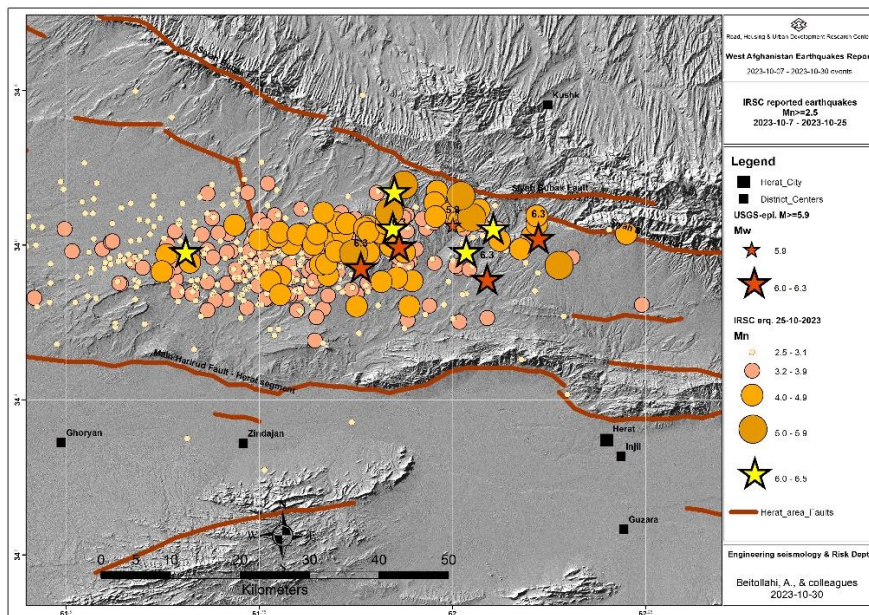




مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی

گزارش زلزله های غرب افغانستان

۲۰۲۳-۱۰-۰۷ - ۲۰۲۳-۱۰-۳۰



بخش زلزله شناسی مهندسی و خطرپذیری

به کوشش:

علی بیت اللهی

با همکاری

فاطمه دهقان - زهرا قربانی - نگار سودمند - مرتضی مهدوی

۲۰۲۳ - ۱۱ - ۰۳

فهرست مطالب

مقدمه	۲
۱- خسارت ها و تلفات زلزله های غرب افغانستان	۲
۱-۱- خسارت های گزارش شده	۲
۲-۱- اطلاعات کلی از ولسوالی های خسارت دیده	۴
۳-۱- تخمین روستاهای با احتمال خسارت	۷
۴-۱- برآورد شدت زلزله های بزرگ غرب افغانستان	۱۰
۵-۱- بازدیدهای میدانی مناطق آسیب دیده	۱۳
۲- مباحث لرزه شناختی و زلزله های رخ داده در محدوده هرات افغانستان	۲۰
۱-۲- زلزله های رخ داده در بازه زمانی ۲۰۲۳-۱۰-۰۷ تا ۲۰۲۳-۱۰-۳۰	۲۰
۲-۲- مکانیابی دوباره زلزله های اصلی (زلزله های با بزرگی ۶,۳ و ۶,۴)	۲۴
۳- تکتونیک و گسله های محدوده و بررسی گسل مسبب زلزله های غرب افغانستان	۲۸
۱-۳- مورفولوژی محدوده	۲۸
۲-۳- زمین شناسی و تکتونیک منطقه	۳۰
۳-۳- نقشه پهنه بندی خطر زلزله در افغانستان و بررسی محدوده های رخداد زلزله های اکتبر ۲۰۲۳ غرب افغانستان در آن	۳۴
۴-۳- گسله های محدوده هرات و اطراف آن	۳۵
۴- نتیجه گیری و پیشنهاد	۴۱
منابع	۴۲



مقدمه

از روز ۷ اکتبر ۲۰۲۳ زلزله های متوالی تاثیرگذار در غرب افغانستان با رخداد زمین لرزه با بزرگی ۶,۳ (۰۶:۴۱) به وقت UTC، ۱۱:۱۱ دقیقه به وقت کابل و ۱۰:۱۱ به وقت تهران) غرب افغانستان واقع در محدوده هرات را تحت تاثیر قرارداد. براساس گزارش IRSC^۱ تعداد ۵ زمین لرزه با بزرگی ۶,۳-۶,۵ از روز ۲۰۲۳-۱۰-۰۷ تا ۲۰۲۳-۱۰-۱۵ رخ داد. با توجه به نوع ساخت و ساز محدوده اثر این زلزله ها، انتظار می رفت که خسارت و تلفات قابل ملاحظه باشد. علاوه بر زلزله های با بزرگی بالای ۶، همچنین ۶ رویداد لرزه ای با بزرگی ۵ تا ۶ نیز در گستره شمالی هرات تا شمال غوریان در محدوده ای به طول تقریبی ۷۰ کیلومتر با راستای شرقی - غربی رخ داد. باز براساس داده های گزارش شده IRSC تعداد زلزله های با بزرگی ۴ و بزرگتر از آن در محدوده غرب کشور افغانستان ۶۶ رخداد تا تاریخ ۲۰۲۳-۱۰-۲۶ می باشد. این تعداد از رخداد زلزله های تاثیرگذار، در بازه زمانی کوتاه سه هفته ای، نادر و قابل توجه می باشد. نظر به اهمیت این رویدادهای لرزه ای متوالی، گزارش حاضر تدوین و منتشر می گردد که برخی از ملاحظات زلزله شناسی و مهندسی زلزله در آن مورد توجه قرار گرفته است.

در گزارش حاضر، با جمع آوری داده ها و اطلاعات مختلف، بعد از تشریح کلیاتی از زلزله های غرب افغانستان، مورفولوژی محدوده پراکنش زلزله های غرب افغانستان، زمین شناسی و تکتونیک و لرزه زمین ساخت محدوده هرات و اطراف آن مورد بررسی قرار گرفته است. مباحث زلزله شناسی این گزارش علاوه بر ارائه نمودارها و نقشه های توزیع زمین لرزه ها، شامل دوباره مکانیابی زلزله های بزرگتر از ۶ می باشد. در آخر نیز گسله های محدوده هرات و اطراف آن مورد بررسی قرار گرفته است.

عدم وجود و عدم دسترسی به داده های پایه و اطلاعات مرتبط با زلزله های رخ داده، عمده ترین مشکل در تدوین گزارش حاضر بود.

۱- خسارت ها و تلفات زلزله های غرب افغانستان

۱-۱- خسارت های گزارش شده

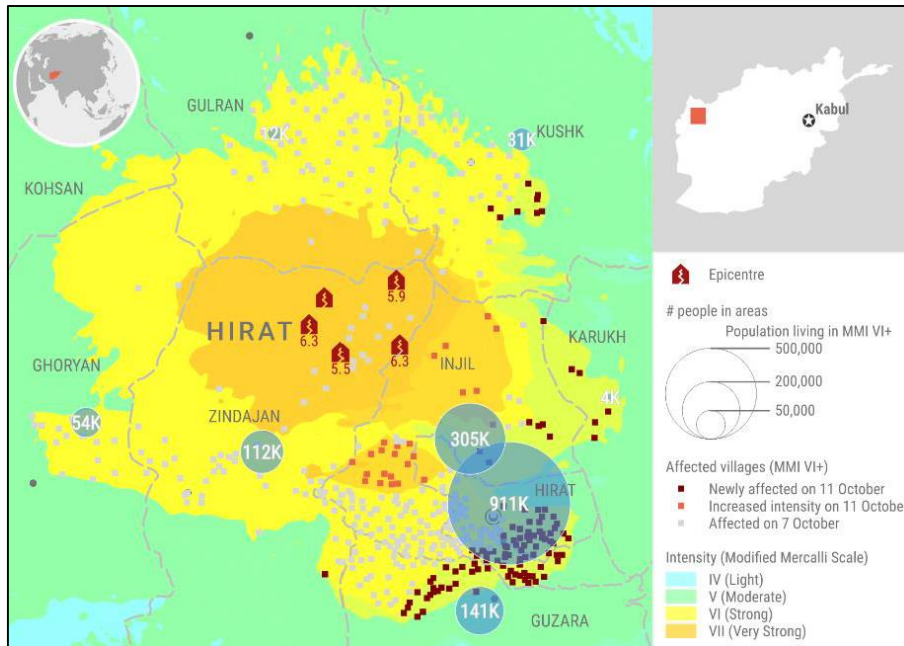
براساس گزارش OCHA برآورد شده است که ۱,۶ میلیون نفر شدت ۶ و بالاتر از آن را در این زلزله ها احساس کرده اند. ارزیابی های اولیه نشان می دهد که دو زمین لرزه اول در ۷ و ۱۱ اکتبر، ۱۴۸۰ کشته و ۱۹۵۰ زخمی برجای گذاشت. براساس اطلاعات بدست آمده از تصاویر ماهواره ای، ۲۸۹ روستا خسارت بسیار شدید، ۱۱۰ روستا خسارت شدید و ۱۶۸ روستا به طور متوسط خسارت دیده اند (اطلاعات در دست تکمیل است).

نزدیک به ۴۳۴۰۰ نفر در شش ولسوالی به طور مستقیم تحت تاثیر زمین لرزه های اخیر قرار گرفته اند که ولسوالی های اینجیل و زنده جان بدترین آسیب ها را دیده اند. بیش از نیمی از مردم زلزله زده در اینجیل هستند و بیش از ۳۳۳۰ خانه ویران شده براساس اطلاعات موجود در زنده جان واقع شده است. برآورد می شود که ۲۱۳۰۰ ساختمان آسیب دیده اند (گزارش ۱۶ اکتبر OCHA).

ساختمان های مسکونی خشت و گلی با آوار سنگین و با مقاومت ناچیز در برابر زلزله، شرایط توپوگرافیکی محدوده اثر زلزله، ساعت وقوع زلزله ها و عدم وجود تجهیزات جستجو و نجات و نیروهای امدادی کافی روی هم رفته موجب افزایش

¹ Iranian Seismological Center

تلفات جانی و خسارت زلزله های غرب افغانستان گردیده است. در گزارش ۱۳ اکتبر ۲۰۲۳ OCHA نقشه تاثیر زلزله های افغانستان در شکل ۱-۱ ارائه گردیده است.



شکل ۱-۱- نقشه شدت و در معرض قرارگیری سکونتگاه ها در زلزله های ۷ و ۱۱ اکتبر ۲۰۲۳ غرب افغانستان

براساس اطلاعات بدست آمده از رسانه ها و گفته های مسئولین و نهادهای فعال در منطقه، میزان خسارت و سکونتگاه های خسارت دیده به صورت پراکنده جمع گردیده که در ادامه به صورت خلاصه شده آورده می شود (اطلاعات کامل نیست).

روستای نایب رفیع به کلی ویران شد و نزدیک به ۸۰ درصد جمعیت آن از بین رفتند. در سیاه آب، ناحیه زنده جان، ۳۰۰ تن کشته شدند. در ناحیه کوشک بیش از ۲۰۰ خانه آسیب دیده یا تا حدودی ویران شده است. در روستای سربلند دهها خانه با خاک یکسان شد. حدود ۱۷۰ نفر در روستای کشکک جان باختند. از جمله روستاهای آسیب دیده محل وداکه، که در آن ۲۰ نفر جان باختند، دشت هاوس، بهادری و زوریان بودند.

ارزیابی های تکمیل شده تا به امروز نشان می دهد که ۳۰۶۷ خانه در سراسر ولسوالی های زنده جان، انجیل، کوشک/ رباط سنگی، غلان، هرات و خوسان آسیب دیده اند که ۲۴۹۹ خانه به طور کامل ویران شده، ۳۶۳ خانه به شدت آسیب دیده و ۲۵۰ خانه به طور متوسط آسیب دیده است. بیش از سه چهارم خانه های ویران شده در دو ولسوالی زنده جان (۱۳۵۳) و انجیل (۵۸۶) واقع شده است. علاوه بر این، برآورد می شود که ۲۱۳۰۰ ساختمان آسیب دیده باشند.

بر اساس آمارهای اولیه، بر اثر این زمین لرزه در روستاهای نایب رفیع، وردک کرنیل، پنجاب، سربلند، کشتک، کجکل، سیاه آب، آغزلک، بوتان، قرموشک، نوآباد، چشمه غوری و نایک تعداد زیادی جان خود را از دست دادند.

بر اساس اظهارات والی طالبان برای ولایت هرات، قریه های نایب رفیع، سیاهاب، وردخا، کرنال، سربلند، چاهک، سنجاب و کشکک در ولسوالی زنده جان این ولایت تخریب شده است که بیشترین تلفات در میان آنها دیده می شود.

براساس آمار موجود، نزدیک به ۴۳۴۰۰ نفر در شش ولسوالی به طور مستقیم تحت تأثیر زمین لرزه های اخیر قرار گرفته اند که ولسوالی های انجیل و زنده جان بدترین آسیب را متحمل شده اند. بیش از نیمی از مردم زلزله زده در انجیل

هستند و اکثریت بیش از ۳۳۳۰ خانه ویران شده تا به امروز در زنجادین واقع شده است. مدارس، تأسیسات بهداشتی و سایر زیرساخت‌ها نیز تحت تأثیر زلزله قرار گرفتند و برآورد می‌شود که ۲۱۳۰۰ ساختمان در مناطق زنده جان، گلران و کوشک/رباط سنگایی، کوهسان، هرات، انجیل، کوشک و کروچ آسیب دیده‌اند.

براساس گزارش UNDAC برآورد شده است که ۹۰ روستای در کانون اثر زمین لرزه‌ها قرار داشتند. ارزیابی‌ها نشان می‌دهد که خسارت‌های روستاها به صورت زیر بوده است:

۳۹ روستا در رده A خسارت قرار گرفته‌اند (۸۰ تا ۱۰۰ درصد تخریب)

۲۱ روستا در رده B خسارت قرار گرفته‌اند (۵۰-۸۰ درصد خسارت)

۶ روستا در رده C خسارت قرار گرفته‌اند (۱۰-۵۰ درصد خسارت)

۲۴ روستا در رده D خسارت قرار گرفته‌اند (کمتر از ۱۰ درصد خسارت)

اکثر خانه‌ها در افغانستان فاقد سیستم سازه ای مناسب هستند و اغلب ضعیف ساخته شده‌اند. سازه‌ها یا از آجر با ملات سیمان ساخته می‌شوند و یا ساختمان‌های بنایی خشتی با دیوارهای باربر هستند. ضخامت دیوارهای آجری از ۲۰ تا ۳۰ سانتی‌متر و برای سازه‌های خشتی از ۴۰ سانتی‌متر تا ۸۰ سانتی‌متر متغیر است. بر اساس این گزارش، این خانه‌ها با سقف‌های بزرگ و اغلب سنگین پوشانده شده‌اند که می‌توانند در ساختار فرو بروند و در مقابل فعالیت‌های لرزه‌ای بسیار آسیب‌پذیر باشند.

براساس اطلاعات جمع‌آوری شده، محدوده‌های خسارت دیده در ولایت هرات و شامل ولسوالی‌های هرات، انجیل، زنده جان، غوریان، کوهسان، گلران و کوشک بوده است (شکل ۱-۲). روستاهای این ولسوالی‌ها با توجه به دوری و نزدیکی آنها به محدوده رخداد زمین لرزه‌ها، آسیب‌های متفاوتی دیده‌اند. از بررسی اطلاعات بدست آمده، همانطور که ذکر گردید، مشخص می‌شود که روستاهای ولسوالی‌های انجیل و زنده جان به طور نسبی آسیب‌های بیشتری را نسبت به سایر ولسوالی‌ها متحمل شده‌اند.

۱-۲-۲-۱-اطلاعات کلی از ولسوالی‌های خسارت دیده

برای ارائه نمای کلی از وضعیت ۷ ولسوالی خسارت دیده، از داده‌های مندرج در سایت بانک جهانی استفاده شد که لینک آن در ذیل آمده است:

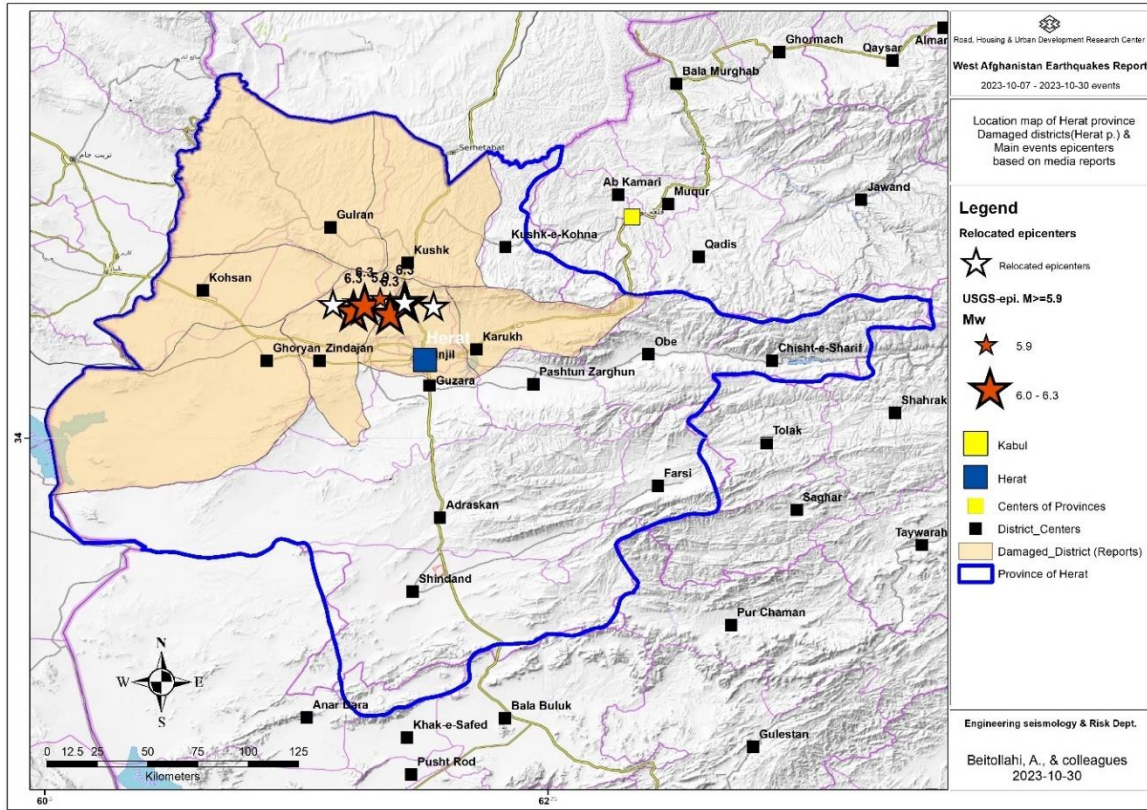
<https://www.worldbank.org/en/data/interactive/2019/08/01/afghanistan-district-level-visualization>

در شکل‌های ۱-۳ تا ۱-۷ اطلاعات کلی از ولسوالی‌های تحت تأثیر زلزله‌های غرب افغانستان (۲۰۲۳-۰۷-۱۰-۲۰۲۳ و ۳ هفته بعد آن) ارائه شده است.

مساحت و جمعیت شهری و روستائی و تراکم جمعیت در شکل‌های ۱-۳ و ۱-۴ و ۱-۵ به ترتیب نشان داده شده است. ولسوالی غوریان وسیع‌ترین و هرات و انجیل تراکم جمعیتی بالاتری را دارند. در شکل‌های ۱-۶ و ۱-۷ محدوده‌های حادثاتی در ۷ ولسوالی تحت تأثیر زمین لرزه‌ها نشان داده شده است. ولسوالی هرات (شامل فقط شهر هرات) بیشترین وسعت ساخت و ساز را دارد و بعد از آن ولسوالی‌های انجیل و کوشک قرار می‌گیرند.

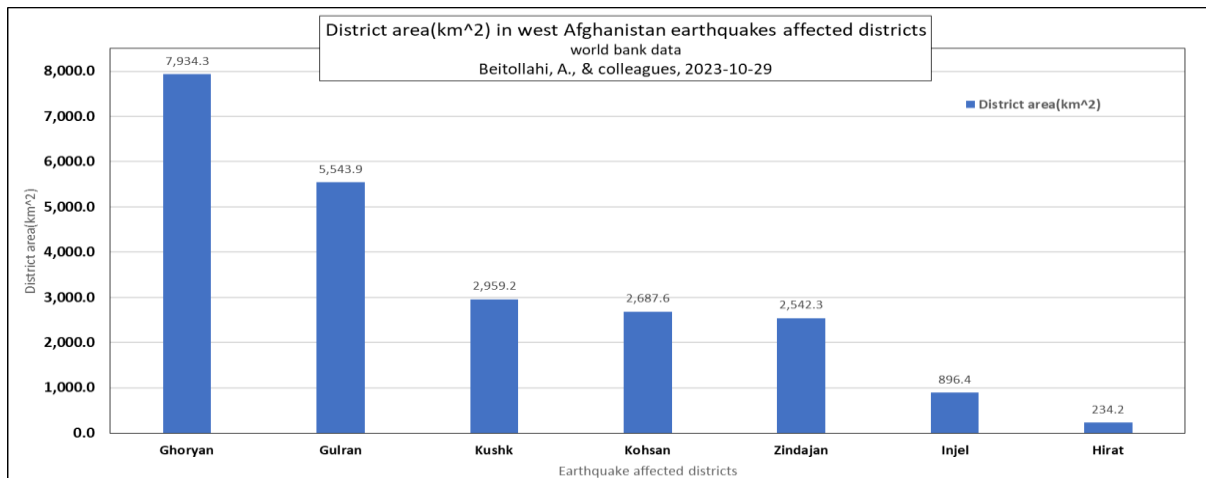
^۲ این اطلاعات در دست تکمیل است

در جدول ۱-۱، اطلاعات کلی ارائه شده در شکل های ۱-۳ تا ۱-۷ آورده شده است. مقادیر نشان دهنده در معرض قرارگیری بیشتر مردم و ساختمان های شهر هرات و ولسوالی انجیل می باشد.

