



Research Article

A critique on the problem of the fault zone regulatory act in Iran; An overview of the surface rupture hazard caused by earthquake faulting in the northern zone of Tehran metropolis, Central Alborz, Iran

Mohsen Ehteshami-Moinabadi*¹ , Shahram Nasiri², Ali Saket³, Fatemeh Moradi Ghahdarijani¹

1-Department of Sedimentary Basins and Petroleum, Faculty of Earth Sciences, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

2-Department of Earth and Resources, Faculty of Earth Sciences and Environment, University of Queensland, Brisbane, Australia

3-Department of Crisis Management, Natural Disasters Institute of Iran, Tehran, Iran

Received: 17 Feb 2023 Accepted: 17 Aug 2023

Extended Abstract

Introduction: The megacity of Tehran, Iran's capital, is positioned on the southern slope of the central part of the Alborz Mountain range. This range displays active tectonics, resulting in a history of destructive earthquakes, quaternary deformation, massive ancient landslides, and geodetic phenomena. Earthquake movement and deformation can lead to the emergence of numerous secondary geological and non-geological hazards. This article presents a revised map showcasing the fault distribution in the northern region of the Tehran megacity, based on a synthesis of both current and novel information.

Materials and methods: This study entails the formulation of a fault map encompassing the northern sector of Tehran city, employing a cartographic scale exceeding 1:20000. This endeavor capitalizes on geological maps, historical as well as instrumental seismic records, and both extant and novel fault-related insights extrapolated from satellite image scrutiny, aerial photography archives dating back to 1955, and comprehensive field investigations. Subsequently, instances of quaternary faulting have been delineated for salient fault lines. Through a comprehensive examination of strategies aimed at mitigating the risk posed by surface rupture events, heightened attention has been accorded to, and an evaluation has been undertaken of this peril within the delineated study expanse. Elaborated information is expounded upon within the corresponding Persian manuscript.

Results and discussion: Figure 1 illustrates the revised cartographic representation delineating the geographic positioning of pivotal faults situated within the northern precinct of Tehran. Of paramount significance within this cartographic presentation is the discernment of fault line continuities previously introduced but whose terminal extents remained obscure. Moreover, an expansive network of fractures or subsidiary faults aligned with the North Tehran fault system has been meticulously charted, particularly in the hangingwall segment thereof, hitherto unreported in extant literature. The North Tehran fault, alongside the Pardisan, Niavaran, Mahmoudieh, Davoodieh, and Kan faults, the latter boasting the most extensive reach, collectively constitute the foremost fault trends imparting significant geological risk within the confines of Tehran city. Creating comprehensive geoscience data systems tailored to urban scales emerges as a viable solution to address myriad requisites, encompassing the effective management of contemporary urban risks. Preliminary inquiries substantiate the assertion that a minimum of twenty prominent public and private hospitals within Tehran directly confront the hazard of surface rupture events.

Conclusion: Contemporary perspectives pertaining to the computation and observation of fault setbacks underscore the imperative of meticulous fault location mapping prior to urban development. While subsurface methodologies hold promise for generating these highly accurate maps within regions characterized by youthful sedimentary deposits, historical data gleaned from fault observations provide valuable context. Given sufficient financial resources, such historical data can corroborate or negate the veracity of known fault lines. Absent such resources, judicious evaluation compels the prioritization of fault line delineation and the concomitant alignment of construction codes therewith. Of paramount import within the context of the presented map is the recognition of fault trend continuities previously introduced, the onward trajectory of which remained enigmatic. Additionally, an extensive matrix of fractures or attendant subsidiary faults inherent to the North Tehran fault system has been methodically charted, with a notable focus on its hanging wall portion hitherto unpublished. The Northern Tehran fault, in conjunction with the Pardisan, Niavaran, Mahmoudieh, Davoodieh, and Kan faults, the latter exhibiting the most expansive extent, collectively constitute the preeminent fault trends engendering pronounced geological risk within the confines of Tehran city. It is noteworthy that although faults such as the Moshafault, situated at a minimum distance of 30 km from Tehran city, are acknowledged as influential seismic sources for the city, the paramount concern lies in the evaluation of surface rupture hazard, wherein those faults positioned within the urban area assume a markedly more critical role.

Keywords: Tehran, Fault setback, Seismic hazard, Earthquake, Fault surface rupture, North Tehran Fault.

Citation: Mohsen Ehteshami-Moinabadi, Shahram Nasiri, Ali Saket, Fatemeh Moradi Ghahdarijani (2023). A critique on the problem of the fault zone regulatory act in Iran, *Res. Earth. Sci.* 14(4), (121-139) DOI: 10.48308/ESRJ.2023.103821

* Corresponding author E-mail address: m_ehteshami@sbu.ac.ir



نقدی بر مساله حریم گسل؛ خطر گسیختگی سطحی ناشی از گسلش زمین لرزه‌ای در پهنه شمالی کلان

شهر تهران، البرز مرکزی، ایران

محسن احتشامی معین آبادی^{۱*}، شهرام نصیری^۲، علی ساکت^۳، فاطمه مرادی قهدریجانی^۱

۱- گروه حوضه‌های رسوبی و نفت، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

۲- گروه زمین و منابع، دانشکده علوم زمین و محیط زیست، دانشگاه کوئینزلند، بریزبان، استرالیا

۳- گروه مدیریت بحران، پژوهشکده سوانح طبیعی، تهران، ایران

پژوهشی) دریافت مقاله: ۱۴۰۱/۱۱/۲۸ پذیرش نهایی مقاله: ۱۴۰۲/۰۵/۱۴

چکیده گسترده

مقدمه: کلان‌شهر تهران، پایتخت ایران، در دامنه جنوبی بخش مرکزی رشته کوه‌های البرز قرار گرفته است. به دلایل شناخته شده و آشکار زمین‌ساختی، از جمله رویداد زمین‌لرزه‌های ویرانگر تاریخی و دگرشکلی واحدهای نهشتی کواترنری، زمین‌لغزش‌های بزرگ قدیمی و داده‌های ژئودزی رشته کوه‌های البرز هنوز از نظر زمین‌ساختی جنبا است. در این مقاله با جمع‌بندی اطلاعات موجود و جدید، نقشه‌ای بروز شده از پراکندگی گسل‌ها در پهنه شمالی شهر تهران ارائه شده است.

مواد و روش‌ها: این مطالعه دربرگیرنده تدوین نقشه گسل‌های بخش شمالی شهر تهران با مقیاس نقشه‌برداری بیش از ۱:۲۰۰۰۰ است. این تلاش با تکیه بر نقشه‌های زمین‌شناسی، سوابق لرزه‌ای تاریخی و دستگاهی و بینش‌های موجود و جدید مربوط به گسل‌ها که از بررسی دقیق تصاویر ماهواره‌ای، آرشیه‌های عکس‌برداری هوایی مربوط به سال ۱۹۵۵ و تحقیقات میدانی جامع است، صورت گرفته است. نمونه‌هایی از گسلش کواترنری برجسته ارائه شده‌اند. اطلاعات مفصل در نسخه کامل فارسی توضیح داده شده است.

نتایج و بحث: شکل ۱ نقشه بروزسانی شده از موقعیت گسل‌های مهم در پهنه شمالی شهر تهران را نشان می‌دهد. نکته مهم در این نقشه شناخت ادامه روندهای گسل‌هایی است که پیش از این معرفی شده بودند اما انتهای آنها نامعلوم بود. همچنین شبکه گسترده‌ای از شکستگی‌ها یا در واقع گسل‌های فرعی متعلق به سامانه گسل شمال تهران به ویژه در بخش فرادیواره‌ای آن به نقشه درآمده‌اند که پیش از این منتشر نشده است. گسل شمال تهران، گسل پردیسان، گسل نیاوران، گسل محمودیه، گسل داوودیه و گسل کن با بیشترین طول، خطرناک‌ترین روندهای گسلی داخل شهر تهران به شمار می‌آیند. بررسی‌های ما نشان می‌دهد در شهر تهران دست کم بیست بیمارستان مهم دولتی و خصوصی در مواجهه مستقیم با خطر گسیختگی سطحی قرار دارند. در کنار این، مراکز مهم دیگری از جمله چند دانشگاه و مراکز حساس دیگر از جمله انبار نفت در شمال شهران نیز قرار دارند. بر مبنای طول گسل‌ها، گسل‌های پردیسان، نیاوران، محمودیه و گسل‌های موجود در منطقه چیتگر که همگی از سامانه گسلی شمال تهران متاثر هستند، خطرناک‌ترین روندها از دید گسیختگی سطحی نیز شامل می‌شوند.

نتیجه‌گیری: در کمربند شمالی شهر، خطر زمین‌لغزش‌های ناشی از زمین‌لرزه بسیار جدی است و سوابق رخداد زمین‌لغزش‌های بسیار بزرگ باستانی در دامنه‌های جنوبی البرز این مساله را تایید می‌کنند. هم‌اکنون می‌توان چالش اصلی خطر زمین‌لرزه و گسیختگی سطحی در شهر تهران، عدم شناخت گسل‌های مهم نیست، بلکه عدم توجه به این موضوع مهم و نبود دیدگاه یکپارچه در سطح کلان برای مقابله با آن است. مسایل اقتصادی یکی از موانع اصلی در رعایت حریم گسل در شهر تهران بوده است.

واژگان کلیدی: تهران، حریم گسل، خطر لرزه‌ای، زمین‌لرزه، گسیختگی سطحی گسل، گسل شمال تهران.

استناد: محسن احتشامی معین آبادی، شهرام نصیری، علی ساکت، فاطمه مرادی قهدریجانی (۱۴۰۲). نقدی بر مساله حریم گسل؛ خطر گسیختگی

سطحی ناشی از گسلش زمین‌لرزه‌ای، پژوهشهای دانش زمین: ۱۴ (۴)، (۱۳۹-۱۲۱)، DOI: 10.48308/ESRJ.2023.103821

E-mail: m_ehteshami@sbu.ac.ir

* نویسنده مسئول:



Copyright: © 2023 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

مقدمه

برابر جنبش نیرومند زمین افزایش می‌دهد و برای عموم شناخته شده است. با این وجود خطر گسیختگی سطحی گسلش زمین‌لرزه‌ای که از این به بعد به اختصار خطر گسیختگی سطحی ذکر می‌شود، مساله‌ای است که روش‌های مقاوم سازی و آیین‌نامه‌های موجود، ناتوان از تامین امنیت بشر است و هنوز به قدر کافی اهمیت آن در بیرون از جامعه پژوهشی (دانشگاهی و سازمان‌های تخصصی) مورد توجه قرار نگرفته است. به بیان دیگر ویژگی منحصر به فرد این پدیده اینست که هیچ سازه‌ی مهندسی و روش مقاوم سازی مانع رویداد گسیختگی سطحی مستقیم ناشی از گسل زمین‌لرزه‌ای نخواهد شد، هرچند راهبردهای مهندسی مختلفی برای کاهش اثر آن در رابطه با سازه‌های خاص طراحی شده‌اند (احتشامی معین آبادی، ۱۳۹۵). اما به دلیل دشواری اجرا و به خصوص هزینه، رعایت حریم گسل انتخاب اول و اقتصادی تر در برابر خطر گسیختگی سطحی است.

در این مقاله با جمع‌بندی اطلاعات موجود و جدید، نقشه‌ای بروز شده از پراکندگی گسل‌ها در پهنه شمالی شهر تهران ارائه شده است. سپس تجربه موجود درباره مواجهه با خطر گسیختگی سطحی در کشورهای لرزه‌خیز معرفی و وضعیت سازه‌های مهم که در معرض خطر گسیختگی سطحی در پهنه شمالی شهر تهران هستند، مورد بررسی قرار گرفته است. در نهایت با نگاه انتقادی، راهکارهای میان مدت و بلندمدت مورد ارزیابی قرار گرفته‌اند.

