نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، سال بیست و یکم، شماره ۶۰، بهار ۱۴۰۰

کمّی سازی زمین‌لغزش بزرگ مله‌کبود ناشی زمین لرزه۷,۳ سال ۱۳۹۶ کرمانشاه با استفاده از اینترفرومتری

دریافت مقاله: ۹۶/۱۲/۱۱ **پذیرش نهایی**: ۹۷/۸/۲۱

صفحات: ۶۳-۴۷

ابوالقاسم گورابی: استادیار گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده جغرافیای دانشگاه تهران، تهران، ایران.[1]

Email: goorabi@ut.ac.ir

چکیده

دریافت منظم و مکرر تصاویر توسط سنجنده‌های راداری امکان ارزیابی دقیق دینامیک، حرکت و جابجایی سطح زمین در هر منطقه با استفاده از تکنیک‌های مختلف را ممکن ساخته است. پژوهش حاضر از تکنیک رادار دیافراگم مصنوعی (InSAR) برای پایش و شناسایی ویژگی‌های فضایی زمین لغزش همراه با وقوع زمین لرزه ۷,۳ ازگله در استان کرمانشاه، استفاده کرده است. در این راستا هفت زوج تصویر اینترفرومتریک موجود با همبستگی خوب از داده‌های تصاویر سنتینل ۱و۲ مرتبط با منطقه کوهستانی زاگرس شمال‌غرب انتخاب، و بکارگرفته شده اند. به کمک تکنیک تداخل‌سنجی، تغییرات توپوگرافی پس از زمین‌لرزه نسبت به قبل از آن در گستره وقوع زمین‌لغزش، به صورت فضایی-مکانی به نقشه تبدیل شده‌اند. بر همین اساس تخمین کمّی از تغییرات ارتفاع محلی، حجم توده لغزشی و ضخامت رسوب همراه با زمین لغزش محاسبه و کمّی شده اند. الگوی فضایی حرکت توده نشان می‌دهد که؛ زمین‌لغزش مله کبود با طول لغزشی۳۵۷۰ متر در امتداد جهت NW-SE و با حدود ۱۵۰۰-۲۳۰۰ متر در راستای عمود بر ستیغ کوهستان، به شکلی همگرا و جانب مرکز نسبت به محیط زمین لغزش رخ داده است. تغییرات ارتفاعی در مناطق مختلف متفاوت هستند، این مقدار در محل افتگاه ۲۰ متر اندازه گیری شده است. ارزیابی های کمّی نشان می‌دهند که؛ مساحت و حجم منطقه متاثر از حرکت توده زمین‌لغزش به ۶,۰ کیلومتر مربع (۵۷۷ هکتار) با حجمی حدود ۵۰۰ میلیون مترمکعب می‌رسد. بررسی‌های مقایسه‌ای بیانگر آن است که زمین لغزش مله کبود بزرگترین زمین لغزش چند سده گذشته ایران است. این مطالعه همچنین پتانسیل تکنیک InSAR به عنوان روشی دقیق و جایگزین برای اندازه‌گیری کمّی حجم و مورفولوژی توده‌های لغزشی بزرگ ناشی از زمین‌لرزه را اثبات نمود.

کلید واژگان: حجم زمین لغزش، لغزش مله کبود، زلزله ۷,۳ ازگله (کرمانشاه)، اینترفرومتری

۱ . **نویسنده مسئول**: تهران، دانشگاه تهران، دانشکده جغرافیا، صندوق پستی ۱۴۱۷۸۵۳۹۳۳، تلفن ۰۲۱۶۱۱۱۳۵۲۱

[Downloaded from jgs.khu.ac.ir on 2024-10-12]

[DOR: 20.1001.1.22287736.1400.21.60.6.2]

[DOI: 10.52547/jgs.21.60.47]

مقدمه

زمین‌لغزش‌ها، بعنوان یکی از مهمترین بلایایی طبیعی در بسیاری از بخش‌های جهان، می‌توانند در اثر نیروی جاذبه و عواملی دیگری همچون بارش، زمین‌لرزه و فعالیت‌های انسانی ایجاد شوند. زمین‌لرزه‌ها با بزرگای بالا در نواحی کوهستانی پرشیب معمولاً موجب زمین‌لغزش‌های بسیار بزرگی با حجم چندین میلیارد مترمکعب شده-اند(گالن و همکاران، ۲۰۱۷؛ ونگ و همکاران، ۲۰۱۶؛ وگا و هیدینگ، ۲۰۱۶؛ ستیوان و همکاران، ۲۱۰۶).
زمین‌لغزش‌های ناشی از زمین لرزه(زمین لغزش های لرزه ای) یکی از مهمترین مخاطرات زمین شناختی هستند که به دلیل سرعت وقوع بالای خود می‌توانند منجر به تلفات عظیم انسانی و خسارات قابل توجه مالی حتی بیش از خساراتی که به طور مستقیم از زلزله تحمیل می‌شوند، در برداشته باشند. کمّی کردن لغزش‌های ناشی از زمین‌لرزه ها می‌تواند در تجزیه‌وتحلیل نوع، اندازه، ژئومورفولوژی و ویژگی‌های دینامیکی آن‌ها کمک شایانی بنماید. بی شک این دانش در تعیین خصائص و ویژگی‌های زمین‌لرزه‌های مسبب آنها، علم دیرینه لرزه‌شناسی و همچنین برای درک بهتر مکانیزم‌های موثر در پیش‌بینی زمین‌لغزش‌ها و سیستم‌های هشدار دهنده زلزله نقشی اساسی می تواند داشته باشد(گورابی، ۱۳۹۲).
شناسایی و نظارت بر تغییرشکل شیب دامنه‌ها جهت کاهش خسارات ناشی از لغزش امری حیاتی است. بااین‌وجود، چالش‌های بسیار بزرگی جهت شناسایی و پایش اغلب تغییرشکل‌های بطئی و کند دامنه‌ای وجود دارند. بررسی ها نشان می دهند که محققین جهت این امر از دو روش میدانی و دورسنجی بهره جسته-اند(هونگ و همکاران، ۲۰۱۸). مشاهدات میدانی، به عنوان مثال؛ نصب جی پی اس، ترازسنج، و ابزارهای دقیق ژئوتکنیکی در بسیاری موارد به دلیل کمبود فضا و مشکلات نصب شان، کمتر موثر یا عملی هستند. علاوه بر این، اندازه‌گیری های میدانی نیازمند انجام کارهای عملی پرزحمت و صرف هزینه‌های گزافی هستند. تکنیک تداخل سنجی و اینترفرومتری روزنه مصنوعی رادار (InSAR۱) برای اندازه‌گیری جابجایی سطوح کوچک در موقعیت های مختلف از جمله؛ پدیده های مختلف انسانی، زمین لغزش ها و حفاری استفاده شده اند(بایر و همکاران، ۲۱۰۷). تکنیک تداخل سنجی راداری (InSAR) می تواند بر بسیاری از محدودیت‌های ذکر شده فوق غلبه نماید، زیرا این روش می تواند از راه دور تعداد زیادی از دامنه‌ها را در منطقه‌ای وسیع رؤیت و درعین‌حال به‌دقت مشاهده و پایش نماید. تکنیک دورسنجی قادر به اندازه گیری جابجایی‌های سطح زمین در مقیاس میلی متر تا دسیمتر است(یین و همکاران، ۲۰۱۰؛ کارنی و همکاران، ۱۹۹۶). اگرچه استفاده از تکنیک اینترفرومتری برای نقشه‌برداری تغییرات سطح مرتبط با زمین‌لرزه موفقیت آمیز بوده و بکرات مورد استفاده واقع شده‌اند، ولی اغلب استفاده از تکنیک تداخل‌سنجی برای نظارت بر لغزش در برخی نواحی به دلیلی پوشش گیاهی متراکم و توپوگرافی بسیار ناهموار با چالش روبر بوده است. این شرایط نامناسب اغلب منجر به عدم همبستگی زمانی و مکانی بین تصاویر و بهم‌ریختگی هندسی آنها می شوند. عوامل دیگری همچون ویژگی‌های فیزیکی جو زمین نیز از موضوعات نگران کننده دیگر در این زمینه هستند(کلسانتی و واسووسکی، ۲۰۰۶).