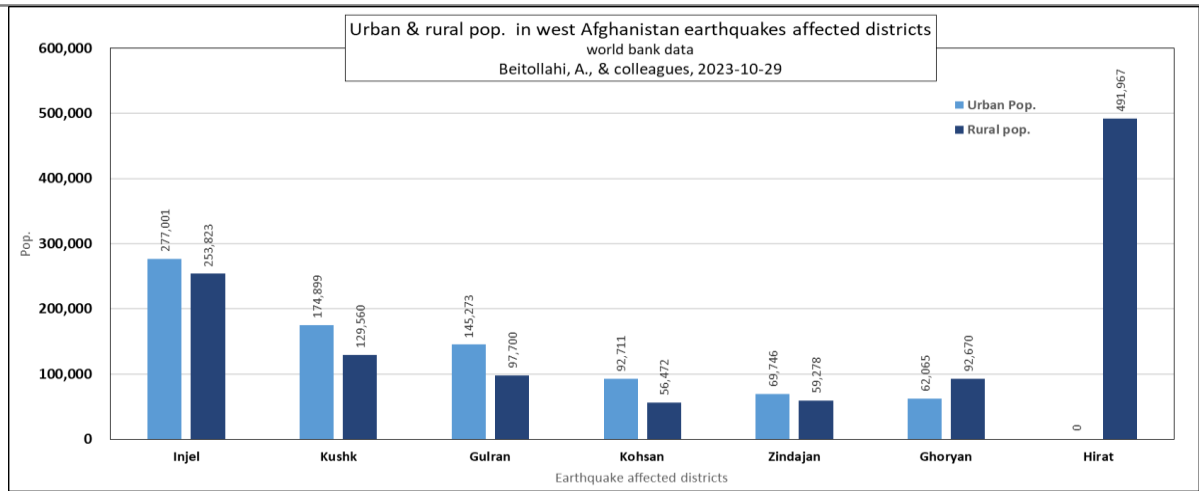


شکل ۱-۲- ولسوالی های خسارت دیده در زلزله های غرب افغانستان

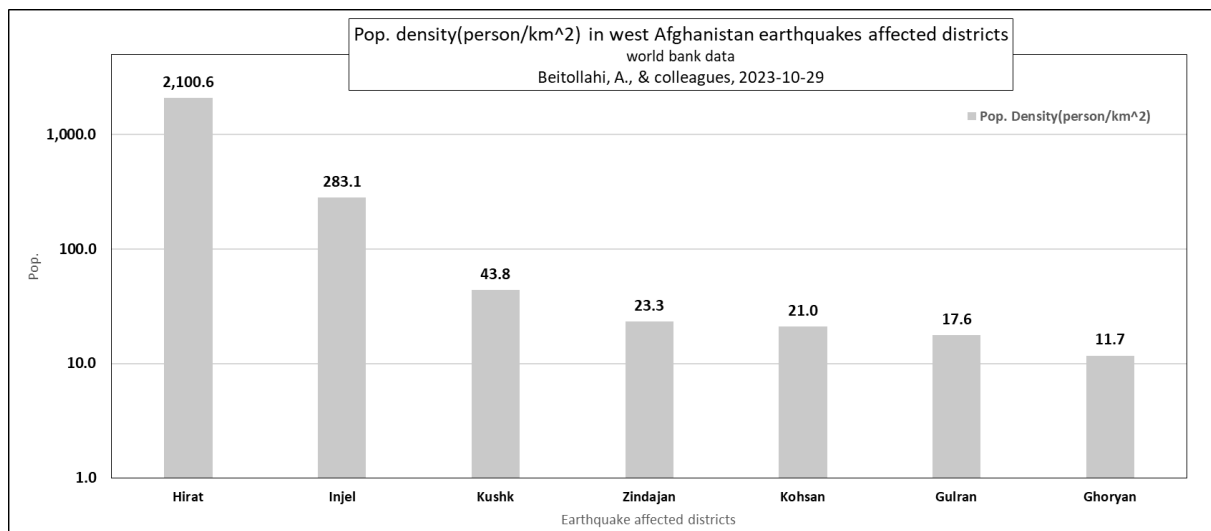
در گزارش خسارت زلزله های غرب افغانستان، روستاهای خسارت دیده بیشتری در ولسوالی زنده جان نیز گزارش شده است که بیانگر اثر بیشتر زلزله ها در این ولسوالی نیز می باشد. براساس گزارش ها، یکی از روستاهای به شدت آسیب دیده، روستای نایب رفیع است که در ولسوالی انجیل واقع شده است. فاصله مستقیم این روستا از مرکز شهر هرات حدود ۲۷ کیلومتر و در شمال غربی هرات است. ولسوالی های انجیل و زنده جان در مجاورت هم واقع شده اند.



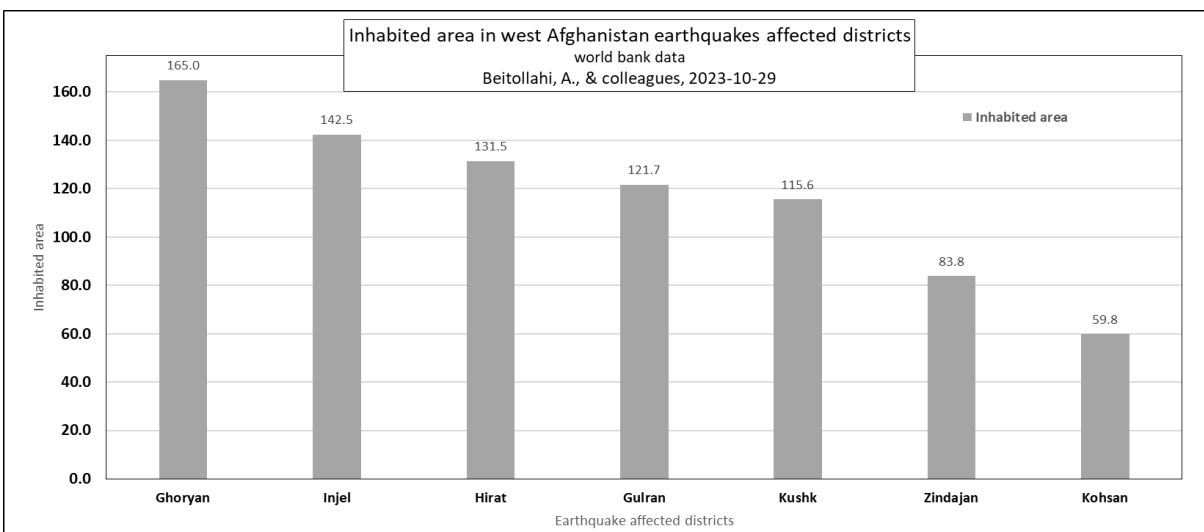
شکل ۱-۳- وسعت ولسوالی های تحت تاثیر زلزله های غرب افغانستان



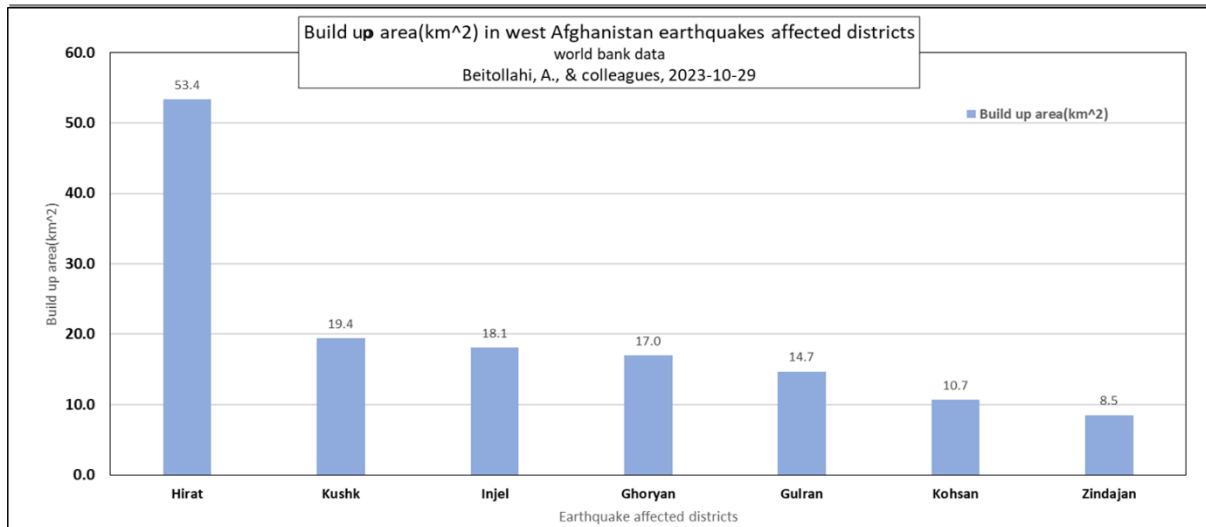
شکل ۱-۴- جمعیت شهری و روستائی ولسوالی های تحت تاثیر زلزله های غرب افغانستان



شکل ۱-۵- تراکم در ولسوالی های تحت تاثیر زلزله های غرب افغانستان



شکل ۱-۶- وسعت محدوده های مسکونی در ولسوالی های تحت تاثیر زلزله های غرب افغانستان



شکل ۷-۱- مساحت اماکن احداث شده در ولسوالی های تحت تاثیر زلزله های غرب افغانستان

جدول ۱-۱- مشخصات کلی ولسوالی های تحت تاثیر زلزله های غرب افغانستان (زلزله های ۲۰۲۳-۱۰-۰۷ - ۲۰۲۳-۱۰-۲۳ - ۲۰۲۳-۱۰-۳۰)

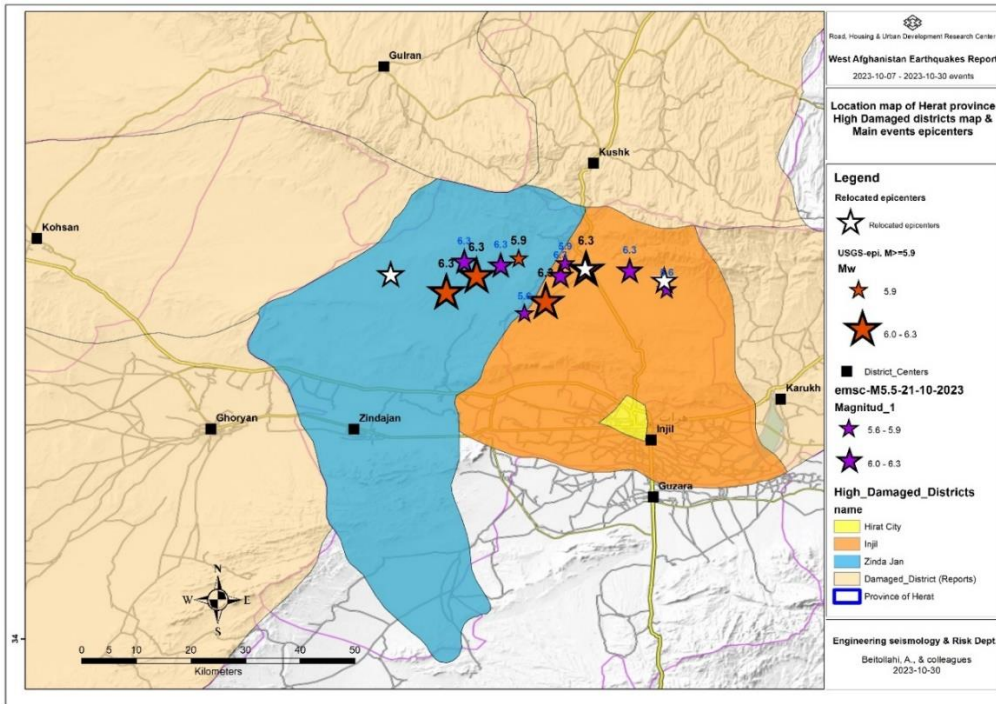
Dist. Name	District Area, km ²	Build up area, km ²	inhabited%	precipitation, ave. 10years, mm	Pop.	Dens. (person/km ²)	Rural Pop
Ghoryan	7,934.3	17.0	165.0	213.3	92,670	11.7	62,065
Gulran	5,543.9	14.7	121.7	263.2	97,700	17.6	145,273
Hirat	234.2	53.4	131.5	280.9	491,967	2,100.6	0
Injel	896.4	18.1	142.5	277.7	253,823	283.1	277,001
Kohsan	2,687.6	10.7	59.8	236.4	56,472	21.0	92,711
Kushk	2,959.2	19.4	115.6	302.9	129,560	43.8	174,899
Zindajan	2,542.3	8.5	83.8	256.8	59,278	23.3	69,746

۳-۱- تخمین روستاهای با احتمال خسارت

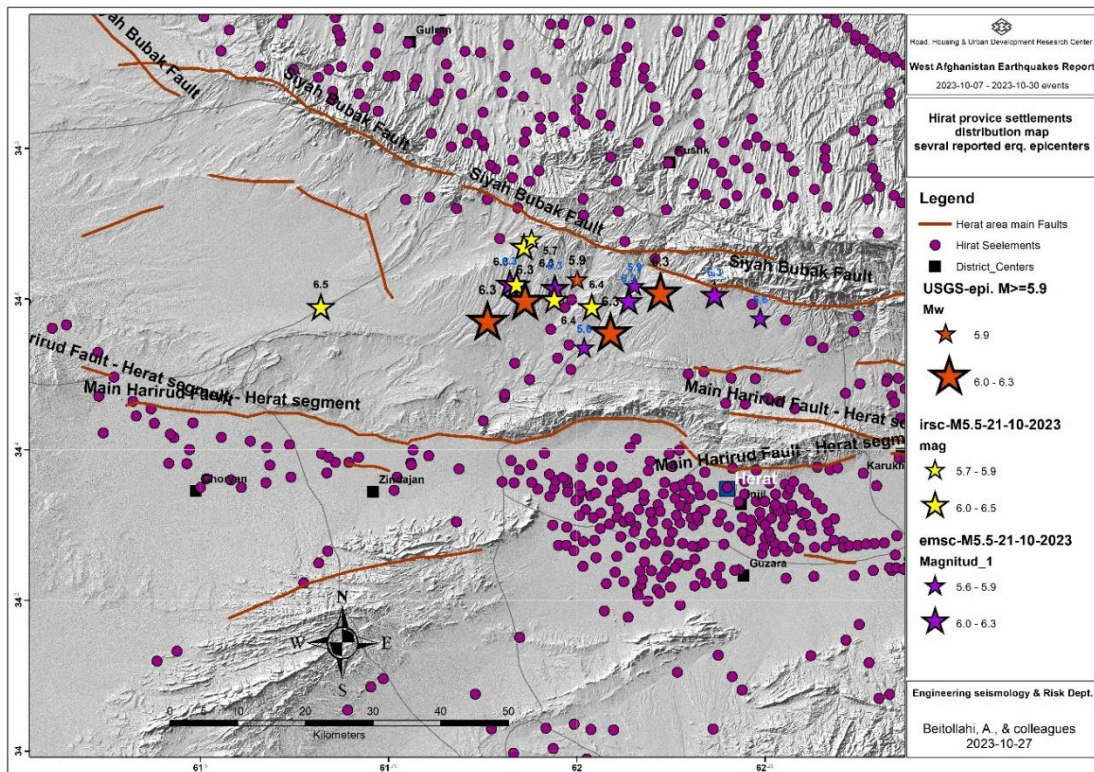
در شکل ۸-۱ محدوده های ولسوالی های خسارت دیده شدید (نسبت به سایر ولسوالی ها) نشان داده شده است که شامل ولسوالی های انجیل، زنده جان و هرات می باشد.

در زلزله های غرب افغانستان، سکونتگاه های روستائی عمده ترین خسارت ها را متحمل شده اند. در شکل ۹-۱ پراکنش روستاهای محدوده هرات و غرب افغانستان نشان داده شده است. ملاحظه می شود که رومرکز زلزله ها در محدوده ای با تراکم نسبی پائین در روستاها واقع شده اند و این امر در عدم افزایش بیشتر تلفات جانی زلزله های اکتبر ۲۰۲۳ هرات و اطراف آن نقش به سزائی داشته است.

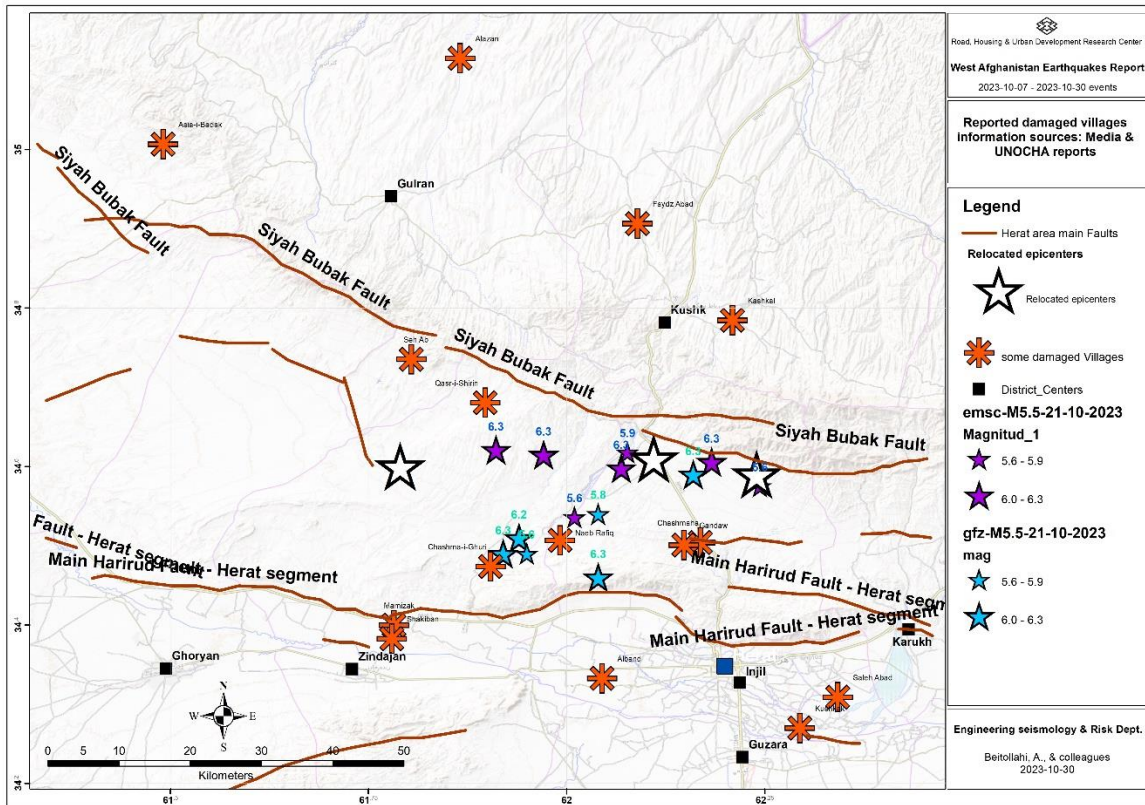
براساس داده های بدست آمده و ارزیابی ها و تخمین ها، نقشه ای کلی از روستاهای خسارت دیده تهیه شد. در مورد تعدادی از روستاهای واقع در هر ولسوالی، گزارش مستندی وجود نداشته و براساس قرارگرفتن در محدوده روستاهای خسارت دیده، به عنوان مناطق خسارت دیده ارزیابی شده است. در شکل ۱۰-۱ براساس داده های اعلام شده تلاش شد تا روستاهای آسیب دیده در نقشه مشخص شود که تعدادی از آنها در شکل ۱۰-۱ نشان داده شده است. براساس پراکنش روستاهای آسیب دیده، ارزیابی کلی خسارت به عمل آمد که نتایج در شکل ۱۱-۱ ارائه گردیده است. برآورد شده است که تعداد ۱۷۵ روستا دچار خسارت شده باشند.



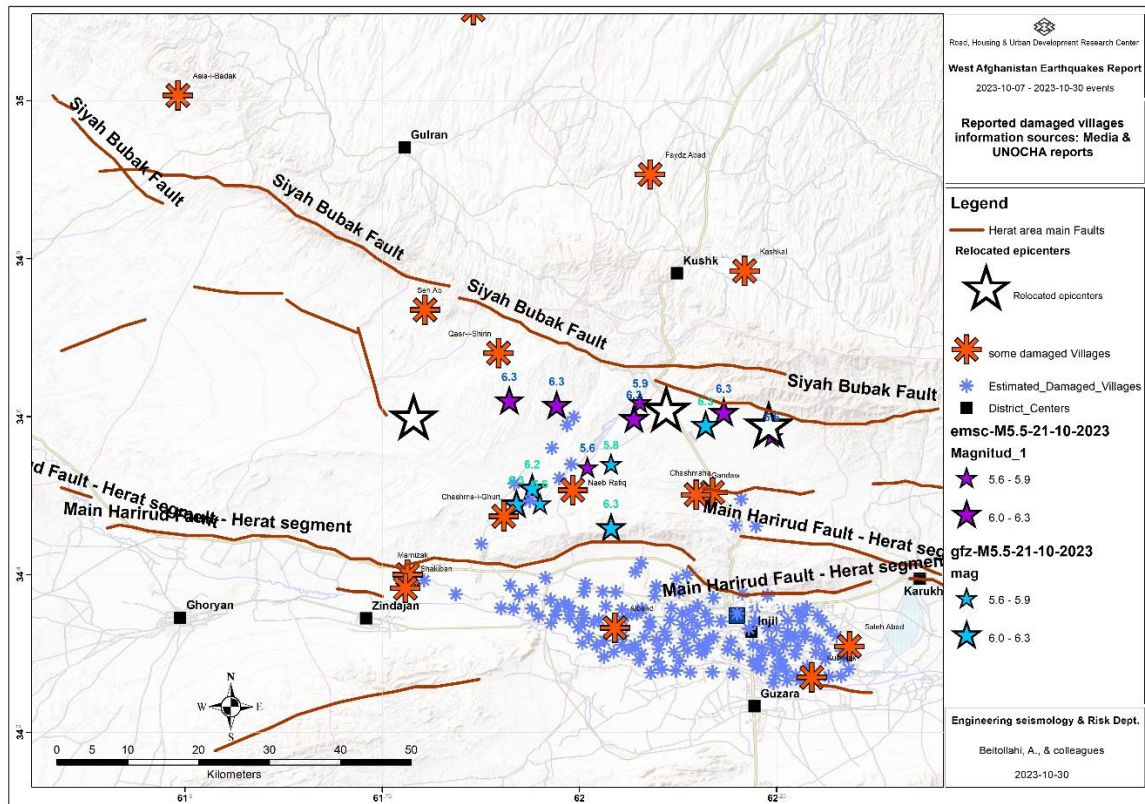
شکل ۸-۱- موقعیت ولسوالی های هرات، انجیل و زنده جان به عنوان محدوده های با بیشترین خسارت در زلزله های غرب افغانستان براساس تخریب گسترده در روستای نایب رفیع، تخمین زده شد که محدوده اطراف آن نیز باید به طور جدی آسیب دیده باشند. نکته مهم در توزیع خرابی ها از روی نقشه ۱-۱۰ و ۱-۱۱ این می باشد که محدوده شمالی و شمال شرقی هرات که در گستره اصلی اثر زلزله واقع گردیده است، از تمرکز جمعیتی کمتری برخوردار است.



شکل ۹-۱- پراکنش سکونتگاه های روستائی در محدوده اطراف رومرکز های زلزله های غرب افغانستان



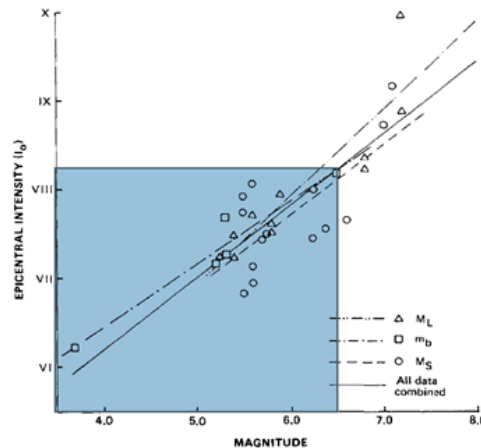
شکل ۱-۱- موقعیت تعدادی از روستاهای خسارت دیده در غرب افغانستان بر مبنای جمع بندی گزارش های رسانه ها و مسئولین و گزارش های OCHA



شکل ۱-۱-۱- تعیین محل روستاهای دیگر خسارت دیده (رنگ آبی) بر اساس موقعیت روستاهای خسارت دیده در غرب افغانستان بر مبنای جمع بندی گزارش های رسانه ها و مسئولین و گزارش های OCHA

۴-۱- برآورد شدت زلزله های بزرگ غرب افغانستان

علاوه بر تخمین روستاهای آسیب دیده بر اساس مجاورت آنها با روستاهای آسیب دیده (شکل ۱-۱۱)، براساس روابط تجربی و محاسباتی شدت زلزله بر مبنای بزرگای زلزله، به عنوان مثال (U. Chandra, 1981, for USA earthquakes)، شدت زمین لرزه های با بزرگی بالای ۶ غرب افغانستان در محدوده رومرکزی محاسبه گردید. نشان داده شد که در محدوده رومرکز این زمین لرزه ها، شدت زمین لرزه به بالای ۸ (درجه مرکالی اصلاح شده) نیز می رسد (شکل ۱-۱۲) که مسلماً ساختمان های با کیفیت پائین لرزه ای را تخریب می کند.

