

تحلیل پاسخگویی طیفی بافت‌های ساخته شده شهری در باندهای انعکاسی و عوامل مؤثر بر آن، قبل و بعد از زلزله

مطالعه موردی: زلزله بم

منوچهر فرج‌زاده^۱

محسن احدنژاد روشتی^۲

هادی تاریقلی‌زاده^۳

تاریخ دریافت مقاله: ۹۵/۱۰/۱۴

تاریخ پذیرش مقاله: ۹۶/۰۵/۰۶

چکیده

با توجه به ابعاد وسیع خسارات و تلفات ناشی از زلزله در مناطق شهری و نیاز به سرعت عمل بیشتر در شناسایی مساکن آسیب دیده، در این میان سنجش ازدور و تصاویر ماهواره‌ای به دلیل ویژگی‌های خود، همچون اشراف کلی بر پدیده‌ها و منابع زمین و ثبت ویژگی‌های پدیده‌ها در دوره‌های زمانی مختلف در طیف‌های الکترومغناطیسی گسترده، توسط سنجنده‌ها، ابزاری ارزشمند برای مطالعه سریع مناطق آسیب دیده می‌باشند. بنابراین با بکارگیری تصاویر ماهواره‌ای Quick Bird قبل و بعد از زلزله و داده مکانی، به تحلیل پاسخگویی طیفی بلوک‌های شهری، در باندهای انعکاسی و عوامل مؤثر بر آن، قبل و بعد از زلزله، با هدف شناسایی کاربردی‌ترین باندهای انعکاسی در برآورد خسارات وارده بر اثر زلزله، پرداخته شد. در این تحقیق، با توجه به اینکه آسیب‌پذیری از مکانی به مکان دیگر متفاوت است و شرایط چه از لحاظ وسعت و چه از لحاظ ساختار کالبدی که دارای انواع بافت قدیم و جدید و بافت‌های خانه باغی و... می‌باشد؛ با انتخاب چندین نمونه -موردی از بلوک‌های شهری که در بخش‌های مختلف شهری همچون بافت قدیم یا بافت جدید قرار دارند و در اثر زلزله یا کاملاً تخریب شده‌اند، یا خسارات جزئی دیده‌اند و یا اینکه بدون هیچ‌گونه خساراتی سالم مانده‌اند، به تحلیل پاسخگویی طیفی و عوامل مؤثر بر پدیده انعکاس این بلوک‌های ساختمانی در چهار باند انعکاسی پرداخته شد. نتایج نشان می‌دهد که در باند مادون قرمز انعکاسی بدلیل ماهیت متفاوت خود و همچنین داشتن طول موج بلندتر نسبت به سایر باندهای انعکاسی، زلزله کمترین تأثیر را در پاسخگویی طیفی بافت‌های ساخته شده دارد. بنابراین با تحلیل پاسخگویی طیفی این باند نمی‌توان خسارات حاصل از زلزله را، دقیقاً برآورد کرد ولی با تحلیل پاسخگویی طیفی پدیده‌ها در سه باند آبی، سبز و قرمز، می‌توان خسارات وارده بر بافت‌های ساخته شده شهری را، با دقت بیشتری برآورد کرد.

واژه‌های کلیدی: پاسخگویی طیفی، بافت‌های ساخته شده شهری، باندهای انعکاسی، سنجش از دور، زلزله بم.

۱- استاد گروه جغرافیا، دانشگاه تربیت مدرس (نویسنده مسئول) farajzam@modares.ac.ir

۲- دانشیار گروه جغرافیا، دانشگاه زنجان Ahadnejad@gmail.com

۳- کارشناس ارشد سیستم اطلاعات جغرافیایی دانشگاه تربیت مدرس Golizadeh.hadi20@gmail.com

۱- مقدمه

بر آنها، در این میان سنجش ازدور و تصاویر ماهواره‌ای به دلیل توانایی‌ها و ویژگی‌های خود، چون اشراف کلی بر پدیده‌ها و منابع زمین و ثبت ویژگی‌های پدیده‌ها در دوره‌های زمانی مختلف و گرفتن اطلاعات لازم از آنها از طیف‌های الکترومغناطیسی و انعکاس پدیده‌ها، توسط سنجده‌ها، ابزاری ارزشمند برای مطالعه سریع مناطق آسیب دیده می‌باشند (علوی پناه، ۱۳۹۵: ۵۴). آرایش و کیفیت داده‌های سنجش از دور به طور چشمگیری متفاوت است این تفاوت بسته به قدرت تفکیک سنجنده (رادئومتریک، مکانی، طیفی و زمانی) می‌باشد (Bhatta, 2011: 47). سنجنده‌های متفاوت، بخش‌های متفاوت یا باندهایی از طیف الکترومغناطیس را برداشت می‌کنند به همین دلیل، تعیین اینکه پژوهش مورد نظر احتیاج به داده‌های محدوده مرئی، ماکروویو یا حرارتی داشته باشد اهمیت بسیار دارد (علوی پناه، ۱۳۹۴: ۴۷).

Brunner و همکاران (۲۰۱۰) در مقاله‌ای تحت عنوان «ارزیابی خسارات ساختمان‌ها در اثر زلزله با استفاده از تصاویر VHR نوری و SAR» به برآورد سریع خسارات بعد از بلایای طبیعی (چون زلزله و ...) و شرایط بحرانی (چون خرابی‌های ناشی از جنگ و ...) پرداختند. در این مقاله تصاویر VHR نوری و SAR را در برآورد سریع خسارات بعد از بلایای طبیعی، با ارائه روشی جدید برای کشف خرابی‌های ساختمان‌ها با استفاده از تصاویر VHR نوری و SAR، قبل و بعد از زلزله به کار بردند. Chini و همکاران (۲۰۱۱) در مقاله‌ای با استفاده از تصاویر پانکروماتیک با قدرت تفکیک خیلی بالا (۰/۶ متر) به مطالعه زلزله ۲۰۰۵ کشمیر (پاکستان) پرداختند. در این پژوهش به طور خاصی به بررسی توانایی‌های تصاویر VHR برای تجزیه و تحلیل ویژگی‌های زلزله، همچنین تشخیص تغییرات براساس ترکیبی از تفسیر بصری و طبقه‌بندی خودکار پرداخته شده که داده‌های VHR ماهواره‌ای با دید اجمالی از چشم اندازها، امکان مانیتور کردن تغییرات سطح را در مدت زمان مشخص فراهم می‌کند و تکنیک طبقه‌بندی خودکار نتایج قابل قبولی را ارائه می‌دهد. این ضرورت به طور جدی احساس می‌شود

پدیده زلزله، به علت از بین بردن روند طبیعی زندگی و خسارات وارده، انسان‌ها را بر آن داشت که به شناخت و مطالعه علل وقوع آن، از همان دوره‌های آغازین زندگی بپردازند؛ تا آسیب‌های ناشی از وقوع این پدیده رادر صورت امکان به حداقل برسانند. زلزله بم با ۶/۶ ریشتر، در ساعت ۵:۲۶ بامداد ۵ دیماه ۱۳۸۲ شهر تاریخی بم را لرزاند و شهر بم و روستاهای اطراف آن را ویران کرد. زلزله بم حادثه‌ای غم‌انگیز بود که حادث شد. کشور ایران به علت قرار گرفتن بر روی کمربند زلزله آلپ - قفقاز - همالیا و همچنین ویژگی‌های زمین ساخت، به نحو چشم‌گیری زلزله‌خیز است. زلزله به عنوان یکی از مخرب‌ترین عوامل انهدام حیات انسانی مطرح می‌باشد و شاهد این موضوع سوابق تاریخی آن می‌باشد که هر از چند گاهی بخشی از این کشور پهناور را در هم کوبیده و خسارات جانی و مالی زیادی را بر پیکر آن وارد می‌کند. با وقوع هر زلزله‌ای، میلیاردها ریال خسارت به شهرها وارد شده و جان هزاران نفر در معرض تهدید قرار می‌گیرد. همچنین تخریب بافت، تأخیر در تخلیه جمعیت ساکن، مسدود شدن شبکه‌های ارتباطی و در نتیجه عدم امداد رسانی به موقع، افزایش خسارات و زنده به گور شدن هزاران نفر، از دیگر عواقب آن است. بسیاری از افراد که در زیر آوار مانده‌اند، در صورت عدم امکان دسترسی و کمک رسانی جان خود را از دست خواهند داد (شبعه و همکاران، ۱۳۹۱: ۲). طبق گزارش سازمان ملل در سال ۲۰۰۳ میلادی کشور ایران در بین کشورهای جهان رتبه نخست در تعداد زلزله‌های با شدت بالای ۵/۵ ریشتری و یکی از بالاترین رتبه‌ها در زمینه آسیب‌پذیری ناشی از وقوع زلزله و تعداد افراد کشته شده را در اثر این سانحه داشته است. بر اساس همین گزارش در کشور ایران زلزله وجه غالب را در بین سوانح طبیعی دارا می‌باشد (UNDP, 2004). با توجه به ابعاد وسیع خسارات و تلفات ناشی از زلزله در مناطق شهری و نیاز به سرعت عمل بیشتر در شناسایی مسکن آسیب دیده و برآورد خسارات وارده

فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (مهر)
تحلیل پاسخگویی طیفی بافت‌های ساخته شده شهری ... / ۴۷

باشد. عناصر ساختار کالبدی شهر پیش از وقوع زلزله به این صورت بوده است.

