

Seismic Hazard Assessment and Failure Analysis of Structural Risk in Afghanistan

Mohammad Jawad Rahimi¹ , Abdul Hai Keyvan² , Abdullah Namdar³ , Sayed Javid Azimi³ 

1. Visiting Lecturer, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Kateb University, Kabul, Afghanistan. (Corresponding Author). Email: jawadrahimi74@gmail.com
2. Associate Professor, Department of Structural Engineering, Afghan International Islamic University, Kabul, Afghanistan.
3. Professor, Department of Structural Engineering, Afghan International Islamic University, Kabul, Afghanistan.
2. Associate Professor, Department of Civil Engineering, Abu Dhabi University, Abu Dhabi, United Arab Emirates.

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:
Received: 25/02/2026
Received in revised form: 26/02/2026
Accepted: 11/03/2026
Available online: 19/03/2026

Keywords:
Seismic Hazard
Assessment, Failure
Analysis, Structural
Risk, Afghanistan,
Kunduz, Peak Ground
Acceleration (PGA)

ABSTRACT

Afghanistan is considered one of the regions with high seismic hazard due to its location within the collision zone of the Indian and Eurasian tectonic plates. Consequently, structures in the country are highly vulnerable to earthquake-induced damage. The primary research question of this study is to determine the level of seismic hazard in the investigated regions, with a particular focus on Kunduz City, and to identify the factors that most significantly influence structural failure. The objective of this research is to analyze seismic hazard in Afghanistan, focusing on Kunduz City, and to examine patterns of structural failure under different seismic conditions. This study adopts a review-analytical approach and utilizes findings from previous studies as well as two principal earthquake hazard assessment methods: Probabilistic Seismic Hazard Analysis (PSHA) and Deterministic Seismic Hazard Analysis (DSHA). The findings indicate that seismic hazard levels across various regions of Afghanistan, particularly in Kunduz, are significant, with high values of Peak Ground Acceleration (PGA) being estimated. Furthermore, the observed structural failure patterns primarily include shear cracks in masonry walls, connection failures in reinforced concrete structures, and out-of-plane wall collapses. These failures are strongly influenced by factors such as construction quality, material type, and distance from the seismic source. The results demonstrate that deficiencies in seismic design and non-compliance with building standards play a fundamental role in increasing structural vulnerability. Therefore, updating building codes, implementing modern seismic design approaches, and improving construction quality are recommended as essential measures for reducing seismic risk in Afghanistan.

Cite this article: Rahimi, M. Keyvan, A. Namdar, A. & Azimi, S. (2026). Seismic Hazard Assessment and Failure Analysis of Structural Risk in Afghanistan, *Kateb Scientific-Research Journal of Technology and Engineering*, 1 (1), 125-139.



ارزیابی خطر زلزله و تحلیل شکست ناشی از ریسک سازه‌ها در افغانستان

محمد جواد رحیمی^۱ , عبدالحی کیوان^۲ , عبدالله نامدار^۳ , سید جاوید عظیمی^۴ 

۱. استاد قراردادی دیپارتمنت انجینیری سیول، پوهنځی انجینیری، پوهنتون کاتب، کابل، افغانستان. (نویسنده مسئول).

ایمیل: jawadrahimi74@gmail.com

۲. پوهنمئل دیپارتمنت انجینیری سترکچر، پوهنتون بین‌المللی اسلامی افغان، کابل، افغانستان

۳. پوهاند دیپارتمنت انجینیری سیول، پوهنتون ابو ظبی، امارات متحده عربی

۴. پوهندوی دیپارتمنت انجینیری سترکچر، پوهنتون بین‌المللی اسلامی افغان، کابل، افغانستان

چکیده

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:

مقاله تحقیقی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۱۲/۰۶

تاریخ ارزیابی: ۱۴۰۴/۱۲/۰۷

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۱۲/۲۰

تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۱۲/۲۸

واژه‌های کلیدی:

ارزیابی خطر زلزله، تحلیل

شکست، ریسک سازه‌ها،

افغانستان، قندوز، شتاب بیشینه

زمین (PGA)

افغانستان به دلیل قرارگیری در ناحیه برخورد صفحات تکتونیکی هند و اوراسیا، یکی از مناطق با خطر لرزه‌ای بالا به شمار می‌رود و از این‌رو سازه‌ها در این کشور در معرض آسیب‌پذیری جدی قرار دارند. پرسش اصلی این تحقیق آن است که سطح خطر لرزه‌ای در مناطق مورد مطالعه (با تمرکز بر شهر قندوز) چه گونه است و چه عامل‌هایی بیشترین تأثیر را بر شکست سازه‌ها دارند؟ هدف تحقیق، تحلیل خطر لرزه‌ای در افغانستان با تمرکز بر شهر قندوز و بررسی الگوهای شکست سازه‌ها در شرایط گوناگون لرزه‌ای است. این تحقیق از نوع مروری تحلیلی است و در آن از نتایج مطالعات پیشین و دو رویکرد اصلی تحلیل خطر زلزله شامل روش احتمالاتی (PSHA) و روش معین (DSHA) استفاده شده است. یافته‌ها نشان می‌دهد که میزان خطر لرزه‌ای در مناطق گوناگون افغانستان، به‌ویژه قندوز، چشم‌گیر است و مقدار شتاب بیشینه زمین (PGA) در این مناطق بالا ارزیابی می‌شود. همچنین، الگوهای شکست سازه‌ها بیشتر شامل ترک‌های برشی در دیوارهای بنایی، گسیختگی اتصالات در سازه‌های بتنی و فروپاشی دیوارهای خارج از صفحه می‌باشد که به عامل‌هایی مانند کیفیت ساخت، گونه مصالح و فاصله از منبع لرزه‌ای وابسته است. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که ضعف در طراحی لرزه‌ای و عدم رعایت استانداردهای ساختمانی، نقش اساسی در افزایش آسیب‌پذیری سازه‌ها دارد. از این‌رو، به‌روزرسانی آیین‌نامه‌های ساختمانی، به‌کارگیری روش‌های نوین طراحی لرزه‌ای و ارتقای کیفیت ساخت‌وساز به‌عنوان راهکارهای اساسی برای کاهش ریسک لرزه‌ای در افغانستان پیشنهاد می‌گردد.