۱ - Interferometry Synthetic Aperture RADAR (Insar)

[Downloaded from jgs.khu.ac.ir on 2024-10-12]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1400.21.60.6.2]
[DOI: 10.52547/jgs.21.60.47]

دانش شناخت دقیق زمین‌لغزش‌های بسیار بزرگ برای درک بهتر پیچیدگی شکست دامنه‌ها، پارامترهای لرزه‌ای (مانند؛ بزرگا، شکست سطحی، سطح گسلش، لغزش های همراه زمین لرزه و بویژه دیرینه لرزه‌شناسی) و پارامترهای زمینی مرتبط با ژئومورفولوژی(مانند شیب، جهت، ارتفاع و شکل شیب) اهمیت زیادی دارد(گورابی، ۱۳۹۲). در پژوهش‌های مختلف، برخی پژوهش‌ها درست بلافاصله بعد از زمین‌لرزه صورت گرفته‌اند که می‌توانند به برخی بررسی‌های زمین‌شناختی، ژئوفیزیکی و دورسنجی برای شناخت ویژگی های زمین‌لغزش بزرگ اشاره کرد(کیو و همکاران، ۲۰۱۷؛ آمبروسی و همکاران، ۲۰۱۸؛ گورابی، ۲۰۱۸). اگرچه موقعیت جغرافیایی و وسعت متأثر از زمین لغزش را می توان با تکنیک‌های مختلف نقشه‌برداری مشخص کرد، ولی به سختی می توان جزئیات ویژگی‌های فضایی مربوط به تغییرات توپوگرافی، حجم توده لغزشی و ضخامت رسوب ناشی از آن را با توجه به توپوگرافی ناهموار و پوشش وسیع آن، بدست آورد. تکنولوژی تداخل‌سنجی دیافراگم مصنوعی (InSAR) دارای مزایای زیادی برای مشاهده و بررسی مخاطرات زمین‌شناختی به علت پوشش قابل توجه آنها در کنار تفکیک مکانی بالا در تمام شرایط آب و هوایی دارد(چین و همکاران، ۲۱۰۴). این تکنیک برای پایش و نظارت بر زمین‌لغزش‌های فعال ایجاد شده توسط زمین‌لرزه و ارزیابی ریسک و تجزیه‌وتحلیل شکست آنها مورد استفاده قرار گرفته است(کاساگلی و همکاران، ۲۱۰۶). نظارت بر زمین‌لغزش‌ها با استفاده از تکنیک‌های مختلف اینترفرومتری(InSAR) از جمله؛ اینترفرومتری دیفرانسیل(DInSAR[1]) (روئرینگ و همکاران، ۲۰۰۹)، خط مبنای کوتاه(SBAS[2]) (نولینو و همکاران، ۲۱۰۷)، بازتابنده گوشه(Psinsar[3])(بونگا و همکاران، ۲۰۱۷)، و پراکنش مداوم (PSInSAR [4]) (تانگ و هو، ۲۰۱۲) از روش‌های دقیق پایش و نظارت هستند که معمولا بر اندازه‌گیری جابجایی زمانی و شناسایی وضعیت لغزش تمرکز دارند. بااین‌حال، تعداد کمّی از تحقیقات به اندازه کافی بر ویژگی های فضایی و ژئومورفولوژیکی لغزش‌های بزرگ ناشی از زمین‌لرزه ها پرداخته‌اند.

موقع زمین ساختی، شرایط ژئومورفولوژیکی و اقلیمی ایران به همراه جریان شتابان توسعه و دستکاری های نادرست انسان در طبیعت باعث شده که هرساله زمین لغزش های زیادی در آن بوقوع بپیوندند. این عامل باعث شده تا محققین در رشته های مختلف زمین لغزش‌ها را مورد توجه قرار داده و آن‌ها را از دیدگاه‌های مختلف موردپژوهش قرار دهند. آنچه در بین پژوهش‌های مختلف بیشتر به چشم می خورد استفاده از مدل‌های مختلف در پهنه‌بندی زمین لغزش هاست(رامشت و همکاران، ۱۳۹۶؛ پرتابیان و همکاران، ۱۳۹۶). برخی از محققین با شناخت ویژگی‌های مختلف زمین لغزش ها به برآورد توان لرزه زایی گسل‌ها و ارزیابی بزرگای زمین لرزه های پیش از تاریخ پرداخته‌اند (اسدی و زارع، ۱۳۹۴). امروزه استفاده از تصاویر ماهواره ای در ایران جهت شناخت اختصاصات زمین لغزش ها جایگاه ویژگی دارند (آروان و همکاران، ۱۳۹۵). در بین تکنیک های مختلف

۱ - Differential Interferometry Synthetic Aperture Radar (Dinsar)

۲ - Short Baseline Subset (SBAS) Insar

۳- Corner Reflector (CR) Insar

۴ - Persistent Scatterer Insar (Psinsar)

[Downloaded from jgs.khu.ac.ir on 2024-10-12]

[DOR: 20.1001.1.22287736.1400.21.60.6.2]

[DOI: 10.52547/jgs.21.60.47]

دورسنجی تکنیک تداخل سنجی تفاضلی راداری به جهت توانایی آن در پایش زمین لغزش فعال اهمیت زیادی دارد(شیرانی و خوش باطن، ۱۳۹۵).

زمین‌لرزه ویرانگر ۷٫۳ ازگله در تاریخ ۲۱ آبان ماه ۱۳۹۶ (۲۰۱۷-۱۱-۱۲) بخش وسیعی از نواحی غربی ایران را تحت تأثیر قرارداد (سازمان زمین شناسی آمریکا، ۲۰۱۷). این زمین‌لرزه ناشی از دینامیک گسل زاگرس در حاشیه شمال غربی کوهستان زاگرس بوده است. زلزله ازگله بزرگترین رخداد لرزه ای غرب کشور در طی ۵۰ سال گذشته است که تلفات انسانی بیش از ۵۰۵ نفر، ۱ نفر مفقود، ۱۲۳۸۵ نفر زخمی و بیش از ۱ میلیون نفر بی خانمان در برداشت(گزارش پژوهشکده بین المللی زلزله، آبان ۱۳۹۶). این زمین‌لرزه بزرگ موجب تحریک دامنه ها و حرکات دامنه ای در ناحیه ای به وسعت تقریبی ۲۴،۰۰۰ کیلومترمربع شد، که خوشبختانه، تلفات انسانی مستقیم از آنها تنها ۲ بوده است۱. براساس بررسی آماری زمین لغزش های چند سده گذشته در ایران، همزمان با وقوع این زمین لرزه، بزرگترین زمین‌لغزش چند سده اخیر ناشی از زمین‌لرزه، که ما آنرا زمین لغزش مله‌کبود نامیده‌ایم، بین روستاهای قورچی باشی و مله‌کبود و بر روی دامنه جنوبی کوه شاه نشین به وقوع پیوست. در این بررسی، تغییرشکل ناشی از زمین لرزه ۷٫۳ ازگله بر زمین‌لغزش لرزه‌ای مله کبود(پیران) طی یک دوره زمانی قبل و بعد از زمین‌لرزه با تکنیک تداخل سنجی و با استفاده از تصاویر راداری سنتینل پایش شده است.

