Kateb
Scientific–Research Journal of Technology and Engineering
Vol.1 | No.1 | Autumn & Winter 2025–2026
پوهنتون کاتب
Kateb University
Email: kjte@kateb.edu.af | Homepage: kjte.kateb.edu.af

Seismic Hazard Assessment and Failure Analysis of Structural Risk in Afghanistan

Mohammad Jawad Rahimi[1]✉, Abdul Hai Keyvan[2], Abdullah Namdar[3], Sayed Javid Azimi[3]

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.

© The Author(s). Publisher: Kateb University.

مجله علمی-تحقیقی
تکنالوژی و انجنیری کاتب
سال اول | شماره اول | خزان و زمستان ۱۴۰۴
Email: kjte@kateb.edu.af | Homepage: kjte.kateb.edu.af

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 انجنیری سیول، پوهنځی انجنیری، پوهنتون کاتب، کابل، افغانستان. (نویسنده مسئول).
ایمیل: jawadrahimi74@gmail.com
۲. پوهنمل دیپارتمنت انجنیری سترکچر، پوهنتون بین‌المللی اسلامی افغان، کابل، افغانستان
۳. پوهاند دیپارتمنت مهندسی عمران، پوهنتون ابوظبی، امارات متحده عربی
۴. پوهندوی دیپارتمنت انجنیری سترکچر، پوهنتون بین‌المللی اسلامی افغان، کابل، افغانستان

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 بیشینهٔ زمین (PGA)

چکیده

افغانستان به‌دلیل قرارگیری در ناحیهٔ 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) چه‌گونه 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 مروری‌تحلیلی 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 بیشینهٔ 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، گونهٔ 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 انجنیری کاتب*، ۱ (۱)، ۱۳۹–۱۲۵.

© نویسندگان.
ناشر: پوهنتون کاتب.

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، ازجمله 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 این‌میان، ولایت قندوز به‌دلیل قرارگیری در نزدیکی ناحیهٔ تغییرشکل هندوکش، که به وقوع زمین‌لرزه‌های عمیق و با بزرگای بالا معروف است، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می‌باشد.

مطالعات انجام‌شده در زمینهٔ 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 پیشرفتهٔ 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 توسعهٔ ساخت‌وساز در مناطق شهری افغانستان، به‌ویژه در شهرهایی مانند قندوز، اهمیت ارزیابی دقیق ریسک لرزه‌ای را دوچندان کرده است. تجربهٔ 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 بیشینهٔ زمین (PGA)، داده‌های لرزه‌خیزی تاریخی و شرایط زمین‌شناختی محلی در تدوین آیین‌نامه‌های ساختمانی و برنامه‌ریزی کاربری زمین، امری ضروری است.

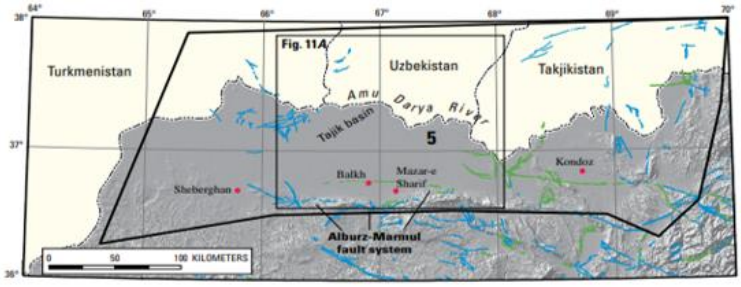
با وجود انجام مطالعات متعدد در زمینهٔ خطر لرزه‌ای، هنوز درک جامعی از ارتباط میان سطح خطر لرزه‌ای و الگوهای شکست سازه‌ها در افغانستان، به‌ویژه در شهر قندوز، وجود ندارد. این خلأ تحقیقی ضرورت انجام مطالعات یکپارچه در این زمینه را برجسته می‌سازد.