- مرکزیت هسته تاریخی که شامل بازار، امامزاده اسیری، شهرداری، دارایی سابق، و تعدادی از عملکردهای اداری شهر که به صورت دو محور شرقی - غربی، و یک محور شمالی - جنوبی از مرکز شهر واقع شده است؛

- محدوده ارگ تاریخی بم در شمال شرقی بم؛

- راستای شمالی - جنوبی خیابان امام که در راستای توسعه طولی شهر بم از اوایل قرن حاضر شکل گرفته بود و نخستین خیابان شهر، در راستای تحولات جدید شهرسازی؛
- راستای شرقی - غربی خیابان طباطبایی بوعلی سینا که ارتباط ارگ تاریخی بم را با بازار و محلات تاریخی شرقی برقرار می‌کرده و دومین خیابان شهر را شکل می‌داده است.

۲-۲- داده‌های مورد استفاده تصاویر ماهواره‌ای Quickbird

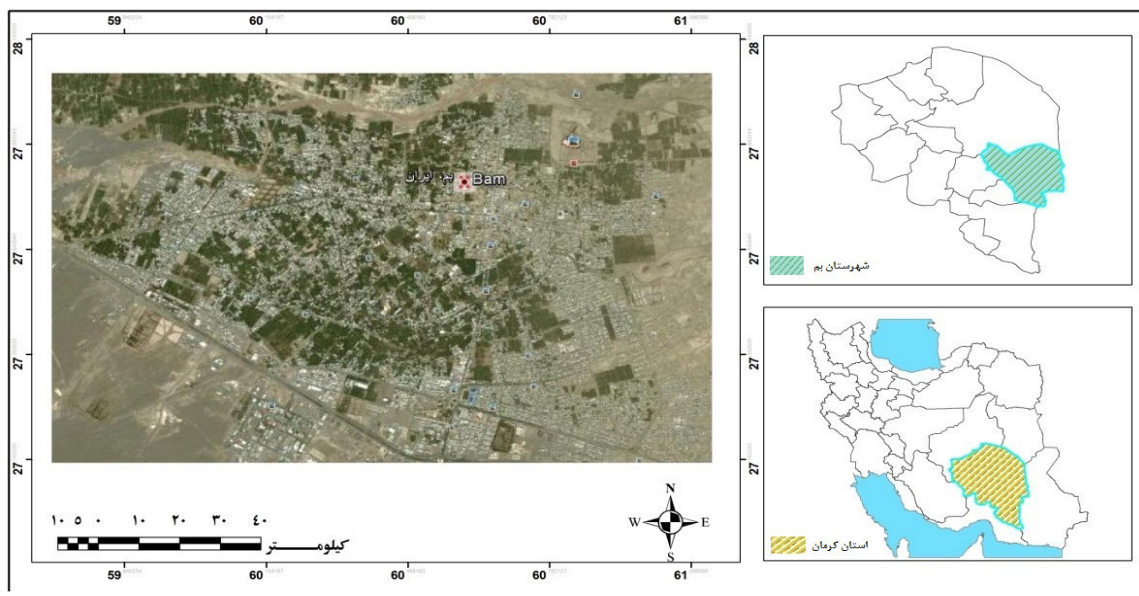
ماهواره Quick bird با قدرت تفکیک بالا، شهر بم را درست هشت روز بعد از وقوع زلزله در روز ۱۳ دی‌ماه ۱۳۸۲ (۳ ژانویه ۲۰۰۴) تصویربرداری کرد. این ماهواره همچنین حدوداً سه ماه قبل از وقوع زلزله در تاریخ ۸ مهر

که با بکارگیری تصاویر ماهواره‌ای چند زمانه قبل و بعد از زلزله و داده مکانی، به تحلیل پاسخگویی طیفی بافت‌های ساخته شده شهری، در باندهای انعکاسی و عوامل مؤثر بر آن، قبل و بعد از زلزله، با اهداف شناسایی کاربردی‌ترین باندهای انعکاسی در تحلیل پاسخگویی طیفی و عوامل مؤثر بر پدیده انعکاس بافت‌های ساخته شده شهری، قبل و بعد از زلزله، پرداخته شود.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- محدوده مورد مطالعه

شهر تاریخی بم مرکز شهرستان بم، استان کرمان در جنوب شرقی ایران است. این شهر در مختصات جغرافیایی ۵۸ درجه و ۲۱ دقیقه طول جغرافیایی و ۲۹ درجه و ۶ دقیقه عرض جغرافیایی و در ارتفاع ۱۰۶۰ متری از سطح دریا قرار دارد. شهر بم به دلیل قرار گرفتن در حاشیه کویر لوت دارای آب هوای گرم و خشک است. شناخت ساختار کالبدی شهر پیش از وقوع زلزله می‌تواند گام مؤثری برای تحلیل پاسخگویی طیفی بافت‌های ساخته شده شهری، در باندهای انعکاسی و عوامل مؤثر بر آن، قبل و بعد از زلزله



نگاره ۱: نقشه موقعیت محدوده مورد مطالعه

۱۳۸۲ (۳۰ سپتامبر ۲۰۰۳) تصویر واضحی نیز از هم برداشت کرده بود. که با توجه به اهداف تحقیق و قابلیت های تصاویر برداشت شده، این تصاویر ماهواره Quick bird برای مطالعه و تحقیق در این زمینه انتخاب شدند.

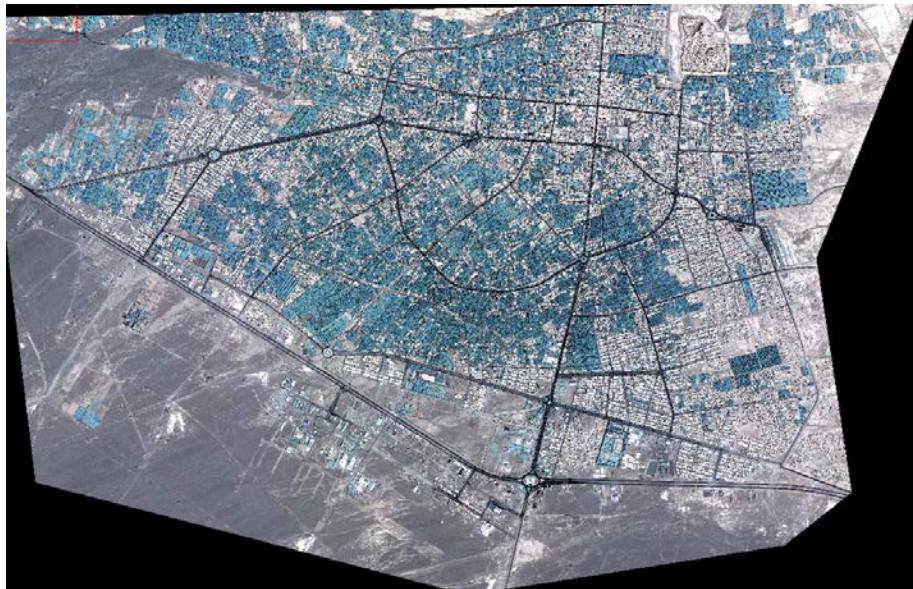
• هم مختصات کردن تصاویر ماهواره ای

برای آماده سازی دو یا چند تصویر ماهواره ای به منظور مقایسه و آشکار سازی تغییرات تصحیح هندسی تصاویر ضروری است. برای تقلیل اثرات خطای تطبیق سازی، تصحیح هندسی به صورت پیکسل به پیکسل به کار گرفته می شود. اگر خطای تطبیق سازی بزرگتر از یک پیکسل

۳- روش تحقیق

۱-۳- پیش پردازش تصاویر ماهواره ای

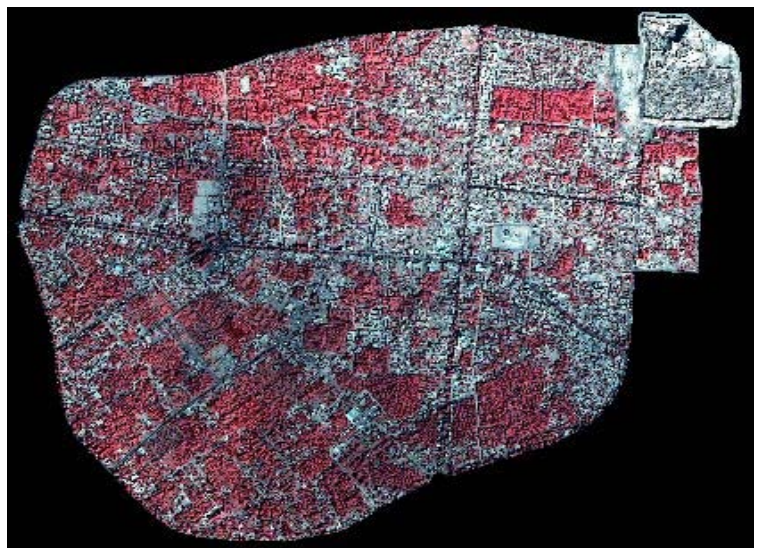
در فرآیند پیش پردازش تصاویر ماهواره ای، قبل از شناخت و استخراج اطلاعات با مقایسه تصاویر چند زمانه،



نگاره ۲: تصویر ماهواره ای قبل از زلزله منطقه مورد مطالعه



نگاره ۳: تصویر ماهواره ای بعد از زلزله منطقه مورد مطالعه



نگاره ۴: تصویر محدوده انتخاب شده

• حذف مناطق غیر مسکونی
در این تحقیق با توجه به اهداف مطرح شده، و حجم زیاد تصاویر ماهواره‌ای، گستردگی محدوده شهر و همچنین وجود مناطق غیر مسکونی اطراف شهر در تصویر، محدوده شهرانتخاب و مناطق دیگر چون باغات، اراضی کشاورزی، اراضی بایر و ... حذف گردید (نگاره ۳).