منطقه مورد مطالعه

گستره مطالعه در پهنه شمالی شهر تهران تا منطقه ۲۲ (وردآورد) قرار دارد. مختصات جغرافیایی گستره بین طول‌های ۵۱ درجه و ۲ دقیقه تا ۵۱ درجه و ۳۰ دقیقه طول شرقی و ۳۵ درجه و ۴۳ دقیقه تا ۳۵ درجه و ۵۱ دقیقه عرض شمالی قرار گرفته است.

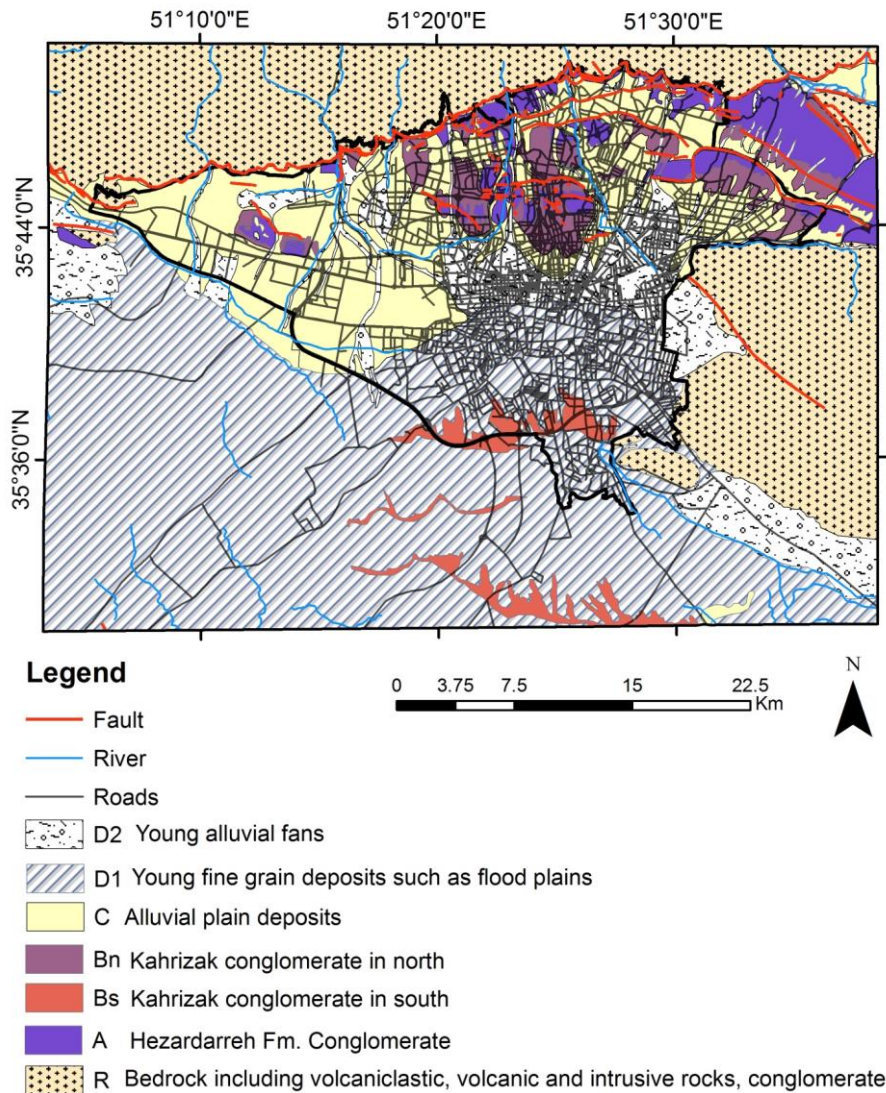
مواد و روش‌ها

در این مقاله با جمع‌بندی اطلاعات موجود از منابع منتشره شده طی چهار دهه گذشته، بررسی عکس‌های هوایی مربوط به دهه ۱۹۵۰ میلادی، تصاویر ماهواره‌ای (Google Earth) و بازدیدهای میدانی، قشه‌ای بروز شده

کلان‌شهر تهران، پایتخت ایران، در دامنه جنوبی بخش مرکزی رشته کوه‌های البرز قرار گرفته است. ارتفاع آن از سطح آب‌های آزاد، در گستره توسعه یافته شهر بین ۱۸۰۰ متر در شمال تا ۱۲۰۰ متر در مرکز و ۱۰۵۰ متر در جنوب متغیر است (شکل ۱). تهران توسط شهرهای شمیرانات، کرج، شهریار، اسلامشهر و ری احاطه شده است که از این میان، ری از جنوب با کلان شهر تهران پیوند خورده است. به دلایل متنوع از جمله شرایط اقلیمی مناسب، دسترسی به منابع آب قابل توجه، مراتع غنی برای چرای دام، دژ طبیعی در برابر حمله دشمنان؛ از دیرباز رشته کوه‌های البرز مهد رشد و گسترش تمدن‌های کوچک و بزرگ متعددی از دوران باستان بوده است (نیکنمایی و ده پهلوان، ۱۳۹۲؛ اله دادی و همکاران، ۱۳۹۷؛ ضیاءآبادی، ۱۴۰۰). به دلایل شناخته شده و آشکار زمین‌ساختی، از جمله رویداد زمین‌لرزه‌های ویرانگر تاریخی (Ambraseys and Melville, 1982; Berberian and Yeats, 1999, 2001, 2016) و دگرشکلی واحدهای نهشتی کواترنری (بربریان و همکاران، ۱۳۶۴، ۱۳۷۱؛ Nazari et al, 2014; Ghasemi et al, 2014; Soleymani-Azad et al, 2011)، زمین‌لغزش‌های بزرگ قدیمی (Ehteshami-Moinabadi and Nasiri, 2019)، و داده‌های ژئودزی (Nilforoushan et al, 2003; Vernant et al, 2004) رشته کوه‌های البرز از کوه‌های تالش و آذربایجان در شمال غرب تا بینالود در شمال شرق، هنوز از نظر زمین‌ساختی جنبا است. بدین سبب خطر زمین‌لرزه و پدیده‌های تحریک شده از آن، برای همه شهرها و محله‌هایی که در گذشته بنا شده یا در دست ساخت جدید است، به ویژه در مجاورت دامنه‌های شمالی یا جنوبی این رشته کوه حتمی است. جنبش و دگرشکلی زمین ناشی از زمین‌لرزه خطرات جانبی متعددی را چون زمین‌لغزش، روانگرایی، تشدید مکانیکی، سونامی، آتش‌سوزی و انفجار می‌تواند پدید آورد، با این وجود دو خطر جنبش نیرومند زمین ناشی از انتشار امواج زمین‌لرزه و گسیختگی سطحی مستقیم ناشی از گسلش زمین‌لرزه‌ای، حتمی و بدون واسطه با رخداد زمین‌لرزه مرتبط هستند. در راستای مقابله با خطر جنبش‌های لرزه‌ای همواره به‌طور فعال آیین‌نامه‌های ساخت و ساز در کشورهای لرزه‌خیز تدوین می‌شوند که رعایت آنها تا حد زیادی سطح ایمنی را در

سازه‌های مهم که در معرض خطر گسيختگی سطحی در پهنه شمالی شهر تهران هستند، مورد نقد و بررسی قرار گرفته است. در نهایت راهکارهای میان مدت و بلندمدت برای این خطر مورد ارزیابی قرار گرفته‌اند.

از پراکندگی گسل‌ها در پهنه شمالی شهر تهران ارائه شده است. همچنین نمونه‌هایی از گسترش شهر بر روی پهنه های گسلی معرفی شده است. سپس تجربه موجود درباره مواجهه با خطر گسيختگی سطحی در کشورهای لرزه خیز جهان بررسی و بر مبنای یافته‌های جدید، وضعیت



شکل ۱: نقشه زمین‌شناسی محدوده شهر تهران، تغییر یافته بر مبنای (JICA 2000)

در صورت فعالیت مجدد سامانه گسلی شمال تهران آسیب های وسیعی را در این پهنه به همراه خواهد داشت. این ترانشه با عمق تقریبی ۵ متر و طول ۲۰ متر در کیلومتر ۲۵ جاده تهران کرج (منطقه وردآورد) در یک گستره نظامی حفر و چینه‌نگاری شده است. امکان جنبش دوباره گسل شمال تهران برای این زمین‌لرزه بیش از سایر گسل‌های منطقه است، اما دوره بازگشت منظم ندارد. این

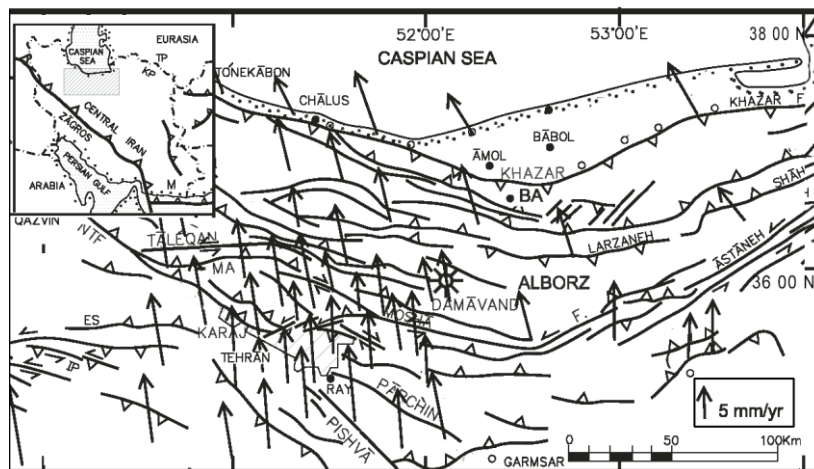
بحث و نتایج

لرزه‌زمین‌ساخت و تاریخچه مطالعات لرزه‌زمین‌ساختی در دشت تهران

سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور در سال ۱۳۸۲، موفق به حفر ترانشه‌ای شد که شواهدی مستند از رویدادهای لرزه‌ای را در پهنه گسل شمال تهران آشکار می‌ساخت، موضوعی که بلافاصله می‌توان نتیجه‌گیری کرد

داده‌های GPS نشان می‌دهد که کوتاه شدگی شمال - جنوب در سراسر البرز در 5 ± 2 میلی‌متر در سال، با یک جابجایی موازی با کمربند و چپگرد با سرعت 4 ± 2 میلی-متر در سال اتفاق می‌افتد (شکل ۲) (Nilforoushan et al, 2003; Vernant et al, 2004; Masson et al, 2007). گسترش داده‌های ژئودتیکی و دوره‌های اندازه‌گیری و داده‌های گرانش مطلق (Djamour et al, 2010) نشان می‌دهد که کرنش در جبهه کوهستانی البرز شمالی به کوتاه‌شدن ۶ میلی‌متر در سال و حرکت چپگرد ۲ میلی‌متر در سال در امتداد گسل خزر با افزایش سرعت سطح ۱-۵ میلی‌متر در سال تقسیم می‌شود. در مقابل، بخش جنوبی البرز دارای کوتاه‌شدگی > 1 میلی‌متر در سال، امتدادلغز چپگرد ۱ میلی‌متر در سال (Djamour et al, 2010; Ballato et al, 2015) و بیشینه برخواستگی فعال زمین ساختی البرز مرکزی در نزدیکی گسل‌های شمال تهران و مشا در نزدیکی کرج، با نرخ‌های متوسط 0.6 ± 1.7 و 0.6 ± 1.8 میلی‌متر در بیست و دو سال می‌باشد (صابری و همکاران، ۱۳۹۵). داده‌های GPS اخیر منطقه‌ای، $1/5$ و $1/8$ میلی‌متر در سال، چپگرد و میزان جابجایی کوتاه‌شدگی شمال - جنوب را به ترتیب، در منطقه کلان‌شهری تهران نشان می‌دهد (Mousavi et al, 2013). تقسیم‌بندی کرنش مورب به امتدادلغز و گسلش معکوس نیز با تحلیل لرزه‌خیزی مستند شده است (Berberian et al, 1992; Jackson et al, 2002; Tatar et al, 2007a, 2007b; Masson et al, 2007; Berberian and Walker, 2010).