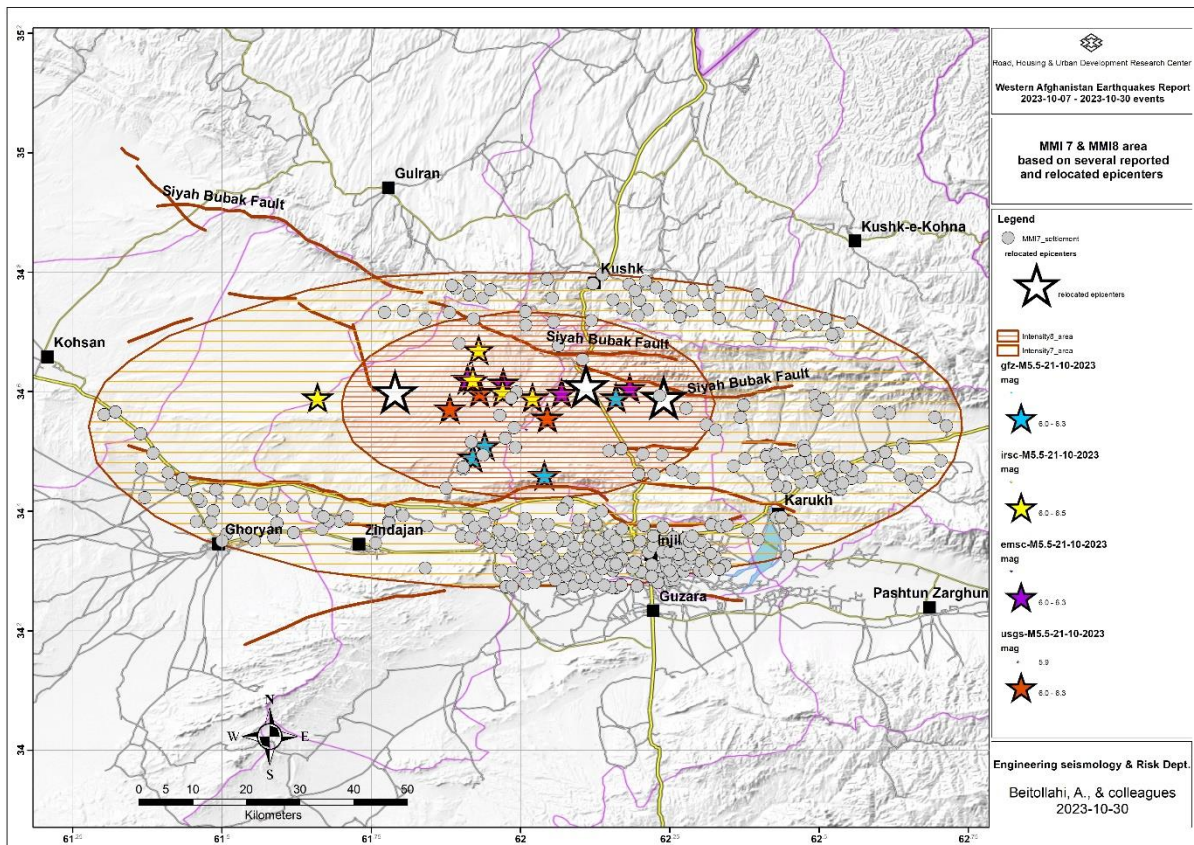


شکل ۱-۱۲- روابط شدت رومرکزی و بزرگی زلزله ها (براساس زلزله های ایالات متحده آمریکا، ۱۹۸۱)

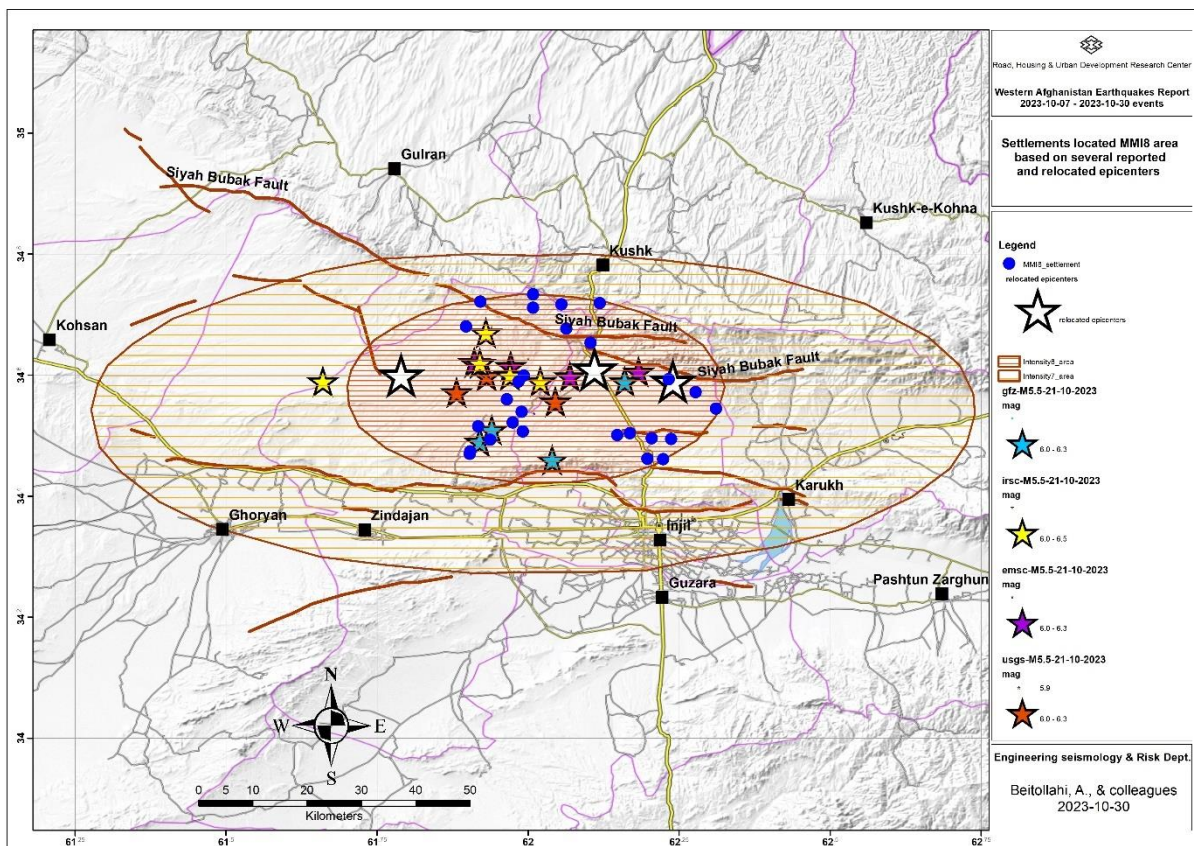
همچنین براساس روابط شدت - بزرگای محاسبه شده برای ایران (ایمانی، ۱۳۸۲)، بیضوی های شدت ۸ و ۷ برای زلزله های بالای ۶ غرب افغانستان براساس رومرکزهای گزارش شده توسط USGS، EMSC، GFZ و IRSC محاسبه گردید. در شکل های ۱-۱۳ و ۱-۱۴ برای بیضوی های شدت ۸ و ۷، مراکز جمعیتی روستائی تفکیک گردید. نشان داده شده که تعداد ۲۷ روستا (۱ روستا از ولسوالی کوشک و بقیه از ولسوالی های انجیل و زنده جان) در محدوده شدت ۸ واقع شده اند. ۳۳۶ روستا نیز در محدوده شدت ۷ واقع شده است که بر مبنای دوری از رومرکزهای زلزله ها و با ملاحظه شرایط ساختگاهی و توپوگرافیکی، احتمالاً خسارت زلزله ها در آنها متفاوت خواهد بود. پیشتر ذکر شد که بر مبنای تخمین روستاهای آسیب دیده، حدود ۱۷۵ روستا برآورد می شود که خسارت (با درجات متفاوت خسارت) ببینند.

در جدول ۱-۲ اسامی و مختصات روستاهای واقع در بیضوی شدت ۸ نشان داده شده است. درخصوص تعداد جمعیت و آمار مسکن این روستاها اطلاعاتی تا زمان تدوین گزارش حاضر بدست نیامد تا جدول اطلاعاتی آنها تکمیل گردد. همانطور که از جدول ۱-۲ نیز استنباط می شود ولسوالی های انجیل و زنده جان متحمل خسارت های نسبی بیشتری شده اند.

در این گزارش، با هدف تخمین خسارت، تلاش شد از مدل های کاهیدگی برای تخمین شتاب زلزله و نیز از روابط بین شدت زلزله و شتاب زلزله استفاده شود. براساس مدل کاهیدگی کمبل-بزرگ نیا، ۲۰۰۳، نمودار شتاب زلزله محاسبه شده بازای فاصله از رومرکز زلزله به بزرگی ۶٫۵ (حدود بزرگای زلزله های اکتبر هرات افغانستان) در شکل ۱-۱۵ تهیه گردید. نشان داده می شود که در فواصل نزدیک به رومرکزهای زلزله های با بزرگی حدود ۶٫۵، شتاب زلزله از ۴٫۴ g تجاوز می کند. این عدد بویژه برای ساختمان های خشت و گلی منطقه، آسیب کامل را می تواند به همراه داشته باشد.



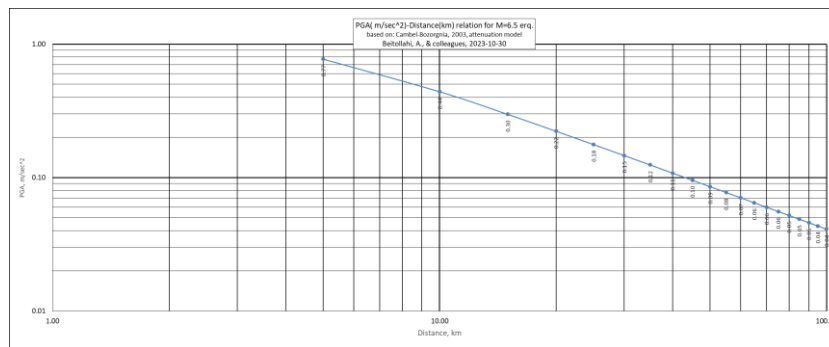
شکل ۱-۱۳- بیضوی های شدت ۷ و ۸ زلزله های غرب افغانستان و روستاهای واقع در محدوده بیضوی ۷



شکل ۱-۱۴- بیضوی های شدت ۷ و ۸ زلزله های غرب افغانستان و روستاهای واقع در محدوده بیضوی ۸

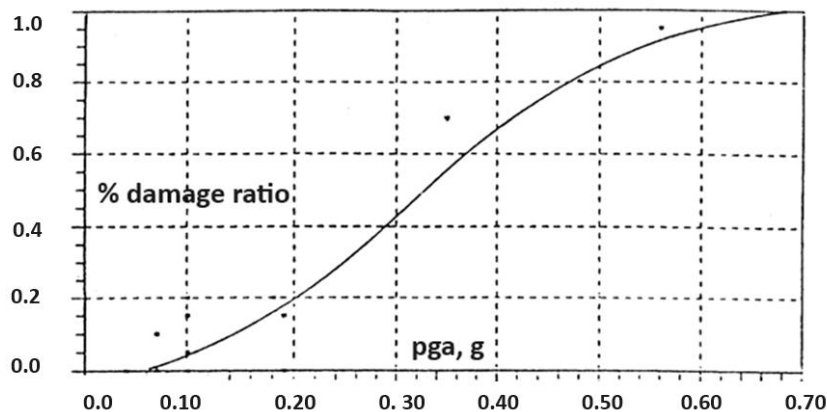
جدول ۱-۲- روستاهای واقع در محدوده شدت ۸ در زلزله های غرب افغانستان

No.	GEocode	NAME	LAT	LON	DIST_NAM	PROV_NAM
1	AF201017925	Asya-i-Badak	34.67653	62.06352	Zinda Jan	Hirat
2	AF201018348	Asya Bad	34.599	61.9931	Zinda Jan	Hirat
3	AF201017594	Aybak	34.52159	61.97461	Zinda Jan	Hirat
4	AF201017931	Char Gholang	34.71664	62.05553	Zinda Jan	Hirat
5	AF200217599	Charghaw	34.46159	62.1979	Injil	Hirat
6	AF201018341	Chashma-i-Ghuri	34.47359	61.9043	Zinda Jan	Hirat
7	AF200217597	Chashmaha	34.50375	62.16888	Injil	Hirat
8	AF201018340	Dahana-i-Shar	34.46959	61.90371	Zinda Jan	Hirat
9	AF201018349	Deh-i-Kachkol	34.58889	61.9842	Zinda Jan	Hirat
10	AF200217602	Deh Shekh	34.49429	62.23711	Injil	Hirat
11	AF201017596	Ezghilak	34.5393	61.98951	Zinda Jan	Hirat
12	AF200217593	Gandaw	34.50064	62.14801	Injil	Hirat
13	AF201017777	Jigda	34.7212	61.9214	Zinda Jan	Hirat
14	AF201018347	Karez-i-Mawri	34.51509	61.91751	Zinda Jan	Hirat
15	AF200217924	Khush Rabat	34.65328	62.10389	Injil	Hirat
16	AF201018345	Khushkak	34.5598	61.96521	Zinda Jan	Hirat
17	AF200217605	Khwaja Sar Bur	34.59287	62.23309	Injil	Hirat
18	AF200218232	Korpa	34.54445	62.31153	Injil	Hirat
19	AF200217600	Mlr Qanat	34.4608	62.2238	Injil	Hirat
20	AF200217595	Naeb Rafiq	34.50649	61.9918	Injil	Hirat
21	AF201018346	Nayak	34.4932	61.9372	Zinda Jan	Hirat
22	AF200217601	Parwana	34.49529	62.20501	Injil	Hirat
23	AF200217604	Qara Qul	34.57189	62.27748	Injil	Hirat
24	AF201017776	Qasr-i-Shirin	34.68029	61.8975	Zinda Jan	Hirat
25	AF200617941	Rabat-i-Mirza	34.71862	62.119	Kushk	Hirat
26	AF201017930	Sang-i-Law	34.71132	62.00863	Zinda Jan	Hirat
27	AF201017929	Sarjar	34.73338	62.00845	Zinda Jan	Hirat



شکل ۱-۱۵- نمودار رابطه بین شتاب زلزله و فاصله برای زلزله با بزرگی ۶.۵

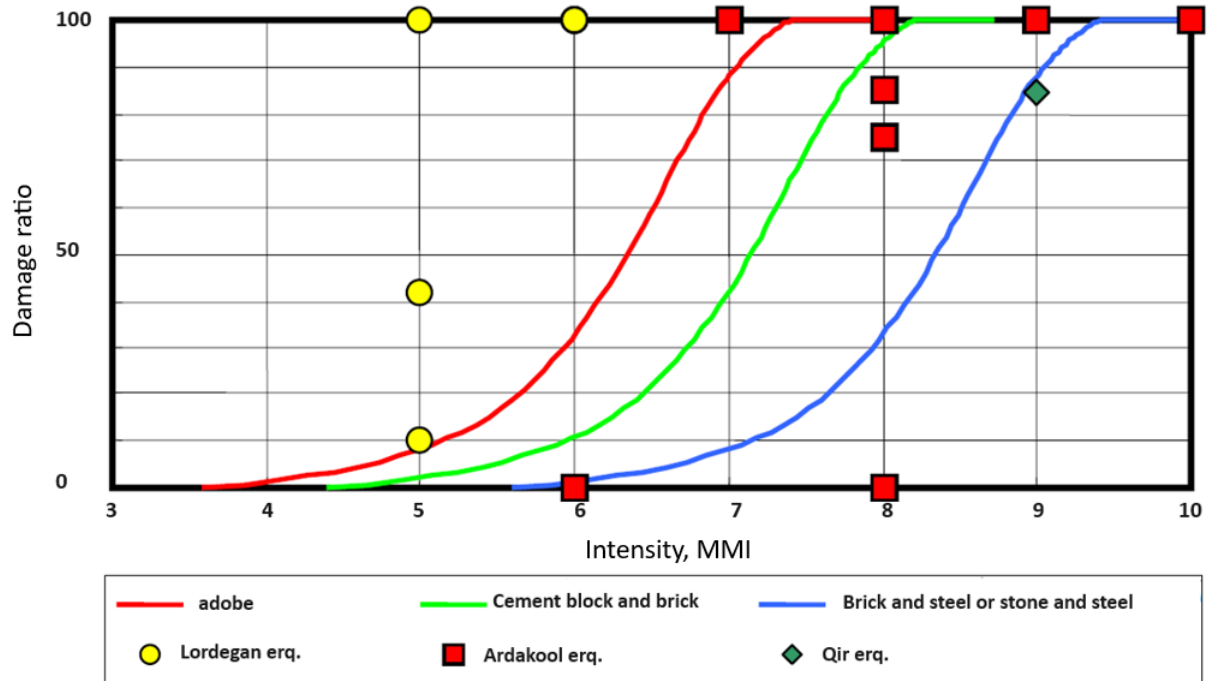
در شکل ۱-۱۶ نمودار تجربی آسیب دیدگی ساختمان ها در زلزله رودبار ایران (۱۳۶۹ شمسی) توسط توکلی (۱۳۷۲) نشان داده شده است. با توجه به مشابهت ساختمان های مسکونی روستائی زمان وقوع زلزله رودبار به ساختمان های روستائی ولایت هرات، می توان از روی این منحنی، تخمینی از خسارت به ازای شتاب زلزله به عمل آورد.



شکل ۱-۱۶- نمودار نسبت خسارت به شتاب زلزله در زلزله رودبار ایران (رخداد ۱۳۶۹ بزرگی ۷.۳)

براساس کار Jica (۱۳۸۰) در مطالعات ریز پهنه بندی لرزه ای تهران، شکل ۱-۱۷ برای تخمین کلی و اولیه خسارت براساس تیپ ساختمان ها که در سه زلزله بزرگ قیر، لردگان و اردکول بدست آمده در برآورد تخمینی خسارت زلزله های

هرات (اکتبر ۲۰۲۳) قابل استفاده است. اگر نمودار مربوط به نوع ساختمان آجر و بلوک سیمانی (منحنی سبز رنگ وسط) برای تخمین خسارت به ازای شدت زلزله در نظر گرفته شود، در محدوده شدت ۷ (شکل ۱-۱۷) حدود ۴۰٪ ساختمان خسارت می بینند و در شدت ۸ بیش از ۹۰٪ ساختمان ها دچار خسارت می شوند.



شکل ۱-۱۷- نسبت خسارت به ازای شدت زلزله در تیب های مختلف ساختمانی در سه زمین لرزه بزرگ ایران

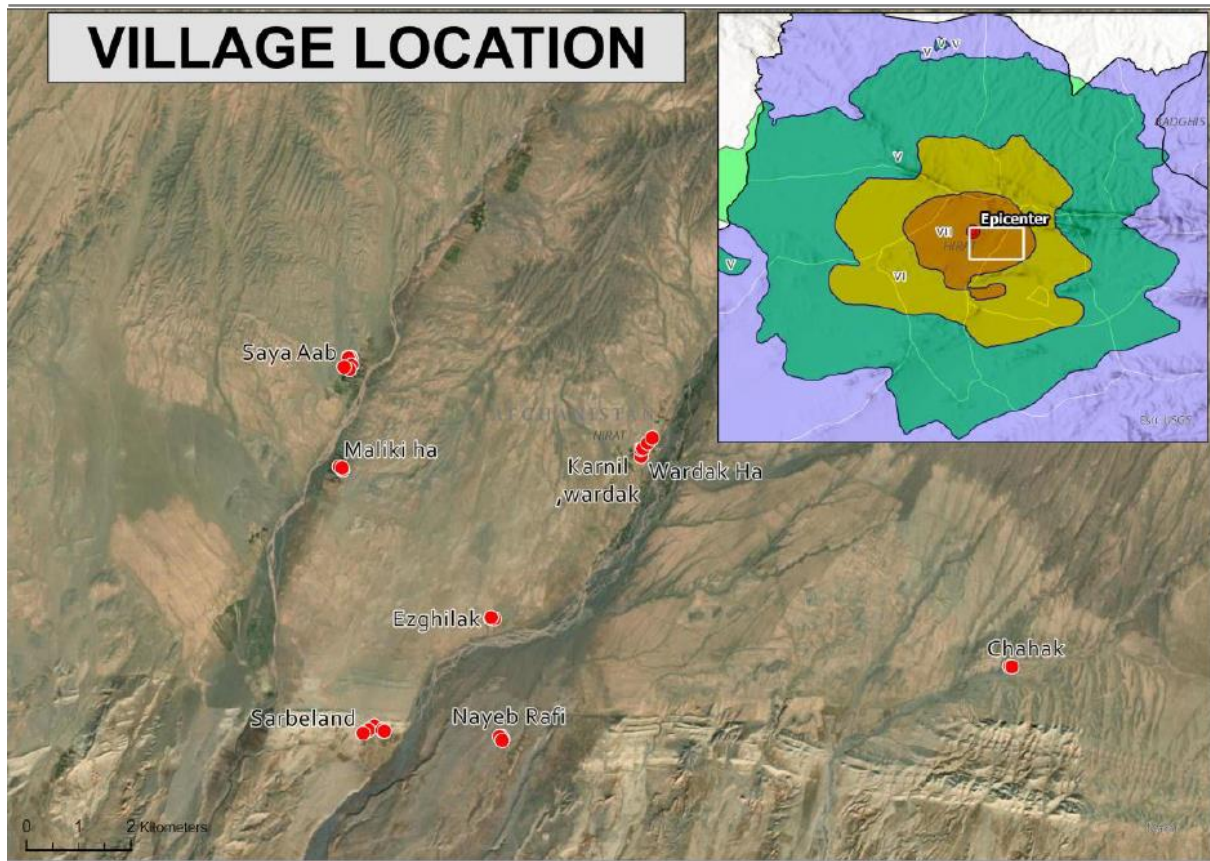
"یکی از مشکلات عمده در تدوین گزارش حاضر، نبود و یا در دسترس نبودن داده ها و اطلاعات پایه در محدوده اثر زمین لرزه ها بود. به همین دلیل، بر مبنای روابط محاسباتی سعی شده است تا تخمینی از روستاهای خسارت دیده و پراکنش آنها ارائه گردد. سایت مرجع بحران مخاطرات طبیعی در افغانستان <https://andma.gov.af/en> می باشد که در آن آمار دقیقی برحسب موقعیت روستاهای آسیب دیده مشاهده نگردید."

۱-۵- بازدیدهای میدانی مناطق آسیب دیده (Miyamoto report, 12 Oct. 2023)

از آنجا که بازدید میدانی در زلزله های غرب افغانستان توسط مولفین گزارش حاضر انجام نشده است، با هدف ارائه کلیاتی از خسارت های وارده در مناطق روستائی گزارش گروه Miyamoto در این خصوص به دلیل اشاره به موقعیت مکانی روستاها و تصاویری از خرابی تیبیک زلزله های افغانستان مورد استفاده قرار گرفت. این گزارش از طریق لینک زیر قابل دانلود است:

<https://miyamotointernational.com/wp-content/uploads/Herat-Earthquake-Assessment-Report.pdf>

در شکل ۱-۱۸ موقعیت روستاهای بازدید شده نشان داده شده است. در شکل های ۱-۱۹ تا ۱-۲۴ نیز عکس هایی از خرابی های روستاهای بازدید شده شامل ۶ روستای چشمه غوری، سربلند، نایب رفیع، وردک ها، سیاب و مالیکی ها نشان داده شده است. نگاهی به عکس ها، الگوی کلی ساخت و سازهای روستائی در منطقه را نشان می دهد. این ساختمان ها دارای آوار سنگین و فاقد مقاومت لازم در برابر زلزله بوده و بسته به ساعت وقوع زلزله های تاثیرگذار، می توانند تلفات جانی عمده ای را به بار بیاورند.