۳-۲- تحلیل پروفیل بازتاب طیفی پدیده‌ها در باندهای انعکاسی و عوامل تأثیرگذار

پدیده‌های روی زمین واکنش‌های متفاوتی را در بر خورد با انرژی الکترومغناطیسی، نشان می‌دهند. کل انرژی الکترومغناطیسی رسیده به پدیده‌های زمینی، یا بازتابش شده، یا جذب شده و یا از طریق جسم انتقال می‌یابد. در این رابطه پیوسته بایستی دو نکته را در نظر داشته باشیم: اول اینکه، نسبت انرژی انعکاس یافته، جذب شده، یا انتقال یافته برای هر یک از پدیده‌های زمینی، متفاوت و متأثر از وضع ظاهری و مواد تشکیل دهنده آنهاست. نکته دوم، نسبت‌های مختلف حتی برای همان پدیده، از همدیگر متفاوت خواهد بود این بدان معناست که عمل برخورد متقابل انرژی و دو جسم ممکن است در یک محدوده از طیف الکترومغناطیس نسبت به هم تفاوتی نداشته باشد، در حالی که در محدوده دیگر طیفی، تفاوت بارزی را از

باشد ممکن است اشتباهات فاحشی حاصل آید (Lunetta and Elvidge, 1999) برای مقایسه تصاویر ماهواره‌ای اخذ شده از یک سنجنده در زمان‌های مختلف هم مختصات کردن به صورت تصویر به تصویر صورت می‌گیرد، که دارای تبدیلات هندسی از نوع خاصی می‌باشد. برای تصحیح هندسی معمولاً از معادلات چند جمله‌ای درجه ۳، ۲، ۱ استفاده می‌شود که به ترتیب حداقل ۳، ۶ و ۱۰ نقطه کنترل لازم دارند (مجد و زبیری، ۱۳۹۲: ۱۱۷). بعضی پدیده‌هایی که دارای نقاط کنترل خوبی می‌باشند عبارتند از: محل تقاطع بزرگراه‌ها و عوارض قابل تشخیص ساختمانی. در فرایند تصحیح، باید نقاط کنترل زمینی زیادی، هم به لحاظ مختصات دو بعدی تصویر آن‌ها (شماره‌های ستون - ردیف) و هم به لحاظ مختصات زمینی آنها قابل استخراج از یک نقشه (بر حسب مختصات UTM و طول یا عرض جغرافیایی) بر روی تصویر تصحیح نشده قرار داده می‌شود. در این تحقیق نیز برای هم مختصات کردن تصاویر ماهواره‌ای، ۴۵ نقطه کنترل با مختصات جغرافیایی مشخص از کل محدوده مورد مطالعه، انتخاب نموده و سپس با انتقال مختصات نقاط کنترل انتخاب شده بر روی نقاط نظیر آنها در روی تصاویر، هم مختصات‌سازی تصاویر با دقت ۰/۰۰۰۳۵ انجام شد و سپس بررسی دو تصویر نشان داد که تصاویر کاملاً هم مختصات گردیده‌اند.

مختلف فراهم می‌آورد. تفسیر پیشرفته داده‌های ماهواره‌ای به کمک ابزارها و تکنیک‌های پیچیده‌تری صورت می‌گیرد، که در آن کامپیوتر و نرم افزارهای تخصصی سنجش از دور و GIS نقش مهمی دارند. در این راستا ارزش‌های عددی پیکسل‌های تشکیل دهنده تصاویر ماهواره‌ای به صورت ارقام صفر و یک بوده تا قابل تفسیر به وسیله کامپیوترها باشند. این سیستم اعداد و ارقام را شمارش‌گر بر مبنای دو یا باینری می‌نامند. در اینجا با توجه با اینکه تصاویر ماهواره‌ای ۸ بیتی بوده، معمولاً ارزش عددی هر پیکسل بر اساس سیستم باینری، در محدوده یکی از ارقام بین صفر تا ۲۵۵ قرار می‌گیرد که در آن حداقل یا فقدان بازتاب طیفی با رقم صفر، حداکثر بازتاب طیفی با رقم ۲۵۵ و بازتاب‌های طیفی متوسط ارزش‌های عددی بین دو رقم صفر تا ۲۵۵ را به خود اختصاص می‌دهند.

در واقع تصاویر به دست آمده از سنجنده‌های الکترونیکی ارقامی هستند که از طریق پردازش قابلیت تبدیل به تصاویر مختلف را دارند (Jensen, 2006:183). در این تحقیق نیز با توجه به اهداف و فرضیات برای ارزیابی و تحلیل پروفیل بازتاب طیفی پدیده‌ها در باندهای انعکاسی و عوامل تأثیرگذار در آن، با انتخاب نمونه‌های موردی از بافت‌های مختلف چون بافت قدیم، بافت جدید و همچنین از بلوک‌هایی که پس از زلزله تخریب شدند یا تخریب جزئی داشتند و یا سالم مانده‌اند به بررسی رفتار طیفی این بلوک‌های ساختمانی با مقایسه پروفیل بازتابی، قبل و بعد از زلزله در چهار باند طیفی تصویر ماهواره Quick bird (آبی: ۴۵۰ تا ۵۲۰ نانومتر) (سبز: ۵۲۰ تا ۶۰۰ نانومتر) (قرمز: ۶۳۰ تا ۶۹۰ نانومتر) (مادون قرمز: ۷۶۰ تا ۹۰۰ نانو متر)، در باندهای مختلف پرداخته شده است.

۴- بحث

سنجش از دور و تصاویر ماهواره‌ای چند زمانه به دلیل توانایی‌ها و ویژگی‌های خود، همچون اشرف کلی بر پدیده‌ها و منابع زمین و ثبت ویژگی‌های پدیده‌ها در

همدیگر نشان دهند. این حالت، وابستگی به طول موج نامیده می‌شود. این تفاوت‌ها است که در محدوده طیف مرئی رنگ‌ها را بوجود می‌آورند. پس عمل انعکاس انرژی از یک پدیده یا جسم، در درجه اول به ویژگی‌های سطح جسم مزبور وابسته است.

برخی از سطوح بسیار صاف و صیقلی‌اند و همانند آینه از خاصیت بازتاب فراوانی برخوردارند. در این حالت زاویه بازتاب و زاویه تابش با هم برابرند و برعکس سطوح ناصاف، انرژی تابشی را در تمام جهات پخش می‌کنند و بازتاب کمی دارند. در این رابطه طول موج انرژی تابشی رسیده به سطح پدیده‌های زمینی نیز نقش بسزایی دارد. به عبارت دیگر، در صورتی که طول موج انرژی تابشی رسیده به سطح پدیده‌های زمینی، بزرگتر از تغییرات ارتفاع سطح یا مواد تشکیل دهنده آن باشد، سطح پدیده به مانند یک سطح صاف عمل کرده و بازتاب زیادی خواهد داشت و بر عکس، چنانچه طول موج انرژی تابشی رسیده به سطح پدیده‌های زمینی، کوچکتر از تغییرات ارتفاع سطح یا مواد تشکیل دهنده آن باشد، سطح پدیده به مانند یک سطح ناصاف عمل کرده و بازتاب کمتری خواهد داشت. از دیگر عوامل تأثیر گذار در کیفیت و کمیت انعکاس انرژی پدیده‌های سطح زمین به تأثیرات آب و هوایی و تغییرات فصلی می‌توان اشاره کرد که این عامل نیز با تأثیر بر روی خواص حرارتی پدیده‌های سطح زمین، در کیفیت و کمیت انعکاس انرژی پدیده‌های سطح زمین اثر می‌گذارد (Jensen, 2006:44). این انعکاس انرژی، از سطح پدیده‌های روی زمین، بازتاب طیفی نامیده می‌شود. در سنجش از دور، مقدار انرژی بازتابی در طول موج‌های ویژه اهمیت بسزایی دارد. اگر عملکرد امواج در برخورد انرژی با یک جسم بصورت نمودار نشان داده شود اصطلاحاً منحنی بازتاب طیفی آن جسم نامیده می‌شود. سخن این است که پدیده‌های مختلف در یک یا چند محدوده طیفی (باندها) واکنش طیفی ویژه‌ای دارند و همین ویژگی است که موجبات شناسایی آنها را، با مقایسه منحنی بازتاب طیفی آن جسم در باندهای

• پروفیل‌های بازتاب طیفی بلوک‌های ساختمانی نمونه
موردی اول در باندهای انعکاسی:

بلوک‌های ساختمانی قبل از زلزله، با توجه به اینکه سطحی صاف دارند و از یک بافت منظم برخوردارند بیشترین بازتاب (۲۵۵-۲۰۰) را دارند و پروفیل بازتاب طیفی آنها نیز شکل مشخصی به خود می‌گیرد یعنی در سطح یک پشت بام اختلاف بازتاب طیفی زیاد نیست. در فواصل بین این بلوک‌ها با توجه به سایه‌های موجود بازتاب طیفی شدیداً کاهش یافته، حتی با وجود این سایه و کاهش شدید بازتاب طیفی می‌توان تعداد بلوک ساختمانی را نیز تشخیص داد. در این بازتاب با توجه به اینکه در طول موج‌های کوتاه هست بایستی پراکنش اتمسفری را نیز در افزایش میزان بازتاب مؤثر بدانیم. اما پس از زلزله با توجه به اینکه بلوک ساختمانی بصورت کامل تخریب گشته، سطح صاف پشت بام با فرو ریختن آوار ناصاف شده، بافت پشت بام نیز از حالت منظم در آمده و رفتار طیفی متفاوتی را نسبت به قبل از خود نشان می‌دهد. شکل منظم پروفیل بازتاب طیفی نیز به هم می‌ریزد و میزان بازتاب طیفی شدیداً کاهش می‌یابد. در اینجا دیگر نه سایه‌ای است که با کاهش بازتاب باعث تفکیک بلوک‌های ساختمانی گردد و نه سطحی صاف که دامنه اختلاف بازتاب طیفی کم باشد و پروفیل بازتاب طیفی شکل نامنظم و بهم ریخته دارد. در باندهای آبی، سبز و قرمز رفتار طیفی بلوک‌های ساختمانی با اندک تفاوتی شبیه به هم هستند (نگاره‌های ۶ و ۷ و ۸). در باند مادون قرمز بلوک‌های ساختمانی قبل از زلزله رفتار طیفی متفاوتی نسبت به باندهای آبی، سبز و قرمز دارند. با توجه به پروفیل بازتاب طیفی قبل از زلزله کاهش یا افزایش بازتاب به صورت تدریجی نبوده و از شکل پلکانی برخوردار است. همچنین در مقایسه با باندهای دیگر میزان انعکاس کمتری دارد ولی با وقوع زلزله و تخریب ساختمان رفتار طیفی همانند باندهای آبی، سبز و قرمز می‌شود و بازتابش شدیداً کاهش یافته و نظم پروفیل بازتاب طیفی نیز به هم می‌خورد (نگاره ۹).

