پوهنتون پولی تخنیک، کابل
مجله علم و تکنالوژی
جلد۵۳ - شماره ٤
حوت - سال ۱٤۰۲ - ۵ ش.
تاریخ دریافت اثر: ۱٤۰۲/۰۷/۲۳
تاریخ قبولی اثر: ۱٤۰۳/۰۸/۰۵
P-ISSN: 2305 - 896X

نقشه برداری از شکستگی های فعال و احتمالی

در افغانستان با تفسیر تصاویر آناگلیف SRTM (Anaglyph) یک ثانیه قوسی (1-arcsecond)

پوهنیار فرید احمد محمدی[۵۱]
[۵۱] استاد دیپارتمنت انجنیری معدن پوهنځی انجنیری معادن و محیط زیست پوهنتون بلخ

خلاصه

افغانستان از نظر تکتونیکی یک منطقه پیچیده است که در نتیجه برخورد پلیت اوراسیا و پلیت هند در جنوب شرقی و پلیت عربستان در جنوب ایجاد شده‌است. تکتونیک فعال کشور با یک منطقه وسیع از تغییر شکل قشر زمین متمایز می‌شود. هیچ نقشه شکستگی فعال در مقیاس بزرگ در افغانستان وجود ندارد که برای کاهش خطر زلزله ضروری است. بنابراین، شکستگی های فعال و فرضی عمدتاً بر اساس تفسیر تصاویر آناگلیف SRTM یک ثانیه ای قوسی و نقشه (shaded relief map) نقشه رلیف سایه دار ترسیم گردیده است. نقشه نشان می دهد که شکستگی های فعال قابل‌توجهی در سراسر کشور وجود دارد. بر اساس دیتا های موجود و معیارهای جیومورفیک، ۲۲ شکستگی از نظر سایزمیکی فعال در نظر گرفته می شوند. نتیجه حاصله از نقشه برداری نشان می دهد که سه نوع ساختمان عمده (شکستگی جناحی چپ، شکستگی جناحی راست، و شکستگی های لغزشی) مشخصه‌های داخلی افغانستان می‌باشد. سپس نقشه شکستگی فعال با اطلاعات کتلاگ زلزله برای تفسیر خطر سایزمیکی و تعریف منابع زلزله بر اساس میخانیزم های کانونی و توزیع زلزله ترکیب شد. برای کمک به درک خطر سایزمیکی، این مقاله مناطقی با محدودیت های نیوتکتونیکی مشابه و مشاهداتی از نوع و عمر شکستگی ها را که زلزله خیزی پس زمینه ایجاد می کنند، ارائه می کند. چهار زون زلزله خیز مشخص شده است: (۱) شرق-شمال شرقی، (۲) افغانستان-شمال پامیر، (۳) پلتفورم شمال افغانستان، و (۴) اواسط و جنوب غربی افغانستان. مؤلف متن اصلی مقاله که به زبان انگلیسی می باشد محترم ذکریا شنیزی بوده و مقاله هذا ترجمه دری مقاله متذکره می باشد.

زون زلزله خیزی شرقی- شمال شرقی فعال‌ترین منطقه سایزمیکی است و باعث ایجاد زلزله‌های سطحی زیادتری در کشور می‌شود. این زون توسط شکستگی های فعال و بالقوه بزرگ قطع می‌شود و شکستگی چمن مهم‌ترین شکستگی، شکستگی معکوس (left-lateral) است که پنج گسیختگی سطحی قدیمی ایجاد کرده است.

اصطلاحات کلیدی: شکستگی‌های فعال، شکستگی‌های احتمالی، زلزله‌ها، مناطق زلزله، افغانستان

---

۵۱ - مترجم

۱. مقدمه

تغییر شکل فعال در آسیای مرکزی نتیجه برخورد بین قاره هند و اوراسیا است (شکل ۱). این برخورد باعث ایجاد کوه های هیمالیا، پامیر و هندوکش از ۵۵ میلیون سال قبل شده است [۳۱]. و این روند ادامه می یابد زیرا این کوه‌ها با سرعت ۱۰ میلی‌متر در سال بر اساس اندازه گیری های اخیر سیستم ماهواره‌ای ناوبری جهانی[2] در حال بلند شدن هستند. [۱۳] بخش کمربند اوروجینی آلپ-هیمالیا که از ایران تا میانمار امتداد دارد یکی از فعال ترین مناطق بین قاره ای جهان از نظر زلزله خیزی است [۱۹].

پس از برخورد ابتدائی، شبه قاره هند در زیر قاره اوراسیا در امتداد یک تعداد از شکستگی‌ها، نشست بزرگ واقع شده است که حرکت آنها باعث زلزله های مخرب می‌شود. بدین لحاظ، دیناسیک پلیت و پروسه‌های شکل گیری کوه به طور انحصاری وقوع زلزله در این منطقه را کنترول می‌کند. افغانستان در یک کمربند دیفارمیشنی وسیع در غرب هیمالیا در نزدیکی حاشیه جنوبی پلیت اوراسیا واقع شده است (شکل ۱). در سواحل مکران، پلیت‌های اوقیانوس عربی و هندی با زاویه کم به سمت شمال، تحت پلیت اوراسیا فرو می‌روند [۳۶]. اندازه نزدیک شدن پلیت‌های هند و عربی نسبت به پلیت اوراسیا به ترتیب بزرگ و مساوی به ۳۹ میلی‌متر در سال و ۲۳ میلی‌متر در سال می‌باشد [۴]. نزدیک شدن پلیت‌های عربی و اوراسیایی در سلسله کوه‌های زاگرس و همچنین امتداد کوه های کپه‌داغ و البرز و ناحیه مرکزی خزر قرار دارد (شکل ۱). به طور نسبی، زلزله خیزی ایران مرکزی، نواحی دیفارمیشن شدید را از هم جدا می کند [۵۵]. سرحد بین پلیت‌های هند و اوراسیا شامل چین خورده گی بزرگ و کمربند لغزشی است که به طرف کوه‌های هیمالیا، هزاره-نمک و سلیمان-کیرتار امتداد می‌یابد [۲۸](شکل ۱a).

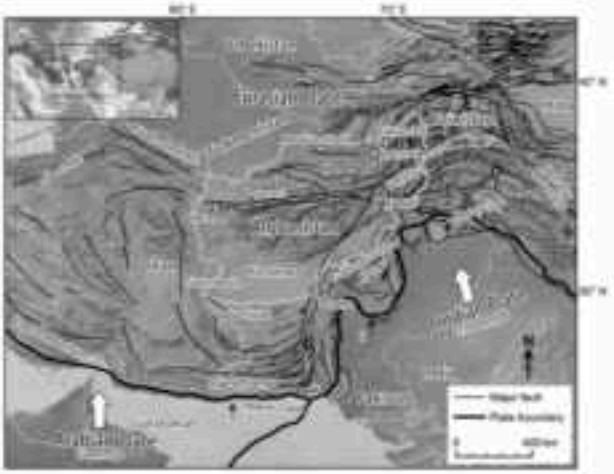
افغانستان در منطقه ای با خطر زلزله قابل توجه قرار دارد. در افغانستان، سوابق زلزله‌های تاریخی از سال (۲۰۰۰) قبل از میلاد وجود دارد [۹]. مستند سازی حوادث زلزله‌یی از قرن هشتم آغاز شده بود توسط امبراسیس و بیلهام تخمین زده شد [۴]. مکان ها و بزرگی امواج سطحی را برای زلزله‌های مخرب قبل از سال ۱۹۰۰ بر اساس راپورهای جیولوجیکی مطالعات قبلی که درین ساحه صورت گرفته است تخمین زدند. زلزله‌های مخرب در دو دهه گذشته بیش از ۱۰۰۰۰نفر را کشته اند. زمین لرزه های متوسط تا بزرگ مانند زلزله تخار (M6.5) در سال ۱۹۹۸ و زلزله تهرین (M6.1) در سال ۲۰۰۲ جان هزاران نفر راگرفته است (شکل ۱). زلزله سال ۲۰۰۲ با مگنیتود ۶.۱ روی گسلی رخ داد که در جنوب شرقی ساحه پنهان شده و به موازات زون خطی شمال شرقی سلسله کوه های هندوکش واقع شده است [۶۰]. شواهدی دال بر لغزش، گسترش جانبی یا تخریب در زمین در اثر گسیختگی سطحی وجود ندارد. این زلزله نشان دهنده، احتمال وقوع زلزله های بزرگ در نزدیکی مناطق پرجمعیت است.

اکثر زلزله های مخرب دارای مگنیتود ۵ یا بالاتر هستند. لازم به ذکر است که زلزله‌ها نه‌تنها به دلیل مگنیتود خود، بلکه به دلیل مدت لرزش، آزاد شدن انرژی، عمق کانونی و آسیب‌پذیری ساختمان‌ها ویرانگر می‌باشند. مناطق نزدیک به شکستگی و سطح خاک های نرم ممکن است لرزش شدید زمین و آسیب های قابل توجهی مانند زلزله بدخشان در سال ۱۸۳۲ را تجربه کنند (شکل ۸b). این زلزله اکثر دهات را ویران کرد و هزاران نفر را تلف نمود و باعث رانش زمین شد که به مدت ۸ روز دریای وردوج را مسدود نمود. بزرگترین زلزله با عمق متوسط در شمال شرقی افغانستان دارای قدرت بیش از ۷ ریشتر به دلیل عمق کم (کمتر از ۴۰کیلومتر)، می‌باشد. آنها لرزش شدیدی نسبت به زلزله های عمیق با مگنیتود مشابه ایجاد می‌کنند. برای مساعدت به پیش‌بینی خطر زلزله‌خیزی کشور، نیاز به ترکیب اطلاعات زلزله خیزی مدرن، زلزله‌های تاریخی و شکستگی های فعال می باشد. با این حال، به دلیل شرایط سیاسی‌عمدتا ' ناپایدار در چند دهه گذشته، مطالعات محدودی در مورد تکتونیک فعال افغانستان وجود دارد. مطالعات تکتونیکی فعال در افغانستان در دهه ۱۹۷۰ آغاز شد، اما مطالعات، صرفاً جیولوجیکی بود و روابط

2- GNSS

بین مشخصات تکتونیکی فعال و زلزله‌خیزی ارزیابی نشد. از سال ۲۰۰۵ تا ۲۰۰۷، سازمان جیولوجی ایالات متحده[۳] مطالعات دقیقی را در مورد شکستگی‌های دوره چهارمی (کواترنری) و سوابق زلزله های تاریخی از سال ۷۳۴ پس از میلاد انجام داد. مطالعات قبلی تمرکز بیشتر روی روند سرحدات پلیت‌ها، ساختمان‌های جیولوجیکی و توزیع زلزله ها داشته و یک چارچوب اساسی جیولوجیکی ارائه می‌نماید که از آنها منحیث رهنما برای شناسایی، توصیف و مشخص سازی شکستگی‌های فعال استفاده شده است. کشور توسط چندین شکستگی و چین خورده‌گی قابل توجه در انواع، عمرها و جهات مختلف تقاطع یافته است. شکستگی‌های اصلی در افغانستان با جزئیات کافی برای ارزیابی خطر زلزله‌یی بررسی و مشخص نشده اند. تعدادی شکستگی بزرگ با استفاده از تصاویر هوایی و ماهواره‌ای شناسایی شدند به عنوان مثال: [۱]،[۳۹]،[۱۴]، [۵۸]،[۲۶]، [۳۶]، [۶۱]،[۵۶]،[۳۰]). با این حال، گسترش و نوع شکستگی‌ها به دلیل عدم وجود تصاویر با وضاحت بالا و اطلاعات توپوگرافی به خوبی تشخیص داده نشده اند. بسیاری از شکستگی‌های نشان داده شده توسط کارهای قبلی، از چارچوب جیولوجی و طرح توپوگرافیک که فاقد شواهد جیومورفیک فعالیت دوره چهارمی هستند، پیروی می‌کنند. برخی از شکستگی ها با شکل تکتونیکی دوره چهارمی در مقیاس کوچک به خوبی شناسایی نشده اند. برای درک خطر زلزله‌یی مناطق مختلف افغانستان، ابتدا باید توزیع و طرز حرکت شکستگی‌های فعال را دانست.

هدف این مطالعه ترسیم زون های شکستگی فعال، شناسایی منابع زلزله های مخرب و افزایش درک ما از خطر زلزله‌یی در کشور است. بنابراین، این مقاله، محیط تکتونیکی و جیولوجیکی افغانستان را برای درک بهتر پروسه های تکتونیکی فعال خلاصه می‌کند. سپس شکستگی‌های فعال با استفاده از تصاویر آناگلیف[۴] سه‌بعدی، نقشه‌های ریلیف سایه‌دار[۵] برگرفته از اطلاعات ارتفاعی رقومی[۶] یک ثانیه قوسی ماموریت توپوگرافی رادار شاتر[۷] همراه با نقشه اساس، نقشه برداری شده است. این مقاله به طور خلاصه خصوصیات هندسی و جیومورفولوجیکی- تکتونیکی شکستگی‌ها را با استفاده از تصاویر سه‌بعدی آناگلیف[۸] شرح می‌دهد.



شکل ۱: موقعیت تکتونیکی افغانستان و مناطق اطراف آن. ویکتورهای سفید جهت حرکت نسبی پلیت‌های عربی و هندی را نسبت به پلیت اوراسیا نشان می‌دهد (سرعت صفحه‌یی از [۴]. سرحدات پلیت با اعداد مشخص می شوند: (I) منطقه سبدکشن مکران (II) کمربند چین خورده- و تراست[۹] در شرق شکستگی چمن و (III) منطقه تصادم[۱۰] هیمالیا. ستارگان‌سفید محل زلزله تخار (M6.5) در سال ۱۹۹۸و زلزله نهرین (M6.1) در سال ۲۰۰۲ را نشان می‌دهد (شکستگی

3- (USGS)
4- Anaglyph
5- Shaded relief maps
6- digital elevation data
7- SRTM
8- Anaglyph
9- thrust
10- collision

های عمده از [۳۰]،[۵۵]،[۳۹]).
همچنین اطلاعات منتشر شده قبلی خلاصه و تفسیر شده و تفکر جدیدی را در مورد تکتونیک فعال و توزیع زلزله افغانستان بر اساس فهرست زلزله‌های افغانستان از سال ۷۳۴ پس از میلاد ارائه می‌دهد. از فهرست زلزله به عنوان اطلاعات ابتدائی در این مطالعه برای کمک به درک خطر زلزله‌یی و تعریف آن استفاده شده است. در نهایت، نقشه شکستگی فعال همراه با اطلاعات زلزله‌خیزی برای شناسایی زون های اصلی منشا زلزله‌های کشور مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرد.