شکل ۱-۱۸- نقشه موقعیت روستاهای بازدید شده توسط گروه Miyamoto



شکل ۱-۱۹- روستای چشمه غوری



شکل ۱-۲۰- روستای سربلند



شکل ۱-۲۱- روستای نایب رفیع



شکل ۱-۲۲- روستای وردک ها (کرنیل)



شکل ۱-۲۳- روستای سیآب



شکل ۱-۲۴- روستای مالیکی ها

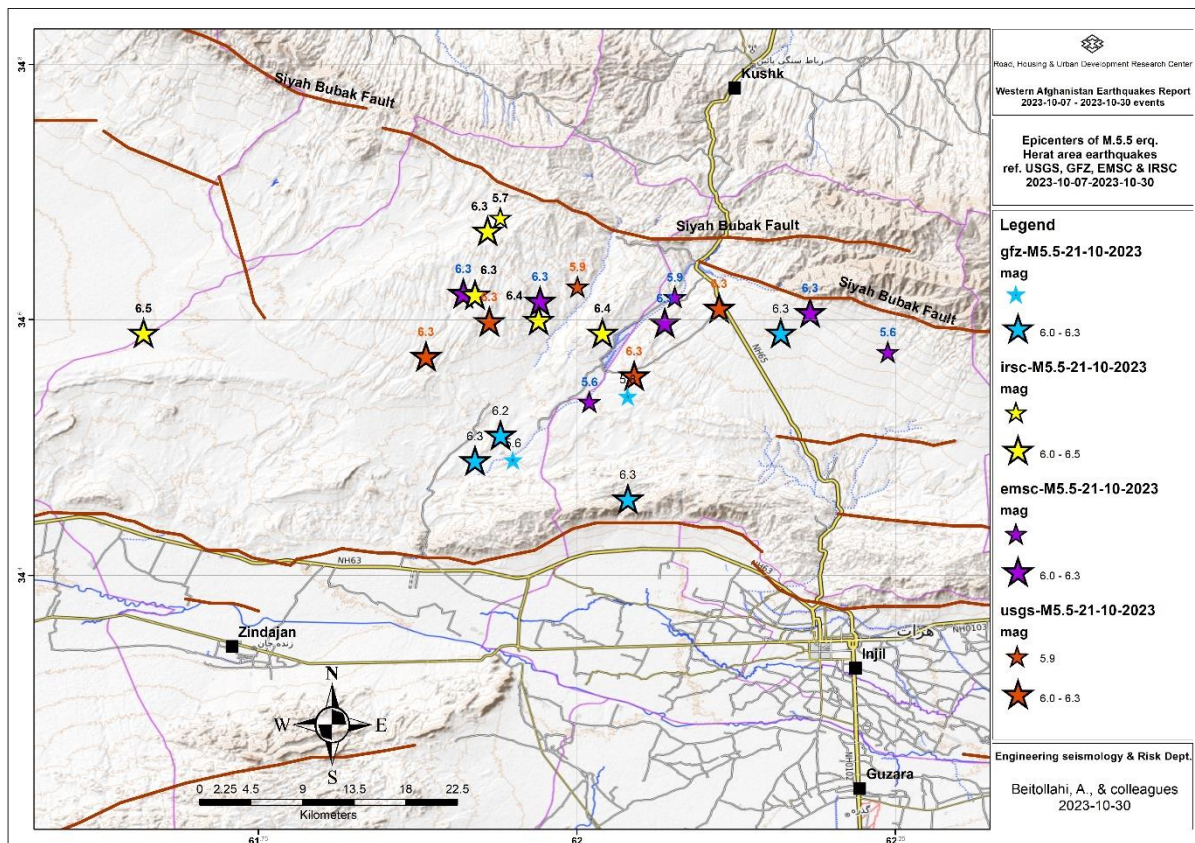
عکس های مشاهده شده (۱-۱۹ تا ۱-۲۴) نشان می دهد که ساختمان ها، سیستم سازه ای مقاوم در برابر زلزله را نداشته و آسیب پذیری بالائی را دارند. اگر زلزله های اکتبر ۲۰۲۳ هرات در محدوده های روستایی متراکم رخ می داد، مسلماً تلفات و خسارت بیشتر می شد.

۲- مباحث لرزه شناختی و زلزله های رخ داده در محدوده هرات افغانستان

۲-۱- زلزله های رخ داده در بازه زمانی ۲۰۲۳-۱۰-۰۷ تا ۲۰۲۳-۱۰-۳۰

در شکل ۲-۱ رویدادهای لرزه ای با بزرگی ۵.۵ به بالا که در بازه زمانی ۲۰۲۳-۱۰-۰۷ تا ۲۰۲۳-۱۰-۳۰ رخ داده اند، نشان داده شده است. محدوده پراکنش این زلزله های تاثیرگذار دارای طول ۵۵ کیلومتر (راستای شرقی - غربی) و پهنای ۲۵ کیلومتر (راستای جنوبی - شمالی) می باشد که در شمال غربی شهر هرات واقع شده است. زلزله های نشان داده شده در شکل ۲-۱ براساس گزارش های USGS، EMSC، GFZ و IRSC بوده است. زلزله های ثبت شده توسط IRSC به دلیل نزدیک بودن ایستگاه ها به محدوده وقوع، شامل رخدادهای کوچکتر نیز می باشد.

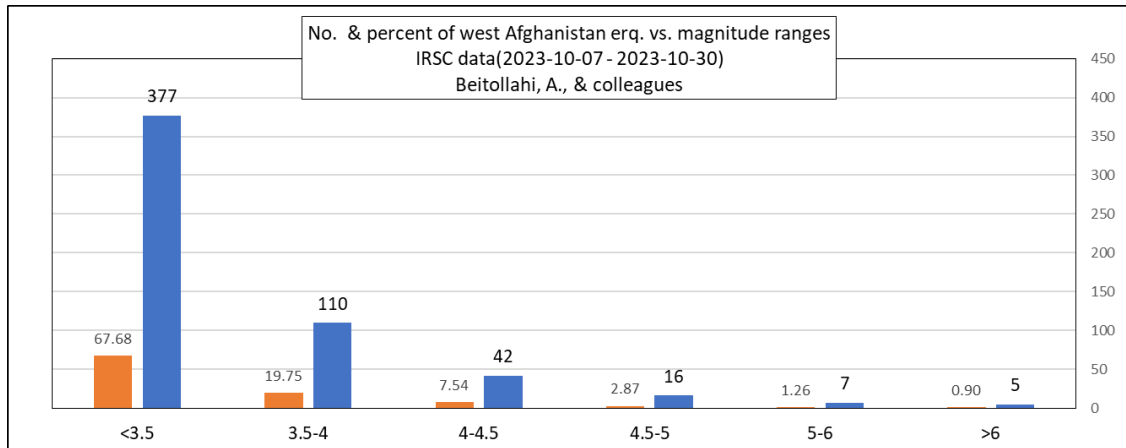
از تاریخ ۲۰۲۳-۱۰-۰۷ تا تاریخ ۲۰۲۳-۱۰-۱۵ تعداد ۵ زمین لرزه با بزرگای بالای ۶ در کشور افغانستان نزدیکی شهر هرات و گسل های فعال آن به وقوع پیوست. در تاریخ ۲۰۲۳-۱۰-۰۷ به فاصله ی چند دقیقه، ۳ زمین لرزه با بزرگای بیش از ۶ (به گزارش مرکز لرزه نگاری کشوری) رخ داد، رومرکزهای گزارش شده توسط مراکز مختلف هم با رنگ های مختلف در این شکل به تفکیک مشاهده می شوند (شکل ۲-۱). به فاصله چند روز در تاریخ ۲۰۲۳-۱۰-۱۱ و ۲۰۲۳-۱۰-۱۵ نیز ۲ زمین لرزه بزرگ دیگر با بزرگای بیش از ۶ نزدیک به محل وقوع زمین لرزه های قبلی (به گزارش مرکز لرزه نگاری کشوری) رخ دادند.



شکل ۲-۱- محدوده رومرکزی زلزله های با بزرگی ۵.۵ به بالای زلزله های غرب افغانستان (۲۰۲۳-۱۰-۰۷ تا ۲۰۲۳-۱۰-۳۰)

براساس زلزله های گزارش شده در سایت IRSC، www.irsc.ut.ac.ir، از زمان رخداد اول با بزرگی ۶.۳ در روز ۰۷-۱۰-۲۰۲۳ تا ۳۰-۱۰-۲۰۲۳، تعداد ۵۷۷ زمین لرزه در محدوده ولایت هرات رخ داده است که در شکل ۲-۲ توزیع آن

نسبت به حدود بزرگا نشان داده شده است. در این نمودار همچنین نسبت درصد بزرگی زلزله های رخ داده نسبت به کل زمین لرزه ها نیز نشان داده شده است (میله های نارنجی رنگ).

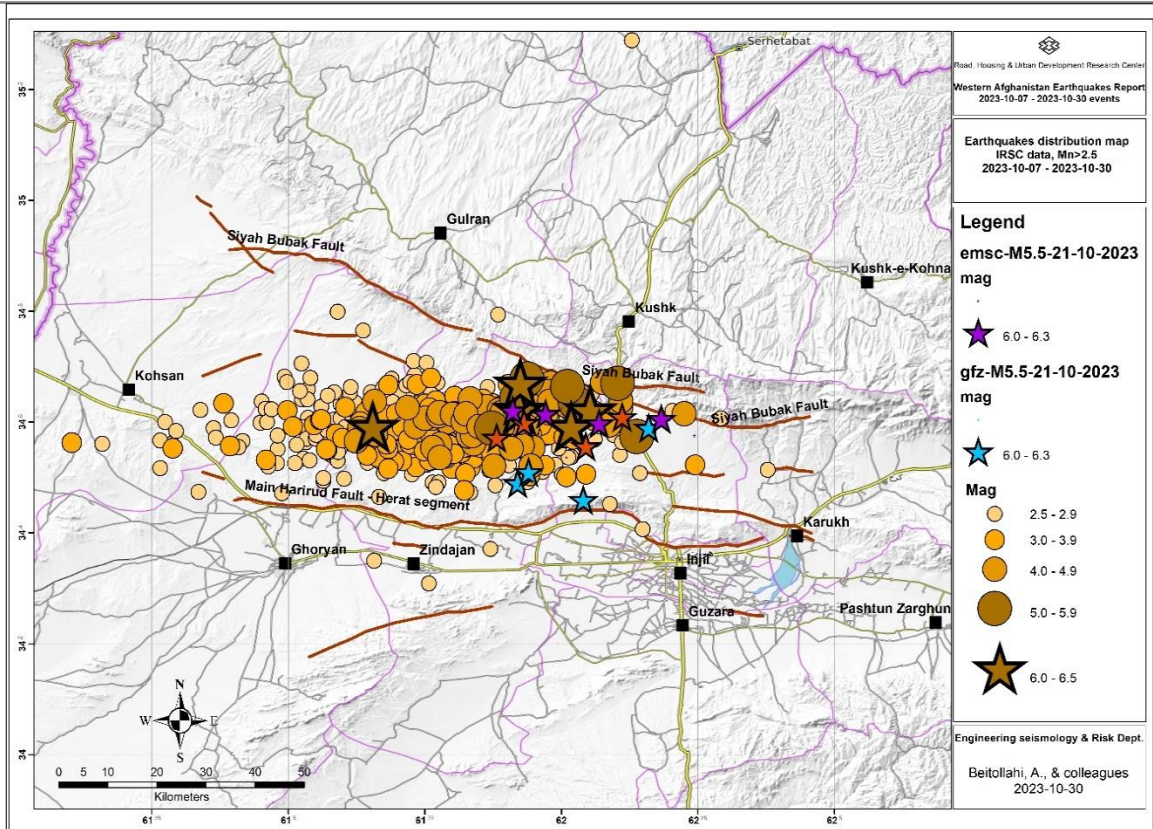


شکل ۲-۲- توزیع زمین لرزه های غرب افغانستان نسبت به بازه بزرگای زلزله ها و نسبت درصد آنها از کل ۵۷۷ زمین لرزه گزارش شده توسط IRSC

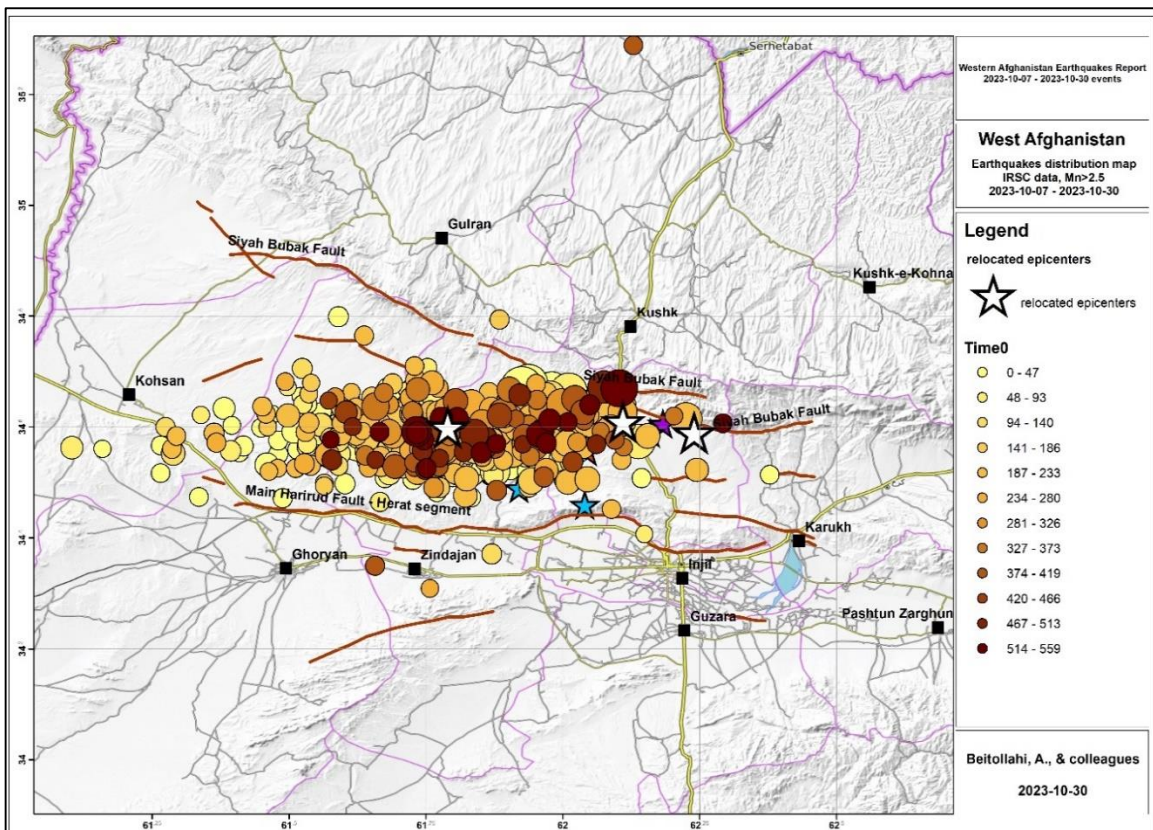
در شکل ۲-۳ توزیع زمین لرزه های گزارش شده سایت IRSC، نشان داده شده است. توزیع شرقی - غربی کلی زمین لرزه ها، معرف راستای گسل مسبب زلزله ها نیز می باشد. در این شکل، رومرکزهای زلزله های بالای ۵٫۵ توسط چند رفرنس دیگر نیز نشان داده شده است. این رومرکزها به طور کلی در محدوده به ابعاد ۳۰*۳۰ کیلومتر پراکنش دارند که معرف میزان اختلاف تعیین رومرکزهای زلزله هاست. لازم به ذکر است که دو زمین لرزه بزرگ از میان زلزله های گزارش شده در محدوده ای جدا جانمایی شده اند که احتمالاً معرف خطای بیشتر جانمایی زلزله ها در مورد آنهاست. از روی شکل ۲-۳ می توان مشاهده نمود که توزیع زمین لرزه های اکتبر ۲۰۲۳ غرب افغانستان در ناحیه ای بین دو سامانه گسلی هرات در جنوب و سیاه بوبک در شمال اتفاق افتاده است.

در شکل ۲-۴ توالی زمانی زلزله های نشان داده شده در شکل ۲-۳ ارائه گردیده است. رنگ روشن به تیره معرف زلزله های قدیمی تر به جدیدتر در بازه زمانی ۷ تا ۳۰ اکتبر ۲۰۲۳ می باشد. همچنین در شکل ۲-۳ سایز دایره ها نیز معرف بزرگی زلزله ها می باشد. با توجه به توالی زمانی زلزله ها، استنباط می شود که رخدادهای جدیدتر میل به سوی شرق دارند. این امر، مهاجرت زمین لرزه ها به سمت ایران را در امتداد گسله های اصلی شناسائی شده محدوده منتفی می سازد. میانگین عمقی زلزله های نشان داده شده در شکل ۲-۴، حدود ۱۱ کیلومتر است، میانگین بزرگی زلزله ها ۳٫۲ است که معرف تعداد قابل ملاحظه زلزله های کوچک ثبت شده است. محدوده متمرکز توزیع خوشه لرزه ای غرب افغانستان از شرق به غرب حدود ۸۰ کیلومتر و عرض آن حدود ۲۰ کیلومتر می باشد.

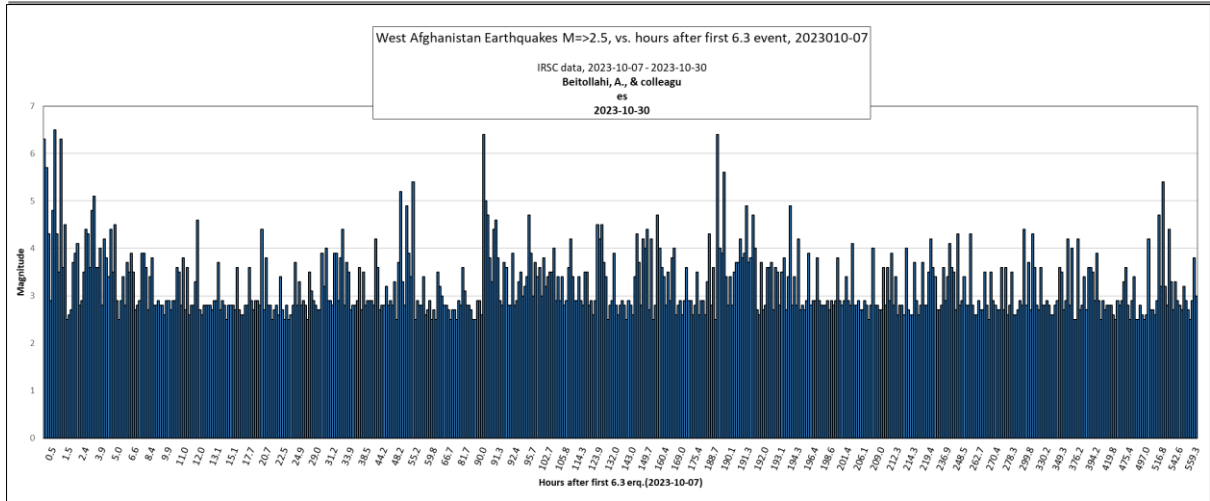
توالی رخداد زلزله های غرب افغانستان در شکل ۲-۵ نشان داده شده که در آن، رخداد زلزله ها به ازای بزرگی آنها و نسبت به زمان می باشد. در شکل ۲-۶ نیز توالی رخداد زلزله های با بزرگی ۴ و بزرگتر از ۴ نشان داده شده است.



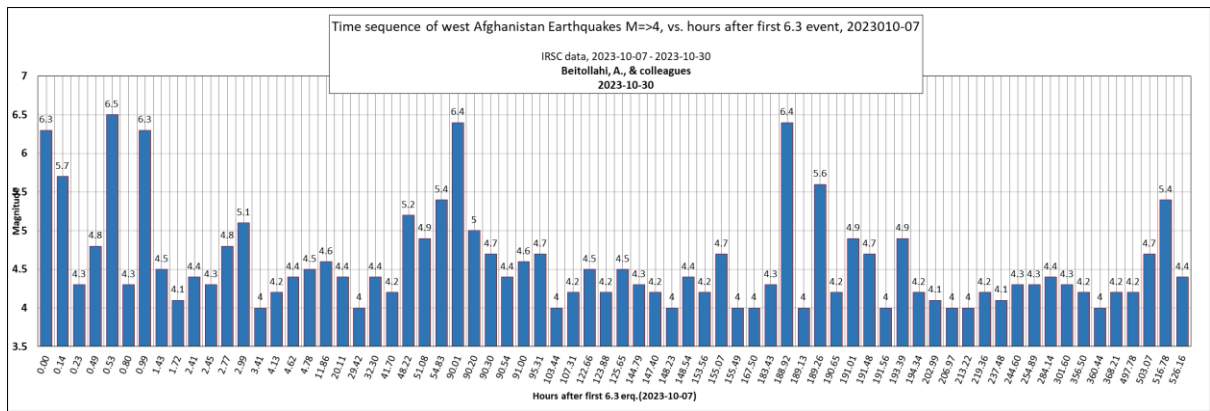
شکل ۲-۳- توزیع زلزله ها و پس لرزه های غرب افغانستان رخدادهای ۷ تا ۳۰ اکتبر ۲۰۲۳ در ولایت هرات



شکل ۲-۳- توزیع زلزله ها و پس لرزه های غرب افغانستان رخدادهای ۷ تا ۳۰ اکتبر ۲۰۲۳ در ولایت هرات

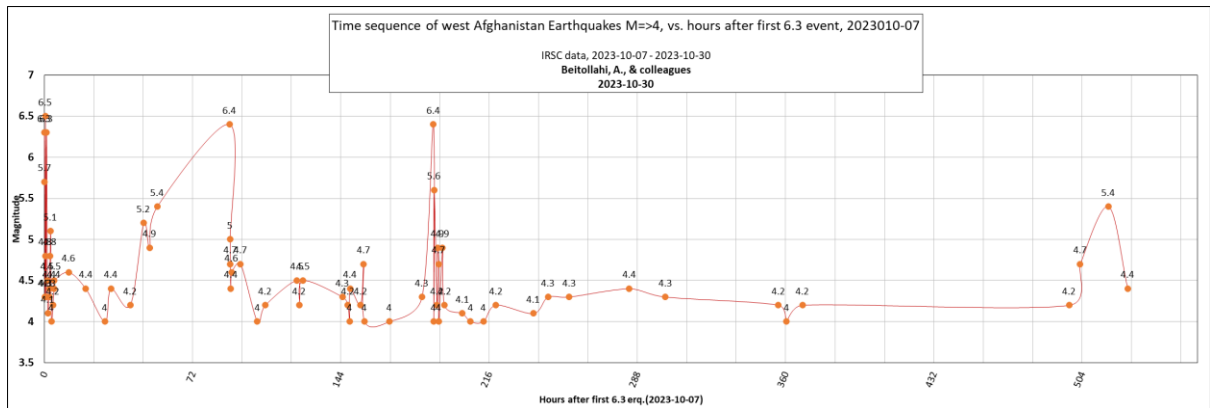


شکل ۲-۴- ترتیب رخداد زلزله ها و پس لرزه های غرب افغانستان به ازای بزرگا و نسبت به زمان (ساعت رخداد بعد از اولین زلزله ۶٫۳ روز ۲۰۲۳-۱۰-۰۷)



شکل ۲-۵- ترتیب رخداد زلزله ها و پس لرزه های غرب افغانستان با بزرگی ۴ و بزرگتر از آن به ازای بزرگا و نسبت به زمان (ساعت رخداد بعد از اولین زلزله ۶٫۳ روز ۲۰۲۳-۱۰-۰۷)

در شکل ۲-۶ نمودار رخداد زلزله های با بزرگی ۴ و بالاتر به ازای ساعت پس از حادثه اول (زلزله ۶٫۳، ۲۰۲۳-۱۰-۰۷) به صورت وابسته به زمان و بزرگا نشان داده شده است. مشاهده می شود که هرچه از زمان های اولیه رویدادهای اصلی بیشتر زمان بگذرد، فاصله زمانی رخدادها بیشتر می شود، زمانی برای تجمع تنش و سپس رخداد زلزله ها (در شاخه انتهایی نمودار شکل ۲-۶) و این روال تا حاکم شدن نسبی لرزه ای منطقه ادامه پیدا می کند.