استناد: رحیمی، محمد جواد، کیوان، عبدالحی، نامدار، عبدالله، عظیمی، سید جاوید (۱۴۰۴). ارزیابی خطر زلزله و تحلیل شکست ناشی از ریسک سازه‌ها در افغانستان. *مجله علمی - تحقیقی تکنالوژی و انجینیری کاتب*، ۱ (۱)، ۱۳۹-۱۲۵.

مقدمه

افغانستان در محل تلاقی صفحات تکتونیکی هند و اوراسیا قرار دارد و به‌عنوان یکی از مناطق با لرزه‌خیزی بالا در جهان شناخته می‌شود. وجود سیستم‌های گسلی فعال و پیچیده، از جمله گسل چمن، گسل بدخشان مرکزی و گسل هریرود، موجب افزایش احتمال وقوع زمین‌لرزه‌های شدید در این کشور گردیده است. این ویژگی‌های زمین‌شناختی، همراه با حضور گسل‌های فرعی متعدد، نقش مهمی در افزایش آسیب‌پذیری لرزه‌ای مناطق گوناگون افغانستان ایفا می‌کنند. در این میان، ولایت قندوز به‌دلیل قرارگیری در نزدیکی ناحیه تغییرشکل هندوکش، که به وقوع زمین‌لرزه‌های عمیق و با بزرگای بالا معروف است، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می‌باشد.

مطالعات انجام‌شده در زمینه ارزیابی خطر زلزله، چه با استفاده از روش احتمالاتی (PSHA) و چه روش معین (DSHA)، نشان می‌دهند که شهرهایی مانند قندوز و کابل با سطوح چشم‌گیری از خطر لرزه‌ای مواجه هستند که در برخی موارد با مناطق لرزه‌خیز جهان مانند کالیفرنیا قابل مقایسه است. با وجود این، عدم قطعیت‌های موجود در رفتار گسل‌ها و پیش‌بینی دقیق حرکت زمین، استفاده از روش‌های پیشرفته تحلیلی و داده‌های ژئوتکنیکی دقیق را ضروری می‌سازد. توجه به این عدم قطعیت‌ها نقش اساسی در بهبود برنامه‌ریزی شهری، تدوین مقررات پهنه‌بندی لرزه‌ای و طراحی ایمن سازه‌ها دارد.

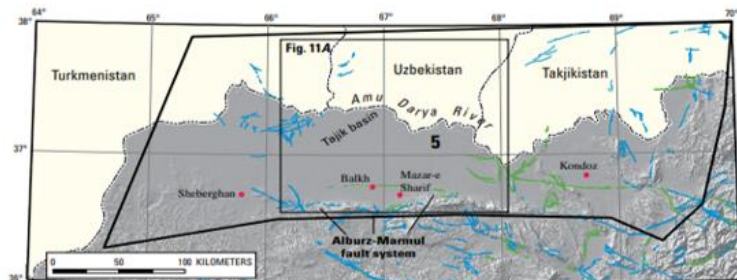
افزایش سریع جمعیت و توسعه ساخت‌وساز در مناطق شهری افغانستان، به‌ویژه در شهرهایی مانند قندوز، اهمیت ارزیابی دقیق ریسک لرزه‌ای را دوچندان کرده است. تجربه زمین‌لرزه‌های گذشته نشان داده است که بخش چشم‌گیری از خسارت‌ها و تلفات ناشی از ضعف در طراحی لرزه‌ای و کیفیت پایین ساخت‌وساز می‌باشد. از این‌رو، استفاده از پارامترهای کلیدی مانند شتاب بیشینه زمین (PGA)، داده‌های لرزه‌خیزی تاریخی و شرایط زمین‌شناختی محلی در تدوین آیین‌نامه‌های ساختمانی و برنامه‌ریزی کاربری زمین، امری ضروری است.

با وجود انجام مطالعات متعدد در زمینه خطر لرزه‌ای، هنوز درک جامعی از ارتباط میان سطح خطر لرزه‌ای و الگوهای شکست سازه‌ها در افغانستان، به‌ویژه در شهر قندوز، وجود ندارد. این خلأ تحقیقی ضرورت انجام مطالعات یکپارچه در این زمینه را برجسته می‌سازد.