روش تحقیق

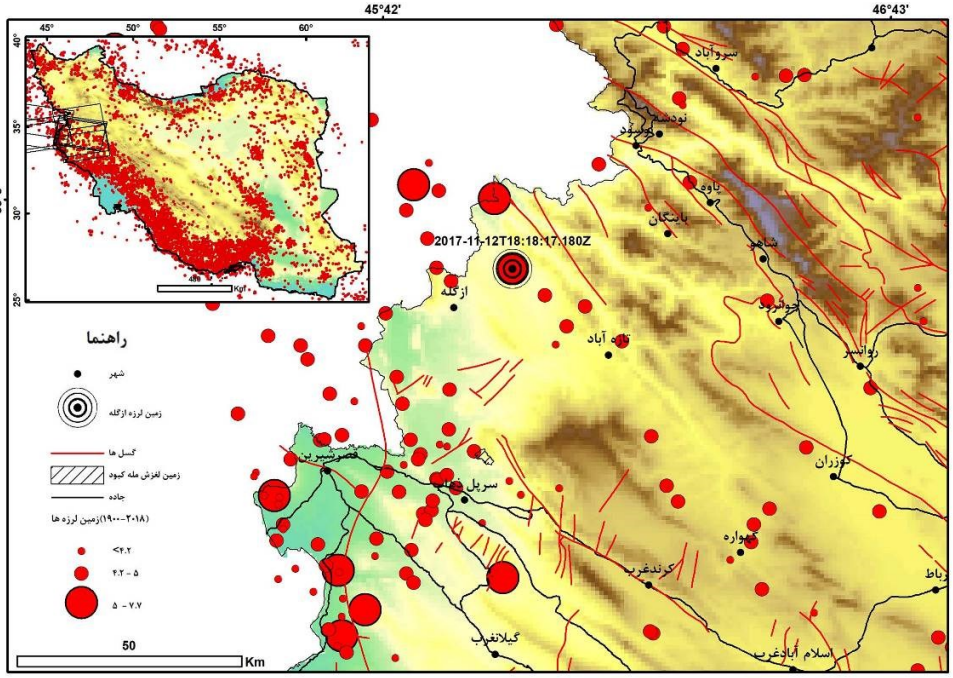
منطقه مورد مطالعه

زمین لرزه ساعت ۱۸٫۱۸ دقیقه ۱۲ نوامبر سال ۲۰۱۷ ازگله کرمانشاه در غرب ایران، در مجاورت مرزهای ایران و عراق رخ داد. این منطقه با ارتفاعی بین ۸۰۰ تا ۴۰۰۰ متر در قلمرویی با توپوگرافی متضاد ارتفاعی، شعاعی بیش از ۱۰۰ کیلومتر را تحت تأثیر قرارداد شکل(۱). از جنوب غرب به طرف شمال شرق، این منطقه شامل سه واحد اصلی تکتونیکی؛ دشت خوزستان، کمربند چین‌خورده زاگرس و زاگرس رورانده است که به زون مورفوتکتونیکی سنندج-سیرجان متصل می‌گردد. در همین راستا ، سه گسل سرپل ذهاب(گسل پیشانی یا جبهه کوهستان زاگرس، گسل زاگرس مرتفع و گسل مروراید-کرمانشاه-دینور وجود دارند شکل(۲). این گسل‌ها در طی اواخر کواترنری، همراه با فشردگی و کوتاه‌شدگی عمیق پوسته، منجر به ایجاد منطقه فعال زمین‌ساختی سرپل ذهاب در واکنش به همگرایی پلیت عربستان- ایران عمل کرده اند(گزارش زمین لرزه ۱۲ آبان ماه ۲۹۳۱ سرپل ذهاب استان کرمانشاه، پژوهشکده بین المللی زمین لرزه).

---

۱ - ۲ نفر در ریزش دره پیران در اثر زمین لغزش جان خود را از دست دادند(بازید محلی نگارنده و مصاحبه محلی با روستائیان منطقه).

[Downloaded from jgs.khu.ac.ir on 2024-10-12]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1400.21.60.6.2]
[DOI: 10.52547/jgs.21.60.47]

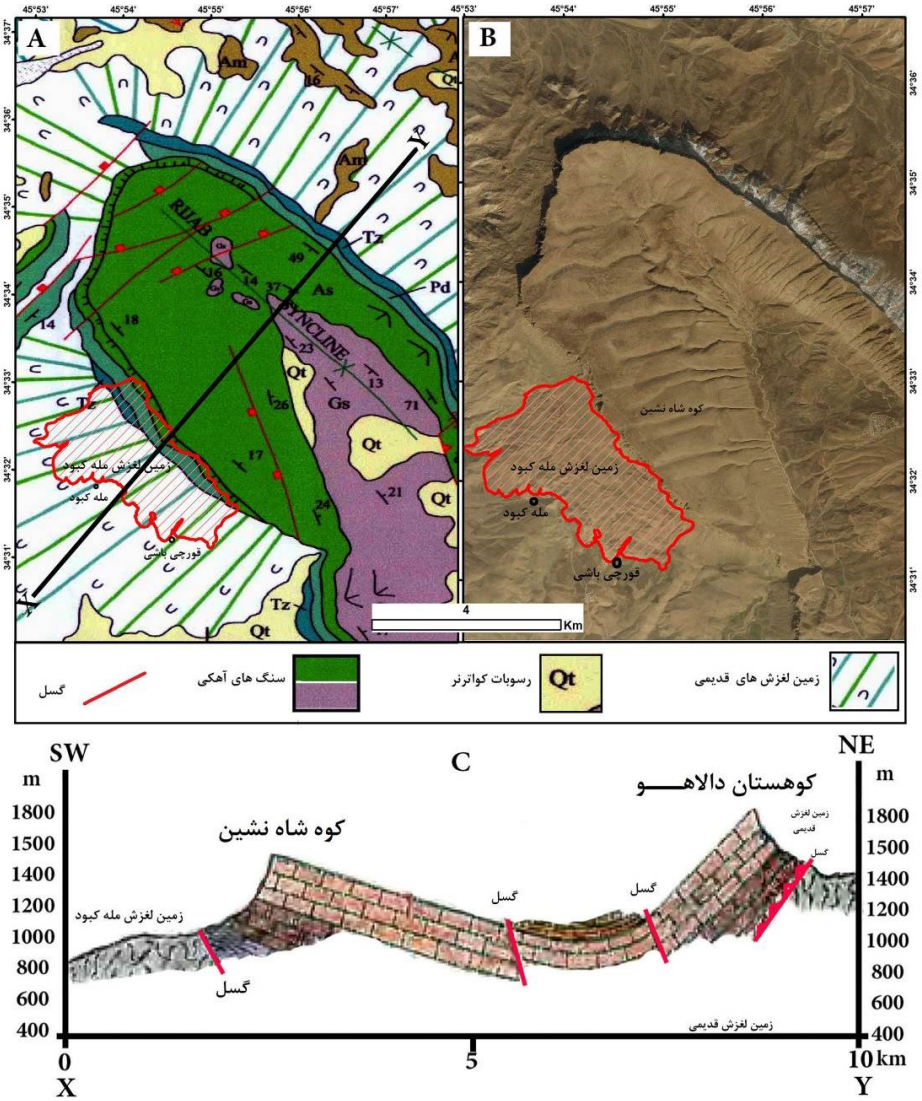


شکل(۱). موقعیت جغرافیایی و توپوگرافی منطقه مورد مطالعه

گسل‌های منطقه به ترتیب از جنوبغرب به طرف شمالشرق؛ گسل جبهه کوهستان(سرپل ذهاب)، گسل زاگرس، و گسل زاگرس مرتفع . پوشش داده های سنتینل با کادر خاکستری بر روی نقشه ایران نشان داده شده است. منطقه زمین لغزش مله کبود با مربع هاشور مشخص شده است.

براساس گزارش زمین لرزه ۱۲ آبانماه ۱۳۹۶ سرپل ذهاب استان کرمانشاه که توسط پژوهشکده بین المللی زمین لرزه ارائه شده است، کانون(نقطه شروع شکستگی) این زمین‌لرزه حوالی ۱۰ کیلومتری جنوب ازگله بوده است. با توجه به شکل(۱) کانون سطحی این زمین لرزه در حدود ۳۵ کیلومتری شمال شهرهای سرپل ذهاب(۲۳ کیلومتری محل زمین لغزش مله کبود) و ۳۴ کیلومتری قصرشرین و بر روی زون لرزه زمین‌ساختی زاگرس قرار داشته است. زلزله ازگله در راستای گسل پیشانی یا جبهه کوهستان زاگرس با عمق کانونی ۱۸ تا ۲۵ کیلومتر(گزارش زمین لرزه ۱۲ آبان ماه ۱۳۹۶) و ناشی از روراندگی بلوک‌های گسلی به سمت بالا ایجادشده است. همین منبع اشاره بر آغاز شکستگی در شمال غرب سرپل ذهاب و گسترش آن به طرف جنوبشرقی دارد. بزرگترین سطح تغییرشکل در اطراف شمالغرب سرپل ذهاب در حدود ۰,۹۰ متر اندازه‌گیری شده است. براساس بازدیدهای صحرایی نگارنده که پس از وقوع زمین لرزه صورت گرفته است، این زلزله باعث ایجاد لغزش‌های بسیاری در منطقه و مسدود شدن جاده ها در ساعات اولیه و برخی برای چندین روز شد.

