

بررسی پیش‌نشانگرهای ابر زلزله و تغییرات دمایی در شناسایی گسل‌های مسبب زمین‌لرزه مطالعه موردی: زلزله محمدآباد ریگان (۷ بهمن ۱۳۸۹)

سینا صابر ماهانی^۱

محمدرضا سپهوند^۲

تاریخ دریافت مقاله: ۹۴/۰۹/۲۴

تاریخ پذیرش مقاله: ۹۵/۰۱/۱۴

چکیده:

در این مقاله تشکیل ابر زلزله به‌عنوان پیش‌نشانگری که تاکنون کمتر شناخته‌شده و همچنین پیش‌نشانگر تغییرات دمایی، در زلزله محمدآباد ریگان بررسی شده است. در هنگام افزایش تنش در منطقه شکستگی‌های اولیه ایجادشده و با بالا رفتن دما شاهد تبخیر آب‌های موجود در شکستگی‌های بین سنگ خواهیم بود. در صورت وجود شرایط جوی مناسب - برای مثال؛ یک روز سرد- این بخارها می‌توانند به ابر تبدیل شوند. از آنجایی که منبع تولید این ابر ساکن است، لذا با وجود باد، موقعیت این ابر ثابت می‌ماند و همین مسئله راه شناسایی ابرهای زلزله است. در بخش اول تصاویر پانکروماتیک زلزله ریگان از ۶۲ روز قبل از زمین‌لرزه دریافت شدند، پس از دریافت تصاویر پانکروماتیک، زمین مرجع نمودن تصاویر خام ماهواره‌ای انجام شد. مشاهدات نشان دادند که راستای ابر زلزله از ۱۰ روز مانده به زمین‌لرزه (۱۷ ژانویه) قابل شناسایی بود. در این تصاویر ابر زمین‌لرزه به‌صورت رقمی استخراج شده و این نتایج بر روی تصویر توپوگرافی منطقه مورد مطالعه قرار داده شد. در بخش دوم، محتوای دمایی باندهای حرارتی (باندهای ۳۱ و ۳۲) تصاویر ماهواره MODIS استخراج شد و سری زمانی دمای سطح زمین تشکیل داده شد. سپس تأثیر عوامل جوی از سری زمانی کاسته شد و در مرحله بعد پالایه موجک بر این سری زمانی اعمال شد. با اعمال آزمون انحراف معیار از سری زمانی پالایه شده، وجود بی‌هنجاری دمایی ۲ روز مانده به زمین‌لرزه آشکار گردید. همچنین در بخش دیگری از مقاله با رنگی کردن تصاویر ماهواره‌ای و تشکیل یک سری زمانی از این داده‌ها راستای گسل مسبب زمین‌لرزه مشخص شد. نهایتاً با مقایسه روند ابر زمین‌لرزه با سازوکار کانونی و راستای ناحیه افزایش دما یافته، هماهنگی بالایی بین آن‌ها مشاهده شد. با این مقایسه می‌توان تشکیل ابر زلزله مورد بررسی را به زمین‌لرزه ریگان نسبت داد. همچنین ناحیه افزایش دمایی را می‌توان با احتمال زیاد به رویداد زمین‌لرزه منتسب نمود.

واژه‌های کلیدی: پیش‌نشانگر زلزله، ابر زلزله، پیش‌نشانگر حرارتی، محمدآباد ریگان، سازوکار کانونی، تصاویر ماهواره‌ای.

۱- کارشناس ارشد ژئوفیزیک، گروه ژئوفیزیک دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی، کرمان cna.mahani@yahoo.com

۲- استادیار گروه ژئوفیزیک، دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی، کرمان (نویسنده مسئول) mrsepahvand@yahoo.com

۱- مقدمه

و زمان خروج گازهای گرم که با رسیدن به منطقه سرد به ابر بدل می‌شوند اطلاعات دقیقی به دست آورد، این امکان وجود خواهد داشت که بتوان سه عامل مهم در پیش‌بینی زلزله یعنی محل وقوع، شدت و زمان دقیق آن را با خطای علمی تعریف‌شده، تخمین زد یا به‌بیان‌دیگر احتمال وقوع زلزله را پیش‌بینی نمود. بنابراین در مطالعه ابرهای زلزله، علاوه بر این‌که می‌توان گسل و فعالیت آن را از نزدیک مطالعه کرد، اثر و نتیجه این فعالیت را، که ممکن است به‌صورت گاز از چندین ساعت تا حدود ۱۰۳ روز قبل از وقوع زلزله رخ‌نمایی کند، می‌توان مطالعه نمود (Guangmeng and Jie 2013).

