



بررسی کارایی روش‌های ارزیابی خسارات ناشی از زلزله با استفاده از تصاویر فضایی (بررسی موردی: زمین لرزه سرپل ذهاب)

حسن اعلی¹، علیرضا شریفی^{2*} و عباس مالیان²

¹ دانشجوی کارشناسی ارشد سنجش از دور، گروه مهندسی نقشه برداری، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی
² استادیار، گروه مهندسی نقشه برداری، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی
 a_sharifi@sru.ac.ir

چکیده: هرساله بیش از یک میلیون زمین لرزه در جهان رخ می‌دهد. پس از وقوع یک زلزله، یافتن محل و میزان ساختمان‌های آسیب دیده ضروری است. با پیشرفت تکنولوژی، ماهواره‌های سنجش از دور به دلیل هزینه معقول و اخذ سریع داده به یک ابزار منحصربفرد در مطالعات زمین لرزه تبدیل شده است. زلزله شهر سرپل ذهاب یکی از زمین لرزه‌های مخربی است که خسارات زیادی را به همراه داشته است. در این پژوهش استفاده از تکنیک‌های چندزمانی آشکارسازی برای بررسی تغییرات ناشی از زلزله و بومی سازی این فرایند و نیز استفاده از روش‌های مختلف طبقه بندی تصویر به منظور ارزیابی توانایی آنها در شناسایی ساختمان‌های آسیب دیده در داده‌های ماهواره‌ای با وضوح متوسط مدنظر است. هدف نخست این پژوهش، بدست آوردن بهترین نقشه تخریب مناسب برای ساختار شهری ایران از طریق مقایسه نقشه‌های تغییر خروجی با داده‌های مرجع حاصل از گزارش‌های میدانی دقیق و بازدیدهای سرزمینی و بومی‌گزینی الگوریتم‌های تشخیص تغییرات می‌باشد. درگام آخر بررسی کاربردهای مختلف نقشه تغییرات مدنظر قرار گرفت. نتایج نشان می‌دهد که روش طبقه بندی ماشین بردار پشتیبان در مقایسه با روش شبکه بندی عصبی از دقت بالاتری برخوردار بوده است. دقت کلی با استفاده از روش ماشین بردار پشتیبان برای نقشه تغییرات بدست آمده در تصاویر سنتینل 0.85 و برای تصویر لندست 0.64 بوده است. در حالیکه دقت کلی با استفاده از روش شبکه بندی عصبی برای نقشه تغییرات در تصاویر سنتینل 0.80 و لندست 0.61 می‌باشد که نشان از کارآمدی تصاویر سنتینل در کنار روش ماشین بردار پشتیبان برای اقلیم ایران است.

کلمات کلیدی: زلزله، سرپل ذهاب، سنجش از دور، آشکارسازی تغییرات، تشخیص تغییرات، طبقه بندی تصویر، تصاویر ماهواره‌ای.

Investigation of the Effectiveness of Earthquake Damage Evaluation Methods Using Space Images (Case Study: Sarpol-Zahab Earthquake)

H. Aali, A. Sharifi and A. Malian

Abstract: About more than one million earthquakes occur in the earth, yearly. In an earthquake, finding the location of epicenter and the extent of damaged buildings are essentials. With the advance of technology, remote sensing satellites have become a unique instrument in earthquake studies due to the reasonable cost and rapid acquisition of data. The earthquake in Sarpol-Zahab is one of the most devastating earthquakes that has caused great damage. The use of multiple detection techniques to investigate the effects of earthquake and to localize this process, as well as the use of different image classification methods to evaluate their ability to identify the damaged buildings in medium-resolution satellite images are essential considerations in this work. The main objective of this study is to obtain the best changes map for the urban structure of Iran by comparing the output. The final achievement is to examine the different applications of the changes maps. The results show that the method of Support Vector Machine (SVM) classification compared to the Neural Network classification method has been more accurate. The overall accuracy was obtained by using the SVM method for the changes map obtained in Sentinel 0.85 and Landsat 0.64. While the overall accuracy of the Neural Network method in the change maps obtained from Sentinel images is 0.80 and from Landsat images is 0.61, which indicate the effectiveness of Sentinel images along with the SVM for Iran.

Keywords: Earthquake; Sarpol-Zahab; Remote Sensing; Change Detection; Image Classification; Satellite.

1 - مقدمه

زلزله، مهمترین مخاطره طبیعی است که همراه با فروپاشی ساختمان ها و تاسیسات زیربنایی در مناطق شهری و حتی اطراف آن، میلیون ها انسان را از بین می برد. از این رو، بررسی گسترده و فوری برای ثبت الگوهای تخریب به شدت مورد نیاز است. تحقیق در مورد سطح آسیب و میزان توزیع و گستردگی آنها پس از یک زلزله مخرب، دارای اهمیت ویژه برای برنامه ریزی امدادسانی و عملیات نجات در درجه اول و پیشگیری از حوادث احتمالی بعدی در درجه دوم است. بیش از یک میلیون زمین لرزه بزرگ و کوچک در سراسر جهان در هر سال رخ می دهد که تقریباً برابر با وقوع دو زمین لرزه در هر دقیقه است. در طول سالهای 2001 تا 2011، بیش از 780000 مرگ و میر ناشی از زلزله به وقوع پیوسته است که طبق آمار فعلی، عامل زمین لرزه تقریباً 60٪ از کل مرگ و میر ناشی از مخاطرات طبیعی را به خود اختصاص می دهد [1, 2].

پس از وقوع زمین لرزه، شناسایی میزان تخریب و نیز گستردگی مناطق آسیب دیده از اهمیت زیادی برخوردار است. فن آوری سنجش از راه دور می تواند نقش مهمی در تشخیص سریع توزیع خسارات قبل از شروع عملیات نجات و در نتیجه ارزیابی اثرات زلزله ای داشته باشد آسیب ساختمان ناشی از زلزله یکی از مهمترین تهدیدات شهرها است. محدوده آسیب، میزان تخریب ساختمان ها، میزان آسیب در ناحیه آسیب دیده و نوع آسیب های ناشی از زلزله در هر ساختمان، اطلاعات ضروری برای نجات و بازسازی موفق در مناطق فاجعه دیده است [3-5].

طبق بررسی های صورت گرفته، استفاده از روش های طبقه بندی پیکسل مبنا و نیز روش های آشکارسازی تغییرات ساده تر مانند تفاضل و یا نسبت، و استفاده از تصاویر ماهواره ای با وضوح بسیار بالا به دلیل در دسترس بودن برای ارگان ها و متولیان امر رواج داشته است. همچنین از روش های جدید طبقه بندی تصاویر از جمله شیئی مبنا، ماشین بردار پشتیبان و غیره و نیز داده های با وضوح متوسط و حتی پایین تر در امر آشکارسازی تغییرات ناشی از زلزله استفاده کمی شده و حتی می توان گفت که استفاده ای از داده های با توان تفکیک متوسط و پایین در آشکارسازی تغییرات ناشی از وقوع زلزله صورت نگرفته است [7-9]. در نهایت، دلایلی از جمله بومی گزینی روش های آشکارسازی تغییرات موجود، در دسترس نبودن

تصاویر ماهواره ای با توان تفکیک مکانی بسیار بالا به علت هزینه بالا و تحریم آنها، متفاوت بودن روش های ارزیابی، طبقه بندی، آشکارسازی و نیز تعدد کاربرد نقشه های تولیدی و غیره، از جمله دلایل مدنظر ما برای ارزیابی و مقایسه نتایج آشکارسازی تغییرات ناشی از زلزله به کمک داده های با وضوح متوسط از جمله لندست می باشد که به کمک روش های متعدد طبقه بندی و آشکارسازی انجام گرفته است.