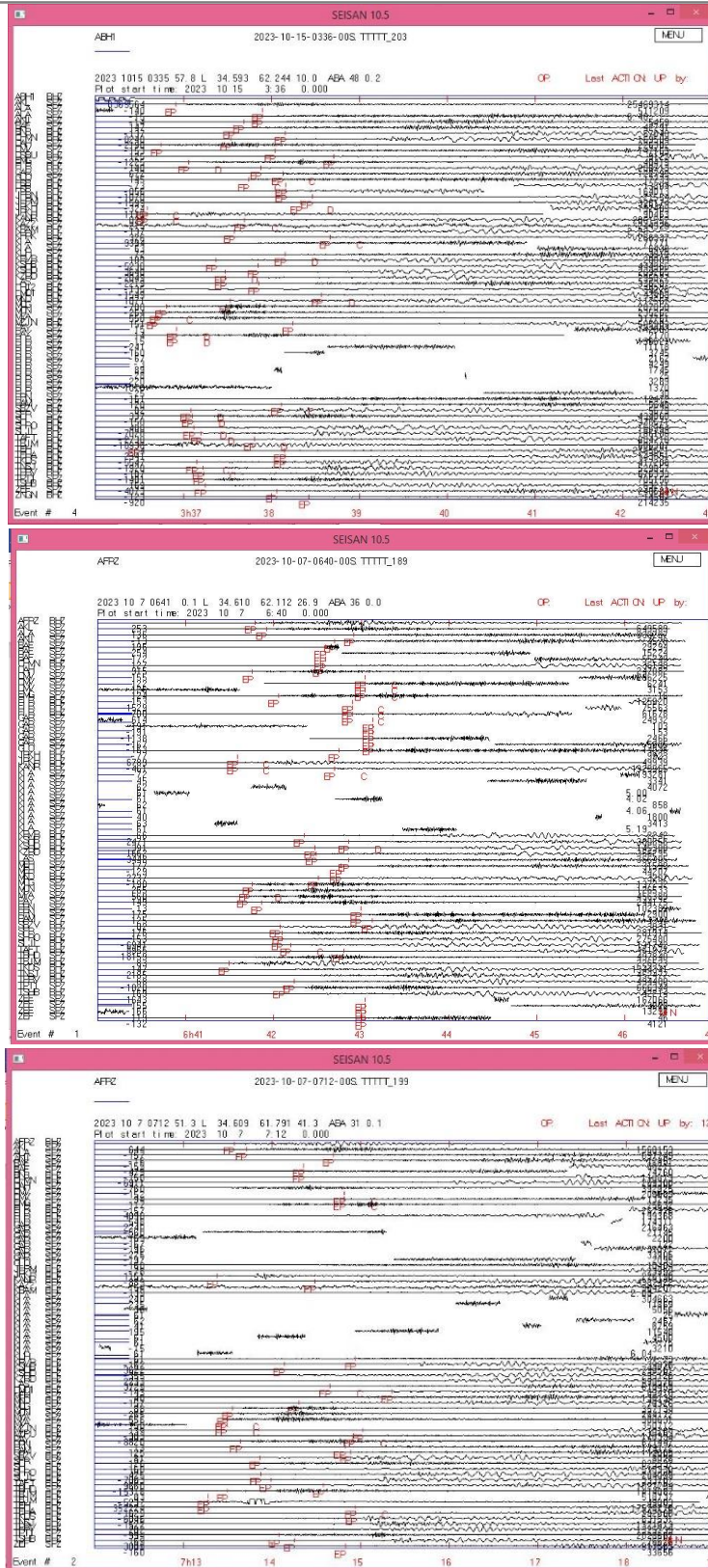
شکل ۲-۶- سری زمانی رخداد زلزله های با بزرگی ۴ و بزرگتر از ۴ از زمان وقوع زلزله اول (۶٫۳، ۱۷ اکتبر ۲۰۲۳) تا پایان روز ۳۰ اکتبر ۲۰۲۳

۲-۲- مکانیابی دوباره زلزله های اصلی (زلزله های با بزرگی ۳،۶ و ۴،۶)

در رویدادهای لرزه ای غرب افغانستان با هدف بالا بردن دقت مکانیابی و تعیین دقیق سازوکار، اقدام به باز مکانیابی رویدادهای اصلی گردید. بالا بردن دقت مکانیابی زمین لرزه ها و به حداقل رساندن پراکندگی در توزیع رویدادها منجر به تعیین دقیقتر ارتباط آنها با گسل و یا گسله های مسبب زلزله ها در منطقه می گردد.

برای بالا بردن دقت مکانیابی چه در سطح و چه در عمق، سعی شد از داده های موجود که توسط شبکه لرزه نگاری دائمی کشوری ثبت شده است، استفاده شود. از جمله داده های موجود در این منطقه، داده های مربوط به ایستگاه های دائمی شبکه لرزه نگاری کشوری (IRSC) است. سعی بر آن شد که از داده های شبکه لرزه نگاری کوتاه دوره کشوری برای تکمیل پایگاه داده استفاده شود. اما به علت کیفیت نگاشت ها، این کار برای زمین لرزه ۱۱-۱۰-۲۰۲۳ انجام نشد.

رویدادهای لرزه ای با بزرگی بیش از ۶ که در طول و عرض جغرافیایی ۶۱ تا ۶۲،۳ و ۳۴،۳ تا ۳۴،۹ (محدوده کشور افغانستان و شهر هرات) به وقوع پیوسته بودند، از سایت شبکه لرزه نگاری کشوری جمع آوری شد. سپس اقدام به ساخت پایگاه داده شد. نهایتاً پایگاه داده با مجموعه داده های با بزرگی بالای ۶ که نگاشت آنها از سایت مرکز لرزه نگاری کشوری (IRSC) دریافت شد، ساخته شد. زمین لرزه های ذکر شده در محیط نرم افزار seisan به کمک قرائت زمان رسید موج s و p مجدداً مکانیابی شدند. همانطور که در شکل ۲-۷ مشاهده می شود، زمین لرزه ها به علت بزرگی و شدت بالای آنها در ایستگاه های زیادی ثبت شده بودند. این زمین لرزه ها مجدداً با rms بسیار پایین در محیط ساینز مکانیابی و پلازیمتهای اولین رسید موج p به منظور تعیین سازوکار کانونی برای آنها تعیین شد. سپس اقدام به حل سازوکار کانونی به کمک الگوریتم $focmec$ شد. مشاهده می شود قرائت فازهای p و s به منظور ریلوکیت زمین لرزه ها در محیط ساینز به خوبی انجام گرفته است. دقت بالای مکانیابی انجام گرفته، در شکل ۲-۸ با rms های بسیار پایین برای هر زمین لرزه و باقی مانده های زمانی بسیار کم ایستگاه ها همچنین تعداد بالای رکوردهای ثبت شده در ایستگاه های لرزه نگاری به وضوح قابل مشاهده است. مراکز مختلف برای زمین لرزه ها، سازوکار راندگی مطابق با گسل های راندگی گزارش کرده اند. حل سازوکار زمین لرزه ها توسط اپراتور و به کمک الگوریتم $focmec$ که در شکل ۲-۹ مشاهده می شود، هم همین سازوکار را تایید می کند. یک مولفه کوچک امتداد لغزی در حل سازوکارهای حل شده، مشاهده می شود. نهایتاً رومرکزهای به دست آمده از ریلوکیت زمین لرزه ها در شکل ۲-۱۰ به نقشه در آمده است. از روی این نقشه می توان حدس مطمئن تری را در خصوص موقعیت رومرکز و ارتباط آن با گسله مسبب زد.



شکل ۷-۲- مولفه های قائم لرزه نگاشت زمین لرزه های ۲۰۲۳-۱۰-۰۷ تا ۲۰۲۳-۱۰-۱۵ در شبکه لرزه نگاری ایران

Seisan Console

date	hrmn	sec	lat	long	depth	no	m	rms	damp	erln	erlt	erdp	
231015	335	57.84	3435.58N	62 14.6E	10.0	4	3	0.19	0.000	89.1	30.3	47.1	
stn	dist	azm	ain	w	phas	calcp	h	t	o	t-cal	res	wt	di
TBJM	190	293.7	77.4	0	P	C	PN4	336	29.5	31.66	31.68	-0.02	1.00*13
JRKH	226	310.8	72.4	0	P	C	PN5	336	35.2	37.39	37.30	0.09	0.68*23
MYA	275	315.6	49.7	0	P	C	PN6	336	42.0	44.19	44.66	-0.47	0.23*31
MON	285	237.6	49.7	0	P	C	PN6	336	44.2	46.33	45.96	0.37	0.14*29
DAH	301	227.6	49.7	0	P	C	PN6	336	44.7	46.83	48.06	-1.23	0.00* 4
MOG	313	303.3	49.7	0	P	C	PN6	336	48.3	50.51	49.55	0.96	0.00* 0
PAY	360	305.9	49.7	0	P	D	PN6	336	55.5	57.65	55.38	2.27	0.00* 0
AKL	386	306.1	49.7	0	P	C	PN6	336	54.6	56.79	58.72	-1.93	0.00* 0
EMG	450	315.0	49.7	0	P	D	PN6	337	3.6	65.80	66.68	-0.88	0.00* 0
SBZU	465	296.7	49.7	0	P	D	PN6	337	4.9	67.04	68.49	-1.45	0.00* 0
SFR	471	306.7	49.7	0	P	D	PN6	337	6.2	68.37	69.23	-0.86	0.00* 0
TNSJ	485	258.5	49.7	0	P	C	PN6	337	8.9	71.03	70.85	0.18	0.00* 0
TMSJ	523	263.9	49.7	0	P	C	PN6	337	13.3	75.48	75.66	-0.18	0.00* 0
TPRU	543	252.9	49.7	0	P	C	PN6	337	13.9	76.11	78.09	-1.98	0.00* 0
MND	685	297.3	49.7	0	P	C	PN6	337	31.8	93.92	95.67	-1.75	0.00* 0
CHMN	687	221.5	49.7	0	P	C	PN6	337	32.6	94.72	96.26	-1.54	0.00* 0
KBAM	703	211.7	49.7	0	P	C	PN6	337	34.7	96.89	98.11	-1.22	0.00* 0
BAF	706	243.7	49.7	0	P	C	PN6	337	34.3	96.41	98.57	-2.16	0.00* 0

Return to continue, q to end listing

Seisan Console

Station SHRO is not on station list: ignored

date	hrmn	sec	lat	long	depth	no	m	rms	damp	erln	erlt	erdp	
2310 7	641	7.01	3436.94N	61 30.9E	47.7	7	3	0.35	0.000	89.7	9.7	25.9	
stn	dist	azm	ain	w	phas	calcp	h	t	o	t-cal	res	wt	di
TBJM	130	304.11	107.2	0	P	C	PN6	641	29.5	22.45	22.49	-0.03	1.00*23
JRKH	178	323.8	53.1	0	P	D	PN6	641	36.2	29.18	28.88	0.30	0.72*22
MYA	231	326.6	53.1	0	P	C	PN6	641	41.8	34.81	35.49	-0.67	0.41*10
MON	233	227.8	53.1	0	P	C	PN6	641	42.9	35.93	35.83	0.10	0.40*27
MOG	258	310.6	53.1	0	P	C	PN6	641	45.6	38.61	39.01	-0.40	0.25* 0
DAH	258	216.7	53.1	0	P	D	PN6	641	45.7	38.65	39.01	-0.36	0.25*14
AFRZ	266	240.9	53.1	0	P	C	PN6	641	47.4	40.41	39.87	0.54	0.20* 4
PAY	307	312.4	53.1	0	P	C	PN6	641	51.8	44.82	45.04	-0.22	0.00* 0
AKL	333	312.1	53.1	0	P	D	PN6	641	55.3	48.24	48.37	-0.13	0.00* 0
EMG	403	321.0	53.1	0	P	C	PN6	642	3.4	56.35	57.19	-0.84	0.00* 0
SBZU	405	300.2	53.1	0	P	D	PN6	642	5.4	58.42	57.34	1.09	0.00* 0
SFR	417	311.4	53.1	0	P	D	PN6	642	6.3	59.29	58.88	0.41	0.00* 0
TPRU	480	249.9	53.1	0	P	C	PN6	642	14.1	67.10	66.61	0.49	0.00* 0
MND	625	299.5	53.1	0	P	C	PN6	642	30.8	83.74	84.52	-0.78	0.00* 0
CHMN	647	216.5	53.1	0	P	D	PN6	642	33.9	86.91	87.59	-0.68	0.00* 0
BAF	649	240.5	53.1	0	P	C	PN6	642	35.1	88.07	87.68	0.39	0.00* 0
ANJ	700	279.9	53.1	0	P	C	PN6	642	41.8	94.83	94.14	0.69	0.00* 0
GLO	727	288.9	53.1	0	P	C	PN6	642	44.6	97.60	97.59	0.01	0.00* 0

Return to continue, q to end listing

Seisan Console

Station SHRO is not on station list: ignored

Station TSHB is not on station list: ignored

date	hrmn	sec	lat	long	depth	no	m	rms	damp	erln	erlt	erdp	
2310 7	712	44.96	3427.87N	62 11.6E	10.0	5	3	0.58	0.000	197.3	55.4	162.5	
stn	dist	azm	ain	w	phas	calcp	h	t	o	t-cal	res	wt	di
TBJM	192	298.1	77.4	0	P	C	PN4	713	16.9	31.90	32.01	-0.12	1.00*11
JRKH	232	314.2	72.4	0	P	D	PN5	713	23.6	38.60	38.27	0.33	0.63*23
MON	273	239.6	49.7	0	P	C	PN6	713	30.1	45.15	44.54	0.61	0.25*32
MYA	282	318.3	49.7	0	P	C	PN6	713	29.3	44.31	45.56	-1.26	0.17*20
TBHD	290	292.1	49.7	0	P	C	PN6	713	29.8	44.83	46.56	-1.73	0.09*15
AFRZ	316	249.5	49.7	0	P	C	PN6	713	34.3	49.32	49.73	-0.41	0.00* 0
MOG	317	305.9	49.7	0	P	C	PN6	713	33.3	48.29	50.09	-1.80	0.00* 0
PAY	365	308.1	49.7	0	P	C	PN6	713	38.7	53.77	55.99	-2.23	0.00* 0
AKL	391	308.1	49.7	0	P	C	PN6	713	42.5	57.51	59.34	-1.83	0.00* 0
SBZU	468	298.5	49.7	0	P	C	PN6	713	51.8	66.86	68.80	-1.95	0.00* 0
MND	687	298.5	49.7	0	P	C	PN6	714	18.0	93.03	96.00	-2.97	0.00* 0
BAF	696	244.6	49.7	0	P	C	PN6	714	21.1	96.13	97.28	-1.15	0.00* 0
TAPT	808	250.1	49.7	0	P	C	PN6	714	34.7	109.77	111.34	-1.58	0.00* 0
LAS	850	279.5	49.7	0	P	C	PN6	714	39.4	114.40	116.47	-2.08	0.00* 0
ALA	872	284.6	49.7	0	P	C	PN6	714	41.8	116.81	119.44	-2.63	0.00* 0
PRN	917	285.2	49.7	0	P	C	PN6	714	49.2	124.26	124.86	-0.61	0.00* 0
ZEF	931	262.0	49.7	0	P	C	PN6	714	49.7	124.75	126.73	-1.98	0.00* 0
DMU	935	280.5	49.7	0	P	C	PN6	714	48.9	123.93	127.32	-3.39	0.00* 0
RAM	961	254.9	49.7	0	P	C	PN6	714	53.2	128.25	130.49	-2.25	0.00* 0
MZPU	989	285.8	49.7	0	P	C	PN6	714	55.5	130.57	133.93	-3.36	0.00* 0
KLH	990	265.6	49.7	0	P	C	PN6	714	56.3	131.36	134.09	-2.74	0.00* 0
TEH	995	281.3	49.7	0	P	C	PN6	714	56.3	131.37	134.63	-3.26	0.00* 0
TEHA	995	281.3	49.7	0	P	C	PN6	714	56.9	131.96	134.64	-2.68	0.00* 0
LMD1	1169	229.9	49.7	0	P	C	PN6	715	21.2	156.28	156.23	0.05	0.00* 0

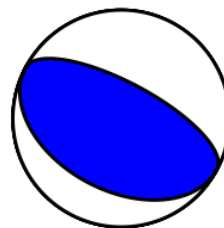
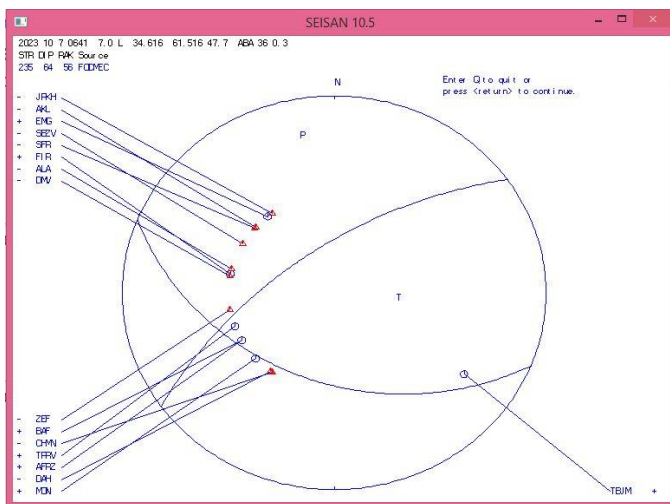
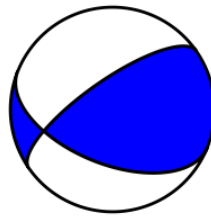
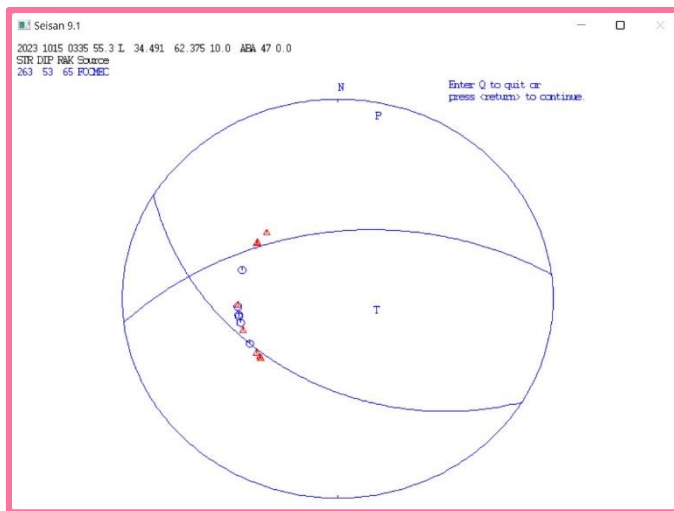
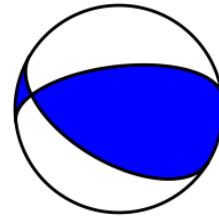
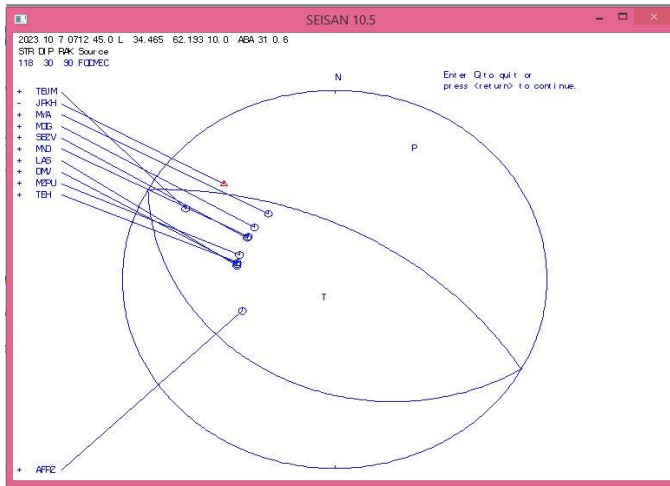
Return to continue, q to end listing

2023 10 7 0712 45.0 L 34.465 62.193 10.0 ABA 31 0.6

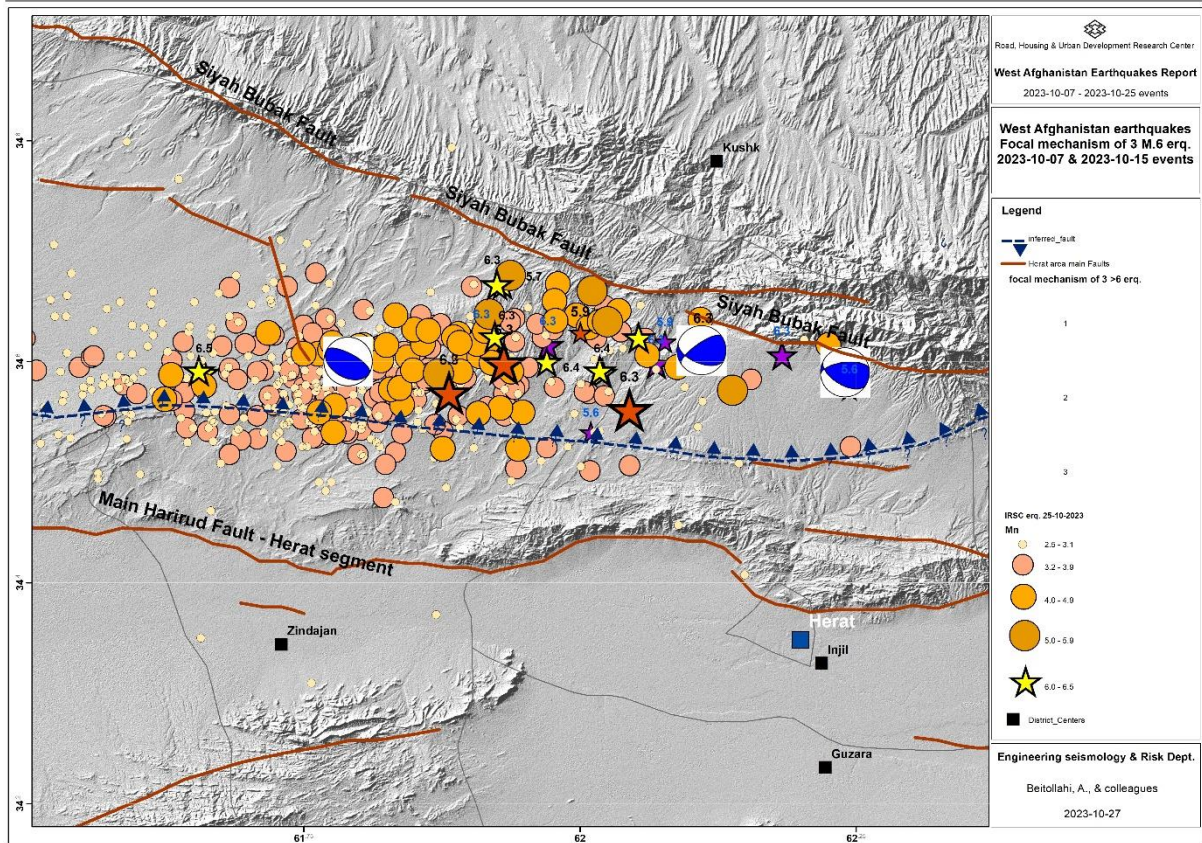
OLD: 10 7 0712 45.0 L 34.465 62.193 10.0 ABA 31 0.6

Return to continue
U to update

شکل ۲-۸- مشخصات زمین‌لرزه‌های هرات، کادر قرمز رنگ نام ایستگاه‌ها، کادر سبز رنگ پلاریته‌های موج P و کادر آبی رنگ مقدار RMS است.