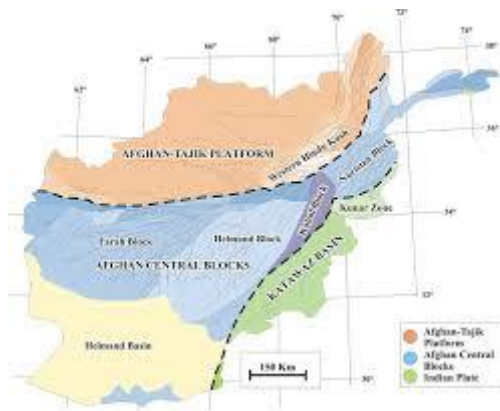
هدف تحقیق در این مطالعه، تحلیل خطر لرزه‌ای در افغانستان با تمرکز بر شهر قندوز و بررسی الگوهای شکست سازه‌ها در شرایط گوناگون لرزه‌ای می‌باشد. پرسش اصلی تحقیق نیز این است که: سطح خطر لرزه‌ای در مناطق مورد مطالعه چه گونه بوده و چه عامل‌هایی بیشترین تأثیر را بر شکست سازه‌ها دارند؟ نوآوری این تحقیق در ترکیب تحلیل خطر لرزه‌ای با بررسی الگوهای شکست سازه‌ها و ارائه راهکارهای بهبود عملکرد لرزه‌ای ساختمان‌ها در بستر شرایط ویژه افغانستان نهفته است.

این مقاله با رویکرد مروری تحلیلی، به بررسی مطالعات انجام‌شده در زمینه ارزیابی خطر زلزله در افغانستان می‌پردازد و نتایج آن را با تحقیق‌های مشابه در مناطق لرزه‌خیز دیگر مقایسه می‌کند. همچنین، در این تحقیق بر استفاده از تکنیک‌های نوین مانند ساختار درخت منطقی (Logic Tree)، نرم‌افزارهای

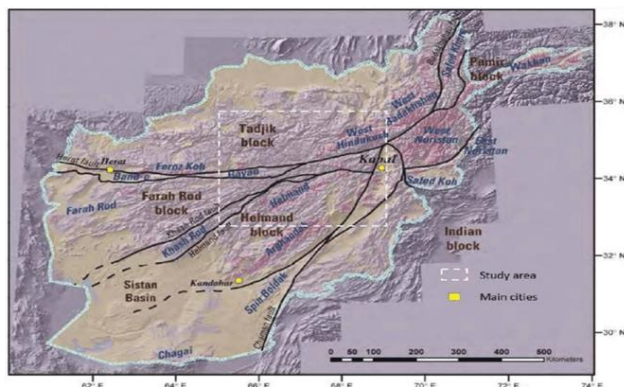
تحلیل لرزه‌ای و سیستم‌های پایش پیشرفته تأکید شده است تا دقت ارزیابی‌ها و قابلیت اعتماد پیش‌بینی حرکت زمین بهبود یابد.



شکل ۱- نقشه خطر زلزله



شکل ۲- نقشه تکتونیکی افغانستان



شکل ۳- نقشه زلزله‌ای افغانستان

۱. مرور ادبیات (Literature Review)

در سال‌های اخیر، مطالعات متعددی در زمینه ارزیابی خطر لرزه‌ای با استفاده از روش‌های احتمالاتی و معین در مناطق گوناگون جهان انجام شده است. این تحقیق‌ها بیشتر بر تحلیل منابع لرزه‌ای، برآورد شتاب بیشینه زمین (PGA) و تهیه نقشه‌های خطر لرزه‌ای تمرکز داشته‌اند. در بسیاری از این مطالعات، روش تحلیل احتمالاتی خطر زلزله (PSHA) به‌عنوان رویکردی جامع برای در نظر گرفتن عدم قطعیت‌ها در پارامترهای لرزه‌ای مورد استفاده قرار گرفته است؛ در حالی که روش تحلیل معین خطر زلزله (DSHA) بیشتر برای بررسی سناریوهای بیشینه خطر به کار می‌رود.

مطالعات انجام‌شده در افغانستان نشان می‌دهد که این کشور به‌دلیل شرایط تکتونیکی ویژه، دارای پتانسیل بالای لرزه‌خیزی است. به‌عنوان نمونه، تحقیق‌های انجام‌شده در شهر قندوز نشان می‌دهد که مقدار شتاب بیشینه زمین در این منطقه چشم‌گیر است و این امر ضرورت بازنگری در آیین‌نامه‌های ساختمانی را برجسته می‌سازد. همچنین، مطالعات مرتبط با حوضه کابل، وجود گسل‌های فعال و احتمال وقوع زمین‌لرزه‌های با بزرگای بالا را تأیید کرده‌اند [۱۸].

در سطح بین‌المللی، تحقیق‌های انجام‌شده در کشورهایی مانند ایران، ترکیه، چین و اندونزی نیز بر اهمیت استفاده از روش‌های پیشرفته در تحلیل خطر لرزه‌ای تأکید دارند. نتایج این مطالعات نشان می‌دهد که عامل‌های مؤثری مانند شرایط زمین‌شناختی محلی، گونه خاک، فاصله از گسل‌ها و ویژگی‌های ساختاری منطقه، تأثیر چشم‌گیری بر میزان خطر لرزه‌ای و پاسخ سازه‌ها دارند. افزون‌براین، برخی تحقیق‌ها به بررسی عملکرد سازه‌ها در برابر زلزله و تحلیل الگوهای شکست پرداخته و نقش طراحی لرزه‌ای مناسب را در کاهش خسارت‌ها برجسته ساخته‌اند.

با وجود پیشرفت‌های چشم‌گیر در این حوزه، در بسیاری از مطالعات تمرکز اصلی بر ارزیابی خطر لرزه‌ای بوده و ارتباط مستقیم آن با الگوهای شکست سازه‌ها کمتر مورد توجه قرار گرفته است. این در حالی است که درک این ارتباط می‌تواند نقش مهمی در بهبود طراحی سازه‌ها، کاهش آسیب‌پذیری و مدیریت ریسک لرزه‌ای ایفا کند. بنابراین، انجام مطالعاتی که به‌گونه هم‌زمان به تحلیل خطر لرزه‌ای و بررسی رفتار و شکست سازه‌ها بپردازد، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است.

