



DOI:10.52547/GeoSpa.22.3.51

*علی حسینقلی زاده^۱
عطاءاله عبدالهی کاکروودی^۲

بررسی حرارتی منطقه گسل بم به منظور تعیین ارتباط فعالیت لرزه ای گسل با گرم شدن سطح زمین - مطالعه موردی، زلزله بم در ۲۶ دسامبر ۲۰۰۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۰/۰۱ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۳/۳۰

چکیده

زلزله جزء یکی از مهمترین بلایای طبیعی است که هر ساله خسارت های زیادی را به جوامع انسانی و طبیعی وارد می کند. این خسارت ها همواره پژوهشگران را بر آن داشته تا بدنبال راهی جهت پیش بینی این پدیده باشند. از جمله این راه ها استفاده از تصاویر ماهواره ای و تحلیل آن ها است. با توجه به اینکه هنوز فناوری برای پیش بینی دقیق مکان و زمان وقوع زلزله، ابداع نشده است، بررسی اطلاعات و تجزیه و تحلیل زلزله های گذشته به منظور درک بهتر پدیده های مرتبط با زلزله بسیار مفید است. در این پژوهش به بررسی حرارتی منطقه گسل بم، با استفاده از تصاویر MODIS و ASTER در زلزله ۲۶ دسامبر ۲۰۰۳ گسل بم پرداخته شده است، که بمنظور دید مناسب تر به شرایط حرارتی منطقه، با استفاده از الگوریتم Singel-channel و کد نویسی در سامانه تحت وب گوگل ارث انجین، روند حرارتی برای شش ماه قبل و بعد زلزله محاسبه شد. همچنین این روند با استفاده از داده های ساعتی سازمان هواشناسی نزدیک به محل منطقه مورد مطالعه، مورد کنترل قرار گرفت تا دید بهتری به وضعیت حرارتی منطقه حاصل شود. نتایج نشان داد که برخلاف باورهای موجود، وقوع زلزله هیچ اثر حرارتی قابل کشف با تصاویر ماهواره ای MODIS و ASTER در سطح زمین را ندارد.

کلید واژه ها: سنجش از دور حرارتی، گوگل ارث انجین، MODIS، ASTER، گسل بم

*^۱- گروه سنجش از دور و GIS، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، تهران، ایران (نویسنده مسئول).

E-mail: a.hosingholizade@ut.ac.ir

^۲- گروه سنجش از دور و GIS، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، تهران، ایران.

E-mail: a.a.kakroodi@ut.ac.ir

مقدمه

زمین به علت ساختار داخلی و حرکات مختلف صفحات تکتونیکی، مستعد انواع بلایای طبیعی است (Singh et al., 2017, Gill et al., 2019, al.). بطوریکه از زمان پیدایش، در معرض خطرهای و فجایع بسیاری بوده است (Bindi et al., 2011). وقوع چنین بلایایی به ویژه زلزله، اثرات زیانباری بر سکونتگاه‌ها و طبیعت آن باقی می‌گذارد که بر اثر آن گاهی زیرساخت‌ها نابود شده و خسارت‌هایی را در مقیاس وسیع به بار می‌آورد (Fan et al., 2019). در برخی موارد با توجه به بزرگی، محل وقوع، شرایط منطقه‌ای، تراکم و... دامنه این خسارت‌ها باعث کند شدن و گاهی توقف کامل فرآیند توسعه اقتصادی یک کشور برای سال‌ها می‌شود (Kii and Doi., 2020).

فلات ایران بخشی از کمربند زلزله خیز آلپ-همیالیا است. این منطقه یکی از مناطق زلزله خیز جهان محسوب می‌شود که سالانه زلزله‌های زیادی در آن اتفاق می‌افتد (Kobayashi et al., 2018). این زلزله‌ها گاهی بدون تخریب و در بعضی موارد با تخریب زیاد همراه است. بطورکلی تکتونیک فعال در ایران ناشی از حرکت همگرایی صفحات عربی و اوراسیا است. مناطق فعال تکتونیکی با چنین شرایطی (همگرایی صفحات تکتونیکی) دارای مجموعه‌های پیچیده از گسل‌های معکوس و امتدادلغز که بر یکدیگر برهم کنش دارند، می‌باشند (Barbarin and Jakson, 1999). همگرایی صفحات عربی- اوراسیا که به عنوان ترکیبی از حرکات صفحات آفریقا- اوراسیا و عربی اوراسیا شناخته می‌شود، در شرق ایران جهتی شمالی- جنوبی داشته و نرخ تقریبی ۳۰ میلی متر در ۵۰ درجه طول شرقی و نرخ ۴۰ میلیمتر در ۶۰ درجه طول شرقی صورت می‌گیرد (Walker and Jackson, 2002). جدیدترین مطالعات بعمل آمده براساس اندازه‌گیری‌های GPS بر این واقعیت دلالت دارد که نرخ همگرایی میان دو صفحه عربی و اوراسیا در ۵۲ درجه طول شرقی حدود ۲۲ میلی متر در سال است (Vernant et al., 2004)، که باعث بوجود آوردن زلزله‌های متعددی در فلات ایران شده است. یکی از زلزله‌های ویرانگر، زلزله بم در ۲۶ دسامبر ۲۰۰۳ است. این زلزله در ساعت ۵:۲۶:۲۶ به وقت محلی (۱:۲۶:۲۶ UTCTime)، با بزرگی ۶/۵ درجه ریشتر در شهر بم استان کرمان بوقوع پیوست (Yamanaka, 2003). براساس اطلاعات حاصل از سازمان زمین‌شناسی آمریکا (USGS^۳) کانون این زمین‌لرزه در محدوده جنوب شرقی شهر بم با مختصات UTM (X=627701 و Y=3208137) در عمق ۱۰ کیلومتر از سطح زمین بوده است. این زلزله باعث آسیب فاجعه بار انسانی به شهر بم و مناطق اطراف آن شد (Nakamura et al., 2005). این خسارت‌ها پژوهشگران را بدنبال جستجوی راه حل‌های مختلف فناوری محور متمایل ساخته، بطوریکه یکی از فناوری‌های مورد بحث در این چند ساله استفاده از سنجش از دور بوده است.

³ United States Geological Survey (<https://earthquake.usgs.gov>)

فناوری های سنجش از دور نقش مهمی را در مدیریت و پایش قبل و بعد زلزله دارند که از آن جمله می توان به رصد جابه جایی های صفحات گسل و پایش مستمر آن ها اشاره کرد (Singh et al., 2006). تاکنون پژوهش های زیادی بر روی زلزله با استفاده از سنجش از دور صورت گرفته است که در آن ها با استفاده از راه های گوناگون، به تحلیل شرایط گسل و نشانه های احتمالی پیش از زلزله پرداخته اند. از جمله این نشانه ها می توان به تغییر شکل و جابه جایی عمودی عوارض سطح، تغییر در رطوبت، درجه حرارت سطح زمین و جو، افزایش غلظت برخی گازها و میزان آئروسول اشاره کرد (Tronin, 2010; Hossingholizade et al., 2021). پیشرفت های صورت گرفته در سنجش از دور از قبیل قابلیت نفوذ در ابرها، استفاده در شرایط آب و هوایی متفاوت، داشتن داده های آرشیوی قوی، کم هزینه بودن، دسترسی ساده، توپوگرافی سطح زمین و ... باعث استفاده هر چه بیشتر داده های سنجش از دور در شرایط مختلف می شود (Suresh and Yarrakula, 2018). تاکنون پژوهش های زیادی در زمینه زلزله و سنجش از دور انجام گرفته است که از جمله آن می توان به این موارد اشاره کرد: Talebian et al (2004) با استفاده از تصاویر Envisat به بررسی جابه جایی سطحی و تغییر شکل ظاهری عوارض زمین در منطقه بم پرداختند. نتایج پژوهش نشان داد میزان جابه جایی در بعضی از قسمت های عمقی گسل به ۲ متر هم می رسد این در حالیست که در قسمت سطحی، میزان گسیختگی در روی گسل بسیار کمتر و در حدود سانتی متر است. این گسیختگی در سراسر گسل، بخصوص پشت رودخانه "پشت رود" که نزدیک گسل بم قرار دارد به روشنی قابل مشاهده است. در سال 2005 Xia با بررسی کاربرد داده های ASAR و INSAR به کشف گسیختگی های گسل منطقه بم پرداخت. در این بررسی از داده های راداری یک ماه پیش از زلزله تا یکسال پس از آن استفاده شد. (Zhenhong et al (2009) ، با استفاده از مدل بخار آب پیش بینی شده PWV^4 به تصحیح اتمسفری داده های سری زمانی InSAR در منطقه بم پرداختند؛ آن ها از داده های MERIS و NIR منطقه جهت تصحیح برای هنگامی که منطقه بدون ابر است استفاده کردند. آن ها همچنین مدل تصحیح اتمسفری APS^5 را برای شرایط ابری منطقه پیشنهاد نمودند که اعتبارسنجی مدل جدید APS و PWV حاکی از ضریب همبستگی ۰/۹۸ و انحراف معیار ۰/۳ برای مدل پیشنهادی را داشت. (et al (2009) Funning با استفاده از داده های Envisat میدان جابه جایی سه بعدی زلزله را بدست آوردند. آن ها با بهره گیری از تداخل سنجی و روش Pixel offset موقعیت و توزیع لغزش صفحه گسل را محاسبه کردند، سپس از al (2006) Monto-Carlo et که یک الگوریتم تصادفی ریاضی برای محاسبه نتایج است بمنظور محاسبه عدم قطعیت استفاده نمودند. (Motagh et al (2006) و با ترکیب داده ی Envisat و داده ی ترازایی ۲۲ ایستگاه نقشه برداری (Bench Mark) نزدیک به منطقه بم که ۴۰ روز پس از زلزله توسط سازمان نقشه برداری کشور برداشت شده بود، توزیع لغزش روی صفحه گسل را بدست آوردند. در پژوهشی دیگر (Habibi et al (2015) با بکارگیری فن تداخل سنجی