شکل ۲-۹- حل سازوکار کانونی زمین لرزها به کمک الگوریتم focmec



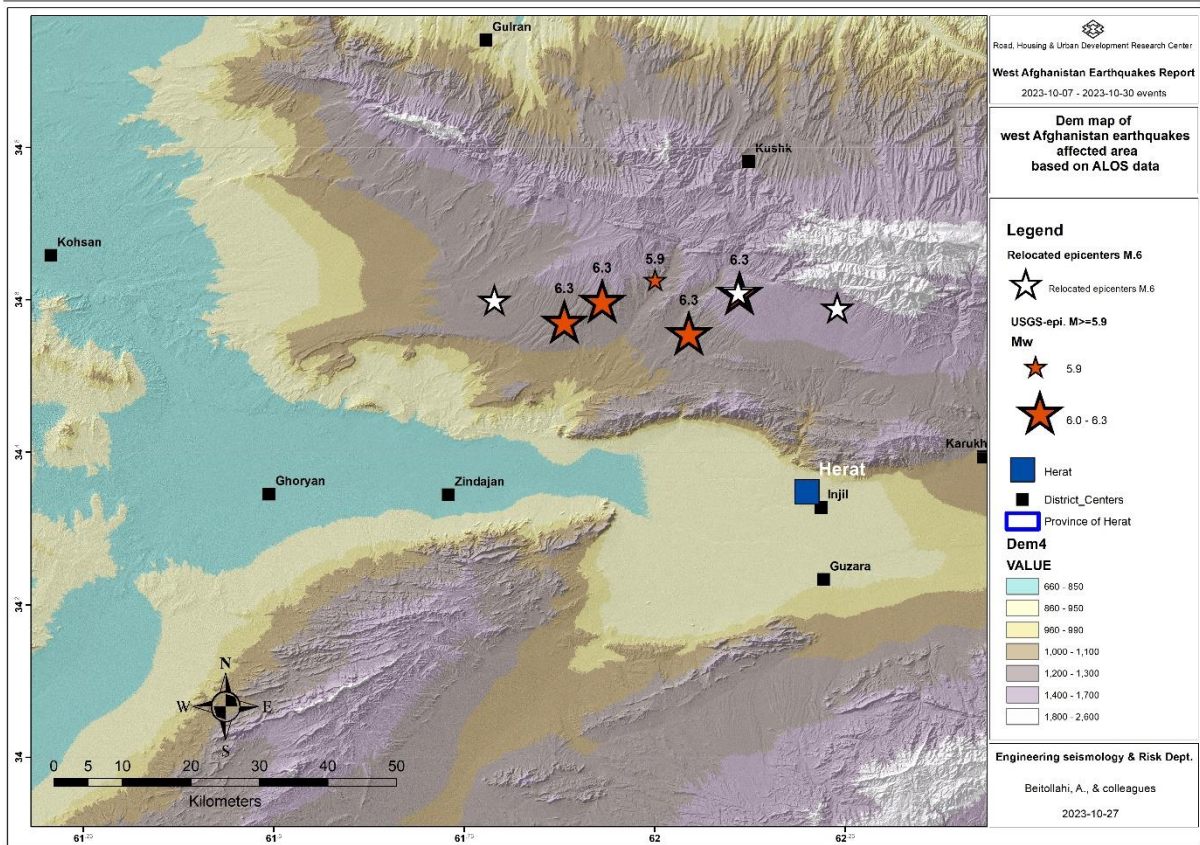
شکل ۲-۱۰- رومرکزهای بازمکانیابی شده و سازوکار آنها برای زلزله های با بزرگی ۶,۳ و ۶,۴

نکته مهم از بررسی سازوکار زلزله های رخ داده در غرب افغانستان این است که در گزارش ها و نقشه های موجود و در دسترس (گزارش و نقشه های USGS و کار مفصل Shnizai, 2020) سازوکارهای گسله های هرآت (هریرود غربی) در جنوب رومرکز زلزله ها و گسله سیاه بوبک در شمال محدوده رومرکزی، امتدادلغز معرفی شده است که با سازوکارهای زلزله های رخ داده در اکتبر ۲۰۲۳ محدوده هرآت سازگاری ندارد. با توجه به شواهد کافی برای راستالغز بودن گسله های مذکور، تصور اولیه بر این است که احتمالاً گسله دیگری با سازوکار راندگی در محدوده شمالی گسله هرآت قرار دارد. این امر در ادامه در این گزارش بیشتر و جزئی بررسی شده است.

۳- تکتونیک و گسله های محدوده و بررسی گسل مسبب زلزله های غرب افغانستان

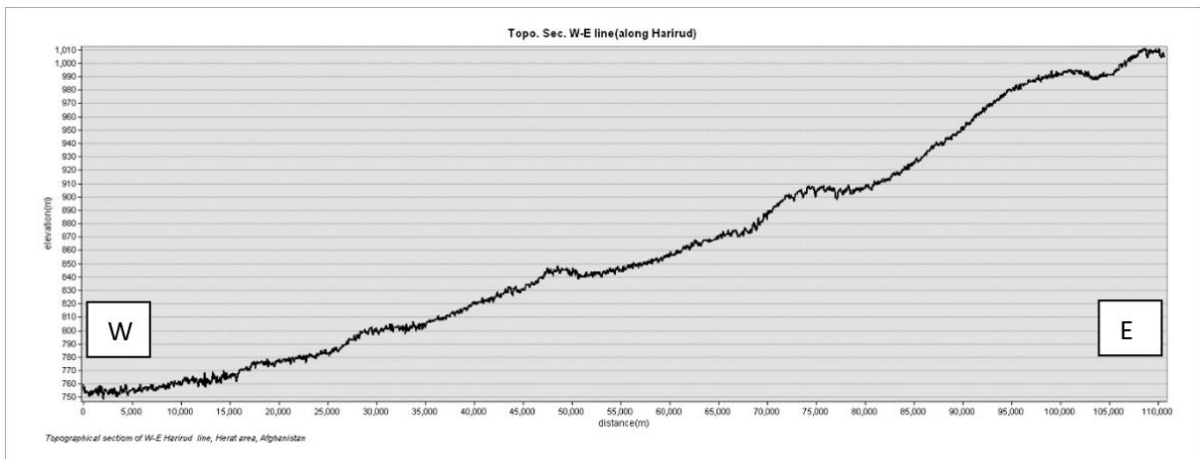
۳-۱- مورفولوژی محدوده

برمبنای داده های Alos، مدل ارتفاعی رقومی محدوده رخداد زلزله های غرب افغانستان به نقشه در آمد که در شکل ۱-۳ نشان داده شده است. ملاحظه می شود که مراکز ولسوالی های هرآت، انجیل، زنده جان و غوریان در نوار پست مسیر هریرود غربی واقع شده اند که به سوی شمال، مشرف بر ارتفاعات می باشد. همین عوارض در سوی جنوبی مسیر هریرود نیز قابل مشاهده است. مسیر جریان هریرود (حاشیه شمالی آن) گسلیده است و مسیر عبور گسل هریرود غربی (یا گسل هرآت) می باشد. این مسیر در واقع مسیر عبور سامانه گسلی است که خطوط با سازوکار نرمال و خطوط گسلی موازی با امتداد کلی شرقی - غربی را در بر می گیرد.



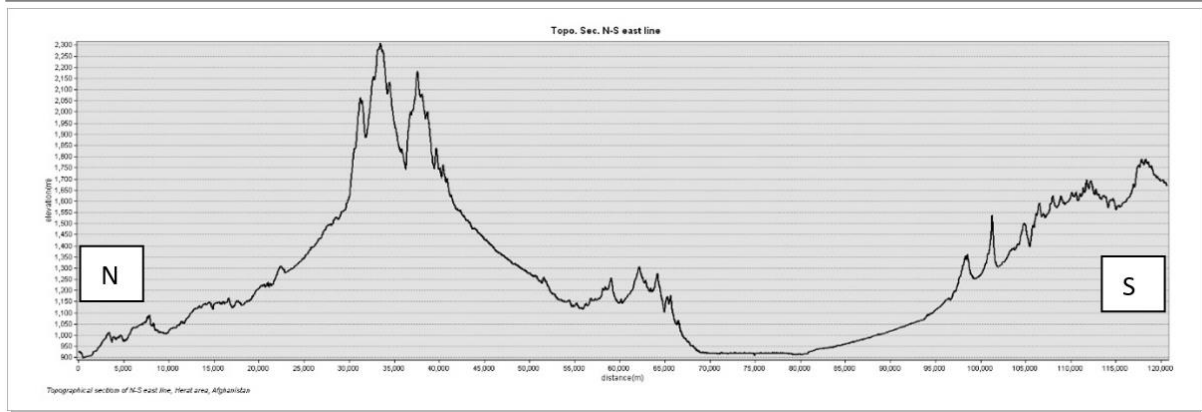
شکل ۳-۱- مدل ارتفاع رقومی محدوده هرات و مناطق رومرکزهای زلزله های غرب افغانستان

در شکل ۳-۲ در امتداد شرق به غرب (در امتداد هریرود) از روی DEM، مقطع ارتفاعی تهیه شده که نشان داده شده است ارتفاع از سوی شرقی به غرب کمتر و جهت شیب رو به غرب است (به دلیل یکسان نبودن مقیاس افقی و عمودی در شکل ۳-۲ ناهمواری سطح مقطع شیب های بیشتری را در شکل ارائه می دهد).

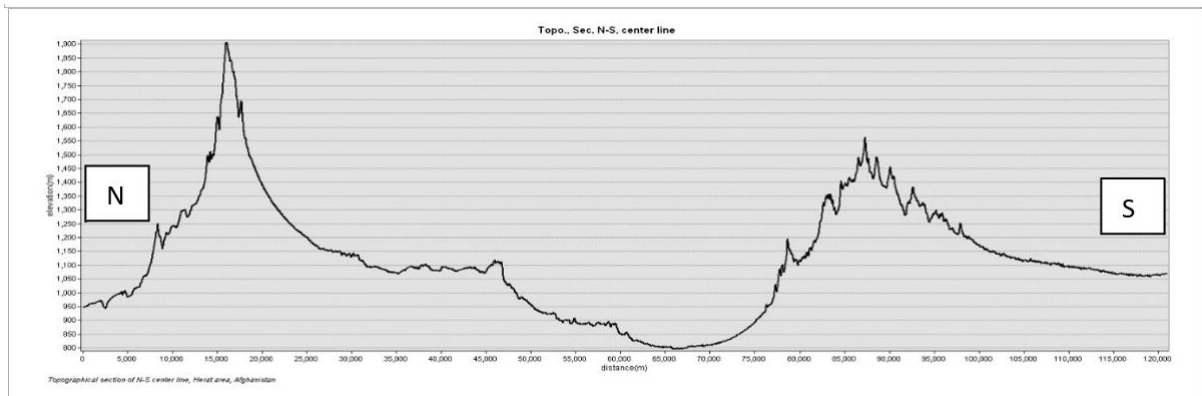


شکل ۳-۲- مقطع شرقی - غربی در راستای گسل هرات در محدوده پراکنش زلزله های اکتبر ۲۰۲۳ هرات

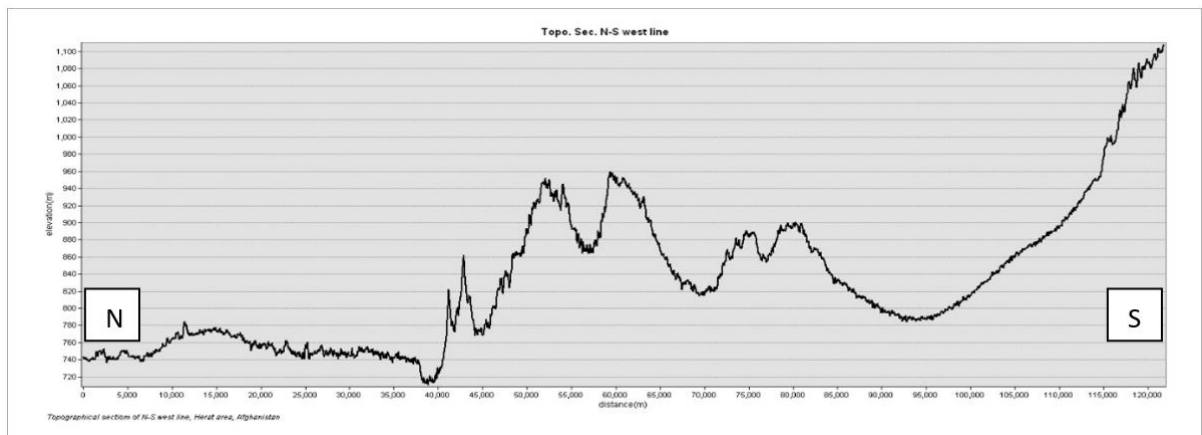
در شکل های ۳-۳، ۳-۴ و ۳-۵ مقاطع توپوگرافیکی از سوی شمال به جنوب (عمود بر امتداد گسل شرقی - غربی هرات) ارائه گردیده است که رفتار کما بیش مشابهی را دارند. محل افت ناگهانی ارتفاعی در هر سه مقطع، محل گذار گسله هرات در پایه ارتفاعات می باشد. پس از گذر از مسیر عبور هریرود بر ارتفاع سطح زمین افزوده می گردد.



شکل ۳-۳- مقطع ارتفاعی شمال به جنوب (حاشیه شرقی محدوده پراکنش زلزله های اکتبر ۲۰۲۳)



شکل ۳-۴- مقطع ارتفاعی شمال به جنوب (مسیر میانی محدوده پراکنش زلزله های اکتبر ۲۰۲۳)



شکل ۳-۵- مقطع ارتفاعی شمال به جنوب (حاشیه غربی محدوده پراکنش زلزله های اکتبر ۲۰۲۳)

مورفولوژی نشان داده شده در شکل ۳-۱ و مقاطع ارتفاعی محدوده اثر زلزله های غرب افغانستان، به وضوح نشان دهنده اثر ملموس تکتونیسیم پویای منطقه بر مورفولوژی است.

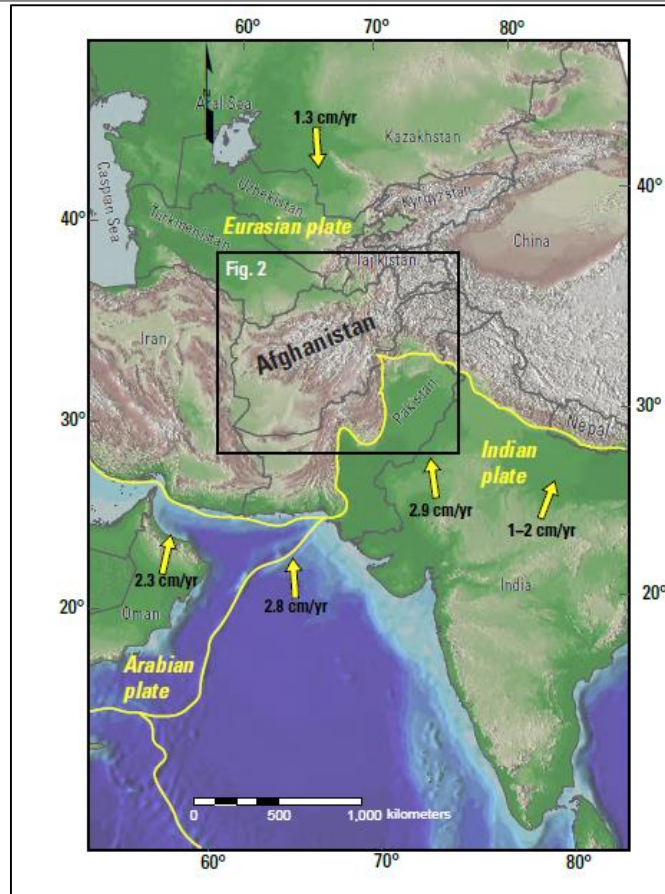
۳-۲- زمین شناسی و تکتونیک منطقه

به طور کلی کشور افغانستان در آسیای مرکزی و در کمربند کوهزایی فعال آلپ- هیمالیا قرار گرفته است که در اثر برخورد قاره ای بین صفحات هند و عربستان و اوراسیا در اواخر پالئوژن تاکنون بوجود آمده است (از ۵۶ میلیون سال تاکنون). این کشور در حاشیه جنوبی صفحه اوراسیا و در محل برخورد صفحه عربی در جنوب و صفحه هند در جنوب شرقی قرار دارد که به ترتیب در حدود ۳۰ و ۴۰ میلی متر در سال حرکت می کنند (Ambraseys and Melville, 1982)



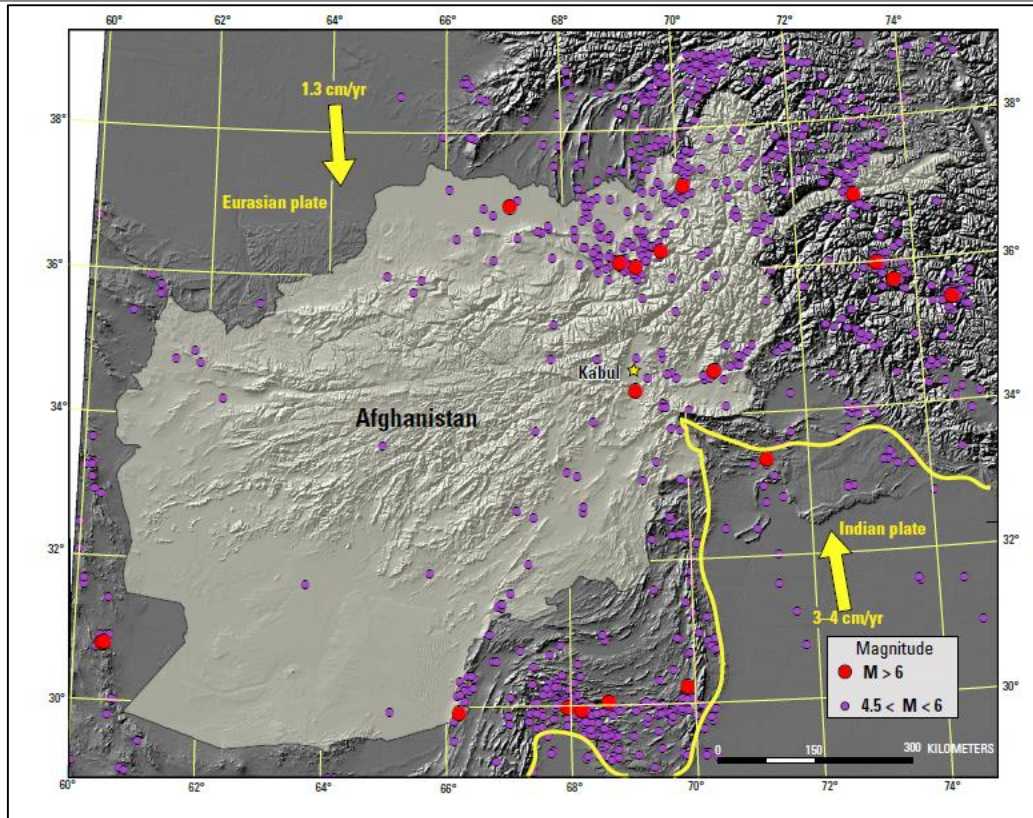
(شکل ۳-۶). سرعت برخورد صفحه عربی حدود ۲۲ میلیمتر بر سال در منطقه افغانستان است. سگمنت کمر بند کوهزایی آلپ-همیالیا که از ایران تا غرب و برمه تا شرق کشیده شده است، یکی از مناطق بسیار لرزه خیز دنیا به شمار می رود (Kolakov et al., 2002; Gupta, 1993). در این منطقه زمین لرزه های بزرگ و کم عمق رخ می دهند. برخی از زمین لرزه های عمیق نیز در زون پامیر-هندوکش با مکانسیم از نوع منطقه فرورانشی نیز رخ داده اند. ولمن (۱۹۶۶) الگوهای فعال گسلی ایران، افغانستان و پاکستان را از روی موزائیک های عکس های هوایی به نقشه درآورد و این گسل ها را به انواع فعال و غیرفعال تقسیم بندی نمود. عبدالله (۱۹۸۱) گزارش بررسی های ژئوفیزیکی و زمین شناسی افغانستان را که در سال های ۱۹۷۲-۱۹۷۹ انجام شد، منتشر نمود. همراه این گزارش، نقشه تکتونیکی افغانستان و گسل های مهم پیرامون آن و پهنه بندی خطر نیز منتشر شد و در سال ۱۹۸۴ کمیسیون نقشه زمین شناسی یونسکو (۱۹۸۴) نقشه سائزمو تکتونیک ایران، افغانستان و پاکستان را تهیه کرد و عبدالله (۱۹۹۳) نقشه اولیه پهنه بندی خطر را مورد بازبینی قرار داد. کشور افغانستان از نظر تکتونیکی دارای پیچیدگی های زیادی است. در اثر فرآیندهای تکتونیکی اخیر در منطقه، پتانسیل وقوع زمین لرزه های مخرب بزرگ تا متوسط در منطقه وجود دارد (شکل ۳-۷). علاوه بر وقوع این زمین لرزه ها، در این کشور پدیده هایی نظیر روان گرایی و زمین لغزش هم رخ می دهد. زمین لرزه مخرب ۱۸ اکتبر ۲۰۰۵ با بزرگی ۷/۶ کشمیر در نزدیکی شمال پاکستان رخ داد (Harp and Crone, 2006).

منطقه افغانستان از مجموعه ای از زون های تکتونیکی مجزا تشکیل شده است که هر زون ویژگی های متمایزی دارد (Siehl, 2015). مرز این زون ها عمدتاً توسط گسل مشخص می شود. محققان مختلفی پهنه های مختلفی را برای افغانستان تعیین و نام گذاری نموده اند (Siehl, 2015; Treloar and Izatt, 1993). خشکی افغانستان به عنوان پایدارترین بخش دماغه صفحه اوراسیا به عرض ۶۰۰-۹۰۰ کیلومتر به سمت جنوب حرکت می کند (Wheeler et al., 2005) (شکل ۳-۷ و ۳-۸). صفحه هند امروزی در شرق و شمال شرق به سمت شمال زیر اوراسیا فرو می رود و ارتفاعات غربی همیالیا را ایجاد نموده است و در غرب صفحه عربستان حرکتی مشابه دارد که ارتفاعات زاگرس و سایر کوه های ایران را بوجود آورده است. همه زون های تغییرشکلی که لبه دماغه اوراسیا را تشکیل می دهند- که افغانستان بر روی آن قرار دارد- از نظر لرزه های فعال هستند و شامل کمر بند های گسلی امتداد لغز (گسل چمن در شرق، زمین درز سیستان در غرب) و مجموعه های رانشی می شوند. بر خلاف زون های تغییرشکل جانبی در دو طرف، قسمت داخلی غرب و مرکز افغانستان از فعالیت کمتری برخوردار است. در مقابل، منطقه شمال شرقی افغانستان در استان بدخشان در ۱۵۰ سال گذشته، رخداد های لرزه ای بیش از ۷ تا ۸ ریشتر را با گسیختگی های سطحی قابل توجه تجربه نموده است (Wheeler and Rukstales, 2007; Shroder et al., 2011a). این منطقه در زیر کوه های هندوکش مرتفع و در زیر کوه های پامیر به سمت شمال شرقی تاجیکستان امتداد می یابد، دارای ابعادی به ضخامت ۳۰ کیلومتر و طول ۷۰۰ کیلومتر است (Pegler and Das, 1998).



شکل ۳-۶- موقعیت تکتونیکی کشور افغانستان در بخش میانی رشته کوه های آلپ- هیمالیا در آسیای مرکزی. بردارها جهت و سرعت حرکت صفحات عربستان-هند و اوراسیا را نشان می دهند (خطوط زرد مرز صفحات تکتونیکی هستند) (Sella et al., (2002), Vernant et al, (2004), Bird (2003), Jade (2004)

در حال حاضر، افغانستان به عنوان پیچیده ترین و متنوع ترین زمین شناسی و ساختار سنگ بستر در جهان شناخته می شود و دارای ترکیبی از زمین های عجیب است که هر کدام با سنگ شناسی های مختلف، چینه نگاری های زیستی و توده های مختلف از مکان های مختلف ترکیب شده اند (Bohannon, 2010) و شامل مجموعه کاملی از سنگ های آرکن و پروتروزویک تا کواترنر است که این مساله به پیچیدگی آن افزوده است. کوهزایی های افغانستان در دوره های فانروزویک به خوبی شناخته شده است، اما در پرکامبرین کمتر شناخته شده است. تکامل صفحه زمین ساختی افغانستان در فانروزویک سه استان لرزه زمین ساختی اصلی را ایجاد نموده است که شامل (۱) پلاتفرم شمال افغانستان (۲) زمین های برافراشته و مرتفع متشکل از قطعات پوسته و قوس های آتشفشانی و (۳) مرز صفحه فشاری بین صفحات اوراسیا و هند است.