در این راستا، جدول (۱) خلاصه‌ای از مهم‌ترین مطالعات انجام‌شده در زمینه ارزیابی خطر زلزله در مناطق گوناگون را ارائه می‌دهد که شامل روش‌شناسی‌ها و یافته‌های کلیدی این تحقیق‌ها می‌باشد.

جدول ۱- خلاصه مهم‌ترین مطالعات انجام‌شده در زمینه ارزیابی خطر زلزله

مطالعه	منطقه	روش‌شناسی	یافته‌های کلیدی
Bakhshi et al. (2024)	قندوز، افغانستان	روش‌های معین و احتمالاتی، نرم‌افزار Seisrisk	شتاب مبنا: $0.427g$ ؛ نیاز به به‌روزرسانی آیین‌نامه‌های ساختمانی

ادغام ریسک لرزه‌ای در محاسبات بیمه	تحلیل احتمالاتی نرخ‌های بیمه	ترکیه	Yucemen (2013)
مشاهدات در خصوص اثربخشی جداسازی لرزه‌ای	تحقیقات میدانی	Luding، چین	Bai et al. (2024)
شناسایی گسل‌های فعال و برآورد بزرگی - M_w 7.3-7.8	مطالعات میدانی و سنجش از دور	حوزه کابل، افغانستان	Shnizai et al. (2023)
شناسایی آسیب‌پذیری‌های سازه‌ای پس از زلزله M_w 7.3	ارزیابی خسارات پس از زلزله	کرمانشاه، ایران	Hosseini Varzandeh et al. (2024)
اهمیت داده‌های زمین‌شناختی محلی برای تحلیل دقیق لرزه‌ای	تحلیل احتمالاتی خطر زلزله	اراک، ایران	ResearchGate (2014)
تأکید بر ترکیب مدل‌های تضعیف با ویژگی‌های گسل‌ها	تحلیل احتمالاتی خطر زلزله (PSHA)	جهانی	Field (2005)
بررسی تأثیر زلزله بر توسعه زمین شهری در کابل	توسعه زمین شهری و ارزیابی لرزه‌ای	کابل، افغانستان	Ahmadi & Kajita (2017)
ارزیابی پایداری لرزه‌ای ساختمان‌های بلند با شبیه‌سازی عددی	روش مشخصه شبکه‌ای	روسیه	Alina et al. (2019)
تعیین طیف خطر یکنواخت برای استان بوشهر	تحلیل احتمالاتی خطر زلزله	بوشهر، ایران	Keshavarz & Morteza (2017)
بازنگری خطرات لرزه‌ای با توجه به گسل‌های محلی و زون مگاترست	تحلیل احتمالاتی خطر زلزله	Tasikmalaya، اندونزی	Bambang et al. (2019)
تحلیل خطر لرزه‌ای با روابط به‌روزرسانی شده بزرگی؛ زون‌بندی شتاب بیشینه زمین برای آمل	تحلیل احتمالاتی خطر زلزله	آمل، ایران	Alizadeh & Pourzeynali (2018)
تهیه نقشه‌های خطر زلزله و طیف‌ها برای مناطق مختلف کرمان	تحلیل خطر زلزله و طیف خطر یکنواخت	کرمان، ایران	Ghodrati Amiri et al. (2015)

مرور روش‌شناسی‌های PSHA و DSHA؛ کاربردها در ارزیابی ریسک لرزه‌ای	PSHA و DSHA	ایران	Fahimi Farzam et al. (2018)
توسعه نقشه‌های زون‌بندی شتاب؛ تأکید بر ریسک لرزه‌ای در خلیج فارس	تحلیل احتمالاتی خطر زلزله	جزیره خارک، ایران	Zare et al. (2022)
تحلیل خطر زلزله با تمرکز بر گسل‌های پرخطر منطقه	روش‌های معین و احتمالاتی	بوشهر، ایران	Dastjerdi et al. (2018)
تحلیل خطرات لرزه‌ای احتمالاتی برای نیروگاه‌های هسته‌ای در مناطق با لرزه‌خیزی متفاوت	PSHA مقایسه‌ای	جهانی	NEA (2019)
توسعه مدل خطر زلزله برای فیلیپین با ادغام حرکات گسل و پارامترهای حرکت زمین	تحلیل احتمالاتی لرزه‌ای	فیلیپین	Penarubia et al. (2020)
تعیین ریسک لرزه‌ای و شتاب‌ها برای گسل‌های عمده ایران با روش‌های احتمالاتی پیشرفته	تحلیل احتمالاتی خطر زلزله	ایران	ShamsAldane et al. (2018)
- شتاب پیشینه در جنوب و جنوب‌غرب سبزوار به‌دلیل نزدیکی به گسل‌ها بیشتر است. - شتاب قائم ۰/۵ تا ۰/۶ برابر شتاب افقی است. - تغییر نوع خاک از سخت به نرم، شتاب‌های افقی و قائم را افزایش می‌دهد. - نتایج با آیین‌نامه ۲۸۰۰ ایران سازگار است.	روش‌های معین و احتمالاتی	ایران	H. Bakhshi & Z. Rezaie
چندین منبع لرزه‌ای در افغانستان وجود دارد که خطر لرزه‌ای قابل توجهی را برای شهرهای عمده‌ای مانند کابل، مزار شریف و هرات ایجاد می‌کنند. برآورد می‌شود کابل، مزار، هرات و قندهار به ترتیب دارای ۲٪ احتمال در ۵۰ سال برای عبور از شتاب پیشینه زمین ۰/۵، ۰/۳۵، ۰/۲۸ و ۱۳ درصد g و ۱۰٪ احتمال در ۵۰ سال برای عبور از ۰/۲۷، ۰/۱۷، ۰/۷ و ۷ درصد g باشند.	حرکات احتمالاتی زمین	ایالات متحده	Oliver S. Boyd et al. (2007)