4- precipitable water-vapor

5- Atmospheric Phase Screen

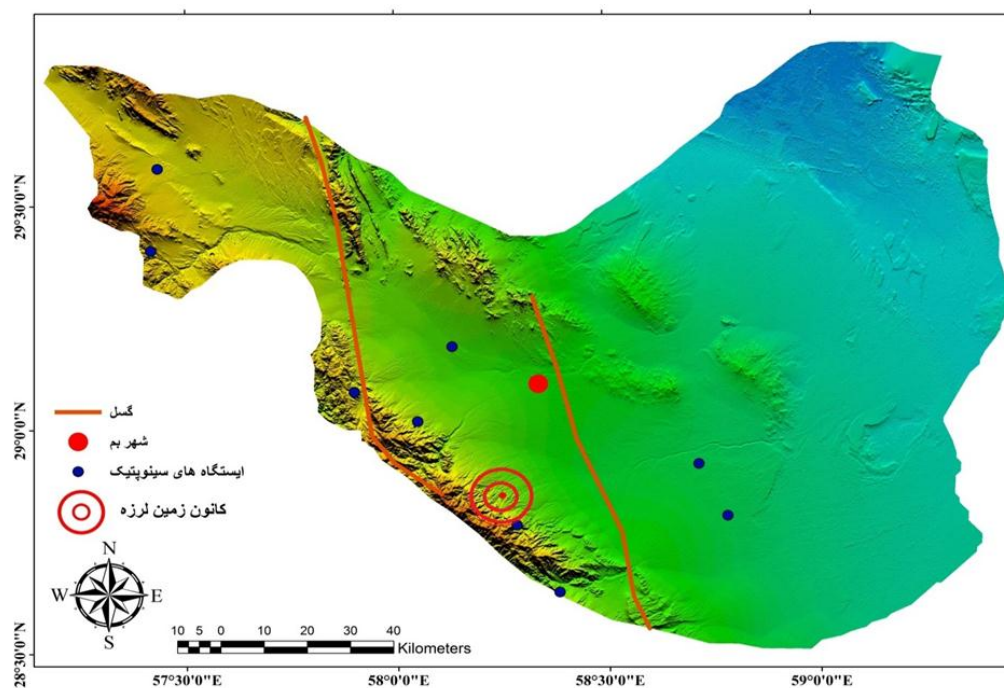
راداری چند دیافراگمی چند رادرای و چند دیافراگمی معمولی در دو راستای خط دید ماهواره و مسیر آزمون، تغییر شکل زمین در اثر زلزله را بدست آوردند. در ادامه با استفاده از روش های ژئودتیک، سه مولفه قائم جابه جایی را اندازه گیری کردند سرانجام برای بدست آوردن هندسه گسل و توزیع لغزش روی صفحه آن، این مولفه ها را با استفاده از روش بهینه سازی الگوریتم ژنتیک و مدل تحلیلی نیم-فضای الاستیک معکوس کردند. آن ها دریافتند بیشترین جابه جایی در عمق حدود ۴ تا ۵ کیلومتری در حدود ۲/۵ متر می باشد. همچنین روش Bootstrap برای محاسبه عدم قطعیت استفاده کردند. (Li et al (2009 و به بررسی جابه جایی بعد زمین لرزه حدود ۳ سال پس از زمین لرزه بم با روش تداخل سنجی راداری پرداختند. آن ها جهت کاهش طول موج های بلند خطای اتمسفر و اطلاعات مداری غیر دقیق از برازش و حذف صفحه فازی 40×40 کیلومتری برای هر مجموعه از داده های مساله استفاده کردند. به همین دلیل مقداری از طول موج های بلند سیگنال های جابه جایی حذف شد. Heidari et al (2005) با اندازه گیری شدت سیگنال و اطلاعات فازی با روش تداخل سنجی راداری در نرم افزار DORIS در محیط Linux به این نتیجه رسیدند که بزرگی زلزله بم با اینرسی 1.1×10^{24} می باشد.

(Saraf and Choudhury (2005 با بکارگیری سری زمانی تصاویر حرارتی NOAA-AVHRR برای ده روز پیش از زلزله تا چهار روز پس از آن آنومالی حرارتی و نقشه های حاصل از آن را برای گسل بم استخراج نمودند. نتایج نشان داد حرارت حاصل از داده ها، ده روز پیش از زلزله تا ۳ روز پس از آن، روند افزایشی داشته بطوریکه بیشترین آنومالی، مربوط به ۲۴ دسامبر، یعنی دو روز پیش از زلزله بوده است. (Choudhury et al (2006 با بررسی و مقایسه داده های حرارتی شب و روز NOAA-AVHRR به این نتیجه رسیدند که بی نظمی حرارتی در گسل بم در دو روز پیش از زلزله بوجود آمده است. آن ها این بی نظمی را حاصل حرکات تکتونیکی زمین در منطقه گسل عنوان کردند. (Saraf et al (2008 با استفاده از داده های سری زمانی MODIS و NOAA-AVHRR مقدار آنومالی حرارتی را برای گسل و کانون زلزله عددی بین ۲ تا ۱۳ درجه سانتی گراد بدست آوردند. آن ها نشان دادند روند افزایش آنومالی حرارتی پس از وقوع زلزله به یک روند کاهشی تبدیل شده است. سپس با بررسی همبستگی بین LST و InSAR نتیجه گرفتند، آنومالی حرارتی حاصل در گسل بم، حاصل از پدیده های زمینی بوده و هیچ ارتباطی با فعالیت های اتمسفری اطراف آن ندارد. (Guo and Wang (2008 در پژوهشی، نخست به بررسی داده های سری زمانی ماهواره MODIS پرداختند سپس با کمک داده های ماهواره زمین مرجع METOSAT-5 وضعیت تشکیل، تغییر شکل و نحوه حرکت ابرها را برای گسل زلزله بم و پس لرزه های پیش و پس از آن مورد بررسی قرار دادند. پردازش تصاویر MODIS نشان از وجود آنومالی حرارتی در منطقه گسل و داده های METOSAT-5، تغییر شکل و ماندگاری ابر روی منطقه علیرغم وجود باد را نشان داد. (FU et al (2004 با استفاده از تصاویر سه بعدی ASTER، هندسه گسل بم را به طول ۶۵ کیلومتر استخراج نمودند که نتایج و بررسی داده های حاصل از USGS و پژوهش