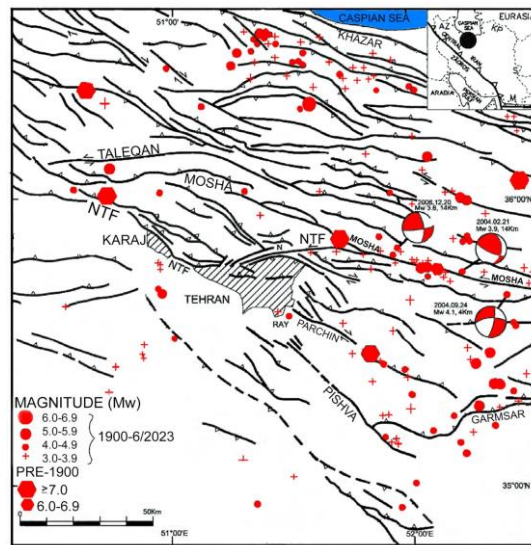
مسئله یافته‌ای بسیار مهمی در تحلیل خطر زمین‌لرزه در گستره تهران محسوب می‌شود چرا که سامانه گسلی شمال تهران اصلی‌ترین روند چشمه لرزه‌زایی شهر تهران است (Ritz et al, 2012). در یک مطالعه پیشگامانه جامع در مورد مخاطرات ناشی از زمین‌لرزه و ارزیابی ریسک این خطرات برای شهر تهران، نقشه‌های دقیق زمین‌شناسی، کاربری اراضی، لرزه‌خیزی و شتاب زمین تهیه شد و آسیب‌پذیری ساختمان‌های قدیمی و زندگی انسانی برای مسئولین در سال ۱۹۸۵ مورد تاکید قرار گرفت. بر این اساس، مناطق حریم گسلش در امتداد گسل‌های فعال نگاشت شده در منطقه شهری برای اولین بار پیشنهاد شدند (JICA, 2000). شوربخانه از آن زمان به بعد، ساخت ساختمان‌ها بر روی گسل‌های فعال تقریباً تمام گسل‌های داخل شهر را تحت پوشش قرار داده است و بیشتر قسمت‌های سیستم گسلی شمال تهران دیگر برای تحقیقات دیرینه لرزه‌ای در شهر دیگر در دسترس نیستند. اگرچه یک برنامه واکنش اضطراری ۷۲ ساعت پس از زمین‌لرزه توسط شرکت ژاپنی برای تهران تهیه شد (JICA, 2009)، اما سازه‌های آسیب‌پذیر شهر قدیمی هنوز مقاوم‌سازی، تخلیه و بازسازی نشده‌اند (Berberian and Yeats, 2016). شتاب اولیه زمین برای سطوح مختلف طراحی و در بازه زمانی ۱۰۰ ساله $0.27g$ برآورد شد. براساس این تحقیق، یک مطالعه ریزمنطقه‌بندی لرزه‌ای برای شهر توسط شرکت ژاپنی JICA در سال ۲۰۰۰ انجام شد (JICA, 2000, 2009; Berberian and Yeats, 2016). تجزیه و تحلیل



شکل ۲: نقشه گسل‌های فعال البرز مرکزی به همراه بردارهای سرعت ژئودزی (Djamour et al, 2010) نسبت به یک نقطه ثابت در اوراسیا روند مایل بردارها نسبت به روند کوهزاد وجود جنبش‌های امتدادلغز و معکوس جوان را تایید می‌کند (با تغییر از بربریان و بیتز؛ Berberian and Yeats, 2016)

مرتفع البرز، نسبتاً جدید بوده و احتمالاً پس از یکی از مراحل بعدی ساخت کوه در البرز است (Axen et al, 2001; Guest et al, 2006a, 2006b; Ballato et al, 2011, 2013, 2015). جدول ۱ و شکل ۳ فهرست و نقشه زمین‌لرزه‌های تاریخی و دستگاهی بزرگ را در محدوده شهر تهران و پیرامون نشان می‌دهد. همانطور که در جدول مشخص شده است برای اغلب زمین‌لرزه‌های بزرگتر از ۵ گسل مسبب تقریباً شناخته شده است.

البرز به عنوان یک کمربند حرکات کوهزایی انتقالی عمل می‌کند که حرکت ناهمسانی بین فلات مرکزی ایران در جنوب و حوضه خزر جنوبی در شمال را تطبیق می‌دهد و به نظر می‌رسد شامل کوتاه‌شدگی چپگرد مورب می‌باشد (Jackson et al, 2002; Vernant et al, 2004; Berberian and Walker, 2010). جابجایی‌های تراکمی نسبتاً کوچک چپگرد مشاهده شده در امتداد گسل زلزله ۱۹۹۰ رودبار، نشان می‌دهد که شروع گسلش امتدادلغز چپگرد در ناحیه



شکل ۳: لرزه‌خیزی تاریخی و دستگاهی محدوده شهر تهران و پیرامون، داده‌های زمین‌لرزه‌های مهم در جدول ۱ ارائه شده‌اند. داده‌های لرزه‌ای دستگاهی از مرکز لرزه‌نگاری کشوری. داده‌های تاریخی و گسل‌های ناحیه‌ای براساس مبنای بربریان و بیتز (Berberian and Yeats, 2016).

جدول ۱: فهرست زمین‌لرزه‌های تاریخی و دستگاهی ($M_w > 4.4$) در محدوده شهر تهران و پیرامون؛ بر مبنای بربریان و بیتز (Berberian and Yeats, 2016) با بروزرسانی داده‌های رویدادهای اخیر.

تاریخ	مکان	رومکز (برای داده‌های تاریخی تقریبی)	تلفات	خسارت	شدت در رومکز (اصلاح شده مرکالی)	بزرگا (Ms)	بزرگا (Mw)	گسل مسبب
۲۸۰ تا ۳۱۲ پیش از میلاد	ری - جنوب تهران	۴۵۱/۸۲، ۳۵/۴۸	بسیار زیاد	تخریب ری + دو هزار روستا	>VIII	$7/1 \geq$	$7/0 \geq$	گسل پارچین
۸۸۵/۰۵/۲۲	ری - جنوب تهران	-	بسیار زیاد	تخریب ری و تعداد زیادی روستا	IX?	?7/1	?7/0	؟
۸۶۴/۰۱/۱۵	ری - جنوب تهران	-	زیاد	ری	>VII+	$6/0 >$	$6/0 >$	؟
۹۵۸/۰۲/۲۳	شمال شرق تهران	۴۵۱/۷۶، ۳۵/۸۱	بسیار زیاد	ری، دیزه قصران	>VIII	$7/1 \geq$	$7/0 \geq$	مشا
۱۱۷۷/۰۵	ری - قزوین؟	۴۵۰/۴۳، ۳۶/۱۰	بسیار زیاد	ری، قزوین، روستاهای بسیار	IX	7/1	7	بخش غربی گسل شمال تهران؟
۱۶۶۵/۰۶	دماوند	۴۵۲/۰۸، ۳۵/۷۵	-	دماوند، جاجرود، روستاهای بسیار	VIII	6/5	6/5	مشا
۱۸۳/۰۳/۲۷	لواسانات	۴۵۱/۷، ۳۵/۸۱	بسیار زیاد	بسیار	IX	7/1	7	مشا
۱۸۳/۰۴/۰۶	لواسانات	۴۵۱/۹۶، ۳۵/۷۶	-	خسارت بیشتر در جاجرود	>VII+	$6/1 >$	$6/1 >$	مشا
۱۹۳/۱۰/۰۲	میراک آباد	۵۲/۱۰، ۳۵/۸۰	-	-	-	5/1	5/1	مشا

خطر گسیختگی سطحی و تجربه‌های موجود برای مقابله با آن

در کشورهای لرزه‌خیز جهان، اطلاعاتی از مشاهده و گزارش پدیده‌هایی در ارتباط با زمین‌لرزه در منابع تاریخی به ثبت رسیده است که امروزه می‌دانیم بخشی از آن مشاهدات در واقع گسیختگی سطحی در اثر گسل‌هایی بوده است که سبب بروز زمین‌لرزه شده‌اند. برای نمونه در ایالات متحده، قدیمی‌ترین گسیختگی‌های سطحی مشاهده شده که بعدها تایید شده‌اند در ارتباط با زمین‌لرزه‌های ۱۸۱۱-۱۸۱۲ در منطقه نیومادرید، زمین‌لرزه هایوارد (۱۸۳۶ میلادی) بر روی گسل هایوارد، زمین‌لرزه سن جاکینتو (۱۸۹۹) زمین‌لرزه ۱۹۰۶ سان فرانسیسکو (بزرگا ۸/۳) بر روی گسل سان آندریاس بوده‌اند (Bonilla, 1967). اما از دهه ۱۹۷۰ به بعد، خطر گسیختگی سطحی به صورت ویژه‌تر مورد توجه زمین‌شناسان و مهندسانی قرار گرفت که در زمینه تدوین اصول ساخت و ساز در مناطق لرزه‌خیز فعالیت داشتند. بونیللا (Bonilla, 1967) داده‌های تاریخی از گسیختگی سطحی در ایالات متحده و بخشی از مکزیک به منظور بهره‌برداری در طراحی ساختگاه‌های هسته‌ای را گردآوری و تحلیل کرد. گرو و پالم (Grow and Palm, 1982) وضعیت جمعیت و خانه‌سازی در مناطق نزدیک به گسل‌های لرزه‌زا در ایالت کالیفرنیا را بررسی کردند. البته بررسی‌ها و تحلیل‌های آماری بیانگر رابطه بین پارامترهای مختلف لرزه‌ای و گسیختگی سطحی در دهه‌های ۱۹۷۰ به بعد رواج یافتند که منابع مختلفی از آنها وجود دارد. اما ملاحظه گسیختگی سطحی به عنوان خطر و راهکارهای مقابله با آن تقریباً تا قبل از سال ۲۰۰۰ میلادی در آیین‌نامه‌ها به ویژه در ایالات متحده به صورت کلی با در نظر گرفتن حریم ۵۰ فوتی تقریباً معادل ۱۵ متر برای گسل‌های شناخته شده متوسط رایج بوده است. شکل ۴ الف تا ت نمونه‌هایی از گسیختگی سطحی زمین‌لرزه‌های بزرگ در ایران و جهان را نشان می‌دهد. در ۱۹۷۲، سازمان زمین‌شناسی کالیفرنیا مصوبه‌ای (Alquist-Priolo Earthquake Fault Zoning Act) را برای کاهش خطر گسیختگی سطحی برای سازه‌های مسکونی و غیره به مرحله اجرا گذاشت (شکل ۴ ث). اولین تلاش‌ها برای ارایه فرمولی برای حریم گسل بر مبنای نوع گسل و شیب و ویژگی‌های سازه در اوایل دهه ۲۰۰۰ صورت گرفت (Batatian, 2002;)