۲. تحلیل خطر لرزه‌ای منطقه‌ای (Regional Seismic Hazard Analysis)

۲-۱. تاریخچه زمین‌لرزه‌های افغانستان

مطالعات تاریخی نشان می‌دهد که افغانستان دارای پیشینه طولانی از فعالیت‌های لرزه‌ای است. بر پایه یافته‌های Ambraseys و Bilham (۲۰۰۳) [۲۲]، شواهد وقوع زمین‌لرزه‌ها در این منطقه به حدود ۲۰۰۰ سال پیش از میلاد بازمی‌گردد و ثبت مکتوب رویدادهای لرزه‌ای از قرن هفتم میلادی در منابع فارسی آغاز شده است. بخش چشم‌گیری از این داده‌های تاریخی غیررسمی و ناقص هستند، اما گزارش‌های مربوط به

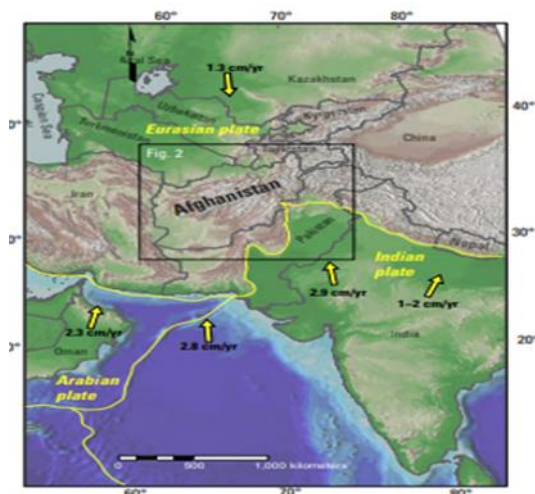
خسارت‌ها، تلفات انسانی، رانش زمین و سایر اثرهای لرزه‌ای می‌توانند برای برآورد نرخ آزادسازی انرژی در دوره پیش‌ابزاری و همچنین تخمین مکان و بزرگی زمین‌لرزه‌ها مورد استفاده قرار گیرند.

برای زمین‌لرزه‌های پیش‌ابزاری (پیش از سال ۱۹۰۰)، برآورد مکان و بزرگی زلزله‌ها بیشتر بر پایه روایت‌های محلی و توصیف شدت خسارت‌ها انجام شده است. در برابر، برای زمین‌لرزه‌های اوایل دوره ابزاری، داده‌های موجود بازمینی و تحلیل گردیده و بیش از ۵۰۰ مقدار تازه بزرگی موج سطحی (Ms) از بولتن ایستگاه‌های لرزه‌نگاری استخراج شده است. این مجموعه داده امکان بررسی حدود ۱۲۰۰ سال فعالیت لرزه‌ای را در چارچوب مفاهیم مدرن خطر لرزه‌ای و تکتونیک صفحه‌ای فراهم ساخته است [۲۳، ۲۴].

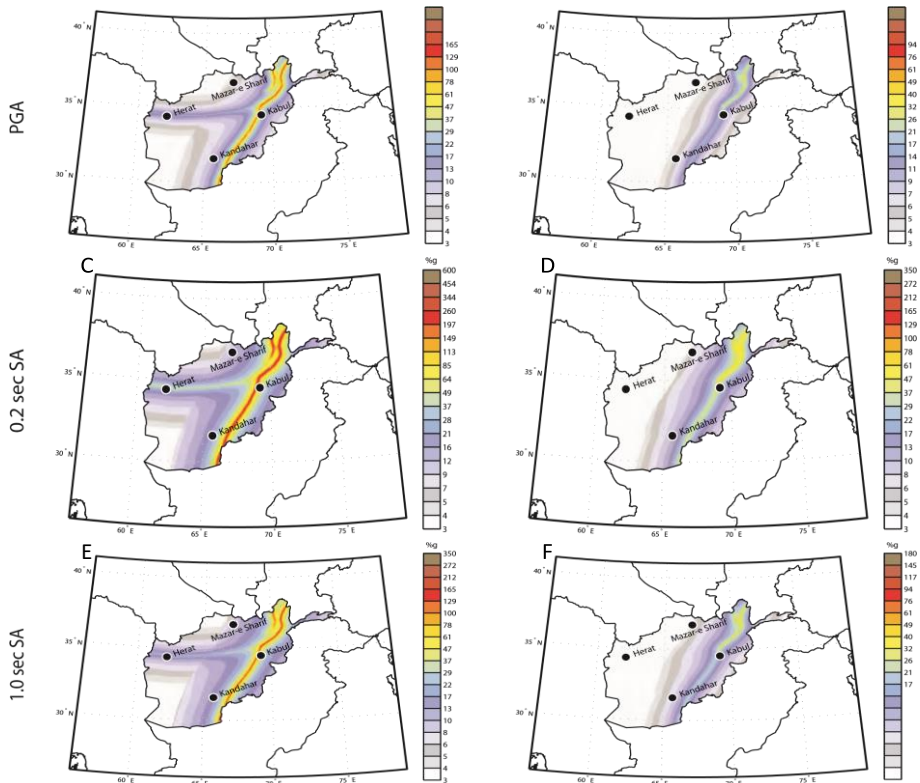
همچنین، این مطالعات اطلاعات ارزشمندی درباره ده‌ها زمین‌لرزه مخرب در افغانستان ارائه می‌دهد. با این حال، بسیاری از زمین‌لرزه‌های مهم دیگر نیز وجود دارند که هرچند در جدول ذکر نشده‌اند، اما خسارت‌های چشم‌گیری بر جای گذاشته‌اند. قابل ذکر است که در افغانستان، حتی زمین‌لرزه‌های با بزرگی متوسط نیز به دلیل ضعف در کیفیت ساخت‌وساز، می‌توانند به تلفات انسانی قابل ملاحظه‌ای انجامند. افزون‌براین، شمال افغانستان از جمله مناطق نادر در جهان است که در آن زمین‌لرزه‌های عمیق (بیش از ۲۰۰ کیلومتر) با پتانسیل تخریبی بالا رخ می‌دهند.