های میدانی نشان داد که گسل بم از دو بخش تشکیل شده است. بخش شمالی گسل به دلیل خم شدگی شدید، به احتمال زیاد منطقه تنش و شروع زلزله بوده است. (Akhoondzadeh and Saradjian (2011) با استفاده از تصاویر MODIS آنومالی حرارتی گسل بم را محاسبه کردند سپس با استفاده از داده ایستگاه های زمینی نزدیک به منطقه زلزله، تاثیر حرارت محیط بر روی دمای بدست آمده را حذف کردند سرانجام با کمک فیلتر کالمن و روش تبدیل موجک به طور جداگانه، آنومالی های حرارتی غیر قابل شناسایی را استخراج نمودند. آن ها به این نتیجه رسیدند که آنومالی حرارت می تواند یکی از نشانه های وقوع زلزله باشد، همچنین استفاده از فیلتر های کالمن و روش تبدیل موجک در کشف آنومالی حرارتی بسیار موثر است. آن ها این روش را علاوه بر بم در بروجرد و زرنند نیز مورد بررسی قرار دادند که در آن مناطق نیز نتایج حاکی از تاثیر مثبت روش بکار گرفته شده در کشف آنومالی حرارتی را داشت. (Singh et al (2006) با بررسی چهار زلزله بزرگ الجزایر، گجرات، اندام و بم به این نتیجه رسیدند که با وقوع زلزله، شار حرارتی پنهان در محل کانون زلزله و صفحات لیتوسفر (Plate) آزاد می شود که این شار موجب تغییر در میزان کلروفیل نوع a در گیاهان نزدیک به کانون زلزله و صفحات لیتوسفر (Plate) می شود. آن ها در این پژوهش از Product های سطح ۳ و نسخه ۴ Modis به همراه الگوریتم های مخصوص استخراج میزان کلروفیل استفاده کردند. (Jie and Guangmeng (2013) با بکارگیری تصاویر ماهواره های زمین مرجع Metosat با قدرت تفکیک زمانی یک ساعت به پایش گذر ابر در دو زلزله ایتالیا و بم ایران در سال های ۲۰۱۲ و ۲۰۰۳ پرداختند. آن ها نتیجه گرفتند علیرغم وجود باد، ابر روی منطقه برای مدت طولانی وجود داشته که ابرها در دو منطقه حالت خطی داشته اند. آن ها در پایان، استفاده از داده های ژئوفیزیکی را برای پیش بینی و اعتبارسنجی روش های سنجش از دور ضروری دانستند. (Xia and Wang (2004) با استفاده از داده های Envisat به بررسی گسل بم پرداختند آن ها در پژوهش خود از فیلتر Sobel برای تشخیص و استخراج خط گسل استفاده کردند. نتایج پژوهش آن ها نشان داد، بیشتر زلزله های پدید آمده در بم از بخش جنوبی گسل به وقوع پیوسته است و این گسل به صورت واحد و یکپارچه نیست و گسیختگی های زیادی در آن بوجود آمده است. همچنین استفاده از فیلتر به همراه تصاویر راداری را برای استخراج خط گسل بم با واقعیت موجود مورد راستی آزمایی قرار دادند که نتایج از تشخیص درست و انطباق مناسب پژوهش با واقعیت موجود داشت. در این پژوهش با استفاده از تصاویر ASTER و MODIS با استفاده از کدنویسی در سامانه گوگل ارث انجین^۶ و الگوریتم بازایی دمای سطح Singel-channel به بررسی وضعیت حرارتی گسل بم، پیش و پس از زلزله پرداخته شده است.

6- Google earth engine (<https://earthengine.google.com/>)

منطقه مورد مطالعه شهر بم با مساحت ۵۴۰۰ هکتار با توپوگرافی به نسبت هموار، در جنوب شرقی کرمان واقع شده. است <https://www.amar.org.ir> است این شهر با ارتفاع ۱۰۵۰ متر بالاتر از سطح دریا دارای تپه های آتشفشانی که در شمال و جنوب غربی آن واقع شده است. این منطقه دارای آب و هوای خشک است و مقدار کل بارندگی سالانه آن به ویژه در سال های اخیر قابل توجه نیست. این شهر در غرب بلوک لوت (Sohrabi, 2018) در کنار گسل، بم واقع شده است بطوریکه این گسل رسوبات جوان کواترنری را قطع می کند (Boshrabadi, 2018) و راستایی شمالی-جنوبی با طول ۵۰ کیلومتر طول دارد که فاصله آن کمتر از ۴ کیلومتر با شهر بم است (Morozov et al., 2018). براساس مطالعات مرکز لرزه نگاری دانشگاه هاروارد زلزله ۲۶ دسامبر ۲۰۰۳ بم بدلیل جا به جایی گسل شمالی-جنوبی آن بوده است (Zare et al., 2004). مطالعه بر روی ساختار درونی منطقه نشان می دهد نوع گسل بم امتداد لغز راستگرد با مولفه کوچک شیب لغز فشاری است (Saafizaadeh and Bagheripour, 2019). همچنین این بررسی ها نشان می دهد پنج نوع سنگ شناسی در شکل اصلی زمین شناسی منطقه وجود دارد که شامل: آبرفت های کواترنری جدید، سنگ های سیلتی و ماسه سنگ اواخر کواترنر، سنگ های رسوبی پالوژن، سنگ های آتشفشانی ائوسن و سنگ های آذرین نفوذی گرانودیوریت است (Amini Hosseini et al., 2004 ; Tabatabaei et al., 2010). شکل (۱) شهرستان بم به همراه کانون زلزله و گسل های اصلی را نشان می دهد.

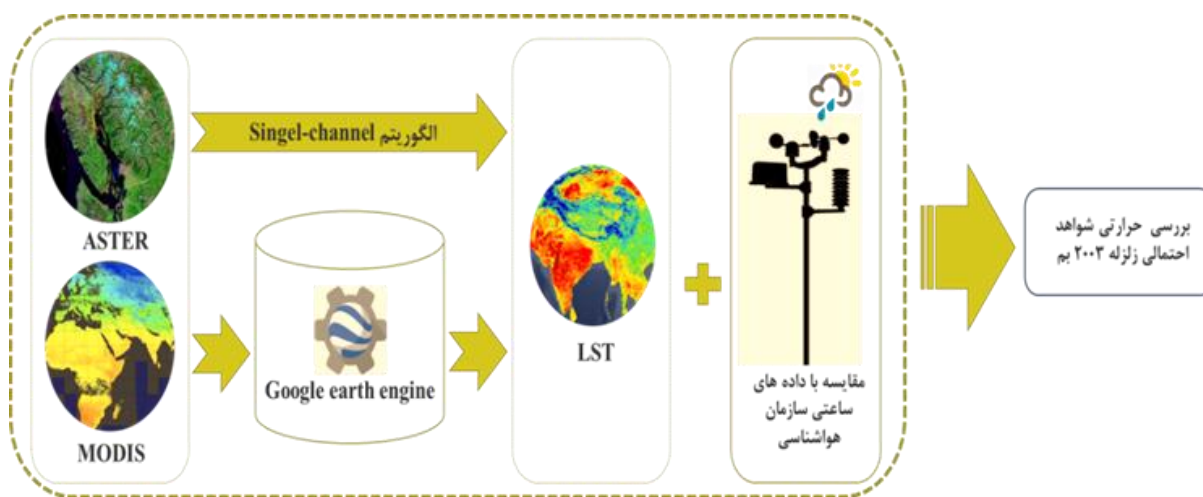


شکل ۱: شهرستان بم به همراه کانون زلزله و گسل های اصلی

Fig1: Bam city with the epicenter of the earthquake and the main faults

مواد و روش‌ها

در این پژوهش داده های ساعتی ایستگاه های نزدیک منطقه زلزله از سامانه سازمان هواشناسی کشور و تصاویر Aster از سامانه USGS دریافت شد. همچنین بمنظور بررسی روند LST و NDVI از کد نویسی Java-Script در سامانه تحت وب گوگل ارث انجین استفاده گردید. در انتخاب تصاویر با قراردادن فیلتر مناسب در کدنویسی، از تصاویر دارای پوشش ابر در منطقه مورد مطالعه صرف نظر شد تا میزان LST و NDVI برای منطقه، تحت تاثیر شرایط ناخواسته قرار نگیرد. با استفاده از تصاویر Aster پیش و پس از زلزله، مقدار LST محاسبه گردید. شکل (۲) روند اجرای پژوهش را نشان می دهد.



شکل ۲: مراحل کلی کار

Fig2: General steps of the work

برآورد دما با استفاده از تصویر Aster

از آنجا که ASTER دارای پنج باند حرارتی مختلف است و الگوریتم Singel-channel فقط در یک باند حرارتی اعمال می شود. برای بکارگیری الگوریتم باید باند بهینه انتخاب شود. که برای انتخاب این باند بهینه با توجه به شرایط اقلیمی منطقه مورد مطالعه از باند ۱۳ استفاده شد (Yang et al., 2019 a). پیش از برآورد دما تصحیح هندسی تصویر به روش FLAASH صورت گرفت (Zhang and et al., 2016). روش FLAASH بر خلاف دیگر روش ها که پارامترهای پیش فرض را جهت تصحیح بکار می گیرند از مدل های فیزیکی انتقال انرژی الکترومغناطیسی برای تصحیح اثرات اتمسفر استفاده می کند در این روش کلیه پارامترها از جمله ساعت، تاریخ، طول و عرض جغرافیایی، نوع حسگر، ارتفاع متوسط منطقه، باندهای بازتابی بخار آب، نوع مواد معلق در هوا، نوع تصویر، میزان کربن دی اکسید (CO2) بطور مستقیم توسط خود کاربر قابل تغییر است که همگی آن ها از فایل Header همراه تصاویر بدست آمد.