گازهای گرم در منطقه گسل، تنها حدود ۳۰ دقیقه طول می‌کشد تا از زمین خارج شوند اما ماهواره‌های هواشناسی فعلی از یک منطقه خاص در بازه‌های زمانی ۱ تا ۶ ساعت و یا بیشتر، تصویربرداری می‌کنند، لذا فرآیند تعیین مرکز احتمالی وقوع زلزله با خطا همراه است (Shuguang and Guangmeng 2012). علاوه بر این‌ها در مواردی که گسل در ماه‌های سرد سال فعال شود تشکیل ابر در محل خروج بخارها سریع‌تر بوده و امکان تعیین کانون احتمالی زلزله با دقت بالاتری امکان‌پذیر است. اما در مواردی که گسل در منطقه‌ای گرم فعال‌شده باشد امکان تشخیص ابر زلزله از روی تصاویر ماهواره‌ای تنها زمانی امکان‌پذیر است که این بخارهای گرم به منطقه‌ای سرد برسند تا تشکیل ابر دهند (Shuguang and Guangmeng 2012).

۱-۲- تغییرات دمایی

این ایده که زلزله ممکن است با دما مرتبط باشد با به کار بردن آن در روسیه و چین و ژاپن تأیید شده است (Ouzounov and Freund 2004).

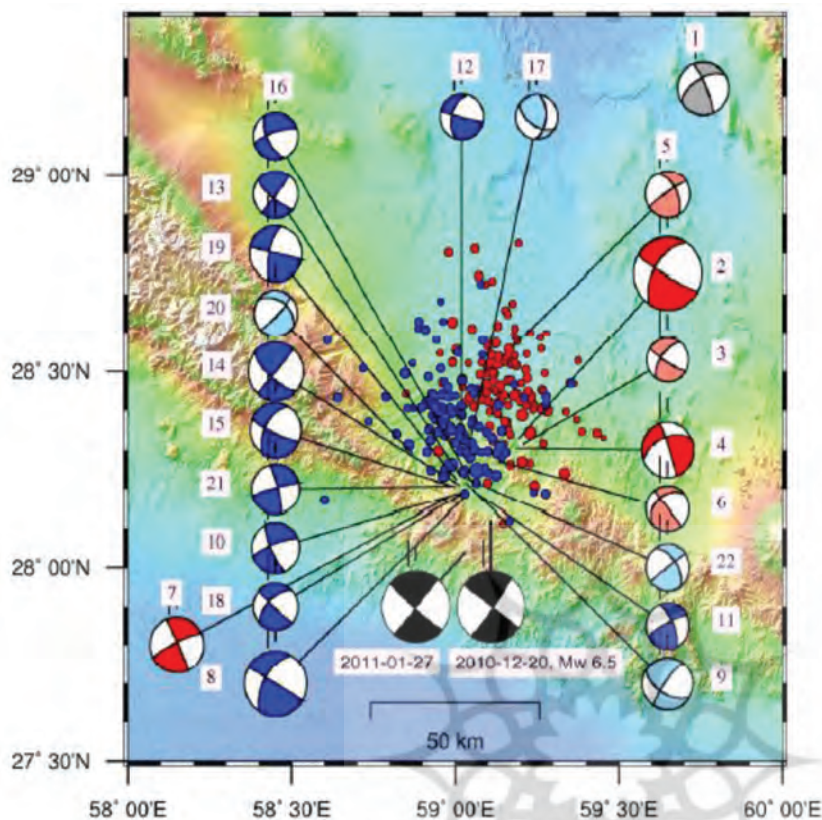
تغییرات دما همواره عامل مهمی به شمار می‌رود که با پدیده زلزله همراه است. بی‌هنجاری دمایی در فاصله ۱ تا ۲۴ روز قبل از زلزله خود را نشان می‌دهد و دما از ۵ تا ۱۲ درجه افزایش می‌یابد و چند روز پس از زلزله به حالت زمینه باز می‌گردد (صابرماهانی و سپهوند ۱۳۹۳، Q. Zuji and Changgong, ۲۰۰۹, Saraf, Rawat et al. 1990). برخی دیگر از محققان افزایش

یکی از کاربردهای جدید استفاده از تصاویر ماهواره‌ای، پیش‌بینی زلزله به کمک ابرها و مطالعه تغییرات دمایی است (Tronin, 2010). در اثر رژیم ژئودینامیکی حاضر صفحات زمین‌ساختی به هم نیرو وارد کرده و تنش ناشی از فرآیند زمین‌ساختی در پوسته ذخیره می‌شود، اما با افزایش تنش حاصل از فعالیت‌های زمین‌ساختی سنگ‌ها حالت ارتجاعی خود را از دست می‌دهند و شکسته می‌شوند که این شکسته شدن می‌تواند باعث ایجاد زلزله شود (LAY and WALLACE 1995). در راستای پیش‌بینی زمین‌لرزه‌ها فناوری‌های فضایی نیز تا حدودی به این امر کمک کرده است. زیرا نتیجه افزایش تنش در منطقه موجب بالا رفتن دما در لایه‌های زیر سطح می‌باشد که پارامتر اساسی هر دو پیش‌نشانگر ابر زلزله و تغییرات دمایی است و تصاویر ماهواره‌ای نقش اساسی در رصد این تغییرات را دارند. ابر زلزله از جمله روش‌هایی است که در شرایط مناسب جواب مناسبی می‌دهد. با افزایش تنش در منطقه دما بالا رفته و آب‌های میان خلل و فرج و آب‌های زیرزمینی تبخیر می‌شوند. از لابه‌لای این شکستگی‌ها آب‌ها به سطح می‌رسند. با سرد شدن و متراکم شدن، بخار آب و شرایط جوی مناسب می‌توان انتظار تشکیل ابر را داشت. لذا ابرهای تشکیل‌شده با سایر ابرهای هواشناسی ماهیتاً تفاوت دارند (L.I. 1997, G.M. and B. 2008).