۲-۲. منابع لرزه‌ای افغانستان (Earthquake Sources of Afghanistan)

برآورد خطر لرزه‌ای در افغانستان مبتنی بر ترکیب داده‌های لرزه‌نگاری و اطلاعات زمین‌شناسی مربوط به گسل‌های فعال است. این منابع لرزه‌ای به‌طور عمومی با الگوهای ثبت‌شده در سوابق تاریخی زمین‌لرزه‌ها همخوانی دارند. بسیاری از گسل‌های موجود در افغانستان به دلیل ویژگی‌های زمین‌شناسی، موقعیت تکتونیکی و شواهد میدانی مانند گسیختگی سطحی، به‌عنوان گسل‌های فعال شناخته می‌شوند.



شکل ۴- نقشه تکتونیکی آسیا



شکل ۵ - نقشه خطر زلزله‌ای افغانستان

با این حال، به دلیل کمبود مطالعات دقیق زمین‌شناختی و لرزه‌زمین‌ساختی، شناسایی و طبقه‌بندی کامل این گسل‌ها با عدم قطعیت همراه است. در این راستا، استفاده از مدل‌های زمین‌لرزه‌زا (Seismogenic Models) می‌تواند به شناسایی منابع لرزه‌ای بالقوه، به‌ویژه در مناطقی که داده‌های کافی در دسترس نیست، کمک کند. داده‌های دقیق‌تر در مورد مکان، زمان وقوع و بزرگی زمین‌لرزه‌ها از دهه ۱۹۶۰ به بعد، هم‌زمان با توسعه شبکه‌های لرزه‌نگاری جهانی، در دسترس قرار گرفته است. این داده‌ها امکان ایجاد کاتالوگ‌های لرزه‌ای قابل اعتماد را فراهم کرده‌اند. در این تحقیق، ارزیابی خطر لرزه‌ای بیشتر بر پایه چهار گسل فعال اصلی و همچنین داده‌های زمین‌لرزه‌های با بزرگی بیش از ۴.۵ از سال ۱۹۶۴ به بعد انجام شده است.

۲-۲-۱. شهر قندوز

مطالعه akhshi et al. (۲۰۲۵) [۱] که با استفاده از روش‌های احتمالاتی و معین (Probabilistic & Deterministic) به ارزیابی خطر لرزه‌ای شهر قندوز پرداخته است، نشان می‌دهد که این شهر در برابر زمین‌لرزه‌های با بزرگی بالا بسیار آسیب‌پذیر است. این امر از راه شتاب بیشینه زمین (PGA) محاسبه شده

است و برابر با $0.427g$ که با نرم افزار SeisRisk III به دست آمده، تأیید می شود. به علاوه، این مطالعه زلزله های رخ داده را با مقادیر PGA استخراج شده مقایسه کرده و بر ضرورت به روزرسانی آیین نامه های ساختمانی، بهبود روش های ساخت و ساز و ادغام داده های خطر لرزه ای در چارچوب های برنامه ریزی شهری به منظور کاهش خسارت های احتمالی تأکید کرده است.

۲-۳. الگوهای شکست در سازه های افغانستان (Failure Patterns in Afghan Structures)

ذخیره ساختمانی آسیب پذیر افغانستان در مواجهه با نیروهای لرزه ای، الگوهای شکست مشخصی را نشان می دهد که بیانگر ضعف های سیستماتیک در شیوه های طراحی و اجرا می باشد. مهم ترین این الگوهای شکست به شرح زیر است:

۲-۳-۱. ترک های برشی در سازه های بنایی

ترک های مورب X-شکل در دیوارهای خشتی و آجری غیرمسلح به طور گسترده مشاهده می شوند که نشان دهنده مقاومت برشی پایین این گونه سازه ها است. این ترک ها در حین زلزله به سرعت گسترش یافته و به فروپاشی ناگهانی دیوارها می انجامند.

۲-۳-۲. گسیختگی اتصالات تیر - ستون

در سازه های بتنی، شکست های ترد در نواحی اتصال به دلیل جزئیات نامناسب آرماتورگذاری رخ می دهد. شواهد حاصل از زلزله های اخیر نشان می دهد که این نوع شکست های موضعی می تواند آغازگر فروپاشی پیشرونده در ساختمان های چندطبقه باشند.

۲-۳-۳. فروپاشی خارج از صفحه دیوارها

در بسیاری از ساختمان های سنتی که فاقد اتصال مناسب میان دیوار و سقف هستند، جداشدگی کامل دیوارها در اثر بارهای خارج از صفحه رخ می دهد. این گونه شکست سهم چشم گیری در افزایش تلفات انسانی دارد.