برآورد دما از روش Singel-Channel مخصوص تصاویر Aster براساس معادلات زیر بدست آمد (OĞUZ , 2015)
:(Jiménez-Muñoz and Sobrino, 2009)

$$T_s = y[(1/\varepsilon)(\psi_1 L_{sen} + \psi_2) + \psi_3] + \delta \quad \text{معادله (۱)}$$

$$\psi_1 = (1/r), \psi_2 = -L^\downarrow - (L^\uparrow / r), \psi_3 = L^\downarrow \quad \text{معادله (۲)}$$

$$T_{sen} = K_2 / \ln((K_1 / L_{sen}) + 1) \quad \text{معادله (۳)}$$

$$\gamma \approx \frac{T_{sen}^2}{K_2 L_{sen}} \quad \text{معادله (۴)}$$

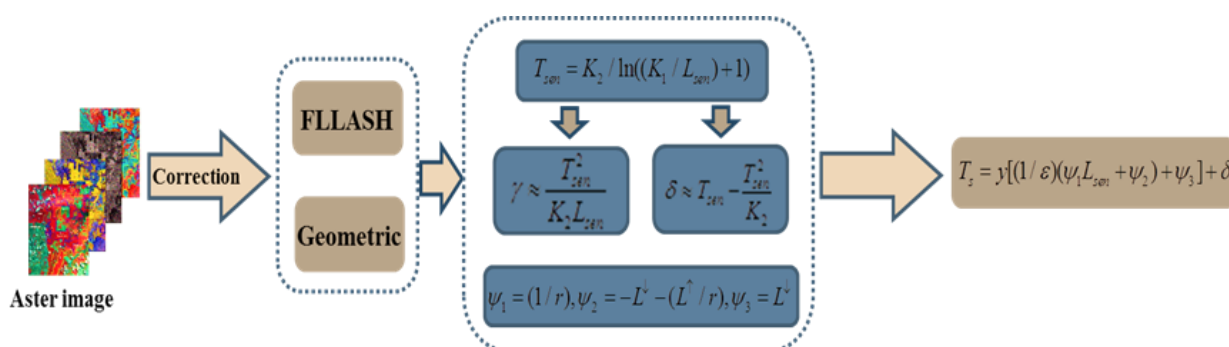
$$\delta \approx T_{sen} - \frac{T_{sen}^2}{K_2} \quad \text{معادله (۵)}$$

جدول ۱- مقادیر ثابت ضرایب برای تصویر Aster در روش Singel_channel

Table 1- Fixed values of coefficients for the Aster image in the Singel_channel method

Aster band	K ₁	K ₂
۱۰	۳۰۴۷/۴۷	۱۷۳۶/۱۸
۱۱	۲۴۸۰/۹۳	۱۶۶۶/۲۱
۱۲	۱۹۳۰/۸۰	۱۵۸۴/۷۲
۱۳	۸۶۵/۶۵	۱۳۴۹/۸۲
۱۴	۶۴۹/۶۰	۱۲۷۴/۴۹

در رابطه فوق مقادیر k_1 و k_2 مقادیر ثابت هستند که براساس جدول (۱) استخراج شد. T_{sen} دمای درخشندگی L_{sen} رادیانس ثبت شده توسط حسگر می باشد. شکل (۳) برآورد دما به روش Singel-channel را نشان می دهد.

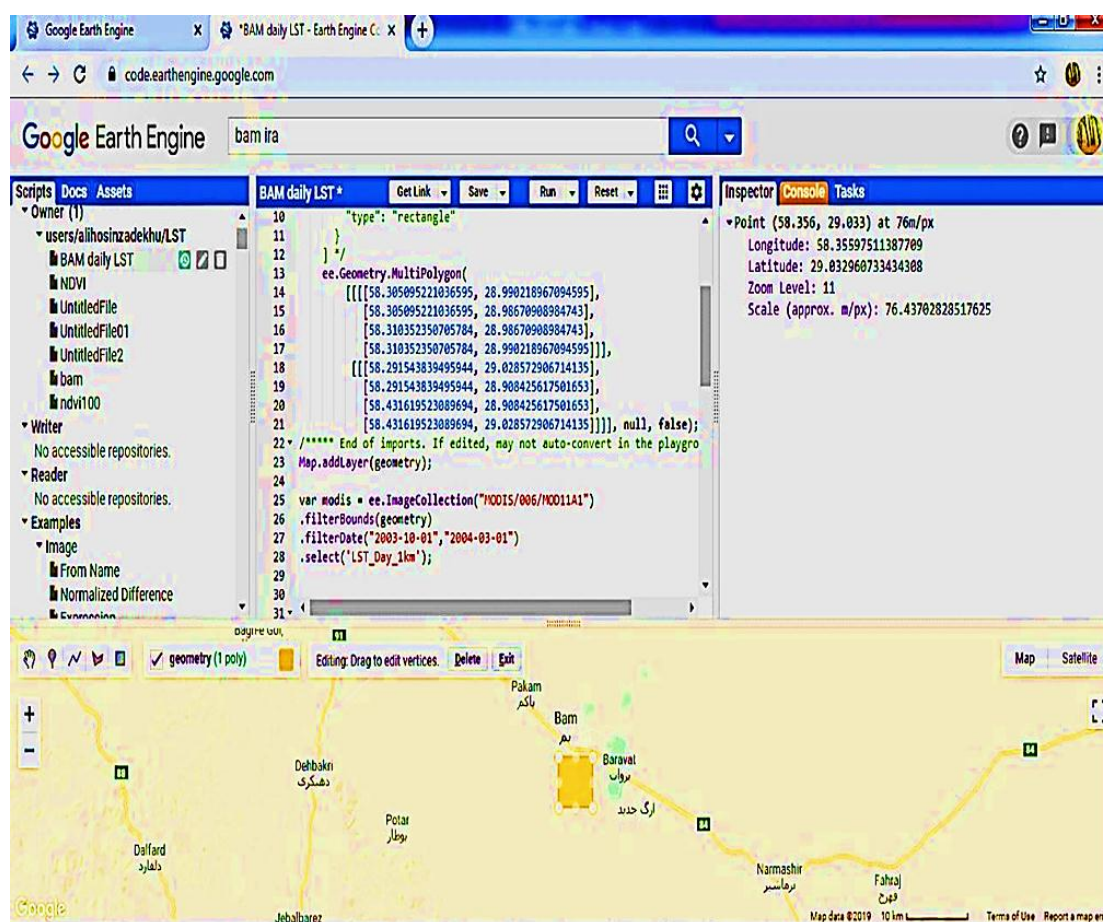


شکل ۳: برآورد دما به روش Singel-channel

Figure 3: Single-channel temperature estimation

سامانه گوگل ارث انجین (Google earth engine)

این سامانه امکان پردازش همزمان حجم بسیار بالایی از داده های ذخیره شده در سرور، بدون نیاز به سیستم های قوی و پشتیبانی جانبی را فراهم می کند. از جمله مهمترین مزایای این سیستم "متن باز" بودن آن است که کاربران را قادر می سازد تا بدون هرگونه محدودیتی از آن استفاده کنند. پشتیبانی از ساختارهای مختلف نیز از دیگر مزایای سامانه گوگل ارث انجین است (Yang et al., 2019 b). در این پژوهش با کدنویسی در سامانه گوگل ارث انجین از تصاویر سری MODIS در بازه شش ماه پیش و پس از زلزله استفاده شد. شکل (۴) نمایی از کدنویسی در سامانه تحت وب گوگل ارث انجین را نشان می دهد.



شکل ۴: نمایی از کدنویسی در سامانه تحت وب گوگل ارث انجین

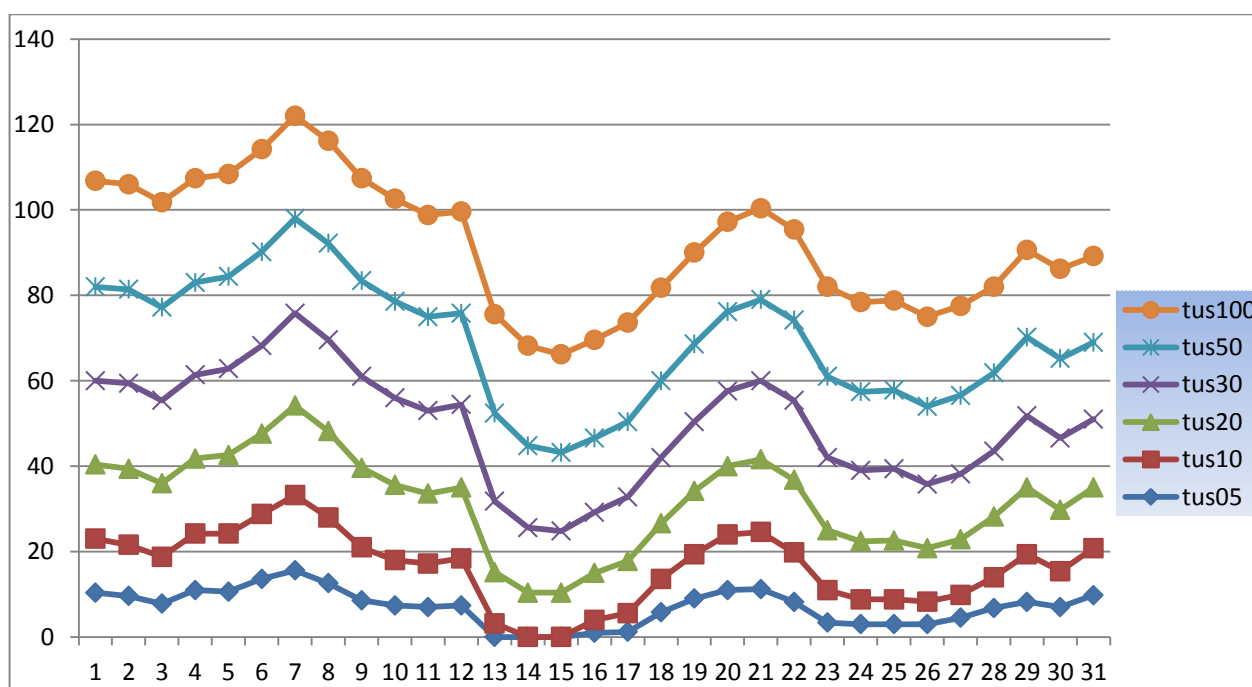
Figure 4: View of the coding in the Google Earth Engine web system