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 چه‌گونه 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 ارائهٔ راهکارهای بهبود عملکرد لرزه‌ای ساختمان‌ها در بستر شرایط ویژهٔ افغانستان نهفته است.

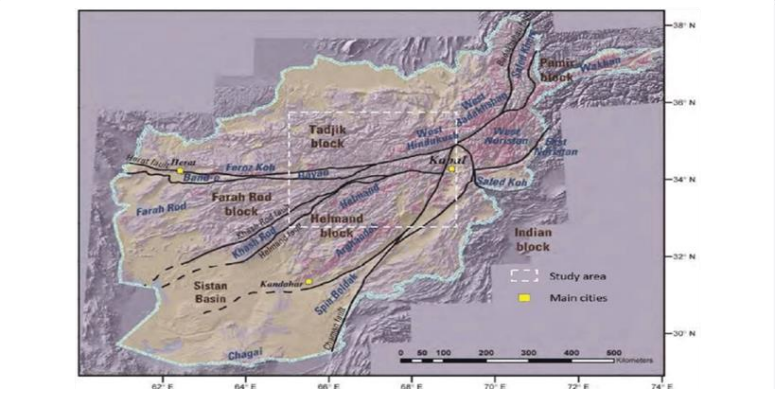
این مقاله با رویکرد مروری‌تحلیلی، به بررسی مطالعات انجام‌شده در زمینهٔ ارزیابی خطر زلزله در افغانستان می‌پردازد و نتایج آن را با تحقیق‌های مشابه در مناطق لرزه‌خیز دیگر مقایسه می‌کند. همچنین، در این تحقیق بر استفاده از تکنیک‌های نوین مانند ساختار درخت منطقی (Logic Tree)، نرم‌افزارهای

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



شکل ۱ـ نقشهٔ خطر زلزله

شکل ۲ـ نقشهٔ تکتونیکی افغانستان



شکل ۳ـ نقشهٔ زلزله‌ای افغانستان

۱. مرور ادبیات (Literature Review)

در سال‌های اخیر، مطالعات متعددی در زمینهٔ 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 بیشینهٔ زمین (PGA) و تهیهٔ 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 حالی‌که روش تحلیل معین خطر زلزله (DSHA) بیشتر برای بررسی سناریوهای بیشینهٔ 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 بیشینهٔ زمین در این منطقه چشم‌گیر است و این امر ضرورت بازنگری در آیین‌نامه‌های ساختمانی را برجسته می‌سازد. همچنین، مطالعات مرتبط با حوضهٔ 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، گونهٔ 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 به‌گونهٔ 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 زمینهٔ ارزیابی خطر زلزله در مناطق گوناگون را ارائه می‌دهد که شامل روش‌شناسی‌ها و یافته‌های کلیدی این تحقیق‌ها می‌باشد.

جدول ۱ـ خلاصهٔ مهم‌ترین مطالعات انجام‌شده در زمینهٔ ارزیابی خطر زلزله

مطالعه	منطقه	روش‌شناسی	یافته‌های کلیدی
Bakhshi et al. (2024)	قندوز، افغانستان	روش‌های معین و احتمالاتی، نرم‌افزار Seisrisk	شتاب مبنا: ۰٫۴۲۷g؛ نیاز به به‌روزرسانی آیین‌نامه‌های ساختمانی