الگوریتم ها و روش های سنجش از دوری متعددی برای بررسی میزان و پراکندگی تخریب ناشی از وقوع زلزله در نقاط شهری و روستایی مختلف جهان پیاده سازی و عملیاتی گردیده است که اکثر آنها تصاویر با وضوح مکانی بالا از منطقه در اختیار داشتند و نیز ساختار شهری آنها، برخلاف ایران، منظم و دارای شکل هندسی است. هدف ما از بررسی بلوک به بلوک (در تصاویر با وضوح مکانی متوسط) و نیز بررسی پیکسل به پیکسل (در تصویر با وضوح مکانی بالا) و مقایسه روش های پیاده شده و نقشه تغییرات خروجی آنها، در گام اول، بومی سازی این فرایند و تطابق دادن آن با شرایط اقلیمی و ساختاری ایران است و در گام دوم، مقایسه داده ها، روش های طبقه بندی و آشکارسازی و نیز نقشه تغییرات حاصل از آنها می باشد. نتایج حاصل از انجام این فرایند پیشنهادی و یافتن بهترین نقشه تغییرات به کمک مقایسه خروجی های مختلف، می تواند در مدیریت و برنامه ریزی های کوتاه مدت، میان مدت و حتی بلند مدت زلزله مفید واقع شود. یکی از اهداف مهم و کاربردهای نقشه تغییرات تولیدی، یافتن مکان هایی است که بدون تغییر باقی مانده اند تا بتوان از آنها جهت اسکان موقت و انبار مدیریت بحران استفاده کرد. با بررسی توزیع تخریب ها به کمک نقشه تغییرات حاصل می توان ارتباطات گسل های موجود در منطقه با ساختارهای تخریب شده را بررسی کرد. همچنین ارتباطات نواحی شامل ساختمان های با قدمت بیشتر و دارای تراکم، وجود رودخانه میان شهر و سایر عوامل نیز با تخریب های شهری قابل بررسی خواهد بود.

2- روش شناسی

چارچوب آشکارسازی تغییرات معمولاً از مجموعه داده های چند زمانه استفاده می کند تا به صورت کیفی اثرات زمانی پدیده را تحلیل کرده و به صورت کمی تغییرات را

پس از انجام مراحل فوق ، باید آنها را با یک نقشه تغییرات مرجع به عنوان حقایق زمینی برای سنجش دقت و اعتبار نقشه های تولید شده و بررسی اثربخشی آنها برای تشخیص تغییرات زلزله مقایسه نماییم. در این پژوهش، یک تصویر با وضوح بالای ماهواره ای پلادیاز 1 مربوط به پس از زلزله، به عنوان تصویر مرجع و حقیقت زمینی در نظر گرفته شده است. همچنین گزارش های میدانی نیز برای ارزیابی و صحت سنجی در سطح بالاتر برای کنترل نقشه مرجع مدنظر قرار گرفته است. در نهایت، چهار نقشه تغییرات تولید شده در مراحل قبلی به منظور اعتبار سنجی و ارزیابی آنها با نقشه مرجع حاصل مقایسه می شود تا کارایی آنها مورد بررسی قرار گیرد.

2-1 منطقه مطالعاتی

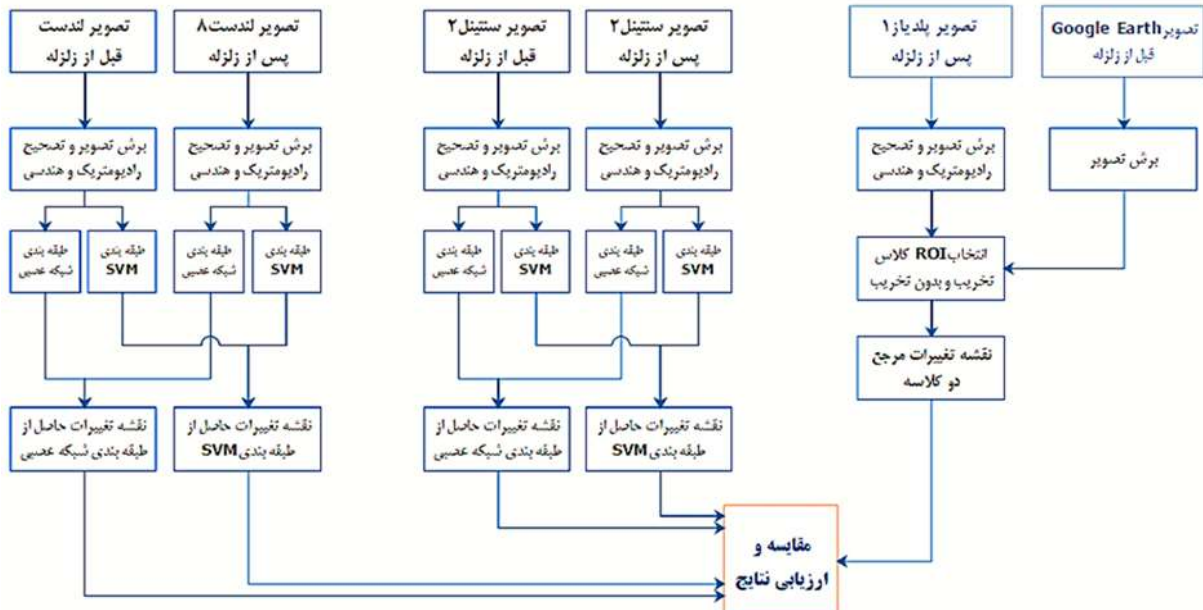
سرپل ذهاب یکی از شهرهای استان کرمانشاه ایران و مرکز شهرستان سرپل ذهاب است. این شهر مرزی ایران در زمان جنگ ایران و عراق به شدت آسیب دید اما بعد از جنگ بازسازی شد. این شهر در 45 درجه و 52 دقیقه طول شرقی و 34 درجه و 24 دقیقه عرض جغرافیایی و در غرب کشور و منتهی الیه شیب ارتفاعات زاگرس بر سر راه بین المللی تهران-بغداد واقع گردیده است. این شهر یک شامل ارتفاعات و تپه های متعددی بوده و رودخانه دائمی الوند از میان این شهر عبور می کند. آب و هوای آن نسبتاً گرم و نیمه خشک است. زلزله تاریخی 958 هجری قمری، با قدرت 6.8 ریشتر باعث ویرانی کامل و مرگ بسیاری شد. زمین لرزه بزرگ بعدی در این منطقه در سال 1226 و با قدرت 6.5 ریشتر در گسل زاگرس بالا رخ داد. زمین لرزه 5/7 ریشتری در سال 1967 و زلزله 5.1 در سال 1983، از جمله زلزله های مهم در شهر سرپل ذهاب بود که باعث تلفات زیادی شده است.