۲ جیولوجی منطقوی و ساحات تکتونیکی افغانستان:

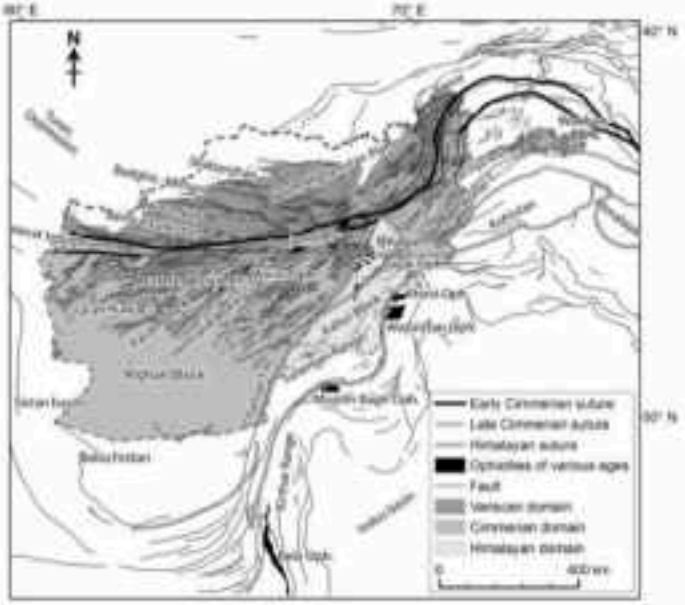
۲.۲ *شناسایی سنگ بستر و محیط تکتونیکی:*

تاریخ تکتونیکی افغانستان با بلند رفتن پی در پی گندوانا و لوراسیا از اواخر پالیوزوئیک به بعد مرتبط است [۵۸]. در حدود ۲۰۰ میلیون سال، دو ابرقاره به نام های گوندوانا و لوراسیا به ترتیب در جنوب و شمال وجود داشتند که توسط بحر تتیس از هم جدا شده بودند. قاره هند در حدود ۱۰۰ میلیون سال از گندوانا جدا شد و به سمت شمال حرکت کرد و در ۵۵-۶۰ میلیون سال به اوراسیا برخورد کرد [۳۱][۵۸]. اولین برخورد، احتمالاً در اوایل میزوزوئیک در امتداد شکستگی های هندوکش و کونلون در تبت بود [۱۳] ،[۴۸]. در افغانستان، حاشیه اولیه بین هند و اوراسیا در امتداد شکستگی های پنجشیر و هرات در جنوب کوه های هندوکش قرار دارد [۴۸] (شکل ۱). نزدیک شدن بلاک‌های قاره‌ای مشتق از گندوانا و اوراسیا منجر به ایجاد سگمنت‌های (نواحی) اوروجینی در افغانستان شد. سگمنت های اوروجینی در جهت شرق - غرب از فلات پامیر تا کوه های کیه‌داغ به طول تقریبی ۱۳۰۰ کیلومتر امتداد دارند (شکل ۱). این بخش‌ها نیز در جهت شمال به جنوب از حوضه آمو دریا و افغان-تاجک در شمال تا حوضه بلوچستان و سند در جنوب به عرض ۱۱۰۰ کیلومتر گسترش می‌یابد (شکل ۲ و ۳).
شمال افغانستان بخشی از فلات قاره قسمت جنوبی پلیت اوراسیا بوده و شامل حوزه افغان-تاجک و آمودریا است (شکل ۳). شمال افغانستان یک منطقه نسبتاً کم ارتفاع است که با کمربند اوروجینی عمده کوه های هندوکش و پامیر احاطه شده است. شمال شکستگی هرات و غرب شکستگی بدخشان مرکزی در پلتفورم شمال افغانستان قرار دارد که تهداب آن متشکل از سنگ‌های میتامورفیکی و مگماتیکی است (شکل ۲).
تهداب در طول دوره اوروجینی کاربن-پیرم واریسکان توسعه یافته است و از آن زمان، پلتفورم پایدار بوده است [۴۷] [۴۲]. این تهداب توسط سلسله طبقات رسوبی میزوزوئیک تا ترشیری پوشانده شده است [۱۰]، و در کوه های هندوکش غربی، پارایامیزوس و فیروزکوه برهنه می‌شود (شکل ۳). ساختمان‌های کوه‌های هندوکش در غرب و شمال در تحت طبقات ضخیم سنگ آهک دریایی کم عمق دوران پالیوسین ناپدید می‌شوند (شکل۳).
بیشتر در شمال، سنگ‌های آهکی به توبه خود توسط رسوبات دوره ترشیری قاره‌یی پوشانده شده اند (شکل ۴). در نزدیکی کناره‌های شرقی و جنوبی پلتفورم، شکستگی‌های بیشتری نسبت به داخل آن وجود دارد (شکل ۲). در مجاورت شکستگی هرات و در امتداد مرز شمالی هندوکش، تغییر شکل احجار ترشیری قوقانی با چین خوردگی‌های بزرگ مشخص می‌شود، به ویژه در حوزه افغان-تاجک (شکل ۳). در شرق حوزه در قسمت‌های پیش‌روی کوه‌های پامیر، مولاس پلیوسین، چین خورده و به سمت شرق کج‌شده است [۴۷].
این پلتفورم شاهد بالا روی بحر قدیمی بنام تیتس به دلیل برخورد احتمالی قسمت‌هایی از زمین در اواخر- اوایل کاربن تا دوره تریاس بوده است، تا تبدیل به کوه و فلات مرتفع و دشت شود [۵۸] [۴۵]. در جریان اواخر تریاس، گرابن‌ها و گورست‌های تهداب پلتفورم توسعه یافتند [۴۶] [۵۸]. این پلتفورم به بلاک‌های شبرغان، بادغیس- میمنه، قلعه نو و هرات توسط شکستگی‌های جناحی راست با روند شمال‌غربی تقسیم می شود (شکل ۲). موجودیت شکستگی‌های لغزشی و تغییر شکل فشاری و اکستروژن مشخصه لواسط افغانستان است. چندین بلاک شکستگی گسسته از بلاک‌های چین خورده

و برآمده احجار رسوبی از عمر پرکامبرین تا ژوراسیک تشکیل شده اند [۲۵] [۳۴]. احجار رسوبی توسط رسوبات پس از نیوجن و رسوبات سطحی پوشانده شده‌اند (شکل ۴). شکستگی هرات در شمال و شکستگی‌های قرغه نو، بند بیان و اونی در جنوب، کتله‌های سنگی عدسی شکل با گرایش شرقی را محدود می‌کنند [۵۸] [۴۲] که تقریباً ۳۰ تا ۶۰ کیلومتر عرض و ۸۰۰ کیلومتر طول دارد (شکل ۳). در اراضی متراکم در جنوب شکستگی‌های قرغه نو و بند بیان، تکتونیک دوره ترشیری تحت تاثیر شکستگی‌های لغزشی بوده‌است. تغییر شکل به تدریج به سمت جنوب غربی به سمت حوضه سیستان کاهش می‌یابد شکل (۱). سلسله کوه‌های جنوب غربی افغانستان شامل صخره‌های متنوع با عمرهای مختلف است که شکستگی‌های وسیعی دارند. شرودر (۲۰۱۴) پیشنهاد می‌کند که این احجار در جای دیگری تشکیل شده‌اند و سپس به عنوان اراضی متراکم به محل فعلی‌خود منتقل شده‌اند. این احجار به پلیت اوراسیا چسبیده و روی آن قرار گرفته‌اند. بر اساس نظریه احجار مگمائیکی در جنوب شکستگی هرات، افیولیت هستند (شکل۲) [۴۲]. وجود افیولیت‌ها در مرکز افغانستان شاهدی بر رویداد تداخل دیگری در ژوراسیک فوقانی و تباشیر تحتانی است [۱۳]. بنابر این، بحر تتیس در اوایل کاربن تا زمان تریاس در طول دوره اوروجینی سیمری، سبدکشن کرده بود [۴۱]. کمربند افیولیتی، مرکز افغانستان را به دو بلاک تقسیم می‌کند: بلاک هلمند در شرق و بلاک فراه در غرب (شکل۲).

فعالیت‌های اوروجینی هیمالیا در شمال شرقی افغانستان با برخورد پلیت هند با پلیت اوراسیا در حدود ۵۵ میلیون سال آغاز شد[۳۶]. شمال شرق افغانستان شامل‌چندین ناحیه برشی و شکستگی‌های شمال شرقی است، به ویژه در امتداد مرز بین حوزه های سیمری و وریسکن (شکل۲). حرکات نزدیک شونده باعث تغییر شکل انقباضی بخش بزرگی از دماغه[۱۱] اوراسیا، از جمله سرحد پلیت در کناره جنوب‌شرقی افغانستان شد (شکل۱). این تغییر شکل به شکستگی‌های لغزشی در اطراف و در سرحد پلیت و شکستگی‌های عرضی با روند شمال‌شرقی مانند شکستگی چمن که یکی از مهم‌ترین شکستگی‌های سدویکی قاره‌ای در منطقه است، تقسیم می‌شود (شکل ۲). جنوب‌شرقی افغانستان شامل بلاک کابل،

شکل ۲: نقشه طرح تکتونیکی افغانستان. بخش‌های اوروجینی از بلولین (۱۹۹۰)، عبدالله و همکاران (۲۰۰۸) و سهیل (۲۰۱۷)



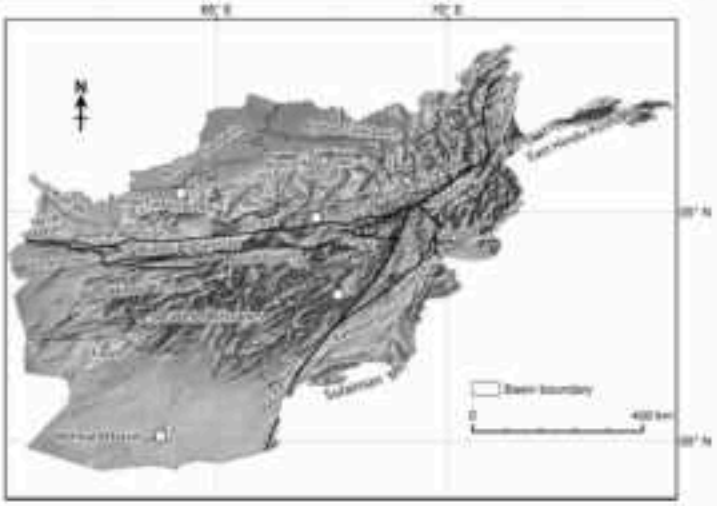
۱۱- Cape

کمربند افیولیتی و حوضه کتواز است که در طول اوروجینی هیمالیا ایجاد شده است (شکل ۲ و ۳). بلاک کابل توسط شکستگی‌های چمن، گردیز و سرویی محدود می‌شود (شکل ۳). در جنوب‌شرقی افغانستان، چهار افیولیت عمده وجود دارد: (۱) کابل- النیمور یا لوگر، (۲) وزیرستان- خوست، (۳) مسلم باغ، و (۴) بیله. عمر این افیولیت‌ها بین تباشیر قدیمی تا پلیوسین و اوایل ایوسین است [۱۸]. از پلیوسین تا ایوسین تحتانی، تغییر شکل بعدی شامل نشست، چین خوردگی و شکستگی سدویکی می‌شود [۴۷].

حوضه کتواز در غرب افیولیت‌های خوست قرار دارد، جایی که رسوبات پلیوسین فوقانی تا ایوسین به طور ناسازگار در بالای تهداب تحول یافته افتوختون قرار دارند [۴۷] [۳۷]. این حوزه از شرق در امتداد کمربند افیولیتی توسط شبه قاره هند و از غرب توسط احجار متکاتف محدود می‌شود (شکل ۳). این یک حوضه فراکششی است که به صورت یک فرورفتگی طولانی توسعه یافته و در آن رسوبات کلاستیکی (پارچه‌یی) به دلیل برش سمت چپ در امتداد شکستگی چمن به سمت شمال‌شرق منتقل شده اند.

۲.۲ جیولوجی و جیومورفولوجی دوره چهارمی

جیومورفولوجی افغانستان به شدت تحت تأثیر فعالیت‌های تکتونیکی منطقه‌ای و محلی و همچنین پروسه‌های سطحی است. کوه‌های بسیار ناهموار مانند هندوکش به مانند ستون فقرات در سراسر کشور از شمال‌شرقی به جنوب‌غربی امتداد دارند. رسوبات دوره چهارمی واحدهای گسترده‌ای در سراسر کشور هستند که حوضه‌های ساختمانی محدود به شکستگی مانند آمودریا، افغان-تاجک، کابل، کتواز و هرات را پر می‌کنند (شکل ۳ و ۴). اکثر حوضه‌ها با رسوبات دوره چهارمی پر شده اند و دامنه‌ها از احجار کریستالی و رسوبی بالا آمده تشکیل شده‌اند. رسوبات دوره چهارمی عمدتا" توسط چین خوردگی‌ها پوشانده می‌شود که احتمالا" مربوط به شکستگی فعال مانند فرورفتگی افغان- تاجک است [۳۲] [۳۹] [۲۷] فلات مرکزی، مراکز رسوبی محلی برای رسوبات ناشی از سنگ بستر و رسوبات سطحی اطراف هستند. تناوب رسوبات دوره چهارمی را می‌توان به طور دلخواه به واحدهای تحتانی (پلیستوسین تحتانی و وسطی)، وسطی (پلیستوسین فوقانی) و اخیر فوقانی (هولوسین) تقسیم کرد [۱] (شکل ۴). رسوبات دوره چهارمی تحتانی و وسطی ریگ‌های الوویالی خاکستری، جفل و کنگلومیرات هستند که ضخامت آنها از چند متر تا صدها متر متغیر است.



شکل ۳. جیومورفولوجی افغانستان. خطوط نقش سرحد هر حوضه زهکشی را نشان می‌دهد.

کوه‌های هندوکش بر اساس کوه‌ها، گذرگاه‌ها و دره‌ها به قسمت‌های شرقی، مرکزی و غربی تقسیم می‌شوند. مستطیل‌های سفید دارای شماره، محصولات مگمانیزم و ولکانیزم جوان: (۱) کامپلکس شار آرمان، (۲) کامپلکس دشت ناور، (۳)

کامپلکس خانشین و (۴) کامپلکس سرلوغ را نشان می‌دهد.

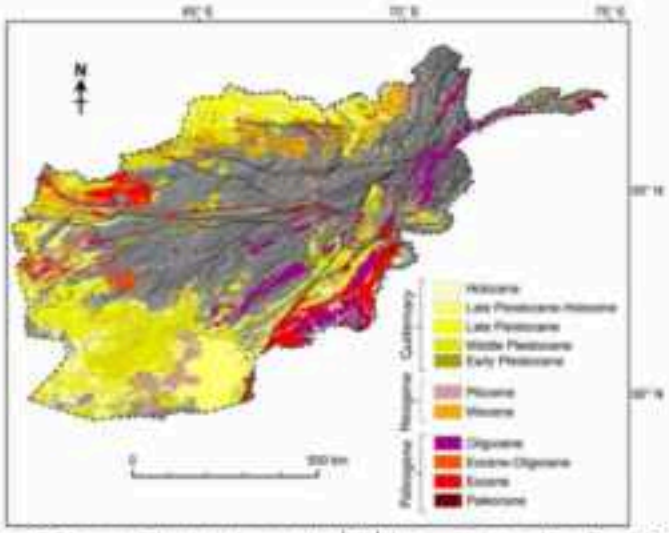
رسوبات جوان‌تر به عنوان جفل‌های ثانوی، ریگ‌ها و لوس توصیف می‌شوند. رسوبات دوره چهارمی توسط انواع الوویالی، الوویالی-دریایی، دیلوویالی و پرولوویالی، یخچالی، لغزشی و کموجنیک مشخص می‌شوند (به عنوان مثال [۷]، [۱]).

رسوبات سطحی در افغانستان دارای عمرهای مختلف الوویوم[۱۲] هستند که برحسب سطح جدایی از هم متمایز می‌شوند. دو بخش از رسوبات الوویالی (جوان و قدیمه) را می‌توان در سراسر کشور بر اساس ارتفاع بالای بسترهای فعلی فعال (مانند بوهانون) متمایز کرد. قدیمی‌ترین عوارض سطحی الوویالی، بقایای رسوبات ضخیم بادی است که حد اقل چندین متر بالاتر از واحدهای جوان قرار دارد. رسوبات الوویالی جوان به طور فعال در پایین دره‌های جدید تجمع نموده اند. علاوه براین، رسوبات الوویالی قدیمی فواصل قابل توجهی از منابع اصلی خود به ویژه در امتداد شکستگی‌های سدویکی مانند شکستگی‌های چمن، درواز، هرات و سایر شکستگی‌ها قرار دارند (مانند [۳۹]). رسوبات الوویالی از تیراس‌های مرتفع و دشت‌های گسترده در شمال، غرب و جنوب‌شرق افغانستان تشکیل شده است.

رسوبات کلوویال (ذرات ثقلی)، اثیولین و لوس انواع غیرعادی رسوبات سطحی را نشان می‌دهند که در دامنه‌های پرمیلان کوه‌ها، تپه ها، مناطق مسطح و دره‌ها مروج اند. رسوبات سطحی در افغانستان مربوط به تاریخ یخبندان در زمان دوره چهارمی و عصر یخبندان است که دره‌ها را کنده و مشخصات عوارض زمین را تشکیل داده است. شواهد جیومورفیک مانند عوارض بهم پیوسته زمین و رسوبات نشان می‌دهد که اکثر شکستگی‌ها در طول زمان دوره چهارمی فعال هستند. در شمال افغانستان، اکثر شکستگی‌ها در پوشش رسوبی دوره نیوجن-دوره چهارمی تشکیل شده‌اند [۱۰]. همچنین چین خوردگی برجسته شرقی-غربی توسط شکستگی البرز-مارمل تشکیل شده‌است که رسوبات الوویالی اخیر نزدیک به مزارشریف را همراهی می‌کند. انتهای غربی شکستگی توسط شبکه زهکشی قطع می شود. بر اساس نقشه SRTM[۱۳] یک ثانیه قوسی[۱۴] و نقشه اساسی ESRI، در شمال‌افغانستان، مشخصات عمده، عبارت از مجموعه از انتی کلاین‌های قوسی شکل از شمال به جنوب است. در حوضه افغان-تاجک، انتی کلاین‌ها با فعالیت بر روی شکستگی‌های لغزشی بسته که در بالای یک جدا شده‌گی عمل می‌کنند، سازگار است [۲۷]. شماری از شکستگی‌های کوچک در افغانستان مرکزی به عنوان شکستگی‌های سدویکی شناخته می‌شوند. حوضه هلمند تاریخچه تکتونیکی طولانی را نشان می‌دهد که در داخل بلاک افغانی که از برخورد چندین میکروپلیت به وجودآمده است، قرار دارد [۴۶].