(Christenson et al, 2003). حریم گسل عبارتست از محدوده‌ای با فاصله معین از گسل فعال شناخته شده که هیچ سازه یا ساختمانی حتی خانه‌های تک خانوار نیز در آن محدوده نباید ساخته شود (Nestle and Lem, 2010). تعیین محدوده حریم گسل نیازمند مطالعات ساختگاهی است. مراحل مطالعات ساختگاهی جهت تعیین حریم و خطر گسل عبارتست از مرور ادبیات، مطالعه عکس هوایی و دورسنجی، برداشت‌های صحرائی شامل نقشه‌برداری سطحی و برداشت زیرسطحی با کمک حفاری و حفر ترانشه. برای نمونه سازمان زمین‌شناسی یوتا (Christenson et al, 2003) پیشنهاد می‌کند که برای همه انواع سازه‌های حساس و مسکونی در نزدیکی گسل‌های عهد حاضر (فعالیت طی ۱۰۰۰۰ سال گذشته) و برای سازه‌های حساس در نزدیکی گسل‌های کواترنری پایانی (فعالیت طی ۱۳۰ هزار سال اخیر)، مطالعات ساختگاهی بر روی گسل‌های فوق به منظور تعیین حریم گسل صورت گیرد. از طرفی این سازمان پیشنهاد می‌کند برای گسل‌های خوب شناسایی شده، محدوده‌ای به عرض ۱۵۰ متر در فرودپواره و عرض ۷۵ متر در فرادپواره و برای گسل‌های کمتر شناخته شده محدوده‌ای به عرض ۳۰۰ متر از هر طرف گسل جهت شناسایی گسل‌های احتمالی دیگر مد نظر قرار گیرد (Christenson et al, 2003). در مناطقی که گسل‌ها به خوبی و دقت بالا شناسایی نشده‌اند، تهیه نقشه‌های اولیه ۱:۵۰۰۰۰ از گسل‌های کواترنری، اولین قدم در جهت شناسایی گسل‌ها بوده و سپس مطالعات ساختگاهی جهت افزایش دقت برداشت‌ها و تعیین حریم صورت می‌گیرد (احتشامی معین آبادی، ۱۳۹۵). محدوده یا فاصله حریم تا گسل‌هایی که اثر سطحی معین و شناخته شده‌ای دارند، توسط اغلب زمین‌شناسان در کالیفرنیا ۵۰ فوت (حدود ۱۵ متر) از هر طرف در نظر گرفته می‌شود (Christenson et al, 2003; Zhou et al, 2010)، هر چند برخی این فاصله را تا ۲۵ متر نیز پیشنهاد کرده‌اند (Zhou et al, 2010). راهکارهایی دیگر برای مقابله خطر گسیختگی سطحی وجود دارند که اغلب بسیار گران بوده و برای سازه‌های خاص مورد استفاده قرار می‌گیرند. برای مثال می‌توان به استفاده از مواد پرکننده شکل‌پذیر در زمین به منظور توزیع جابجایی گسل، استفاده از لایه‌های لغزشی به منظور جداسازی جابجایی زمین از پی، نصب تقویت کننده خاک،

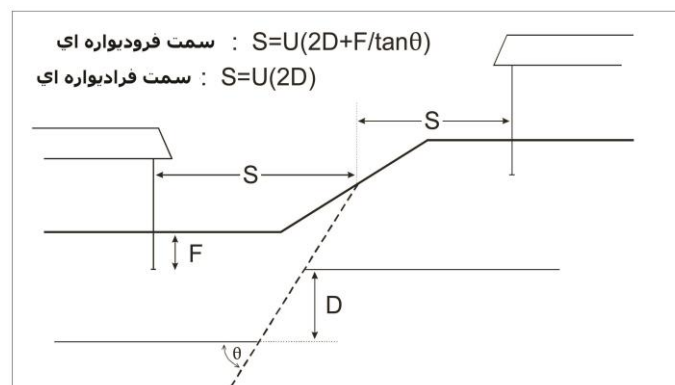
گسل بر این تاکید دارند که قبل از توسعه شهرها می‌بایست نقشه‌های بسیار دقیق از موقعیت گسل‌ها تهیه شود. تهیه این نقشه‌ها در مناطق پوشیده از نهشته‌های جوان با روش‌های زیرسطحی امکان‌پذیر است، هرچند داده‌های تاریخی از مشاهدات گسلش کمک می‌کنند. بررسی جنبایی یا ناجنبایی گسل‌های شناخته شده در صورت وجود منابع مالی بسیار مفید است. در غیر این صورت با دیدگاه محتاطانه می‌بایست نسبت به محاسبه حریم گسل و تنظیم مقررات ساخت و ساز مطابق با آنها را در اولویت قرار داد. با توجه به گسیختگی‌های ویرانگر زمین‌لرزه‌ای، رویکردهای سختگیرانه در دو دهه اخیر در اغلب کشورها در رابطه با این خطر وجود داشته و اغلب به لزوم عدم ساخت و ساز در حریم گسل تاکید دارند (Nestle and Lem, 2010; Du et al, 2012; Quigley et al, 2010; Zhang et al, 2012; Toke et al, 2014; Fenton and Kernohan, 2015; Striling et al, 2017; Yang and Mavroeidis, 2018; Garcia and Bray, 2022). بری (Bray, 2012) راهبردهای مقابله با این خطر را در طراحی سازه‌ها بررسی کرده و بر لزوم رعایت حریم اجباری، استفاده از مواد پرکننده جهت جذب جابجایی در لایه‌های زیرین و راهکارهای مختلفی در طراحی پی سازه‌ها را اشاره داشته است. اوتله و بری (Oettle and Bray, 2013) ویژگی‌های راهبردهای مهندسی برای کاهش خطر گسیختگی را به ویژه در زمینه استفاده از مواد مختلف برای جذب و کاهش خطر فوق به صورت جزئی‌تر بررسی کرده‌اند. یکی از راهکارهایی که در ایالات متحده برای خطر گسیختگی سطحی گسل‌های لرزه‌زا وجود دارد تعریف مناطق مطالعاتی ویژه (Special studies zones) پیرامون گسل‌های مهم است تا از این طریق در محدوده‌ای تعریف شده در اطراف گسل، مطالعه خطر گسیختگی سطحی و ریسک آن تسهیل شود. به عبارتی از این طریق با پیاده‌سازی قوانین مرتبط با خطرات زمین‌شناسی در مناطق شهری؛ ساختگاه‌های بالقوه برای پژوهش‌های دقیق شناسایی شده (برای نمونه مناطقی که افزایش گسلی بهتر حفظ شده‌اند) و داده‌های بیشتر از طریق روش‌های مختلف مطالعاتی و شبکه‌های لرزه‌نگاری جمع‌آوری می‌گردد. برای نمونه می‌توان به پهنه مطالعاتی گسل واساچ (Wasatch) در ایالت‌های یوتا و آیداهو اشاره کرد (McDonald et al, 2020).

قرار دادن بستر یا کف همه اجزای پی در یک سطح، طراحی سازه به گونه‌ای که انعطاف‌پذیر بوده و دارای درزه‌های کنترل باشند، طراحی پی‌های مقاوم و شکل‌پذیر مانند پی‌های گسترده ضخیم و تقویت شده، تختال‌های و فل و تختال‌های پس تنیدگی و قرار دادن مواد تراکم‌پذیر در مجاورت دیوارها و امکانات اشاره کرد. جدا از اینکه راهکارهای دیگری برای مقابله با خطر گسیختگی سطحی در جهان وجود دارد که اغلب گران هستند، اما مساله حریم گسل به عنوان کم هزینه‌ترین راه حل هنوز محور اصلی توجه زمین‌شناسان برای مقابله با این خطر است (شکل ۵). در ایران نیز، مطالعات مربوط به خطر گسیختگی سطحی چند دهه قدمت دارد، هرچند در بخش اجرایی و عملیاتی از نتایج این مطالعات استفاده نشده است. بربریان و همکاران (۱۳۶۴) ضمن معرفی گسل‌های جنبا در پهنه تهران و پیرامون، در روزگاری که پوش سازه‌ای و تراکم جمعیتی تهران یک سوم امروز بود، خطر گسیختگی سطحی را بر مبنای مطالعه عکس‌های هوایی و بررسی‌های میدانی مستند و تبیین کردند که یکی از منابع پایه امروز برای مطالعات خطر زمین‌لرزه در شهر تهران به شمار می‌آید. در یک پژوهش تحسین برانگیز، بربریان (Berberian, 2014) به معرفی، مرور و نقد زمین‌لرزه‌ها و گسلش سطحی هم‌لرز در فلات ایران پرداخته است. این کتاب که به فارسی ترجمه شده است (نظری، ۱۳۹۵) به‌طور مفصل نمونه‌هایی از رخداد گسیختگی سطحی در ارتباط با زمین‌لرزه‌های بزرگ تاریخی در فلات ایران را بررسی کرده است. قاسمی (Ghassemi, 2016) بر مبنای اطلاعات موجود از گسیختگی سطحی ناشی از زمین‌لرزه‌های فلات ایران در بازه ۱۹۰۰ تا ۲۰۱۴ میلادی، به اهمیت شناخت دقیق ویژگی‌های هندسی و جنبشی گسل‌های جنبا به ویژه در محاسبه حریم گسل تاکید کرده است. از اهمیت شناخت دقیق موقعیت گسل‌های جنبا با استفاده از روش‌های مطالعات سطحی و زیرسطحی، مفهوم قطعه‌بندی گسل و روند مهاجرت رخداد زمین‌لرزه در گسل‌های جنبایی بزرگ، توجه به پیچیدگی‌های ساختاری، بخش‌شدگی دگرشکلی و گسلش‌های فرعی در امتداد گسل‌های جنبا از موارد مهمی است که در مطالعات تخصصی مختلف مورد تاکید و توجه پژوهشگران قرار گرفته است (Ghassemi, 2016). جدیدترین دیدگاه‌ها درباره نحوه محاسبه و رعایت حریم

موجود برای بررسی مطالعات پیشین به همین مقدار بسنده می‌شود.

نقشه بروز شده گسل‌ها در پهنه شمالی تهران، مناطق با خطر بیشتر گسیختگی سطحی کدامند؟

شکل ۶ نقشه بروزسانی شده از موقعیت گسل‌های مهم در پهنه شمالی شهر تهران را نشان می‌دهد. این نقشه حاصل تلفیق اطلاعات موجود از گسل‌ها در پهنه شهر تهران (بربریان و همکاران، ۱۳۶۴)، عباسی و فرید (Abbssi and Farbod, 2009)، طالبیان و همکاران (Talebian et al., 2016)، بربریان و بیتز (Berberian and Yeats, 2016)، نظری و همکاران (Nazari et al, 2005, 2007, 2008) و غیره) با گسل‌ها و خطواره‌های شناسایی شده از بازبینی عکس‌های هوایی مربوط به سال ۱۹۵۵ میلادی و بررسی دقیق داده‌های ماهواره‌ای با تکفیک مکانی بالا از در "Google Earth" به همراه تصاویر لندست قدیمی تر می‌باشد.



شکل ۴: نحوه محاسبه حریم گسل برای گسل‌های با سطح لغزشی معین، S: فاصله حریم، D: میزان جابجایی مورد انتظار، F: بیشینه عمق سازه در زیرزمین، θ : زاویه شیب گسل، U: عامل بحرانی که مطابق با کد بین‌المللی و با توجه به نوع کاربری تعیین می‌گردد (برای کاربری‌های تجاری، صنعتی، کارخانجات، اجتماعی و مسکونی بیش از یک خانوار ۲، کاربری‌های آموزشی، سازمانی و کاربری‌های پرخطر ۳، کاربری‌های مسکونی تک خانوار ۱/۵ و کاربری‌های انبار، امکانات عمومی و غیره ۱). براساس (Batatian, 2002; Christenson et al, 2003).

