

برآورد توان لرزه‌زایی گسل‌ها و ارزیابی بزرگای زمین‌لرزه‌های پیش از تاریخ از داده‌های زمین لغزش: مطالعه موردی در دره نور (البرز مرکزی)

زینب اسدی^{۱*} و مهدی زارع^۲

^۱ کارشناسی ارشد، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران
^۲ دانشیار، پژوهشگاه بین‌المللی زمین‌لرزه‌شناسی و مهندسی زمین‌لرزه، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۰/۰۷/۰۶ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۰۹/۲۷

چکیده

شناخت ویژگی‌های دیرینه‌لرزه‌شناختی و توان لرزه‌زایی گسل‌های هر منطقه برای برآورد میزان خطر زمین‌لرزه از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. استفاده از نشانه‌های زمین‌ریخت‌شناختی (Geomorphic markers) به عنوان روشی غیرمستقیم در مطالعات دیرینه‌لرزه‌شناختی برای شناخت ویژگی‌های جنبایی زمین‌ساختی هر منطقه و برآورد توان لرزه‌زایی گسل‌های آن، روشی مناسب و کاربردی در مناطق کوهستانی است. در این میان، زمین‌لغزش‌های بزرگ (Gigantic Landslide) را نشانه مناسبی می‌توان برشمرد. این زمین‌لغزش‌ها معمولاً با عوامل زمین‌ساختی مرتبط بوده و در بسیاری موارد زمین‌لرزه به عنوان محرک آنها عمل می‌کند. در پژوهش حاضر، زمین‌لغزش‌های بزرگ در دره نور (البرز مرکزی) به عنوان نشانه زمین‌ریخت‌شناختی برای شناخت شرایط لرزه‌ای منطقه و توان لرزه‌زایی گسل‌های آن به کار گرفته شده‌اند. در حوالی این دره زمین‌لرزه تاریخی گزارش نشده است، اما وجود زمین‌لغزش‌های بزرگ و قدیمی مرتبط با زمین‌لرزه نشان از رخداد زمین‌لرزه‌هایی متعدد و بزرگ در بازه فراتر از تاریخ در منطقه دارد. با توجه به ویژگی‌های ریخت‌شناختی این زمین‌لغزش‌ها، سه رده سنی مختلف (هولوسن پسین، هولوسن پیشین و پلیستوسن پسین) برای آنها تعیین شده است که این امر امکان شناسایی رخداد زمین‌لرزه‌های متعددی در منطقه را فراهم نموده است. از سوی دیگر با توجه به حجم مواد جابه‌جا شده، زمین‌لرزه‌های مسبب می‌توانند بزرگایی از $7/7 \pm 0/49$ تا $7/9 \pm 0/49$ را نشان دهند. با توجه به توزیع مکانی این زمین‌لغزش‌ها و شواهد دیگر، احتمالاً قطعه خاوری گسل بلده به عنوان مسبب اصلی زمین‌لرزه‌های عمل کرده است.

کلیدواژه‌ها: زمین‌لغزش‌های بزرگ، دیرینه‌لرزه‌شناسی غیرمستقیم، توان لرزه‌زایی، زمین‌لرزه پیش از تاریخ، دره نور (البرز مرکزی).

*نویسنده مسئول: زینب اسدی

E-mail: zasadi1385@gmail.com

۱- پیش‌نوشتار

تعیین توان لرزه‌زایی گسل‌ها و ویژگی‌های لرزه‌خیزی حاکم بر آنها از مسائل مهم در شناخت شرایط زمین‌ساخت فعال (Active Tectonics) به شمار می‌آید. زمین‌ساخت فعال به فرایندهای زمین‌ساختی اشاره دارد که تغییر شکل پوسته زمین را ایجاد می‌کند. این فرایندها بازه زمانی را مورد بررسی قرار می‌دهند که برای جوامع انسانی دارای اهمیت هستند (Keller & Pinter, 2002). از این رو فرایندهایی مورد بررسی قرار می‌گیرند که به توزیع جوامع در دوره‌های ده‌ها سال تا صدها سال مرتبط باشند. با این وجود به منظور مطالعه و پیش‌بینی رویدادهای زمین‌ساختی در این دوره زمانی، فرایندهای یاد شده باید در بازه زمانی گسترده‌تر (حداقل چند هزار سال تا چندین ده هزار سال) مطالعه شوند. بنابراین به کارگیری روش‌ها و یا نشانه‌هایی که بتوانند این بازه زمانی (حداقل چند هزار سال تا چندین ده هزار سال) را نشان دهند ضروری است. در این میان، زمین‌لغزش‌های بزرگ قدیمی (Gigantic Paleo landslide) که با زمین‌لرزه شکل گرفته‌اند، می‌توانند به صورت غیرمستقیم به عنوان نشانه زمین‌ریخت‌شناختی از دیرینه‌لرزه‌شناسی (Paleoseismology) منطقه اطلاعات فراوانی را در اختیارمان قرار دهند و در این راستا به عنوان ابزاری کارآمد برای برآورد توان لرزه‌زایی گسل‌ها به کار گرفته شوند. زمین‌لغزش‌های بزرگ در پهنه‌های کوهستانی بیشتر در گستره‌هایی با پتانسیل لرزه‌خیزی بالا و ویژگی‌های زمین‌ساختی فعال قرار می‌گیرند و با پهنه‌های گسلی کواترنری و زمین‌لرزه‌های مرتبط با آنها در پیوند هستند و از این رو می‌توانند معرف شرایط لرزه‌خیزی منطقه باشند.

دره نور واقع در البرز مرکزی در شمال ایران (در مختصات $51^{\circ}20'$ تا $52^{\circ}20'$ خاوری و $36^{\circ}05'$ تا $36^{\circ}15'$ شمالی) (شکل ۱) جایگاه ویژه‌ای از نظر زمین‌ساختی دارد. دره‌ای خطی و طولی که با گسل‌های مهم البرز مرکزی احاطه شده است. در میانه دره نور شکل خطی دره دچار انحنا S شکلی می‌شود که این امر به همراه

توده‌های آذرین متعدد در این بخش نشان از شرایط ویژه زمین‌ساختی دره نور دارد. وجود زمین‌لغزش‌های بزرگ در دره نور شرایطی را فراهم کرده‌اند که می‌توان از آنها به عنوان نشانه زمین‌ریخت‌شناختی استفاده کنیم. از این رو در این مقاله سعی شده است تا با به کارگیری نشانه‌های زمین‌ریخت‌شناختی (زمین‌لغزش‌های بزرگ قدیمی) به برآورد توان لرزه‌زایی گسل‌های منطقه پردازیم و در این راستا دیدگاهی غیرمستقیم از موقعیت دیرینه لرزه‌شناختی منطقه پیدا کنیم.

۲- روش مطالعه

زمین‌لغزش‌ها در محیط‌های کوهستانی فعال یک پدیده عادی به شمار می‌روند. زمین‌لغزش‌های بزرگ به طور خاص فرایند فرسایشی مهمی هستند (Philip & Ritz, 1999). در محیط‌های فعال از نظر زمین‌ساختی، فرایش‌هایی که حاصل از زمین‌ساخت فعال منطقه است به همراه درزه‌ها و گسل‌های موجود می‌توانند شرایط بحرانی برای رخداد زمین‌لغزش‌های بزرگ را فراهم کنند. از سوی دیگر، زمین‌لرزه که خود یکی از پیامدهای زمین‌ساخت فعال است می‌تواند شرایط تحریک زمین‌لغزش‌ها را فراهم نماید. بنابراین زمین‌لغزش‌های بزرگی، می‌توانند به عنوان معرف شرایط لرزه‌خیزی و فعال بودن منطقه به کار روند که با زمین‌لرزه تحریک شده باشند و دلایل ساختاری در رخداد آنها امری بسیار محتمل باشد. این نوع زمین‌لغزش‌های بزرگ می‌توانند همواره منبعی برای شکل گرفتن پیش‌فرض برای یافتن محل گسل‌های فعال و توان لرزه‌زایی آنها به شمار آیند.

این نوع زمین‌لغزش‌های بزرگ معمولاً حجم زیاد و ده‌ها کیلومتر مکعب را شامل می‌شوند (Philip & Ritz, 1999). نمونه‌های مختلفی از این نوع زمین‌لغزش‌ها در دنیا گزارش شده است، از آن جمله می‌توان به زمین‌لغزش سیمره (با حجم

۰۵' ۳۶° تا ۱۵' ۳۶° شمالی بین دو جاده هراز و چالوس، در شمال باختر کوه دماوند قرار گرفته است (شکل ۱). این دره، دره‌ای ژرف با روند خاور - باختری است و یکی از بزرگ‌ترین دره‌های البرز مرکزی با این روند به شمار می‌آید. دره نور از نظر زمین‌شناسی ویژگی‌های منحصر به فردی دارد. روند خاوری - باختری و تقریباً خطی دره در مرکز آن دچار انحنا S شکلی می‌شود که با توده‌های نفوذی متعددی همراه است (شکل ۲). این توده و انحنا S شکل دره رژیم تراکشن حاکم بر البرز مرکزی را متصور می‌کند. براساس بررسی‌های Ritz et al. (2006) رژیم تراکشن حاکم بر البرز مرکزی از حدود ۱ تا ۱/۵ میلیون سال قبل و همزمان با فعالیت آتشفشان دماوند (۷۰۰ هزار سال تا ۱/۸ میلیون سال قبل) شکل گرفته است. ترکیب سنگ‌شناسی توده‌های آتشفشانی دره نور با سن آنها تغییر می‌کند (شکل ۳). توده‌های آتشفشانی دره نور دو رده سنی را نشان می‌دهند و می‌توان گفت تراکیت‌های دره نور به طور قابل توجهی هم‌ارز زمانی تراکیت‌های پسین آتشفشان دماوند هستند و ریولیت‌های آن به طور قابل توجهی جوان‌تر بوده و ترکیب آنها به دایک‌های اسیدی ناحیه طالقان شبیه است (گزارش ۳۸ سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور). با توجه به این امر که سن این توده‌های آذرین مشخص است می‌تواند به عنوان ابزاری مناسب در تعیین سن نسبی مطرح باشند.