در شمال‌شرقی افغانستان، ساختمان‌های جوان‌تر دارای یک ساختمان محدب جنوب شرقی در امتداد کمربند چین خورده و تراست[۱۵] سلیمان هستند. این نشان می‌دهد که اولین انقباض توسط شکستگی‌های تراستی (راندگی) مایل به شمال تطبیق داده شده است .[۳۹] تغییر شکل دوره چهارمی اخیر با شکستگی های تراستی جنوب‌شرقی و همچنین شکستگی‌های سدویکی مانند شکستگی چمن سازگار است. در رسوبات الوویالی دوره چهارمی، شکستگی ها شواهدی از جابجایی افقی و عمودی را نشان می‌دهند. توسعه جیومورفیک رسوبات دامنه‌های کوه ها[۱۶] تحت تأثیر فعالیت شکستگی‌ها قرار گرفته است. بیشتر ساختمان‌های اوروجینی در افغانستان از میوسین تا به امروز در معرض فعالیت تکتونیکی و مگماتیکی قرار گرفته اند [۸]. به گفته [۱۱] ، سه نوع محصول جوان مگماتیزم و ولکانیزم در کشور شناسایی‌شده است: (۱)

12 - alluvium
13 - Shaded relief map
14 - 1-arcsecond
15 - thrust
16 - piedmont



شکل ۴: نقشه جیولوجیکی کاینوزوئیک افغانستان. نقشه توسط [۱۲] اصلاح شده است. احجار کاینوزوئیک تقریبا نیمی از کشور را پوشش می‌دهند

گرانیت قلوی میوسین، انتروزیف های مانند کامپلکس شار آرمان، (۲) ولکانیزم پالیوجن وسطی- دوره چهارمی فوقانی مانند کامپلکس دشت ناور، و (۳) ولکانیزم دوره چهارمی فوقانی-وسطی در نواحی مرکزی، کاربناتیت قلوی مانند کامپلکس خالشین و بزالت تراخیتی مانند کامپلکس سارلوق (شکل ۳). محصولات آتشفشانی دوره چهارمی وسطی محدود به مناطقی از شکستگی‌های اصلی است که در حال حاضر فعال هستند مانند بلاک اقفان (شکل ۲).

۳ منابع و روش ها

منابع و روش‌های ذکره شده درین مقاله ترجمه متن اصلی انگلیسی تهیه شده توسط محترم ذکریا شنیزی می‌باشد. در این مطالعه از یک روش تغییرات توپوگرافیکی استفاده شده است. تصاویر آناگلیف[17] سه‌بعدی از نقشه‌های شیدید ریلیف[18] ساخته شده از اطلاعات ارتفاعی رقومی SRTM[19] یک ثانیه قوسی[20] همراه با نقشه اساسی[21] انستیتوت تحقیقات سیستم های محیطی[22] تفسیر گردیده است. ابتدا اطلاعات ارتفاعی رقومی[23] به نرم افزار (Simple DEM Viewer) وارد گردیده[24] تا تصاویر آناگلیف تولید شود. سپس تصاویر به نرم افزار ArcMap برای ارجاع جغرافیایی[25] به یک چارچوب جهانی و نقشه برداری از مشخصات جداگانه وارد شدند. همچنین برای تسهیل شناسایی شکستگی‌های فعال، نقشه های برجسته سایه‌دار[26] ایجاد شده است. تصاویر آناگلیف دارای وضوح کافی برای تفسیر جیومورفولوجی و تکتونیکی در مقیاس بزرگتر هستند. سپس با استفاده از نرم افزار ArcMap نقشه برداری دیجیتلی شکستگی های فعال بر اساس معیارهای جیومورفیک که معمولا" در جایان برای نقشه برداری شکستگی فعال استفاده می‌شود انجام داده شده است.
(به عنوان مثال، گروه تحقیقاتی برای شکستگی های فعال جاپان [۵۲]، [۲۳] ، [۵۲].
اولین معیار برای طبقه‌بندی یک شکستگی فعال، شواهدی از فعالیت در عصر جیولوجیکی اخیر مربوط به دوره چهارمی

17- anaglyph
18- shaded relief maps
19- digital elevation data
20- 1-arcsecond
21- base map
22- ESRI
23- SRTM
24- Katayanagi 2019
25- geo-referencing
26- shaded relief map

است (شکل۴). این نوع شکستگی‌ها، رسوبات لندفرم جیومورفیک دوره چهارمی را با مقدار افست[27] افزایشی جابجا فعال می‌کنند. شکستگی‌های فعالی که اخیرا جابجا شده اند نسبت به شکستگی‌هایی که در زمان‌های جیولوجیکی قبلی حرکت کرده‌اند، سطوح را با وضاحت بیشتری حفظ می‌کنند. لندفورم[28] هایی که در اثر ایجاد شکستگی به وجود می‌آیند لندفورم‌های جابجا شده نامیده می‌شوند که ممکن است از چندین لندفورم افست تشکیل شده باشند.

طبقه‌بندی شکستگی‌ها براساس وجود لندفورم‌ها و رسوبات جوان جابجا شده می‌باشد که عموما در دره‌ها و در امتداد پیش روی کوه‌ها قرار دارند. اشاره گردید که شکستگی‌های فعال همه مواد را به جز رسوبات الوویالی در کانال‌های جریان جدید قطع می‌کنند. درین تحقیق، دو دسته از شکستگی‌های فعال استفاده شد: شکستگی‌های فعال و شکستگی‌های فعال فرضی. شکستگی‌های فعال، رسوبات و عوارض ساختمانی دوره چهارمی اخیر را جابجا می‌کنند. شکستگی‌های فعال فرضی شواهد واضحی از جابجایی دوره چهارمی اخیر را نشان نمی‌دهند. این شکستگی‌ها پتانسیل فعال بودن را دارند، اما در اواخر دوره چهارمی حرکت نکرده اند. به عنوان مثال، یک شکستگی زمانی به عنوان یک شکستگی فعال فرضی طبقه بندی می شود که از اراضی سنگ بستر بدون سطوح یا لایه های جیومورفیک دوره چهارمی معاصر عبور کند به عنوان مثال، [۴۷] و [۵۲]. همچنین مشخص نیست که آیا فعالیت های مکرری در امتداد این شکستگی ها در آینده وجود خواهد داشت یا خیر. در نقشه، شکستگی‌های که با رنگ سیاه ضخیم مشخص شده اند، در اینجا به عنوان شکستگی‌های فعال با توپوگرافی جابجا شده و شکستگی‌های که با رنگ سیاه روشن مشخص شده اند، به عنوان شکستگی‌های فعال فرضی در نظرگرفته می‌شوند. شکستگی‌های فعال شامل اطلاعاتی مانند ترتیبات جیولوجیکی، طرز حرکت، نوع و زمان گسیختگی سطحی اخیر می‌باشد. درین تحقیق، عمدتاروی توپوگرافی برای بررسی تغییر شکل زمین و مشخص‌کردن شکستگی‌های فعال در افغانستان تمرکز گردیده است. بر این اساس، تلاش برای اندازه‌گیری پیچانی مشخصات جیومورفیک و تکتونیکی در مقیاس کوچک و بزرگ در امتداد یک مسیر شکستگی انجام شده است. معمول ترین مشخصات جیومورفیک مانند اسکارپ‌های گسلی، ساختمان‌های زین مانند شکستگی، فرورفتگی های خطی و جابجایی جریان‌های سیستماتیک، کانال‌های منقطع، رسوبات الوویالی پیچانده و کج شده، برجستگی های دریچه ای، برامدگی‌ها و گرابن‌ها در امتداد شکستگی‌های سدویکی مشاهده شدند. تصاویر آناگلیف SRTM همچنان برای در نظر گرفتن درجه فعالیت شکستگی‌ها و تعیین جهت آنها استفاده شد. در اراضی سنگ بستر در سراسر کوه های هندوکش و پامیر، شکستگی‌های سدویکی ممکن است از روی انحراف واحدهای جیولوجیکی مشهود باشند، اما شناسایی فعالیت های کنونی دشوار است، مگر اینکه شکستگی از میان لندفورم های جوان ویا جابجایی های بخار سازگار باشد. نقشه شکستگی فعال با دیتا های کتلاگ زلزله تهیه شده توسط [۱۲] ترکیب شد. کتلاگ زلزله همچنین برای تفسیر خطر سایزمیکی و تعریف منابع زلزله بر اساس میکانیزم های کانونی و توزیع زلزله استفاده شد. آنها رکورد را از ۲۶کتلاگ منبع از قبل موجود جمع آوری کردند (به عنوان‌مثال، [۵] [۶] [۳۳] [۲۱][۱۵]).

کتلاگ در سه قالب ارائه شده است: (۱) فهرست خلاصه زلزله‌های افغانستان، (۲) کتلاگ اصلی زلزله‌های افغانستان، و (۳) خلاصه‌ای از اثرات بزرگ سایزمیکی گزارش شده برای زلزله‌های افغانستان. درین تحقیق از کتلاگ خلاصه زلزله های افغانستان استفاده شده که جزیی‌ترین مجموعه دیتای موجود برای کشور و منطقه اطراف است. کتلاگ شامل بهترین تخمین جغرافیایی و بزرگی زلزله‌های بین M4.0-8.3 است که منطقه ۲۳ تا ۴۵ درجه شمالی و ۵۳ تا ۸۰ درجه شرقی را از سال ۸۰۰ پس از میلاد تا سال ۲۰۰۴ با ۱۲۷۲۸ رویداد زلزله در بر می‌گیرد. کتلاگ در سه بخش گردآوری شده است: (۱) زلزله های مستند تاریخی قبل از سال ۱۹۰۰، (۲) زلزله های با مگنیتود بزرگ و مساوی به ۵.۵ بین سال‌های ۱۹۰۰ و ۱۹۶۳، و (۳) زلزله های با مگنیتود بزرگ و مساوی به ۴ از سال ۱۹۶۴. همچنین از جدیدترین زلزله خیزی اخیر (۲۰۱۶-۲۰۰۵) از کتلاگ زلزله ISC-EHB برای ارائه درک عمیقی از سایزموتکتونیک منطقه مورد مطالعه

27 - offset

28 - Landform

استفاده گردیده است. کتلاگ زلزله ISC-EHB یک نسخه مرتب شده از بولتون ISC است و با استفاده از لوگاریتم EHB [۱۵]. کتلاگ ISC-EHB حوادث سایزمیکی از سال ۱۹۶۴ تا ۲۰۱۶ را در بر می‌گیرد. بعد از ۲۰۱۶، اطلاعات سروی جیولوجیکی ایالات متحده (USGS) برای زلزله های بزرگ با مگنیتود بزرگتر از ۶ استفاده شده است.

۴ نقشه برداری شکستگی فعال

نقشه شکستگی‌های فعال برای درک بهتر توزیع و سطح خطر سایزمیکی در سراسر کشور تهیه شده است (جدول ۱، شکل ۵ a).

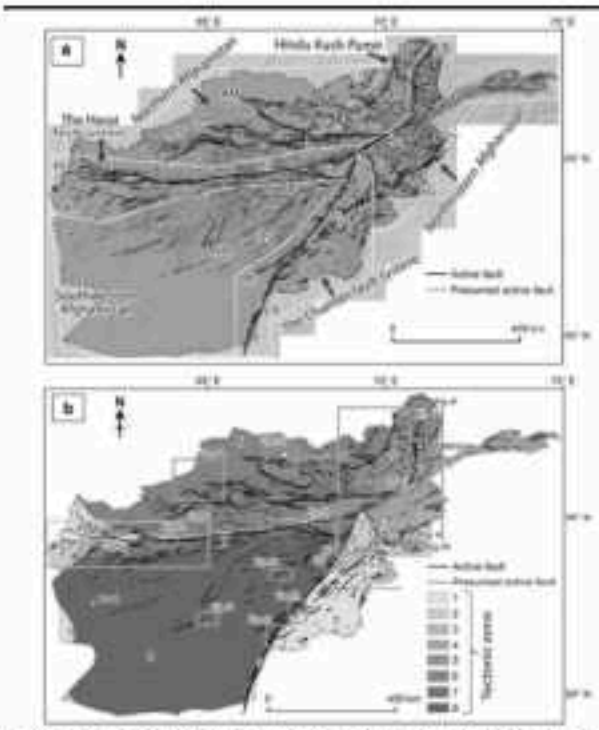
جدول ۱. خلاصه ای از شکستگی هایی که به عنوان شکستگی های فعال در افغانستان در نظر گرفته می‌شوند.

نام شکستگی	طول و جهت	نوع شکستگی	مقدار لغزش	شرح جیومورفیک	زلزله خیزی مرتبط	منطقه
شکستگی چمن	800 – کیلومتر طولانی؛ SW-NE	سمت چپ – جانبی شکستگی ترانسورس	۱۶.۸-۵.۴ ملی متر در سال (مهاجر و همکاران ۲۰۱۰، زلیگا و همکاران ۲۰۱۲، ۲۴ میلی متر در سال لارنس و همکاران ۱۹۹۲)، ۲۵ تا ۳۵ ملی متر در سال (بیون و همکاران، ۱۹۷۹)، ۳۳.۳ ملی متر در سال [۵۳]	تمام رسوبات جیولوجیکی و سنگ بستر را قطع می‌کند. تراس‌های الوویالی اخیرا بیجا شده اند. قدیمی ترین ترسبات به مقدار تقریبی یک کیلومتر بیجا می‌شود. در حالیکه سطوح جوان به مقدار کمتر از ۵۰ متر بیجا می‌شوند. بسیاری از تراس شکستگی خطی اند و شواهد فعالیت تازه را نشان میدهند.	1505 (M7.1), 1892(M7.0), 1935 (M7.7) 2016 (M5.5)	شمال شرقی افغانستان- بلوچستان
شکستگی مقر	به طول ۲۰۰ کیلومتر ؛ جنوب غربی- شمال شرقی	شکستگی سدویکی چپ	جیودینیک– ۵.۴ ملی متر در سال [۲۹]	شکستگی فعالیت کواترنر (دوره چهارمی) را نشان می و دارای سکارپ‌های الوویوم خطی و پیوسته می‌باشد		جنوب افغانستان
شکستگی گردیز	300 – کیلومتر طولانی؛ SW-NE	شکستگی سدویکی چپ	جیودینیک– ۵.۴ ملی متر در سال [۲۹]	رسوبات کواترنر را قطع می‌کند. دارای شکستگی خطی و اسکارپ های ناپیوسته بر روی آبرفت (الوویال) و سنگ بستر رسوبات دامنه کوه (piedmont) است.		جنوب افغانستان
۴. شکستگی پغمان	طول ۸۰ کیلومتر SW-NE	شکستگی سدویکی چپ- LL ترلست مایل	۱۰ > میلی متر در سال [۲۹]	تراس‌های الوویالی اخیرا ۲۰۰ متر بیجائی دارند. دارای اسکارپ های ناپیوسته و کمائی بر روی رسوبات کواترنر و شامل رشته های متعدد است	۱۵۰۵ (M73)	افغانستان مرکزی

شکستگی سروبی	150- کیلومتر طول شمال- جنوب	شکستگی سدویکی راست		عوارض ساختمانی دوره چهارمی را قطع می‌کند. اسکارپ های خطی و پیوسته در دسته ترسبات پیش رو موجود است. ترسبات پلیوستوسین آخری در امتداد رسوبات دامنه یی کوه صافی نقشه برداری شده اند	با زلزله های کوچک در ارتباط است	شمال شرقی افغانستان
شکستگی کونر	۲۰۰کیلومتر طولانی؛ در جهت شمال شرقی	شکستگی سدویکی چپ	۱ تا ۱۰ ملی متر در سال [۳۹]	در تصاویر ماهواره ای نمای واضحی دارد. بیجائی ها در ترسبات جوان الوویالی فعال نقشه برداری شده است	با زلزله های کوچک در ارتباط است	شرق افغانستان
شکستگی سبین غر	به طول ۱۴۰ کیلومتر، در جهت غرب-شرق	سدویکی راست، SS، معکوس		رسوبات پلیوستوسین آخری را قطع می‌کند. تراست های متمایل به جنوب در بین جناح اویزان کوه های سبین غر.		جنوب شرقی افغانستان
شکستگی پنجشیر	۱۶۰ -کیلومتر طولانی؛ جنوب غرب- شمال شرق	شکستگی سدویکی راست		شکستگی با اسکارپ‌های خطی، نابیوسته و قوسی در دسته الوویوم های مقابل مشخص می‌شود.		شمال شرقی افغانستان
شکستگی بدخشان مرکزی	280- کیلومتر طولانی؛ در جهت شمال- شمالشرقی	تراست مایل سدویکی چپ		نمای جیومورفیک در بخشی از جاها نامشخص می‌باشد. در بدخشان مرکزی، دیفارمیشن دوره چهارمی بین شکستگی تراستی جنوبشرقی و سدویکی سمت راست شمالغربی تقسیم بندی شده است		شمال شرقی افغانستان/ هندوکش
شکستگی درواز	به طول ۳۰۰ - کیلومتر در جهت جنوب- شمال	شکستگی سدویکی چپ	جیودیتیک ۱۱.۲ ملی متر در سال [۲۹]	نرخ شکستگی بر اساس بیجائی شکل زمین در زمان‌های احتمالی هولوسین و اواخر پلیستوسین است شور و همکاران (۲۰۱۴) سه زلزله وابسته به زون شکستگی درواز را شناسایی کردند.	سه زلزله [۴۰]	شمال افغانستان پامیر
نام شکستگی	طول و جهت	نوع شکستگی	مقدار لغزش	شرح جیومورفیک	زلزله خیزی مرتبط	منطقه
شکستگی اندراب	۲۹۰ -کیلومتر طولانی؛ غرب-شرق	سدویکی راست	۱۰-۱ میلی متر در سال [۳۹]	شکستگی دارای خش های خطی و پیوسته در الوویوم (alluvium) و سنگ بستر دوره چهارمی است. زلزله سال ۱۹۵۶ به نظر می‌رسد که بین شکستگی هرات و اندراب اتفاق افتاده باشد	1956 (M 7.4)	افغانستان شمالی/ هندوکش مرکزی