[Downloaded from jgs.khu.ac.ir on 2024-10-12]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1400.21.60.6.2]
[DOI: 10.52547/jgs.21.60.47]



شکل(۲). موقعیت زمین‌ساختی- مورفوتکتونیکی (A) و مورفولوژیکی(B) زمین لغزش مله کبود (C)

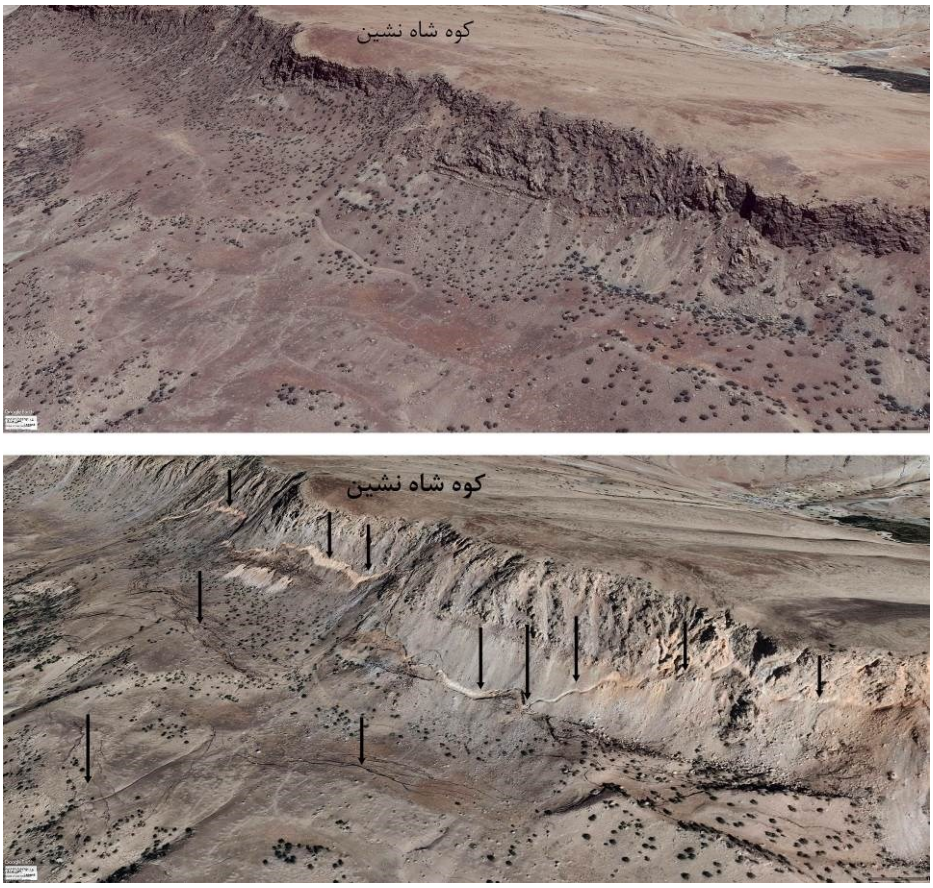
پروفیل زمین شناسی و موقع فضایی زمین لغزش مله کبود بر روی جبهه جنوبی کوه شاه‌نشین (ناودیس پلانج دار ساخته شده از لایه های آهکی آسماری) را نشان می‌دهد(برگرفته با اضافات از علائی طالقانی و رحیم زاده، ۲۰۱۴).

زمین لغزش مله کبود ناشی از زمین‌لرزه کرمانشاه، بر روی پیشانی ناودیس پلانج دار مله‌کبود (کوه شاه نشین) قرار دارد شکل(۲). این زمین لغزش تقریباً ۸-۹ کیلومتری گسل پیشانی یا جبهه کوهستان زاگرس واقع شده است. همانطور که در شکل(۳) به‌وضوح مشخص است دامنه‌ای که این زمین لغزش بر روی آن قرار دارد، قبل از زمین لرزه، فاقد زبانه و شکستگی های لغزشی است. برش‌های لغزشی بعد از زمین‌لغزش تقریباً عمود بر

[Downloaded from jgs.khu.ac.ir on 2024-10-12]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1400.21.60.6.2]
[DOI: 10.52547/jgs.21.60.47]

سطح دامنه هستند. سطح آزاد دامنه قبل از زلزله از واریزه و پس از زلزله با زبانه‌های لغزشی فراوان که هر دو بر بستر سنگی آهک قرار دارند مشخص‌شده‌اند. در پایه دامنه آثار مگا لغزش قدیمی خودنمایی می کنند شکل(۲). ازنظر پیشینه لرزه‌خیزی، زمین‌لرزه‌های ۹۵۸ و ۱۱۵۲ میلادی دلالت بر لرزه‌خیزی منطقه دارند(بربریان، ۲۱۰۴) علاوه بر این، نقشه زمین شناسی منطقه شکل(۲)، بررسی‌های دورسنجی و میدانی منطقه بیانگر وجود توالی زمین لغزش ها بر دامنه های شمالی و جنوب کوه شاه‌نشین و دالاهو در منطقه هستند که احتمالاً با زمین لرزه های تاریخی گذشته در ارتباط هستند.

شکل(۳) به ترتیب مورفولوژی سطحی زمین لغزش مله کبود قبل (بالا) و بعد(پایین) از زلزله را نشان می‌دهند.



شکل(۳). زبانه های لغزشی در پای کوه شاه نشین ناشی از وقوع زمین لرزه ازگله.

داده و روش کار

در این تحقیق از داده های راداری سنتینل ۱ جهت کمّی سازی زمین لغزش مله کبود استفاده شده است. سنتینل ۱ و۲ دو گروه ماهواره با هدف مانیتورینگ و نظارت بر زمین و اقیانوس هستند، که مأموریت آنها فراهم آوردن داده های راداری در محدوده باند C است.. دوره تناوب و برداشت هریک از یک نقطه ۱۲ روز

[Downloaded from jgs.khu.ac.ir on 2024-10-12]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1400.21.60.6.2]
[DOI: 10.52547/jgs.21.60.47]

نسبت به خودش و ۶ روز نسبت به دیگری است(سنتینل A نسبت به B). این ویژگی سبب می شود تا ارزیابی تغییرات ناشی از زمین لرزه ها بخوبی ممکن گردد. خط مبنایی کوتاه آنها از دیگر محاسن آنهاست که باعث شده تا تصاویر سنتینل جهت بررسی های تداخل سنجی کاربردی امیدوار کننده تر نسبت به سنجنده های قبلی داشته باشند. در نوع جدیدی از برداشت که به نام TOPS SAR شناخته می شوند و در این تحقیق از آنها استفاده شده اند، رزولوشن پیکسل بالاست(حدود ۳,۵ متر در جهت رنج و ۱۴ متر در جهت آزیموت). این تصاویر دارای پوشش وسیعی (تا ۲۵۰ کیلومتر) دارند(دی زن و مونتی گورنیر، ۲۰۰۶).