در این پژوهش با بررسی همزمان دو پیش‌نشانگر ابر زلزله و تغییرات دمایی سعی بر تأیید هرچه بیشتر این پیش‌نشانگرها شده است. در ادامه، مقدماتی در رابطه با دو پیش‌نشانگر ابر زلزله و تغییرات دمایی آمده است.

۱-۱- ابر زلزله

مشاهدات نشان داده‌اند که سه دسته ابر در اثر فعالیت‌های پیش از زلزله قابلیت بروز دارند: الف- طنابی ب- دنده ای (که به‌صورت موج نیز نشان داده می‌شود) ج- تشعشعی (Shou and Harrington 2004). با توجه به ویژگی‌های این ابرها که ابر زلزله نام‌گرفته‌اند، اگر بتوان در مورد مکان، حجم



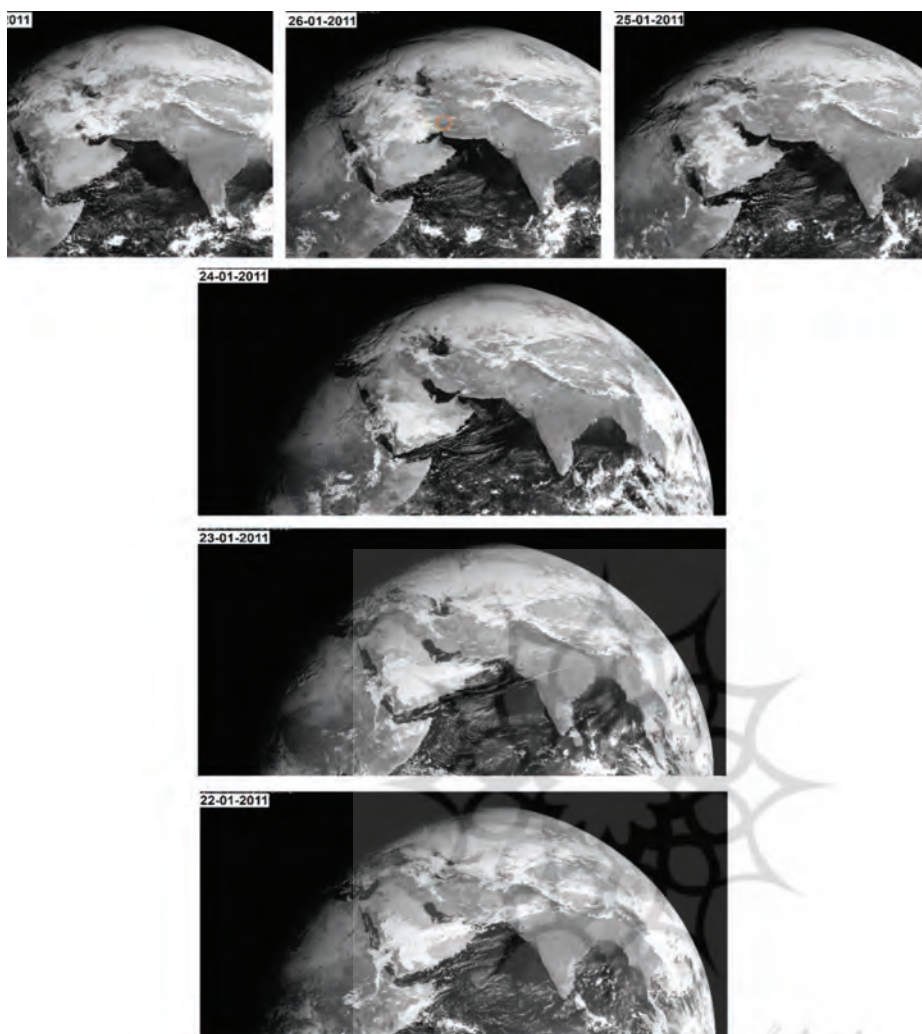
نگاره ۱: موقعیت مرکز سطحی زمین لرزه
 ۱۳۸۹/۹/۲۹ جنوب خاوری محمدآباد
 ریگان تعیین شده در شبکه ملی
 لرزه‌نگاری باند پهن پژوهشگاه بین‌المللی
 لرزه‌شناسی و مهندسی زلزله (Nemati
 2015)