دریافت داده های سازمان هواشناسی

جهت دریافت داده های هواشناسی، از راه تارنمای سازمان به نشانی (www.irimmo.ir), برای نزدیکترین ایستگاه (طول ۵۸.۳۵ شرقی و عرض ۲۹.۱۵ درجه شمالی) به کانون زلزله برای بازه ۳۱ روزه دریافت گردید که پس از

بررسی‌ها مشخص شد که برای روزهای ۲۷، ۲۸ و ۲۹ ام هیچ داده‌ای برای این ایستگاه وجود ندارد که برای حل این مشکل از درون یابی مخصوص داده‌های هواشناسی که برای منطقه کرمان پیشنهاد شده است استفاده شد (Anjomshoaa and Salmanzadeh, 2019) که برای ارزیابی این رابطه دو روز سوم و دهم که معلوم بودند برای تست رابطه بکار گرفته شد که میزان RMSE برابر ۰/۱ بدست آمد.

در شکل (۵) و جدول (۲) روند تغییرات دمای عمق‌های مختلف از ۵ تا ۱۰۰ سانتی متر در قیاس با دمای هوا در ساعات ۳ و ۶ بامداد را نشان داده شده است. که تقریباً سیر همه تغییرات در شش عمق ۵، ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۵۰ و ۱۰۰ و دمای هوا یکسان و با نوسان‌های هماهنگ است.



شکل ۵: دما در ارتفاعات مختلف از سطح خاک در قیاس با دمای هوا در ساعات ۳ و ۶ بامداد (محور افقی روزهای ماه به میلادی - محور قائم دمای خاک در عمق‌های مختلف به درجه سانتیگراد - tempture under soil: tus)

Figure 5 Temperature at different altitudes above the soil surface in comparison with air temperature at 3 and 6 in the morning (horizontal axis of the days of the month to AD - vertical axis of soil temperature at different depths in degrees Celsius - tempture under soil: tus)

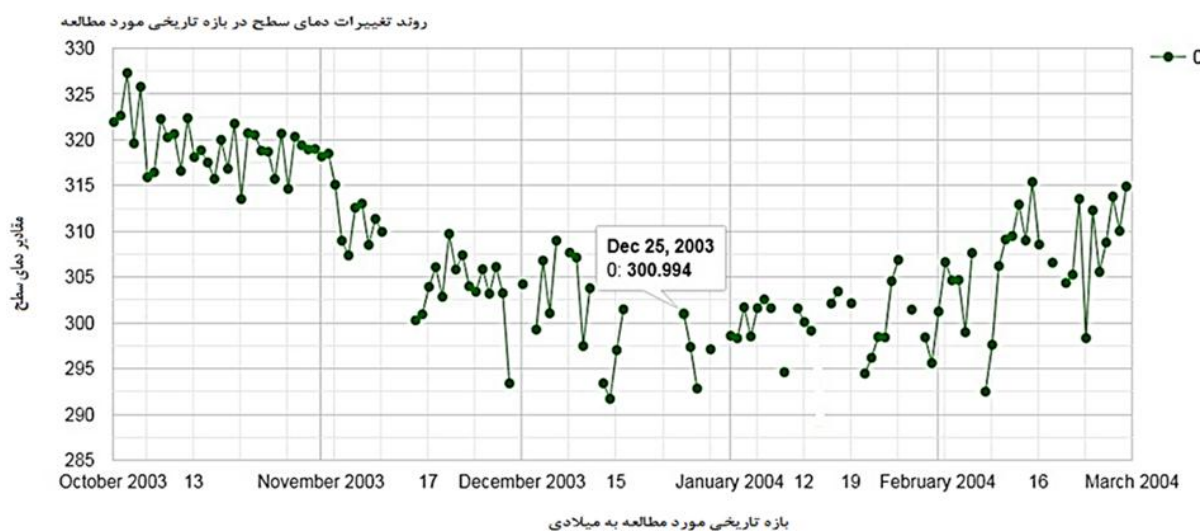
جدول ۲- روند دمای هوا در ساعات ۳ و ۶ بامداد و دمای خاک در عمق های مختلف (temperture under soil: tus)

Table 2- air temperature trend at 3 and 6 in the morning and soil temperature at different depths (temperture under soil: tus)

روزهای مورد مطالعه	دمای سطح ساعت ۳ صبح	دمای سطح ساعت ۶ صبح	دما در عمق ۵ سانتی متری خاک	دما در عمق ۱۰ سانتی متری خاک	دما در عمق ۲۰ سانتی متری خاک	دما در عمق ۳۰ سانتی متری خاک	دما در عمق ۵۰ سانتی متری خاک	دما در عمق ۱۰۰ سانتی متری خاک
۱	۹/۶	۱۵/۸	۱۰/۴	۱۲/۶	۱۷/۴	۱۹/۶	۲۲	۲۴/۸
۲	۹/۸	۱۵	۹/۶	۱۲	۱۷/۸	۲۰	۲۲	۲۴/۶
۳	۶/۲	۱۴/۲	۷/۸	۱۱	۱۷/۲	۱۹/۴	۲۱/۸	۲۴/۶
۴	۹/۸	۱۵/۴	۱۱	۱۳/۲	۱۷/۶	۱۹/۶	۲۱/۶	۲۴/۴
۵	۱۰	۱۶/۲	۱۰/۶	۱۳/۶	۱۸/۴	۲۰/۲	۲۱/۶	۲۴
۶	۱۴/۴	۲۱/۴	۱۳/۶	۱۵/۲	۱۸/۸	۲۰/۶	۲۲	۲۴
۷	۱۷/۲	۲۲/۴	۱۵/۶	۱۷/۶	۲۱	۲۱/۶	۲۲/۲	۲۴
۸	۱۳/۲	۱۸	۱۲/۶	۱۵/۴	۲۰/۲	۲۱/۴	۲۲/۶	۲۴
۹	۸	۱۴	۸/۶	۱۲/۴	۱۸/۶	۲۱/۴	۲۲/۴	۲۴
۱۰	۷/۶	۱۵/۸	۷/۴	۱۰/۶	۱۷/۶	۲۰/۴	۲۲/۶	۲۴
۱۱	۷/۴	۱۵/۴	۷	۱۰/۲	۱۶/۴	۱۹/۴	۲۲	۲۳/۸
۱۲	۳/۴	۳/۶	۷/۴	۱۱	۱۶/۶	۱۹/۴	۲۱/۴	۲۳/۸
۱۳	۰/۸	۱/۲	۶/۲	۳/۲	۱۲	۱۶/۶	۲۰/۶	۲۳/۲
۱۴	۰/۷	۴/۴	۶/۸	۳/۷	۱۰/۴	۱۵/۲	۱۹/۲	۲۳/۴
۱۵	۰/۱	۷/۶	۲/۴	۳	۱۰/۴	۱۴/۴	۱۸/۴	23
۱۶	۰	۱۱/۴	۱	۳	۱۱	۱۴/۲	۱۷/۴	۲۳
۱۷	۲/۲	۱۳	۱/۲	۴/۴	۱۲/۲	۱۵	۱۷/۶	۲۳/۲
۱۸	۷/۴	۱۵/۴	۵/۸	۷/۸	۱۳	۱۵/۴	۱۸	۲۱/۸
۱۹	۱۳/۴	۱۸/۶	۹	۱۰/۴	۱۴/۸	۱۶/۲	۱۸/۲	۲۱/۴
۲۰	۱۳	۱۸/۸	۱۱	۱۳	۱۶	۱۷/۶	۱۸/۶	۲۱
۲۱	۱۳/۲	۱۸/۲	۱۱/۲	۱۳/۳	۱۷	۱۸/۴	۱۹	۲۱/۴
۲۲	۸/۴	۱۳	۸/۲	۱۱/۶	۱۷	۱۸/۶	۱۸/۸	۲۱/۲
۲۳	۳	۹/۶	۳/۴	۷/۶	۱۴	۱۷	۱۹	21
۲۴	۲/۴	۱۳/۴	۳	۵/۸	۱۳/۶	۱۶/۶	۱۸/۴	۲۱
۲۵	۲/۶	۱۱/۴	۳	۵/۸	۱۳/۸	۱۶/۸	۱۸/۴	۲۱
۲۶	۳	۵/۳	۱۲/۵	۱۵	۱۸/۲	۲۱	۱۸/۴	۲۱
۲۷	۴/۵	۵/۳۵	۱۳	۱۵/۳	۱۸/۴	۲۱	۱۸/۴	۲۱
۲۸	۶/۸	۷/۲	۱۴/۲	۱۵/۳	۱۸/۳۲	۲۰/۲	۱۸/۴	۲۰/۸
۲۹	۷	۱۳/۲	۸/۲	۱۱/۲	۱۵/۶	۱۶/۸	۱۸/۴	۲۰/۴
۳۰	۶/۸	۹	۷	۸/۴	۱۴/۴	۱۶/۸	۱۸/۶	۲۱
۳۱	۸/۲	۸	۹/۸	۱۱	۱۴/۲	۱۶	۱۸	۲۰/۲