۳-۱. چینه‌شناسی دره نور

دره نور در موقعیت متنوعی از نظر چینه‌شناسی قرار دارد. واحدهای پالئوزوئیک در شمال دره نور در نمایی گسترده‌تر به صورت زبانه‌ای محصور بین رانده‌های انگاس و زانوس رخمون دارند (شکل ۲) - البته بخشی از این زبانه در این شکل قابل مشاهده است. شمال دره نور جزو مناطقی از البرز مرکزی است که گسترش واحدهای زمانی پالئوزوئیک چشمگیر است (وحدتی‌دانشمند، ۱۳۷۰). بیشترین گسترش چینه‌ای در دره نور متعلق به واحدهای زمانی دوران مزوزوئیک است، به عبارتی می‌توان گفت دره در واحدهای سست سازند شمشک حفر شده است (شکل ۲). به طور کلی، سازند شمشک در بردارنده نهشته‌های به نسبت همگن شیل و ماسه‌سنگ است که داشتن زغال‌سنگ یکی از شاخصه‌های آن به شمار می‌رود (آقاباتی، ۱۳۸۳). سازند شمشک تنوع رخساره‌ای گسترده‌ای را در محدوده دره نور نشان می‌دهد، به طوری که در بخش‌هایی به دلیل تنوع لیتولوژی امکان تفکیک واحدها وجود ندارد و عنوان کلی شمشک مورد استفاده قرار می‌گیرد. واحدهای چینه‌شناسی مربوط به دوران سنوزوئیک در جنوب دره گسترش چشمگیری دارند.

۳-۲. گسلش در دره نور

در گستره البرز مرکزی، دره نور در شمال با گسل‌های شمال البرز و خزر (با جهت شیب به سمت جنوب) و در جنوب با گسل‌های کندوان و مشا (با جهت شیب به سمت شمال) محصور شده است (شکل ۴). در محدوده دره نور گسلش رانده‌گی مهم‌ترین عارضه دگربرختی ناحیه به شمار می‌آید (سعیدی و قاسمی، ۱۳۸۱). در این میان گسل‌های رانده‌گی با شیب به سمت جنوب از اهمیت بیشتری برخوردارند، اما گسل‌های راست‌الغز و عادی نیز به طور فرعی در کنار گسل‌های رانده‌گی در ناحیه به چشم می‌خورند (سعیدی و قاسمی، ۱۳۸۱). گسل بلده که در سراسر دره گسترش دارد، روند تقریباً خاوری - باختری با جهت شیب به سمت شمال دارد. در جنوب گسل رانده‌گی بلده رانده‌گی‌های متعددی وجود دارد که از آن جمله می‌توان به گسل‌های آزادکوه، کندوان و فراخین با جهت شیب به سمت جنوب و گسل‌های میش چالک و وارنگه رود با جهت شیب به سمت شمال اشاره نمود. در شمال گسل رانده‌گی بلده هم رانده‌گی‌های متعددی وجود دارند که شامل گسل زانوس (با جهت شیب به سمت جنوب) و گسل انگاس (با جهت شیب به سمت شمال) است (سعیدی و قاسمی، ۱۳۸۱) (شکل ۲).

۳-۳. لرزه‌خیزی در دره نور

زمین‌لرزه به عنوان یکی از پیامدهای زمین‌ساخت جنبا دارای اهمیت ویژه‌ای است و

km³ ۲۰-۳۰ که در جنوب باختری ایران در زمان پیش از تاریخ روی داده (Harrison & Falcon, 1938) و زمین‌لغزش بزرگ بوگد (Bogd) در مغولستان که در ناحیه‌ای به ابعاد ۲۰×۱۵ کیلومتر مربع شکل گرفته و گسترش یافته است (Philip & Ritz, 1999) اشاره کرد.

Korup et al. (2007) که فهرست‌های ناحیه‌ای و جهانی زمین‌لغزش‌های موجود را با مطالعات خود تکمیل کردند، در نهایت فهرستی از ۳۰۰ زمین‌لغزش بزرگ که در خشکی روی داده است را جمع‌آوری نمودند. فهرست زمین‌لغزش‌های Korup et al. (2007) به طور ویژه وقایعی با مقیاس کیلومتر را شامل می‌شود که دارای مساحت بین ۱۰^۰ تا ۱۰^۳ کیلومتر مربع و حجم ۱۰^۸ متر مکعب به بالا هستند. علاوه بر این، بیشتر زمین‌لغزش‌های بزرگ فهرست Korup et al. (2007) در دره‌های ژرف و دره‌های یخچالی قرار دارند، یعنی در جایی که میانگین ارتفاع بیشترین مقدار را دارا است. موقعیت‌های دیگری که امکان رخداد این زمین‌لغزش‌ها در آن وجود دارند شامل جبهه‌های آتشفشانی، پرتگاه‌ها، جبهه‌های کوهستانی و نواحی نزدیک گسل‌های بزرگ اصلی هستند. قرارگیری این لغزش‌ها در موقعیت‌های عنوان شده گویای وجود رابطه‌ای نزدیک و مؤثر با شرایط زمین‌ساختی در رخداد آنها دارد. ۷۵ درصد زمین‌لغزش‌های فهرست Korup et al. (2007) در کمربندهای کوهزایی اصلی مثل آلپ اروپایی، هیمالیا، پامیر، تین‌شان، کلدیلرای آمریکا و آلپ جنوبی نیوزیلند قرار داشتند. این بررسی بیش از پیش ارتباط زمین‌لغزش‌های بزرگ و شرایط ساختاری منطقه را نشان می‌دهد.

در این ارتباط شناخت زمین‌لغزش‌هایی که دارای منشأ زمین‌لرزه‌ای هستند ضروری است. ۶ ملاک Crozier (1992) می‌تواند راهنمایی برای شناسایی منشأ زمین‌لرزه‌ای برای این نوع از زمین‌لغزش باشد. این ۶ ملاک عبارتند از: ۱- لرزه‌خیزی موجود در منطقه، ۲- انطباق الگوی زمین‌لغزش با گسل فعال یا زون لرزه‌ای، ۳- تحلیل‌های ژئوتکنیکال پایداری دامنه نشان دهد که زمین‌لرزه برای تحریک گسستگی ضروری است، ۴- اندازه بزرگ زمین‌لغزش، ۵- عوارض روان‌گرایی (Liquefaction) که با زمین‌لغزش‌های ارتباط دارد، ۶- توزیع زمین‌لغزش‌ها به تنهایی براساس شرایط زمین‌شناسی - زمین‌ریخت‌شناسی توضیح داده نمی‌شود. این ملاک‌های شش گانه و یا حداقل ۳ ملاک از آنها، برای معرفی منشأ لرزه‌ای بودن زمین‌لغزش‌ها، در بررسی‌های متعددی مورد استفاده قرار گرفته است. از این بین می‌توان به مطالعاتی که توسط Philip & Ritz (1999) و Pinto et al. (2008) انجام شده است اشاره کرد. دره نور از نظر وجود زمین‌لغزش‌های بزرگ از جایگاه منحصر به فردی برخوردار است. دره‌ای خطی و فعال در البرز مرکزی در کنار گسل‌های متعدد شرایط مناسب برای رخداد این لغزش‌ها را فراهم کرده است. از این رو، در دره نور می‌توان زمین‌لغزش‌های بزرگ را به عنوان نشانه زمین‌ریخت‌شناختی مهم برشمرد. در پژوهشی زمین‌لغزش‌های بزرگ دره نور به وسیله اسدی و همکاران (۱۳۸۸) معرفی شده‌اند. این زمین‌لغزش‌ها براساس پردازش تصاویر ماهواره‌ای (باندهای ۱ تا ۷ (۸) سنجنده ETM⁺ ماهواره لندست و باند PAN ماهواره IRS)، عکس‌های هوایی (با مقیاس ۵۰۰۰: ۱) و مشاهدات صحرائی شناسایی شده‌اند.

زمین‌لغزش‌های بزرگ که دلایل ساختاری در رخداد آنها نقش مؤثر داشته است، برای شناخت شرایط لرزه‌خیزی و دیرینه‌لرزه‌شناختی دره نور مورد استفاده قرار گرفتند. در این راستا براساس روابط بین زمین‌لغزش‌ها و بزرگای زمین‌لرزه مسبب (Nepop & Agatova, 2008)، بزرگای زمین‌لرزه‌ای که مسبب این لغزش‌ها بود برآورد شد و گسل احتمالی مسبب زمین‌لرزه نیز با توجه به وضعیت پراکنندگی زمین‌لغزش‌های بزرگ (Keefer, 1984) شناسایی گردید.

۳-زمین‌شناسی منطقه

دره نور در شمال ایران و در مختصات ۵۱° ۲۰' تا ۵۲° ۲۰' خاوری و

می‌آید. زمین لغزش ایوا بین دو گسل مهم بلده و امتداد گسل آزادکوه قرار گرفته است. این زمین لغزش در فرودیواره گسل بلده قرار دارد.