شکستگی هنجوان	جنوبغربی به شمال شرقی- شمالی	شکستگی سدویکی متمایل به جنوبشرقی		توضیح جیومورفیک شکستگی در بیشتر قسمت‌های طول آن نامشخص است. سکارپ، تابیوسته و قوسی در دره های وسیع و زمین های سنگ بستر است.		شمال شرقی افغانستان پامیر
شکستگی البرز-مارمل	به طول ~ ۲۲۰ کیلومتر	شکستگی سدویکی راست		نمای جیومورفیک واضحی داشته و کناره های شرقی را محدود می کند. دیفارمیشن به صورت عمودی تقسیم شده است. زون شکستگی شامل شکستگی های راندگی (تراست) شمال و جنوب و چین خوردگی های مرتبط است.	زلزله های کوچک مرتبط	پلتفورم شمال افغانستان
شکستگی دوسی میرزاولنگ	به طول 0–20 کیلومتر ،شمال غربی به شرق و جنوب شرقی	سدویکی راست		شکستگی از یک تعداد شکستگی های فرعی تشکیل شده است. سلسله کانال های جریان جابجا شده مختلف در امتداد شکستگی وجود دارد.		شمال افغانستان
شکستگی بند ترکستان	۲۱۰ ~کیلومتر طولانی؛ شمالغربی- جنوبشرقی	راست- جانبی		این شکستگی دارای اسکارپ های تابیوسته است استادهای خطی در سراسر زون‌های آبرفتی (الوویالی)، سطوح مرتفع سنگ بستر، دره های باریک در زمین های ناهموار حاوی رسوبات کواترنر (دوره چهارمی) کم هستند.		شمال افغانستان
شکستگی قلب مانند	1100 ~ کیلومتر طولانی؛ غرب-شرق	سدویکی راست	جیودتیک کمتر از ۳ میلی متر در سال (مهاجر و همکاران ۲۰۱۶)	بیشتر شکستگی در سنگ بستر است. نزدیک هرات، شکستگی توسط رسوبات کواترنری پوشانده شده. مشخصات تکتونیکی عمدتا توسط دره های خطی یا همتراز تعریف می شوند.	849 (M7), 1847 (M)), 1956 (M7.4)	افغانستان مرکزی
شکستگی کجرود	۳۰ ~۱۰۰ کیلومتر طولانی؛ جنوبغربی- شمالشرقی	سدویکی		این شکستگی رسوبات پلیوسین را از رسوبات اواخر پلیستوسین-هولوسین جدا می‌کند.		وسط افغانستان

شکستگی قرغه نو	۳۰۰< کیلومتر طولانی؛ غرب-شرق	سدویکی		بیشتر شکستگی در سنگ بستر و در کانال‌های جریان بیجا شده می‌باشد		افغانستان مرکزی
شکستگی اولی	۱۱۰ -کیلومتر طولانی؛ جنوبشرقی- شمالغربی	سدویکی چپ		بیشتر شکستگی در سنگ بستر و در کانال‌های جریان بیجا شده می‌باشد		افغانستان مرکزی
شکستگی بند بیان	۲۰۰ <کیلومتر طولانی؛ غرب-شرق	سدویکی		شکستگی با خرانه های خطی و ناپیوسته روی سنگ بستر مشخص شده است.		افغانستان میانه
نام شکستگی	طول و جهت	نوع شکستگی	نرخ لغزش	شرح جیومورفیک	زلزله خیزی مرتبط	منطقه
شکستگی هلمند	به طول بیش از ۳۰۰ کیلومتر به سمت جنوبغربی- شمالشرقی	سدویکی چپ		این شکستگی مشخصات جیومورفیک را در رسوبات پلیستوسین وسطی بیجا می‌نماید. در امتداد پایان جنوبغربی شکستگی مشخصات قسمت های عمده رسوبات قبلی را محدود می‌کند.		جنوب غربی افغانستان
شکستگی دراقشان	به طول بیشتر از ۲۰۰ کیلومتر به سمت جنوبغربی- شمالشرقی	سدویکی چپ	شکستگی، شکل جیومورفیک واضحی در رسوبات سنگ بستر و کوارتز دشت تاور دارد.	زلزله های کوچک مرتبط		جنوب غربی- مرکزی افغانستان



شکل ۵ a و b شکستگی‌های فعال و احتمالی افغانستان بر اساس این مطالعه و نشان ناحیه تکتونیکی با مرزهای سفید نشان داده شده است

شکستگی‌های فعال با استفاده از روش سنجش از دور و تصاویر آناگلیف سه بعدی ماموریت توپوگرافی رادار شاتر ۱ ثانیه قوسی (SRTM) نقشه برداری می‌شوند. مخفف شکستگی‌ها: البرز مارمل (AM)، اندراب (An)، بند بیان (BB)، بند ترکستان (BT)، چمن (CH) ، مرکز بدخشان (CB)، درافشان (Ds)، درواز (Dv)، دوسی میرزاولنگ (Dm)، گردیز (Gz)، هنجوان (Ha)، هرات (Hr)، هلمند (Hm)، کجرود (KR)، کنر، (Ko)، مقر (Mo)، اونی (On)، پغمان (pg)، پنجشیر (Ps)، قرغه تو (Qa)، سرووبی (Sa)، سپین غر b (SG). مناطق تکتونیکی افغانستان. مستطیل ها بلاک های محل شکل ۱ را نشان می‌دهد. اعداد به ترتیب (۱) مناطق نسبتاً فرورفته. (۲) مناطق نسبتاً مرتفع. (۳) هندوراج-هزار (۴) نورستان پامیر (۵) افغانستان-شمال پامیر (۶) پلتفرم شمال افغانستان (۷) منطقه چین خوردگی کیمیری وسطی، کتله‌های وسطی و (۸) جنوب افغانستان، مناطق چین و تاب خورده آلپاین را نشان می‌دهد. زون های تکتونیکی افغانستان اصلاح‌شده از عبدالله و همکاران، ۲۰۰۸).

قرار جدول ۱و شکل ۵ a بسیاری از شکستگی‌های تراست (Thrust) در نزدیکی و شرق پلتفورم شمال افغانستان و جنوب بلاک افغان، مطابق با کوتاه شدن و ضخیم شدن قشر ترسیم شده اند (شکل ۶ a, k). کوتاه شدن مشابه در هندوکش تا زون جنوبی افغان-تاجک گسترش می‌یابد. شکستگی‌های سدویکی در بخش های جنوب و شمال شرق کشور عمده هستند (شکل۵ a). مشخصات به خوبی تعریف شده جیومورفیک شکستگی‌های سدویکی، امتداد شکستگی را نشان می‌دهند که شامل تاپیوستگی‌های متعددی مانند پله‌هایی به بزرگی چندین کیلومتر است. تاپیوستگی‌ها ممکن است تأثیر زیادی بر رفتار سایزمیکی شکستگی داشته باشند بر اساس ادبیات منتشر شده و معیارها (به عنوان مثال، [۴۹] ; [۲۳] [۵۲]). ۲۲ شکستگی قابل توجه در افغانستان از نظر زلزله یی فعال هستند (جدول ۱، شکل۵ a).

از میان شکستگی‌ها، شکستگی‌های چمن، پغمان، درواز، هرات، بدخشان مرکزی، پنجشیر، اندراب، سروبی و کنر شواهدی بر حرکت دوره چهارمی دارند [۳۹] [۶۱] [۲۶] [۳۰]. بر اساس تفاسیر جیومورفیک تکتونیکی، کشور به شش منطقه با سبک‌های مختلف تغییر شکل دوره چهارمی تقسیم گردیده است (شکل ۵ a): (۱) سیستم شکستگی چمن، (۲) شمال

شرقی افغانستان، (۳) هندوکش-پامیر، (۴) شمال افغانستان، (۵) سیستم شکستگی هرات، و (۶) جنوب غربی افغانستان. شکستگی‌های فعالی شناسایی شده اند که صحراها و تراس‌های الوویالی را تغییر شکل داده اند. مشخصات جیومورفیک بر اساس تداوم و توضیح جیومورفیک آنها در سطح مشخص شده است. بر اساس نقشه جیولوجیکی افغانستان تهیه شده توسط [۱۴]، شکستگی‌های فعال رسوبات دوره چهارمی را جابجا می‌کنند. نقشه جیولوجیکی، اطلاعات کلی در مورد عمر نسبی رسوبات ارائه می‌دهد (شکل ۴). شکستگی‌های فعال وضعیت مورفولوجیک ظریفی دارند که با امتدادی مشخص می‌شود که ارتفاع آن بسته به عمر رسوبات بیجا شده از چند سانتی متر تا ده ها متر متغیر است. برخی از شکستگی‌های فعال وضعیت جیومورفیک خود را در ریلیف دوره چهارمی کمتر پیوسته نشان می‌دهد.

آنها دارای میزان فعالیت پایین‌تری هستند، بخشی از اسکارپ آنها ممکن است توسطرسوبات جوان تر فرسایش یا دفن شود و بنابراین یک امتداد ناپیوسته دارند. شکستگی‌های فعال و فرضی با جهت‌گیری های مختلف هر منطقه را قطع می‌کنند. در بخش های بعدی، خصوصیات هندسی و جیومورفولوجیکی شکستگی‌های افغانستان و ویژه‌گی‌های جیومورفیک تکتونیکی مرتبط با شکستگی به اختصار شرح می‌یابد.

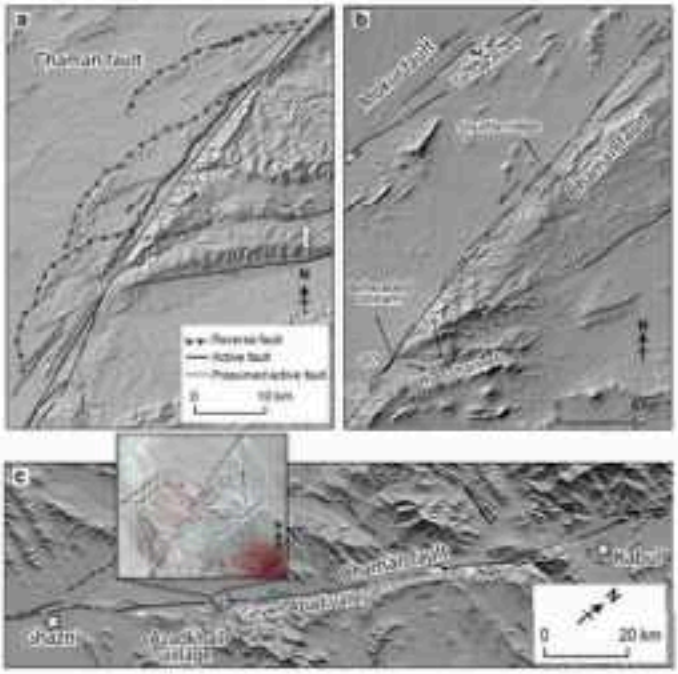
۱.۴ سیستم شکستگی چمن

شکستگی چمن یک شکستگی سدویکی بزرگ به سمت چپ است که بسیاری از حرکت های مایل بین پلیت‌های هند و اوراسیا در جنوب شرقی افغانستان را در بر می‌گیرد (شکل های ۲ و ۵). شکستگی از N10E تا N35E رخ می‌دهد [۲۶] و گسترده ترین شکستگی‌های سدویک قاره‌ای در منطقه است. طول کل سیستم شکستگی چمن ۸۶۰ کیلومتر است (۵ a). طول آن در افغانستان ۶۵۰ کیلومتر است و در نزدیکی شهر کابل خاتمه می یابد (شکل ۲). شکستگی چمن سرحدی بین حوضه کتواز، کمربند افیولیتی و بلاک کابل در شمال شرقی و مرکز افغانستان در شمال غربی را مشخص می کند (شکل ۲ و ۳). در امتداد شکستگی، معمولا* ویژگی‌های جیومورفیک تکتونیکی مانند کانال‌های جریان های جابجا شده و قطع شده، رسوبات الوویالی بیجا شده، برجستگی‌های دریچه‌ای، خراش‌های گسلی و سطوح الوویالی کج شده مشاهده می‌شوند (شکل ۶ b). این شکستگی رسوبات اواخر پلیستوسین و هولوسین را بیجا می‌کند. میزان لغزش سمت چپ شکستگی توسط چندین مطالعه ۸-۳۵ ملی متر در سال برآورد شده است. حدود ۱۱۵۰ متر جابجایی سمت چپ رسوبات الوویالی با 10Be عمر و به مدت ۳۵ هزار سال در منطقه سرحدی افغانستان و پاکستان، اندازه لغزش ۳۳ ملی متر در سال را ایجاد می‌کند [۵۳]. دیتاهای GPS و InSAR به ترتیب مقدار لغزش ۱۸ میلی‌متر در سال و ۸ ملی متر در سال را ارائه می‌دهند.[۲۹] [۱۷]

تطبیق چهار ویژگی جیولوجیکی جابجا شده در امتداد شکستگی میزان لغزش ۲۴-۱۹ میلی‌متر در سال را نشان می‌دهد [۲۶]. [۷] انحراف ۸۰-۶۰ کیلومتری یک واحد ولکانیکی با عمر تقریبی ۲ Ma (میلیون سال) را شناسایی کرد و مقدار لغزش شکستگی را ۳۵-۲۵ میلی‌متر در سال تخمین زد.

مسیر شکستگی چمن بطور قابل ملاحظه ای مستقیم است (شکل ۶ b, c). برای فاصله حدود ۷۵ کیلومتری بین ۳۲ درجه و ۵۸ دقیقه شمالی و ۳۳ درجه و ۳۱ دقیقه شمالی، ردیابی شکستگی به طور مداوم در سراسر منطقه مسطح، با پوشش گیاهی گسترده و شهری دشوار است. ضلع شرقی شکستگی در مجاورت شهر غزنی، جایی که رسوبات الوویالی با صخره‌های کوه‌ها هم مرز است، شکستگی چمن از بدنه اصلی رسوبات الوویالی عبور کرده و آن را به سمت چپ جابجا می‌کند. در شمال غزنی، در سراسر دشت الوویالی دره سیدآباد، یک سلسله رسوبات رو به غرب به ارتفاع ۱ تا ۴۰ متر و طول ۶۵ کیلومتر شناسایی شده است (شکل ۶ c). در این ناحیه، شکستگی چمن مشهود است و دارای اسکارپ گسلی پیوسته در رسوبات الوویالی پیمونت در پایین دو کتله جناح شرقی است. این شکستگی مجموعه ای از رسوبات الوویالی در حاشیه غربی کوه ها را قطع نموده است. در این منطقه، کانال های مخروطی جابجا شده و مخروطی مختلف اندازه‌گیری‌گردیده است. قدیمی‌ترین رسوب در فاصله ۹۰۰ متری از کانال منبع در مجاورت روستای آزادخیل وردک قرار دارد که به عنوان

یک بیجائی واقعی برای رسوب در نظر گرفته می‌شود. در حالی‌که برخی از کانال های جریان جوان‌تر برای کمتر از ۵۰ متر بیجا می‌شوند. به طور متوسط، این قسمت از رسوبات الوویالی در همان سطح توپوگرافی ۲۴۸۰-۲۴۲۰ متر قرار دارد



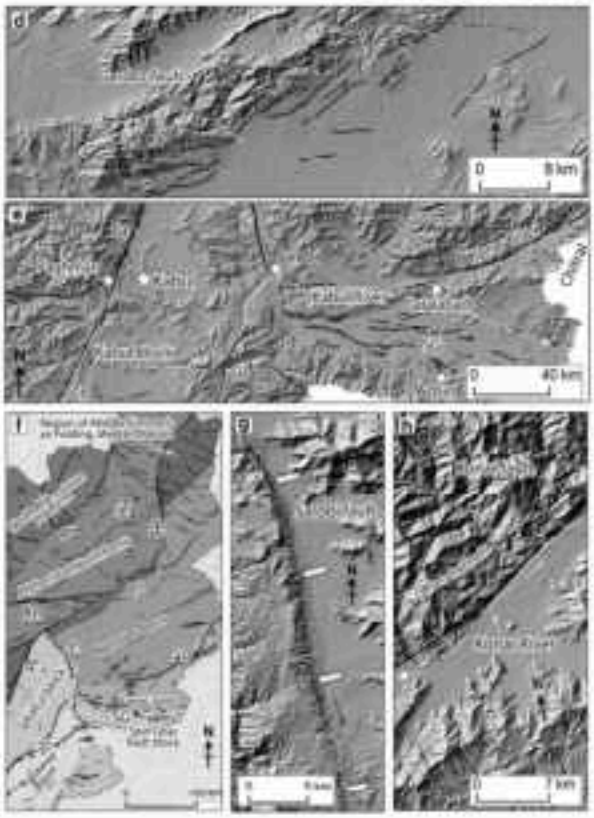
شکل۶

شکل۶ نقشه‌های موقعیت شکستگی‌های فعال

a شکستگی‌های تراست پیش روی در امتداد حاشیه غربی شکستگی چمن. b شکستگی چمن رسوبات پیشرو و جریانات بیجا شده را بطور دست چپ قطع می‌کند. (c) در شمال غزنی در ولسوالی سید آباد، شکستگی چمن مشهور است و دارای امتداد گسلی پیوسته در رسوبات الوویالی پیمونت در ناحیه کوهستانی است. (d) شکستگی گردیز که یک اسکارپ رو به جنوب غربی را تشکیل داده است. (e) موقعیت یابی مشخصات جیومورفیک مرتبط با تکتونیک فعال در مرکز شرقی افغانستان. (f) محل بلاک‌های تکتونیکی جدا شده توسط شکستگی‌های فعال اصلی در شمال‌شرقی افغانستان. (g) محل شکستگی سروبی سمت راست. وکتورهای سفید نشان دهنده مسیر شکستگی فعال بین نیوپروتروزوییک-کامبرین و پلیستوسین آخری است. (h) شکستگی کنر با جهت شمال شرقی شواهدی از بیجائی سمت چپ را نشان می‌دهد که با وکتور نشان داده شده‌است. (i) شکستگی سپین غر رسوبات پلیستوسین وسطی را به سمت راست در امتداد ناحیه کوه های اسپین غر می پوشاند. (j) شکستگی پنجشیر با ۳.۵ کیلومتر جریان راست جانبی در میانه‌ی دریای پنجشیر جابجا شده است.