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

Fahimi Farzam et al. (2018)	ایران	PSHAو DSHA	مرور روش‌شناسی‌های PSHA وDSHA ؛ کاربردها در ارزیابی ریسک لرزه‌ای
Zare et al. (2022)	جزیرهٔ خارک، ایران	تحلیل احتمالاتی خطر زلزله	توسعه نقشه‌های زون‌بندی شتاب؛ تأکید بر ریسک لرزه‌ای در خلیج فارس
Dastjerdi et al. (2018)	بوشهر، ایران	روش‌های معین و احتمالاتی	تحلیل خطر زلزله با تمرکز بر گسل‌های پرخطر منطقه
NEA (2019)	جهانی	PSHA مقایسه‌ای	تحلیل خطرات لرزه‌ای احتمالاتی برای نیروگاه‌های هسته‌ای در مناطق با لرزه‌خیزی متفاوت
Penarubia et al. (2020)	فیلیپین	تحلیل احتمالاتی لرزه‌ای	توسعهٔ مدل خطر زلزله برای فیلیپین با ادغام حرکات گسل و پارامترهای حرکت زمین
ShamsAldane et al. (2018)	ایران	تحلیل احتمالاتی خطر زلزله	تعیین ریسک لرزه‌ای و شتاب‌ها برای گسل‌های عمده ایران با روش‌های احتمالاتی پیشرفته
H. Bakhshi & Z. Rezaie	ایران	روش‌های معین و احتمالاتی	– شتاب بیشینه 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.
Oliver S. Boyd et al. (2007)	ایالات متحده	حرکات احتمالاتی زمین	چندین منبع لرزه‌ای در افغانستان وجود دارد که خطر لرزه‌ای قابل‌توجهی 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 بیشینهٔ زمین ۵۰، ۳۵، ۲۸ و ۱۳ درصد g و ۱۰٪ احتمال در ۵۰ سال برای عبور از ۲۷، ۱۷، ۷ و ۷ درصد g باشند.

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

۱_۲. تاریخچهٔ زمین‌لرزه‌های افغانستان

مطالعات تاریخی نشان می‌دهد که افغانستان دارای پیشینهٔ طولانی از فعالیت‌های لرزه‌ای است. بر پایهٔ 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

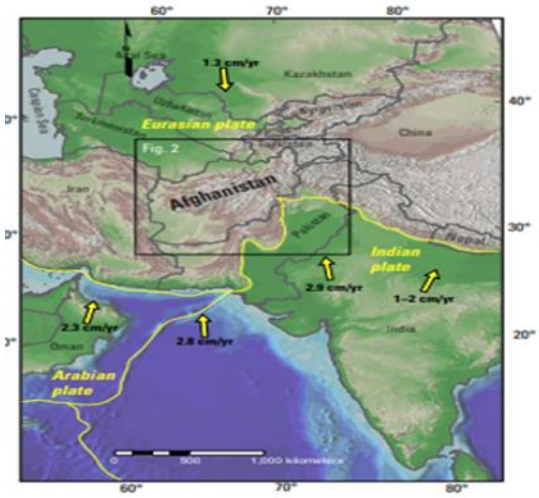
خسارت‌ها، تلفات انسانی، رانش زمین و سایر اثرهای لرزه‌ای می‌توانند برای برآورد نرخ آزادسازی انرژی در دورهٔ پیش‌ابزاری و همچنین تخمین مکان و بزرگی زمین‌لرزه‌ها مورد استفاده قرار گیرند.

برای زمین‌لرزه‌های پیش‌ابزاری (پیش از سال ۱۹۰۰)، برآورد مکان و بزرگی زلزله‌ها بیشتر بر پایهٔ روایت‌های محلی و توصیف شدت خسارت‌ها انجام شده است. در برابر، برای زمین‌لرزه‌های اوایل دورهٔ ابزاری، داده‌های موجود بازبینی و تحلیل گردیده و بیش از ۵۰۰ مقدار تازهٔ 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].