زمین لرزه شدیدی شامگاه 21 آبان 1396 با قدرت 7/3 درجه در مقیاس ریشتر استان های کرمانشاه، ایلام و کردستان و بخش های گسترده ای از غرب و شمال غرب کشور را لرزاند. کانون این زلزله به علت نزدیکی به شهر سرپل ذهاب بیشترین خسارات را به این شهر وارد کرد. در اثر این زلزله خسارات زیادی به شهر وارد گردید و بیش از 738 کشته بر جای گذاشت. پس از زلزله ای که در شهر سرپل ذهاب رخ داد، شمار بسیاری کشته و زخمی شدند و ساختمان های بسیاری تخریب گردید.

مشخص کند. روش مقایسه پس رده بندی ، یک روش ساده و کارآمد برای آشکارسازی تغییرات است و شامل تجزیه و تحلیل اختلاف طیفی بین دو داده تصویری طبقه بندی شده مربوط به زمان های قبل و بعد از حادثه است. معایب اصلی این رویکرد، وابستگی بالای نتایج به دقت طبقه بندی است که در این پژوهش سعی گردیده در مرحله طبقه بندی تصاویر، با بهره گیری از بازدیدها و گزارش های دقیق میدانی، تصاویر بهنگام گوگل ارث ، عکس های هوایی و نقشه های مختلف آسیب، دقت و صحت انجام طبقه بندی افزایش یابد [11,12].

به دلایل مختلف از جمله در دسترس نبودن داده های با توان تفکیک مکانی بالا، گران بودن و به صرفه نبودن تهیه آنها برای اکثر کشورها از جمله ایران، از تصاویر با توان تفکیک متوسط مانند سنتینل 2 و لندست 8 جهت امکان سنجی در تشخیص صحیح تغییرات استفاده شد. این دسته از داده ها برای آشکارسازی تغییرات و برآورد آسیب در سطح بلوک های ساختمانی مناسب است و برای تخمین تخریب در سطح تک تک ساختمان ها، باید از تصاویر با توان تفکیک بسیار بالا بهره برد. برای بررسی اعتمادپذیری این نوع داده ها در تشخیص تغییرات، دو روش طبقه بندی شبکه عصبی و ماشین بردار پشتیبان به کارگیری شد و سپس 4 نقشه تغییرات (حاصل دو زوج تصویر از دو سنجنده لندست 8 و سنتینل 2 و پیاده سازی دو روش طبقه بندی) ایجاد شد.

روش های طبقه بندی مبتنی بر پیکسل به طور گسترده ای برای بررسی و شناسایی ویژگی های مختلف تصویر در زمینه های طبقه بندی و شناسایی تغییرات مورد استفاده قرار گرفته است [13,14]. با توجه به سطح دسترسی محدود به داده ها و تصاویر ماهواره ای با وضوح بالا متعلق به منطقه ، دو تصویر قبل و پس از زلزله ماهواره لندست 8 و دو تصویر قبل و بعد رویداد متعلق به ماهواره سنتینل 2 و نیز تک تصویر ماهواره پلادیاز 1 مربوط به پس از زلزله جمع آوری گردید. پس از اعمال تصحیحات و پیش پردازش های لازم، بر اساس الگوریتم پیشنهادی، ابتدا جفت تصاویر (قبل و بعد از زلزله) در ماهواره های لندست و سنتینل به دو روش طبقه بندی ماشین بردار پشتیبان و شبکه عصبی، در دو رده: تخریب و بدون تخریب طبقه بندی می گردند.



شکل 1. مراحل کاری پژوهش

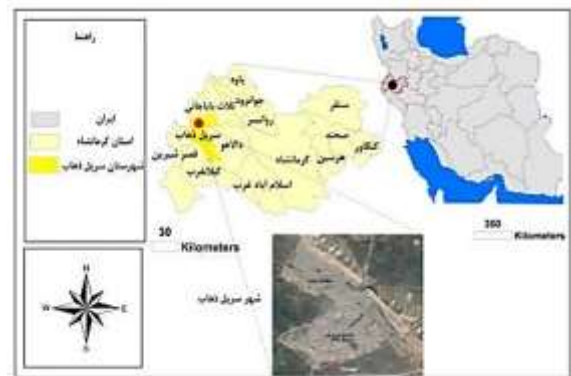
Fig. 1. Research process

پوشش ابر بالا، قابل استفاده نبود و به ناچار از تصویر بعدی آن (تاریخ 12 دسامبر 2017) استفاده شد. نکته مهم در انتخاب تصاویر، نزدیک بودن برداشت آنها به تاریخ رخداد زلزله می باشد تا بتوان تضمین داد که هر تغییری در نتیجه زلزله رخ داده است. بخش دوم داده ها نیز شامل تصاویر گوگل ارث، تصاویر هوایی در دسترس، نقشه های توپوگرافی، مدل رقومی ارتفاعی منطقه، نقشه گسل شهر و نیز نقشه های تخریب شده توسط ارگان های مختلف برای افزایش دقت طبقه بندی تصاویر و نیز مقایسه بصری با نتایج این پژوهش بوده است. مشخصات ماهواره ها و داده های به کار برده شده در جدول زیر آورده شده است.

جدول 1. مشخصات داده های مورد استفاده در پژوهش

Table 1. Data specification used in research

نوع داده	ماهواره	تاریخ تصویربرداری	سختابنده	تعداد باند (باند)	تعداد روز
فضایی	Pleiades-1	2017-11-28	Panchromatic	0.5	1 روز
			Multispectral	2	
	لندست 8	2017-11-10 2017-12-12	Panchromatic	15	16 روز
			Multispectral	30	
	سنیتینل 2	2017-11-10 2017-12-10	Panchromatic	10	5 روز
			Multispectral	20	



شکل 2. موقعیت استان کرمانشاه و شهر سرپل ذهاب

Fig. 2. Location of Kermanshah Province and Sarpol Zahab City

2-2 داده های مطالعاتی

مطالعه موردی این پژوهش، زلزله ای است که در تاریخ 21 آبان ماه 1396 در ساعت 18:18 در شهر سرپل ذهاب با قدرت 7.3 ریشتر رخ داد. با توجه به سطح دسترسی محدود به داده ها و تصاویر ماهواره ای با وضوح بالا و نیز پیرو رسالت این پژوهش مبنی بر مقایسه نتایج آشکارسازی در روش ها و تصاویر مختلف، بخش نخست و اصلی داده ها شامل دو تصویر قبل و پس از زلزله ماهواره لندست 8 و دو تصویر قبل و بعد زلزله متعلق به ماهواره سنیتینل 2 و نیز تک تصویر ماهواره Pleiades I مربوط به پس از زلزله با همکاری سازمان فضایی ایران جمع آوری گردید. لازم به ذکر است تصویری در تاریخ 26 نوامبر (اولین تصویر ماهواره لندست 8 از منطقه پس از زلزله) به دلیل درصد

نرم افزار انوی کمک گرفته شد، سپس دو تصویر قبل و بعد زلزله مربوط به هر سنجنده با یکدیگر تطبیق هیستوگرام گردید. در مورد پیش پردازش تصویر سنجنده پلادیاز 1 نیز از نرم افزار اسنپ استفاده گردید.