سامانه گسل شمال تهران در جای دیگری معرفی خواهند شد. ما در اینجا قصد نداریم تا گسل‌های شناخته شده در پهنه شهر تهران را مورد به مورد مجدد معرفی کنیم و خوانندگان را به منابع دیگر از جمله بربریان و همکاران (۱۹۶۴)، بربریان و بیتز (Berberian and Yeats, 2016)، عباسی و فرید (Abbssi and Farbod, 2009)، ریتز و همکاران (Ritz et al, 2012) و طالبیان و همکاران (Talebian et al, 2016) ارجاع می‌دهیم؛ اما برخی تغییرات در نقشه بروز شده معرفی می‌شوند. گسل شمال تهران،

بونیکو و همکاران (Bonico et al, 2018) دریافتند که خطر گسیختگی سطحی برای گسل‌های راندگی اصلی در سمت فرادیواره نامتقارن بوده و حریم محاسبه شده می‌بایست در فرادیواره دوبرابر فرودیواره باشد. آنها اضافه کردند که برای اغلب گسل‌های راندگی مهم ۵۰٪ گسیختگی‌ها در محدوده با فاصله کمتر از ۲۵۰ متری گسل از هر سمت آن متمرکز خواهد بود، اما محدوده با فاصله ۶۰ متری از گسل به سمت فرادیواره و برعکس محدوده‌ای است که کاملاً باید به عنوان حریم رعایت شود. گرچه حریم محتاطانه از هر طرف از یک گسل راندگی مهم تا بیش از ۸۰۰ متر عرض خواهد داشت. یانگ و ماورویدیس (Yang and Mavroeidis, 2018) عملکرد نمونه‌های مختلفی از پل‌ها در مناطق مختلف جهان را تحت تاثیر گسلش سطحی قرار گرفته‌اند را بررسی کرده و راهکارهای پیاده شده را ارزیابی کردند. لازم به ذکر است مطالعات در این زمینه مفصل بوده و با توجه به محدودیت

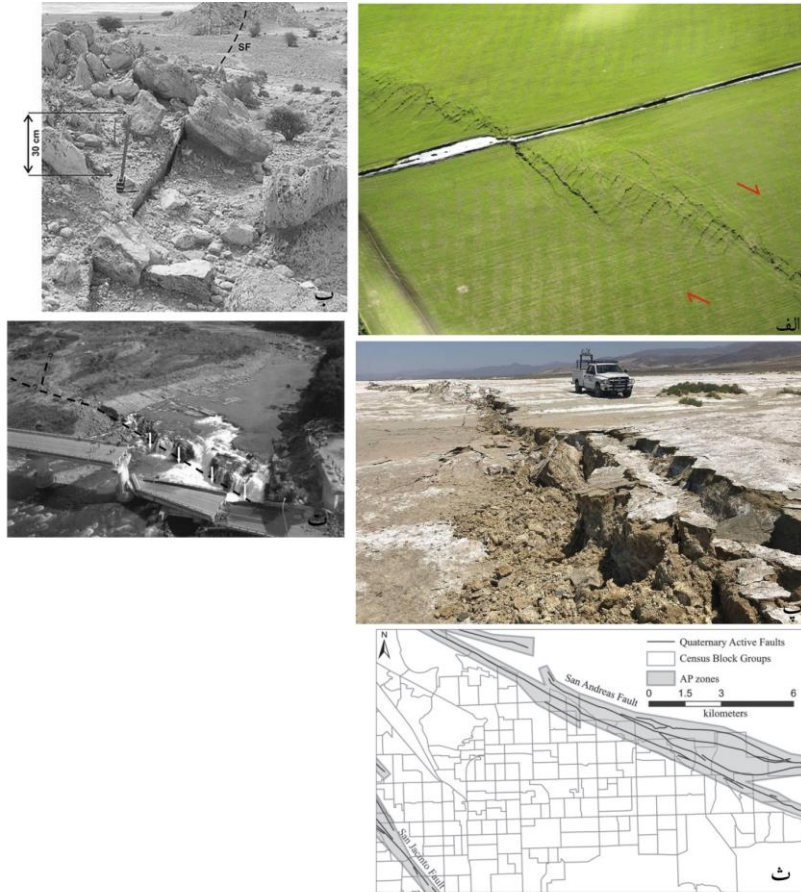
در این راستا همچنین بازدیدهای صحرایی از برش‌های جدید در امتداد راه‌های تازه احداث شده یا گودبرداری‌ها به ویژه ادامه بزرگراه همت نیز استفاده شده است. نکته مهم در این نقشه شناخت ادامه روندهای گسل‌هایی است که پیش از این معرفی شده بودند اما انتهای آنها نامعلوم بود. همچنین شبکه گسترده‌ای از شکستگی‌ها یا در واقع گسل‌های فرعی متعلق به سامانه گسل شمال تهران به ویژه در بخش فرادیواره‌ای آن به نقشه درآمده‌اند که پیش از این منتشر نشده است. پیچیدگی‌های ساختاری و دگرشکلی در

آن به داخل شهر تهران امتداد یافته است. در محله اقدسیه حدود ۶۰۰ متر جابجایی چپگرد نشان می‌دهد این گسل در یک کیلومتری جنوب راندگی شمال تهران واقع است. در منطقه خاوری خیابان درختک در منطقه نیاوران در شمال تهران، گسل دارای عمق زیاد به سمت شمال است. به این صورت که چینه‌بندی ائوسن کرج، بر روی برش نهشته‌های آبرفتی هزاردره در جنوب واقع شده است (بربریان و همکاران، ۱۳۶۴؛ Berberian and Yeats, 2016). در نقشه ۶ بر مبنای شواهد موجود از به هم ریختگی آبراه‌ها و مخروط افکنه‌ها در عکس‌های هوایی قدیمی ادامه باختری گسل‌های نیاوران و محمودیه ترسیم شده است (شکل ۷). این دو گسل در حوالی دره درکه به هم متصل شده و سپس به صورت یک گسل واحد تا حدود دره کن ادامه پیدا می‌کنند تا به گسل شمال تهران متصل می‌شوند (شکل‌های ۶ و ۷). گسل کن با روند شمال خاور - جنوب باختر به طول حدود ده کیلومتر از سامانه شمال تهران جدا شده و تا مجموعه گسل‌های موجود در چیتگر ادامه پیدا می‌کند. شواهد ریخت زمین‌ساختی حرکت چپگرد را بر روی این گسل نشان می‌دهد. احتمالاً این گسل در انتقال بخشی از مولفه چپگرد دگرشکلی به بخش‌های جنوبی‌تر از پیشانی کوهستان در این گستره نقش دارد. در قسمت‌های مختلف سامانه گسل شمال تهران با گسل‌های فرعی مختلف به ویژه در فرادیواره همراه است. روندهای گسلی متعددی در محدوده پارک جنگلی چیتگر و دریاچه شهدای خلیج فارس وجود دارد. بخشی از این روندها اخیراً در یک مطالعه با استفاده رادار نفوذکننده به زمین (GPR) شناسایی و تفسیر شده‌اند (Aliyannezhadi et al, 2020). البته گسل‌های جوان در محدوده پارک جنگلی چیتگر بیشتر مورد توجه قرار گرفته بودند به گونه‌ای که مطالعات پارینه لرزه‌نگاری نیز بر اهمیت خطر لرزه‌ای آنها تاکید کرده‌اند (نظری و همکاران، ۱۳۹۱، ۲۰۰۷). مجموعه سامانه‌های گسلی در این محدوده می‌توانند حاصل انشعاب و انتشار گسل از سامانه گسلی شمال تهران یا انتقال دگرشکلی به دلیل خم‌های ساختاری در سامانه گسلی شمال تهران باشد. از وردآورد به سمت غرب سامانه گسل شمال تهران با خم‌های ساختاری که در هندسه پیشانی کوهستان خود را نشان می‌دهد، هندسه پیچیده‌تری یافته است. اما به‌طور کلی این سامانه در طول نوار شمالی شهر

گسل پردیسان، گسل نیاوران، گسل محمودیه، گسل داوودیه و گسل کن با بیشترین طول، خطرناک‌ترین روندهای گسلی داخل شهر تهران به شمار می‌آیند. هرچند گسل‌هایی مانند گسل مشا که کمترین فاصله آن تا شهر تهران دست کم ۳۰ کیلومتر است یکی از سرچشمه‌های لرزه‌ای موثر و بسیار مهم در شهر تهران محسوب می‌شود. اما از دیدگاه خطر گسیختگی سطحی گسل‌های واقع در محدوده شهر اهمیت دارند. نقطه شروع گسل شمال تهران از خاور به منطقه آیرا و روستای جورد در لواسانات می‌رسد که در آنجا از گسل مشا منشعب می‌گردد. سپس از سوهانک و لشکرک در شمال خاوری شهر تهران تا حصارک و فرحزاد در باختر تهران ادامه یافته و سرانجام از شمال شهر کرج و تا هشتگرد به طول بیش از ۱۷۵ کیلومتر کشیده شده است. گسل شمال تهران در مسیرش در داخل شهر تهران از محله‌های نیاوران، تجریش، زعفرانیه، الهیه و فرمانیه و سعادت آباد عبور کرده و سپس از محدوده منطقه ۲۲ تا وردآورد تداوم یافته و سرانجام از گرمدره به استان البرز می‌رسد (شکل‌های ۱، ۳ و ۶). گسل شمال تهران مرز قدیمی کوه و دشت در منطقه تشکیل می‌دهد. مطالعات مختلفی بر روی این گسل انجام شده است. سیستم گسل شمال تهران، شامل راندگی قدیمی شمال تهران و ساختار جدیدتر نردبانی راست پله (نیاوران، درکه، فرحزاد و کن)، با مولفه امتدادلغز چپگرد، البرز جنوبی را از فروافتادگی نئوژن - کواترنر تهران جدا می‌کند (Berberian and Yeats, 2016). این گسل ساختاری اصلی است که فعالیت آن پیش از کواترنری آغازین سبب شده دامنه جنوبی کوه‌های البرز نسبت به فروافتادگی تهران ۲۵۰۰ متر بالاتر قرار گیرد (بربریان و همکاران، ۱۳۶۴؛ Engalenc, 1968; Tchalenko et al, 1974; Berberian, 1976). این گسل برجسته‌ترین ساختار تکتونیکی فعال در منطقه تهران است و تقریباً به‌طور مداوم در دامنه کوه‌های البرز مرکزی در بخش‌های مختلف دنبال می‌شود. گسل نیاوران در نقشه سیمای پلکانی و شیب به سمت شمال دارد که از منطقه ۱ و ۲ تهران عبور می‌کند و گسلی امتدادلغز با مولفه راندگی و زاویه شیب زیاد رو به شمال است. قطع کردن نهشته‌های هولوسن می‌تواند دلیلی بر فعالیت این گسل در عهد حاضر باشد (بربریان و همکاران، ۱۳۶۴). گسل نیاوران یکی از طولانی‌ترین گسل‌هایی است که بخش قابل توجهی از

چپگرد در شمال تهران واقع شده است و از گسل‌های فعال مهم و بسیار خطرناک در محدوده شهر تهران به شمار می‌رود که روند خاوری - باختری و شیب کم رو به شمال دارد (شکل‌های ۶ و ۷).