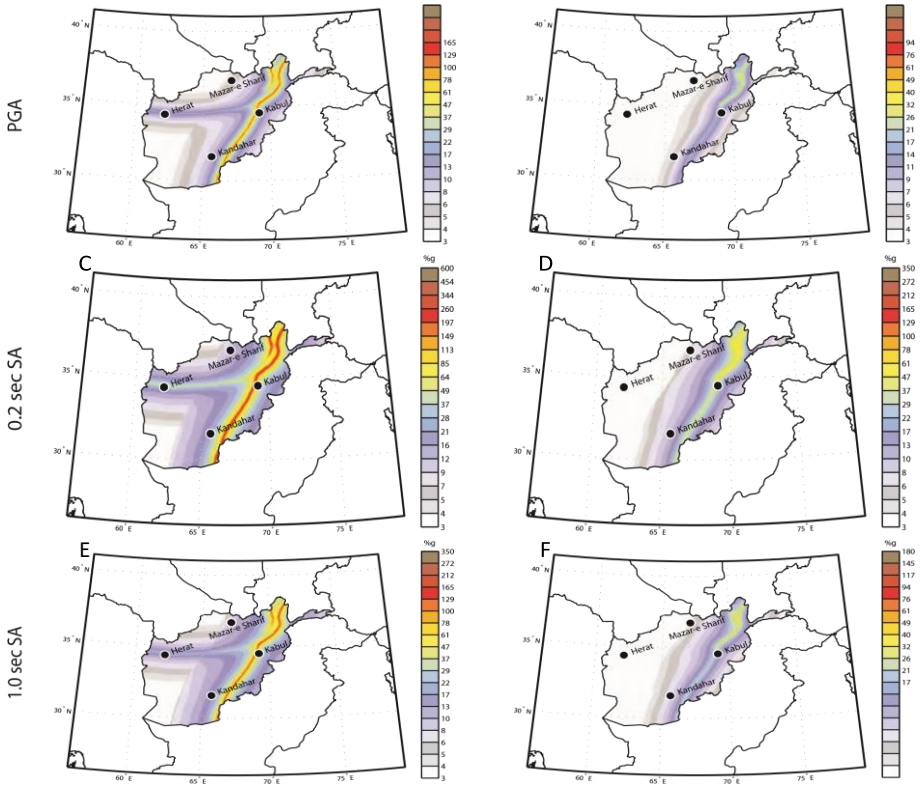
همچنین، این مطالعات اطلاعات ارزشمندی دربارهٔ ده‌ها زمین‌لرزهٔ مخرب در افغانستان ارائه می‌دهد. با این‌حال، بسیاری از زمین‌لرزه‌های مهم دیگر نیز وجود دارند که هرچند در جدول ذکر نشده‌اند، اما خسارت‌های چشم‌گیری بر جای گذاشته‌اند. قابل ذکر است که در افغانستان، حتی زمین‌لرزه‌های با بزرگی متوسط نیز به‌دلیل ضعف در کیفیت ساخت‌وساز، می‌توانند به تلفات انسانی قابل‌ملاحظه‌ای انجامند. افزون‌براین، شمال افغانستان از جملهٔ 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 به‌دلیل ویژگی‌های زمین‌شناسی، موقعیت تکتونیکی و شواهد میدانی مانند گسیختگی سطحی، به‌عنوان گسل‌های فعال شناخته می‌شوند.



شکل ۴ـ نقشهٔ تکتونیکی آسیا



شکل ۵ ـ نقشهٔ خطر زلزله‌ای افغانستان

با این‌حال، به‌دلیل 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 دهۀ ۱۹۶۰ به بعد، هم‌زمان با توسعۀ شبکه‌های لرزه‌نگاری جهانی، در دسترس قرار گرفته است. این داده‌ها امکان ایجاد کاتالوگ‌های لرزه‌ای قابل‌اعتماد را فراهم کرده‌اند. در این تحقیق، ارزیابی خطر لرزه‌ای بیشتر بر پایۀ چهار گسل فعال اصلی و همچنین داده‌های زمین‌لرزه‌های با بزرگی بیش از ۴.۵ از سال ۱۹۶۴ به بعد انجام شده است.

۱_۲_۲. شهر قندوز

مطالعۀ 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 بیشینۀ زمین (PGA) محاسبه شده

است و برابر با ۰.۴۲۷ g که با نرم‌افزار SeisRisk III به دست آمده، تأیید می‌شود. به‌علاوه، این مطالعه زلزله‌های رخ‌داده را با مقادیر PGA استخراج‌شده مقایسه کرده و بر ضرورت به‌روزرسانی آیین‌نامه‌های ساختمانی، بهبود روش‌های ساخت‌وساز و ادغام داده‌های خطر لرزه‌ای در چارچوب‌های برنامه‌ریزی شهری به‌منظور کاهش خسارت‌های احتمالی تأکید کرده است.