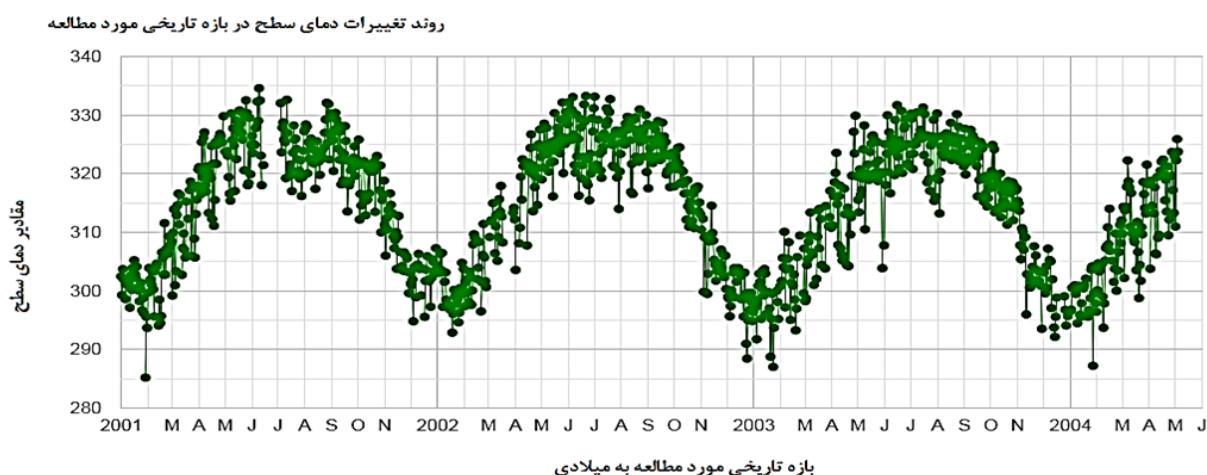
یافته‌ها و بحث

براساس نتایج بدست آمده از پردازش تصاویر MODIS در سامانه گوگل ارث انجین روند دمای سطح برای پهنه ۳۰ کیلومتری (۱۵ کیلومتر از هر طرف کانون زمین لرزه) از اکتبر ۲۰۰۳ تا مارس ۲۰۰۴ استخراج گردید که مطابق شکل (۶) با روندی پر نوسان همراه است. همچنین برای مدت مشابه سال‌های ۲۰۰۱ و ۲۰۰۲ نیز نوسان دمایی استخراج شد.



شکل ۶: روند دمای سطح برای پهنه ۳۰ کیلومتری کانون (۱۵ کیلومتر از هر طرف کانون زلزله - دما به درجه کلین)

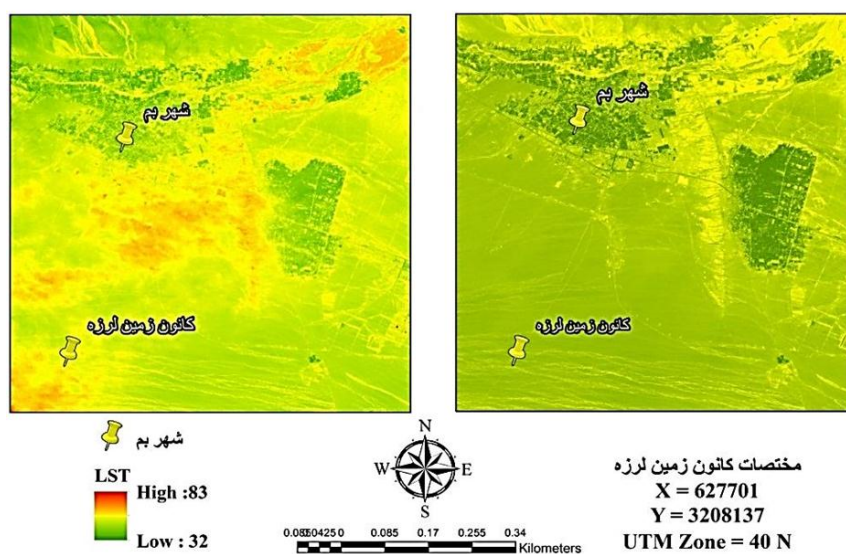
Figure 6: Surface temperature trend for the 30 km area of the epicenter (15 km on each side of the epicenter - temperature in degrees Kelvin)



شکل ۷: روند دمای سطح برای پهنه ۳۰ کیلومتری کانون - ۱۵ کیلومتر از هر طرف کانون زلزله در سال‌های ۲۰۰۱ تا نیمه ۲۰۰۴ - دما به درجه کلین

Figure 7: Surface temperature trend for the 30 km area of the epicenter - 15 km on each side of the epicenter in 2001 to mid-2004 - temperature in degrees Kelvin

با وجود جستجوی زیاد در سرورهای مختلف داندود تصاویر ماهواری متاسفانه در زمان وقوع زلزله بدلیل وجود ابر و یا خطای نوار نوار شدگی هیچ تصویر قابل استفاده ای با قدرت تفکیک متوسط پیدا نشد که این امر باعث شد تا تصویر Aster برای ۱۱ و ۳۱ دسامبر به عنوان نزدیکترین تصاویر مورد استفاده قرار گیرد تا با مقایسه روند حرارتی آن با داده های ایستگاه زمینی، سیر تغییر حرارتی مورد بررسی قرار گیرد. آنومالی در شکل (۸) میزان LST برای منطقه با استفاده از روش Singel-Channel بدست آمده است.



شکل ۸: خروجی های دمای سطح با ASTER سمت چپ ۱۱ سپتامبر و سمت راست ۳۱ سپتامبر

Figure 8: Surface temperature outputs with ASTER (11 September left and 31 September right)

با بررسی های صورت گرفته بر روی تصاویر MODIS در بازه زمانی شش ماهه پیش و پس از زلزله مشخص شد که تغییرات معناداری در آنومالی حرارتی سطح، در این منطقه صورت نگرفته است. در این پژوهش به فاصله ۱۵ کیلومتر از هر طرف کانون سطحی زلزله (Epi center) میانگین دمای روزانه بوسیله سامانه گوگل ارث انجین محاسبه شد (شکل ۶). این بررسی ها نشان داد که در زلزله بم هیچ نظم ثابت تغییر دمایی وجود ندارد به گونه ای که یک هفته پیش از زلزله، دما در بعضی روزها بیشتر و در بعضی روزها کمتر بوده است که این سیر با دمای هوا و خاک در عمق های مختلف کاملاً هماهنگ است (شکل ۵). بنابراین نمی توان این سیر کاهشی و افزایشی را صرفاً به علت آنومالی حرارتی حاصل از حرکت گسل ها دانست. با بررسی شکل (۶) که حاصل از سامانه گوگل ارث انجین است می توان دید که سه روز قبل از زلزله روند دما حالت افزایشی پیدا کرده که با مشاهده شکل (۵) می توان متوجه افزایش دمای هوا برای این سه روز شد. با مقایسه شکل (۵) و شکل (۶) می توان دریافت که این سیر افزایشی در روزهای ۲۳، ۲۴ و ۲۵ ام با افزایش لایه های زیرین خاک و دمای هوا مطابق است.

در شکل (۶) نوسانات روزها و ماه‌های مشابه اما در سال‌های مختلف را نشان می‌دهد. که این روند در سال‌های پیش و پس از زلزله، با سال وقوع آن تقریباً مشابه است و هیچ روند غیرمنطقی مشاهده نمی‌شود. یکی از مشکلاتی که در داده‌های هواشناسی معمولاً وجود دارد از دست رفتن داده‌های هواشناسی برای برخی روزهای سال است که این مشکل بدلائل مختلفی بوجود می‌آید. برای آن در این پژوهش راه‌های مختلف درونیابی مخصوص داده‌های هواشناسی مورد بررسی قرار گرفت که با توجه به اقلیم و توپوگرافی منطقه و مطالعه دقیق پژوهش‌های پیشین برای درونیابی داده‌های از دست رفته در روز ۲۶ دسامبر ۲۰۰۳، با استفاده از روش استاندارد Cubic Splines که برای منطقه بم استان کرمان پیشنهاد شده است (Anjomshoa and Salmanzadeh, 2019) دمای روز ۲۶ محاسبه گردید که این دما در جدول (۲) مشاهده می‌شود در این روش از دو ورودی فشار و دمای روزهای قبلی استفاده می‌کند و برای روزهای بدون داده برآورد دما خواهد کرد. با بررسی داده‌های جدول (۲) و داده‌های پیش‌بینی شده با روش Cubic Splines می‌توان دریافت که افزایش دما در روز ۲۶ نسبت به روز ۲۵ ام صورت گرفته است اما باز هم نمی‌توان این افزایش را صرفاً حاصل از آنومالی دانست چون دمای هوا به موازات آن افزایش داشته است. همچنین میانگین دمای ۳۰ کیلومتری روند کاهش را نشان می‌دهد.