3-2 طبقه بندی تصاویر و تهیه نقشه تغییرات

با استفاده از طبقه بندی تصاویر عضویت یک پیکسل به یک کلاس تعیین میشود. به طور کلی طبقه بندی شامل دو روش کلی طبقه بندی نظارت نشده و طبقه بندی نظارت شده می باشد. در روش طبقه بندی با نظارت، نوع و مکان برخی از انواع پوشش های زمین مثل منطقه شهری، کشاورزی، آب و از قبیل آن شناخته شده هستند. این شناخت از ترکیبی از کار میدانی، تفسیر عکس های هوایی، تجزیه و تحلیل نقشه ها و تجربه ی شخصی قابل حصول است. لازم است کاربر مکانهای مخصوصی را در داده های تصویری که نماینده مناطق یکدستی از پوششهای زمین که شناخته شده هستند را معین کند. این مکان ها را به دلیل خصوصیات طیفی آنها در آموزش الگوریتم طبقه بندی برای تهیه نقشه نهایی، معمولا مناطق آموزشی می نامند. در طبقه بندی بدون نظارت، نوع و مکان انواع پوششهای زمین که قرار است به عنوان کلاس تعیین شوند، معمولا از قبل شناخته شده نیستند. دلیل این امر در این است که اطلاعات زمینی مرجع یا وجود ندارد و یا عوارض سطح زمین در صحنه تصویر برداری شده، خوب تعریف نشده اند. بنابراین از الگوریتم خواسته میشود که پیکسل های دارای خصوصیات طیفی مشابه از لحاظ برخی معیارهای آماری معین را در یک خوشه واحد گروه بندی کند. سپس، کاربر خوشه های طیفی را برچسب گذاری کرد و آنها را ترکیب کرده و در کلاس های اطلاعات قرار میدهد. در این مقاله هر دو روش از نوع طبقه بندی نظارت شده هستند [17,18].

در این مرحله از فرایند پژوهش، طبقه بندی تصاویر انجام می گیرد. رده های در نظر گرفته شده برای طبقه بندی زوج تصاویر مربوط به سنجنده های لندست 8 و سنتینل 2 در جدول زیر آورده شده است:

3- پیاده سازی و نتایج

روش های طبقه بندی مبتنی بر پیکسل به طور گسترده ای برای بررسی و شناسایی ویژگی های مختلف تصویر در زمینه های طبقه بندی و شناسایی تغییرات مورد استفاده قرار گرفته است. منطق این روش ها بر این اساس است که تک پیکسل ها، نماینده خوبی برای اطلاعات تصویری بوده که طبیعتا برای تصویرهای همگن مناسب هستند. [15,16]

پس از هم مرجع سازی تصاویر نسبت به یکدیگر و اعمال تصحیحات و پیش پردازش های لازم، بر اساس الگوریتم پیشنهادی، ابتدا جفت تصاویر (قبل و بعد از زلزله) در ماهواره های لندست و سنتینل به دو روش طبقه بندی ماشین بردار پشتیبان و شبکه عصبی، در دو رده: تخریب و بدون تخریب طبقه بندی می گردند. پس از انجام مراحل فوق، اکنون باید آنها را با یک نقشه تغییرات مرجع به عنوان حقایق زمینی برای سنجش دقت و اعتبار نقشه های تولید شده و بررسی اثربخشی آنها برای تشخیص تغییرات زلزله مقایسه نماییم. در این پژوهش، همانطور که در فصل قبلی بیان گردید، یک تصویر با وضوح بالای ماهواره ای پلادیاز 1 مربوط به پس از زلزله، با مشخصاتی که در جدول پیوست آورده شد، به عنوان تصویر مرجع و حقیقت زمینی در نظر گرفته شده است. همچنین گزارش های میدانی نیز برای ارزیابی و صحت سنجی در سطح بالاتر برای کنترل نقشه مرجع مدنظر قرار گرفته است. در نهایت، چهار نقشه تغییرات تولید شده در مراحل قبلی به منظور اعتبار سنجی و ارزیابی آنها با نقشه مرجع حاصل مقایسه می شود تا کارایی آنها مورد بررسی قرار گیرد.

3-1 پیش پردازش

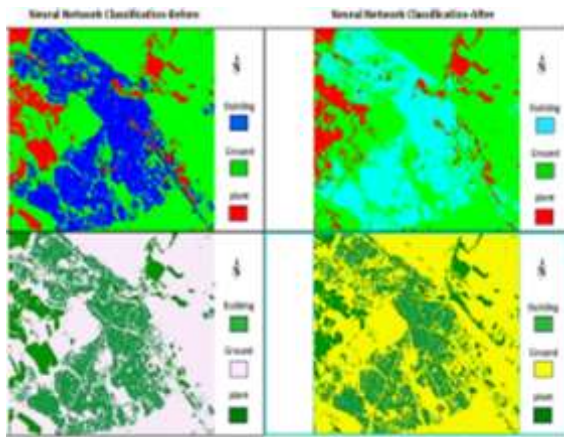
به منظور بهسازی کیفیت داده ها و حذف خطاهای هندسی و رادیومتریک، مرحله پیش پردازش و آماده سازی تصاویر به صورت مجزا در نرم افزار انوی نسخه 5.3 و متلب انجام گردید. منظور از پیش پردازش، برش تصویر، انجام تصحیحات نوری، کاهش اثر جو، بهنجارسازی و نیز تصحیحات موردنیاز هندسی است که باید بر روی هر یک از تصاویر اعمال گردد. تصاویر نهایی لندست 8 پس از انجام پیش پردازش های مختلف در ادامه نشان داده شده است. به منظور اعمال تصحیح های رادیومتریک و کاهش اثر جو در تصاویر لندست 8 و سنتینل 2 از روش فلاش در

جدول 2. کلاس های تعریف شده برای زوج تصاویر لندست و

سنتینل

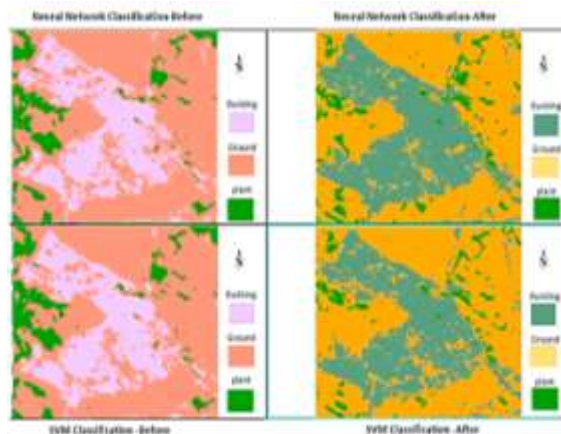
Table 2. Classes defined for the coupled Landsat and Sentinel images