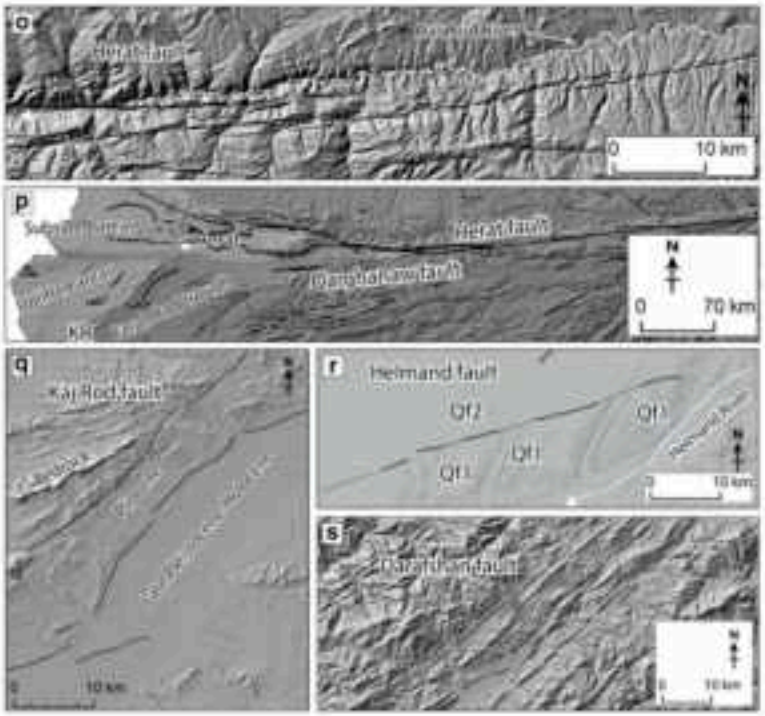
(k) شکستگی سدویکی مرکز بدخشان و شکستگی‌های تراست مایل فعال مرتبط به آن. این شکستگی به سمت جنوب شرقی محدب است و بر روی رسوبات پیش روی دامنه و زمین‌های سنگ بستر متقاطع و ناپیوسته است. l شکستگی سدویکی راست اندراب. (m) رسوبات الوویالی بزرگی که در مقابل شکستگی البرز-هارمل سمت راست قرار دارد. (n) نقشه ویژگی‌های مرتبط با شکستگی‌های دوسی میرزا ولنگ و بند ترکستان در شمال افغانستان. (o) در پیش زمینه، شکستگی هرات وضاحت جیومورفیک واضحی را در سطح نشان می‌دهد و جریان‌ها را به سمت راست جانبی در تمام طول شکستگی جابجا می‌کند. (p) نقشه ویژگی‌های مرتبط با تکتونیک فعال، سیستم شکستگی هرات. (q) شکستگی کجرود، که فرورفتگی قراه رود را از نواحی برآمده جدا می‌کند. (r) شکستگی هلمند بین رسوبات الوویالی پلیستوسین

وسطی (Qf1) و اواخر پلیستوسین-هولوسین (Qf2) در امتداد دریای هلمند قرار دارد. a توضیح جیومورفیک شکستگی درافشان که کانال های بخا. ا به سمت چپ منحا می کند.



شکل ۶ (ادامه)

در کابل، امتداد شمالی شکستگی چمن نمونه پیچیده‌ای از سلسله‌های شکستگی را نشان می‌دهد. در جنوب غربی شهر کابل، لکه‌هایی به ارتفاع کمتر از ۳ متر به سمت شرق در سراسر دشت های الوویالی شناسایی گردیده است که ممکن است با زلزله با شدت M7.3 (سال ۱۵۰۵ میلادی) مرتبط باشند. شکستگی مقر سمت چپ با جهت شمال شرقی به سمت جنوب غربی از شکستگی چمن مشتق می‌شود. این شکستگی دارای نشانه‌های شکستگی خطی بر روی رسوبات الوویالی در امتداد دریای ترنک در دره زابل است (شکل 6b).



شکل ۶ (ادامه)

زون شکستگی، خطی است و سنگ بستر را به ویژه در شمال محدود می‌کند. شکستگی مقر شواهدی دال بر فعالیت جوان را نشان می‌دهد و بیشتر رسوبات جیوئوجیکی و سنگ بستر را قطع می‌کند (شکل ۴). این شکستگی حدود ۱۵۰ کیلومتر در حاشیه شمال شرقی حوضه هلمند امتداد دارد. شکستگی‌گردیز یک شکستگی سدویکی سمت چپ است که از شکستگی چمن تا شکستگی سرویی در شرق کابل امتداد دارد (شکل ۵ a و ۶ d).

طول کل شکستگی تقریباً ۳۰۰ کیلومتر است و جهت عمومی شرق- شمال شرقی است. در امتداد شکستگی، بسیاری از کانال‌های بیجا شده و لندفورم[۲۹] ها مشاهده شد (شکل ۶ d). چندین جریان بخار بیجا شده (۴۵۰-۱۵۰ متر) در امتداد سمت شمالی گردیز در ناحیه کوه اندازه‌گیری گردیده است. این شکستگی بلاک کابل را از حوضه کنواز جدا می‌کند (شکل ۳ و ۶ f). شکستگی پغمان به طول ۸۰ کیلومتر، امتداد شمالی شکستگی چمن، از ارغندی ولسوالی پغمان بلافاصله در غرب شهر کابل شروع شده و به سمت شمال شرقی تا حاشیه شمالی بلاک‌کابل امتداد می‌یابد (شکل ۶ e). لغزش شکستگی از N16°E تا N35°E است. این شکستگی با رسوبات باقیمانده شکستگی نابیوسته، خطی و قوسی در رسوبات و لندفورم های دوره چهارمی مشخص می‌شود. شکستگی پغمان همچنین شامل شاخه‌های متعددی است که کانال‌های جریان را با مقادیر متفاوت می‌پوشاند. بر اساس تفسیر تصاویر آناگلیف [۴۷] اندازه گیری جابجایی سمت چپ رسوبات الوویالی و کانال‌های جریان فعال، که حرکت بسیار جوانی را در برخی از شاخه‌های شکستگی نشان می‌دهد و مخروط رسوبات الوویالی (۳۴ درجه و ۳۹.۲دقیقه شمالی، ۶۹ درجه و ۰.۰۳ دقیقه شرقی) تقریباً ۲۰۰ متر در امتداد شکستگی نسبت به آبرو منبع اصلی خود به سمت شمال منتقل شده است. با این حال، هیچ معلومات زمانی برای تخمین میزان لغزش سمت چپ شکستگی وجود ندارد.

۲۹ - لندفورم عوارض زمین یا شکل زمین می باشد (Landforms)

۳.۴ شمال شرق افغانستان

شکستگی سروبی‌تقریبا* ۱۵۰ کیلومتر طول دارد که بخش شمال شرقی بلاک کابل را از بلاک شکستگی نورستان جدا می‌کند (شکل ۵ a و ۶ f). نشانه های شکستگی در رسوبات به شکل تقریبی و خطی هستند. وضعیت جیومورفیک شکستگی در طول کل شکستگی خوب تعریف شده است (شکل ۶ g). با این حال، هیچ مدرکی دال بر ایجاد شکستگی اخیر در انتهای شمالی بلاک‌کابل وجود ندارد. صفحه شکستگی به طور مایل تا تقریبا* عمودی فرو می‌رود، به ویژه در ناحیه سروبی (شکل ۶ e). شکستگی کنر در شرق افغانستان یک شکستگی سدویکی سمت چپ است که زون کنر را از زون تکتونیکی نورستان- پامیر به سمت جنوب شرقی جدا می‌کند (شکل ۶ f). شکستگی از منطقه سروبی و در امتداد کرانه چپ دریای کابل تا دره دریای کنر امتداد دارد. بیشتر به سمت شمال شرقی تا منطقه چیترال پختونخوا گسترش می یابد. این شکستگی دارای لکه های قوسی شکل پیوسته با جهت شرقی-شمال شرقی بر روی پیمونت در عمرهای مختلف است (شکل ۶ h). شکستگی کنر در سمت چپ، برخی از خندق ها و کانال های جویبار کوچک را در امتداد دریای کنر خنثی می‌کند (شکل ۶ e). بین کامدیش و نری، به تعداد ۵۰ تا ۲۰۰ متر چندین جابجایی جریان، اندازه گیری شده است [۳۹] شکستگی کنر را با شکستگی‌های ایالات متحده مقایسه کرد و مقدار لغزش را ۱۰-۱میلی‌متر در سال تخمین زد شکستگی سپین غر در شرق کشور قرار دارد و بلاک شکستگی سپین‌غر را از ساختمان‌های زون کنر به سمت شمال جدا می‌کند (شکل ۶ f). امتداد شکستگی خطی اما ناپیوسته است با اسکارپ های قوسی شکل (شکل ۶ i). با این حال، در شرق بین جلال آباد و اچین، تغییرات شدیدی در توضیح ساختمانی و جیومورفیک شکستگی وجود دارد، که در آن رسوبات پلیستوسین وسطی و آخری تحت تأثیر این شکستگی قرار گرفته اند (شکل ۶ e, i). طول کل شکستگی حد اقل ۱۴۰ کیلومتر است.

شکستگی پنجشیر با جهت شمال شرقی یک شکستگی سدویکی سمت راست با خراش های خطی و قوسی ناپیوسته است (جدول ۱). این شکستگی در دره باریک پنجشیر قرار دارد و به سمت جنوب-جنوب شرقی محدب است. این شکستگی از انتهای شمالی شکستگی یغمان به شمال شرقی برخورد می‌کند (شکل ۵ a). نمای جیومورفیک تکتونیکی شکستگی در امتداد زون شکستگی مشهود است (شکل ۶ j). به طول ۳.۵ کیلومتر و ۲.۵ کیلومتر جریان سمت راست در اواسط دریای پنجشیر، حصه اول پنجشیر، جایی که شکستگی اندراب به سمت غرب‌امتداد دارد، شناسایی شده است شکستگی مرکزی بدخشان یک شکستگی تراست[۳۰] مایل سمت چپ است که از انتهای شرقی شکستگی پنجشیر تا سرحد تاجیکستان امتداد دارد (شکل ۵ a). توضیح جیومورفیک تکتونیکی شکستگی در طول برخی از امتداد آن نامشخص است. جهت شکستگی مرکزی بدخشان از شمال به شمال شرق و شکستگی‌های تراست مایل فعال مرتبط است (شکل ۶ k). شکستگی‌های بدخشان مرکزی و پنجشیر، افغانستان-پامیر شمالی را از ناحیه چین خوردگی کیمیری وسطی جدا می‌کند.

۳.۴ منطقه هندوکش- پامیر

شکستگی درواز، یک شکستگی سدویکی سمت چپ، در قسمت غربی پامیر قرار دارد (شکل ۵ b). طول شکستگی شمال شرقی کمتر از ۳۰۰ کیلومتر است (جدول ۱). شکستگی در امتداد سرحد بین منطقه پامیر - بدخشان و حوزه افغان- تاجک گسترش می‌یابد (شکل ۳ و ۵ b). بیشتر قسمت های شکستگی مذکور در افغانستان قرار داشته اما قسمت‌شمالی آن در تاجیکستان واقع شده است. شکستگی درواز دارای چین خورده‌گی‌های پیوسته و منتهی به شمال و شمال شرقی بر روی سلسله کوه ها و پیمونت‌ها است. این شکستگی رسوبات پلیستوسین و هولوسین را در ناحیه کوه های پامیر بیجا می‌کند. [۱۶] و [۵۱] لغزش ۲۰ متری به سمت چپ در اواخر هولوسین، حدود ۱۲۰ متر در کل هولوسین، و ۳۰۰ متر در اواخر پلیستوسین در قسمت شمالی شکستگی در تاجیکستان نزدیک به سرحد افغانستان، مشاهده نمودند. [۲۹]میزان لغزش

۳۰- شکستگی تراست عبارت از نوعی از شکستگی معکوس با زاویه میلان ۴۵ درجه ویا کمتر از آن می باشد. (Thrust)

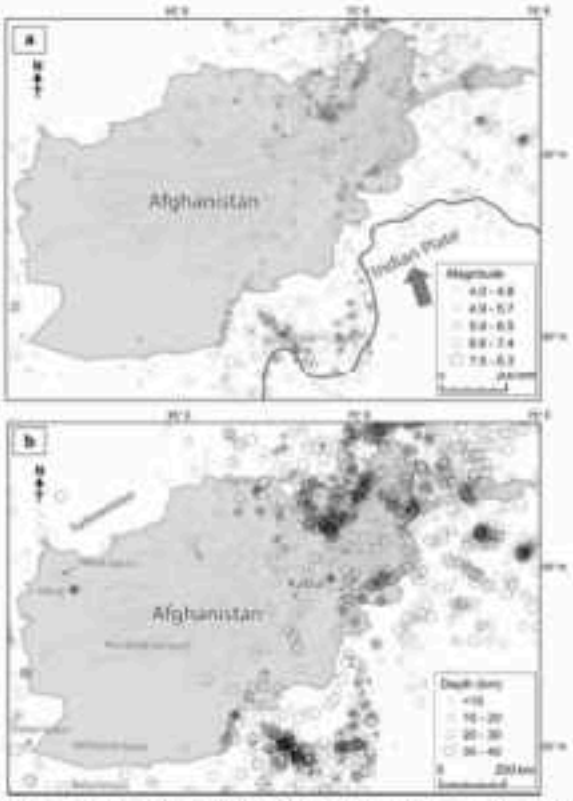
جیودنیکی شکستگی درواز را ۱۱ میلی‌متر در سال گزارش‌کردند. شکستگی سدویکی سمت راست اندراب یکی از مهم ترین شکستگی‌های شمال افغانستان و تقریباً موازی با شکستگی هرات است (شکل ۵ a). این شکستگی بیشتر در امتداد دره رود اندراب قرار دارد و به ناحیه شکستگی شمال‌غرب نزدیک به سیستم شکستگی میرزا ولنگ ختم می‌شود (شکل ۶ l). این شکستگی بر روی رسوبات الوویالی و سنگ بستر پلیستوسین وسطی و آخری دارای برآمدگی های پیوسته و سنگ بستر است (شکل ۴). مسیر شکستگی اندراب در عمق مسیر دریا های اصلی در امتداد قسمت غربی به نظر می رسد. بر اساس تفسیر تصاویر، دو آبراهه بزرگتر از ۱کیلومتر در امتداد قسمت جنوبی دره اندراب شناسایی شد. شکستگی هنجوان در زون تکتونیکی افغانستان-شمال پامیر قراردارد (شکل ۵ b و ۶ f). شکستگی هنجوان یک شکستگی معکوس جنوب شرقی تقریباً موازی با شکستگی‌های بدخشان مرکزی و درواز است. در نمای جیومورفیک شکستگی قسمت زیاد طول آن نامشخص است (شکل ۵ a). شکستگی هنجوان از بین سنگ بستر تا جایی که با سیستم های شکستگی پامیر یکجا می‌شود امتداد می‌یابد.