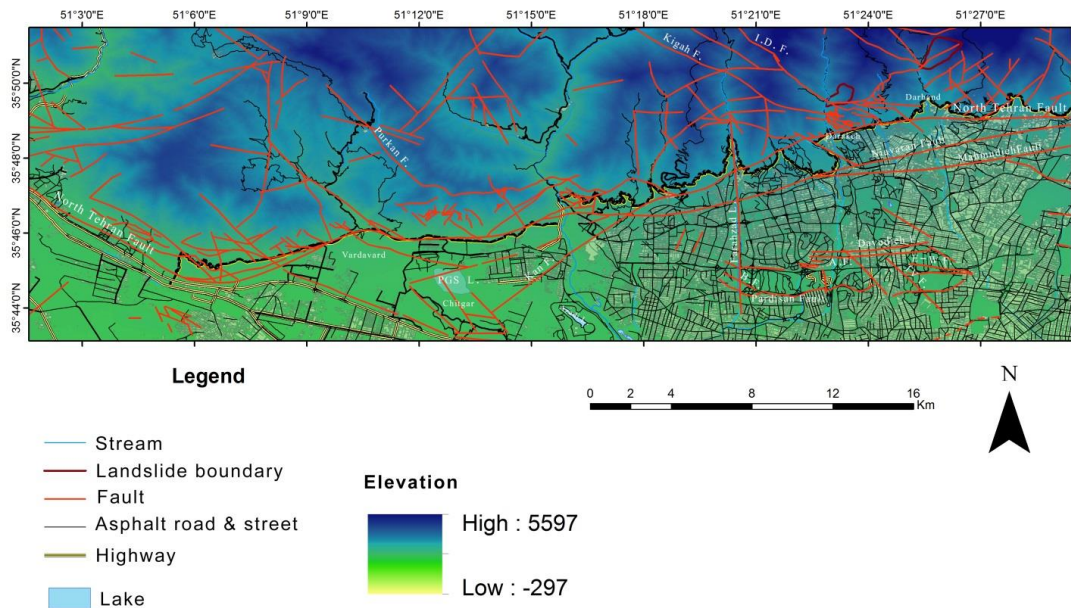
تهران با شاخه‌هایی در فرودپارو خود معرفی می‌شود که احتمالاً به صورت میانبر از پهنه اصلی قدیمی منشعب شده‌اند. گسل پردیسان به طول حدود ۳۰ کیلومتر با سیستم گسلی با جنبش به صورت راندگی با مولفه راستالغز



شکل ۵: الف: گسیختگی سطحی با الگوی نردبانی ناشی از گسلش راستگرد در امتداد گسل گریندال در زمین‌لرزه دارفیلد (Mw 7.1) نیویورک که سبب جابجایی کانال آب شده است (Quigley et al, 2010). ب: گسیختگی سطحی در واحدهای سنگی میوسن در اثر زمین‌لرزه خاکی - شنبه (Mw: 6.2) در جنوب غرب ایران (Elliott et al, 2015). پ: استفاده از ابزار اسکن لیزر (نصب شده بر روی خودرو) جهت بررسی پهنه گسیختگی سطحی با بیشترین جابجایی در اثر زمین‌لرزه ۲۰۱۹ ریچکرس (Mw: 7.1) در جنوب کالیفرنیا (Brooks, USGS). ت: گسیختگی سطحی و فروریزش پل در اثر زمین‌لرزه ۱۹۹۹ چیچی در تایوان (Kawashima, 2002). ث: بخشی از نقشه‌های بلوک‌های سرشماری ایالات متحده که بر مبنای مصوبه ۱۹۷۲، حریم گسل‌های سن آندریاس و سن جاکینتو در آن مشخص شده است (AP)، البته این حریم که بین ۰/۵ تا ۳ کیلومتر متغیر است با عرض پهنه‌های گسلی فوق همخوانی دارد که طبق قانون ساخت و ساز در این پهنه تنها با فاصله گرفتن از اثر سطحی گسل‌ها امکان‌پذیر است (Toke et al, 2014).

تهران کاملاً مشهود است طالبیان و همکاران (Talebian et al, 2016) نرخ لغزش گسل پردیسان را حدود ۱ میلی‌متر در سال برآورد کرده‌اند. این گسل با سازه‌های مهم و راهبردی زیادی برخورد دارد که از آن جمله می‌توان به مجموعه برج و بیمارستان میلاد اشاره کرد.

پهنه گسلی پردیسان شکننا می‌باشد و از قطع شدن لایه‌ها و آثار بریدگی قله سنگ‌ها فعالیت گسل مشخص است (Talebian et al, 2016). آثار دگرشکلی و بریدگی در نهشته‌های آبرفتی دشت تهران در نگاره‌های هوایی قدیمی و در رخنمون‌های موجود در تپه‌های مشرف به برج میلاد



شکل ۶: نقشه بروز شده گسل‌های پهنه شمالی شهر تهران که بر روی مدل ارتفاعی رقومی قرار گرفته است. اطلاعات گسل‌ها از بربریان و همکاران (۱۳۶۴)، امینی و امامی (۱۳۷۲)، عباسی و فرید (Abbassi and Farbod, 2009)، طالبیان و همکاران (Talebian et al, 2016) و منابع دیگر به همراه برداشت‌های صورت گرفته و بررسی تصاویر ماهواره‌ای و عکس‌های هوایی در این پژوهش می‌باشد. در پایه نقشه محدوده‌های ساخته شده شهر تهران بر مبنای نقشه‌های ۱:۲۵۰۰۰ توپوگرافی سازمان نقشه برداری کشور قرار داده شده است که گستره کنونی شهر تهران را کامل نشان نمی‌دهد.

بحث

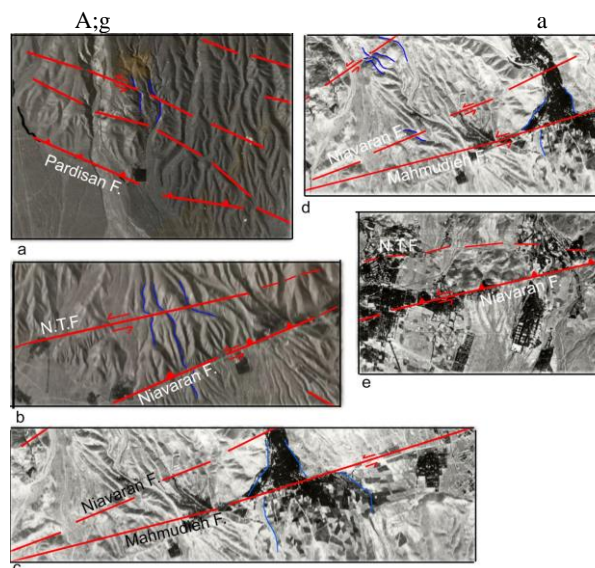
از دیدگاه کاهش خطر و به خصوص پیشگیری از رخداد بحران، این دست سئوالات می‌بایست پیش از توسعه شهرها طرح شوند و به دنبال پاسخ آنها بررسی‌های لازم صورت گیرد. نکته‌ای که هنوز در ایران توجه کافی به آن نمی‌شود و نمونه آن در شهرهای تازه احداث شده مانند پردیس یا احتشامی معین آبادی، (۱۳۹۵). تجربه زمین‌لرزه‌های مختلف به خصوص زمین‌لرزه‌های شهری که عامل لرزه‌ای از درون یا کنار شهر می‌گذرد نشان می‌دهد وضعیت می‌تواند بسیار فاجعه بار باشد (مانند زمین‌لرزه بم، ۱۳۸۲). تحلیل‌های GIS مبتنی بر داده‌های با دقت و صحت مناسب از موقعیت گسل‌ها، کاربری‌ها، سازه‌های مهم، ویژگی‌های هندسی و جنبشی گسل‌ها، شرایط ساختمانی و مهندسی بستر به همراه شبکه راه‌های اصلی و شریان‌های حیاتی می‌تواند پاسخ برخی از سئوالات بالا را فراهم کند. جای این قبیل تحلیل‌ها در فرایندهای مدیریت بحران در سطح شهرهای بزرگ و کوچک ایران خالیست. لازم به ذکر است برای دستیابی به ارزیابی‌های دقیق‌تر، این قبیل تحلیل‌ها گاه نیاز به دسترسی به داده‌هایی دارند که در اختیار نهادهای دولتی و یا شهری هستند که همکاری آنها در این

در ارتباط با خطر گسیختگی سطحی در کلان شهرها پرسش‌های اساسی را می‌توان طرح کرد که اغلب در ادامه ارزیابی خطر زمین‌لرزه در این شهرها به شرح زیر مورد بحث قرار می‌گیرند.

- آیا خطر گسیختگی برای گسل‌های مختلف در محدوده شهر یکسان است؟
- حریم هر کدام از گسل‌های موجود چقدر است؟ آیا درجه‌بندی از نظر میزان خطر گسیختگی می‌توان در نظر گرفت؟
- چه سازه‌هایی در معرض بیشترین آسیب از گسیختگی سطحی هستند؟
- چه راهکارهایی برای مقابله با این خطر در شرایط محدوده شهری موجود وجود دارد؟
- در صورت همساز شدن و هم‌افزایی خطر گسیختگی با دیگر خطرات ناشی از یک زمین‌لرزه در یک گستره چه شرایطی روی می‌دهد؟
- عمق فاجعه در برگزیده سطح خطر و میزان ریسک در صورت گسیختگی هر یک یا چند مورد از گسل‌ها تا چه حد خواهد بود؟

اطلاعات موجود چالش اصلی خطر زمین‌لرزه و گسیختگی سطحی در شهر تهران، عدم شناخت گسل‌های مهم نیست، بلکه عدم توجه به این موضوع مهم و نبود دیدگاه یکپارچه در سطح کلان برای مقابله با این خطر است. مسایل اقتصادی یکی از عوامل اصلی مانع در رعایت حریم گسل در شهر تهران بوده است (شکل ۸). ضروری است تا با استفاده از تجربه کشورهای دیگر توجه بسیاری جدی‌تری به این مساله لحاظ شود. شهر تهران به عنوان پایتخت سیاسی و اقتصادی و مدیریتی هیچ جای ریسکی را از این جهت نمی‌تواند پذیرا باشد. از طرف دیگر تقریباً در هیچ کدام از مطالعاتی که تاکنون بر روی خطر زمین‌لرزه در شهر تهران و پیرامون آن انجام شده است، برخی گسل‌ها از جمله گسل امامزاده داوود چندان مورد توجه قرار نگرفته‌اند. با توجه به ابعاد این گسل و روند آن که با یک چین‌انتشار گسلی بسیار بزرگ از فرودپارچه گسل مشا در دره کرج شروع شده و تا شمال تهران ادامه می‌یابد، ضروری است مطالعاتی جهت بررسی فعالیت این گسل و گسل‌های مشابه مانند کیگانه و پورکان نیز صورت گیرد.