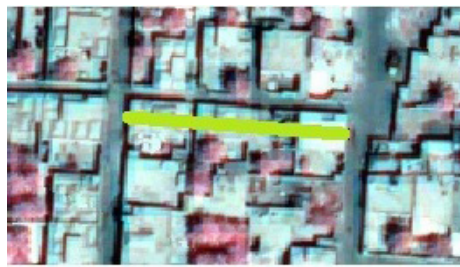
دوره‌های زمانی مختلف و گرفتن اطلاعات لازم از پدیده‌ها در طیف‌های الکترومغناطیسی و انعکاسی، توسط سنجنده‌ها؛ ابزاری ارزشمند برای مطالعه سریع مناطق آسیب دیده می‌باشند. از این رو بعنوان منابع داده اصلی در این تحقیق انتخاب شدند. با بکارگیری تصاویر ماهواره‌ای چند زمانه قبل و بعد از زلزله و داده‌های مکانی، به تحلیل پاسخگویی طیفی بلوک‌های شهری، در باندهای انعکاسی و عوامل مؤثر بر آن، قبل و بعد از زلزله، با اهداف شناسایی کاربردی‌ترین باندهای انعکاسی در تحلیل پاسخگویی طیفی و عوامل مؤثر بر پدیده انعکاس، بافت‌های ساخته شده شهری، قبل و بعد از زلزله، پرداخته شد. در این تحقیق، با توجه به اینکه آسیب‌پذیری از مکانی به مکان دیگر متفاوت است و شرایط چه از لحاظ وسعت و چه از لحاظ ساختار کالبدی که دارای انواع بافت قدیم و جدید و بافت‌های خانه باغی و... متفاوت می‌باشد، با انتخاب نمونه‌های موردی از بلوک‌های شهری که در بخش‌های مختلف شهری همچون بافت قدیم یا بافت جدید قرار دارند، که در اثر زلزله یا کاملاً تخریب شده‌اند، یا خسارات جزئی دیده‌اند و یا اینکه بدون هیچ گونه خساراتی سالم مانده‌اند، به تحلیل پاسخگویی طیفی و عوامل مؤثر بر پدیده انعکاس این بلوک‌های ساختمانی در چهار باند انعکاسی، آبی (باند ۱ طول موج: ۴۵۰ تا ۵۲۰ نانومتر) - سبز (باند ۲ طول موج: ۵۲۰ تا ۶۰۰ نانومتر) - قرمز (باند ۳ طول موج: ۶۳۰ تا ۶۹۰ نانومتر) و مادون قرمز (باند ۴ طول موج: ۷۶۰ تا ۹۰۰ نانومتر) پرداخته شده است.

۵- نتایج

۵-۱- نمونه موردی اول

نگاره ۵ نشان دهنده تصویر ماهواره‌ای سه بلوک ساختمانی قبل و بعد از زلزله است. در این تصویر با توجه با اینکه بلوک‌های ساختمانی نشان داده شده در اثر زلزله بصورت کامل تخریب شده‌اند، به ارزیابی و تحلیل پروفیل بازتاب طیفی پدیده‌ها در باندهای انعکاسی و عوامل مؤثر بر آن، پرداخته شده است.

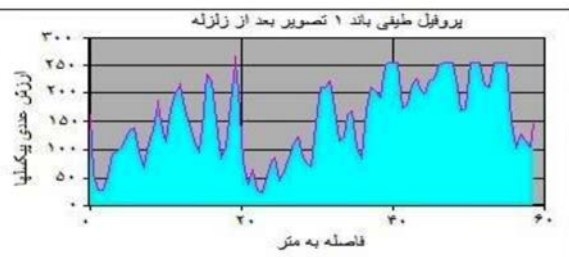
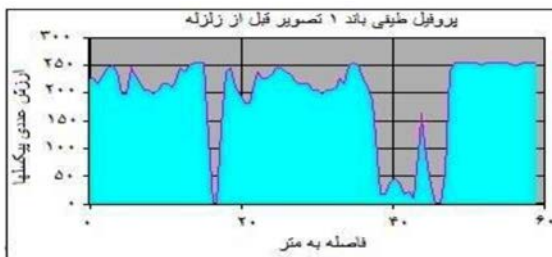
نگاره ۵: تصویر
بلوک‌های ساختمانی
نمونه موردی اول



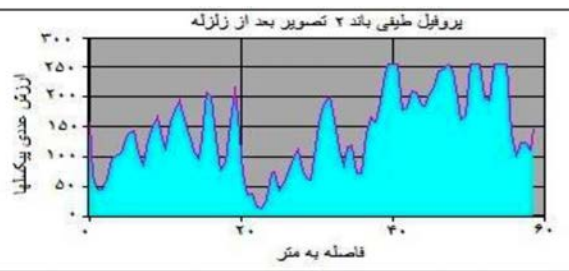
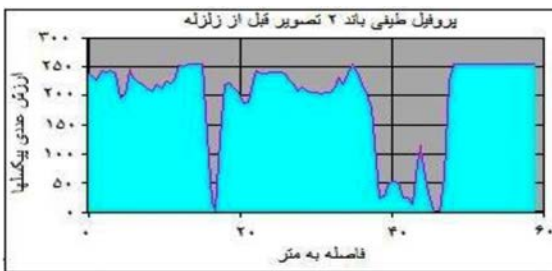
۲۰۰۳



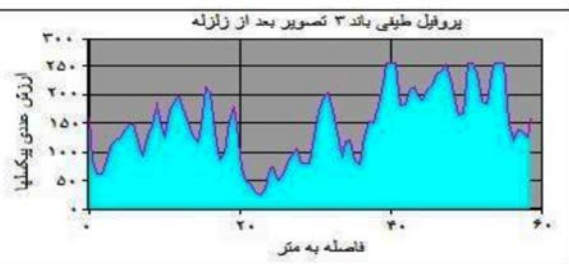
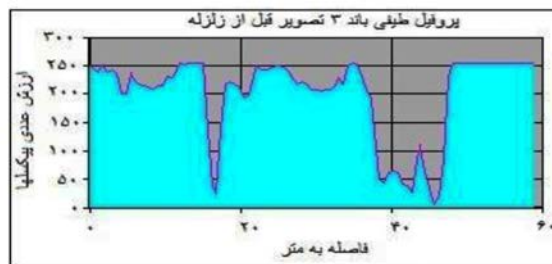
۲۰۰۴



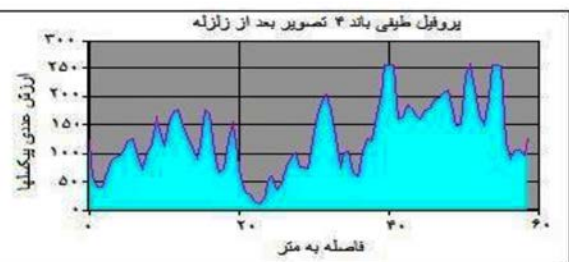
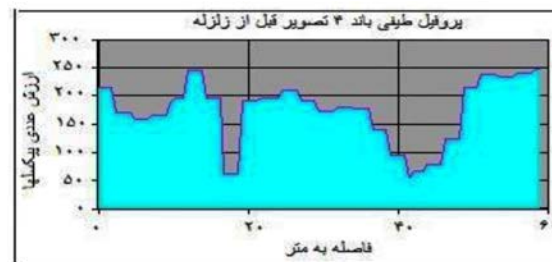
نگاره ۶: پروفیل بازتاب طیفی باند ۱



نگاره ۷: پروفیل بازتاب طیفی باند ۲



نگاره ۸: پروفیل بازتاب طیفی باند ۳



نگاره ۹: پروفیل بازتاب طیفی باند ۴

یافته و نظم پروفیل طیفی نیز به هم می‌خورد (نگاره ۱۴).

۵-۳- نمونه موردی سوم

نگاره ۱۵ نشان دهنده تصاویر ماهواره‌ای چهار بلوک ساختمانی کنار هم با سطحی صاف و مواد تشکیل دهنده با قدرت بازتاب بالا چون ایزوگام می‌باشند، که در اثر زلزله یک بلوک بصورت کامل تخریب گشته و سه بلوک دیگر تا حدودی آسیب دیده ولی کاملاً تخریب نشده است.

• پروفیل‌های بازتاب طیفی بلوک‌های ساختمانی نمونه موردی سوم در باندهای انعکاسی

با توجه به تصویر نمونه موردی سوم، چهار بلوک کنار هم با سطح ظاهری و مواد تشکیل دهنده یکسان هستند ولی سه بلوک اول، نسبت به بلوک چهارم، بیشترین بازتاب طیفی ۲۵۵، را در باندهای آبی، سبز و قرمز از خود نشان می‌دهد. بلوک چهارم، به لحاظ تیرگی سطح و مواد نشسته شده بر آن بازتاب طیفی کمتری (۲۲۰-۲۵۵) نسبت به سه بلوک اول دارد. همچنان که در نمونه موردی اول توضیح دادیم این بلوک‌ها بعنوان یک سطح صاف عمل کرده و بیشترین بازتاب را دارد و پروفیل بازتاب طیفی شان نیز دارای نظم خاصی است.