۴.۴ افغانستان شمالی

شکستگی البرز-مارمل با جهت شرقی و سمت راست، حدود ۲۲۰ کیلومتر طول دارد (شکل ۵ a). این شکستگی حوزه افغان-تاجک را از کوه های پاراپامیز تیربند ترکستان جدا می‌کند (شکل ۳). این شکستگی برآمدگی های شرق را محدود می‌کند که از احجار نیلشیر و میوسین شمالی به شدت پرمیلان تشکیل شده اند [۳۹] (شکل ۴). در نزدیکی مزارشریف، یک مخروط الوویالی عظیم در حال پرکردن حوزه‌ای در پیشروی یک چین خورده‌گی-شکستگی فعال است (به عنوان‌مثال، [۳۹] (شکل ۶ m). در شمال افغانستان هم شکستگی‌های معکوس شمال-جنوب (البرز- مارمل) و شرق-غرب فعال هستند [۲۹].

آنها استدلال می‌کنند که هر دو مجموعه ساختمان فعال هستند و تغییر شکل به صورت عمودی تقسیم می‌شود. نتیجه تأیید می‌کند که فشرده سازی شرق-غرب توسط چین خورده‌گی‌های قوسی جهت شمال-جنوب و فشردگی شمال-جنوب بر روی شکستگی‌های تراست (Thrust) سمت شرق -غرب تطبیق داده می‌شود. شکستگی دوسی میرزا ولنگ موازی با شکستگی بند ترکستان است. این شکستگی از مجموعه‌ای از چندین شکستگی تشکیل شده است که به تدریج با هم یکجا می‌شوند و یک خط شکستگی را به سمت شرق تشکیل می‌دهند. شکستگی دوسی میرزاولنگ تقریباً ۲۰۰ کیلومتر طول دارد و بلاک شکستگی میمنه را از بلاک شکستگی شبرغان به سمت شمال جدا می‌کند (شکل ۶ n). این یک شکستگی سدویکی سمت راست است که به سمت شرق- جنوب شرقی امتداد دارد. شکستگی بند ترکستان از میان کوه های بند ترکستان امتداد می یابد، یک فلات وسیع شمال غربی که به تدریج ارتفاع آن را در شمال غربی کاهش می‌دهد (شکل ۲ و ۳). این شکستگی بین دره مرغاب در جنوب و حوضه دریا سرپل در شمال قرار دارد (شکل ۶ n). به گفته [۴۵] شکستگی بند ترکستان یک زون برشی نسبتاً جدید است زیرا شکستگی هرات برای کاهش فشار از سمت غرب به سمت حوزه هرات پیش می‌رود.

شکل ۷: نقشه های زلزله خیزی افغانستان. نقشه ها با استفاده از کتالاگ زلزله تهیه شده توسط [۱۲]که شامل زلزله های مستند قبل از سال ۱۹۰۰، زلزله های با مگنیتود بزرگ و مساوی ۵.۵ از ۱۹۰۰ تا ۱۹۶۳ و وقایع سایزمیکی با مگنیتود بزرگ و مساوی به ۴ از سال ۱۹۶۴ دایره های خاکستری موقعیت‌های از زلزله های ضبط شده هستند از ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۷ تهیه شده توسط مرکز بین المللی لرزه نگاری [۲۱] (http://www.isc.ac.uk/iscgem) (ISC-EHB)



نقشه، نشان دهنده زلزله خیزی قشر زمین با مگنیتود کمتر از ۴ می‌باشد b. نقشه، زلزله خیزی قشری را در اعماق کمتر از ۴۰ کیلومتر نشان می‌دهد

۵.۴ سیستم شکستگی هرات

شکستگی هرات (همچنان به نام هریرود) یک شکستگی سدویکی سمت راست است که تقریبا[۴] از شرق به غرب امتداد دارد. شکستگی هرات نمای جیومورفیک صریح را نشان می‌دهد (شکل۶ o). این شکستگی یکی از برجسته ترین شکستگی‌های سدویکی در وسط افغانستان است و پلتفورم شمال افغانستان را از مرکز افغانستان جدا می‌کند. همچنین نواحی برآمده و فرو رفته را در انتهای غربی جدا می‌کند (شکل ۵ b و ۶). این شکستگی به طور سیستماتیک کانال های جریان را در اراضی سنگ بستر بیجا می‌کند (شکل۶ o). این شکستگی از سیستم شکستگی یامیر (شکستگی پنجشیر) به سمت غرب امتداد یافته و از شهرهای تاریخی بامیان و هرات می‌گذرد و به منطقه مرزی با ایران ختم می‌شود (شکل۵ b). طول کل شکستگی بیش از ۱۱۰۰ کیلومتر است. جریان‌های موازی سمت راست در طول کل شکستگی مشاهده می‌شوند.

طول شکستگی بر اساس تفسیر تصاویر آناگلیف، ۵.۵ کیلومتر در امتداد قسمت جنوبی دریای هریرود اندازه گیری شده است (شکل ۶ o). در نزدیکی انتهای شمالی بلاک کابل، این شکستگی به سمت جنوب توسط یک انتیکلاین فعال که وسط سلسله کوه هندوکش را بالا می برد، احاطه شده است (شکل ۳). شکستگی‌های متعددی در جنوب و شرق شکستگی هرات وجود دارد (شکل ۵ b و ۶ p). بیشتر این شکستگی‌ها که فعال هستند به جز در قسمت جنوب غربی بین هرات و قراه که توسط رسوبات دوره چهارمی جوان پوشیده شده است ترسیم شده است (شکل ۴ و ۵ a). شکستگی‌کجرود با جهت شمال شرقی در جنوب حوضه هرات قرار دارد. این شکستگی رسوبات پلیوسین را از رسوبات پلیستوسین-هولوسین معاصر جدا می‌کند (شکل ۶ q). شکستگی بین نواحی برجسته و فرورفته قراه رود قرار دارد (شکل ۵ b و ۶ p). این شکستگی به

سمت جنوب غربی امتداد دارد و دارای خراش خطی و ناپیوسته است. در شمال شرقی، شکستگی محدوده سنگ بستر را محدود می‌کند. طول کل شکستگی کجرود تقریباً ۱۳۰ کیلومتر است. شکستگی قرغه نو در داخل اراضی مغلق ساحات مرکزی افغانستان قرار دارد. شکستگی با سمت شرقی قرغه نو یک شکستگی سدویکی است که از شرق به غرب امتداد دارد (شکل ۵ a). [۱] تعبیر کرد که شکستگی قرغه نو امتداد شکستگی پنجشیر است. این شکستگی از سلسله کوه پغمان تا هرات امتداد یافته و با شکستگی کجرود یکجا شده است (شکل ۶ p). شکستگی اونی دارای برآمدگی های ناپیوسته با جهت شمال غربی است و خطوط برجسته‌ای را در سراسر اراضی سنگ بستر تشکیل می‌دهد. طول کل شکستگی بیش از ۱۰۰ کیلومتر است (شکل ۵ a). شکستگی بند بیان با امتداد شرقی نیز یک شکستگی سدویکی است که از شکستگی اونی امتداد می یابد. این شکستگی در افغانستان مرکزی قرار دارد و مناطق مرکزی افغانستان را از اراضی مغلق جدا می‌کند. اکثر نویسندگان این شکستگی را به عنوان بخشی از شکستگی قرغه نو وارد کرده اند .[۵۸]

۶.۴ جنوب‌غربی افغانستان

شکستگی هلمند یک شکستگی سدویکی سمت چپ است که به خوبی در اراضی برجسته در مرکز افغانستان ظاهر شده است. شکستگی شمال شرقی، بلاک فراه را از بلاک هلمند جدا می‌کند (شکل۲). شکستگی هلمند ممکن است طولانی تر از آن چیزی باشد که در نقشه نشان داده شده است زیرا عمدتاً توسط رسوبات سمت جنوب در حوضه هلمند پوشیده شده است (شکل ۳). شواهدی مبنی بر فعالیت دوره چهارمی این شکستگی‌ها وجود دارد. مشخصات جیومورفیک بیجا شده بر روی رسوبات پلیستوسین وسطی (Qf1) نشان دهنده تغییر شکل فعال در امتداد شکستگی هلمند است (شکل ۳). رسوبات پلیستوسین وسطی و لوس قطع شده توسط شکستگی هلمند در دهانه بند کجکی در امتداد دریای هلمند شناسایی شده است (شکل ۶ r). شکستگی شمال شرقی درافشان یک شکستگی سدویکی سمت چپ است که در اراضی برآمده قرار دارد (شکل ۲ و ۵ a). این شکستگی دارای خراش های ناپیوسته خطی در اراضی سنگ بستر و در امتداد اراضی پیشرو است. بخش شمالی شکستگی بقایای شکستگی برجسته شمال شرقی را تشکیل می‌دهد. کانال های جویبار در جایی که از شکستگی درافشان عبور می‌کنند، به شدت به سمت چپ خم می‌شوند (شکل ۶ s). حداکثر ۳.۷ کیلومتر و ۲.۶ کیلومتر جریان سمت چپ در غرب دشت ناور، ولایت غزنی شناسایی گردیده است.

۵ زلزله خیزی قشری

کانون زلزله‌های قشری با بزرگی زیادتر از ۴ ریشتر در افغانستان و مناطق اطراف آن ترسیم گردیده (شکل ۷ a). سپس بر اساس اطلاعات خلاصه کتلاگ و کتلاگ ISC-EHB فقط زلزله‌های کم عمق تر از ۴۰ کیلومتر ترسیم شده است. خلاصه کتلاگ یکی از سه فارمت زلزله های افغانستان است که توسط [۱۲] طراحی شده است (شکل ۷ b). بر اساس زلزله‌های قشری و شکستگی‌های فعال نقشه برداری شده، بخش بزرگی از داخل افغانستان از نظر سایزمیکی کمتر فعال است، در حالی که مناطق نزدیک یا شمال و شرق کابل زلزله های قابل توجهی را تجربه می‌کنند (شکل ۷ و ۸). مناطقی که زلزله های معاصر زیادی دارند و زون های شکستگی‌های فعال اصلی نقشه برداری شده اند، احتمالاً نسبت به سایر مناطق دارای مقدار زلزله خیزی بالاتری هستند. شمال شرق افغانستان با وقوع زلزله‌های کم عمق (کمتر از ۴۰ کیلومتر) و عمیق (بیشتر از ۷۰ کیلومتر) مشخص می‌شود. این زلزله خیزی مربوط به حرکت پلیت هند به سمت شمال است. این ناحیه به دلیل مجاورت با شکستگی‌های فعال، زیادتر از هر منطقه دیگری در کشور، زلزله خیزی دارد (شکل ۵ a). دیفارمیشن در طول این منطقه توسط زلزله در زمان های تاریخی و اخیر نشان داده شده است. به گفته [۵]، مگنیتود مومنت تجمعی در شرق افغانستان ۵۰ درصد بیشتر از غرب افغانستان است. شکستگی‌های نقشه برداری شده در نزدیکی شرق افغانستان زیادتر هستند و بنابراین زلزله خیزی زیادی دارد (شکل ۵ a).

جهت‌گیری سرحد پلیت نسبت به حرکت پلیت نیز ممکن است باعث زلزله های کم عمق شود. در کنار پلیت هند

(محدوده سلیمان-کرتار کناره برآمده و تغییر شکل‌یافته است) چندین واحد تکتونیکی به سمت جنوب جابجا شده اند و بنابراین تغییر شکل کم عمق هم به صورت ایجاد شکستگی سدویکی سمت چپ و هم به صورت معکوس است (شکل ۱). در جنوب شرقی افغانستان و چسبیده به پاکستان، زلزله خیزی در راستای یک کمربند به عرض صدها کیلومتر توزیع شده است (شکل ۷).

به عنوان مثال، زلزله‌های پراکنده در یک منطقه وسیع در محدوده سلیمان، رانش قابل توجهی را در منطقه که در سرحد پلیت نیست نشان می‌دهد (به عنوان مثال، [۵]). زلزله های قشری بیشتر در سراسر شمال شرق افغانستان رخ می‌دهد. در پایین هندوکش، ناحیه زلزله خیزی به سمت شمال و ناحیه زلزله خیزی به سمت جنوب در عمق پامیر کاهش می یابد [۵۹]. ناحیه زلزله خیزی شمال سبدکشن (پایین رویی) پلیت هند را نشان می‌دهد و منطقه زلزله خیزی جنوب، سبدکشن پلیت اوراسیا را مشخص می‌کند [۳۳]. پلتفورم شمال افغانستان از سال ۱۹۰۰ دارای زلزله خیزی تقریباً فوقانی بوده است. مهم‌ترین زلزله‌ها در جنوب غربی مزار شریف و کابل قبل از قرن بیستم رخ داده است (شکل ۸ a). فعالیت زلزله‌ها در نزدیکی حوزه هرات، در شمال شکستگی هرات در مجاورت ترکمنستان، ممکن است مربوط به یک منطقه زلزله خیز شمال-جنوب در شرق ایران باشد (شکل ۱ و ۷ b). این حرکت به سمت شمال، داخل ایران را با توجه به بلاک افغانستان نشان می‌دهد [۴]،[۱۲]. این نقشه زلزله‌های مخرب را در امتداد کوه های شمالی بند ترکستان، در مقابل فرورفتگی توران نشان می‌دهد (شکل های ۲ و ۸ b). این نشان می‌دهد که برخی از حرکات نزدیک شونده بین پلیت اوراسیا و بلاک افغانستان درحال رخ دادن است. به نظر می رسد که قسمت های مرکزی افغانستان از سال ۱۹۶۴ تاکنون زلزله‌های نسبتاً کمی داشته است (شکل ۸ a). بر اساس کتالاگ زلزله، هیچ رویداد اخیر (مگنیتود بزرگتر از ۶) از قرن نهم در غرب افغانستان رخ نداده است. از سال ۷۳۴ تا ۱۹۰۰، تنها سه زلزله در حوزه سیستان در جنوب غربی افغانستان به ثبت رسیده است.

زلزله‌های اخیر در امتداد اراضی مغلق با مقدار و مگنیتود کاهشی به سمت غرب واقع شده است. از جانب دیگر، برخی زلزله‌های با عمق متوسط نیز در جنوب افغانستان رخ می‌دهد که احتمالا " در نتیجه سبدکشن (پایین روی) پلیت عربستان در منطقه مکران است. به طور کلی عمق و بزرگی زلزله‌های قشری از شرق به غرب یا از شمال‌شرق به جنوب غرب کاهش می یابد (شکل ۷ a و b). بخش های مرکزی و غربی از جمله حوزه هلمند، با بلاک های ثابت و ساختمان برآمده با فعالیت سایزمیکی کم مشخص می‌شوند. تمام زلزله‌خیزی در این منطقه مربوط به فشرده شدن قشر قاره ای در امتداد سرحد بین پلیت های هند و اوراسیا است. بسیاری از شکستگی‌ها در افغانستان شکستگی‌های سدویکی هستند و تصور می‌شود که فعال هستند، یا از مشاهده مستقیم گسختگی سطح یا ناشی از وضعیت جیولوجیکی و ارتباط جغرافیایی با زلزله تعیین شده اند.