به منظور تعیین دقیق ویژگی‌های فضایی-مکانی زمین‌لغزش ناشی از زمین‌لرزه مله‌کبود، این پژوهش از ۷ جفت تصویر راداری سنجنده سنتینل -۱ مربوط به قبل و پس از زمین‌لرزه در محدوده باندی C (با طول موج راداری میانگین ۵,۶ سانتی متر) از مسیرهای مداری ۷۹، ۶، ۱۷۴ و ۷۲ در امتداد مدارهای صعودی و نزولی در فواصل زمانی اکتبر تا نوامبر ۲۰۱۷ (۱۲روز قبل و بعد از زمان وقوع زمین‌لرزه یعنی ۱۲ نوامبر ۲۰۱۷) استفاده کرده است(جهت تعیین بهترین تصاویر در همین مسیرهای مداری، تصاویر ۳ ماه قبل و بعد از زمین لرزه نیز بررسی شده اند) جدول(جدول). تصاویر مورد استفاده، زوج پلاریزه(FBD[1]) (VH + VV) بوده اند. دقت پیکسل مکانی این تصاویر به ترتیب ۴,۳ متر در جهت آزیموت و ۱,۷ متر در جهت برد(رنج) هستند، در حالی که زاویه دید مرکزی آن ۳۴,۲ ~ درجه است. گستره پوشش زمینی هریک از تصاویر راداری بر روی شکل(۱) نقشه ایران) نشان داده شده اند. کادر هاشوردار بر روی شکل(۱) منطقه لغزش مله‌کبود را نشان می‌دهد.

جهت انجام فرایند اینترفرومتری، ابتدا زوج تصاویر موردنظر ثبت مجدد۲ شده‌اند. ۶ جفت تصویر اینترفرومتریک با همدوسی بالا از بین تصاویر سنتینل قبل و بعد از زمین لرزه با بررسی هیستوگرام تصاویر حاصل و ارزیابی همدوسی و همچنین بررسی بصری وضوح فرینج‌ها انتخاب شدند. جدول(۱) اطلاعات مربوط به زوج‌های اینترفرومتریک انتخاب شده را نشان می‌دهد. فواصل زمانی بین تصاویر(خط مبنای زمانی) ۱۲ تا ۲۴ روز و خط مبنای مکانی ۵۷ تا ۱۰۰ متر بوده‌اند. لازم به ذکر است که در فرایند اینترفرومتری، تصاویر قبل از زمین‌لرزه به‌عنوان مستر(پایه یا اصلی) و تصویر بعد از زلزله به‌عنوان اسلیو(فرعی یا پیرو) جهت سنجش تغییرات استفاده شده‌اند. جهت تحلیل تغییرات بعدی از آخرین تصاویر تا زمان ارائه پژوهش(۴ آوریل)،استفاده شده اند، به عبارتی محدوده مورد بررسی در طی حدود ۲۳۰ روز(۲۲ گردش ماهواره) پایش شده است.

۱ - Fine-Beam Dual Polarization (FBD)

۲ - Co-Registration

[Downloaded from jgs.khu.ac.ir on 2024-10-12]

[DOR: 20.1001.1.22287736.1400.21.60.6.2]

[DOI: 10.52547/jgs.21.60.47]

جدول(۱). مشخصات زوج تصاویر مورد استفاده برای انجام تداخل سنجی منطقه مورد مطالعه

زوج تصاویر	زمان تصویر مستر	زمان تصویر اسلیو	دوره پایش	مشخصات تصویر	خط مبنای زمانی (روز)	خط مبنای مکانی (متر)	صعود یا نزولی	گذر
۱	31-OCT-2017 03:01:49	-	قبل	S1A_IW_GRDH_1SDV	۰	۰	نزولی	۷۹
	-	12-NOV-2017 03:01:49		S1A_IW_GRDH_1SDV	۱۲-	۵۲,۴۶-	نزولی	۷۹
۲	-	24-NOV-2017 03:01:49	قبل تا بعد	S1A_IW_GRDH_1SDV	۲۴-	۶,۶۵-	نزولی	۷۹
۳	07-NOV-2017 02:53:49	-	قبل تا بعد	S1A_IW_GRDH_1SDV	۰	۰	نزولی	۶
		19-NOV-2017 02:53:48		S1A_IW_GRDH_1SDV	۱۲-	۱۴,۸۳	نزولی	۶
۴	31-OCT-2017 03:01:49	-	قبل	S1A_IW_SLC__1SDV	۰	۰	نزولی	۷۹
	-	12-NOV-2017 03:01:48		S1A_IW_SLC__1SDV	۱۲-	۴۹,۵۵-	نزولی	۷۹
۵	-	24-NOV-2017 03:01:48	قبل تا بعد	S1A_IW_SLC__1SDV	۲۴-	۶,۳۲-	نزولی	۷۹
۶	06-NOV-2017 14:51:46	-	قبل تا بعد	S1A_IW_SLC__1SDV	۰	۰	صعودی	۱۷۴
	-	18-NOV-2017 14:51:46		S1A_IW_SLC__1SDV	۱۲-	۱,۱۸-	صعودی	۱۷۴
۷	18-NOV-2017 14:51:46	-	بعد	S1A_IW_SLC__1SDV_	۰	۰	صعودی	۷۲
	-	24-NOV-2017 15:00:04		S1A_IW_SLC__1SDV	۱۲-	۳۳,۵۳-	صعودی	۷۲

تولید اینترفروگرام

پس از ارزیابی اولیه تصاویر جدول(۱)، زوج تصاویر مناسب برای انجام فرایند اینترفرومتری انتخاب و به کمک نرم افزار SNAP ثبت مجدد و اینترفروگرام های مربوط تهیه شده‌اند. به‌طورکلی اختلاف فازهای اینترفرومتریک هر زوج تصویر راداری از یک نقطه ناشی ۵ عامل تغییرات سطح زمین، توپوگرافی، جابجاشدگی، اتمسفر و نویز هستند رابطه(۱)، بنابراین، مقدار اختلاف فاز هر پیکسل در اینترفروگرام حاصل جمع اجزای زیر است:

رابطه(۱) :

اختلاف فاز کل در هر اینترفروگرام = سطح زمین(۱)+ توپوگرافی(۲)+ جابجاشدگی (۳)+ اتمسفری(۴) + نویز(۵)

[Downloaded from jgs.khu.ac.ir on 2024-10-12]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1400.21.60.6.2]
[DOI: 10.52547/jgs.21.60.47]

اثر سطح زمین و توپوگرافی قبل از زمین‌لرزه از هر یک از اینترفروگرام‌های اولیه با استفاده از مشخصات الحاقیه‌های مرتبط با مدار ماهواره و مدل رقومی ارتفاعی قبل از زمین‌لرزه تعیین و حذف شده اند. در این بررسی، از مدل رقومی ارتفاعی ۳۰ (SRTM 30m) استفاده شده است. سری زمانی اختلاف فاز و اینترفروگرام ها پس از حذف اثر فازهای توپوگرافی قبل از زمین‌لرزه تهیه شده اند شکل(۴). همانطور که در شکل(۴) مشاهده می شوند فرینچ‌های اینترفرومتریک به وضوح قابل مشاهده هستند زیرا مشاهدات فاز به ندرت با نویزها دچار عدم همبستگی شده‌اند. به منظور بازکردن فازها[۱] و بدست آوردن فازهای اینترفرومتریک بازشده، از نرم افزار اسنپ‌فو[۲] که توسط دانشگاه استنفورد ارائه شده ، استفاده شده است. برای ارزیابی همدوسی(کوهرنسی) دقیق‌تر، الگوریتم مولتی‌لوکینک بر روی هریک از اینترفروگرام‌ها اجرا شده‌اند. در طی فرایند اخیر هرچند که وضوح مکانی اینترفروگرام کاهش می‌یابند، ولی نسبتِ سیگنال به نویز افزایش یافته است شکل(۴). از تصاویر حاصل از نرم افزار اسنپ فو(اینترفروگرام هایی که فازهای آن باز شده) در محیط نرم افزاری اسنپ با توجه به طول موج تصاویر راداری مورد استفاده(۵۶ سانتیمتر)، مدل ارتفاعی نسبی و سپس به کمک مدل رقومی ارتفاعی ۳۰ متر و موقع منطقه در سیستم تصویر UTM و زون ۳۸، مدل رقومی ارتفاعی واقعی تهیه شده اند شکل(۵). جهت کمّی سازی تغییرات ژئومورفیک زمین‌لغزش بزرگ مله‌کبود ناشی از وقوع زمین لرزه ۷٫۳ سال ۱۳۹۶ کرمانشاه با استفاده از اینتروفرمتری، مدل های رقومی تهیه شده مربوط به قبل و بعد از زمین لرزه کرمانشاه با یکدیگر مقایسه و نتایج مورد تجزیه‌وتحلیل قرارگرفته‌اند.