رده ها	جزئیات
ساختمان	ساختمان ها و سوله ها
زمین لخت یا خاک	زمین های بایر و ساختمان های ویران شده
پوشش گیاهی	زمین های کشاورزی و مرتع، پوشش های گیاهی، درختان و چمن



شکل 3. طبقه بندی تصاویر سنتینل 2؛ قبل و بعد از زلزله؛ با دو روش ماشین بردار و شبکه عصبی

Fig. 3. Sentinel image classification 2; before and after earthquakes; with two methods of svm and neural network



شکل 4. طبقه بندی تصاویر لندست 8؛ قبل و بعد از زلزله؛ با دو روش ماشین بردار و شبکه عصبی

Fig. 4. Sentinel image classification 2; before and after earthquakes; with two methods of svm and neural network

پس از انجام طبقه بندی، به کمک روش تشخیص تغییرات آماری در نرم افزار انوی 5.3 نیز تغییرات صورت گرفته به صورت آماری سنجیده می شود. نتایج این نوع خروجی تغییرات نیز طبق جداول زیر نمایش داده شده است که در تحلیل دقت و صحت طبقه بندی و تولید نقشه تغییرات خروجی بسیار مفید و کاربردی است و می تواند تعداد تبدیل کلاس هر پیکسل به پیکسلی دیگر را به طور دقیق مشخص نماید.

همانطور که در ابتدای مقاله بیان گردید در مرحله رده بندی تصاویر، از روش های طبقه بندی نظارت شده ماشین بردار پشتیبان و شبکه عصبی و در کنار آن، تصاویر بهنگام گوگل ارث و تصاویر هوایی قبل و بعد از زلزله برای افزایش دقت و صحت در انجام طبقه بندی، ملاک کار قرار گرفت. پس از انتخاب نمونه های آموزشی برای هر کدام از رده های تعریف شده، از دو روش نام برده شده برای طبقه بندی هر دو تصویر قبل و بعد از زلزله در نرم افزار انوی استفاده گردید. لازم به ذکر است به دلیل اینکه در مراحل تحلیل، ساختمان های نیمه کاره و یا ساختمان های در حال ساخت به عنوان تغییرات اشتباه در نتایج آشکارسازی تغییرات آورده نشود، سعی گردید این نقاط در تصویر اولیه (قبل از زلزله) در رده "زمین لخت یا خاک" قرار داده شود. گرچه ناحیه مورد نظر ما کلاس های "ساختمان"، "زمین لخت یا خاک" می باشد و لایه "پوشش گیاهی" در امر آشکارسازی تغییرات مدنظر نیست اما در این پژوهش، پوشش گیاهی نیز در رده مجزا قرار گرفت تا تشخیص دقیق تری حاصل شده و پیکسل ها در رده های دیگر به اشتباه در این کلاس قرار نگیرند. تصاویر زیر، تصاویر طبقه بندی شده حاصل از اعمال دو روش طبقه بندی مذکور بر روی تصاویر سنتینل 2 و لندست 8 را نشان می دهد. همچنین در انتخاب نمونه های آموزشی برای طبقه بندی تصاویر از تصاویر گوگل ارث، گزارش میدانی و نیز نقشه های موجود جهت افزایش دقت و صحت نمونه گیری کمک گرفته شد. پس از اتمام نمونه گیری بر روی تصاویر در نرم افزار انوی، طبقه بندی این تصاویر به دو روش شبکه بندی عصبی و نیز ماشین بردار پشتیبان با کرنل شعاعی انجام گردید که به صورت پیش فرض در نرم افزار انوی قابل دسترسی است.

بررسی کارایی روش های ارزیابی خسارات ناشی از زلزله

3-3 تهیه نقشه تغییرات مرجع

به منظور تهیه یک نقشه تغییرات مرجع با هدف مقایسه و ارزیابی نقشه های تغییرات حاصل از تصاویر لندست و سنتینل با دو روش طبقه بندی مختلف، به سراغ تصویر پلادیاز 1 (پس از زلزله) رفته و نمونه های آموزشی را در دو دسته "تغییر" و "بدون تغییر" روی تصویر تعریف می کنیم. از آنجا که ما با یک تصویر (پس از زلزله) کار می کنیم و امکان تصویر قبل از زلزله مربوط به همین سنجنده برای ما میسر نبود، به ناچار از تصاویر و نقشه های موجود قبل از زلزله، از جمله تصاویر گوگل ارث، برای نمونه برداری های دو کلاس استفاده شده است. تصویر زیر بخشی از این نمونه برداری های آموزشی را که از داده های حقایق زمینی مختلف از جمله نقشه های موجود، گزارش های میدانی و نیز تصاویر گوگل ارث مربوط به قبل زلزله جهت انتخاب درست و دقیق آنها استفاده شده نشان می دهد.



شکل 5. بخشی از ROI های مربوط به کلاس "تغییر"
Fig. 5. Part of the "Change" ROIs

3-4 ارزیابی دقت و صحت نتایج

پس از نمونه گیری کامل تصویر مرجع، در نرم افزار انوی از ابزار کاربردی *Confusion Matrix Using Ground Truth ROIs* با فراخوانی تصویر مرجع که در دو کلاس "تغییر" و "بدون تغییر" نمونه برداری شده بود و نیز با فراخوانی نوبتی 4 نقشه تغییرات تولیدی، 4 ماتریس ابهام یا خطا تولید میگردد که حاصل مقایسه هر کدام از نقشه های تغییرات با تصویر مرجع است. ماتریس های ابهام، ابزاری مهم و دقیق جهت ارزیابی دقت و صحت نتایج حاصل از طبقه بندی تصاویر و نقشه های تغییرات تولیدی می باشد که دقت کار طبقه بندی و در نقشه نقشه تغییرات تولیدی را مورد بررسی و بحث قرار می دهد. [19,20].

جدول 3. نتایج آماری تشخیص تغییرات - مربوط به روش طبقه

بندی ماشین بردار بر روی تصاویر سنتینل 2

Table 3. Statistical results of changes Detection - Related to the method of svm on Sentinel images

قبل زلزله / بعد زلزله	پوشش گیاهی	زمین یا خاک لخت	ساختمان
پوشش گیاهی	8861	3342	55
زمین یا خاک لخت	5670	80732	6032
ساختمان	8	3757	25121
جمع	14539	87831	31208

جدول 4. نتایج آماری تشخیص تغییرات - مربوط به روش شبکه

عصبی بر روی تصاویر سنتینل 2

Table 4. Statistical results of changes Detection - Related to the Neural Network method on Sentinel images

قبل زلزله / بعد زلزله	پوشش گیاهی	زمین یا خاک لخت	ساختمان
پوشش گیاهی	8210	4531	78
زمین یا خاک لخت	6580	78444	5211
ساختمان	82	3987	26455
جمع	14872	86962	31744