شکل ۳-۷- زمین لرزه های تاریخی کم عمق (کمتر از ۳۵ کیلومتر) در منطقه افغانستان و مناطق مجاور (Dewey, 2006). بردارهای زرد جهت و نرخ نسبی حرکت صفحات بین اوراسیا و هند را نشان می دهد (Sella et al., 2002; Bird, 2003). مرز صفحات تکتونیکی با خطوط زرد مشخص شده اند. حرکت رو به شمال صفحه هند به زیر صفحه اوراسیا با نرخ تقریبی ۳ تا ۴ سانتی متر در سال باعث ایجاد این گسل های فعال و لرزه خیزی منطقه شده است. این همگرایی و برخورد قاره ای باعث برپایی کوه های هیمالیا، هندوکش و پامیر شده است.

منطقه تحت تاثیر زلزله های غرب افغانستان، در پهنه تکتونیکی سیستم گسلی هریرود غربی قرار دارد. در این پهنه حرکات راستالغز راستگرد در امتداد بخش های مرکزی و شرقی گسل هریرود، یک منطقه برشی راستگرد با امتداد شمالی جنوبی را که همراه با سیستم گسلی اصلی زمین درز سیستم است را قطع می کند. بخش غربی سیستم گسلی هریرود به وسیله یک انحراف ناگهانی به سمت جنوب غرب در دره هریرود مشخص می شود. این انحراف به سمت جنوب غرب ممکن است با یک پله چپ گرد، فشاری در سیستم گسلی راستالغز راست گرد هریرود منطبق شده باشد. تغییرشکل های گسترده ای همراه با بالآمدگی و حرکات قائم در این منطقه دیده می شود. در این منطقه سیستم گسلی هریرود به دو شاخه تقسیم می شود، (۱) شاخه شمال غربی، که از سنگ بستر و مجموعه حوضه های شمال هرات عبور می کند، سنگ ها در این منطقه به سن میوسن و اواخر پلیستوسن هستند که تغییرشکل های اواخر سنوزئیک و کواترنری را که تاکنون ادامه دارد، نشان می دهند. به سمت غرب این گسل با گسل راستالغز چپگرد درونه و سیستم راندگی جنگل^۳ در شرق ایران یکی می شود. (۲) بخش غربی که به سمت غرب گسترش دارد، و حاشیه شمالی دره رودخانه هریرود در نزدیکی هرات است، تغییرشکل های پراکنده در رسوبات کواترنری در مجاورت گسل دیده می شود.

توپوگرافی متفاوت در بخش های غربی و جنوب غربی هرات نسبت به بخش های شرقی و مرکزی سیستم گسلی هریرود بیانگر الگوی تکتونیکی متفاوت در این مناطق است. توپوگرافی پشته و حوضه در بخش غربی منطقه نشان دهنده

³ the Jangal thrust system

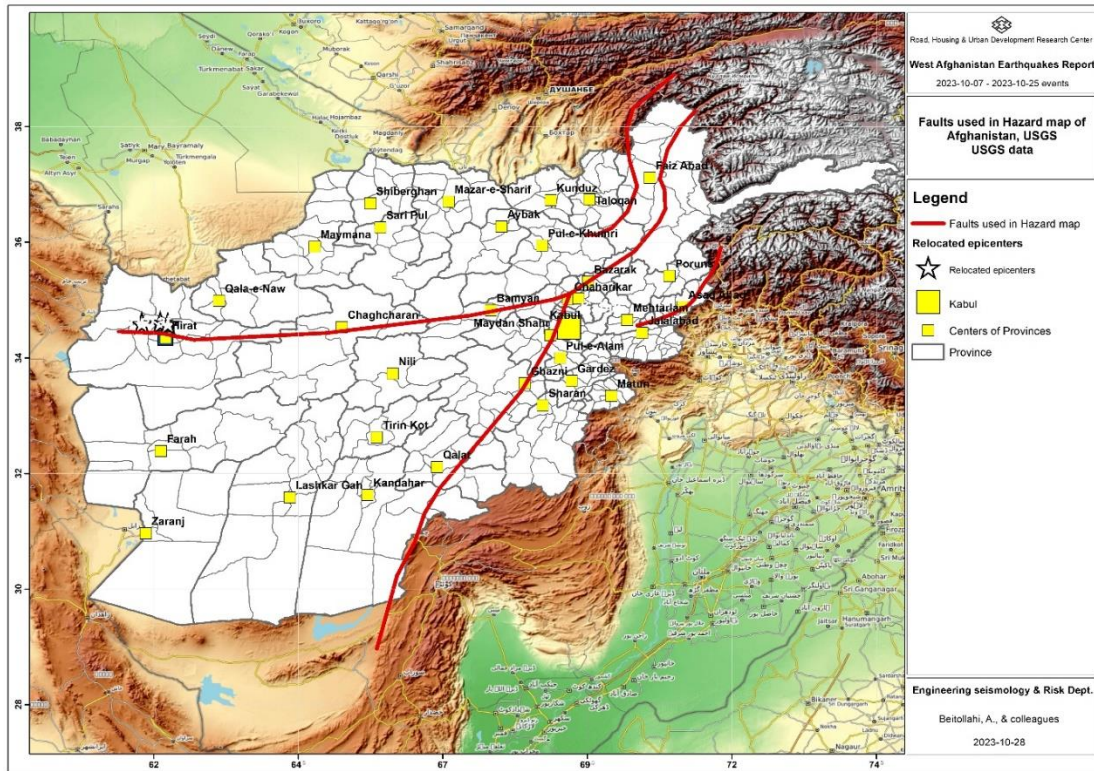


نیروهای تکتونیکی کششی در این بخش از منطقه است. در غرب هرات، بخش غربی سیستم گسلی هریرود در نزدیکی حاشیه شمالی حوضه ای به وسعت تقریبی ۵۰ کیلومتر پایان می یابد.

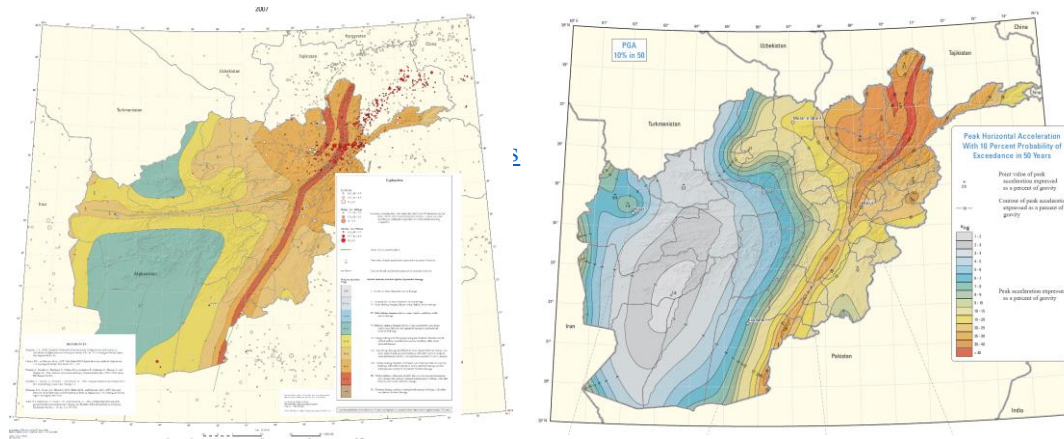
۳-۳- نقشه پهنه بندی خطر زلزله در افغانستان و بررسی محدوده های رخداد زلزله های اکتبر ۲۰۲۳ غرب افغانستان در آن

خطر زلزله و لرزه خیزی افغانستان همانطور که ذکر گردید حاصل حرکات رو به شمال صفحه عربی در بخش باختری افغانستان با نرخ حدوداً ۳۳ میلی متر در سال و حرکت رو به شمال صفحه هند با نرخ بیش از ۳۹ میلی متر در سال در بخش شرقی افغانستان است. حاصل این حرکات، فرورانش صفحات عربی و هند به زیر پلایت افغانستان و اوراسیا است. همزمان با حرکت رو به شمال صفحه هند نسبت به بلوک افغان یک زمین درز ترافشارش چپگرد در مرز بین صفحات هند و افغان با شواهدی از مقادیر بالای کوتاه شدگی به وجود آمد است. این مرز برخوردی در جنوب و شرق افغانستان صدها کیلومتر پهنای دارد. وجود گسل های فعال متعدد در جنوب افغانستان با نرخ لغزش بالا، سبب رخداد زمین لرزه ها در بخش شرقی و جنوب شرقی افغانستان در زمین درز ترافشارش پهنای فوق شده است.

USGS بر مبنای امتداد دو سامانه گسلی اصلی افغانستان و نیز شاخه های جانبی آن در گزارش خود نقشه گسله های اصلی افغانستان را ارائه کرده است که این گسله ها در نقشه کلی کشور افغانستان در شکل ۳-۸ نشان داده شده است. تحلیل خطر زلزله با توجه به امتداد دو سامانه گسلی ارائه شده در شکل ۳-۸ و زمین لرزه های رخ داده تاریخی و دستگامی محاسبه و در شکل ۳-۹ برای دو سطح خطر ۲٪ در ۵۰ سال (شکل سمت چپ) و ۱۰٪ در ۵۰ سال (شکل سمت راست) ارائه شده است. نکته مهم در نقشه خطر زلزله برای دوره بازگشت ۴۷۵ ساله (شکل سمت راست) عدم مشاهده تاثیر محسوس جنبائی سامانه گسلی هریرود و به ویژه در محدوده رخداد زلزله های اکتبر ۲۰۲۳ غرب افغانستان است (شکل راست). برای دوره بازگشت طولانی تر (۲۴۷۵ ساله) اثر سامانه گسلی هریرود بر تحلیل خطر زلزله ملموس تر و قابل مشاهده شده است (شکل سمت چپ). این امر معرف نادیده انگاری خطر بالقوه گسله های غرب افغانستان است و با رخداد زلزله های اخیر ضرورت بازنگری در نقشه های خطر زلزله افغانستان احساس می شود.



شکل ۳-۸- دو سامانه عمده گسلی افغانستان (گزارش USGS)



شکل ۳-۹- نقشه های خطر زلزله برای دوره های بازگشت ۴۷۵ ساله (راست) و ۲۴۷۵ ساله (چپ)، USGS

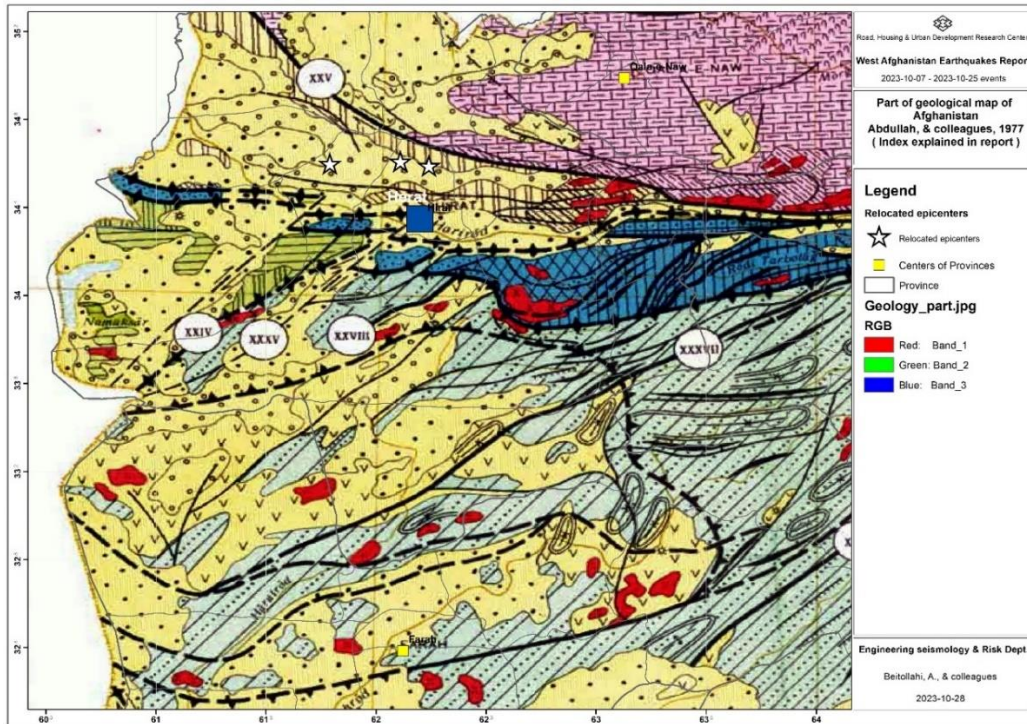
۳-۴- گسله های محدوده هرات و اطراف آن

با هدف شناسایی دقیق تر گسل مسبب زلزله های هرات، ضرورت دارد تا کلیاتی از گسله های محدوده مورد ارزیابی قرار گیرد. یکی از مهم ترین مراجع قابل اتکا در شناسایی گسله های افغانستان و از جمله ولسوالی های آسیب دیده از زلزله های ۲۰۲۳-۱۰-۰۷-۲۰۲۳-۱۰-۳۰، نقشه زمین شناسی سال ۱۹۷۷ کشور افغانستان است (عبدالله و چمبرلیف، ۱۹۷۷). بخشی از این نقشه در شکل ۳-۱۰ نشان داده شده است.

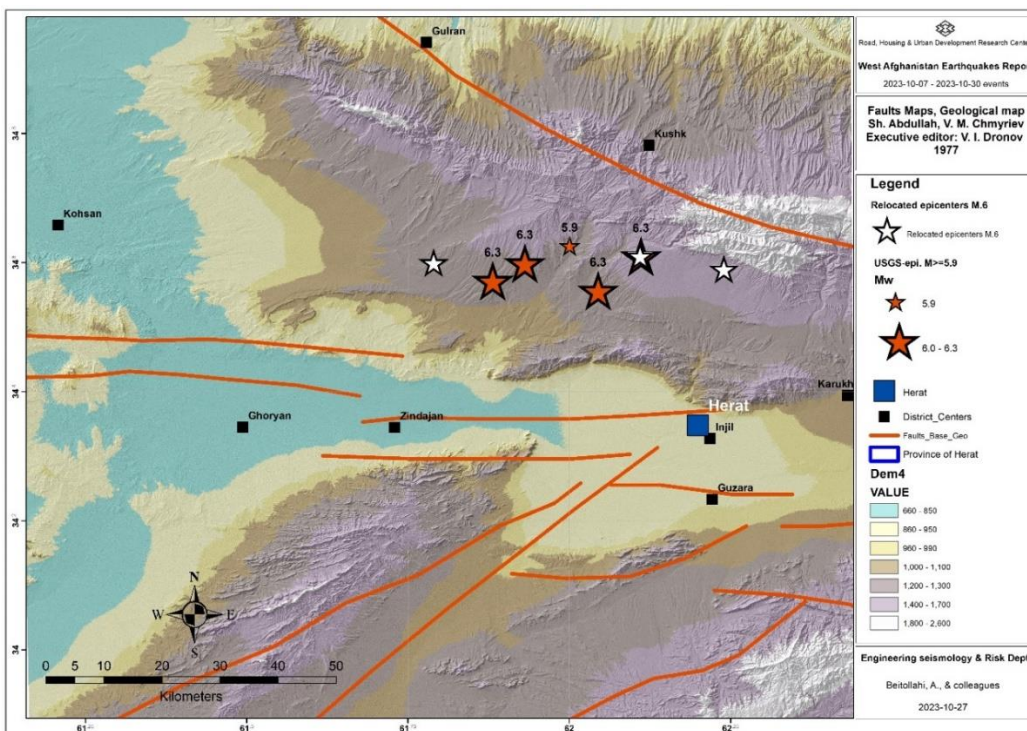
گسله های به نقشه در آمده در نقشه ۱۹۷۷، در محدوده هرات، رقومی گردیده و در شکل ۳-۱۱ نشان داده شده است (به دلیل کوچک مقیاس بودن نقشه، خطای ژئورفرنس در نقشه های رقومی گسله ها وجود دارد).

گسله سیاه بوبک در راستای شمال غربی - جنوب شرق در شمال محدوده پراکنش زلزله های اکتبر ۲۰۲۳ هرات امتداد

دارد که شامل سگمنت های مختلفی است. در خصوص توان لرزه زائی این گسله، با توجه به کمبود زلزله های دستگاهی واقع در مجاورت آن، اطلاعات کاملی در دست نمی باشد. در شکل ۳-۱۱، همچنین سامانه گسلی هریرود غربی نمایش داده شده است که در بخش های جنوبی با گسله های دیگر مجاور است. این سامانه همانطور که در شکل نیز قابل مشاهده است از سگمنت های متعددی تشکیل شده است که در واقع مرز بین دو زون شمالی و جنوبی تکتونیکی اصلی افغانستان را تشکیل می دهد.

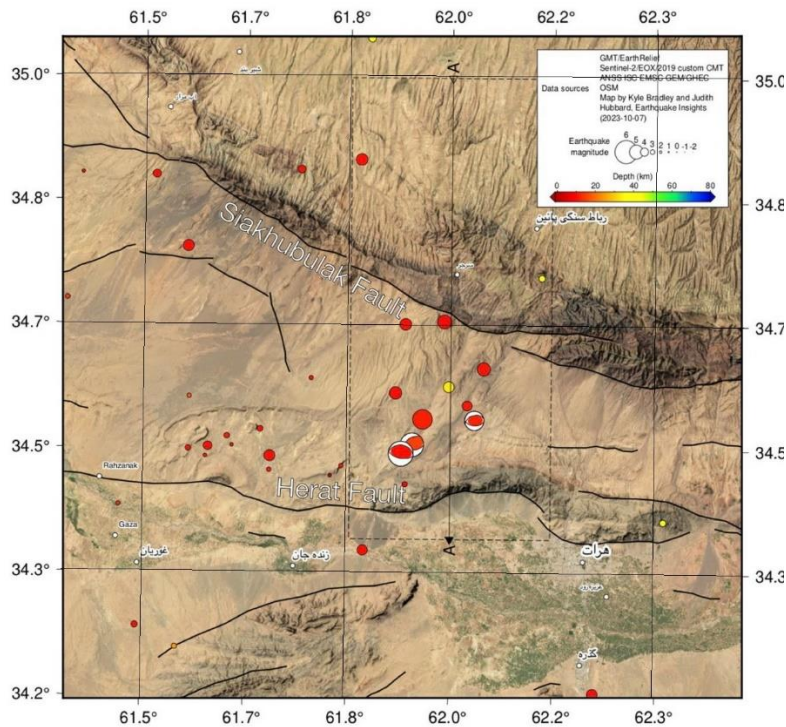


شکل ۳-۱۰ - قسمت غرب نقشه زمین شناسی افغانستان (عبدالله و همکاران، ۱۹۷۷)



شکل ۳-۱۱ - نقشه رومی شده گسله های محدوده هرات بر اساس نقشه زمین شناسی افغانستان (عبدالله و همکاران، ۱۹۷۷)

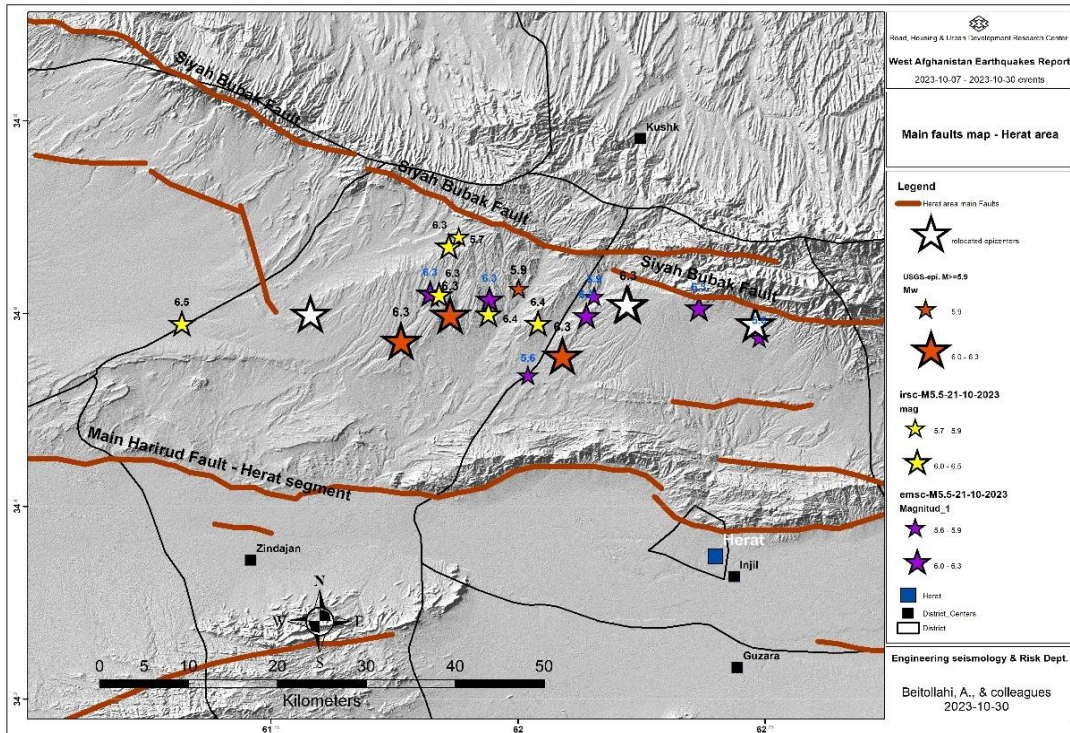
براساس J. Hubbard و K. Bradley (Earthquake Insights,2023) نقشه ساده شده گسله های محدوده ارائه شده است که در گزارش حاضر نیز از آن استفاده شده است (نام گسله سیاه بوبک در نقشه اشتباه درج شده است). در این نقشه نیز دو سامانه گسل متمایل، محدوده های شمالی و جنوبی پهنه پراکنش زلزله های اکتبر ۲۰۲۳ را احاطه کرده است (شکل ۳-۱۲).



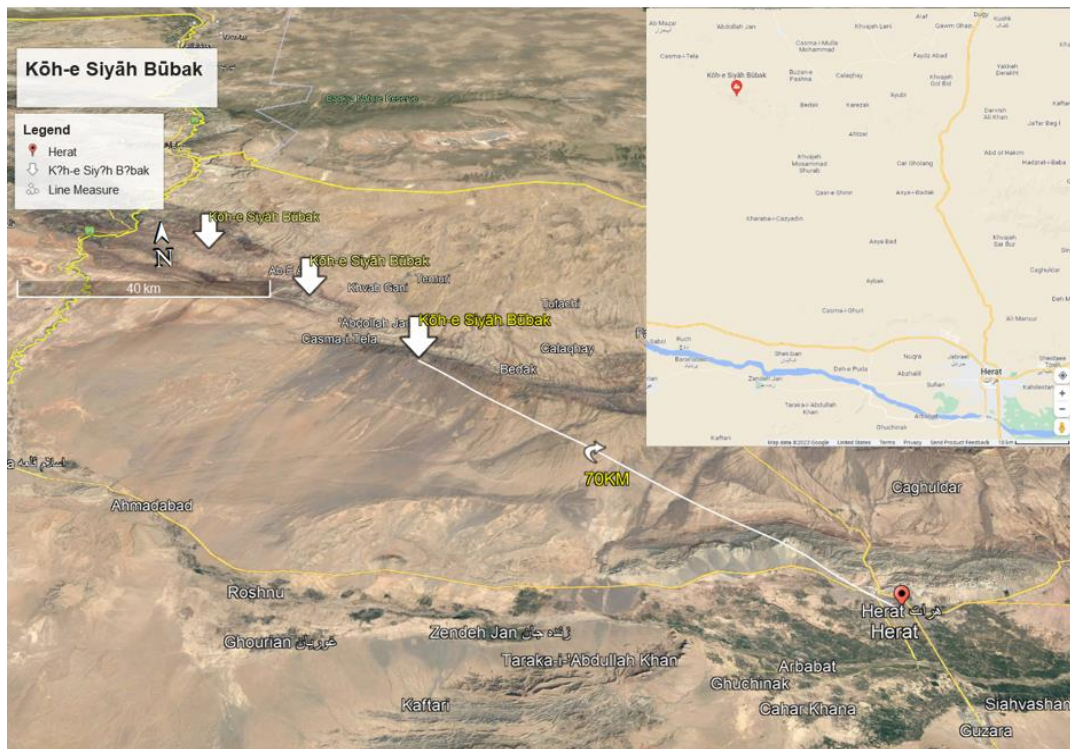
شکل ۳-۱۲- نقشه گسله های محدوده هرات و اطراف آن (J. Hubbard و K. Bradley,2023)

نقشه ۳-۱۲ پس از ژئورفرنس و رقومی شدن در شکل ۳-۱۳ همراه با رومرکز زلزله های اصلی غرب افغانستان نشان داده شده است. موقعیت گسل سیاه بوبک در شمال منطقه در راستای شمال غربی - جنوب شرقی در شکل ۳-۱۳ نشان داده شده است. نام سیاه بوبک، نام ارتفاعات در بخش شمال غربی ولایت هرات می باشد که در شکل ۳-۱۴ موقعیت ارتفاعات سیاه بوبک نیز نشان داده شده است. با برهم نهی موقعیت گسله های شکل ۳-۱۲ با نقشه پایه hill shade منطقه، همخوانی راستای گسله ها با عوارض مورفولوژیکی در غرب هرات قابل مشاهده است.