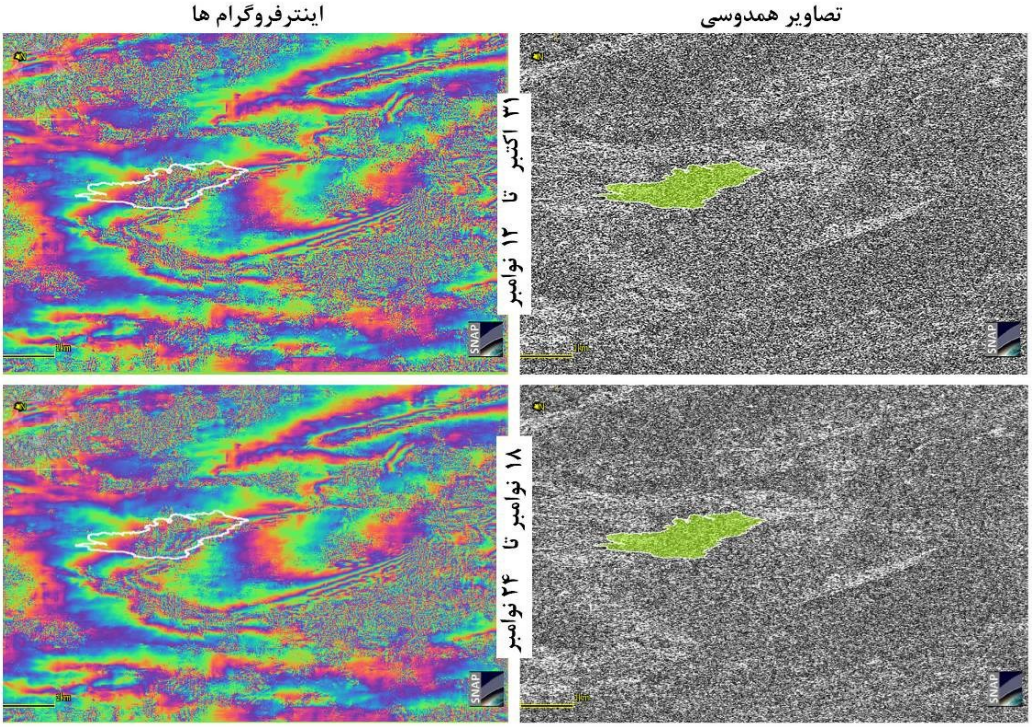
۱ - Unwrapping

۲ - Snaphu

[Downloaded from jgs.khu.ac.ir on 2024-10-12]

[DOR: 20.1001.1.22287736.1400.21.60.6.2]

[DOI: 10.52547/jgs.21.60.47]



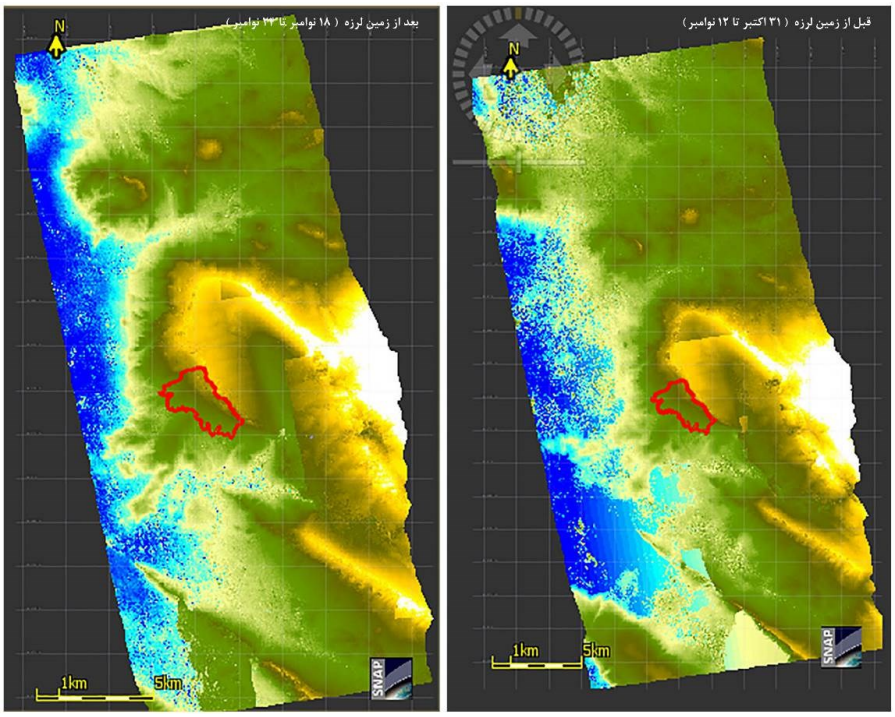
شکل(۴). تصاویر همدوسی و اینترفروگرام‌های قبل و بعد از زمین لرزه جهت تهیه مدل رقومی ارتفاعی

نتایج

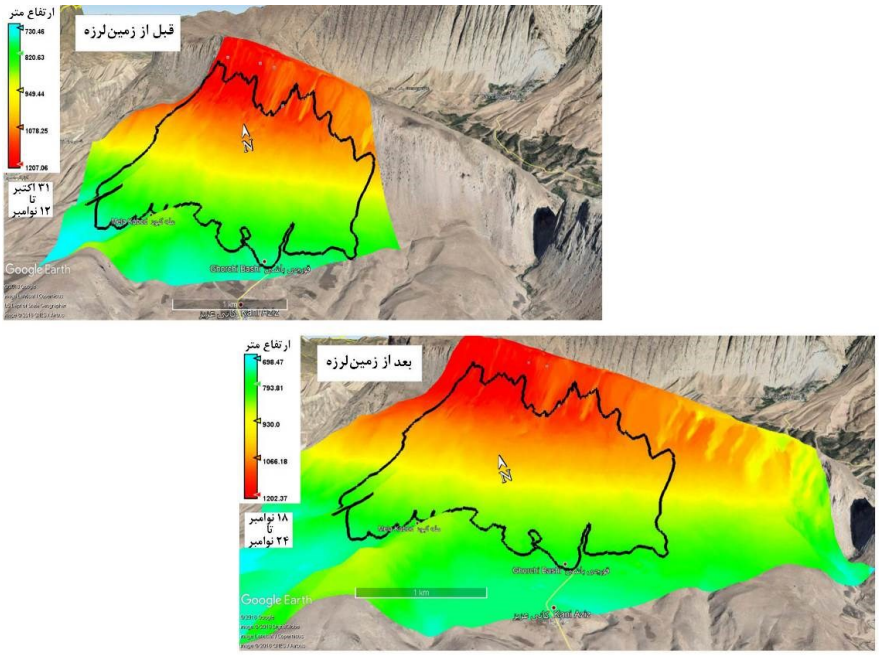
الف) ارزیابی کمّی تغییرات

شکل(۵) نقشه های ارتفاعی قبل و پس از زمین لرزه ۷٫۳ ریشتری ۱۳۹۶ ازگله از منطقه مورد مطالعه را نشان می دهند. مقایسه مدل رقومی ارتفاعی مربوط به قبل و بعد از زمین لرزه در حدفاصل روستای قوچ باشی-مله‌کبود(شمال شهر سرپل ذهاب) که محل بزرگترین زمین‌لغزش ناشی از زمین‌لرزه در آن به وقوع پیوسته است، بیانگر تغییر قابل‌توجه در این محل است اشکال(۷ و ۶). مقایسه این تصاویر بیانگر تغییرات ارتفاعی در گستره موردمطالعه و قابل‌توجه در حدفاصل واقع در پیشانی کوه شاه‌نشین(در شمال) و روستاهای قوچ باشی و مله کبود(در جنوب) هستند. بررسی آماری مدل‌های رقومی جدید(بعد از زمین لرزه) و قدیمی(پیش از زمین‌لرزه) بیانگر کاهش کلی ارتفاع و فرونشست بر روی دامنه در محدوده زمین لغزش مله کبود است. حداکثر کاهش ارتفاع در افتگاه و جبهه کوهستان شاه نشین ۲۰ متر و افزایش ارتفاع ناشی از لغزش چرخشی و انباشت رسوبات زمین‌لغزش بیش از ۱۵ متر ارزیابی شد. براساس تعداد کل نقاط پیکسل های تصاویر راداری موردمطالعه در محدوده زمین‌لغزش، مساحت محدوده لغزشی حدود ۶ کیلومترمربع(۵۷۷ هکتار) با حجمی حدود ۵۰۰ میلیون مترمکعب برآورد شده است.