کانونی زمین‌لرزه امتداد لغز بوده و جهت آن شمال غربی به جنوب شرقی است (Nemati 2015) (نگاره ۱).
 تصاویر مورد نیاز برای بخش اول پژوهش یعنی مطالعه ابر زلزله، بهتر است از نوع تصاویر ماهواره‌ای geostationary باشند چرا که هر چه در فواصل زمانی کمتر بتوان از ناحیه مورد نظر اطلاعات دریافت نمود، عمل پیش‌بینی مورد اطمینان‌تر است. لذا با مراجعه به وب‌سایت وابسته به دانشگاه دان دی انگلستان (<http://www.sat.dundee.ac.uk>) تصاویر ماهواره‌ای مورد نیاز برای این پژوهش اخذ شد. از میان تصاویر geostationary، تصاویر پانکروماتیک روزهای قبل و بعد از زلزله دریافت شده و مورد بررسی قرار گرفت. تصاویر دریافتی، تشکیل ابر در ناحیه ریگان را نشان می‌دهند. نگاره ۲ سری زمانی تصویری این ابرها را نشان می‌دهد که از تاریخ ۲۲ ژانویه تا ۲۷ ژانویه پشت سر هم قرار گرفته‌اند. تصاویر به صورت تصادفی انتخاب شده‌اند. همچنین اطلاعات دمای هوا و وضعیت جوّی این زمین‌لرزه

۲ تا ۱۰ درجه را معرفی کرده‌اند (Choudhury 2005, Saradjian and Akhoondzadeh 2011) در سالیان اخیر فناوری ماهواره‌ای به کمک این بخش از دانش زلزله‌شناسی آمده است و مطالعات بسیاری در این خصوص انجام شده است (Tronin, Hayakawa, et al. 2002 Choudhury 2005, Saraf, Rawat et al. 2008, Tramutoli, Aliano et al. 2012). در مطالعه حاضر زلزله ریگان با استفاده از پیش‌نشانگر گرما-لرزه‌ای و کاربرد تصاویر ماهواره TERRA و سنجنده MODIS مورد بررسی قرار گرفته‌اند.

۲- جمع‌آوری و پردازش داده‌ها

طبق اعلام مؤسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران (<http://irsc.ut.ac.ir>)، زلزله محمدآباد ریگان با بزرگی ۶ در مقیاس محلی ساعت ۱۲:۰۸:۳۲ به وقت تهران در ۲۷ ژانویه ۲۰۱۱ حادث شد. موقعیت اعلام شده ۲۸/۲۹ درجه شمالی و ۵۸/۹۵ شرقی بود و در عمق ۱۰ کیلومتری به وقوع پیوست. همچنین بر اساس مطالعات انجام شده روی این زمین‌لرزه، سازوکار



نگاره ۲. تصاویر دریافتی از ماهواره زمین ایستا دانشگاه داندی. تاریخ هر تصویر در گوشه سمت چپ بالای آن ثبت شده است. محل تشکیل ابر در تاریخ ۲۶ ژانویه با دایره نارنجی رنگ مشخص شده است.

از سایت شرکت واندرگراند (<http://www.wunderground.com>) به این تصویر اضافه شده‌اند. اخذ شد و در جدول ۱ قابل مشاهده است. در ادامه فرآیند مطالعه پیش‌نشانگر ابر زلزله تطبیق راستای ابر زلزله با زمین‌شناسی نیز مورد بررسی قرار گرفت. در ابتدا، از آنجایی که تصاویر دریافتی از سایت دانشگاه داندی بدون هیچ‌گونه اطلاعات مکانی و یا طیفی‌ای هستند برای ورود آن‌ها به آنالیزهای مکانی حیاتی‌ترین کار، زمین مرجع نمودن آن‌هاست. عمل زمین مرجع نمودن با استفاده از نرم‌افزار Arcmap نسخه 10.3 انجام شد. سپس با استفاده از ابزار رقومی سازی، اطلاعات مکانی ابر زلزله دریافت شد. نگاره ۳ روند ابر زلزله بر روی تصویر توپوگرافی ناحیه مورد مطالعه را نشان می‌دهد که در آن گسل‌های منطقه نیز

در بخش دوم مطالعه یعنی بررسی تغییرات دمایی، با انتخاب ماهواره‌های هواشناسی TERRA و سنجنده MODIS طیف وسیعی از تصاویر ماهواره‌ای این سنجنده در اختیار بود، با انتخاب تصاویر مربوط به روزهای قبل و بعد از زلزله‌های مورد نظر، محصول مرتبط با این پژوهش یعنی MOD11A1 از سایت سازمان فضایی آمریکا دریافت شد. به منظور کاهش اثرات تابشی ناشی از تابش‌های خورشیدی، از داده‌های شبانه استفاده شد تا به این ترتیب تغییرات دمایی حاصل از زلزله در غیاب تابش‌های خورشیدی بهتر مشاهده شود. تصحیحات مرتبط با محصول MOD11A1 توسط سازمان فضایی آمریکا انجام شده است.