باره ضروری است. ایجاد سامانه‌های داده‌های مرتبط با علوم زمین در مقیاس شهرها یکی از راهکارهای مناسب برای پاسخ به نیازهای مختلف از جمله مقابله با خطرناکی است که امروزه گریبان مدیریت شهری گرفته است. بررسی‌های اولیه ما نشان می‌دهد در شهر تهران دست کم بیست بیمارستان مهم دولتی و خصوصی در مواجهه مستقیم با خطر گسیختگی سطحی قرار دارند. در کنار این بیمارستان‌ها که نقش آنها در پاسخ به بلایا کاملاً معلوم است، مراکز مهم دیگری از جمله چند دانشگاه و مراکز حساس دیگر از جمله انبار نفت در شمال تهران نیز قرار دارند. بر مبنای طول گسل‌ها، گسل‌های پردیسان، نیاوران، محمودیه و گسل‌های موجود در منطقه چیتگر که همگی از سامانه گسلی شمال تهران متاثر هستند، خطرناک‌ترین روندها از دید گسیختگی سطحی نیز شامل می‌شوند. در کمربند شمالی شهر، خطر زمین‌لغزش‌های ناشی از زمین‌لرزه بسیار جدی است و سوابق رخداد زمین‌لغزش‌های بسیار بزرگ باستانی در دامنه‌های جنوبی البرز این مساله را تایید می‌کنند. هم اکنون می‌توان گفت با توجه به



شکل ۷: نماهایی از آثار گسلش جوان در امتداد شاخه‌های مختلف گسلی در محدوده شهر تهران که بر روی عکس‌های هوایی ۱۹۵۵ میلادی مشخص شده است. الف: برخاستگی نهشته‌های آبرفتی کواترنری در امتداد گسل پردیسان به همراه مولفه امتدادلغز چپگرد که سبب جابجایی آبراهه‌ها شده است. ب: آثار گسلش امتدادلغز چپگرد در راستای گسل نیاوران و گسل شمال تهران بین دره دربند تا دره کن که سبب جابجایی نهشته‌های مخروط افکنه‌های قدیمی‌تر (احتمالاً کواترنری پیشین - میانی) شده است. پ و ت: آثار گسلش در واحدهای مخروط افکنه قدیمی‌تر (احتمالاً کواترنری پیشین - میانی) در امتداد گسل‌های نیاوران و محمودیه بین دره‌های دربند و درکه. ث: آثار گسلش امتدادلغز با مولفه فشاری در امتداد بخش شرقی گسل‌های نیاوران و گسل شمال تهران



شکل ۸: ساخت مجموعه‌ای از برج‌های بلند (احتمالاً با کارکرد بیمارستان) در اتوبان همت، که به‌طور مشخص بر روی روندهای گسلی مرتبط با سامانه گسلی شمال تهران ساخته شده‌اند.

نتیجه‌گیری

ارتباط زایشی یا هندسی با آن دارند. بر این اساس در شهر تهران دست کم بیست بیمارستان مهم دولتی و خصوصی در مواجهه مستقیم با خطر گسیختگی سطحی قرار دارند. در کنار این بیمارستان‌ها که نقش آنها در پاسخ به بلایا کاملاً معلوم است، مراکز مهم دیگری از جمله چند دانشگاه و مراکز حساس دیگر مانند انبار نفت در شمال تهران نیز قرار دارند. بر مبنای طول گسل‌ها، گسل‌های پردیسان، نیاوران، محمودیه و گسل‌های موجود در منطقه چیتگر که همگی از سامانه گسلی شمال تهران متاثر هستند، خطرناک‌ترین روندها از دید گسیختگی سطحی نیز شامل می‌شوند. در کمربند شمالی شهر، خطر زمین‌لغزش‌های ناشی از زمین‌لرزه بسیار جدی است و سوابق رخداد زمین‌لغزش‌های بسیار بزرگ باستانی در دامنه‌های جنوبی البرز این مساله را تایید می‌کنند. گسل‌هایی مانند امامزاده داوود، کیگانه و پورکان در ارتفاعات شمال تهران نیز می‌بایست از نظر جنبایی و لرزه‌زایی مورد مطالعه قرار گیرند.

سپاسگزاری

نویسندگان این مقاله از هیچ سازمان یا ارگانی کمک مالی دریافت نکرده است.

تجربه زمین‌لرزه‌های مختلف از ایران و جهان نشان می‌دهد در زمین‌لرزه‌هایی که چشمه لرزه‌ای از درون یا کنار شهر می‌گذرد (زمین‌لرزه شهری) وضعیت خرابی و تلفات می‌تواند بسیار فاجعه بار باشد. تحلیل‌های GIS مبتنی بر داده‌های با دقت و صحت مناسب از موقعیت گسل‌ها، کاربری‌ها، سازه‌های مهم، ویژگی‌های هندسی و جنبشی گسل‌ها، شرایط ساختگاهی و مهندسی بستر به همراه شبکه راه‌های اصلی و شریان‌های حیاتی برای ارزیابی دقیق‌تر میزان خطر و ریسک پیامدهای زمین‌لرزه از جمله خطر گسیختگی سطحی ضروری است. در این مطالعه بازبینی داده‌های موجود از منابع مختلف و استفاده از داده‌های ماهواره‌ای برای بروزرسانی نقشه گسل‌های شهر تهران در نیمه شمالی صورت گرفت. سپس خطر گسیختگی سطحی در اثر گسلش لرزه‌زا در این گستره مورد نقد و بررسی قرار گرفت. تداوم اثر سطحی برخی از گسل‌ها مانند گسل نیاوران ترسیم شده است و برخی از گسل‌ها، مانند گسل کن، برای اولین بار ترسیم شده‌اند (شکل‌های ۵ و ۶). شبکه گسل‌های فرعی مرتبط با گسل شمال تهران بسیار متراکم بوده و به نظر می‌رسد همه گسل‌هایی که در پهنه شمالی شهر تهران قرار دارند،

منابع (References)

-Abbassi, M.R. and Farbod, Y., 2009. Faulting and folding in quaternary deposits of Tehran's piedmont (Iran). *J. Asian Ear. Sci.*, v. 34(4), p. 522-531.

-Allahdadi, M., Nejati, B. and Beiraghian, P., 2019. A historical survey of playing toys in ancient Persia. *Theoretical Principles of Visual Arts*, v. 4(1), p. 131-140 (in Persian).

- Alimardan, S., Solaymani Azad, S., Ghorashi, M., Ghorashi, M., Oveisi, B. and Hatami, A., 2015. Morphotectonic Markers and Active Faulting Research In Hashtgerd New Town, West Of Karaj, Scientific Quarterly Journal of Geosciences, v. 24(1393), p. 227-234. Doi: 10.22071/gsj.2015.43417 (in Persian).
- Aliyannezhadi, A., Mehrnia, S.R., Kimiagar, S., Rahimi, H. and Sadrmoammadi, N., 2020. Evaluation of GPR method in identification hidden faults of Alluvial deposits in north of Persian Gulf artificial lake, twenty-two district of Tehran, J. Applied Geoph., v. 179, p. 104108.
- Ambraseys, N.N. and Melville, C.P., 1982. A History of Persian Earthquakes, Cambridge University Press, Cambridge, 219 p.
- Axen, G.J., Lam, P.S., Grove, M., Stockli, D.F. and Hassanzadeh, J., 2001. Exhumation of the west-central Alborz Mountains, Iran, Caspian subsidence, and collision-related tectonics: Geology, v. 29, p. 559-562, Doi:10.1130/0091-7613(2001)029<0559:EOTWCA>2.0.CO;2.
- Ballato, P., Uba, C.E., Landgraf, A., Strecker, M.R., Sudo, M., Stockli, D.F., Friedrich, A. and Tabatabaei, S.H., 2011. Arabia-Eurasia continental collision; insights from late Tertiary foreland-basin evolution in the Alborz Mountains, northern Iran: GSA Bulletin, v. 123, p. 106-131. doi:10.1130/B30091.1.
- Ballato, P., Stockli, D.F., Ghassemi, M.R., Landgraf, A., Strecker, M.R., Hassanzadeh, J., Friedrich, A. and Tabatabaei, S.H., 2013. Accommodation of transpressional strain in the Arabia-Eurasia collision zone: New constraints from (U-Th)/He thermochronology in the Alborz Mountains, north Iran: Tectonics, v. 32, p. 1-18. doi:10.1029/2012TC003159.
- Ballato, P., Landgraf, A., Schildgen, T., Stockli, D.F., Fox, M., Ghassemi, M.R., Kirby, E. and Strecker, M.R., 2015. The growth of a mountain belt forced by base-level fall; tectonics and surface processes during the evolution of the Alborz Mountains, N Iran: Ear. Planetary Sci. Lett., v. 425, p. 204-218. Doi: 10.1016/j.epsl.2015.05.051.
- Batatian, D., 2002. Minimum standards for surface fault rupture hazard studies, Salt Lake County Geologic Hazards Ordinance, 11 p.
- Berberian, M., Ghoreishi, M., Ravesh, B.A. and Ashjaei, A.M., 1983. Seismotectonic and earthquake fault hazard investigations in the Tehran region, Geological Survey of Iran (No. 56). Report (in Persian).
- Berberian, M., Ghorashi, M., Arjangraves, B. and Mohajer Ashjaie, A., 1993. Seismotectonic and earthquake-fault hazard investigations in the great Ghazvin Region. Geological Survey of Iran, Report, v. 61, 197 p (in Persian).
- Berberian, M., 1976. Quaternary Faults in Iran, in Berberian, M., ed., Contribution to the Seismotectonics of Iran, Part II: Geological Survey of Iran, Report, v. 39, p. 187-258.
- Berberian, M., 2014. Earthquakes and Coseismic Surface Faulting on the Iranian Plateau, A Historical Social and Physical Approach, Berberian, M.(ed.): Elsevier, Developments in Earth Surface Processes, v. 17, 714 p.
- Berberian, M., Qorashi, M., Jackson, J.A., Priestley, K. and Wallace, T., 1992. The Rudbar-Tarom earthquake of June 20, 1990 in NW Persia: Preliminary field and seismological observations, and its tectonic significance: Bull. Seismological Soc. Am., v. 82(4), p. 1726-1755.
- Berberian, M. and Yeats, R.S., 1999. Patterns of historical rupture in the Iranian Plateau: Bull. Seismological Soc. Am., v. 89(1), p. 120-139.
- Berberian, M. and Yeats, R.S., 2001. Contribution of archaeological data to studies of earthquake history in the Iranian Plateau, Paul Hancock Memorial Issue: J. Struc. Geol., v. 23, p. 563-584. Doi:10.1016/S0191-8141(00)00115-2.
- Berberian, M. and Walker, R., 2010. The Rudbār Mw 7.3 earthquake of 1990 June 20; seismotectonics, coseismic and geomorphic displacements, and historic earthquakes of the western 'High-Alborz' of Iran. Geophy. J. Int., v. 182(3), p. 1577-1602. Doi:10.1111/j.1365-246X.2010.04705.x.
- Berberian, M. and Yeats, R.S., 2016, Tehran: An earthquake time bomb, in Sorkhabi, R., ed., Tectonic Evolution, Collision, and Seismicity of Southwest Asia: In Honor of Manuel Berberian's Forty-Five Years of Research Contributions: GSA Special Paper, v. 525, p. 1-84. doi:10.1130/2016.2525(04).
- Boncio, P., Liberi, F., Caldarella, M. and Nurminen, F.C., 2018. Width of surface rupture zone for thrust earthquakes: implications for earthquake fault zoning. Nat. Haz. Ear. Sys. Sci., v. 18(1), p. 241-256. Doi: 10.5194/nhess-18-241-2018.
- Bonilla, M.G., 1967. Historic surface faulting in continental United States and adjacent parts of Mexico. National Center for Earthquake Research, USGS. 32 p.