۲-۳-۴. آسیب های مرتبط با فونداسیون

نشست های نامتقارن و لغزش در ساختمان هایی که بر روی خاک های دستی متراکم نشده یا شیب های ناپایدار احداث شده اند، به وفور مشاهده می شود. این شرایط در برخی موارد به جابه جایی کامل سازه از روی فونداسیون می انجامد.

تمرکز این الگوهای شکست در اجزای ویژه سازه ای، وجود نقاط ضعف بحرانی را آشکار می سازد که باید از راه بهسازی هدفمند و بهبود استانداردهای ساخت و ساز برطرف شوند. مشاهدات نشان می دهد که حتی رعایت کمترین الزامات لرزه ای، مانند استفاده از المان های تقویتی در دیوارهای بنایی و جزئیات مناسب در اتصالات، می تواند عملکرد سازه ها را به طور چشم گیری بهبود بخشد.

۳. روش‌های پیشنهادی برای بهبود عملکرد سازه‌ها (Proposed Improvement Strategies)

به‌منظور کاهش آسیب‌پذیری و افزایش تاب‌آوری لرزه‌ای در افغانستان، اتخاذ یک رویکرد جامع و چندبعدی ضروری است:

۳-۱. بهسازی ساختمان‌های موجود

استفاده از تکنیک‌هایی مانند پلیمرهای تقویت‌شده با الیاف (FRP)، ژاکت فولادی، بادبندها و سیستم‌های جداسازی پایه، می‌تواند عملکرد لرزه‌ای سازه‌ها را به‌طور چشم‌گیری ارتقا دهد، به‌ویژه در ساختمان‌های حیاتی.

۳-۲. طراحی مبتنی بر عملکرد (PBSD)

به‌کارگیری این رویکرد در ساختمان‌های تازه، امکان کنترل سطوح گوناگون آسیب و کاهش احتمال فروپاشی را فراهم می‌کند.

۳-۳. بهبود جزئیات اجرایی و مصالح

استفاده از طراحی مبتنی بر ظرفیت، تأمین شکل‌پذیری مناسب و استفاده از مصالح با کیفیت بالا باید به‌عنوان اصول اساسی در طراحی و اجرا مدنظر قرار گیرد.

۳-۴. ظرفیت‌سازی نیروی انسانی

آموزش مهندسان، معماران و کارگران ساختمانی در زمینه آیین‌نامه‌های لرزه‌ای و فناوری‌های نوین ضروری است.

۳-۵. تقویت چارچوب‌های قانونی

به‌روزرسانی آیین‌نامه‌ها و نظارت مؤثر بر اجرای آن‌ها از راه سیستم‌های کنترلی و بازرسی منظم، نقش کلیدی در کاهش ریسک دارد.

۳-۶. همکاری‌های بین‌المللی

تعامل با نهادهای علمی و مهندسی بین‌المللی می‌تواند به انتقال دانش، توسعه ظرفیت فنی و تأمین منابع مالی کمک کند.

در مجموع، ارتقای تاب‌آوری لرزه‌ای نیازمند هم‌افزایی میان سیاست‌گذاری، دانش فنی و اجرای عملی می‌باشد.

۴. نیازهای تحقیقی (Research Needs)

با توجه به سطح خطر لرزه‌ای و محدودیت داده‌های موجود، تمرکز بر حوزه‌های زیر ضروری است:

۴-۱. انجام مطالعات میدانی برای ارزیابی رفتار واقعی سازه‌ها.

- ۴_۲. توسعه روابط پیش‌بینی حرکت زمین (GMPEs) متناسب با شرایط افغانستان.
- ۴_۳. استفاده از سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی (GIS) در تحلیل و مدیریت ریسک.
- ۴_۴. ایجاد پایگاه داده ملی شامل تیپ‌شناسی ساختمان‌ها و اطلاعات خسارت‌ها.
- ۴_۵. گسترش همکاری‌های علمی بین‌المللی در زمینه تحلیل و شبیه‌سازی لرزه‌ای.

۵. جمع‌بندی نتیجه‌گیری (Conclusion)

موقعیت تکتونیکی افغانستان در محل برخورد صفحات هند و اوراسیا، این کشور را در معرض خطر بالای زمین‌لرزه قرار داده است. یافته‌های این تحقیق نشان می‌دهد که آسیب‌پذیری سازه‌ها نه تنها ناشی از شدت خطر لرزه‌ای، بلکه نتیجه ضعف در طراحی، اجرا و نظارت ساختمانی است. بر این اساس، مدیریت مؤثر ریسک لرزه‌ای، نیازمند رویکردی یکپارچه است که شامل ارزیابی دقیق خطر، بهبود طراحی سازه‌ها، اجرای آیین‌نامه‌های ساختمانی و ارتقای ظرفیت فنی می‌باشد. همچنین، استفاده از داده‌های علمی و تجربه‌های بین‌المللی می‌تواند نقش مهمی در کاهش خسارت‌ها و افزایش تاب‌آوری شهری ایفا کند.