جدول 5. نتایج آماری تشخیص تغییرات - مربوط به روش ماشین

بردار بر روی تصاویر لندست 8

Table 5. Statistical results of changes Detection - Related to the method of svm on Landsat images

قبل زلزله / بعد زلزله	پوشش گیاهی	زمین یا خاک لخت	ساختمان
پوشش گیاهی	10456	6432	265
زمین یا خاک لخت	10235	71213	4521
ساختمان	421	5376	24659
جمع	21112	83021	29445

جدول 6. نتایج آماری تشخیص تغییرات - مربوط به روش شبکه

عصبی بر روی تصاویر لندست 8

Table 6. Statistical results of changes Detection - Related to the Neural Network method on Landsat images

قبل زلزله / بعد زلزله	پوشش گیاهی	زمین یا خاک لخت	ساختمان
پوشش گیاهی	11375	6854	241
زمین یا خاک لخت	9696	70203	4623
ساختمان	489	5721	24376
جمع	21560	82778	29240

جدول 10 . ماتریس ابهام نقشه تغییرات حاصل از طبقه بندی شبکه عصبی روی تصویر لندست 8

Table 10. change map Confusion matrix from Neural Network to landsat image

حقایق زمینی (تصویر مرجع)			
نقشه تغییرات	کلاس	تغییر	بدون تغییر
کلاس	تغییر	61.88	40.06
تغییر	تغییر	61.88	40.06
بدون تغییر	تغییر	38.12	59.94
بدون تغییر	بدون تغییر	38.12	59.94
جمع کل	تغییر	100	100
جمع کل	بدون تغییر	100	100
دقت کلی: 0.61			

جدول 11. جدول دقت های مختلف تولید و کاربر مربوط به تصویر سنتینل؛ جدول بالا مربوط به نقشه تغییرات ماشین بردار و جدول پایین مربوط به نقشه تغییرات شبکه عصبی

Table 11. Different product precision tables for the Sentinel image; The table above relates to svm change maps and the table below refers to the neural network change maps

کلاس	Prod. Acc.	دقت کاربر
	درصد	درصد
تغییر	75.25	72.14
بدون تغییر	71.97	71.23

کلاس	Prod. Acc.	دقت کاربر
	درصد	درصد
تغییر	72.12	71.10
بدون تغییر	69.34	70.25

کلاس	Prod. Acc.	دقت کاربر
	درصد	درصد
تغییر	58.10	56.12
بدون تغییر	49.95	55.20

جدول 12. جدول دقت های مختلف مربوط به تصویر لندست؛ جدول بالا مربوط به نقشه تغییرات ماشین بردار و جدول پایین مربوط به نقشه تغییرات شبکه عصبی

Table 12. Different product precision tables for the Landsat image; The table above relates to svm change maps and the table below refers to the neural network change maps

کلاس	Prod. Acc.	دقت کاربر
	درصد	درصد
تغییر	60.02	57.45
بدون تغییر	55.52	57.19

جدول 7 . ماتریس ابهام نقشه تغییرات حاصل از شبکه بندی SVM روی تصویر سنتینل 2

Table 7. change map Confusion matrix from SVM to Sentinel image

حقایق زمینی (تصویر مرجع)			
نقشه تغییرات	کلاس	تغییر	بدون تغییر
کلاس	تغییر	86.87	16.54
تغییر	تغییر	86.87	16.54
بدون تغییر	تغییر	13.13	83.46
بدون تغییر	بدون تغییر	13.13	83.46
جمع کل	تغییر	100	100
جمع کل	بدون تغییر	100	100
دقت کلی: 0.85			

جدول 8 . ماتریس ابهام نقشه تغییرات حاصل از طبقه بندی شبکه عصبی روی تصویر سنتینل 2

Table 8. change map Confusion matrix from Neural Network to Sentinel image

حقایق زمینی (تصویر مرجع)			
نقشه تغییرات	کلاس	تغییر	بدون تغییر
کلاس	تغییر	81.34	21.29
تغییر	تغییر	81.34	21.29
بدون تغییر	تغییر	18.66	78.71
بدون تغییر	بدون تغییر	18.66	78.71
جمع کل	تغییر	100	100
جمع کل	بدون تغییر	100	100
دقت کلی: 0.80			

جدول 9 . ماتریس ابهام نقشه تغییرات حاصل از شبکه بندی SVM روی تصویر لندست 8

Table 9. change map Confusion matrix from svm to landsat image

حقایق زمینی (تصویر مرجع)			
نقشه تغییرات	کلاس	تغییر	بدون تغییر
کلاس	تغییر	65.25	37.35
تغییر	تغییر	65.25	37.35
بدون تغییر	تغییر	34.75	62.65
بدون تغییر	بدون تغییر	34.75	62.65
جمع کل	تغییر	100	100
جمع کل	بدون تغییر	100	100
دقت کلی: 0.64			

بررسی کارایی روش های ارزیابی خسارات ناشی از زلزله

به جدول 3 می توان این گونه نتیجه گیری نمود که حاصل تقسیم تعداد پیکسل های مربوط به تغییر رده ساختمان به زمین یا خاک لخت می تواند میزان ساختمان های تخریب شده را نمایش دهد:

$$(1) \quad \text{درصد ساختمان های تخریب شده} = \frac{6032}{31208} = 19.3 \%$$

$$(2) \quad \text{درصد ساختمان های بدون تخریب} = \frac{25121}{31208} = 80.5 \%$$

بنابر محاسبات انجام شده، حدود 19.3 درصد ساختمان ها به طور تقریباً کامل ویران و حدود 80.5 درصد ساختمان ها نیز بدون تغییر باقی مانده اند که با توجه به آمار های اعلام شده توسط ارگان های ذیربط، نتایج این پژوهش نتیجه ای نسبتاً مطلوب و نزدیک به واقعیت است. همچنین با محاسبات انجام شده، نتایج حاصل از تصاویر سنتینل 2 به واقعیت نزدیک تر و نیز تصاویر لندست در آشکارسازی تغییرات، چه در دسته طبقه بندی ماشین بردار پشتیبان و چه در دسته شبکه بندی عصبی مصنوعی دارای دقت کمتری بود. بنابراین از دید آماری، تصاویر سنتینل 2 در هر دو روش طبقه بندی ماشین بردار و شبکه عصبی از تصاویر لندست در آشکارسازی تغییرات بهتر عمل کرد.

از نظر مقایسه دقت کاربر و دقت تولید نیز نتایج به یافته های بدست آمده بسیار نزدیک است. به عبارتی از لحاظ دقت کاربر و دقت تولید نیز تصویر سنتینل عملکرد بهتری داشت و درصد بالاتری را به خود اختصاص داد (حدود 70 درصد دقت تولیدی در سنتینل در مقایسه با حدود 60 درصد در تصویر لندست). همچنین دقت های مذکور در روش ماشین بردار پشتیبان کمی بالاتر از روش شبکه بندی عصبی حاصل شد که نشان از عملکرد بهتر روش ماشین بردار در طبقه بندی تصویر است.