زمین لغزش‌های بزرگ دره نور فرسوده هستند و زمین لغزش‌های فرسوده و قدیمی به دلیل تأثیر عوامل فرسایش آثار و شواهد خود را از دست می‌دهند. به منظور تعیین سن نسبی زمین لغزش‌ها با توجه به رده‌بندی (Mather et al., 2003) (که در جدول ۲ قابل مشاهده است) زمین لغزش‌های قدیمی دره نور را می‌توان در ۳ رده سنی تقسیم‌بندی کرد. طبق رده‌بندی (Mather et al., 2003) به نظر می‌رسد زمین لغزش ایوا جزو زمین لغزش‌های خاموش-جوان بوده و دارای سن ۱۰۰-۵۰۰ سال (هولوسن پسین) است و زمین لغزش بلده جزو رده زمین لغزش‌های خاموش-رسیده بوده و دارای سن ۵۰۰-۱۰۰۰ سال (هولوسن پیشین) می‌باشد. محدوده زمین لغزشی رزن و زمین لغزش واکمر هم به نظر می‌رسد جزو رده زمین لغزش‌های خاموش-قدیمی باشند و حدوداً سن ۱۰۰۰۰-۱۰۰۰۰۰ سال (پلیستوسن پسین) را نشان می‌دهند. علاوه بر این رده‌بندی، می‌توان با استفاده از توده‌های نفوذی موجود در دره که پیش از این عنوان شد، حدود سنی تعیین شده را کنترل کنیم. در باختر زمین لغزش بلده زمین لغزش نسبتاً بزرگ نیف (که جزو زمین لغزش‌های کوچک دره به شمار می‌آید و در شکل ۲ سمت راست بخشی از این لغزش قابل مشاهده است و موقعیت آن نسبت به توده نفوذی اسپی کوه قابل مشاهده می‌باشد) در نزدیکی زمین لغزش بلده قرار دارد و از نظر میزان فرسایش با زمین لغزش بلده شباهت زیادی دارند که می‌تواند حدودی از سن این زمین لغزش را نشان دهد. وجود توده‌های آذرین فنوریولیت اسپی کوه و تراکیت درون کاسه لغزشی در این زمین لغزش می‌تواند نشان دهد که این توده‌های آذرین قدیمی‌تر از زمین لغزش نیف است. این مورد با توجه به تعیین سن نسبی قابل تصور است، از آنجا که آثار لغزش در اطراف این توده‌ها آشفته نیست می‌توان نتیجه گرفت که لغزش بعد از فعالیت آتشفشانی اتفاق افتاده است. این توده‌های آذرین همانطور که پیش از این اشاره شد همسن آتشفشان دماوند هستند که براساس مطالعات Ritz et al. (2006) این آتشفشان دارای سن پلیستوسن است، بنابراین سن لغزش نیف باید جدیدتر از پلیستوسن باشد که این موضوع می‌تواند با تعیین سن ارائه شده در جدول ۲ منطبق باشد. اگرچه که سن‌های مطرح شده در مورد زمین لغزش‌های دره نور نسبی هستند، با این وجود تفاوت سنی در لغزش‌های بزرگ دره محسوس است و این مسأله به خوبی نشان می‌دهد که رخدادهای لرزه‌ای متعددی در منطقه اتفاق افتاده است که امکان ثبت کاملاً مجزا نداشته‌اند.

۵- کاربرد زمین لغزش‌های بزرگ در دیرینه لرزه‌شناسی

با توجه به ابعاد بزرگ زمین لغزش‌های دره نور و قرارگیری در موقعیت زمین‌ساختی جنب (Philip & Ritz, 1999)، می‌توان زمین لغزش‌های بزرگ و قدیمی دره نور را زمین لغزش‌هایی که زمین لرزه مسبب آنها بوده است در نظر گرفت. در این راستا ۳ ملاک از ۶ ملاکی که Crozier (1992) ارائه داده است (در بخش ۲ ارائه شده است) استفاده شده و منشأ این زمین لغزش‌های بزرگ و قدیمی زمین لرزه معرفی شده است. در این پژوهش آنالیزهای ژئوتکنیکال انجام نشده است، بنابراین به این وسیله نمی‌توان نتیجه‌گیری کرد که این لغزش‌ها در اثر فعالیت لرزه‌ای ایجاد شده‌اند اما ویژگی‌های ریخت‌شناختی و هندسی زمین لغزش‌های بزرگ و قدیمی دره نور می‌توانند، زمین لرزه را به عنوان مسبب رخداد زمین لغزش‌ها معرفی کنند.

۳ یا ۴ ملاک از ۶ ملاک عنوان شده برای تعیین منشأ لرزه‌ای زمین لغزش‌های دره نور مورد استفاده قرار گرفته است. وجود لرزه‌خیزی در البرز مرکزی، ابعاد بزرگ زمین لغزش‌ها و انطباق الگوی زمین لغزش با گسل‌های فعال می‌تواند برای زمین لرزه‌ای بودن این زمین لغزش‌ها به کار گرفته شود. همچنین می‌توان گفت توزیع زمین لغزش‌ها به تنهایی براساس شرایط زمین‌شناختی و زمین‌ریخت‌شناختی توضیح داده نمی‌شود. با بیان این مسائل تحریک لرزه‌ای زمین لغزش‌های بزرگ دره نور تا

شناخت سرگذشت تاریخ لرزه‌ای منطقه برای درک شرایط لرزه‌خیزی حاکم بر آن ضروری است. البرز مرکزی در طول تاریخ شاهد زمین لرزه‌های متعددی بوده است که در نقشه (شکل ۵) نمایش داده شده است. توزیع زمین لرزه‌های تاریخی در البرز مرکزی به خوبی نشان می‌دهد که در محدوده دره نور هیچ‌گونه رویداد تاریخی مهمی گزارش نشده است (Ambraseys & Melville, 1982; Berberian & Yeats, 2001) (شکل ۵). با این وجود، توزیع زمین لرزه‌های دستگاهی در البرز مرکزی دلالت بر لرزه‌خیزی بالای این بخش دارد، هر چند محدوده دره نور زمین لرزه‌های کمتری را در خود ثبت کرده است که این مسأله اهمیت بررسی این بخش از البرز مرکزی را بیش از پیش می‌نمایاند (شکل ۵).

۴- زمین لغزش‌های بزرگ دره نور

زمین لغزش‌ها را می‌توان از جمله پدیده‌های عادی در کوهستان‌های جنباً برشمرده (Philip & Ritz, 1999). زمین لغزش‌های بزرگ و متعددی در دره نور وجود دارند که در بررسی‌های اسدی و همکاران (۱۳۸۸) (با به کارگیری تصاویر ماهواره‌ای، عکس‌های هوایی و مشاهدات صحرایی) شناسایی شده‌اند. این زمین لغزش‌ها عبارتند از زمین لغزش‌های رزن، ایوا، بلده و واکمر که در جدول ۱ ویژگی آنها ارائه شده است. ویژگی‌های متعددی را می‌توان برای زمین لغزش‌ها ارائه شده در جدول ۱ برشمرده که در ادامه مطلب به شاخص‌ترین این ویژگی‌ها اشاره خواهیم کرد.

مجموعه زمین لغزشی رزن در خاور دره نور در ابتدای جاده بلده در موقعیتی که این جاده از جاده هراز منشعب می‌شود، قرار گرفته است (شکل ۱). همانطور که در جدول ۱ ارائه شده است این محدوده زمین لغزشی قابل تقسیم به ۳ زمین لغزش بزرگ دو آب، رزن و اینا است. مجموعه زمین لغزشی رزن به شدت فرسوده بوده (شکل ۶- الف) و در پنجه زمین لغزش می‌توان آثاری از مسدود شدن رودخانه توسط زمین لغزش را مشاهده کرد (شکل ۶- ب، ج). برخلاف مجموعه زمین لغزشی رزن که بسیار فرسوده است زمین لغزش ایوا که در دامنه جنوبی دره نور قرار دارد (شکل ۱)، نسبت به تمام زمین لغزش‌های بزرگ شناسایی شده در دره نور جوان‌تر است (شکل ۷- الف). وجود پرتگاه‌های لغزشی گسترده در سطوح مختلف لغزش از ویژگی بارز این زمین لغزش به شمار می‌آید (شکل ۷- ب، ج، د). زمین لغزش بلده در شمال شهر بلده در دامنه شمالی دره نور قرار دارد (شکل ۱). این زمین لغزش در موقعیت زمین‌ساختی پیچیده قرار گرفته است. روند تقریباً خطی دره در موقعیت شهر بلده دچار انحنای S ماندنی می‌شود و شرایط زمین‌ساختی پیچیده‌ای را نشان می‌دهد و زمین لغزش بزرگ بلده در این موقعیت قرار گرفته است (شکل ۲). زمین لغزش بلده دارای پرتگاه لغزشی مشخصی است که از طریق جاده بلده-نور قابل دسترسی است و از موقعیت شهر بلده قابل مشاهده است (شکل ۸- الف، ب). زمین لغزش واکمر که در دامنه مقابل زمین لغزش ایوا قرار دارد (شکل ۱) مانند مجموعه زمین لغزشی رزن بسیار فرسوده است.