سایه‌های موجود بین بلوک‌های ساختمانی نیز با کاهش شدید بازتاب طیفی، موجب تفکیک بازتاب طیفی سطحی سه بلوک گشته است. همچنان که از تصویر نیز پیداست با وقوع زلزله سه بلوک اولی آسیب دیده ولی آوارشان فرو نریخته، این آسیب نیز باعث تغییر اندکی در بازتاب طیفی شده، ولی بلوک چهارم بصورت کامل تخریب شده و تغییر رفتار طیفی این بلوک نیز مانند نمونه‌های موردی اول کاملاً مشهود است (نگاره‌های ۱۶ و ۱۷ و ۱۸).

در باند مادون قرمز نیز همانند نمونه موردی اول، بلوک‌های ساختمانی قبل از زلزله رفتار طیفی متفاوتی نسبت به باندهای دیگر از خود نشان می‌دهند با توجه به پروفیل طیفی قبل از زلزله کاهش یا افزایش بازتاب به صورت

۵-۲- نمونه موردی دوم

نگاره ۱۰ نشان دهنده تصویر ماهواره‌ای سه بلوک ساختمانی قبل و بعد از زلزله است. که در اثر زلزله بصورت کامل تخریب شده است.

• پروفیل‌های بازتاب طیفی بلوک‌های ساختمانی نمونه موردی دوم در باندهای انعکاسی

پروفیل بازتاب طیفی این سه بلوک قبل از زلزله در باندهای آبی، سبز و قرمز، تقریباً شبیه هم هستند و با توجه به اینکه سطحی صاف دارند و از یک بافت منظمی برخوردارند بیشترین بازتاب (۲۵۵-۲۳۰) را دارند و پروفیل بازتاب طیفی آنها نیز شکل مشخصی دارد. در سطح یک پشت بام دامنه اختلاف بازتاب طیفی زیاد نیست. در فواصل بین این بلوک‌ها نیز با توجه به سایه‌های موجود بازتاب طیفی شدیداً کاهش یافته، حتی با وجود این سایه‌ها و کاهش شدید بازتاب طیفی می‌توان تعداد بلوک ساختمانی را نیز تشخیص داد. اما پس از زلزله با توجه به اینکه بلوک ساختمانی بصورت کامل تخریب گشته، سطح صاف پشت بام با فرو ریختن آوار نا صاف شده، بافت پشت بام نیز از حالت منظم در آمده و رفتار طیفی متفاوتی را نسبت به قبل از خود نشان می‌دهد. در اینجا نیز شکل منظم پروفیل طیفی با کاهش شدید بازتاب به هم می‌ریزد.

در اینجا دیگر نه سایه ای است که با کاهش بازتاب باعث تفکیک بلوک‌های ساختمانی گردد و نه سطحی صاف که دامنه اختلاف بازتاب طیفی کم باشد و پروفیل بازتاب طیفی شکل نامنظم و بهم ریخته دارد. و دامنه اختلاف بازتاب زیاد شده است (نگاره‌های ۱۱، ۱۲ و ۱۳). در باند مادون قرمز نیز همانند نمونه موردی اول، بلوک‌های ساختمانی قبل از زلزله رفتار طیفی متفاوتی نسبت به باندهای دیگر از خود نشان می‌دهند با توجه به پروفیل طیفی قبل از زلزله کاهش یا افزایش بازتاب به صورت تدریجی نبوده و از شکل خاصی برخوردار است. ولی با وقوع زلزله و تخریب ساختمان رفتار طیفی همانند باندهای دیگر می‌شود و بازتابش کاهش

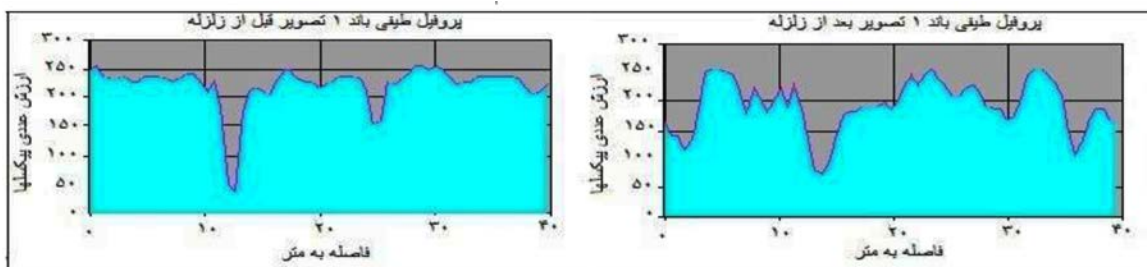


۲۰۰۳

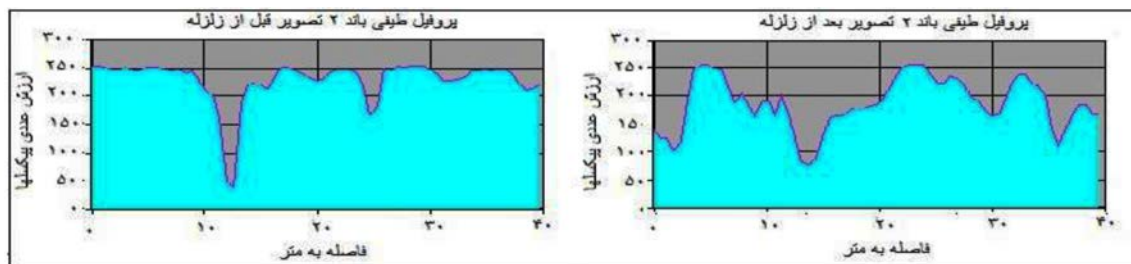


۲۰۰۴

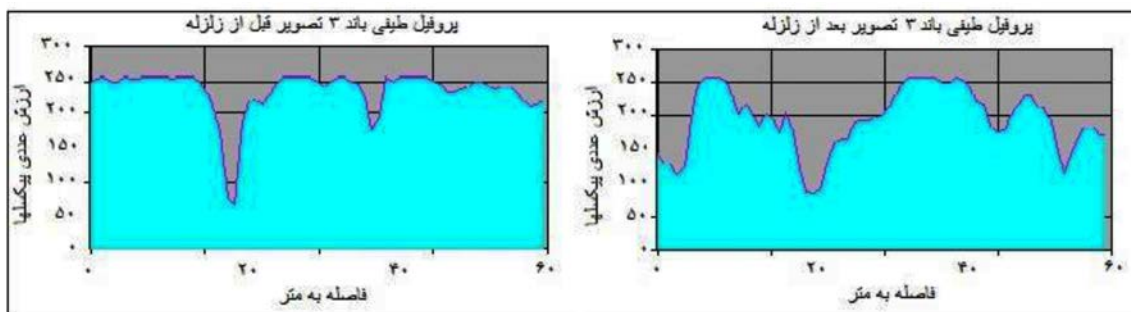
نگاره ۱۰: تصویر
 بلوک‌های ساختمانی
 نمونه موردی دوم



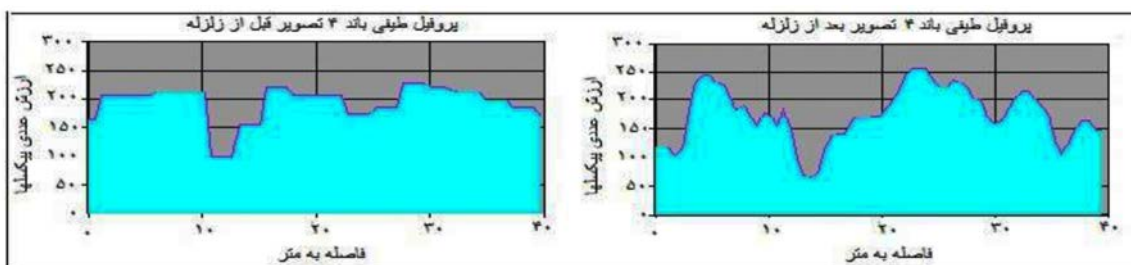
نگاره ۱۱: پروفیل بازتاب طیفی باند ۱



نگاره ۱۲: پروفیل بازتاب طیفی باند ۲



نگاره ۱۳: پروفیل بازتاب طیفی باند ۳



نگاره ۱۴: پروفیل بازتاب طیفی باند ۴

فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (مهر)
 تحلیل پاسخگویی طیفی بافت‌های ساخته شده شهری ... / ۵۵

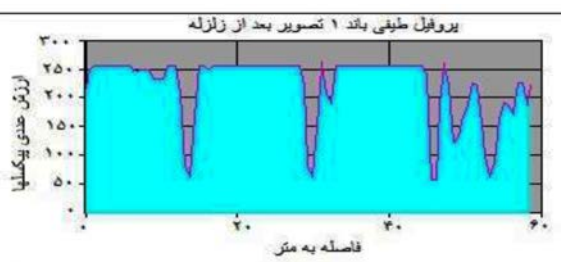
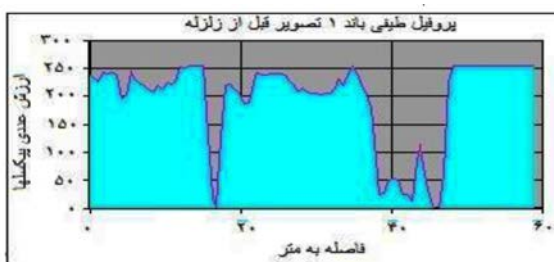
نگاره ۱۵: تصویر
 بلوک‌های ساختمانی
 نمونه موردی سوم