۲_۳. الگوهای شکست در سازه‌های افغانستان (Failure Patterns in Afghan Structures)

ذخیرهٔ ساختمانی آسیب‌پذیر افغانستان در مواجهه با نیروهای لرزه‌ای، الگوهای شکست مشخصی را نشان می‌دهد که بیانگر ضعف‌های سیستماتیک در شیوه‌های طراحی و اجرا می‌باشد. مهم‌ترین این الگوهای شکست به‌شرح زیر است:

۱_۳_۲. ترک‌های برشی در سازه‌های بنایی

ترک‌های مورب X-شکل در دیوارهای خشتی و آجری غیرمسلح به‌طور گسترده مشاهده می‌شوند که نشان‌دهندهٔ مقاومت برشی پایین این گونهٔ سازه‌ها است. این ترک‌ها در حین زلزله به‌سرعت گسترش یافته و به فروپاشی ناگهانی دیوارها می‌انجامند.

۲_۳_۲. گسیختگی اتصالات تیر ـ ستون

در سازه‌های بتنی، شکست‌های ترد در نواحی اتصال به‌دلیل جزئیات نامناسب آرماتورگذاری رخ می‌دهد. شواهد حاصل از زلزله‌های اخیر نشان می‌دهد که این نوع شکست‌های موضعی می‌توانند آغازگر فروپاشی پیشرونده در ساختمان‌های چندطبقه باشند.

۳_۳_۲. فروپاشی خارج از صفحهٔ دیوارها

در بسیاری از ساختمان‌های سنتی که فاقد اتصال مناسب میان دیوار و سقف هستند، جداشدگی کامل دیوارها در اثر بارهای خارج از صفحه رخ می‌دهد. این گونهٔ شکست سهم چشم‌گیری در افزایش تلفات انسانی دارد.

۴_۳_۲. آسیب‌های مرتبط با فونداسیون

نشست‌های نامتقارن و لغزش در ساختمان‌هایی که بر روی خاک‌های دستی متراکم‌نشده یا شیب‌های ناپایدار احداث شده‌اند، به‌وفور مشاهده می‌شود. این شرایط در برخی موارد به جابه‌جایی کامل سازه از روی فونداسیون می‌انجامد.

تمرکز این الگوهای شکست در اجزای ویژهٔ سازه‌ای، وجود نقاط ضعف بحرانی را آشکار می‌سازد که باید از راه بهسازی هدفمند و بهبود استانداردهای ساخت‌وساز برطرف شوند. مشاهدات نشان می‌دهد که حتی رعایت کمترین الزامات لرزه‌ای، مانند استفاده از المان‌های تقویتی در دیوارهای بنایی و جزئیات مناسب در اتصالات، می‌تواند عملکرد سازه‌ها را به‌طور چشم‌گیری 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 زمینهٔ 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، توسعهٔ 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.

۲_۴. توسعهٔ روابط پیش‌بینی حرکت زمین (GMPEs) متناسب با شرایط افغانستان.
۳_۴. استفاده از سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی (GIS) در تحلیل و مدیریت ریسک.
۴_۴. ایجاد پایگاه دادهٔ ملی شامل تیپ‌شناسی ساختمان‌ها و اطلاعات خسارت‌ها.
۵_۴. گسترش همکاری‌های علمی بین‌المللی در زمینهٔ 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 نه‌تنها ناشی از شدت خطر لرزه‌ای، بلکه نتیجهٔ ضعف در طراحی، اجرا و نظارت ساختمانی است.

بر این‌اساس، 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 مرجع‌ها

[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. Shnizai 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.