با توجه به ابعاد بزرگ زمین لغزش‌های دره نور و جایگاه زمین‌ساخت جنبی آنها، زمین لرزه را می‌توان به عنوان مهم‌ترین مسبب شکل‌گیری و تکوین آنها برشمرده. توزیع زمین لغزش‌ها در بین رانندگی‌ها و شکستگی‌های موجود در منطقه ارتباط معنی‌داری را نشان می‌دهد. مقدار عددی روند (strike) دره و گسل شمال البرز از خاور به باختر افزایش می‌یابد و از این رو در خاور دره گسل شمال البرز نزدیک‌ترین فاصله را نسبت به دره نشان می‌دهد. علاوه بر این، گسل بلده به عنوان گسل اصلی دره دارای اهمیت ویژه‌ای است و توزیع خطی زمین لغزش‌ها در اطراف آن اهمیت این گسل را نشان می‌دهد. زمین لغزش‌های رزن، واکمر و بلده بین رانندگی‌های بلده و شمال البرز قرار گرفته‌اند. با توجه به جهت شیب رانندگی‌ها (گسل شمال البرز با جهت شیب به سمت جنوب و گسل بلده با جهت شیب به سمت شمال) این زمین لغزش‌ها در فرادیواره گسل بلده قرار دارند که این موضوع مسأله‌ای مهم به شمار

برای زمین‌لغزش‌های بلده و ایوا و تا حدودی برای زمین‌لغزش رزن قابل محاسبه است. علت این مورد از آنجا ناشی می‌شود که ژرفای سطح گسیختگی در این دو زمین‌لغزش قابل مشاهده و برآورد است اما در مورد محدوده زمین‌لغزش رزن و زمین‌لغزش واکمر Dr قابل محاسبه نیست. ژرفای سطح گسیختگی (Dr) در رابطه یاد شده می‌تواند معرف ارتفاع پرتگاه لغزشی یا به عبارتی بخشی از سطح باشد که با گسیختگی دامنه آشکار شده است. برای زمین‌لغزش ایوا این مقدار تقریباً به اندازه ۱۰ تا ۱۵ متر حتی در بعضی قسمت‌ها ۲۰ متر قابل اندازه‌گیری است و برای زمین‌لغزش بلده حدوداً ۱۵ تا ۲۰ متر می‌باشد. مقادیر پهنای سطحی (Wr) و طول سطحی (Lr) نیز که پیش از این در معرفی زمین‌لغزش‌ها عنوان شد برای برآورد حجم زمین‌لغزش‌های بلده و ایوا مورد استفاده قرار گرفتند. حجم زمین‌لغزش ایوا با توجه به رابطه (۱)، ۰/۸ تا ۰/۱۷ کیلومتر مکعب و در مورد زمین‌لغزش بلده ۰/۱ کیلومتر مکعب برآورد شده است.

مطالعات (Nepop & Agatova, 2008) روشی را ارائه کرده است که در آن با استفاده از انطباق تجربی، رابطه بین بزرگی زمین‌لرزه و حجم زمین‌لغزش‌های مرتبط با آن تعیین شده است. این رابطه در ارتباط با داده‌های زمین‌لرزه سال ۲۰۰۳ در Chya با بزرگای ۷/۵ کنترل شده است. بزرگای زمین‌لرزه‌های قدیمی که از حجم زمین‌لغزش‌ها ارزیابی می‌شود مقادیر حداقل هستند. نکته کلیدی روش یاد شده، تحلیل جابه‌جایی‌هایی است که به طور زمین‌ریخت‌شناختی (گسیختگی دامنه یا پرتگاه گسلی) رخ داده‌اند و منشأ لرزه‌ای دارند. اندازه و الگوی گسیختگی‌هایی که به وسیله زمین‌لرزه‌های تاریخی و ماقبل تاریخ رخ داده‌اند کاربرد مستقیمی برای برآورد بزرگای زمین لرزه مسبب دارند.

رابطه (۲) (Nepop & Agatova, 2008) ارتباط بین بزرگی زمین‌لرزه و حجم بزرگ‌ترین زمین‌لغزش را که ایجاد شده است، نشان می‌دهد.

$$\text{Log V Lmax} = 1.36M - 11.58 (\pm 0.49) \quad \text{رابطه (۲)}$$

این رابطه برای زمین‌لغزش ایوا و بلده مورد استفاده قرار گرفت و مقادیر زیر حاصل گردید. بنابراین مقدار بزرگای محاسبه شده برای زمین‌لرزه‌های مسبب زمین‌لغزش‌های بزرگ دره نور $7/7 \pm 0/49$ تا $7/9 \pm 0/49$ برآورد می‌شود که با توجه به ویژگی‌های ساختاری و لرزه‌ای البرز مرکزی دور از ذهن نیست.

(Tchalenko, 1974) براساس زمین‌لرزه‌های سده بیستم ایالت‌های لرزه‌خیز البرز را تعیین نموده است، و بیان می‌نماید که ظهور زمین‌لرزه در یک حوزه با آرامش در حوزه دیگر همراه است. طبق رده‌بندی چالکو دره نور در دامنه شمالی بخش شمال باختری و بخش کوچکی از آن در دامنه جنوبی بخش جنوب باختری قرار دارد. با توجه به این دیدگاه که چالکو اعلام می‌دارد که ظهور زمین‌لرزه‌ها در یک حوزه با آرامش در حوزه دیگر همراه است می‌توان گفت که زمین‌لرزه‌هایی با بزرگای ۷/۷ و ۷/۹ پیش از این در این بخش از البرز سابقه داشته است. زمین لرزه ۱۹۹۰ منجیل با بزرگای ۷/۷ در دامنه شمالی بخش شمال باختری و همچنین زمین‌لرزه ۸۵۶ قومن در البرز خاوری با بزرگای ۷/۹ می‌تواند این عقیده چالکو را قوت بخشد. رخداد این نوع زمین‌لرزه‌ها، رخداد زمین‌لرزه‌ای با بزرگای ۷/۷ و ۷/۹ در البرز و در نتیجه در دره نور را محتمل می‌کند. از این رو رخداد زمین‌لرزه‌ای با این بزرگا در البرز دور از ذهن نیست کما اینکه در زمان‌های مختلف حوزه‌های مختلفی از البرز این بزرگا را نشان داده‌اند.

تعیین موقعیت رومرکزی زمین‌لرزه با زمین‌لرزه‌های مسبب زمین‌لغزش‌های بزرگ دره نور نیاز به تعیین مناطقی دارد که شدت‌های مشابهی را دریافت کرده باشند. این امر وقتی مقدور است که زمین‌لغزش‌های موجود در منطقه تعیین سن مطلق شوند و لغزش‌هایی که سن مشابه دارند با عنوان مناطق با شدت یکسان در نظر گرفته شوند و براساس روابط موجود موقعیت رو مرکزی تعیین گردد که در این پژوهش این امکان وجود نداشته است.

حدود زیادی اثبات می‌شود. بنابراین زمین‌لغزش‌های بزرگ یاد شده که با زمین‌لرزه تحریک شده‌اند به عنوان نشانه زمین‌ریخت‌شناختی برای شناسایی لرزه‌خیزی منطقه مورد استفاده قرار گرفته است.

برای شناسایی زمین‌لرزه مسبب باید به ارتباط بین رخداد زمین‌لغزش و زمین‌لرزه توجه شود. در مطالعه (Keefer, 1984) توزیع زمین‌لغزش‌ها و بزرگای زمین‌لرزه محرک، در زمین‌لغزش‌های کوچک مورد بررسی قرار گرفته است و اشاره دارد که با فاصله گرفتن از کانون زمین‌لرزه توزیع زمین‌لغزش‌ها کاهش می‌یابد. این امر می‌تواند به کاهش نیروی زمین‌لرزه با فاصله گرفتن از کانون آن اشاره داشته باشد. در دره نور با توجه به ابعاد بزرگ زمین‌لغزش‌های قدیمی، احتمالاً زمین‌لرزه‌ای در نزدیکی زمین‌لغزش‌ها سبب تحریک آنها شده است. از سوی دیگر، با توجه به محدوده سنی زمین‌لغزش‌ها که پیش از این در ارتباط با زمین‌لغزش‌های بزرگ دره نور ارائه شده است، در محدوده دره نور و حتی البرز مرکزی هم زمین‌لرزه‌هایی که بتوانند مسبب این زمین‌لغزش‌های بزرگ باشد و در محدوده سنی این لغزش‌های قدیمی قرا بگیرند، ثبت نشده است. محدوده سنی تعیین شده برای زمین‌لغزش‌های بزرگ منطقه فراتر از محدوده‌ای است که فهرست‌های زمین‌لرزه‌های تاریخی نشان می‌دهند. این امر در کنار این ویژگی که پیش از این به نقل از (Keefer, 1984) ارائه شده است، محتمل می‌کند که زمین‌لرزه‌ای در محدوده دره رخ داده است که در فهرست زمین‌لرزه‌های موجود امکان ثبت نداشته و زمین‌های قدیمی دره نور را تحریک کرده‌اند.

این امر با بررسی نقشه زمین‌ساخت البرز مرکزی و توجه به نواحی خطر زمین‌لرزه‌ها (Nazari, 2005) قوت می‌گیرد. با توجه به زمین‌لرزه‌های موجود در فهرست زمین‌لرزه‌ها و نواحی خطر آنها که توسط (Nazari, 2005) در نقشه لرزه‌زمین‌ساخت البرز مرکزی ارائه شده است، به دلیل آنکه هیچ‌کدام از این زمین‌لغزش‌ها در محدوده تأثیر این زمین‌لرزه‌ها قرار نگرفته‌اند، نمی‌توان در بین زمین‌لرزه‌های ثبت شده موجود زمین‌لرزه‌ای که مسبب رخداد این زمین‌لغزش‌ها باشد، شناسایی کرد (شکل ۹).

با این حال با امکانات موجود و بررسی‌های انجام شده حاضر، می‌توان این طور نتیجه گرفت که احتمالاً زمین‌لرزه‌ای خارج از محدوده سنی زمین‌لرزه‌های تاریخی یا ماقبل تاریخی البرز مرکزی در منطقه رخ داده‌اند که امکان ثبت نداشته‌اند و می‌توان گفت در بازه زمانی زمین‌لغزش‌های بزرگ دره روی داده‌اند.

حال این سؤال مطرح می‌شود که زمین‌لرزه یا زمین‌لرزه‌های مسبب این لغزش‌ها احتمالاً چه بزرگایی داشته‌اند و کدام قطعه از گسل‌های منطقه می‌تواند مسبب رخداد آنها باشند.