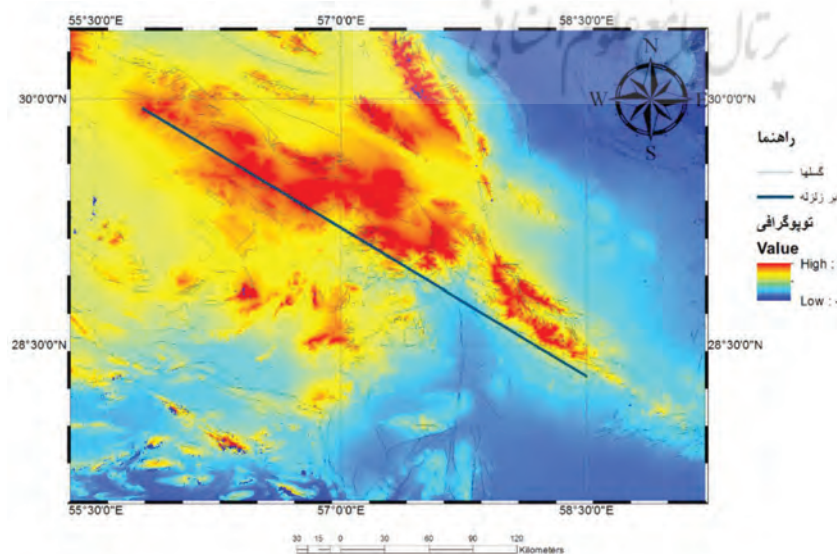
فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (سپهر)
 بررسی پیش‌نشانگرهای ابرزلزله و تغییرات دمایی ... / ۲۹

مورد بررسی و برای حذف تأثیر ابرهای زلزله به دلیل از بین بردن اطلاعات برخی از روزها، برای هر یک از نقاط مورد بررسی در روزهای قبل و بعد از زلزله، یک آرایه ۵ در ۵ پیکسلی انتخاب شد و سپس روی پیکسل‌ها میانگین آماری گرفته شد و در پایان مقدار میانگین به دست آمده، به عنوان دمای روز زلزله در نظر گرفته شد. نهایتاً با حصول داده‌های دمایی سطح زمین سری زمانی (نگاره ۴) زلزله

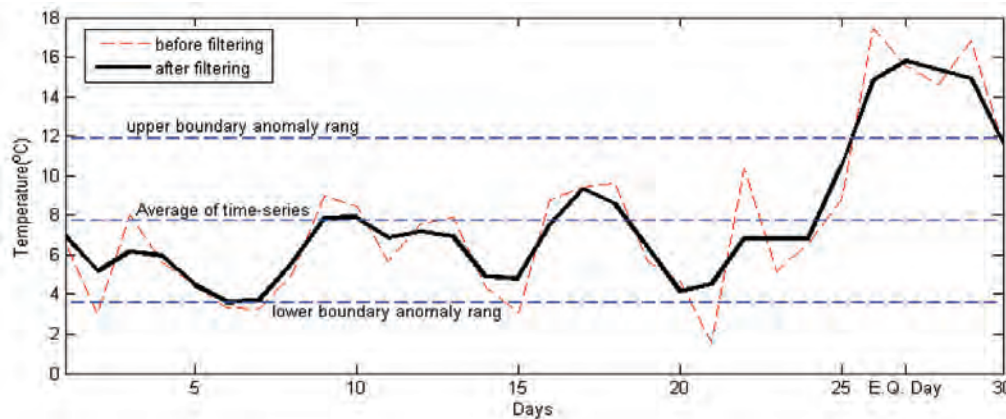
از آنجایی که سری زمانی دمایی سطح زمین، خالی نوفه نیست، با کسر سری زمانی دمای هوا نزدیک‌ترین ایستگاه هواشناسی (جدول ۱) به رو مرکز زلزله از سری زمانی دمای سطح زمین تأثیر عوامل جوی از سری زمانی برداشته شد. همچنین پس از آن با اعمال فیلتر موجک - که در بخش ۱-۲ معرفی خواهد شد - سعی در کاستن اثرات نوفه‌ای شد. برای حذف نوفه‌های حرارتی ناخواسته اطراف ناحیه