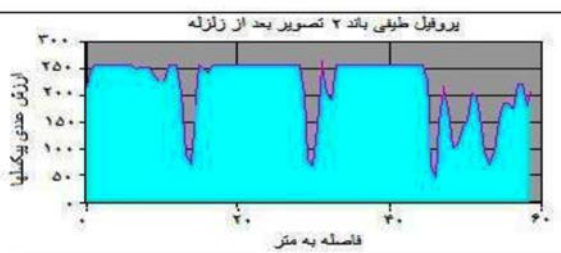
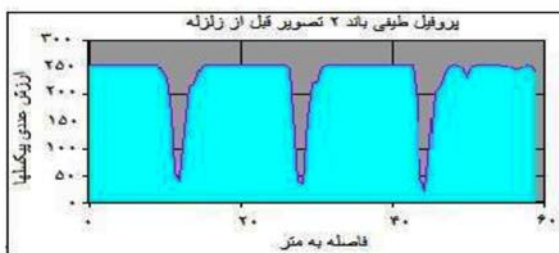
۲۰۰۳



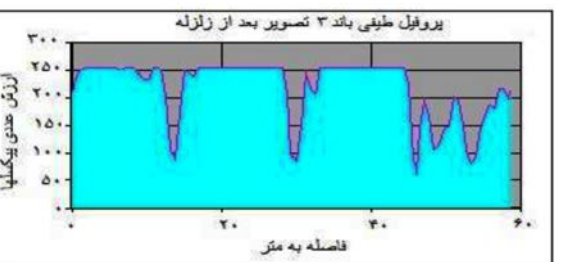
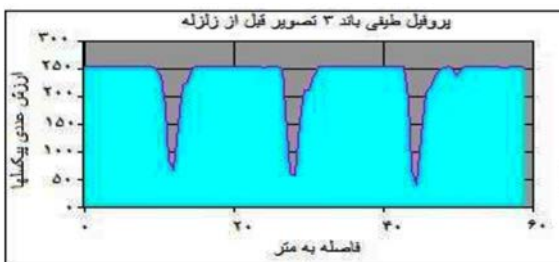
۲۰۰۴



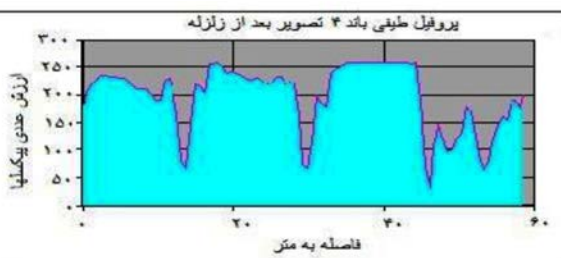
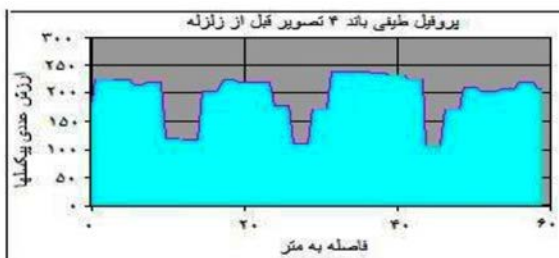
نگاره ۱۶: پروفیل بازتاب طیفی باند ۱



نگاره ۱۷: پروفیل بازتاب طیفی باند ۲



نگاره ۱۸: پروفیل بازتاب طیفی باند ۳



نگاره ۱۹: پروفیل بازتاب طیفی باند ۴

تدریجی نبوده و از شکل پلکانی برخوردار است. ولی با وقوع زلزله و تخریب ساختمان رفتار طیفی همانند باندهای دیگری می شود و بازتابش کاهش یافته و نظم پروفیل طیفی نیز بهم می خورد (نگاره ۱۹).

۵-۴- نمونه موردی چهارم

نگاره ۲۰ نشان دهنده تصویر ماهواره ای چند بلوک ساختمانی چسبیده به هم با سطحی صاف و مواد تشکیل دهنده یک دست است. در این نمونه، بلوک های ساختمانی در اثر زلزله، آسیب ندیده و بصورت سالم مانده اند.

• پروفیل های بازتاب طیفی بلوک های ساختمانی نمونه موردی چهارم در باندهای انعکاسی

در این مورد نیز همانند نمونه موردی قبلی، قبل از وقوع زلزله، با توجه به سطح صاف و مواد تشکیل دهنده آن، بلوک های ساختمانی دارای بازتاب طیفی بالائی (۱۹۰-۲۵۵) در باندهای آبی، سبز و قرمز هستند. ولی پروفیل بازتاب طیفی شان به علت مواد ریز موجود، بصورت نامنظم است. با بررسی پروفیل بازتاب طیفی این بلوک ها در یک قسمت شاهد کاهش شدید و در دو قسمت کاهش اندکی در بازتاب طیفی هستیم. این کاهش بازتاب به علت سایه خرپشته بلوک، در کاهش شدید و اختلاف ارتفاع جزئی بلوک ها در کاهش اندک، بوجود آمده است.

با وقوع زلزله این بلوک ها به صورت تقریباً سالم مانده اند. بررسی پروفیل بازتاب طیفی بعد از زلزله، کاهش کم بازتاب طیفی این بلوک ها را نشان می دهد. این کاهش بازتاب طیفی نیز در اثر تغییرات فصلی و دما اتفاق می افتد (نگاره های ۲۱ و ۲۲ و ۲۳). در باند مادون قرمز، رفتار طیفی قبل از زلزله بلوک های ساختمانی همانند باند مادون قرمز نمونه های موردی دیگر است. ولی شاهد بازتاب طیفی کم نسبت به باندهای دیگر و به هم ریختن شکل پروفیل بازتاب طیفی، در اثر تغییرات فصلی پس از وقوع زلزله هستیم (نگاره ۲۴).

۵-۵- نمونه موردی پنجم

نگاره ۲۵ نشان دهنده تصویر ماهواره ای بنای تاریخی (ارگ بم) با سطحی برجسته با نیم دایره های متوالی از خشت و گل است. همانطوری که از تصویر پیداست این بنای تاریخی در اثر زلزله بصورت کامل تخریب شده است.

• پروفیل های بازتاب طیفی بلوک های ساختمانی نمونه موردی پنجم در باندهای انعکاسی

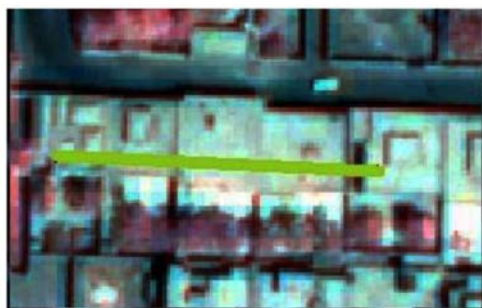
این نمونه موردی، قبل از وقوع زلزله با توجه به مواد تشکیل دهنده یک دست و سطح نا صاف و برجسته مدور شکل متوالی، در باندهای آبی، سبز و قرمز، از بازتاب طیفی بالایی برخوردار است، و تنها بر اساس سایه های ایجاد شده در اثر زاویه تابش و برجستگی های مدوری شکل، کاهش متوالی در منحنی بازتاب طیفی دیده می شود. قسمت هایی از این برجستگی ها که مستقیماً زیر تابش الکترو مغناطیسی قرار دارند بیشترین بازتاب (۲۵۵) را دارند. سایه های ایجاد شده باعث تفکیک بازتاب طیفی این برجستگی های مدور شکل از همدیگر در پروفیل طیفی شده است. ولی پس از وقوع زلزله با تخریب کامل این بنای تاریخی (ارگ بم) بافت منظم و متوالی این بنا در هم می ریزد و باعث تغییر رفتار طیفی این بنا شد. پروفیل بازتاب طیفی با اندکی کاهش بصورت نامنظم در می آید (نگاره های ۲۶ و ۲۷ و ۲۸). در باند مادون قرمز نیز همانند نمونه های موردی دیگر، این بنای تاریخی قبل از زلزله رفتار طیفی متفاوتی نسبت به باندهای دیگر از خود نشان می دهند با توجه به پروفیل طیفی قبل از زلزله کاهش یا افزایش بازتاب به صورت تدریجی نبوده و از شکل پلکانی برخوردار است. ولی با وقوع زلزله و تخریب این بنای تاریخی، بازتاب طیفی کاهش یافته و نظم پروفیل طیفی نیز به هم می خورد (نگاره ۲۹).