۵-۱. تعیین بزرگای زمین‌لرزه مسبب

برآورد حجم مواد لغزشی در زمین‌لغزش‌های دره نور برای ارزیابی بزرگای زمین‌لرزه مسبب ضروری است. به طور کلی تعیین حجم زمین‌لغزش‌های جدید و فعال کار پیچیده‌ای است، با این اوصاف ارزیابی حجم کلی زمین‌لغزش‌های قدیمی، وقتی که بسیاری از آثار آنها از بین رفته است به صورت ارزیابی فرضی و احتمالی خواهد بود. (Cruden & Varnes, 1996) پیشنهاد کرده‌اند که برای بسیاری از زمین‌لغزش‌های سطح گسیختگی تقریباً به شکل نیمه‌بیضی است. رابطه (۱) (Mather et al., 2003) برای برآورد حجم زمین‌لغزش‌ها بر حسب متر مکعب در مورد زمین‌لغزش‌های بزرگ دره نور مورد استفاده قرار گرفته است.

$$\text{Volume (in m}^3\text{)} = 0.1667 \pi DrWrLr \quad \text{رابطه (۱)}$$

پارامترهای موجود در رابطه به شکل زیر تعریف می‌شوند.

Dr: ژرفای سطح گسیختگی به متر، Wt: پهنای سطحی، برابر با سطح گسیختگی بر حسب متر، Lr: طول سطحی، برابر با سطح گسیختگی بر حسب متر.

برآورد حجم زمین‌لغزش با توجه به فاکتورهای (۱) آمده است فقط

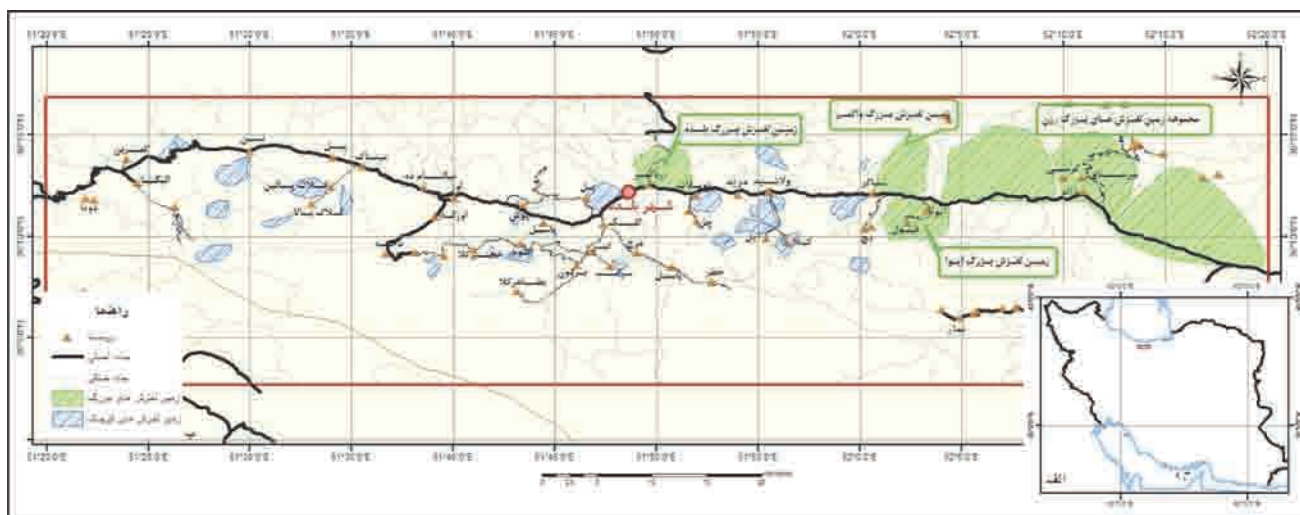
۵-۲. تعیین گسل احتمالی مسبب زمین‌لرزه

همانطور که پیش از این عنوان شد مقدار عددی روند دره و گسل شمال البرز از خاور به باختر افزایش می‌یابد و از این رو در خاور دره گسل شمال البرز نزدیک‌ترین فاصله را نسبت به دره نشان می‌دهد. از این رو می‌توان این طور نتیجه گرفت که آن قطعه از گسل شمال البرز که به خاور دره نزدیک‌تر است می‌توانسته به عنوان مسبب زمین‌لرزه‌ها عمل کرده باشد. اما توجه به آرایش خطی زمین‌لغزش‌های بزرگ دره نور در اطراف گسل بلده، می‌تواند نشانه‌ای از تأثیر گسل یاد شده در رخداد زمین‌لرزه‌های مسبب زمین‌لغزش‌های بزرگ دره نور باشد این امر کاملاً منطقی است که تنها نمی‌توان گسل‌های مستقر در دره را به عنوان مسبب معرفی کرد. اما وجود شواهدی چند باعث می‌شود که نقش گسل‌های مستقر در دره را بیشتر بدانیم. فعالیت سایر گسل‌های البرز مرکزی به‌جز گسل بلده می‌تواند باعث تحریک زمین‌لغزش‌های منطقه شود، اما بزرگی و گسترش زمین‌لغزش‌ها و نیرویی که برای تحریک آنها نیاز است و همچنین توزیع زمین‌لغزش‌ها باعث می‌شود که احتمال محرک بودن گسل‌های دورتر از دره را کمتر کند. همانطور که پیش از این با توجه به مطالعات Keefer (1984) اشاره شد، رخداد زمین‌لرزه‌هایی در محدوده دره برای تحریک زمین‌لغزش‌های قدیمی و بزرگ دره لازم است. در کنار این امر، با توجه به توزیع زمین‌لغزش‌ها در اطراف گسل بلده، می‌توان این توزیع را راهنمایی برای شناسایی قطعه‌ای از گسل که احتمالاً در رخداد زمین‌لرزه‌های احتمالی مؤثر بوده است، دانست. این توزیع مانند توزیع زمین‌لغزش‌ها در ارتباط با گسل مظفرآباد پاکستان می‌باشد، به گونه‌ای که زمین‌لغزش‌ها در فرادیواره گسل تمرکز بیشتری داشته‌اند و تعداد لغزش‌ها در فرودیواره گسل کمتر بوده است (Zare et al., 2009). در ارتباط با زمین‌لغزش‌های بزرگ دره نور هم این رابطه برقرار است. تمرکز زمین‌لغزش‌ها در فرادیواره گسل بلده و نزدیکی زمین‌لغزش‌های بزرگ با این گسل می‌تواند نشانه‌ای از فعالیت این قطعه از گسل باشد (شکل ۱۰ - الف، ب).

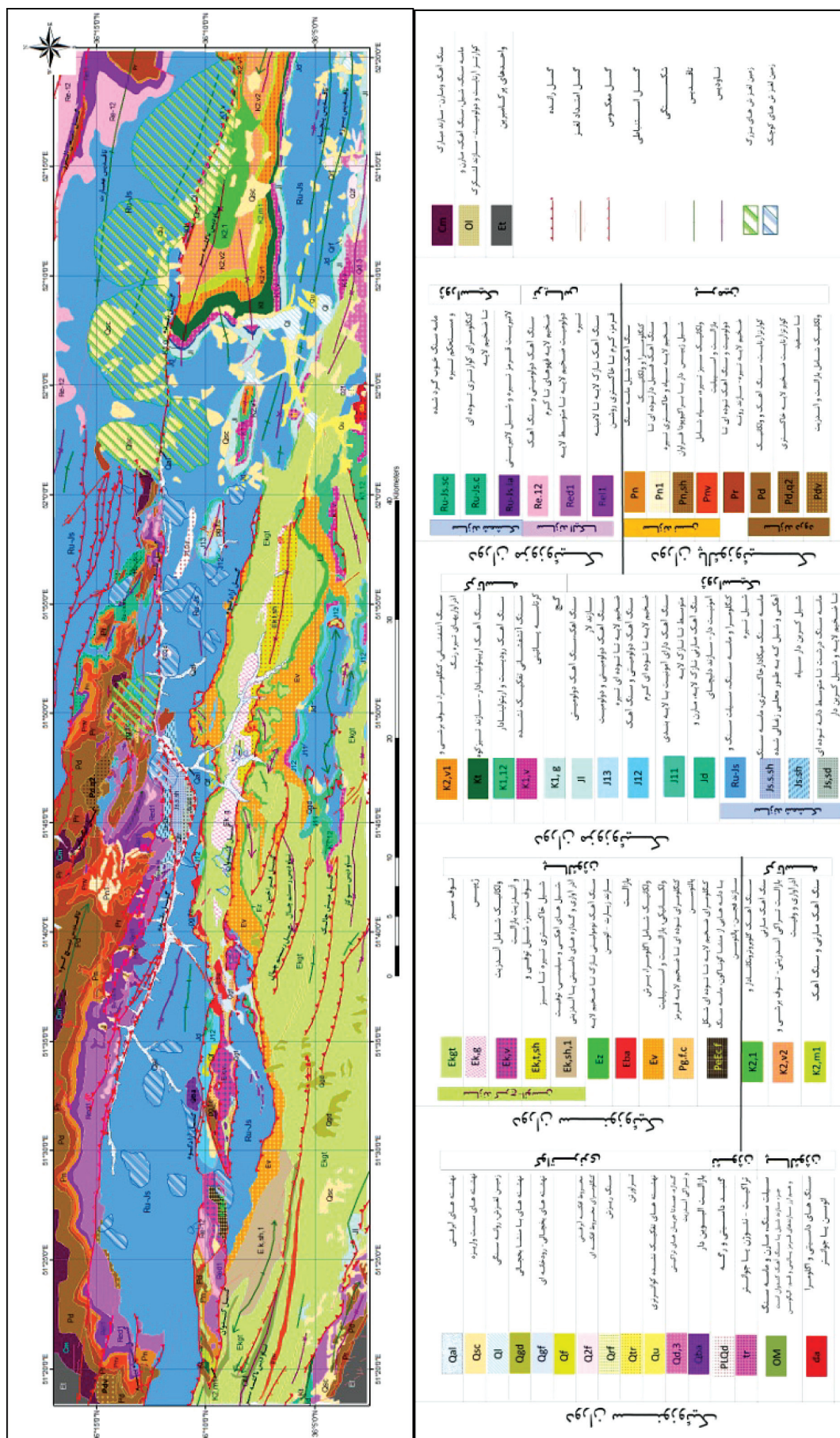
این امر انکارناپذیر است که در ارتباط با زمین‌لرزه‌های قدیمی به طور قطع نمی‌توان گسلی را به عنوان مسبب معرفی کنیم. با این وجود با توجه به شواهد مختلف و روابط علی و معلولی که بین پدیده‌های زمین‌شناسی وجود دارد، قطعه خاوری گسل بلده احتمالاً به عنوان محرک عمل کرده است. کما اینکه نقش گسل شمال البرز و سایر گسل‌های مهم البرز مرکزی را نباید نادیده گرفت. برآورد این بزرگ‌ها برای گسل بلده، می‌تواند تحلیل در مورد برآورد حداکثر