جدول ۱. کمینه دمای هوا در کنار شرایط جوی هر روز از تاریخ ۳ ژانویه تا ۲۸ ژانویه

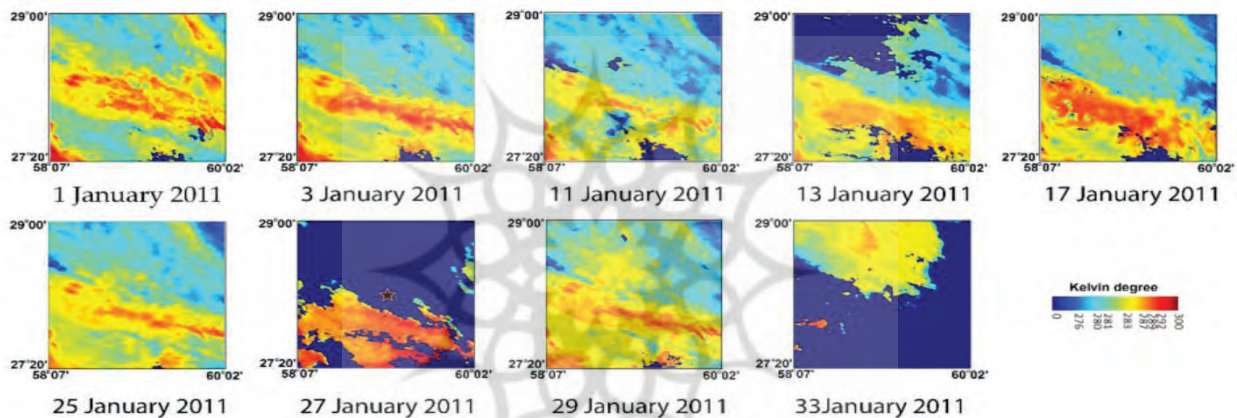
وضعیت جوی	دما	تاریخ (ژانویه ۲۰۱۱)	وضعیت جوی	دما	تاریخ (ژانویه ۲۰۱۱)	وضعیت جوی	دما	تاریخ (ژانویه ۲۰۱۱)
باران و رعدوبرق	۰	۱۹	صاف	-۶	۱۳	صاف	-۴	۳
مه‌آلود	۰	۲۰	نیمه‌ابری	-۶	۱۴	صاف	-۲	۴
ابر پراکنده	-۳	۲۱	برفی	۱	۱۵	بارانی	۱	۵
صاف	-۵	۲۲	باران	۱	۱۶	بارانی	۴	۶
ابر پراکنده	-۵	۲۳	صاف	-۴	۱۷	ابر پراکنده	۲	۷
صاف	-۵	۲۴	صاف	-۵	۱۸	برفی	۱	۸
صاف	-۷	۲۵	باران و رعدوبرق	۰	۱۹	باران	۲	۹
بارانی	۰	۲۶	باران	۱	۱۶	باران	۱	۱۰
بارانی	۰	۲۷	صاف	-۴	۱۷	ابر پراکنده	-۳	۱۱
نیمه‌ابری	۱	۲۸	ابر پراکنده	-۵	۱۸	ابر پراکنده	-۴	۱۳



نگاره ۳. روند ابر زلزله با خط مشکی رنگ بر روی تصویر توپوگرافی منطقه آمده است. گسل‌های منطقه نیز در این تصویر قابل مشاهده هستند.



نگاره ۴: سری زمانی تغییرات دمای سطح زمین زلزله ریگان قبل و بعد از پالایه موجک



نگاره ۵: سری زمانی تصویری دمای سطح زمین زلزله ریگان. علامت ستاره رومرکز زمین لرزه را نشان می‌دهد.

ریگان پدید آمد که زلزله، در ۲۷ ژانویه حادث شده است. که در آن a و b به ترتیب پارامترهای انتقال و مقیاس می‌باشند. در عمل موجک در هر مرحله سیگنال را به دو دسته فرکانسی، بالا و پایین تقسیم می‌کند، با این کار بسته به نوع مطالعه می‌توان شروطی را روی هر بازه فرکانسی اعمال نمود (آستانه‌گذاری) و این شروط پالایندگی سیگنال را بر عهده دارند.

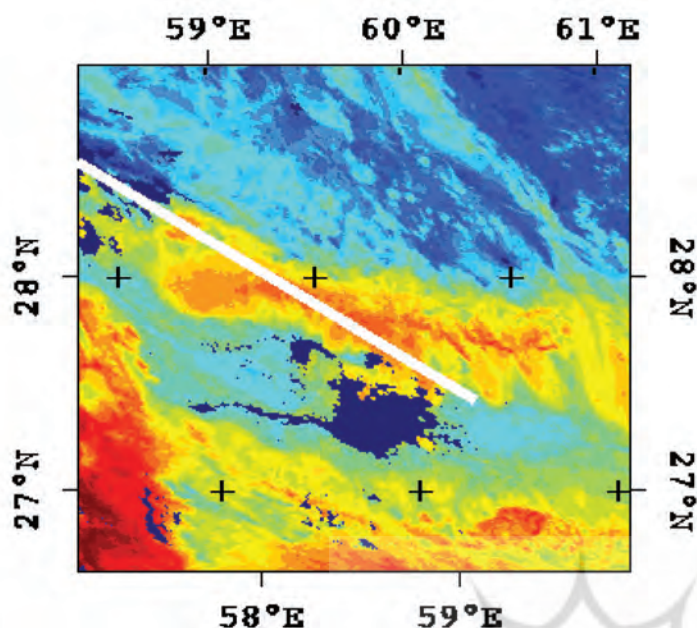
در این مطالعه در مرحله اول اعمال موجک بخش فرکانس بالا حذف گردید و تنها فرکانس‌های پایین به عنوان سیگنال مدنظر قرار گرفت. لازم به ذکر است که در این مطالعه از موجک هار به دلیل مشابهت بالاتر با سری زمانی مورد بررسی استفاده شده است. شباهت بالاتر این سیگنال‌ها، ضریب سیگنال به نویز بالاتری را نتیجه می‌دهد