گرچه با توجه به دقت پایین طبقه بندی تصاویر لندست و نقشه تغییرات حاصل از آن، خروجی های حاصل از آن نمی تواند در بسیاری موارد قابل استناد باشد؛ حتی در سطح بلوک نیز نقشه های تغییرات حاصل از تصاویر لندست، به دلیل آنکه ساختمان های مسکونی در بافت شهری ایران فاقد الگوی خاصی (در بیشتر موارد) و نیز دارای اندازه های کوچک و متوسط هستند (تعدادی از آنها در یک پیکسل جای میگیرند)، نمیتوانند مورد استفاده قرار گیرند. به جز در موارد اضطراری و حیاتی که داده های دیگر

4- نتیجه گیری

با بررسی و مقایسه ماتریس های خطا یا ابهام مربوط به نقشه های تغییرات تولیدی از تصاویر سنتینل 2 و لندست 8 با دو روش شبکه عصبی مصنوعی و ماشین بردار پشتیبان، درصدهای بالاتر و در نتیجه دقت بالاتری را در نقشه تغییرات تولیدی از تصویر سنتینل 2 شاهد هستیم؛ به طوریکه دقت های کلی 0.85 و 0.80 در تصویر سنتینل 2 در مقایسه با دقت های کلی 0.64 و 0.61 در تصویر لندست 8، حاکی از دقت بالاتر نقشه های تولیدی با استفاده از تصاویر سنتینل 2 می باشد که از دلایل آن می توان به بالاتر بودن توان تفکیک مکانی تصاویر سنتینل 2 نسبت به لندست 8 (10 متر در مقایسه با 15 متر) و بزرگ بودن ابعاد پیکسل تصویر لندست نسبت به سنتینل اشاره کرد که کار را برای تشخیص بهتر و دقیق تر دشوار کرده است. این نتیجه بدست آمده، مهر تاییدی بر نتیجه گیری سایر پژوهش های انجام گرفته در این زمینه می باشد.

در مورد بررسی و مقایسه روش های طبقه بندی شبکه عصبی مصنوعی با ماشین بردار پشتیبان، با بررسی قطر اصلی ماتریس های ابهام می توان دریافت که روش ماشین بردار پشتیبان با کرنل شعاعی دقت نسبتاً بالاتری نسبت به روش شبکه عصبی مصنوعی (دقت کلی 0.85 در مقابل دقت کلی 0.80 در تصاویر سنتینل و 0.64 در مقابل 0.61 در تصاویر لندست) در طبقه بندی تصاویر و آشکارسازی تغییرات دارد که کارآمدتر بودن روش ماشین بردار پشتیبان با کرنل شعاعی در تشخیص ساختمان ها و عوارض شهری را اثبات می نماید.

به طور کلی هر 4 نقشه تغییرات حاصل در امر تشخیص تغییرات و آشکارسازی آنها در بافت شهری ایران نتیجه قابل قبولی داشته اند که با توجه به زمینه کاربرد آنها می توانند مورد استفاده قرار گیرند. همچنین قابل ذکر است که در این میان، تصاویر لندست در سطح بلوک توانسته اند نقش ایفا کنند و در سطح ساختمان دقت بسیار پایینی خواهند داشت اما تصاویر سنتینل 2 می توانند در سطح ساختمان های بزرگ (با ابعاد حدود 10 متری) آشکارسازی خوبی داشته باشند.

بر اساس نتایج آماری جداول فوق، می توان درصد تغییرات و برآورد کلی آنها را با توجه به تعداد پیکسل های تغییر یافته در هر رده محاسبه نمود. به عنوان مثال با توجه

تاریخ تصاویر قبل و بعد از زلزله با تاریخ وقوع آن، فاصله چندانی نداشته باشد. که همه این موارد در این پژوهش تلاش شد با کمال دقت و تا حد امکان رعایت گردد.

روش های پیکسل مبنا نتایج مطلوبی را در مورد سازه های ساخت بشر مانند ساختمان ها و نیز در ناهمگونی های شهری نداشته است. دلیل اصلی این است که عوارض شهری از طریق ویژگی های مکانی (یعنی بافت، شکل، ناحیه) بهتر از ویژگی های بازتابی طیفی می توانند بررسی شوند. همچنین شباهت های طیفی نیز اثرگذار است. بنابراین روش های شئی گرا نیز مدنظر باید قرار گیرد.

تکنیک های آشکارسازی تغییرات نیز می توانند در نتایج ارزیابی تاثیر بالایی داشته باشند. بنابراین پیشنهاد می گردد در ادامه این پژوهش، سایر تکنیک های آشکارسازی تغییرات نیز مورد مقایسه و ارزیابی قرار گرفته تا بهترین و کاربردی ترین آنها با توجه به اقلیم منطقه ایران بدست آید.

طبق نتایج تحلیل و تفسیر و نیز بررسی بصری نقشه تغییرات تولید شده، چندین نکته مشاهده می شود که به آنها اشاره می گردد:

■ با نگاهی به تصاویر طبقه بندی شده و نقشه تغییرات حاصل از دو روش ماشین بردار و شبکه عصبی، مشهود است که جاده ها و خیابان ها در روش شبکه عصبی به اشتباه طبقه بندی شده و به عنوان تغییر نمایش داده شده است در صورتیکه در روش ماشین بردار پشتیبان، این خطا رخ نداده که این امر نشان از سازگاری بهتر روش طبقه بندی ماشین بردار پشتیبان با مناطق شهری به خصوص مناطق شهری ایران دارد.

■ نتایج حاصل از این پژوهش در مقایسه و ارزیابی نقشه تغییرات تولید شده و انتخاب بهترین روش و نقشه تغییرات با توجه به شرایط اقلیمی ایران، می تواند در مدیریت بحران و برنامه ریزی های کوتاه مدت، میان مدت و حتی بلند مدت زلزله مفید واقع شود. به عنوان نمونه، برای برنامه ریزی کوتاه مدت می توان به ارزیابی سریع مناطق دارای تخریب و یا ویران و شناسایی آنها برای امداد رسانی اشاره کرد که می تواند عملیات را هدفمند و نتیجه بخش تر کند. در مورد برنامه ریزی میان مدت به کمک نتایج این پژوهش می توان به تعیین محل اسکان موقت اشاره کرد تا خطرات مجدد ساکنان را تهدید نکند و از لحاظ دسترسی به جاده ها و امکانات امدادی، شیب

در دسترس نبوده و یا فرصت کافی برای تهیه داده های دیگر از جمله سنتینل مهیا نباشد.

همانطور که از نتایج پارامترهای ارزیابی طبقه بندی واضح است رده های تعریف شده (ساختمان، خاک لخت یا زمین و پوشش گیاهی) دارای خطا است. علت این امر را می توان به شباهت طیف بازتابی برخی از سقف های دارای پوشش آسفالت با راه ها و نیز تفاوت های طیفی در بین پیکسل های مربوط به یک رده از لحاظ ماهیت دانست. نکته دیگری که باعث اختلال در طبقه بندی رده ساختمان می شود تفاوت پوشش سقف برخی ساختمان ها از لحاظ جنس است (بعضی از ساختمان ها سفالی و تعدادی دارای سقف با پوشش آسفالت و تعدادی ایزوگام هستند).