۶- نتیجه‌گیری

زمین‌لغزش‌های بزرگ در دره نور به عنوان نشانه زمین‌ریخت‌شناختی از پژوهش‌های دیرینه‌لرزه‌شناسی غیرمستقیم برای مطالعه زمین‌ساخت جنب‌مورد استفاده قرار گرفتند. با توجه به وجود زمین‌لغزش‌های بزرگ در کنار گسل‌های اصلی و مهم و همچنین لرزه‌خیزی در البرز مرکزی، تحریک‌شدگی لرزه‌ای زمین‌لغزش‌های بزرگ دره نور می‌تواند امری بسیار محتمل به شمار آید. با توجه به رده‌بندی (Mather et al., 2003) و تعیین سن نسبی انجام شده سه رده سنی هولوسن پسین، هولوسن پیشین و پلیستوسن پسین برای زمین‌لغزش‌های بزرگ دره نور تعیین شده است. در نتیجه، وجود این زمین‌لغزش‌ها می‌تواند مؤید رخداد زمین‌لرزه‌هایی در تاریخ گذشته منطقه باشد که امکان ثبت نیافته‌اند. با توجه به روابط موجود حجم زمین‌لغزش ایوا ۰/۸ تا ۰/۱۷ کیلومتر مکعب و زمین‌لغزش بلده ۰/۱ کیلومتر مکعب برآورد شده است و با توجه به، حجم زمین‌لغزش بزرگ ایوا بزرگای زمین‌لرزه مسبب حدود 0.49 ± 7.7 تا 0.49 ± 7.9 برآورد شده است و زمین‌لرزه مسبب زمین‌لغزش بزرگ بلده 0.49 ± 7.7 برآورد شده است. پراکندگی خطی زمین‌لغزش‌ها در اطراف گسل بلده و تمرکز آنها در فرادیواره قطعه خاوری گسل بلده تأثیر احتمالی این گسل را در وقوع زمین‌لرزه‌های مسبب زمین‌لغزش‌های بزرگ دره نور نشان می‌دهد.

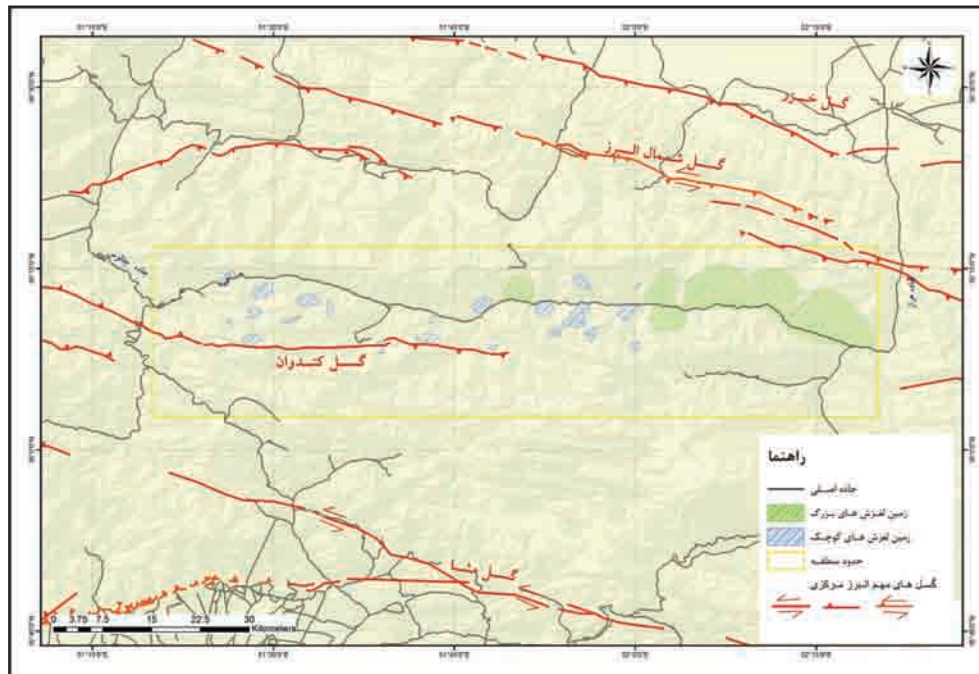


شکل ۱- الف) موقعیت دره نور در شمال ایران (کادر صورتی)؛ ب) موقعیت زمین‌لغزش‌های بزرگ (محدوده‌های سبز رنگ)، زمین‌لغزش‌های کوچک (محدوده‌های آبی رنگ) و شهر و روستاها در محدوده دره نور.

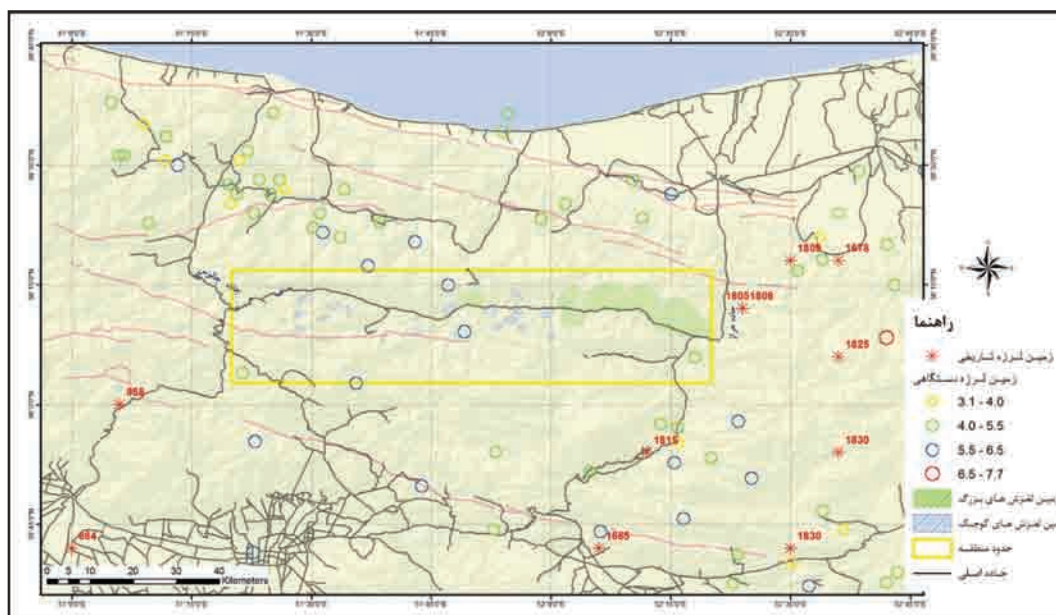


شکل ۲- نقشه زمین شناسی محدوده دره نور و موقعیت زمین لغزش‌ها در آن (واحد‌های چینه‌شناسی و ساختمانی) سعیدی و قاسمی، ۱۳۸۱؛ وحدتی دانشمند، ۱۳۷۹؛ زمین لغزش‌ها (اسدی و همکاران، ۱۳۸۸))

شکل ۳- الف) توده نفوذی گل پیر (بین روستاهای مزید و دویلات- موقعیت این روستاها در شکل ۱ قابل مشاهده است) (مختصات: $36^{\circ} 11' 51''$ / $51^{\circ} 52' 45''$ ؛ ب) توده های نفوذی نیف (در شمال شهر بلده- موقعیت بلده در شکل ۱ قابل مشاهده است) (مختصات: $36^{\circ} 12' 11''$ / $51^{\circ} 48' 38''$).



شکل ۴- گسل های اصلی البرز مرکزی (موقعیت گسل ها و سازوکار آنها (Hessami et al., 2003; Nazari, 2005) و موقعیت دره نور و زمین لغزش های بزرگ و کوچک دره نور در ارتباط با گسل های مهم البرز مرکزی).



شکل ۵- توزیع زمین لرزه های تاریخی و دستگاهی نسبت به توزیع زمین لغزش های بزرگ دره نور.



