and china. *Journal of Geodynamics*, 33, 519-534.