[Downloaded from jgs.khu.ac.ir on 2024-10-12]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1400.21.60.6.2]
[DOI: 10.52547/jgs.21.60.47]



شکل(۵). مدل رقومی قبل (راست) و پس از زمین لرزه (چپ) از منطقه مورد مطالعه (تاریخ زمین لرزه ۱۲-۱۱-۲۰۱۷). پلی‌گون موقع زمین لغزش مله کبود را نشان می دهد.



شکل(۶). همپوشانی مدل رقومی ارتفاعی حاصل از اینترفرومتری منطقه زمین لغزش مله کبود بر روی گوگل ارث

[Downloaded from jgs.khu.ac.ir on 2024-10-12]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1400.21.60.6.2]
[DOI: 10.52547/jgs.21.60.47]

حداکثر طول زمین‌لغزش، در راستای عمود بر جبهه پرتگاه کوهستانی کوه شاه نشین ۴۵۷۰ متر است. عرض لغزش در راستای محور قوچی باشی- جبهه کوهستان و در راستای شمال-جنوب حدود ۲۳۰۰-۱۵۰۰ متر اندازه گیری شده است. مقایسه جزئیات تغییر ارتفاع پیش و پس از زمین‌لرزه بیانگر افزایش ۲۰ متری و افت ارتفاعی حدود ۸ متر در پای زمین‌لغزش است.

تغییرات ژئومورفیک محلی

بازدیدهای میدانی صورت گرفته از محدوده زمین لغزش بیانگر وقوع زمین لغزش‌های مکرر از گذشته تاکنون و وقوع زمین لغزشی بسیار بزرگ بر روی دامنه جنوبی کوه شاه‌نشین در شمال روستاهای مله کبود و قوچ باشی است. بررسی سطح زمین لغزش بر ایجاد لغزشی چرخشی۱ همراه با شکاف‌های هلالی شکل جانب به مرکز فراوان در زمین لغزش است. در بازدید گستره زمین لغزش، آثار فراوانی از رخداد چندین زمین لغزش قدیمی مشاهده گردید، که بیانگر این است که زمین لغزش مله کبود زمین لغزش لرزه ای فعال و قدیمی است. بر اساس اندازه‌گیری‌های میدانی میزان فروریزی(فرونشست) زمین در محل پیشانی(افتگاه) زمین لغزش(جبهه کوهستان شاه نشین) ۴-۲۵ متر تغییر می کند. عمق این شکاف ها در برخی مناطق به قدری زیاد بود که امکان رؤیت آن وجود نداشت و این شکاف ها مشکلاتی را برای دامداران منطقه و سقوط دام های آنها بداخل آن در بر داشته است. اشکال(۸ و ۷).

شکل(۷). میزان افت زمین در محل پیشانی زمین لغزش(جبهه کوهستان شاه نشین)

به کمک متر لیزری، عمق شکاف های قابل‌رؤیت در برخی مناطق تا ۵۰ متر اندازه‌گیری شد شکل(۸). بر اساس مصاحبه با ساکنین و بازدید محلی، میزان اندازه‌گیری راداری صورت گرفته با شرایط میدانی تفاوت چندانی نداشت. بر این اساس روستای ملک کبود۱۰-۱۵ متر، و روستای قوچ باشی حدود ۱۰ متر پس از زمین لرزه ازگله به طرف مناطق پست تر پیشروی داشته اند.

۱ - Rotational Landslide

[Downloaded from jgs.khu.ac.ir on 2024-10-12]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1400.21.60.6.2]
[DOI: 10.52547/jgs.21.60.47]

شکل(۸). الگوی توزیع و شکل شکاف ها ناشی زمین لرزه بر روی زمین لغزش مله کبود بیانگر لغزش چرخشی آن است.

نتیجه گیری

همزمان با وقوع زمین‌لرزه ۷٫۳ ریشتری ازگله کرمانشاه در ۲۱ آبان ماه ۱۳۹۶ (۲۰۱۷-۱۱-۱۲) یکی از بزرگترین زمین‌لغزش لرزه‌ای ایران به وقوع پیوست. تغییرات ژئومورفولوژیک ناشی از زمین‌لغزش لرزه‌ای بزرگ مله کبود در گستره‌ای به طول ۴۳۰۰ متر و پهنای حدود ۱۵۰۰-۲۳۰۰ متر روی داده است. این در حالی است که تغییر ارتفاع نسبی زمین لغزش حدود ۲۰ متر در راستای عمودی است. وسعت منطقه متأثر از زمین‌لغزش به حدود ۶ کیلومترمربع و حجمی حدود ۵۰۰ میلیون مترمکعب برآورد شده است. این بررسی نشان داد که تکنیک اینترفرومتری توانایی برآورد دقیق تغییرات لندفرم ها را دارد. براساس نتایج این تحقیق و با توجه به در دسترس بودن تصاویر راداری سنتینل امکان ژئومورفومتری راداری و برآورد تغییرات کمّی لندفرم ها در گذر زمان و پایش آنها به طور دقیق ممکن شده است. نتایج کمّی‌سازی مگالغزش لرزه‌ای مله‌کبود حاصل از مطالعات میدانی و تفسیر تصاویر راداری نشان داد که نتایج حاصل از اینترفرومتری با بررسی‌های میدانی تفاوت‌های کمّی دارند. به عبارتی ویژگی‌های فضایی-مکانی حاصل از این پژوهش با واقعیت آنچه که در طبیعت اتفاق افتاده است، کاملاً موافق هست. لازم به ذکر است که دقت برآورد تغییر ارتفاع و حجم توده لغزشی ممکن است با توجه به خطای موجود در مدل رقومی ارتفاعی مربوط به قبل از لغزش تأثیر بپذیرد.

[Downloaded from jgs.khu.ac.ir on 2024-10-12]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1400.21.60.6.2]
[DOI: 10.52547/jgs.21.60.47]

منابع

اسدی زینب و زارع مهدی.(۱۳۹۴). **برآورد توان لرزه زایی گسل ها و ارزیابی بزرگای زمین لرزه های پیش از تاریخ از داده های زمین لغزش: مطالعه موردی در دره نور (البرز مرکزی)**، ۲۴ (۹۵): ۶۷–۷۸.

آروان، غلامعباس, قریب فریبرز و خلج معصومی معصومه .(۱۳۹۵). **آشکارسازی جابجایی زمین لغزش در پهنه لغزشی پشت قلعه دورود با استفاده از تصاویر ماهواره ای نوری**، ۲ (۱): ۶۷–۷۸.

پرتابیان، عبدالرضا، فتوحی صمد و ریگی حامد. (۱۳۹۶). **مقایسه کارایی پهنه بندی خطر زمین لغزش با استفاده از مدل های ارزش اطلاعات و تراکم سطح در استان سیستان و بلوچستان**، ۷ (۲۴): ۱–۱۱.

رضایی مقدم، محمدحسین، نیک جو محمدرضا, ولی زاده کامران خلیل, بلواسی ایمانعلی و بلواسی مهدی. ۱۳۹۶. **کاربرد مدل شبکه عصبی مصنوعی در پهنه بندی خطر زمین لغزش**، ۲۱ (۵۹): ۸۹–۱۱۱.

شیرانی، کوروش ,و خوش باطن محبوبه. (۱۳۹۵). **بررسی و پایش زمین لغزش فعال با استفاده از روش تداخل سنجی تفاضلی راداری (مطالعه موردی: زمین لغزش نقل، سمیرم)**، ۲ (۱): ۵۳–۶۶.