در شکل (۸) دمای منطقه زلزله با استفاده از تصویر ASTER مورد پایش قرار گرفت. که افزایش آنومالی در این دو تصویر هم منطبق با افزایش دمای هوا است که دستکم فرضیه وجود آنومالی حرارتی قابل سنجش با تصاویر سنجش از دور را رد می کند. دلیل آن هم می تواند به عوامل بسیاری برگردد. از جمله وجود قنات بسیار طولانی و فعال و همچنین وجود چشمه های آب در منطقه و نوع لایه بندی و زمین شناسی خاک ها و سنگ ها که هر کدام می تواند اثر حرارت احتمالی را بسیار کم و یا حتی از بین ببرد. تصویر سمت چپ مربوط به ۱۱ دسامبر و سمت راست مربوط ۳۱ دسامبر ۲۰۰۳ می باشد. با توجه بررسی ها و داده های جمع آوری شده هیچ ارتباطی بین وقوع زلزله و حرارت قابل کشف از باند حرارتی تصاویر ماهواره ای زلزله بم وجود ندارد. و بهتر است سایر روش ها از جمله روش تداخل سنجی راداری و یا ثقل سنجی استفاده شود.

References

- Amini Hosseini, K., MahdaviFar, M. R., Bakhshayesh, M. K., & Rakhshandeh, M. (2004), "Engineering geology and geotechnical aspects of Bam earthquake (preliminary report). Tehran". *IIIEE*, 5(2), 180-192. [In Persian]. <https://doi.org/10.1108/0263080050610116>
- Anjomshoaa, A., & Salmanzadeh, M. (2019), "Filling missing meteorological data in heating and cooling seasons separately". *International Journal of Climatology*, 39(2), 701-710. <https://doi.org/10.1002/joc.5836>.
- Barbarin, B. (1999), "A review of the relationships between granitoid types, their origins and their geodynamic environments". *Lithos*, 46(3), 605-626. <https://doi.org/10.1016/S0024-493798100085>
- Bindi, D., Parolai, S., Oth, A., Abdrakhmatov, K., Muraliev, A., & Zschau, J. (2011), "Intensity prediction equations for Central Asia". *Geophysical Journal International*, 187(1), 327-337. <https://doi.org/10.1111/j2461365X.2011.05142.x>.
- Boshraadi, A. R., Khatib, M. M., Raeesi, M., Mousavi, S. M., & Djamour, Y. (2018), "Geometric-kinematic characteristics of the main faults in the W-SW of the Lut Block (SE Iran)". *Journal of African Earth Sciences*, 139, 440-462. <https://doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2017.12.027>
- Choudhury, S., Dasgupta, S., Saraf, A. K., & Panda, S. (2006), "Remote sensing observations of pre-earthquake thermal anomalies in Iran". *International Journal of Remote Sensing*, 27(20), 4381-4396. <https://doi.org/10.1080/01431160600851827>.
- Fan, X., Nie, G., Deng, Y., An, J., Zhou, J., Xia, C., & Pang, X. (2019), "Estimating earthquake-damage areas using Landsat-8 OLI surface reflectance data.". *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 33, 275-283. <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2018.10.013>
- Fu, B., Ninomiya, Y., Lei, X., Toda, S., & Awata, Y. (2004), "Mapping active fault associated with the 2003 Mw 6.6 Bam (SE Iran) earthquake with ASTER 3D images". *Remote Sensing of Environment*, 92(2), 153-157. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2004.08.001>
- Funning, G. J., Parsons, B., Wright, T. J., Jackson, J. A., & Fielding, E. J. (2005), "Surface displacements and source parameters of the 2003 Bam (Iran) earthquake from Envisat advanced synthetic aperture radar imagery. Journal of Geophysical Research". *Solid Earth*, 110(B9), 125-138. <https://doi.org/10.1029/2004JB003338>.
- Gill, J. C., & Malamud, B. D. (2017), "Anthropogenic processes, natural hazards, and interactions in a multi-hazard framework". *Earth-Science Reviews*, 166, 246-269. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2017.01.002>.
- Guangmeng, G., & Jie, Y. (2013), "Three attempts of earthquake prediction with satellite cloud images". *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 13(1), 91-95. <https://doi.org/10.5194/nhess-13-91-2013>, 2013.

- Guo, G., & Wang, B. (2008), "Cloud anomaly before Iran earthquake". *International Journal of Remote Sensing*, 29(7), 1921-1928. <https://doi.org/10.1080/01431160701373762>.
- Habibi, A., Motagh, M., & Sharifi, M. (2015), "Extracting 3D displacement field and finding the dispersal distribution of the 2003 Bam earthquake, Iran by combining conventional and multimodal interferometric data". *Journal of Surveying Science and Technology*, 5(2), 157-165. [In Persian]. <https://doi.org/10.1190/geo2013-0427.1>.
- Heidari, R. Ghateanchi, MR., & Raminmonfar, M. (2005), "Application of radar interferometry method for determining the magnitude of the earthquake and case study on earthquake 1, 382 Bam in Iran. 24th Earth Science Forum". *Tehran. Geological Survey*. [In Persian]. <https://doi.org/10.3389/feart.2019.00016>.
- Hossingholizade, A., Zeaiean, P., & Beyranvand, P. (2021), "Comparison of different retrieval temperature algorithms with different emissivity by using remote sensing images". *Geographic Space*, 72, 39-56. [In Persian]. <http://geographical-space.iau-ahar.ac.ir/article-1-3433-en.pdf>.
- Jiménez-Muñoz, J. C., & Sobrino, J. A. (2009), "A single-channel algorithm for land-surface temperature retrieval from ASTER data". *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 7(1), 176-179. DOI: 10.1109/LGRS.2009.2029534.
- Kii, M., Doi, K. (2020), "Earthquake risk and inter-temporal fairness: An economic assessment of the national land-use structure". *Transport policy*, 87, 77-83. <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2018.08.009>
- Kobayashi, T., Morishita, Y., Yurai, H., & Fujiwara, S. (2019), "InSAR-derived crustal deformation and reverse fault motion of the 2017 Iran-Iraq earthquake in the northwestern part of the zagros orogenic belt". *Bulletin of the Geospatial Information Authority of Japan*, 66, 2-15. <https://web1.gsi.go.jp/common/000197807.pdf>.
- Li, Z., Fielding, E. J., & Cross, P. (2009), "Integration of InSAR time-series analysis and water-vapor correction for mapping postseismic motion after the 2003 Bam (Iran) earthquake". *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 47(9), 3220-3230. DOI: 10.1109/TGRS.2009.2019.125
- Morozov, V. N., Tatarinov, V. N., Kolesnikov, I. Y., & Manevich, A. I. (2018), "Modeling the stress-strain state in the epicentral zone of a strong earthquake in Iran (December 26, 2003, M w= 6.6). Izvestiya". *Physics of the Solid Earth*, 54(4), 602-611. <https://doi.org/10.1134/S1069351318040080>.
- Motagh, M., Klotz, J., Tavakoli, F., Djamour, Y., Arabi, S., Wetzel, H. U., & Zschau, J. (2006), "Combination of precise leveling and InSAR data to constrain source parameters of the M w= 6.5, 26 December 2003 Bam earthquake". *Pure and Applied Geophysics*, 163(1), 1-18. <https://doi.org/10.1007/s00024-005-0005-y>.
- Nakamura, T., Suzuki, S., Sadeghi, H., Fatemi Aghda, S. M., Matsushima, T., Ito, Y., Maleki, M. (2005), "Source fault structure of the 2003 Bam earthquake, southeastern Iran, inferred from the aftershock distribution and its relation to the heavily damaged