۶- نتیجه گیری

بررسی نتایج حاصل از نمونه های موردی مطالعه شده، نشان می دهد که قبل از وقوع زلزله عواملی همچون سایه با کاهش شدید بازتاب در تمامی باندها، پراکنش اتمسفری

فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (سیر)
 تحلیل پاسخگویی طیفی بافت‌های ساخته شده شهری ... / ۵۷

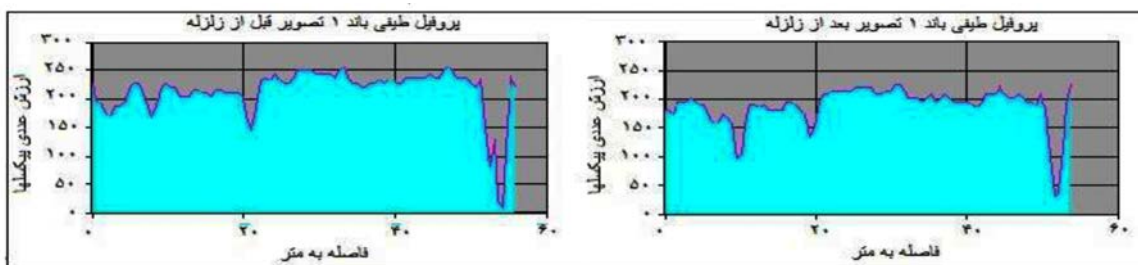
نگاره ۲۰:
 تصویر بلوک‌های
 ساختمانی نمونه
 موردی چهارم



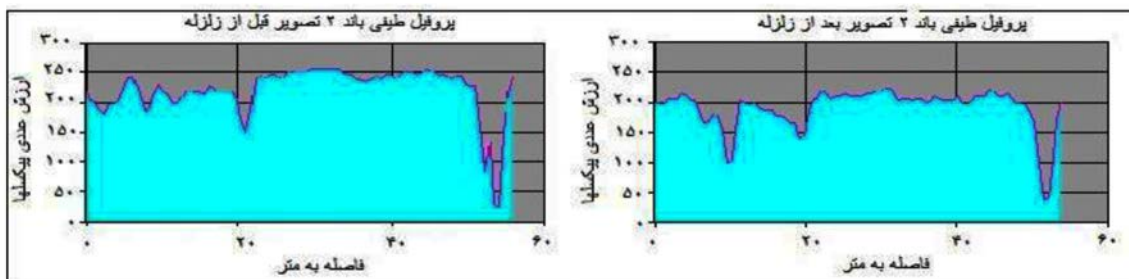
۲۰۰۳



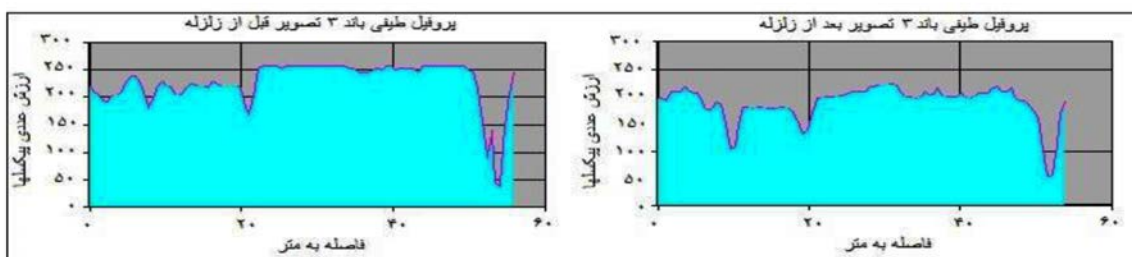
۲۰۰۴



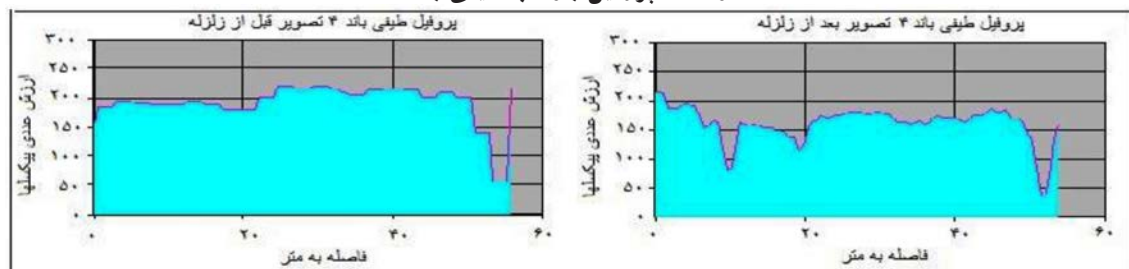
نگاره ۲۱: پروفیل بازتاب طیفی باند ۱



نگاره ۲۲: پروفیل بازتاب طیفی باند ۲

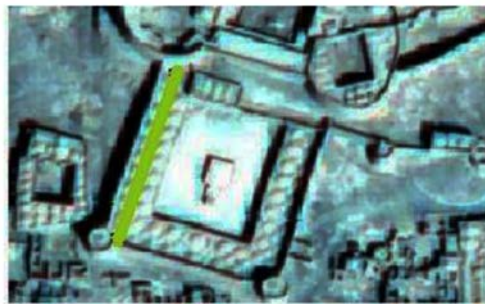


نگاره ۲۳: پروفیل بازتاب طیفی باند ۳



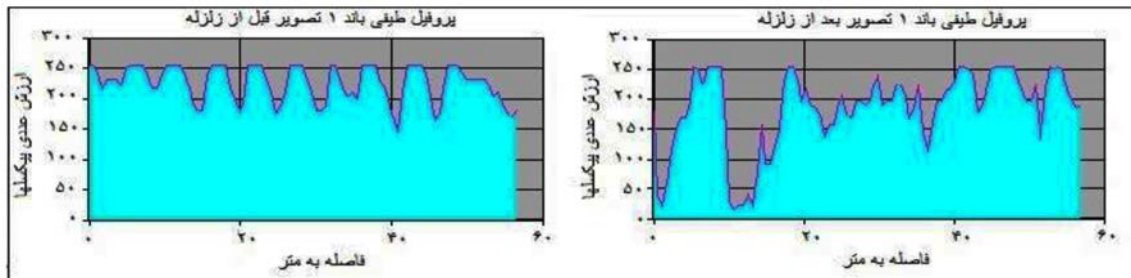
نگاره ۲۴: پروفیل بازتاب طیفی باند ۴

نگاره ۲۵: تصویر
بلوک‌های ساختمانی
نمونه موردی پنجم

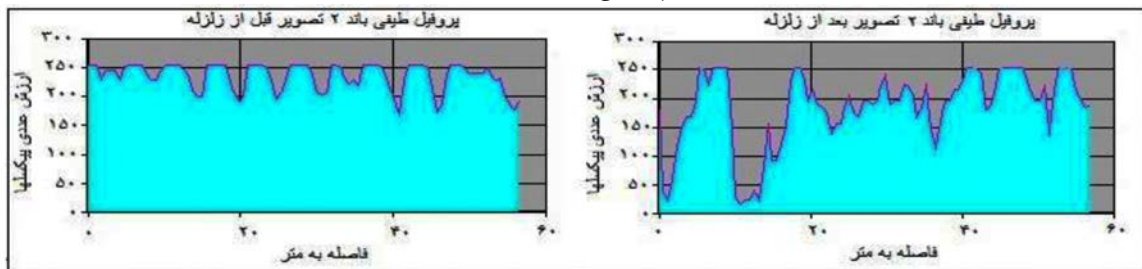


۲۰۰۳

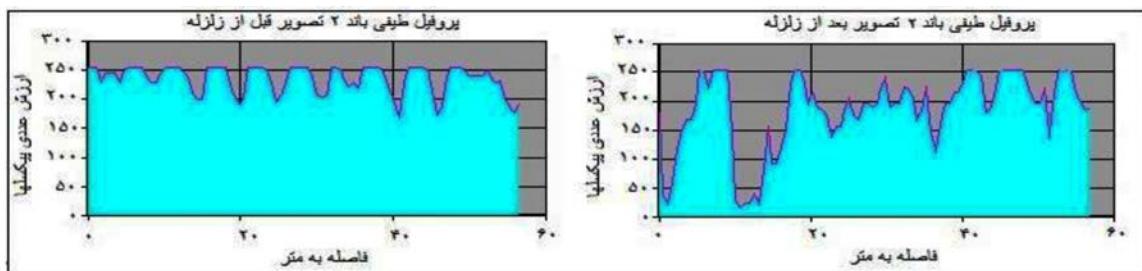
۲۰۰۴



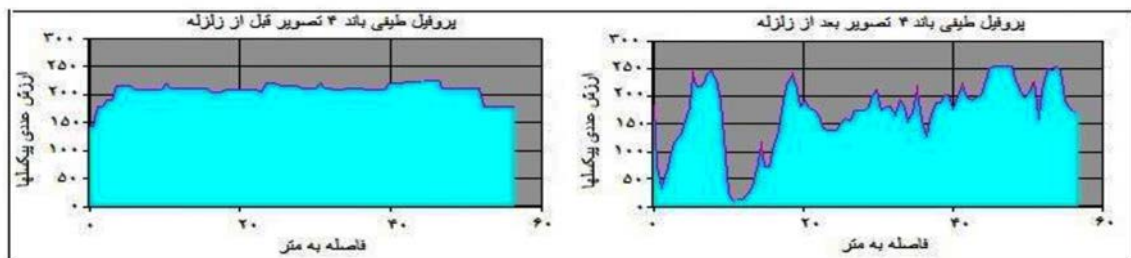
نگاره ۲۶: پروفیل بازتاب طیفی باند ۱



نگاره ۲۷: پروفیل بازتاب طیفی باند ۲



نگاره ۲۸: پروفیل بازتاب طیفی باند ۳



نگاره ۲۹: پروفیل بازتاب طیفی باند ۴

به زاویه تابش و ... از بین رفته و پاسخ طیفی بلوک‌های فرو ریخته یا آسیب دیده در اثر زلزله در این سه باند کاملاً با قبل از زلزله متفاوت است به راحتی می‌توان با تحلیل پاسخگویی طیفی خسارات را برآورد کرد. یکی از معایب روش مذکور این است که برای تحلیل پاسخگویی طیفی نقطه‌ای مناطق آسیب دیده مناسب است و نتایج این روش را نمی‌توان به شکل نقشه طبقه‌بندی نمود ولی در کنار سایر الگوریتم‌های برآورد خسارات و تحلیل پاسخگویی طیفی یکی از دقیق‌ترین روش‌ها می‌باشد.