علائی طالقانی, محمود و زهرا رحیم‌زاده. (۱۳۹۵). **نقش گسل کرند در تحول شکل چین ها در شمال غرب زاگرس مورد: ناودیس ریجاب.**" فصلنامه جغرافیا و توسعه ۱۱ (۳۰): ۱۷۹–۹۰ .

گورابی, ابوالقاسم. ۱۳۹۲. **دیرینه لرزه شناسی**. ۱، نشر انتخاب، تهران.

Ambrosi, Christian, Tazio Strozzi, Cristian Scapozza, and Urs Wegmüller. 2018. **"Landslide Hazard Assessment in the Himalayas (Nepal and Bhutan) Based on Earth-Observation Data**." Engineering Geology 237 (April): 217–28.

Bayer, B., A. Simoni, D. Schmidt, and L. Bertello. 2017. "**Using Advanced InSAR Techniques to Monitor Landslide Deformations Induced by Tunneling in the Northern Apennines, Italy**." Engineering Geology 226 (August): 20–32.

Bovenga, Fabio, Guido Pasquariello, Roberta Pellicani, Alberto Refice, and Giuseppe Spilotro. 2017. "**Landslide Monitoring for Risk Mitigation by Using Corner Reflector and Satellite SAR Interferometry: The Large Landslide of Carlantino (Italy)**." CATENA 151 (April): 49–62.

Carnec, Claudie, Didier Massonnet, and Christine King. 1996. "**Two Examples of the Use of SAR Interferometry on Displacement Fields of Small Spatial Extent**." Geophysical Research Letters 23 (24): 3579–82.

Casagli, N., F. Cigna, S. Bianchini, D. Hölbling, P. Füreder, G. Righini, S. Del Conte, et al. 2016. "**Landslide Mapping and Monitoring by Using Radar and Optical Remote Sensing: Examples from the EC-FP7 Project SAFER**." Remote Sensing Applications: Society and Environment 4 (October): 92–108.

Chen, Qiang, Haiqin Cheng, Yinghui Yang, Guoxiang Liu, and Liyao Liu. 2014. "**Quantification of Mass Wasting Volume Associated with the Giant Landslide Daguangbao Induced by the 2008 Wenchuan Earthquake from Persistent Scatterer InSAR**." Remote Sensing of Environment 152 (September): 125–35.

Colesanti, Carlo, and Janusz Wasowski. 2006. "**Investigating Landslides with Space-Borne Synthetic Aperture Radar (SAR) Interferometry**." Engineering Geology 88 (3): 173–99.

Dai, Keren, Zhenhong Li, Roberto Tomás, Guoxiang Liu, Bing Yu, Xiaowen Wang, Haiqin Cheng, Jiajun Chen, and Julia Stockamp. 2016. "**Monitoring Activity at the**

[Downloaded from jgs.khu.ac.ir on 2024-10-12]

[DOR: 20.1001.1.22287736.1400.21.60.6.2]

[DOI: 10.52547/jgs.21.60.47]

Daguangbao Mega-Landslide (China) Using Sentinel-1 TOPS Time Series Interferometry." Remote Sensing of Environment 186 (December): 501–13.

De Zan, F., and A. Monti Guarnieri. 2006. "**TOPSAR: Terrain Observation by Progressive Scans**." IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing 44 (9): 2352–60.

Dong, Jie, Lu Zhang, Minggao Tang, Mingsheng Liao, Qiang Xu, Jianya Gong, and Meng Ao. 2018. "**Mapping Landslide Surface Displacements with Time Series SAR Interferometry by Combining Persistent and Distributed Scatterers: A Case Study of Jiaju Landslide in Danba, China**." Remote Sensing of Environment 205 (February): 180–98.

European Space Agency. 2018. 2018. https://earth.esa.int/web/guest/missions/esa-operational-eo-missions/sentinel-1.

Gallen, Sean F., Marin K. Clark, Jonathan W. Godt, Kevin Roback, and Nathan A. Niemi. 2017. "**Application and Evaluation of a Rapid Response Earthquake-Triggered Landslide Model to the 25 April 2015 Mw 7.8 Gorkha Earthquake, Nepal**." Tectonophysics, Special Issue on the 25 April 2015 Mw 7.8 Gorkha (Nepal) Earthquake, 714–715 (Supplement C): 173–87.

Huang, Da, Dong Ming Gu, Yi Xiang Song, Duo Feng Cen, and Bin Zeng. 2018. "**Towards a Complete Understanding of the Triggering Mechanism of a Large Reactivated Landslide in the Three Gorges Reservoir**." Engineering Geology 238 (May): 36–51.

Liu, Peng, Zhenhong Li, Trevor Hoey, Cem Kincal, Jingfa Zhang, Qiming Zeng, and Jan-Peter Muller. 2013. "**Using Advanced InSAR Time Series Techniques to Monitor Landslide Movements in Badong of the Three Gorges Region, China**." International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation 21 (April): 253–64.

Novellino, A., F. Cigna, A. Sowter, M. Ramondini, and D. Calcaterra. 2017. "**Exploitation of the Intermittent SBAS (ISBAS) Algorithm with COSMO-SkyMed Data for Landslide Inventory Mapping in North-Western Sicily, Italy**." Geomorphology 280 (March): 153–66.

Qu, Chunyan, Ronghu Zuo, Xinjian Shan, Jyr-ching Hu, and Guohong Zhang. 2017. "**Coseismic Deformation of the 2016 Taiwan Mw6.3 Earthquake Using InSAR Data and Source Slip Inversion**." Journal of Asian Earth Sciences 148 (October): 96–104.

Roering, Joshua J., Laura L. Stimely, Benjamin H. Mackey, and David A. Schmidt. 2009. "**Using DInSAR, Airborne LiDAR, and Archival Air Photos to Quantify Landsliding and Sediment Transport**." Geophysical Research Letters 36 (19).

Samia, Jalal, Arnaud Temme, Arnold Bregt, Jakob Wallinga, Fausto Guzzetti, Francesca Ardizzone, and Mauro Rossi. 2017. "**Characterization and Quantification of Path Dependency in Landslide Susceptibility**." Geomorphology 292 (September): 16–24.

Setiawan, Hendy, Kyoji Sassa, Kaoru Takara, Toyohiko Miyagi, and Hiroshi Fukuoka. 2016. "**Initial Pore Pressure Ratio in the Earthquake Triggered Large-Scale Landslide near Aratozawa Dam in Miyagi Prefecture, Japan**." Procedia Earth and Planetary Science, The Fourth Italian Workshop on Landslides, 16 (Supplement C): 61–70.

Tung, Hsin, and Jyr-Ching Hu. 2012. "**Assessments of Serious Anthropogenic Land Subsidence in Yunlin County of Central Taiwan from 1996 to 1999 by Persistent**

[Downloaded from jgs.khu.ac.ir on 2024-10-12]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1400.21.60.6.2]
[DOI: 10.52547/jgs.21.60.47]

Scatterers InSAR." Tectonophysics, Geodynamics and Environment in East Asia, 578 (November): 126–35.

Vega, Johnny Alexander, and Cesar Augusto Hidalgo. 2016. "**Quantitative Risk Assessment of Landslides Triggered by Earthquakes and Rainfall Based on Direct Costs of Urban Buildings.**" Geomorphology 273 (Supplement C): 217–35.

Wang, Ying, Chongzhen Song, Qigen Lin, and Juan Li. 2016. "**Occurrence Probability Assessment of Earthquake-Triggered Landslides with Newmark Displacement Values and Logistic Regression: The Wenchuan Earthquake, China**." Geomorphology 258 (Supplement C): 108–19. https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2016.01.004.

Yin, Yueping, Wamo Zheng, Yuping Liu, Jialong Zhang, and Xiaochun Li. 2010. "**Integration of GPS with InSAR to Monitoring of the Jiaju Landslide in Sichuan, China**." Landslides 7 (3): 359–65. https://doi.org/10.1007/s10346-010-0225-9.

[Downloaded from jgs.khu.ac.ir on 2024-10-12]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1400.21.60.6.2]
[DOI: 10.52547/jgs.21.60.47]