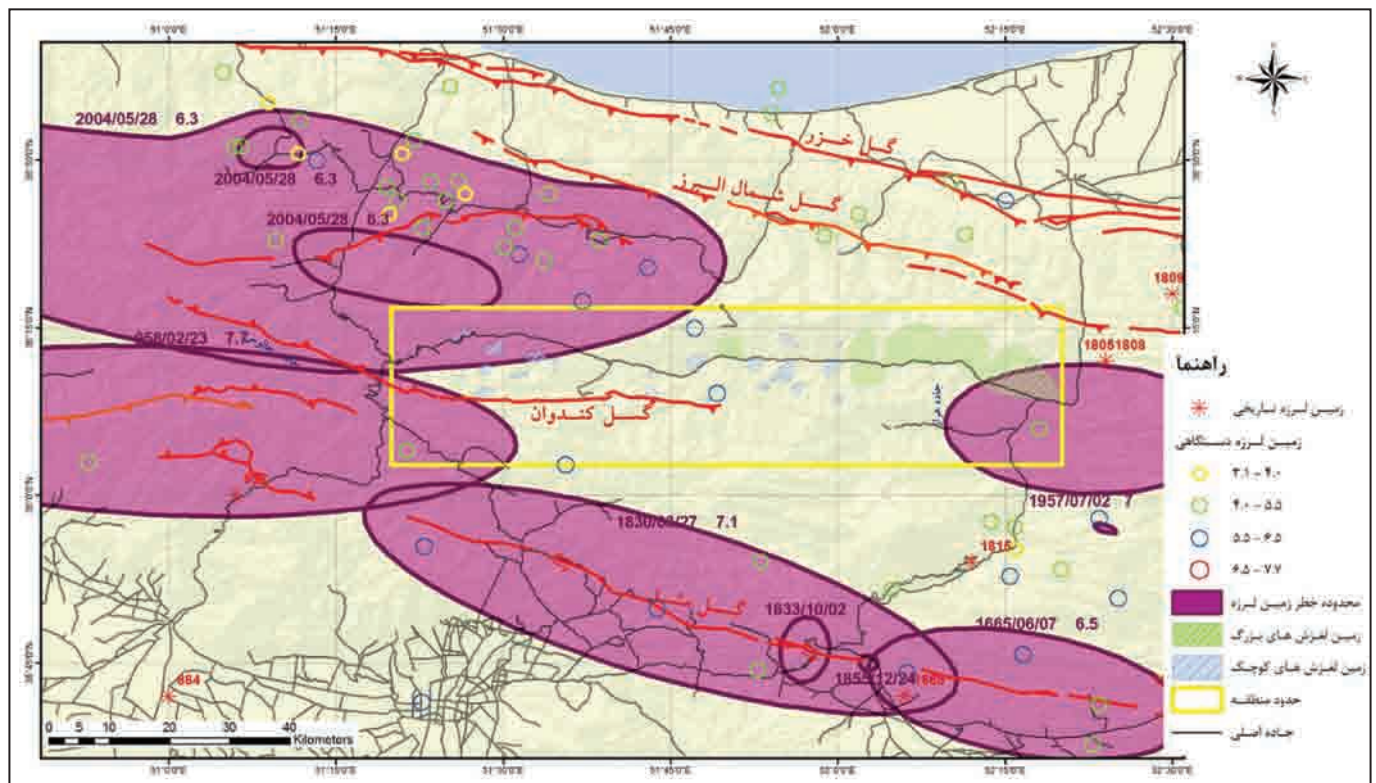
شکل ۶- الف) نمایی از زمین لغزش بزرگ رزن؛ ب، ج) زبانه زمین لغزش رزن که سبب مسدود شدن رودخانه شده است و گستره‌ای از واحدهایی شبیه به پادگانه‌های (تراس) رودخانه‌ای را ایجاد کرده است (مختصات: $36^{\circ} 12' 12''$ / $52^{\circ} 10' 59''$).



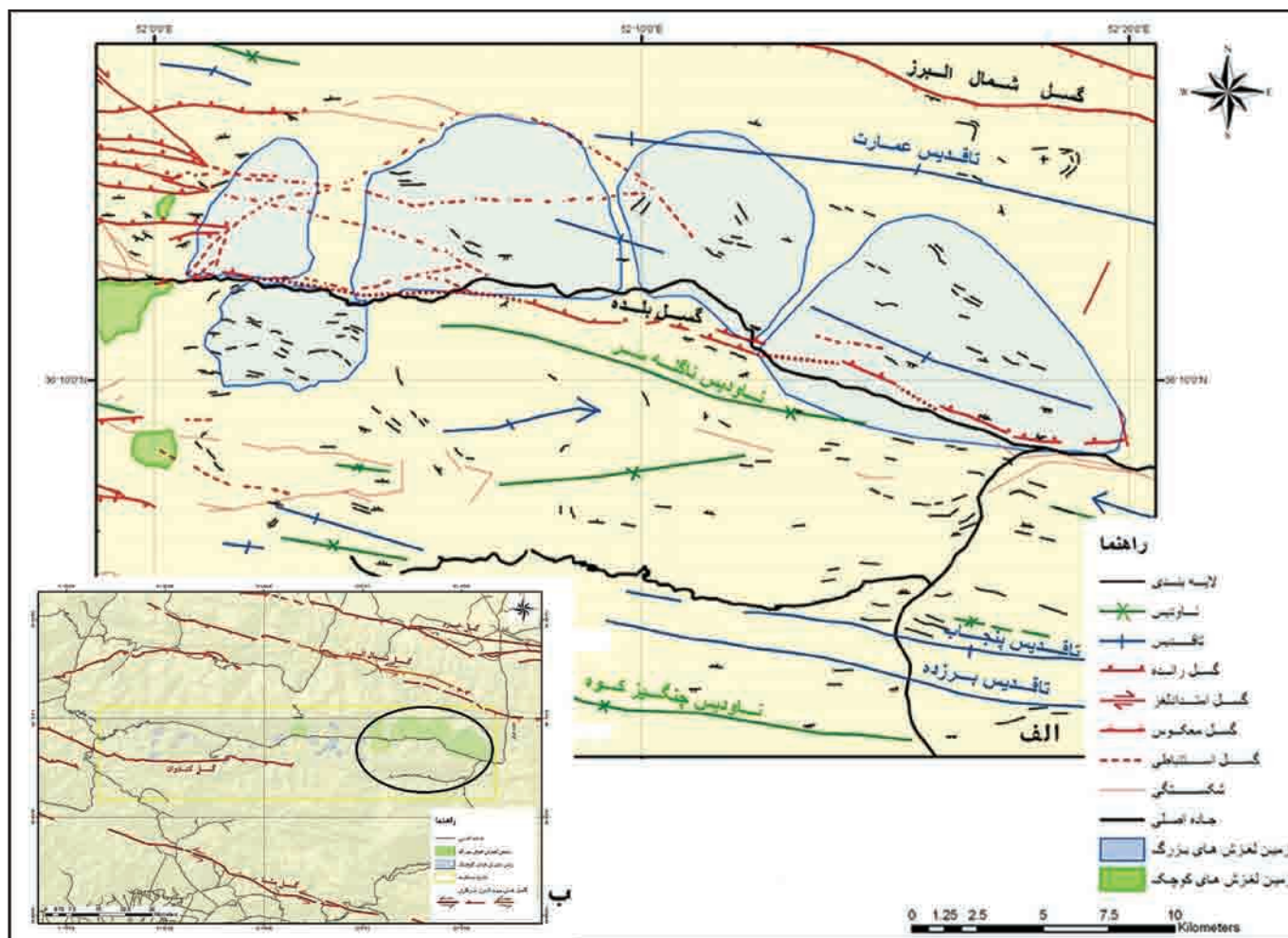
شکل ۷- نمایی از زمین لغزش‌های بزرگ قدیمی دره نور؛ الف) بخشی از کاسه لغزشی زمین لغزش بزرگ ایوا از روستای ایوا (دید به سمت جنوب)؛ ب) گسترده‌گی پرتگاه لغزشی زمین لغزش بزرگ ایوا (دید به سمت جنوب)؛ ج، د) نمای نزدیک پرتگاه لغزشی زمین لغزش بزرگ ایوا (مختصات: $36^{\circ} 11' 15''$ / $52^{\circ} 03' 13''$).



شکل ۸- نمایی از زمین لغزش بزرگ بلده قابل مشاهده از شهر بلده (دید به سمت شمال خاور) (مختصات: $36^{\circ} 12' 11''$ / $51^{\circ} 48' 38''$).



شکل ۹- محدوده خطر زمین لرزه های مهم البرز مرکزی که در مجاورت دره نور قرار گرفته اند و موقعیت زمین لغزش ها نسبت آنها (محدوده خطر زمین لرزه ها (Nazari, 2005)).



شکل ۱۰- الف) نقشه ساختاری خاور دره نور و جایگاه زمین‌لغزش‌های بزرگ در آن؛ ب) بیضی سیاه موقعیت این بخش را در کل دره نشان می‌دهد.