منابع و مأخذ

- ۱- باسودب، باتا؛ ۱۳۹۴؛ روش‌های تحقیق در سنجش از دور ترجمه علوی پناه؛ ناشر دانشگاه تهران، چاپ اول، ۱۴۱.
- ۲- برگی، خسرو؛ ۱۳۹۴؛ «اصول مهندسی زلزله» انتشارات جهاد دانشگاهی (ماجد)، ۵۵۹.
- ۳- پل ام، میذر؛ ۱۳۸۰؛ «پردازش کامپیوتری تصاویر سنجش از دور» مترجم نجفی دیسفانی م، انتشارات سمت چاپ چهارم، ۴۴۵.
- ۴- رسولی، علی اکبر؛ ۱۳۷۸؛ «مبانی سنجش از دور کاربردی با تأکید بر پردازش تصاویر ماهواره‌ای» دانشگاه تبریز، ۷۷۷.
- ۵- رسولی، محمودزاده؛ علی اکبر، حسن؛ ۱۳۸۹؛ «مبانی سنجش از دور پایه» انتشارات علمیران، ۱۹۲.
- ۶- شمعی، حیدرزاده، لطفی مقدم؛ علی، نجمه، بابک؛ ۱۳۹۲؛ «سنجش عوامل آسیب رسان ناشی از زلزله در منطقه یک تهران با استفاده از GIS»؛ نشریه علمی پژوهشی جغرافیا و برنامه‌ریزی (دانشکده جغرافیا)، سال ۱۷، شماره ۴۳، صفحات ۹۳-۱۲۲.
- ۷- شیعه، حبیبی، ترابی؛ اسماعیل، کیومرث، کمال؛ ۱۳۸۹ «بررسی آسیب پذیری شبکه ارتباطی شهرها در مقابل زلزله با استفاده از روش IHWP و GIS» باغ نظر؛ سال هفتم شماره سیزدهم، صفحات ۳۵-۴۸.
- ۸- عزیززی، همافر؛ میلاد، محمد مهدی؛ ۱۳۹۱؛ «آسیب شناسی لرزه ای معابر شهری (مطالعه موردی محله کارمندان

در طول موج‌های کوتاه با افزایش میزان بازتاب طیفی و سایر عوامل تأثیرگذار همچون، زاویه تابش خورشید، نوع مواد سطح، صافی یا زبری سطح، ساعت روز، ارتفاع و ترتیب قرارگیری بلوک‌ها نسبت به هم و فصل سال اثر قابل توجهی بر پاسخگویی طیفی پدیده‌ها در سه باند آبی، سبز و قرمز دارند و به جز سایه‌ها که بازتاب اندکی دارند بلوک‌های ساختمانی بازتاب نسبتاً بالایی (۲۵۵-۲۳۰) در تمامی باندهای انعکاسی دارند. ولی با وقوع زلزله بافت منظم بلوک‌های ساختمانی در هم تنیده و سقف بلوک‌ها ریخته شده است، و موارد تشکیل دهنده دیگر آن ترتیب قبلی را ندارند. برای مثال ایزوگام پشت بام ساختمان‌ها که دارای بازتاب بالایی هستند با آوارهای ریخته شده مخلوط شده‌اند. آن قسمت‌هایی که در بیرون آوار هستند بازتاب بالایی دارند و آوارهای ریخته شده، انعکاس کم و نامرتب دارند. در این میان باند مادون قرمز با طول موج بلندتر و شکل منحنی طیفی پلکانی خود بعد از وقوع زلزله، کمتر از سه باند آبی، سبز و قرمز از عوامل مذکور تأثیر پذیرفته است و تنها سایه‌ها و مواد تشکیل دهنده اثر قابل توجهی بر پاسخگویی طیفی بلوک‌های ساختمانی در این باند دارند. بصورت کلی میزان انعکاس بلوک‌های شهری در تمامی باندهای طیف انعکاسی، پس از زلزله بصورت قابل ملاحظه‌ای کاهش یافته و شکل مرتب منحنی بازتاب طیفی از بین رفته است. با توجه به یافته‌های حاصل از تحقیق و با توجه به اینکه، باند مادون قرمز انعکاسی بدلیل ماهیت متفاوت خود و همچنین داشتن طول موج بلندتر نسبت به سایر باندهای انعکاسی، زلزله و پیامدهای آن کمترین تأثیر را در پاسخگویی طیفی بافت‌های ساخت شده در این طول موج دارد، بنابراین با تحلیل پاسخگویی طیفی این باند نمی‌توان خسارات حاصل از زلزله را با دقت برآورد کرد ولی با تحلیل پاسخگویی طیفی پدیده‌ها در سه باند آبی، سبز و قرمز، می‌توان با تحلیل پاسخگویی طیفی خسارات وارده بر بافت‌های ساخت شده شهری را با دقت بیشتری برآورد کرد. چون بعد از وقوع زلزله، همه عوامل تأثیرگذار قبلی چون سایه‌ها، نظم کلی بلوک‌ها، صافی سطوح نسبت

- 21- Jensen. J.R, 2006, Remote sensing of the environment an earth resource perspective, 2edn. Prentice Hall, Upper Saddle River, 445.
- 22- Kosso P, 2011, A Summary of scientific metho, Springer Heidelberg Kuhn TS, 3rd, university of Chicago press, Chicago and London, 212.
- 23- Kohiyama. M, Yamazaki. F, 2005, Damge detection for 2003 Bam (Iran) earthquake using Terra-Aster satellite Imagery, earthquake spectra, Vol 21, 267-274.
- 24- Lillesend. T. M, and Kiefer. P. W, 1994, Remote sensing and image interpretation, john Wiley & Sons, Inc, USA
- 25- Lunetta. S. R, and Elvidge. D, 1999, Remote sensing change detection (Environmental Monitoring Methods and Applications). Taylor & Francis, New York, 334.
- 26- Martinelli. A, Cifani. G, Cialone. G, Corazza. L, Petracca. A, Petrucci. G, 2008, Building vulnerability assessment and damage scenarios in Celano (Italy) using a quick survey data-based methodology, Soil Dynamics and Earthquake Engineering 28, 875- 889.
- 27- Matsuoka. M, Yamazaki. F, 2005, Building damage mapping of the 2003 Bam (Iran) earthquake using Envisat/A SAR intensity imagery, earthquake spectra, Vol 21, s285-s294.
- 28- Saito. K, Spence. R, Foley. C, 2005, Visual damage assessment using high-resolution satellite images following the 2003 Bam (Iran) earthquake, earthquake spectra, Vol 21, pp309-318.
- 29- UNDP, 2004, reducing disaster Risk, A Challenge for Development Zadeh. LA, (1965), Fuzzy sets, Information and Control 8, 338- 353.
- 30- Vu. T, Matsuoka. M, Yamazaki. F, 2005, Detection and Animation of damage using very high-resolution satellite data following the 2003 Bam (Iran) earthquake, earthquake spectra, Vol 21, s319-s327.
- 31- Yamazaki. F, Yano. Y, Matsuoka. M, 2005, Visual damage interpretation of buildings in Bam city using Quick brid images following the 2003 Bam (Iran) earthquake, earthquake spectra, Vol 21, 329-336.
- 32- Yano. Y, Yamazaki. F, Matsuoka. M, Vu. T. T, 2004, Building damage detection of the 2003 Bam (Iran) earthquake using Quick Bird image, seismological society of America, 84, 1831-1841, proceeding of the 25th Asian Conference on Remote Sensing, CD-ROM.
- کرج» نشریه هنرهای زیبا- معماری و شهرسازی شماره ۳ دوره ۱۷ صفحات ۵-۱۵.
- ۹- علوی پناه، سید کاظم؛ ۱۳۹۵؛ «کاربرد سنجش از دور در علوم زمین (علم خاک)»؛ انتشارات دانشگاه تهران، چاپ هشتم، ۴۹۶.
- ۱۰- کوران، پل؛ ۱۳۷۳، «اصول سنجش از دور»؛ ترجمه رضا حائر؛ انتشارات مرکز سنجش از دور ایران، ۲۷۸.
- ۱۱- لیلند و کیفر، ۱۳۹۱؛ «اصول و مبانی سنجش از دور و تعبیر و تفسیر تصاویر هوایی و ماهواره‌ای»؛ ترجمه مالمیریان؛ سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح- ۳۵۰.
- ۱۲- مباشری، محمدرضا؛ ۱۳۹۳؛ «مبانی فیزیک در سنجش از دور و فناوری ماهواره‌ای»؛ انتشارات دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، چاپ اول، ۵۹۲.
- ۱۳- مجد، زبیری؛ علیرضا، محمود؛ ۱۳۹۲؛ «آشنایی با فن سنجش از دور و کاربرد در منابع طبیعی»؛ انتشارات دانشگاه تهران، چاپ دهم، ۳۱۸.
- ۱۴- ملاحظت، اورنگ؛ ۱۳۸۶؛ «سنجش کیفیت محیط در بازسازی پس از سانحه (مطالعه موردی فضای عمومی شهر بم)»؛ پایان‌نامه کارشناسی ارشد، مجتبی رفیعیان، دانشگاه تربیت مدرس.
- 15- Bhatta B, 2011, Research Methods in Remote Sensing, Oxford university press, 128.
- 16- Bhatta B, 2011, Remote Sensing and GIS, 2nd edn, Oxford university press, 321.
- 17- Brunner. D, Lemoine. G, Bruzzone. L, 2010, Earthquake Damage assessment of Buildings Using VHR Optical and SAR Imagery, IEEE Transactions on Geoscience and Remote sensing, Vol. 48.2403- 2420.
- 18- Chini. M, Cinti. F. R, Stramondo. S, 2011, Co-seismic surface effects from very high resolution panchromatic image: the case of the 2005 kashmir (pakistan) earthquake, Nat Hazards, Vol 11, 931-943.
- 19- Chiroiu. L, 2005, Damage assessment of the 2003 Bam (Iran) earthquake using Ikonos Imagery, earthquake spectra, Vol 21, Page 219-224.
- 20- Derya. O, 2004, Post_earthquake Damage assessment using satellite and aerial video imagery, thesis submitted for international institute of geo information science.