- area: Existence of the Arg-e-Bam fault proposed". *Geophysical research letters*, 32(9), 20-35. <https://doi.org/10.1029/2005GL022631>.
- OĞUZ, H. (2015), "A software tool for retrieving land surface temperature from ASTER imagery ASTER uydu görüntüsünden yer yüzey sıcaklığını hesaplayan bir yazılım aracı Geliştirilmesi". *Journal of Agricultural Sciences Tarım Bilimleri Dergisi*.
<https://teav.ankara.edu.tr/xmlui/bitstream/handle/20.500.12575/60234/21693.pdf?sequence=1>
 - Saafizaadeh, M., Bagheripour, M. H. (2019), "Evaluation of peak ground acceleration for the city of Kerman through seismic hazard analysis", *Scientia Iranica. Transaction A, Civil Engineering*, 26(1): 257-272. <https://doi.org/10.24200/sci.2017.4236>.
 - Saradjian, M. R., & Akhoondzadeh, M. (2011), "Thermal anomalies detection before strong earthquakes ($M > 6.0$) using interquartile, wavelet and Kalman filter methods". *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 11(4), 1099-1108. <https://doi.org/10.5194/nhess-1120111019>
 - Saraf, A. K., Choudhury, S. (2005), "Thermal remote sensing technique in the study of pre-earthquake thermal anomalies. J. Ind", *Geophys. Union*, 9(3): 197-207. <http://iguonline.in/journal/Archives/539arun.pdf>.
 - Saraf, A. K., Rawat, V., Banerjee, P., Choudhury, S., Panda, S. K., Dasgupta, S., & Das, J. D. (2008), "Satellite detection of earthquake thermal infrared precursors in Iran". *Natural Hazards*, 47(1), 119-135. <https://doi.org/10.1007/s11069-007-9201-7>
 - Singh, D., Pandey, D. N., & Mina, U. (2019), "Earthquake-A natural disaster, prediction, Mitigation, Laws and Government Policies, Impact on Biogeochemistry of Earth Crust, Role of Remote Sensing and GIS in Management in India-An Overview", *Journal of Geosciences*, 7(2), 88-96. DOI:10.12691/jgg-7-2-5.
 - Singh, R. P., Dey, S., Bhoi, S., Sun, D., Cervone, G., & Kafatos, M. (2006), "Anomalous increase of chlorophyll concentrations associated with earthquakes", *Advances in Space Research*, 37(4), 671-680. <https://doi.org/10.1116/j.asr.200507053>
 - Sohrabi, A. (2018), "Tectonic evolution model of nayband fault (Central Iran), based on geophysical data". *In Saint Petersburg*, 18(3), 1-8. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.201800214>
 - Suresh, D., & Yarrakula, K. (2018), "InSAR based deformation mapping of earthquake using Sentinel 1A imagery". *Geocarto International*, 1-10. <https://doi.org/10.1080.10106049.2018.1544289>
 - Tabatabaei, S. H., Salamat, A. S., Ghalandasrzadeh, A., Riahi, M. A., Beitollahi, A., & Talebian, M. (2010), "Preparation of engineering geological maps of bam city using geophysical and geotechnical approach". *Journal of Earthquake Engineering*, 14(4), 559-577. <https://doi.org/10.1080/13632460903527963>.

- Talebian, M., Fielding, E. J., Funning, G. J., Ghorashi, M., Jackson, J., Nazari, H., & Wright, T. J. (2004). "The 2003 Bam (Iran) earthquake: Rupture of a blind strike-slip fault". *Geophysical Research Letters*, 31(11), 98-119. <https://doi.org/2004101029894259GL>
- Tronin, A. (2010), "Satellite remote sensing in seismology". *A review. Remote Sensing*, 2(1), 124-150. <https://doi.org/10.3390/rs2010124>.
- Vernant, P., Nilforoushan, F., Hatzfeld, D., Abbassi, M. R., Vigny, C., Masson, F., & Tavakoli, F. (2004). "Present-day crustal deformation and plate kinematics in the Middle East constrained by GPS measurements in Iran and northern Oman". *Geophysical Journal International*, 157(1), 381-398. <https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.2004.02222.x>.
- Walker, R., & Jackson, J. (2002). "Offset and evolution of the Gowk fault, SE Iran: a major intra-continental strike-slip system". *Journal of structural Geology*, 24(11), 1677-1698. [https://doi.org/10.1016/S0191-8141\(01\)00170-5](https://doi.org/10.1016/S0191-8141(01)00170-5).
- Wang, R., Xia, Y., Grosser, H., Wetzell, H. U., Kaufmann, H., & Zschau, J. (2004). "The 2003 Bam (SE Iran) earthquake: precise source parameters from satellite radar interferometry", *Geophysical Journal International*, 159(3), 917-922. <https://doi.org/101111/j.-246-1365X.2004203697.x>.
- Xia, Y. (2005). "Bam earthquake: Surface deformation measurement using radar interferometry". *Acta Seismologica Sinica*, 18(4), 451-459. <https://doi.org/10.1007/s11589-005-0023-y>.
- Yamanaka, Y. (2003). "Seismological Note: No. 145, Earthquake Information Center, Earthquake Research Institute". *Tokyo: University of Tokyo*.
- Yang, X., Pavelsky, T. M., Allen, G. H., & Donchyts, G. (2019). "Riv width cloud: An automated google earth engine algorithm for river width extraction from remotely sensed imagery". *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*. 17(2), 217-221. <https://doi.org/10.1109/LGRS.2019.2920225>.
- Zare, M. (2004). "Bam, Iran earthquake of 26 qecember 2003, Mw6. 5: A study on the strong ground motions". *In Proceedings of 13th World Conference on Earthquake Engineering, Vancouver*. 18(3), 15-29. <https://doi.org/10.2289/LGRS.2019.2256925>.
- Zhang, T., Yi, G., Li, H., Wang, Z., Tang, J., Zhong, K., & Bie, X. (2016). "Integrating data of ASTER and Landsat-8 OLI (AO) for hydrothermal alteration mineral mapping in duolong porphyry cu-au deposit", *Tibetan Plateau, China. Remote Sensing*, 8(11), 890. <https://doi.org/10.3390/rs8110890>.
- Zhenhong Li, Fielding, E. J., & Cross, P. (2009). "Integration of InSAR time-series analysis and water-vapor correction for mapping postseismic motion after the 2003 Bam (Iran) earthquake". *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 47(9), 3220–3230. doi:10.1109/tgrs.2009.2019125.

Thermal study of Bam fault area to determine the relationship between seismic activity of the fault and surface warming - Case study, Bam earthquake on December 26, 2003

Ali Hosingholizade^{1*}, Ataollah Abdollahi Kakroodi²

¹⁻ Ph.D. student, Department of Remote Sensing and GIS, Faculty of Geography, University of Tehran, Tehran, Iran (corresponding author)
E-mail: a.hosingholizade@ut.ac.ir

²⁻ Department of Remote Sensing and GIS, Faculty of Geography, University of Tehran, Tehran, Iran.
E-mail: a.a.kakroodi@ut.ac.ir

Due to the internal structure and different movements of the tectonic plates, the earth is prone to various natural disasters. Since its creation, it has been exposed to many dangers and disasters. The occurrence of such disasters, especially earthquakes, leaves harmful effects on the settlements and their nature, as a result of which sometimes the infrastructures are destroyed and cause damage on a large scale. In some cases, due to the magnitude, location, regional conditions, density, etc., the scope of these damages slows down and sometimes completely stops the economic development process of a country.

The Iranian Plateau is a part of the Alpine-Himalayan seismic belt. This region is considered one of the most earthquake-prone regions in the world, where many earthquakes occur every year. These earthquakes are sometimes without destruction and in some cases with a lot of destruction. In general, active tectonics in Iran are caused by the convergent movement of the Arabian and Eurasian plates. Active tectonic areas with such conditions (convergence of tectonic plates) have complex sets of reverse and strike-slip faults that interact with each other. The convergence of the Arab-Eurasian plates, which is known as a combination of the movements of the African-Eurasian and Arab-Eurasian plates, has a north-south direction in the east of Iran. The latest studies based on GPS measurements indicate the fact that the rate of convergence between the two Arab and Eurasian plates at 52 degrees east longitude is about 22 mm per year, which has caused many earthquakes in the plateau of Iran. One of the devastating earthquakes is the Bam earthquake on December 26, 2003. This earthquake occurred at 5:26:26 local time (UTCTime 1:26:26), with a magnitude of 5.6 on the Richter scale, in Bam city, Kerman province. According to the information obtained from the United States Geological Survey (USGS), the epicenter of this earthquake was in the southeastern area of Bam city with UTM coordinates (X = 627701 and Y = 3208137) at a depth of 10 km from the surface of the earth. This earthquake caused catastrophic human damage to the city of Bam and its surrounding areas. These damages have inclined researchers to look for different technology-oriented solutions, so one of the discussed technologies in these years has been the use of remote sensing.

Considering that the technology for accurately predicting the place and time of earthquakes has not yet been invented, it is very useful to review the information and analysis of past

earthquakes in order to better understand the phenomena related to earthquakes. In this research, the thermal investigation of the Bam fault area was investigated using ASTER and MODIS images during the earthquake of December 26, 2003 on the Bam fault. In order to have a better view of the thermal conditions of the region, using the Singel-channel algorithm and coding in the Google Earth Engine web system, the thermal trend was calculated for six months before and after the earthquake. Also, this process was controlled by using the hourly data of the Meteorological Organization near the location of the studied area, in order to get a better view of the thermal condition of the area. The results showed that, contrary to existing beliefs, the occurrence of an earthquake did not have any detectable thermal effects on the surface of the earth with ASTER and MODIS satellite images.

Keywords: thermal remote sensing, Google Earth Engine, ASTER, MODIS, Bam fault