شکل ۸

a نقشه، نشان دهنده موقعیت تمام زلزله‌های فشری که بین سال‌های ۱۳۳۴ تا ۲۰۱۶ میلادی بین ۴ تا ۸.۳ رخ داده‌اند. b زلزله‌های مخرب تاریخی با مگنیتود (M≥6)

گسیختگی سطحی یک زلزله تاریخی جداگانه یا زلزله ماقبل‌تاریخ، قوی‌ترین شواهدی است که نشان می‌دهد این شکستگی از نظر سایزمیکی فعال است. از این رو، شکستگی‌های فعالی مانند شکستگی چمن که در گذشته های نه چندان دور به طور مکرر دچار گسیختگی شده اند، پتانسیل ایجاد زلزله‌های بزرگ را در آینده دارند. حرکت شکستگی چمن باعث ایجاد پنج گسیختگی سطحی تاریخی در امتداد مسیر شکستگی شده است. زلزله شکستگی چمن در سال ۱۵۰۵ در امتداد انتهای شمالی شکستگی رخ داد (شکل ۸ b). زلزله (M۷.۳) باعث گسیختگی سطحی به طول تقریبی ۶۰ کیلومتر با بیجائی عمودی تا ۳ متر شد .[۳۶] این زلزله تمام خانه های ولسوالی پغمان را ویران کرد و حدود ۸۰ تن را در پغمان و بسیاری دیگر را در قریه‌های مجاور از بین برد. رانش زمین در دره شمال پغمان رخ داده است (شکل ۶ d). دومین زلزله (M7.0) در ۲۰ دسمبر ۱۸۹۲ شهر چمن را لرزاند که باعث ایجاد گسیختگی سطحی ۶۰ کیلومتری شد و لغزش ۶۰ تا ۷۵ سانتی متری سمت چپ ایجاد کرد و جناح غربی شکستگی را ۲۰ تا ۳۰ سانتی‌متر پایین آورد [۳۶] .[۵۸] سومین گسیختگی سطحی در ۳۱ ماه می سال ۱۹۳۵ رخ داد. زلزله ۷.۷ ریشتری بلوچیستان در امتداد بخش غزایند این سیستم شکستگی، زیادتر از ۳۵۰۰۰ تلفات برجای گذاشت .[۵] چهارمین زلزله با قدرت Mw ۶.۴ باعث ایجاد گسیختگی به طول ۵ کیلومتر با ۴ سانتی متر انحراف سمت چپ و مقدار کمتری لغزش عمودی یا نزول جناح شرقی شکستگی شد .[۶۱] زلزله ۱۳ ماه می سال ۲۰۱۶ (M5.5) در امتداد شکستگی چمن در قلعه عبدالله رخ داد [۲۱]: [۱۶]. گسیختگی سطحی زلزله با ماهیت، ترتیب جابجایی و وسعت آن مشخص می‌شود. برخی از زلزله های فشری بر روی شکستگی‌های شناخته شده منفرد رخ داده اند (به طور مثال: [۳۶]، [۶۱]، [۲۰]، [۴۲]) که نابیوستگی های سطحی ایجاد می کند.

۶ زون‌های منبع زلزله

برای کمک به ارزیابی خطر زلزله در افغانستان، چهار زون منبع سایزمیکی بر اساس دیتاهای جیولوجیکی، تکتونیک فعال و سایزمیکی در دسترس، طبقه‌بندی گردید (شکل ۹). چهار زون منشأ زلزله خیزی تشریح شده عبارتند از: (۱) شرق-شمال‌شرق افغانستان، (۲) افغانستان-شمال پامیر، (۳) پلتفورم شمال افغانستان، و (۴) مرکز و جنوب غربی افغانستان. این مناطق با توجه به جنبه های معدودی که شامل اطلاعات جیولوجیکی و تکتونیکی، انواع و عمر شکستگی‌های فعالی است که زلزله ایجاد می‌کنند تعریف شده است (مانند [۵۷]، [۵۸]). جهات مختلف پذیرفته شده اند به احتمال اینکه در کشور تاثیر داشته باشند و منبع سایزموتکتونیکی منطقه‌ای یکنواخت در نظر گرفته می‌شود. منطقه منشأ زلزله‌خیزی شرق- شمال شرقی فعال‌ترین منطقه زلزله خیز است. این منطقه بیشتر از سایر نقاط کشور زلزله های فشری ایجاد

می‌کند. این ناحیه توسط شکستگی‌های سدویکی بزرگ سمت چپ که تقریباً موازی با سرحد پلیت هستند قطع می‌شود (شکل ۱ و ۵ a). در این زون، شکستگی‌های بزرگ فعال یا بالقوه فعال قرار دارند: شکستگی‌های چمن، بغمان، پنجشیر، بدخشان مرکزی، کنر، سرویی، سپین غر و درواز (شکل ۹).



شکل ۹ زون‌های منبع زلزله افغانستان

شکستگی چمن بیشترین شواهد برای فعالیت سایزمیکی را دارد. زلزله‌های بزرگ و ویرانگر درمنطقه کابل در سال ۱۵۰۵، در منطقه چمن در سال ۱۸۹۲ و بلوچستان در سال ۱۹۳۵ (Mw7.7) ([۳۶]، [۶۱])(شکل ۸ b). هر زلزله باعث گسیختگی سطحی چند کیلومتری با فاصله چند سانتی متری تا چند متری سمت چپ و عمودی شد. مقدار لغزش شکستگی چمن بین ۸ تا ۳۵ میلی‌متر در سال است ([۷]، [۲۶]، [۱۷] ، [۳۰]، [۵۳]). تقریباً نیمی از زلزله‌های ثبت شده در این منطقه منبع سایزمیکی در تحت نیمه شمال شرقی هندوکش رخ داده‌است. [۳۸] زلزله های ثبت شده در امتداد بلاک کابل که سطح بالایی از زلزله خیزی را در یک منطقه دیفارمیشنی وسیع نشان می‌دهد ثبت نمودند. با وجود پراکندگی بیشتر زلزله‌ها در منطقه، زلزله خیزی در امتداد شکستگی‌های چمن و سرویی مشهود است. مجموعه ای از زلزله سنج های قابل حمل، زلزله های کوچک همسو یا دسته بندی شده روی شکستگی‌های سرویی و کنر را ثبت کردند ([۳۶]، [۳۵]).

به طور کلی، زلزله خیزی در سرتاسر زون منبع سایزمیکی شرقی- شمال شرقی پراکنده است و بخشی از فعالیت های تکتونیکی ناشی از حرکت این شکستگی‌های فعال است. زون زلزله خیزی افغانستان-شمال پامیر از نظر سایزمیکی کمتر از شرق-شمال شرق افغانستان است، اما فعال تر از پلتفورم شمال افغانستان است. در این زون، شکستگی درواز شواهد روشنی برای لغزش اخیر دارد (مثلاً: [۵۱]، [۵۸]، [۳۰]، [۱۲]). شکستگی اندراب دومین شکستگی طولانی در ناحیه زلزله خیز افغانستان-شمال پامیر است. عکس های هوایی را بررسی کرد و دو مکان را با شواهدی از جابجایی سمت راست در طول شکستگی شناسایی کرد[۵۶]. خاطر نشان کردند که ممکن است اکستروژن[۳۱] جزئی در شکستگی اندراب در حوزه افغان-تاجک به دلیل برخورد پلیت هند با بلاک افغان رخ داده باشد [۵۰]. در سال۱۹۵۶، یک زلزله مهیب و مخرب (Mw 7.4) در شمال شرقی پامیان (۳۳،۵۵ درجه شمالی و ۶۷،۸۱ درجه شرقی(بین شکستگی های اندراب و هرات رخ داد (شکل ۸ b). این زلزله یک گسیختگی سطحی به طول ۵۰ تا ۱۰۰ کیلومتر با لغزش ۱ تا ۲ متر ایجاد کرد [۶]. با این حال، بین شکستگی‌های اندراب و هرات هیچ شکستگی نقشه برداری شده ای وجود ندارد که این زلزله روی آن رخ داده باشد. هم گسیختگی های سطحی و هم شواهد جیومورفیک نشان می دهد که شکستگی اندراب مانند شکستگی درواز از نظر تکتونیکی فعال است. اخیراً دو زلزله بزرگ در ناحیه منبع زلزله‌خیزی افغانستان-شمال پامیر رخ داده است (شکل ۸

31 - Extrusion

b). در سال ۲۰۱۵ زلزله‌ای در حوالی ناحیه زلزله نگاری شرق -شمال‌شرق افغانستان رخ داد که بزرگی لحظه ای آن ۷.۵ ریشتر و کانون آن تقریباً در۸۲ کیلومتری جنوب شرقی فیض آباد بدخشان بود [۲۱]. به گزارش [۳] این زلزله ۱۱۵ نفر تلفات، ۵۳۵ تن مجروح و خسارت به ۷۶۳۰ خانه در ۹ ولایت برجای گذاشت. این زلزله به دلیل شکستگی معکوس در عمق ۲۱۲ کیلومتری در زون شمال شرقی در زیر سلسله کوه های هندوکش به وقوع پیوست [۲۰]. جدیدترین زلزله دیگری (Mw 7.4) در نتیجه شکستگی معکوس در عمق ۲۲۵ کیلومتری در شمال شرقی افغانستان در قسمت های پایینی سلسله کوه های هندوکش رخ داده است [۵۴] (شکل 8b). در زون منشأ زلزله‌خیزی پلتفورم شمال افغانستان، شکستگی های البرز-سارمل، دوسی میرزا-ولنگ و بند ترکستان قرار دارند. با توجه به مطالعات زلزله‌های کوچک و تراکم زلزله ها، پیشنهاد کرد که شکستگی البرز-سارمل فعال است [۴۳] [۴۲]. زلزله ها به طور کلی با شکستگی البرز-سارمل مرتبط هستند [۵۸]. در طول شکستگی متذکره زلزله‌های مکرری مشاهده شد [۴۲]. با این وجود، هیچ مدرکی برای حمایت از هرگونه زلزله‌ایکه در امتداد مسیر شکستگی رخ داده باشد، ارائه نشده است. این زون در کنار زون کانون زلزله‌ای افغانستان-شمال پامیر در داخل پلیت اوراسیا از زلزله‌خیزی بالایی برخوردار است. در ضلع شرقی منطقه، کمربندی از زلزله‌های کم عمق، رشش فعال جهت شمال‌غربی را مشخص می‌کند که شمال‌غربی پامیر را بر روی فرورفتگی کناری می برد [۲]، [۱۰]. [۳۷] ساختمان‌های مربوط به شکستگی فعال و مدلسازی شکل موج بدنه انجام شده برای چهار زلزله اخیر و مدل سازی فاز-عمق برای پنجمین زلزله که در حوزه افغان- تاجک رخ داده است را نقشه برداری کردند. بر اساس نتایج آنها، این حوزه فشرده شدن محلی شرق-غرب را به دلیل سقوط جاذبوی پامیر و هم فشرده سازی منطقوی شمال-جنوب را به دلیل تصادم پلیت هند-اوراسیا تجربه می‌کند. زون محلی زلزله خیز وسطی و جنوب غربی افغانستان از جنوب شکستگی هرات و غرب شکستگی چمن تا منطقه مرزی با ایران امتداد دارد. زون زلزله‌خیزی توسط شکستگی های پرمیلان که از جنوب غربی به شرق و شمال شرق امتداد دارند، قطع شده است. در میان هشت شکستگی شناخته شده (شکل ۹) شکستگی هرات از نظر زلزله‌ای فعال ترین است. یک زلزله مخرب (Mw 7.0) در سال ۸۴۹ بعد از میلاد در نزدیکی بخش غربی شکستگی نزدیک به ولایت هرات گزارش شده است (شکل ۸ b). رویداد دیگری در سال (M7.0) ۱۸۷۴ در شمال کابل پایتخت کشور در نزدیکی یا در امتداد شرقی شکستگی رخ داد [۳۶]. هم در زمان های تاریخی و هم در زمان های اخیر، در بیشتر طول شکستگی زلزله‌ای ثبت نشده است. [۴] پیشنهاد کردند که لغزش بالای شکستگی در تطبیق همگرایی شمال-جنوب ناچیز است. [۵۶] با استناد به شواهدی مبنی بر انحراف سمت راست دو کانال جریان بزرگتر از ۱۰۰۰۰ سال، در دو مکان تقریباً ۲۰۰ کیلومتری شرق و ۵۰۰ کیلومتری غرب کابل، شکستگی را فعال طبقه بندی کرد. همچنان در این زون، شکستگی درافشان شواهدی مبنی بر وقوع زلزله‌های کوچک در نقطه‌ای از کشور را دارد. شکستگی های مقر، علمند، لوئی، بند بیان، قرغه نو و کجرود نیز در این زون قراردارند، اما هنوز هیچ مدرکی برای تایید فعالیت های زلزله‌ای آنها ارائه نشده است.

۷. نتیجه گیری

این مقاله ترجمه شده مقاله اصلی به زبان انگلیسی تالیف محترم ذکریا شنیزی می‌باشد. هدف این مطالعه کمک به درک بهتر تکتونیک فعال و خطر لرزه ای (سایزمیکی) در افغانستان است. در این مقاله، یک نقشه شکستگی فعال افغانستان بر اساس تصاویر سه بعدی آلتگلیف (SRTM)[۳۲] یک ثانیه قوسی ارائه شده و اندازه گیری سطح و مشخصات جیومورفیک به طور خلاصه شرح داده شده است. بسیاری از شکستگی‌های فعال رسوبات جوان و شکل زمین (لندفرم) را قطع و تغییر شکل داده اند. سپس دیتاهای کتلاگ زلزله موجود برای کشور (از ۸۰۰ پس از میلاد تا ۲۰۰۶) تجزیه و تحلیل گردیده‌است. کتلاگ زلزله همراه با نقشه جیومورفیک تکتونیکی چشم انداز کلی از توزیع گذشته و حال زلزله‌ها در کشور

۳۲- عبارت از ماموریت رادار توپوگرافی شاتل یا (Shuttle Radar Topography Mission) می باشد.

ارائه می‌دهد. بر اساس پراکندگی زلزله‌ها و پراکندگی شکستگی‌های فعال نقشه برداری شده، بخش بزرگی از داخل افغانستان از نظر سایزمیکی کمتر فعال است. اما نزدیک با شمال شرق کابل زلزله خیزی شدید را تجربه می‌کند. شمال شرق افغانستان تحت تأثیر زلزله‌های کم عمق و متوسط قرار گرفته است.

برای کمک به ارزیابی خطر لرزه‌ای (سایزمیکی)، در مجموع چهار زون منبع سایزمیکی بر اساس مشخصات شکستگی‌های نقشه برداری شده پیشنهاد شده است: (۱) شرق-شمال شرق افغانستان، (۲) افغانستان-شمال پامیر، (۳) پلتفورم شمال افغانستان، و (۴) وسط و جنوب غربی افغانستان. زون لرزه خیز (سایزمیکی) شرق-شمال‌شرقی فعال ترین منطقه زلزله خیز افغانستان است که تقریبا نیمی از زلزله‌ها در این منطقه رخ داده است. شکستگی‌های سدویکی بزرگ و جوان سمت چپ این منطقه را قطع می‌کند. در بین شکستگی‌ها، شکستگی چمن بیشترین شواهد دال بر فعالیت سایزمیکی را دارد. حرکت شکستگی باعث ایجاد پنج گسیختگی سطحی تاریخی شده است. علاوه بر زلزله‌های کم عمق قابل توجه، دومین ناحیه منبع سایزمیکی تحت تأثیر بسیاری از زلزله‌های با عمق متوسط قرار گرفته است. به نظر می‌رسد پلتفورم شمال افغانستان دارای فعالیت های سایزمیکی نسبتا"جزئی است و عموما" زلزله‌ها در امتداد این زون با کاهش فزآوانی به سمت غرب رخ داده است. میزان فعالیت زلزله در مناطق وسط-جنوب غربی افغانستان کمتر از سایر مناطق منبع است.

این تحقیق اطلاعات مفیدی را برای کاهش خطرات سایزمیکی (لرزه‌ای)، برنامه‌ریزی کاربری اراضی و توسعه شهری از سطوح محلی تا ملی ارائه می‌دهد. تمرکز بیشتر به روی شکستگی‌های فعال و احتمالی صورت گرفته است، زیرا احتمالا در آینده باعث زلزله‌های بزرگ خواهند شد. نقشه شکستگی فعال همچنین می تواند به عنوان یک نقشه اساسی برای مطالعات جیولوجیکی و جیوفزیکی آینده مورد استفاده قرار گیرد. برای مطالعات آینده، بهتر است تا نقشه بر اساس تفسیر تصاویر ماهواره‌ای جدید و مشاهدات ساحوی به روز شود.

قدردانی

ذکریا شنیزی می‌خواهد عمیق‌ترین سپاسگذاری خود را از پروفسور هیرویوکی تسوتسومی به خاطر پیشنهادهای ارزشمند و سازنده و تصحیح چندین نسخه از این نوشته ابراز نماید. تمایل او برای صرف وقت گران‌بهای خود مورد تقدیر است. نویسنده از پروفسور تاکاشی تاکاتا و دکتر یوشیو سودا برای ساخت تصاویر آناگلیف از تصاویر ماهواره‌ای (1-arcsecond SRTM DEM) و همکاری شان در زمینه تفسیر تصاویر ابراز امتنان می‌کند. نویسنده، از داکتر چ. بروسه شیو، داکتر نویلینات. راموس، و ادی پاتریا به دلیل صرف زمان و تلاش برای بررسی نسخه خطی تشکر می‌کند. نویسنده همچنین از پروفسور ریچارد واکر و یک بررسی کننده ناشناس دست نوشته برای پیشنهادات و نظرات سازنده که کمک بزرگی به بهبود کیفیت کلی دست نوشته‌کرده است بسیار سپاسگزار است.