شکل 6. نمونه ای از تفاوت پوشش سقف ساختمانها از لحاظ جنس

Fig. 6. An example of differences in the roof cover of buildings in terms of gender

برای کاهش این مشکل نیز سعی گردید به کمک داده های زمینی موجود، ساختمانهای با پوشش متفاوت نظیر سوله های مختلف در کلاس درست لحاظ گردند. لازم به ذکر است عواملی از قبیل اختلاف زاویه تابش خورشید، وجود سایه در حاشیه دیواره های ساختمان و پخش مصالح ساختمانی روی مناطقی از زمین نیز در این امر دخیل هستند.

5- پیشنهادها و جمع بندی

در این پژوهش با توجه به توان تفکیک تصاویر مورد ارزیابی، تنها برخی از سطوح یا درجات آسیب ناشی از زلزله مانند "دارای تخریب" یا "بدون تخریب" را می توان شناسایی کرد. به علاوه برخی از تغییرات که هیچ ارتباطی به زلزله ندارد می تواند به اشتباه به عنوان تخریب تفسیر شود؛ مانند ساختمان های نیمه کاره. بنابراین بهتر است در صورت امکان از واقعیت های زمینی دقیق تر و نیز تصاویر ماهواره ای با توان تفکیک بالاتر استفاده نمود و همچنین

to the August 17, 1999 Turkey Earthquake." *Proceeding of the 7th National US Conference on Earthquake Engineering, Boston, 2002.*

6. Saito, K., Spence, R., Going, C. and Markus, M. "Using High-Resolution Satellite Images for Post-Earthquake Building Damage Assessment: A Study Following the 26 January 2001 Gujarat Earthquake." *Earthquake Spectra* 20, 2004.
7. SINGH, A. "Digital change detection techniques using remotely sensed data." *International Journal of Remote Sensing*, 1989.
8. Schowengerdt, Robert A. "Remote sensing: models and methods for image processing (3rd ed.)" Academic Press. p. 2. ISBN 978-0-12-369407-2, 2007.
9. Shravan Kumar Yadav, 2Shubhangi Raj, 3Shyam Sundar Roy, "REMOTE SENSING TECHNOLOGY AND ITS APPLICATIONS," *International Journal of Advancements in Research & Technology, Volume 2, Issue 10, October-2013.*
10. Miao Li, Shuying Zang, Bing Zhang, Shanshan Li & Changshan Wu. "A Review of Remote Sensing Image Classification Techniques: the Role of Spatio-contextual Information," *European Journal of Remote Sensing*, 2014.
11. Semih Ekercin, "Coastline Change Assessment at the Aegean Sea Coasts in Turkey Using Multi-temporal Landsat8 Imagery," *Journal of Coastal Research, Number 233:691-698. 2007.*
12. Yamazaki, F. "Applications of remote sensing and GIS for damage assessment," *Structural Safety and Reliability, Corotis et al. (eds), 2001 Swets & Zeitlinger, ISBN 90 5809 197 X, 2001.*
13. Bitelli, G., Camassi, a, R., Gusella, b, L., Mognol, a, A. "IMAGE CHANGE DETECTION ON URBAN AREA: THE EARTHQUAKE."
14. Laigen Dong a, Jie Shan, "A comprehensive review of earthquake-induced building damage detection with remote sensing techniques," *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 84 (2013) 85–99, 2013.
15. Haala, N., Brenner, C. "Extraction of buildings and trees in urban environments," *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 1999.
16. Zhang, Y. "Optimization of building detection in satellite images by combining multi-spectral

مناسب برای دفع آبهای سطحی و سایر ویژگی های مکانی مناسب باشد. درخصوص اهداف بلندمدت نیز می توان به بهینه سازی مکانی احداث سکونتگاه های دائم و اولویت بندی بازسازی ساختمان ها اشاره کرد.

■ نکته جالب توجه در تفسیر نتایج این است که تمام سوله های موجود در شهر بدون تغییر و تخریب باقی مانده که این امر می تواند در توجیه احداث سوله های بحران در هر منطقه کمک کننده باشد و ضرورت احداث ساختمان های راهبردی مانند مراکز مدیریت بحران در نقاط شلوغ را دوچندان کند.

■ بررسی توزیع تخریب ها به کمک بهترین نقشه تغییرات حاصل نشان می دهد که ساختمان های ویران شده دارای الگوی خاصی نیستند و عمدتاً جنوب و بخشهایی از غرب منطقه سرپل ذهاب دارای بیشترین تخریب است. با بررسی های انجام شده مشخص گردید که بخش جنوبی و غربی شهر در مسیر رودخانه و دارای ساختمان های با قدمت بیشتر و دارای تراکم هستند. عامل مهم دیگر نیز جهت گسل موجود در این منطقه است که به صورت غربی- جنوب شرقی و به گسل پیشانی یا جبهه کوهستان زاگرس مشهور است. لازم به ذکر است که بخش های دیگر شهر نیز تخریب شده اند اما به نسبت پراکنده تر و فاقد الگوی خاص هستند.

مراجع

1. Bartels, S.A., VanRooyen, M.J. "Medical complications associated with earthquakes." *The Lancet* 379 (9817), 748–757, 2011.
2. Schweier, C., Markus, M., "Classification of collapsed buildings for fast damage and loss assessment." *Bulletin of Earthquake Engineering* 4, 177–192, 2006.
3. Voigt, S., Kemper, T., Riedlinger, T., Kiefl, R., Scholte, K., Mehl, H., "Satellite image analysis for disaster and crisis-management support." *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* 45, 2007.
4. Sabins, F.F. "Remote Sensing: Principles and Interpretation (3)" *Freeman, New York, 1996.*
5. Huyck, C.K., Mansouri, B., Eguchi, R.T., Houshmand, B., Castner, L.L., and Shinozuka, M. "Earthquake Damage Detection Algorithm Using Optical and ERS-SAR Satellite Data – Application

classification and texture filtering,” Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 1999.

17. Kiema, J.B.K. “Texture analysis and data fusion in the extraction of topographic objects from satellite imagery,” *International Journal of Remote Sensing*, 23(4):767–776, 2002.
18. Pol Coppin, Kris Nackaerts, Inge Jonckheere, Bart Muys, “Digital Change Detection Methods in Ecosystem Monitoring: A Review,” *International Journal of Remote Sensing*, May 2004.
19. Hafez A. Afify, “Evaluation of change detection techniques for monitoring land-cover changes: A case study in new Burg El-Arab area,” *Alexandria Engineering Journal*, 2011.
20. Wei Zhao, Member, IEEE, Ainong Li, Member, IEEE, Xi Nan, Zhengjian Zhang, and Guangbin Lei, “Postearthquake Landslides Mapping From landsat8, data for the 2015 Nepal Earthquake Using a Pixel-Based Change Detection Method,” *IEEE JOURNAL OF SELECTED TOPICS IN APPLIED EARTH OBSERVATIONS AND REMOTE SENSING*, 1939-1404 © 2017 IEEE