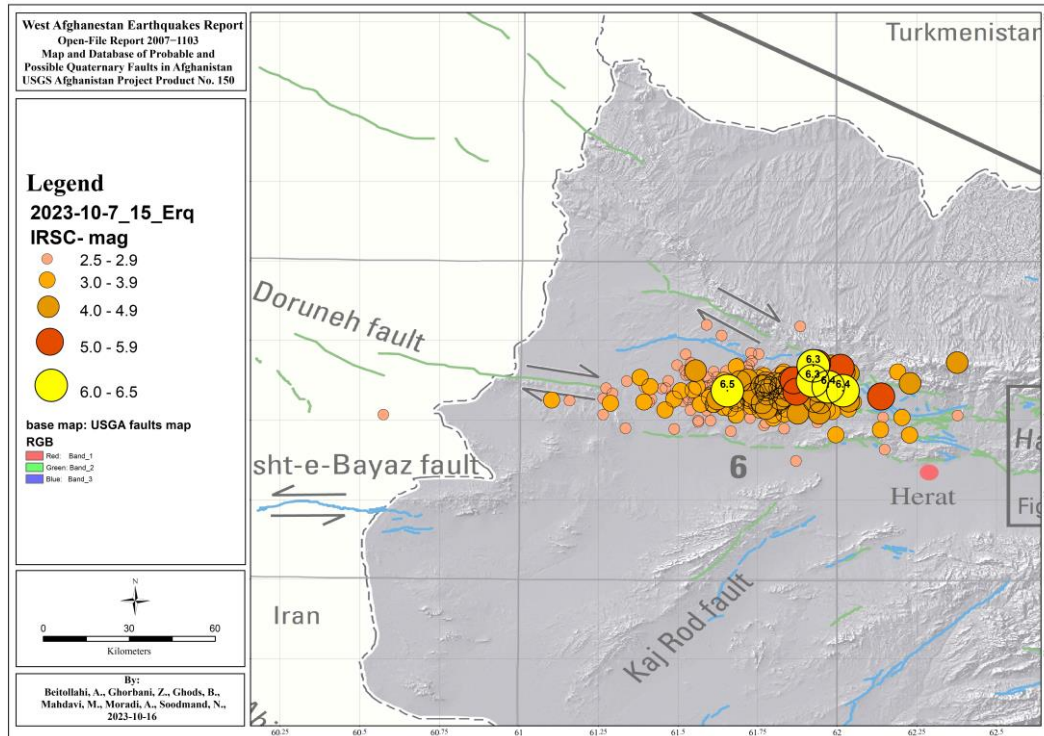
در مورد سازوکار گسله ها نشان داده شده در این نقشه، براساس کار Shnizai (۲۰۲۰) و نیز گزارش USGS هر دو گسله امتدادلغز معرفی شده است. رومرکز زلزله های رخ داده در بازه زمانی ۰۷-۲۰۲۳-۱۰-۳۰ تا اکتبر ۲۰۲۳ در بین گسله های سیاه بوبک در شمال و هرات در جنوب، پراکندگی دارد. همانطور که گفته شد بر مبنای سازوکار ارائه شده توسط مراجع جهانی گزارش زلزله (USGS, EMSC, GFZ)، گسل مسبب زلزله های اصلی باید دارای سازوکار راندگی باشد در حالی که گسله های نشان داده شده در نقشه ۳-۱۳ امتدادلغز معرفی شده اند (شکل ۳-۱۵).



شکل ۳-۱۳- گسله های اصلی محدوده اطراف هرات و رومرکزهای زلزله های اکتبر ۲۰۲۳ هرات



شکل ۳-۱۴- موقعیت ارتفاعات سیاه بوبک که نام گسله سیاه بوبک در شمال پهنه توزیع زلزله های هرات از آن اتخاذ گردیده است.



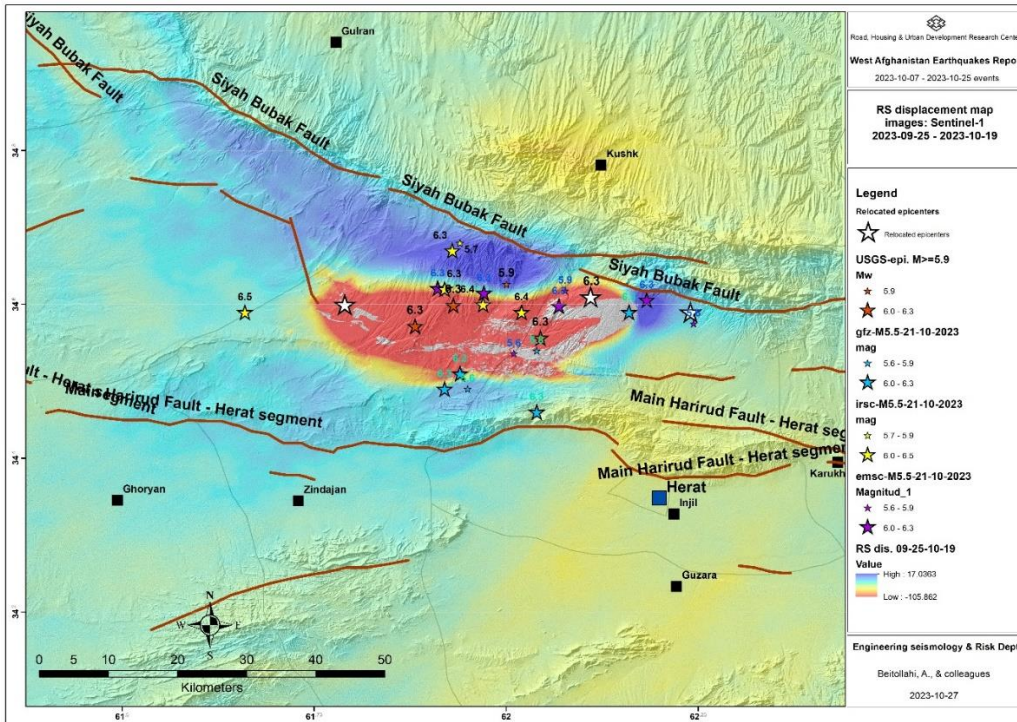
شکل ۳-۱۵- محدوده رخداد زلزله های هرات و گسله های معرفی شده توسط USGS، پروژه شماره ۱۵۰

با توجه به عدم همخوانی سازوکار گسله های شناخته شده محدود با سازوکار زلزله های بزرگتر از ۶ هرات (اکتبر ۲۰۲۳)، با هدف تدقیق موقعیت گسلی، مطالعات دورسنجی بر مبنای تصاویر سنتینل ۱- در دو مرحله انجام گرفت. هدف این بود که جابجائی ناشی از زلزله های بالای ۵٫۵ در محدوده هرات، مد نظر قرار گیرد. تصاویر بازه زمانی ۲۵-۰۹-۲۰۲۳ تا ۱۹-۱۰-۲۰۲۳ مورد استفاده قرار گرفت که از نظر زمانی پوشش مناسبی برای تعداد بیشتر زلزله های بالای ۵٫۵ (با فرض توان جابجائی سطحی آنها) در میان رخدادهای لرزه ای متناوب غرب افغانستان می دهد.

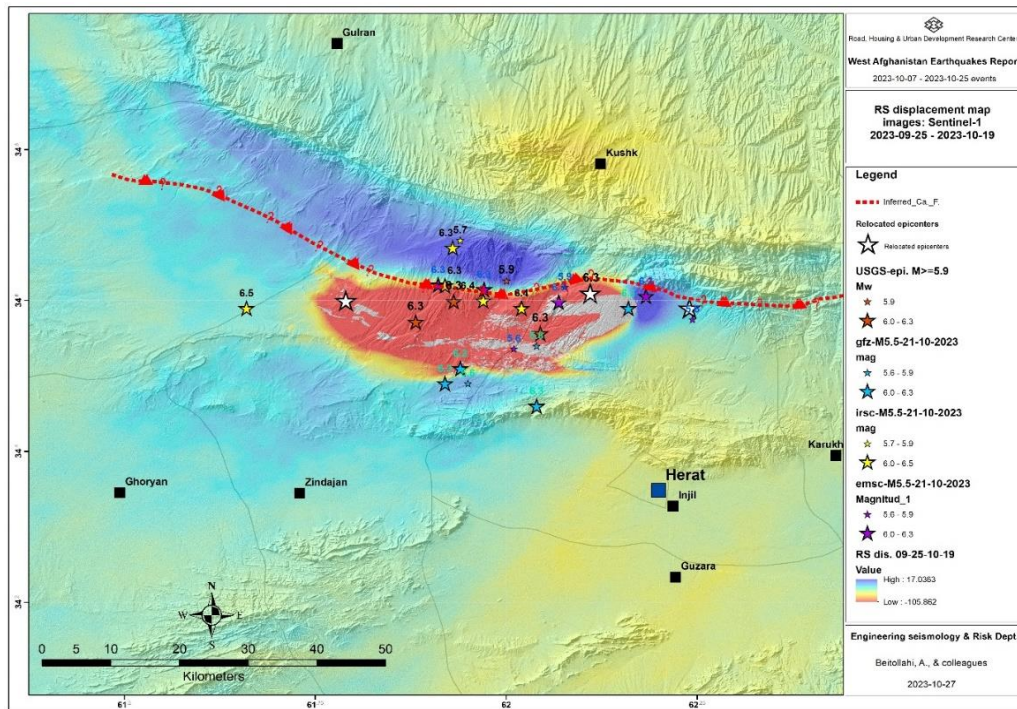
نتایج دورسنجی در شکل ۳-۱۶ نشان داده شده است که از روی میزان جابجائی می توان حدس دقیقتری در مورد مسیر عبوری گسل مسبب (یا گسل های مسبب) زلزله های هرات به عمل آورد. زون جابجائی دورشونده از ماهواره به رنگ قرمز (علامت مقادیر جابجائی منفی) و زون نزدیک شونده به ماهواره به رنگ آبی (علامت جابجائی مثبت) نشان داده شده است.

تحلیل جابجائی ناشی از پردازش های دورسنجی برای پهنه با جابجائی منفی (زون با رنگ قرمز) در سازوکار گسله راندگی، معرف قسمت Foot wall و بخش بالآمده به رنگ آبی معرف قسمت Hanging wall می باشد. این تحلیل در واقع معرف گسلی با شیب به شمال (اندکی میل به شرق) است، به این دلیل که بخش بالآمده، در شمال محدوده جابجائی واقع شده است.

بر اساس تصاویر دورسنجی، سازوکار راندگی توجیه می شود، همچنین موقعیت عبوری گسله در محدوده مرزی بین دو پهنه قرمز و آبی رنگ حدس زده می شود. این گسله حدسی از ۵ کیلومتری شمال روستای نائب رفیع، ۳ کیلومتری شمال روستای آسیاباد، ۷ کیلومتری جنوب روستای سه آب، ۴٫۵ کیلومتری قریه وردک ها (کرنیل) و از مجاورت روستای خواجه سربور عبور می کند (شکل ۳-۱۷). ما این گسله را در این گزارش، به نام گسله نائب رفیع نامگذاری کرده ایم.

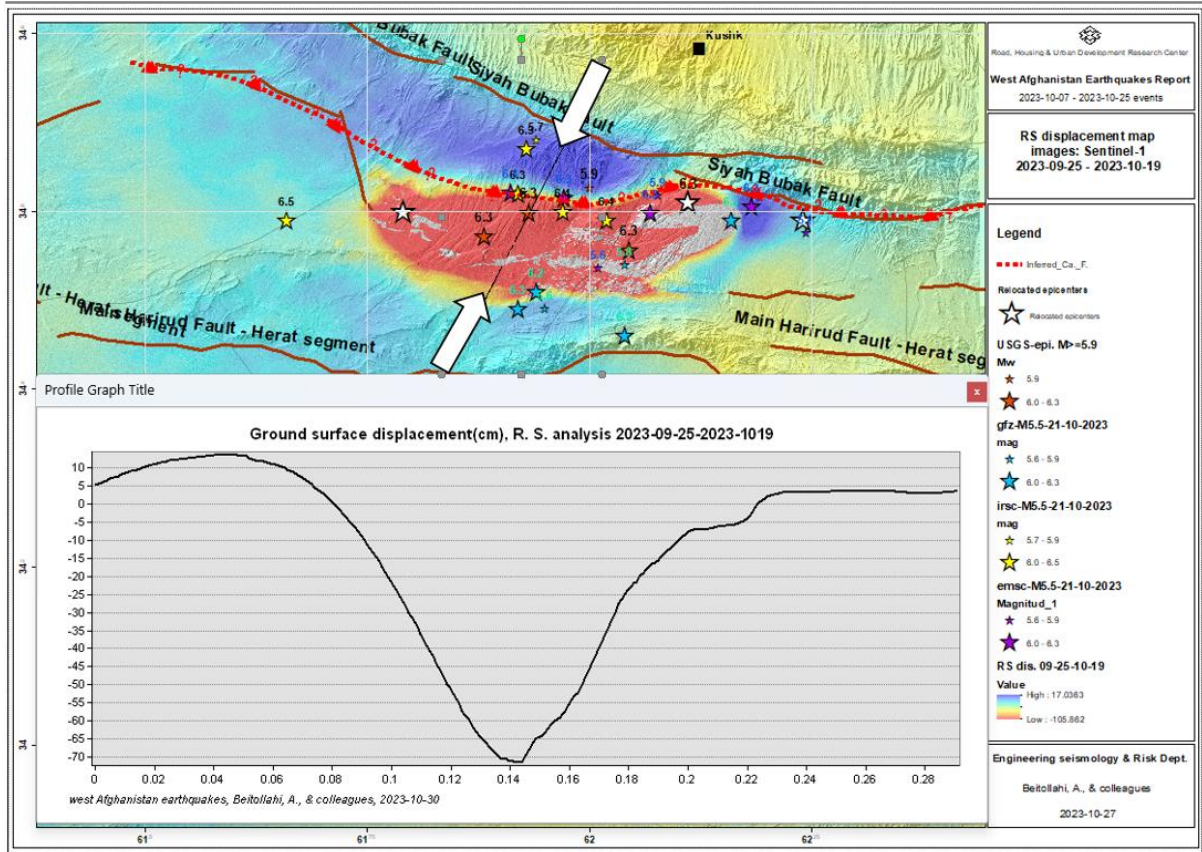


شکل ۳-۱۶- نقشه جابجائی سطح زمین در رخداد زلزله های بازه زمانی ۲۰۲۳-۱۰-۰۷ - ۲۰۲۳-۱۰-۳۰ - ۱۹-هرات



شکل ۳-۱۷- نقشه موقعیت گسل استنباطی مسبب زلزله های هرات (رخدادهای ۲۰۲۳-۱۰-۰۷ - ۲۰۲۳-۱۰-۳۰)

در شکل ۳-۱۸ سازوکار گسله مسبب زلزله های هرات (گسل نائب رفیع) همراه با مقطع جابجائی سطح زمین نشان داده شده است. حداکثر جابجائی در امتداد مقطع رسم شده ۷۰ سانتی متر (پائین رونده) و ۱۵ سانتی متر (بالا آمدگی) می باشد. در برخی از نقاط نقشه جابجائی بیشینه با علامت منفی به ۱۰۰ سانتی متر نیز می رسد. این جابجائی حاصل عملکرد و اثر کلیه زلزله های رخ داده در بازه زمانی ۲۰۲۳-۱۰-۰۷ تا ۲۰۲۳-۱۰-۱۹ می باشد که جابجائی عمده ای را نشان می دهد.



شکل ۳-۱۸- مقطع جابجائی در راستای پروفیل عمود بر گسل احتمالی مسبب زلزله های غرب افغانستان

۴- نتیجه گیری و پیشنهاد

رخداد زلزله های متوالی و تاثیرگذار هرات در اکتبر ۲۰۲۳ که احتمالاً پس لرزه های آن تا چند ماه آینده نیز ادامه خواهد داشت و ارزیابی ها و بررسی های آن ها از دیدگاه کارشناسی، چند نکته مهم به عنوان نتایج داشت:

- وجود سازوکار راندگی در بین دو گسله سیاه بوبک در شمال و هرات (هریرود غربی) در جنوب ناحیه پخش زمین لرزه های ۲۰۲۳-۱۰-۰۷ - ۲۰۲۳-۱۰-۳۰ - ۲۰۲۳-۱۰-۳۰، که این مکانیسم در نقشه های موجود تکتونیکی افغانستان تعیین محل نشده بود.

- فعال بودن محدوده هرات از نظر لرزه خیزی

براساس دو نکته مهم مذکور، پیشنهاد می نماید نقشه تحلیل خطر زلزله برای دوره بازگشت ۴۷۵ ساله کشور افغانستان مورد بازنگری قرار گیرد و اثر فعالیت لرزه ای کلیه چشمه های لرزه ای که با رخداد زمین لرزه های اکتبر ۲۰۲۳ هرات نیز شناسائی شده اند، در نقشه خطر کشور افغانستان جهت استفاده در ساخت و ساز مقاوم در برابر زلزله در نظر گرفته شود. این امر احتمالاً تغییراتی در نقشه های پهنه بندی خطر زلزله افغانستان ایجاد خواهد کرد.



- Abdullah, Sh., Chmyriov, V. M., 1977, Geological map of Afghanistan.
- Abdullah S. 1993. Seismic hazard assessment in the Islamic state of Afghanistan." The practice of earthquake hazard assessment, IASPEI/ESC Publication, McGuire RK, ed.; 1993: pp. 284.
- Abdullah S. 1981. Geological observations & geophysical investigations carried out in Afghanistan over the period 1972–1979. Geodynamics series 3; ed. Gupta HK, Delany FM, Geological Society of America 1981: 75-86.
- Ambraseys NN, Melville C. 1982. A seismic history of Persian earthquakes. Cambridge: Cambridge University Press, pp. 219.
- Bohannon, R.G., 2010, Geologic and topographic maps of the Kabul South 30' x 60' Quadrangles, Afghanistan: U.S: Geological Survey Scientific Investigations Maps, p. 3120 and 3137.
- Bird, P., 2003, An updated digital model of plate boundaries: Geochemistry: Geophysics, and Geosystems, v. 4(3), p. 1–52.
- Dewey, J.W. (ed.), 2006, Seismicity of Afghanistan and vicinity: U.S. Geological Survey Open File Report 2006–1185, 18 p. [available at: <http://pubs.usgs.gov/of/2006/1185/>].
- Harp, E.L., and Crone, A.J., 2006, Landslides triggered by the October 8, 2005, Pakistan earthquake and associated landslide-dammed reservoirs: U.S. Geological Survey Open-File Report 2006-1052, 10 p. [available at: <http://pubs.usgs.gov/of/2006/1052/>].
- Hubbard, Bradley, K. 2023, Earthquake Insights.- Different Magnitude-Epicentral Intensity Relations and Estimation of Maximum Ground Acceleration, 1981, First international conference on recent advanced geotechnical earthquake engineering and soil mechanics
- Imani, A., 2002, Calculation Intensity-Magnitude relation for Iran area, M. Sc. thesis, 2002, BHRC (in Persian)
- Jade, S., 2004, Estimates of plate velocity and crustal deformation in the Indian subcontinent using GPS geodesy: Current Science, v. 86(10), p. 1443–1448.
- Jica agency Report, Tehran seismic micro zonation project, 2001
- Koulakov I, Tychkov S, Bushenkova N, Vasilevsky A. 2002. Structure and dynamics of the upper mantle beneath the Alpine-Himalayan orogenic belt, from seismic tomography. Tectonophysics 2002; 358: 77 – 96.
- Miyamoto International, Inc., First Assessment of Heart Afghanistan Earthquake: Preliminary Shelter and Housing Response in Zinda Jan District, West of Herat, October 12, 2023,
- Pegler, G., and Das, S., 1998, An enhanced image of the Pamir – Hindu Kush seismic zone from relocated earthquake hypocenters: Geophysical Journal International, v. 134(2), p. 573–595. doi:10.1046/j.1365-246x.1998.00582. x.
- Ruleman, C. A., Crone, A. J., Machette, M. N., Haller, K. M., & Rukstales, K. S. (2007). Map and database of probable and possible Quaternary faults in Afghanistan. *US Geological Survey open-file report*, 1103(1).
- Sella, G.F., Dixon, T.H., and Mao, A., 2002, REVEL- A model for recent plate velocities from space geodesy: Journal of Geophysical Research, v. 107(B4), 1 plate. p. ETG 11-1-ETG 11–30. doi:10.1029/2000JB000033.
- Shroder, J.F., Schettler, M.J., and Weihs, B.J., 2011b, Loess failure in northeast Afghanistan: Journal of Physics and Chemistry of the Earth, v. 36(16), p. 1287–1293. doi:10.1016/j.pce.2011.03.001.



- Shnizai, Z. (2020). Mapping of active and presumed active faults in Afghanistan by interpretation of 1-arcsecond SRTM anaglyph images. *Journal of Seismology*, 24(6), 1131-1157.
- Siehl, A., 2015, Structural setting and evolution of the Afghan orogenic segment – A review, *in* Brunet, M.F., McCann, T., and Sobel, R.R., eds., *Geological Evolution of Central Asian Basins and the Western Tien Shan Range*, London: The geological society of London, p. 427.
- Tavakoli Sh., Tavakoli, B., Roudbar earthquake fragility curve, 1993(in Jica report, 2001)
- Treloar, P.J., and Izatt, C.N., 1993, Tectonics of the Himalayan collision between the Indian Plate and the Afghan Block – A synthesis, *in* Treloar, P.J., and Searle, M.P., eds., *Himalayan tectonics*, London: Geological society, special publications, v. 74, p. 69–87.
- UNESCO. 1984. Seismotectonic map of Iran, Afghanistan and Pakistan, Scale 1: 5,000,000 and Explanatory text.” Commission for the Geological Map of the World 1984; pp. 24.
- UNOCHA, Reports, <https://www.unocha.org/>
- USGS, 2007, Map and Database of Probable and Possible Quaternary Faults in Afghanistan
- Vernant, P., Nilforoushan, F., Vigny, C., Hatzfeld, D., Abbassi, M., Vigny, C., Chery, J., Ashtiani, J., Martinod, J., Ashtiani, J., and Chery, J., 2004, Contemporary crustal deformation and plate kinematics in the Middle East constrained by GPS measurements in Iran and North Oman: *Geophysical Journal International*, v. 157(1), p. 381–398. doi:10.1111/j.1365-246X.2004.02222.x.
- Wellman HW.1966. Active wrench faults of Iran, Afghanistan, and Pakistan. *Geological Review* 1966; 55: 716-735.
- Wheeler, R.L., and Rukstales, K.S., 2007, Seismotectonic map of Afghanistan and adjacent areas: U.S, Geological Survey Open-File report 2007-1104, p. 54.
- Wheeler, R.L., and Rukstales, K.S., 2007, Seismotectonic map of Afghanistan and adjacent areas: U.S, Geological Survey Open-File report 2007-1104, p. 54.
- www.irsc.ut.ac.ir
- <https://www.worldbank.org/en/data/interactive/2019/08/01/afghanistan-district-level-visualization>
- <https://andma.gov.af/en>