منابع و مراجع‌ها

- [1] H. Bakhshi, M. J. Rahimi, M. N. Rastin, and Z. Rezaie, "Seismic hazard evaluation and accelerated curves for Kunduz City (Afghanistan)," Computational Engineering and Physical Modeling, vol. 8, no. 1, pp. 1–24, 2025.
- [2] M. S. Yucemen, "Probabilistic assessment of earthquake insurance rates for buildings," in Handbook of Seismic Risk Analysis and Management of Civil Infrastructure Systems, 2013.
- [3] W. Bai et al., "Site investigation on seismic performance of 7 isolated buildings during the 2022 Luding Ms 6.8 earthquake," 2024.
- [4] Z. Shnzai et al., "Active fault mapping and earthquake hazard assessment in the Kabul Basin, Afghanistan," Journal of Seismology, 2023.
- [5] S. Hosseini Varzandeh et al., "Post-earthquake damage assessment of structures after the Mw 7.3 earthquake," 2024.
- [6] ResearchGate, "Seismic hazard analysis and peak ground acceleration for Arak Region, Iran," 2014.
- [7] E. H. Field, "Probabilistic seismic hazard analysis (PSHA): A comprehensive review," Bulletin of the Seismological Society of America, vol. 95, no. 4, pp. 1205–1240, 2005.
- [8] A. Ahmadi and Y. Kajita, "Evaluation of urban land development direction in Kabul City, Afghanistan," World Academy of Science, Engineering and Technology, vol. 11, pp. 152–154, 2017.
- [9] B. Alina, A. F. et al., "Investigation of seismic stability of high-rising buildings using grid-characteristic method," in International Congress of Information and Communication Technology (ICICT), 2019.
- [10] A. Keshavarz and B. Morteza, "Probabilistic seismic hazard analysis and determination of uniform hazard spectrum of Bushehr province assuming linear source model," Iranian Society of Structural Engineering, 2017.
- [11] S. Bambang, R. S. et al., "Evaluation of seismic hazard in Tasikmalaya City," International Journal of Geomate, 2019.
- [12] B. Alizadeh and S. Pourzeynali, "Probabilistic seismic hazard analysis using the new correlation relationships for magnitude scales," Civil Engineering Journal, 2018.
- [13] G. Ghodrati Amiri, S. A. et al., "Seismic hazard analysis and uniform hazard spectra for different regions of Kerman," Iranian Engineering Society, 2015.
- [14] M. Fahimi Farzam, A. S. et al., "An overview of the concepts earthquake and applications of seismic risk analysis and the introduction of methodology PSHA and DSHA," Road Journal, pp. 87–104, 2018.

- [15] M. Zare et al., "Seismic hazard analysis of Kharg Island, Iran," 2022.
- [16] M. Dastjerdi, M. M. et al., "Seismic hazard analysis of Bushehr City under the movement of two high-risk faults in the region by two methods: Deterministic and probabilistic," in National Conference on Fundamental Research in Civil Engineering, Architecture and Urban Development, 2018.
- [17] NEA, "Comparison of probabilistic seismic hazard analysis of nuclear power plants in areas with different levels of seismic activity," Nuclear Energy Agency, 2019.
- [18] R. Penarubia et al., "Development of earthquake hazard model for the Philippines integrating fault movements and ground motion parameters," 2020.
- [19] I. ShamsAldane, N. M. et al., "Earthquake risk analysis by deterministic and probabilistic method and determining the acceleration and magnitude of the main faults caused by earthquake," in Proceedings of the 18th Iranian Geophysical Conference, 2018.
- [20] H. Bakhshi and Z. Rezaie, "Preparation of same acceleration maps for use in the improvement of structures in Sabzevar City," Journal of Rehabilitation in Civil Engineering, vol. 9, no. 2, pp. 101-119, 2021. doi: 10.22075/JRCE.2021.19219.1363.
- [21] O. S. Boyd, C. S. Mueller, and K. S. Rukstales, Preliminary probabilistic seismic hazard map for Afghanistan (Open-File Report 2007-1137), U.S. Geological Survey, 2007. doi: 10.3133/ofr20071137.
- [22] N. Ambraseys and R. Bilham, "Earthquakes in Afghanistan," Seismological Research Letters, vol. 42, no. 2, pp. 107-123, 2003. (with electronic supplement)
- [23] E. A. Bergman, "Chapter B: A comprehensive earthquake catalogue for the Afghanistan region," in J. W. Dewey, ed., Seismicity of Afghanistan and Vicinity, U.S. Geological Survey Open-File Report 2006-1185, 2006.
- [24] J. W. Dewey, E. A. Bergman, M. G. Hopper, and S. A. Sipkin, "Chapter A: Overview of the seismicity of Afghanistan," in J. W. Dewey, ed., Seismicity of Afghanistan and Vicinity, U.S. Geological Survey Open-File Report 2006-1185, 2006.
- [25] S. Rustami et al., "Investigating structural and tectonic evolution of central Afghanistan using remote sensing and gravity data," Journal of Geology & Geophysics, vol. 6, no. 6, p. 313, 2017. doi: 10.4172/2381-8719.1000313.
- [26] D. A. Prada, M. P. Sanabria, A. F. Torres, M. A. Álvarez, and J. Gómez, "Comparative analysis of seismic persistence of Hindu Kush nests (Afghanistan) and Los Santos (Colombia) using fractal dimension," IOP Conference Series: Journal of Physics: Conference Series, vol. 1002, no. 1, p. 012010, 2018, doi: 10.1088/1742-6596/1002/1/012010.

- [27] "Effect of earthquake's epicenter distance to failure of the embankment: A seismic prediction," *Frattura ed Integrità Strutturale*, vol. 18, no. 67, pp. 118–136, 2024, doi: 10.3221/IGF-ESIS.67.09.
- [28] A. Namdar, M. Karimpour-Fard, O. Mughieda, F. Berto, and N. Muhammad, "Crack simulation for the cover of the landfill: A seismic design," *Frattura ed Integrità Strutturale*, vol. 65, pp. 112–134, 2023, doi: 10.3221/IGF-ESIS.65.09.
- [29] Q. Ali, "World housing encyclopedia report on Pakistan," Earthquake Engineering Research Institute, CA, USA, 2005.