اطلاعات تامین مالی

این تحقیق توسط کمک مالی JSPS (انجمن جاپان برای ارتقاء ساینس) به HT (نمبر کمک مالی ۱۷ H۰۲۰۳۲) و توسط کمک مالی JSPS به تاکاشی تاکاتا (نمبر کمک مالی ۱۸ H۰۰۷۶۶) حمایت شده است. ذ. شنیزی توسط سکالرشیپ MEXT (Ministry of Education, Clulture, Sports, Science and Technology of Japan) (وزارت معارف، فرهنگ، ورزش، ساینس و تکنالوژی جاپان) حمایت شده است.

مآخذ

[1] S. Abdullah, V. M. Chmyriov, and V. Dronov, *Geology and Mineral Resources of Afghanistan*. Production, 2008, p. 507.

[2] G. Abers, C. Bryan, S. Roecker, and R. McCaffrey, "Thrusting of the Hindu Kush over the southeastern Tadjik Basin, Afghanistan: Evidence from two large earthquakes," *Tectonics*, vol. 7, pp. 41–56, 1988, doi: 10.1029/TC007i001p00041.

[3] Office of the President of Afghanistan, "Afghanistan Earthquake," Twitter post, Oct. 2015. [Online].

[4] Available: https://twitter.com/ARG_AFG/status/658965482108821504. [Accessed: Apr. 30, 2020].

[5] N. Ambraseys and R. Bilham, "Earthquakes in Afghanistan," *Seismological Research Letters*, vol. 74, no. 2, pp. 107–123, 2003, doi: 10.1785/gssrl.74.2.107.

[6] N. Ambraseys and R. Bilham, "Earthquakes and associated deformation in northern Baluchistan 1892–2001," *Bulletin of the Seismological Society of America*, vol. 93, pp. 1573–1605, 2003, doi: 10.1785/0120020038.

[7] N. Ambraseys and R. Bilham, "The tectonic setting of Bamiyan and seismicity in and near Afghanistan for the past twelve centuries," in *After the Destruction of Giant Buddha Statues in Bamiyan (Afghanistan) in 2001*, C. Margottini, Ed. Springer, 2014, pp. 101–152.

[8] R. G. Bohannon, *Geologic and Topographic Maps of the Kabul North 30′ × 60′ Quadrangle, Afghanistan*, U.S. Geological Survey, Scientific Investigations Map 3120, 2010.

[9] J. Boulin, "Neocimmerian events in central and western Afghanistan," *Tectonophysics*, vol. 175, pp. 285–315, 1990, doi: 10.1016/0040-1951(90)90177-A.

[10] O. S. Boyd, C. S. Mueller, and K. S. Rukstales, "Preliminary earthquake hazard map of Afghanistan," *U.S. Geological Survey Open-File Report 2007-1137*, pp. 1–25, 2007, doi: 10.3133/ofr20071137.

[11] M. E. Brookfield and A. Hashmat, "The geology and petroleum potential of the North Afghan platform and adjacent areas," *Earth-Science Reviews*, vol. 55, pp. 41–71, 2001, doi: 10.1016/S0012-8252(01)00036-8.

[12] V. M. Chmyriov, V. I. Dronov, and S. H. Abdullah, "Young magmatism in Afghanistan as the consequence of the Neogene–Quaternary tectonic movements," in *Developments in Geotectonics*, vol. 343, 1979. J. W. Dewey, "Seismicity of Afghanistan and vicinity," *U.S. Geological Survey Open-File Report 2006-1185*, pp. 1–28, 2006, doi: 10.3133/ofr20061185.

[13] S. Dhakal, "Evolution of geomorphologic hazards in Hindu Kush Himalaya," in *Mountain Hazards and Disaster Risk Reduction*, R. Shaw and H. N. Krishna, Eds., Springer, Tokyo, 2015, pp. 53–72.

[14] J. L. Doebrich, R. R. Wahl, S. D. Ludington, et al., *Geologic and Mineral Resource Map of Afghanistan*, 1:850,000, U.S. Geological Survey, 2006.

[15] E. R. Engdah, R. van der Hilst, and R. Buland, "Global teleseismic earthquake relocation with improved travel times and procedures for depth determination," *Bulletin of the Seismological Society of America*, vol. 88, pp. 722–743, 1998.

[16] G. J. Funning and A. Garcia, "A systematic study of earthquake detectability using Sentinel-1 Interferometric Wide-Swath data," *Geophysical Journal International*, vol. 216, pp. 332–349, 2019, doi: 10.1093/gji/ggy426.

[17] M. Furuya and S. P. Satyabala, "Slow earthquake in Afghanistan detected by InSAR," *Geophysical Research Letters*, vol. 35, pp. 1–15, 2008.

[18] C. Gaina, D. J. J. Van Hinsbergen, and W. Spakman, "Tectonic interactions between India and Arabia since the Jurassic reconstructed from marine geophysics, ophiolite geology, and seismic tomography," *Tec-*

tonics, vol. 34, pp. 875–906, 2015, doi: 10.1002/2014TC003780.

[19] H. K. Gupta, "Seismic hazard assessment in the Alpide belt from Iran to Burma," *Annals of Geophysics*, vol. 36, pp. 61–82, 1993, doi: 10.4401/ag-4253.

[20] G. P. Hayes, E. K. Myers, J. W. Dewey, P. S. Earle, H. M. Benz, G. M. Smoczyk, et al., "Tectonic summaries of magnitude 7 and greater earthquakes from 2000 to 2015," *U.S. Geological Survey Open-File Report 2016-1192*, pp. 1–148, 2017, doi: 10.3133/ofr20161192.

[21] International Seismological Centre, "ISC-EHB dataset," 2020, doi: 10.31905/PY08W6S3.

[22] A. Ischuk, R. Bendick, A. Rybin, P. Molnar, S. F. Khan, S. Kuzikov, et al., "Kinematics of the Pamir and Hindu Kush regions from GPS geodesy," *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, vol. 118, pp. 2408–2416, 2013, doi: 10.1002/jgrb.50185.

[23] J. Iwahashi, "1:25,000-scale active fault map in urban areas published by GSI," *Bulletin of the Geospatial Information Authority of Japan*, vol. 58, pp. 29–37, 2010.

[24] Y. Katayanagi, "SimpleDEMViewer," [Online]. Available: www.jizoh.jp/english.html. [Accessed: Nov. 24, 2024].

[25] I. Koulakov, S. Tychkov, N. Bushenkova, and A. Vasilevsky, "Structure and dynamics of the upper mantle beneath the Alpine-Himalayan orogenic belt, from teleseismic tomography," *Tectonophysics*, vol. 358, pp. 77–96, 2002, doi: 10.1016/S0040-1951(02)00418-3.

[26] R. D. Lawrence, S. H. Khan, and T. Nakata, "Chaman Fault, Pakistan-Afghanistan," *Annals of Tectonicae*, vol. 6, pp. 196–223, 1992.

[27] F. McNab, R. A. Sloan, and R. T. Walker, "Simultaneous orthogonal shortening in the Afghan-Tajik Depression," *Geology*, vol. 47, pp. 862–866, 2019, doi: 10.1130/G46090.1.

[28] A. Menon, C. G. Lai, and G. Macchi, "Seismic hazard assessment of the historical site of Jam in Afghanistan and stability analysis of the minaret," *Journal of Earthquake Engineering*, vol. 8, pp. 251–294, 2004, doi: 10.1080/13632460409350527.

[29] S. Mohadjer, R. Bendick, A. Ischuk, S. Kuzikov, A. Kostuk, U. Saydullaev, et al., "Partitioning of India-Eurasia convergence in the Pamir-Hindu Kush from GPS measurements," *Geophysical Research Letters*, vol. 37, pp. 1–6, 2010, doi: 10.1029/2009GL041737.

[30] S. Mohadjer, T. A. Ehlers, R. Bendick, K. Stübner, and T. Strube, "A Quaternary fault database for Central Asia," *Natural Hazards and Earth System Sciences*, vol. 16, pp. 529–542, 2016, doi: 10.5194/nhess-16-529-2016.

[31] P. Molnar and P. Tapponnier, "Cenozoic tectonics of Asia: Effects of a continental collision," *Science*, vol. 189, pp. 419–426, 1975, doi: 10.1126/science.189.4201.419.

[32] V. G. Nikolaev, "Afghan-Tajik depression: Architecture of sedimentary cover and evolution," *Geotectonics*, vol. 4, pp. 399–421, 2002.

[33] G. Pegler and S. Das, "An enhanced image of the Pamir-Hindu Kush seismic zone from relocated

[34] earthquake hypocentres," Geophysical Journal International, vol. 134, pp. 573–595, 1998, doi: 10.1046/j.1365-246X.1998.00582.x.

[35] S. G. Peters, T. V. King, T. J. Mack, and M. P. Chornack, "Summary of the Nalbandon lead and zinc area of interest," in Summaries of Important Areas for Mineral Investment and Production Opportunities of Nonfuel Minerals in Afghanistan, pp. 851–895, 2011.

[36] R. Prevot, D. Hatzfeld, S. W. Roecker, and P. Molnar, "Shallow earthquakes and active tectonics in eastern Afghanistan," Journal of Geophysical Research: Solid Earth, vol. 85, pp. 1347–1357, 1980, doi: 10.1029/JB085iB03p01347.

[37] R. C. Quittmeyer and K. H. Jacob, "Historical and modern seismicity of Pakistan, Afghanistan, northwestern India, and southeastern Iran," Bulletin of the Seismological Society of America, vol. 69, pp. 773–823, 1979.

[38] J. Robinson, R. Beck, E. Gnos, and R. K. Vincent, "New structural and stratigraphic insights for northwestern Pakistan from field and Landsat Thematic Mapper data," Bulletin of the Geological Society of America, vol. 112, pp. 364–374, 2000, doi: 10.1130/0016-7606(2000)112<364:NSASIF>2.0.CO;2.

[39] S. W. Roecker, O. V. Soboleva, I. L. Nersesov, A. A. Lukk, D. Hatzfeld, J. L. Chatelain, and P. Molnar, "Seismicity and fault plane solutions of intermediate depth earthquakes in the Pamir-Hindu Kush region," Journal of Geophysical Research: Solid Earth, vol. 85, pp. 1358–1364, 1980, doi: 10.1029/JB085iB03p01358.

[40] C. A. Ruleman, A. J. Crone, M. N. Machette, K. M. Haller, and K. S. Rukstales, "Map and database of probable and possible Quaternary faults in Afghanistan," U.S. Geological Survey Open-File Report 2007-1103, pp. 1–45, 2007, doi: 10.3133/ofr20071103.

[41] B. Schurr, L. Ratschbacher, C. Sippl, R. Gloaguen, X. Yuan, and J. Mechie, "Seismotectonics of the Pamir," Tectonics, vol. 33, pp. 1501–1518, 2014, doi: 10.1002/2014TC003576.

[42] A. M. C. Sengör, "The cimmeride orogenic system and the tectonics of Eurasia," Special Paper Geological Society of America, vol. 195, pp. 1–74, 1984. doi: 10.1130/SPE195-p1.

[43] A. Shareq, "Geological observations and geophysical investigations carried out in Afghanistan over the period of 1972–1979," in Geological Evolution of Central Asian Basins and the Western Tien Shan Range, The Geological Society, London, pp. 75–86, 1981.

[44] A. Shareq, "Seismic hazard assessment in the Islamic State of Afghanistan," in R. K. McGuire, Ed., The Practice of Earthquake Hazard Assessment, International Association of Seismology and Physics of the Earth's Interior, pp. 1–6, 1993.

[45] Z. Shnizai, H. Tsutsumi, and Y. Soeda, "Detailed mapping of the Chaman fault near Kabul, Afghanistan, using ALOS images," presented at the Japan Geoscience Union Meeting (JpGU), May 20–24, 2018, Makuhari Messe, Chiba, Japan.

[46] J. F. Shroder, "Overview of the geology and geography of Afghanistan," in J. F. Shroder, Ed., Natural Resources in Afghanistan: Geographic and Geologic Perspectives on Centuries of Conflict, Elsevier, Amsterdam, pp. 17–55, 2014.

[47] A. Siehl, "Structural setting and evolution of the Afghan orogenic segment—a review," Geological Society of London Special Publications, vol. 427, pp. 57–88, 2017, doi: 10.1144/SP427.8.

[48] P. Tapponnier, M. Mattauer, F. Proust, and C. Cassaigneau, "Mesozoic ophiolites, sutures, and large-scale tectonic movements in Afghanistan," Earth and Planetary Science Letters, vol. 52, pp. 355–371, 1981. doi: 10.1016/0012-821X(81)90189-8.

[49] P. Tapponnier, G. Peltzer, A. Y. Le Dain, R. Armijo, and P. Cobbold, "Propagating extrusion tectonics in Asia: New insights from simple experiments with plasticine," Geology, vol. 10, pp. 611–616, 1982. doi: 10.1130/0091-7613(1982)10<611:PETIAN>2.0.CO;2.

[50] The Research Group for Active Faults of Japan, Maps of Active Faults in Japan with Explanatory Text, University of Tokyo Press, Tokyo, 1992.

[51] P. J. Treloar and C. N. Izatt, "Tectonics of the Himalayan collision between the Indian plate and the Afghan block: A synthesis," Geological Society of London Special Publications, vol. 74, pp. 69–87, 1993.

doi: 10.1144/GSL.SP.1993.074.01.06.

[52] V. G. Trifonov, "Late Quaternary tectonic movements of western and Central Asia," Bulletin of the Geological Society of America, vol. 89, pp. 1059–1072, 1978. doi: 10.1130/0016-7606(1978)89<1059:LQTMOW>2.0.CO;2.

[53] H. Tsutsumi and J. S. Perez, "Large-scale active fault map of the Philippine fault based on aerial photograph interpretation," Active Fault Research, vol. 39, pp. 29–37, 2013. doi: 10.11462/afr.2013.39_29.

S. Ul-Hadi, S. D. Khan, L. A. Owen, A. S. Khan, K. A. Hedrick, and M. W. Caffee, "Slip-rates along the Chaman fault: Implication for transient strain accumulation and strain partitioning along the western Indian plate margin," Tectonophysics, vol. 608, pp. 389–403, 2013. doi: 10.1016/j.tecto.2013.09.009.

[54] US Geological Survey, "M 7.4—Hindu Kush earthquake, Afghanistan," Accessed Apr. 30, 2020. [Online]. Available: https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eventpage/usp000azhc/executive

[55] R. Walker and J. Jackson, "Active tectonics and late Cenozoic strain distribution in central and eastern Iran," Tectonics, vol. 23, 2004. doi: 10.1029/2003TC001529.

[56] H. W. Wellman, "Active wrench faults of Iran, Afghanistan, and Pakistan," International Journal of Earth Sciences, vol. 55, pp. 716–735, 1966. doi: 10.1007/BF02029650.

[57] R. L. Wheeler and A. Frankel, "Geology in the 1996 USGS seismic-hazard maps, central and eastern United States," Seismological Research Letters, vol. 71, pp. 273–282, 2000. doi: 10.1785/gssrl.71.2.273.

[58] R. L. Wheeler, C. G. Bufe, M. L. Johnson, and R. L. Dart, Seismotectonic Map of Afghanistan, with Annotated Bibliography. US Geological Survey Open-File Report 2007–1264, 2005.

[59] R. Yeats, "India, the Himalaya, Mainland China, and Central Asia," in R. Yeats, Ed., Active Faults of the World, pp. 329–394, 2012.

[60] R. S. Yeats and C. Madden, "Damage from the Nahrin, Afghanistan, earthquake of 25 March 2002," Seismological Research Letters, vol. 74, pp. 305–311, 2003. doi: 10.1785/gssrl.74.3.305.

[61] R. S. Yeats, R. D. Lawrence, S. Jamil-ud-din, and S. H. Khan, "Surface effects of the 16 March 1978 earthquake, Pakistan-Afghanistan border," in A. F. K. A. DeJong, Ed., Geodynamics of Pakistan, Geological Survey of Pakistan, Quetta, pp. 359–361, 1979.

Publisher's note Springer Nature remains neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.

یادداشت ناشر: Springer Nature با توجه به ادعاهای قضایی در نقشه های منتشر شده و وابستگی های سازمانی بی طرف باقی می ماند.

بیوگرافی مولف

پوهنیار فرید احمد محمدی استاد دیپارتمنت انجنیری معدن پوهنځی انجنیری معادن و محیط زیست پوهنتون بلخ

پوهنیار فرید احمد محمدی تحصیلات لیسانس خویش را در رشته جیولوجی و معدن از پوهنتون بلخ و تحصیلات ماستری خویش را در رشته انجنیری جیومانیک از پوهنتون تکنالوجی مالیزیا در سال ۲۰۲۰ اخذ نموده. فعلاً استاد برحال دیپارتمنت انجنیری معدن پوهنځی انجنیری معادن و محیط زیست پوهنتون بلخ می‌باشد. ایشان مسئول کمیته فرعی تحقیق، تالیف و ترجمه پوهنځی خویش و عضو آمریت تحقیقات و مجله علمی معاونیت تحقیقات علمی پوهنتون بلخ نیز می باشد.