(Baili, SamerLahouar et al. 2009)

۲-۱- کاربرد تبدیل موجک به عنوان پالایه

موجک را به صورت تابع Ψ نشان می‌دهند. این تابع با جابه‌جایی طولی و اتساع سیگنال را به شکل دیگر در دو محور زمان و مقیاس نشان می‌دهد (Fugal 1994). تبدیل موجک پیوسته به صورت رابطه (۱) بیان می‌گردد:

$$CWT(a, b) = \psi(a, b) = \frac{1}{\sqrt{|a|}} \int_{-\infty}^{+\infty} x(t) \psi^* \left(\frac{t-b}{a} \right) dt \quad (1)$$



نگاره ۶: رسم روند ابر زلزله بر روی تصویر دمایی زلزله ریگان. خط سفید راستای ابر زلزله را نشان می‌دهد.

در رابطه با بخش دمایی مطالعه نیز بایستی به نگاره ۴ اشاره نمود که در آن با اعمال پالایه موجک بر روی سری زمانی دمای هوا، افزایش دما قبل از رویداد زمین لرزه به خوبی مشهود است. از ۲۵ ژانویه (۲ روز قبل از زمین لرزه) دما وارد حالت بی‌هنجار خود شده و این موضوع با اعمال بازه هنجار $T_{ave} \pm \sigma$ مشخص شد. میانگین سری زمانی و σ انحراف از معیار داده‌هاست. همچنین سری زمانی دمایی زلزله (نگاره ۵) نیز به خوبی راستای گسل‌های منطقه را نشان می‌دهد. در این تصویر به خوبی مشخص است که ناحیه افزایش دما راستای شمال غربی-جنوب شرقی دارد که با راستای سازوکار کانونی تعیین شده برای این زلزله مطابقت دارد.

۴- نتیجه‌گیری

مشاهده و بررسی هم‌زمان نگاره‌های ۱ و ۳ نشان می‌دهد که راستای تشکیل ابر زلزله با راستای گسل‌های منطقه مطابقت خوبی دارد. همچنین این راستا با راستای ناحیه مرتفعی که در تصویر توپوگرافی آمده نیز هم راستا است. همچنین زمین‌لرزه‌های قبل و بعد از لرزش اصلی (یعنی پیش و پس‌لرزه‌ها) نیز با راستای ابر زلزله مطابقت دارند که

۳- بحث

مشاهده و بررسی‌های انجام‌گرفته روی ۶۲ تصویر از روزهای قبل و بعد از زمین‌لرزه محمدآباد ریگان، مشخص می‌کند که از تاریخ ۱۷ ژانویه این ابر تشکیل شده است. در جدول ۱ به وضوح مشخص است که دمای هوای بسیار کم در ۱۷ ژانویه باعث تشکیل ابر شده است. روز ۱۸ ژانویه آسمان به طور کامل ابری شده و از این تاریخ به بعد به دلیل وجود سامانه ابر ورودی، از سمت غرب ایران، بررسی این ابرها با مشکل مواجه بود، این مسئله تا ۲۰ ژانویه ادامه داشت. ۲۰ ژانویه با حرکت ابرهای هواشناسی و ثبات ابرهای مورد مطالعه تا روز زلزله با موفقیت مشاهده این ابرها انجام شد. ابرهای موردنظر از آنجایی که به لحاظ چشمه ثابت هستند لذا هیچ‌گونه حرکتی نداشته و با این مشخصه از سایر ابرهای هواشناسی قابل تشخیص هستند. بنا به چرخش زمین و حضور نیروی کریولیس ابرهای هواشناسی با توجه به وزش باد که می‌تواند شرقی و یا غربی باشد، بایستی تغییر زاویه بدهد (Oke, 1987). ثبات مکانی و همچنین ثبات در زاویه قرارگیری این ابر نشان از ثابت بودن منبع تولیدش دارد و به این دلیل از سایر ابرها قابل تمییز و تشخیص است.

6- L.I., M. (1997). "Dynamics of cloudy anomalies above fracture regions during natural and anthropogenically caused seismic activities." *Fizika Zemli* 9: p. 94-96.

7- LAY, T. and T. C. WALLACE (1995). *Modern Global Seismology*. United States of America, Elsevier.

8- Nemati, M. (2015). "Aftershocks investigation of 2010 Dec. and 2011 Jan. Rigan earthquakes in the southern Kerman province, SE Iran." *Journal of Tethys* 3 (2): p. 96-113.