جدول ۱- ویژگی زمین‌لغزش‌های بزرگ دره نور (اسدی و همکاران، ۱۳۸۸)

نام زمین‌لغزش	ابعاد (km)	مساحت (km ²)	حجم (km ³)	موقعیت	در نگاه جزئی‌تر تقسیم می‌شود به
رزن	۶/۷۴ × ۲۴/۹	۱۶۷/۸۲ ~	-	در ابتدای جاده بلده از سمت دوآب	دوآب ۱۰/۰۶ × ۸/۴۵ رزن ۶/۴۷ × ۶/۰۶ اینا ۷/۵۷ × ۶/۹۲
بلده	۴/۰۱ × ۴/۰۹	۱۶/۴	۰/۱ ~	در مرکز دره در موقعیت شمال خاور شهر بلده	
ایوا	۳/۷۵ × ۴/۵	۱۶/۹۲	۰/۰۸ ~	بعد از محدوده زمین‌لغزشی رزن در دامنه جنوبی دره	
واکمر	۵/۲۸ × ۳	۱۶/۱۴	-	در دامنه مقابل زمین‌لغزش ایوا	

جدول ۲- رده بندی فعالیت زمین لغزش های بزرگ قدیمی (Mather et al., 2003)

سن ارزیابی شده (سال)	ریخت شناسی داخلی	شرایط حاشیه جانبی	شرایط پرتگاه اصلی	شناسایی دلایل حرکت	وضعیت فعالیت
۲۱۰۰ (تاریخی)	پرتگاه های تازه و پشته دار، دامنه های معکوس شده، ترک های طولی تازه	مشخص بدون پوشش گیاهی رودخانه در حاشیه	مشخص، بدون پوشش گیاهی	علت حرکت قابل شناسایی و فعال	فعال- اخیرا فعالیت کرده است (شامل زمین لغزش های غیر فعال است که دوباره فعال شده اند)
۲۱۰۰ (تاریخی)	پرتگاه تازه و پشته دار، دامنه های معکوس، ترک های کششی قابل شناسایی	مشخص، بدون پوشش گیاهی رودخانه ها در کناره	مشخص، بدون پوشش گیاهی	علت حرکت قابل شناسایی و احتمالا رخداد دوباره اتفاق افتاده است	متحرک شده است (احتمالا دوباره فعال شده است)
۵۰۰۰-۱۰۰۰ (هولوسن پسین)	پرتگاه پشته دار، نسبتا مشخص و تازه، دامنه های معکوس، ترک های کششی بسته شده و با گیاه پوشیده شده، با گودال های کوچک مشخص می شوند.	نسبتا مشخص، در بخش هایی پوشیده از گیاهان، رودخانه های جانبی با انشعاب هایی که در بدنه اصلی لغزش جریان دارند تغذیه می شوند.	نسبتا مشخص و در بخش هایی از گیاه پوشیده است.	علت حرکت هنوز قابل شناسایی است و می تواند رخداد مجدد باشد.	خاموش- جوان (غیر فعال)
۱۰۰۰۰-۵۰۰۰ (هولوسن پیشین)	توپوگرافی هموار و صاف، شبکه آبراهه جانبی و گسیخته	هموار و با پوشش گیاهی است، رودخانه های جانبی با انشعاب هایی که در بدنه اصلی لغزش جریان دارند تغذیه می شوند.	هموار و با پوشش گیاهی	علت حرکت هنوز قابل شناسایی است اما احتمالا رخداد مجدد نیست	خاموش- رسیده (غیر فعال)
۱۰۰۰۰-۱۰۰۰۰۰ (پلیستوسن پسین)	توپوگرافی صاف، موج الگوی رودخانه نرمال	حاشیه های جانبی مبهم، بدون آبراهه جانبی	با پوشش گیاهی	علت حرکت ممکن است استنباط شود اما ارتباط با محیط های مختلف یا شرایط زمین ریخت شناختی دارد	خاموش- قدیمی (غیر فعال) یا بازمانده
>۱۰۰۰۰۰	به طور کامل یکپارچه در توپوگرافی و باقیمانده های ریخت شناسی زمین لغزش بسیار کوچک	ممکن نیست قابل شناسایی باشد حداقل اگر بخشی از آن حفظ شده باشد	ممکن نیست قابل شناسایی باشد حداقل اگر بخشی از آن حفظ شده باشد	علت حرکت غیر مشخص اما با محیط های متفاوت و شرایط زمین ریخت شناختی مرتبط می شود	فسیل (غیر فعال) یا باستانی

کتابنگاری

اسدی، ز.، پور کرمانی، م.، زارع، م.، ۱۳۸۸- زمین ساخت جنبای دره نور (البرز مرکزی)- پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شهید بهشتی.

آقانیاتی، س.ع.، ۱۳۸۳- زمین شناسی ایران، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۶۰۶.

سعیدی، ا.، قاسمی، م.، ۱۳۸۱- نقشه زمین شناسی چهار گوش بلده مقیاس ۱/۱۰۰۰۰۰- سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

گزارش زمین شناسی قسمت شمالی دره هراز البرز مرکزی، ایران، گزارش ۳۸ سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

وحدتی دانشمند، ف.، ۱۳۷۰- نقشه زمین شناسی چهار گوش آمل مقیاس ۱/۲۵۰۰۰۰، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

وحدتی دانشمند، ف.، ۱۳۷۹- نقشه زمین شناسی چهار گوش آمل مقیاس ۱/۱۰۰۰۰۰، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

وحدتی دانشمند، ف.، ۱۳۷۹ب- نقشه زمین شناسی چهار گوش مرزن آباد مقیاس ۱/۱۰۰۰۰۰، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

References

- Ambraseys, N.N. & Melville, C.P., 1982 -A History of Persian Earthquakes- London: Cambridge University Press, 219p.
- Berberian, M. & R, Yeats, 2001- Contribution of archaeological data to studies of earthquakes history in the Iranian plateau-, Journal of Structural Geology, 23:563-584.
- Crozier, M. J., 1992 -Determination of palaeoseismicity from landslides. In: Bell, D.H. (Ed.), Landslides (Glissements de terrain) - International Symposium, Christchurch, New Zealand. Balkema, Rotterdam, pp. 1173-1180.
- Cruden, D.M. & Varnes, D.J., 1996- Landslide types and processes- In: Turner, A.K., Schuster, R.L. (Eds.), Landslides, Investigation and Mitigation. Transportation Research Board Special Report, vol. 247. National Academy Press, Washington, DC, pp. 36-76.
- Harrison, J.V. & Falcon, N. L., 1938 -An ancient landslip at Saidmarreh in southwestern Iran- Journal of Geology.66: 296-309.
- Hessami, Kh, Jamali, F., Tabassi, H., 2003 -Major Active Faults of Iran- International Institute of Earthquake Engineering.

- Keefer, D., 1984 -Landslides caused by earthquakes- Geological Society of America Bulletin, 95:406-421.
- Keller, E. A., Pinter, N., 2002 -Active Tectonics: Earthquakes, Uplift, and Landscape- Prentice hall, ch: 1, 2, and 7.
- Korup, O., Clague, J. J., Hermanns, R. L., Hewitt, K., Strom, A. L., Weidinger, J. T., 2007 -Giant landslides, topography, and erosion- Earth and Planetary Science Letters, 261: 578-589.
- Mather, A. E., Griffiths, J. S., Stokes, M., 2003 -Anatomy of a 'fossil' landslide from the Pleistocene of SE Spain- Geomorphology, 50:135-149.
- Nazari, H., 2005 -Seismotectonic Map of the Central Alborz- Geological Survey of Iran.
- Nepop, R. K. & Agatova, A. R., 2008 -Estimating magnitudes of prehistoric earthquakes from landslide data: first experience in southeastern Altai- Russian Geology and Geophysics, 49(2): 144-151.
- Philip, H. & Ritz, J. F., 1999 -Gigantic paleolandslide associated with active faulting along the Bogd fault (Gobi-Altay, Mongolia) - Geology, 27: 211-214.
- Pinto, L., Hérail, G., Sepúlveda, S. A. & Krop, P., 2008 -A Neogene giant landslide in Tarapacá, northern Chile: A signal of instability of the westernmost Altiplano and palaeoseismicity effects- Geomorphology, 102(3-4):532-541.
- Ritz, J. F., Nazari, H., Ghassemi, A., Salamati, R., Shafei, A., Solaymani, S. & Vernant, P., 2006 -Active transtension inside central Alborz: A new insight into northern Iran-southern Caspian geodynamics- Geology, 34(6): 477-480.
- Tchalenko, J. S., 1974 -Recent destructive earthquakes in the Central Alborz Geological survey of Iran- 29: 97-116.
- Zare. M. & Karimi-Paridari, S., 2009 -An investigation on Balakot, Muzaffarabad (Pakistan) earthquake, 8 Oct. 2005, Mw 7.6; geological aspects and intensity distribution- Journal of seismology, 13:327-337.

Estimating Seismic Capability and Magnitudes of Prehistoric Earthquakes from Landslide Data: Case Study in Noor Valley (Central Alborz)

Z. Asadi ^{1*} & M. Zare ²

¹ M.Sc., Faculty of Earth Sciences, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

² Associate Professor, Engineering Seismology, International Institute of Earthquake Engineering and Seismology (IIEES), Tehran, Iran

Received: 2011 September 28

Accepted: 2013 December 18

Abstract

Understanding paleoseismic characteristics and seismic capability of faults is very important for evaluation of seismic risk in any area. Using geomorphic markers as indirect method in paleoseismic studies is an appropriate and practical method in understanding the tectonic activity the mountainous areas. Gigantic landslides are among the markers for this purpose. Usually these landslides are related to tectonics and it is generally interpreted as landslides triggered by earthquakes. Major landslides in the Noor valley (Central Alborz) are used in this study as geomorphic markers for seismic capability of faults. No major historical earthquake is reported from the Noor valley area, however gigantic landslides in the valley indicate that multiple major seismic events have occurred in earlier periods which are not recorded in historical records. According to geomorphic characteristics of these landslides, we determined 3 different age classes (Late Holocene, Early Holocene, and Late Pleistocene) for them. These ages provides possibility for identifying of multiple earthquake events in the area. According to the relationship between the earthquake magnitude and the maximal volume of the related landslides, we estimated magnitudes of the earthquakes to be 7.7 ± 0.49 to 7.9 ± 0.49 . Based on the distribution of the landslides the eastern segment of the Baladeh fault seems to be responsible for the earthquakes.

Keywords: Gigantic Landslide, Indirect paleoseismology, Seismic capability, Prehistoric earthquakes, Noor valley (central Alborz)

For Persian Version see pages 67 to 78

*Corresponding author: Z. Asadi; E-mail: zasadi1385@gmail.com