9- Oke, T. R. (1987). "BOUNDARY LAYER CLIMATES." New York, Hasteld.

10- Ouzounov, D. and F. Freund (2004). "Mid-infrared emission prior to strong earthquakes analyzed by remote sensing data." *elsevier*.

11- Q. Zuji, X. X. and D. Changgong (1990). "Thermal anomaly-precursor of impending earthquake." *Chinese Science Bulletin* 35(17): 1324-1327.

12- Saradjian, M. R. and M. Akhoondzadeh (2011). "prediction of the date, magnitude and affected area of impending strong earthquakes using integration of multi precursors earthquake parameters." *Natural Hazards and Earth System Science*.

13- Saraf, A. K., V. Rawat, P. Banerjee, S. Choudhury, S. K. Panda, S. Dasgupta and J. D. Das (2008). "Satellite detection of earthquake thermal infrared precursors in Iran." *Natural Hazard* 47: p. 119-135.

14- Saraf, A. K., V. Rawat, S. Choudhury, S. Dasgupta and J. Das (2009). "Advances in understanding of the mechanism for generation of earthquake thermal precursors detected by satellites." *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 9: 373-379.

15- Shou, Z. and D. Harrington (2004). "BAM EARTHQUAKE PREDICTION & SPACE TECHNOLOGY." *Seminars of the United Nations Programme on Space Applications* 16: 39-63.

16- Shuguang, Q. and G. Guangmeng (2012). "Clouds Anomaly before Italy 6.0 Earthquake." *EMSEV 2012, Gotemba Kogen resot, JAPAN*: p. 1-11.

17- Tramutoli, V., C. Aliano, R. Corrado, C. Filizzola, N. Genzano, M. Lisi, G. Martinellic and N. Pergola (2012). "On the possible origin of thermal infrared radiation (TIR) anomalies in earthquake-prone areas observed using robust satellite techniques (RST)." *Chemical Geology* 339: p. 157-168.

18- Tronin, Hayakawa and Molchanov (2002). "Thermal IR satellite data application for earthquake research in Japan and China." *J. Geodynamics* 33: 519-534.

19- Tronin, A. A. (2010). "Satellite Remote Sensing in Seismology. A Review." *Remote Sensing* 2: 124-150.

خود گواهی بر این مدعاست که ابر زلزله ابری خطی است که در بالای گسل تشکیل می شود. همچنین با بررسی بیشتر نگاره ۳ به خوبی مشخص است که این ابر در ناحیه ای مرزی بین کوه و دشت تشکیل شده است که یکی از محتمل ترین مکان ها برای وجود گسل است و وجود چنین خطواره گسلی را در این ناحیه می توان مورد بررسی قرار داد. هر چند که این خطواره در طول این زمین لرزه به طور کامل تخلیه نشده است اما وجود ابرهای زلزله در نواحی دیگر این گسل پیشنهادی گویای تجمع تنش در این ناحیه است که شاید بتوان در مطالعات لرزه خیزی آن را مورد مطالعه قرار داد. به جهت تأیید تعلق این ابر به زمین لرزه ریگان، راستای ناحیه افزایش دما با روند ابر مطابقت داده شد (نگاره ۶) و هماهنگی بسیار بالایی مشاهده گردید. همچنین در روش دمایی برای این زمین لرزه، به خوبی ۲ روز قبل از زمین لرزه بی هنجاری ثبت گردید و امکان سنجی استفاده از هر دو روش ثبت بی هنجاری دمایی و ابر زلزله در این منطقه آزمایش شد و نتایج مطلوبی بدست آمد.

۵- منابع و مآخذ

۱- صابر ماهانی، س. و م. سپهوند (۱۳۹۳). استفاده از پیش نشانگر گرما لرزه ای و کاربرد پالایه موجک در زلزله های زرنده (۱۳۸۳)، راور (۱۳۸۳)، ریگان (۱۳۸۹) و گوهران (۱۳۹۲). نوزدهمین همایش انجمن زمین شناسی ایران. تهران، ایران.

2- Baili, J., SamerLahouar, M. Hergli, I. Al-Qadi and KamelBesbes (2009). "GPR signal de-noising by discrete wavelet transform." *NDT&E International* 42: p. 696-703.

3- Choudhury, A. K. S. S. (2005). "Thermal Remote Sensing Technique in the Study of Pre-Earthquake Thermal Anomalies." *J. Ind. Geophys. Union* 9: 197-207.

4- Fugal, D. L. (1994). "Conceptual Wavelet In Digital Signal Processing." *Space & Signal Technical Publishing*. G.M., G. and W. B. (2008). "Cloud anomaly before Iran earthquake." *International journal of remote sensing* 29(7): p. 1921-1928.

5- Guangmeng, G. and Y. Jie (2013). "Three attempts of earthquake prediction with satellite cloud images." *Natural Hazard and earth system science* 13: p. 91-95.