- Christenson, G.E., Batatian, L.D. and Nelson, C.V., 2003. Guidelines for Evaluating Surface-Fault-Rupture Hazards in Utah, Miscellaneous Publication 03-6, Utah Geological Survey, 14 p.
- Djamour, Y., Vernant, P., Bayer, R., Nankali, H.R., Ritz, J.F., Hinderer, J., Hatam, Y., Bernard, L., Le Moigne, N., Sedighi, M. and Khorrani, F., 2010. GPS and gravity constraints on continental deformation in the Alborz mountain range, Iran: *Geoph. J. Int.*, v. 183(3), p. 1287-1301, Doi:10.1111/j.1365-246X.2010.04811.x.
- Du, Y., Xie, F. and Wang, Z., 2012. Wenchuan earthquake surface fault rupture and disaster: a lesson on seismic hazard assessment and mitigation. *Int. J. Geoph.*, 974763. Doi:10.1155/2012/974763
- Ehteshami-Moinabadi, M. and Nasiri, Sh., Geometrical and structural setting of landslide dams of the Central Alborz: a link between earthquakes and landslide damming, *Bull. Eng. Geo. Env.*, v. 78(1), p. 69-88. Doi: 10.1007/s10064-017-1021-8.
- Ehteshami Moinabadi, M., 2016. Surface Fault Rupture Hazard in the Pardis Town, Tehran Province: Regarding Fault Setback in Urban Development, *Advanced Applied Geology*, v. 6(1), p. 48-62 (in Persian).
- Elliott, J.R., Bergman, E.A., Copley, A.C., Ghods, A.R., Nissen, E.K., Oveisi, B., Tatar, M., Walters, R.J. and Yamini-Fard, F., 2015. The 2013 Mw 6.2 Khaki-Shonbe (Iran) earthquake: insights into seismic and aseismic shortening of the Zagros sedimentary cover. *Ear. Space Sci.*, v. 2, p. 435-471. Doi: 10.1002/2015EA000098.
- Emami, M.H. and Amini, B., 1993. Geology map of Tehran (1:100,000 scale), Geological Survey of Iran, Tehran (in Persian).
- Engalenc, M., 1968. Contribution à la Géologie, Géomorphologie, Hydrogéologie de la région de Teheran (Iran): Montpellier, France, Centre d'Etudes et de Recherches Hydrogéologiques, 365 p.
- Fenton, C. and Kernohan, J., 2015. Characterization of surface fault rupture for civil engineering design. *Eng. Geo. Soc. Territory*, v. 5, p. 1003-1008. Doi: 10.1007/978-3-319-09048-1_192.
- Garcia, F.E. and Bray, J.D., 2022. Discrete element analysis of earthquake surface fault rupture through layered media. *Soil Dyn. Earthquake Eng.*, v. 152, p. 107021. Doi: 10.1016/j.soildyn.2021.107021.
- Ghassemi, M.R., 2016. Surface ruptures of the Iranian earthquakes 1900–2014: Insights for earthquake fault rupture hazards and empirical relationships. *Ear. Sci. Rev.*, v. 156, p. 1-13. Doi: 10.1016/j.earscirev.2016.03.001.
- Ghassemi, M.R., Fattahi, M., Landgraf, A., Ahmadi, M., Balato, P. and Tabatabaei, S.H., 2014. Kinematic links between the eastern Mosha fault and the North Tehran fault, Alborz range, northern Iran: *Tectonophysics*, v. 622, p. 81-95. Doi:10.1016/j.tecto.2014.03.007.
- Grow, C. and Palm, R., 1982. Population and housing in the special studies zones. University of Colorado, Special Publication, v. 1, 10 p.
- Guest, B., Axen, G.J., Lam, P.S. and Hassanzadeh, J., 2006a. Late Cenozoic shortening in the west-central Alborz Mountains, northern Iran, by combined conjugate strike-slip and thin-skinned deformation: *Geosphere*, v. 2, p. 35-52. Doi:10.1130/GES00019.1.
- Guest, B., Stockli, D.F., Grove, M., Axen, G.J., Lam, P.S. and Hassanzadeh, J., 2006b. Thermal histories from the central Alborz Mountains, northern Iran; implications for the spatial and temporal distribution of deformation in northern Iran: *GSA Bulletin*, v. 118, p. 1507-1521, Doi:10.1130/B25819.1.
- Jackson, J., Priestley, K., Allen, M. and Berberian, M., 2002. Active tectonics of the South Caspian Basin. *Geoph. J. Int.*, v. 148(2), p. 214-245. Doi: /10.1046/j.1365-246X.2002.01588.x.
- Japan International Cooperation Agency (JICA), 2000. The Study on Seismic Microzoning of the Greater Tehran Area in the Islamic Republic of Iran; Draft Final Report, Main Report Volume 1, Existing Conditions: Tehran, Japan International Cooperation Agency (JICA) and Centre for Earthquake & Environmental Studies of Tehran (CEST), Tehran Municipality. Pacific Consultants International (Tokyo), OYO Corporation (Tumon, Guam), 3 volumes (1: 88 p., 2: 173 p., 3: 105 p.).
- Japan International Cooperation Agency (JICA), 2009. Outline of the Project on the Establishment of Emergency Response Plan for the First 72 Hours after an Earthquake, City of Tehran: Tehran. Japan International Cooperation Agency (JICA), <https://openjicareport.jica.go.jp/pdf/11849940.pdf> (accessed 2022).

- Kawashima, K., 2002. Damage of bridges resulting from fault rupture in the 1999 Kocaeli and Duzce, Turkey earthquakes and the 1999 Chi-Chi, Taiwan earthquake. *Struc. Earthq. Eng.*, v. 19(2), p. 179-197. Doi: 10.2208/jsceseee.19.179s
- Masson, F., Anvari, M., Djamour, Y., Walpersdorf, A., Tavakoli, F., Daigni'eres, M., Nankali, H. and Van Gorp, S., 2007. Large-scale velocity field and strain tensor in Iran inferred from GPS measurements; new insight for the present-day deformation pattern within NE Iran. *Geoph. J. Int.*, v. 170, p. 436-440, Doi:10.1111/j.1365-246X.2007.03477.x.
- McDonald, G.N., Kleber, E.J., Hiscock, A.I., Bennett, S. and Bowman, S.D., 2020. Fault trace mapping and surface-fault-rupture special study zone delineation of the Wasatch fault zone, Utah and Idaho. *Utah Geological Survey*. 23 p. Doi:10.34191/RI-280.
- Mousavi, Z., Walpersdrof, A., Walker, R.T., Tavakoli, F., Pathier, E., Nankali, H., Nilfouroushan, F. and Djamour, Y., 2013. Global positioning system constraints on the active tectonics of NE Iran and the South Caspian region: *Ear.Planetary Sci. Lett.* 377–378, p. 287-298. Doi:10.1016/j.epsl.2013.07.007.
- Nazari, H., Ritz, J.F., Talebian, M. and Moosavi, A., 2005. *Seismotectonic Map of the Central Alborz: Tehran (scale 1:250,000)*, Geological Survey of Iran.
- Nazari, H., Ritz, J.F., Salamati, R., Solaymani, S., Balescu, S., Michelot, J.L., Ghassemi, A., Talebian, M., Lamothe, M. and Ghorashi, M., 2007. Palaeoseismological analysis in central Alborz, Iran, in *Proceedings, 1957 Gobi-Altay Earthquake Commemorating Conference*, 25 July–08 August, 2007, Extended Abstracts: Ulaanbaatar, Mongolia, Mongolian Institute of Earth's Crust, Research Center of Astronomy and Geophysics, 3 p.
- Nazari, H., Ritz, J.F., Salamati, R., Balescu, S., Michelot, J.L., Massault, M. and Ghorashi, M., 2008. Paleoseismological analysis in Tehran region along the North Tehran and Taleghan faults, and the Rey and Kahrizak scarps: Paris, *Proceedings, Société Géologique de France*, October 6–7, extended abstract, 2 p.
- Nazari, H., Ritz, J.F., Walker, R.T., Salamati, R., Rizza, M., Patnaik, R., Hollingsworth, J., Alimohammadian, H., Jalali, A., Kaveh Firouz, A. and Shahidi, A., 2014. Palaeoseismic evidence for a medieval earthquake, and preliminary estimate of late Pleistocene slip-rate, on the Firouzkuh strike slip fault in the central Alborz region of Iran: *J. Asian Ear. Sci.*, v. 82, p. 124-135, Doi:10.1016/j.jseae.2013.12.018.
- Nazari, H., 2016. *Translation of Earthquakes and coseismic surface faulting on the Iranian Plateau by M. Berberian (2014)*: Elsevier. Hamrah Oloum & Avand Danesh Publications, 656 p (in Persian).
- Nestle, C. and Lem, G., 2010. *Manual for preparation of geotechnical report*, Department of Public Works, Los Angeles County, 70 p.
- Nilfouroushan, F., Masson, F., Vernant, P., Vigny, C., Martinod, J., Abbassi, M., Nankali, H., Hatzfeld, D., Bayer, R., Tavakoli, F., Ashtiani, A., Doerflinger, E., Daignieres, M., Collard, P. and Chery, J., 2003. GPS network monitors the Arabia-Eurasia collision deformation in Iran: *J. Geodesy*, v. 77, p. 411-422. Doi:10.1007/s00190-003-0326-5.
- Niknami, K. and Dehpahlavan, M., 2013. Formation of the Silk Road in the light of security Case study: The Relics and Archaeological Finds Periphery of Road, from Semnan to Garmsar, Central North of Iran. *Geopolitics Quarterly*, v. 9(30), p. 230-255 (in Persian).
- Oettle, N.K. and Bray, J.D., 2013. Geotechnical mitigation strategies for earthquake surface fault rupture. *J. Geotech. Geoenviron. Eng.*, v. 139(11), p. 1864-1874.
- Quigley, M., Van Dissen, R., Villamor, P., Litchfield, N., Barrell, D., Furlong, K., Stahl, T., Duffy, B., Bilderback, E., Noble, D. and Townsend, D., 2010. Surface rupture of the Greendale fault during the Darfield (Canterbury) earthquake, New Zealand: initial findings. *Bull. New Zealand Soc. Earthq. Eng.*, v. 43(4), p. 236-242. Doi: 10.5459/bnzsee.43.4.236-242.
- Ritz, J.F., Nazari, H., Balescu, S., Lamothe, M., Salamati, R., Chasseimi, A., Shafei, A., Ghorashi, M. and Saidi, A., 2012. Paleoeearthquakes of the past 30,000 years along the North Tehran fault (Iran). *J. Geophy. Res.*, v. 117, B6, B06305. Doi:10.1029/2012JB009147.
- Saberi, E., Yassaghi, A., Madanipour, S. and Djamour, Y., 2016. Estimation of the active Uplift rate using “precise leveling” in the Central Alborz Mountains, Northern Iran, *Researches in Earth Sciences*, v. 7(1), p. 62-74 (in Persian).

- Solaymani Azad, S., Ritz, J.F. and Abbasi, M.R., 2011. Left-lateral active deformation along the Mosha–North Tehran fault system (Iran); morphotectonics and paleoseismological investigations. *Tectonophysics*, v. 497, p. 1-14. Doi:10.1016/j.tecto.2010.09.013.
- Stirling, M.W., Litchfield, N.J., Villamor, P., Van Dissen, R.J., Nicol, A., Pettinga, J., Barnes, P., Langridge, R.M., Little, T., Barrell, D. and Mountjoy, J., 2017. The Mw7.8 2016 Kaikōura earthquake: Surface fault rupture and seismic hazard context. *Bulletin of the New Zealand Society for Earthquake Engineering*, v. 50(2), p. 73-84.
- Talebian, M., Copley, A.C., Fattahi, M., Ghorashi, M., Jackson, J.A., Nazari, H., Sloan, R.A. and Walker, R.T., 2016. Active faulting within a megacity: the geometry and slip rate of the Pardisan thrust in central Tehran, Iran. *Geoph. J. Int.*, v. 207(3), p. 1688-1699.
- Tatar, M., Jackson, J., Hatzfeld, D. and Bergman, E., 2007a. The 28 May 2004 Baladeh earthquake (Mw 6.2) in the Alborz, Iran, implications for the geology of the South Caspian Basin margin and for the seismic hazard of Tehran. *Geoph. J. Int.*, v. 170, p. 249-261. Doi:10.1111/j.1365-246X.2007.03386.x.
- Tatar, M., Jackson, J., Hatzfeld, D. and Bergman, E., 2007b. The 2004 May 28 Baladeh earthquake (Mw 6.2) in the Alborz, Iran: Overthrusting the South Caspian Basin margin, partitioning of oblique convergence and the seismic hazard of Tehran. *Geoph. J. Int.*, v. 170, p. 249-261, Doi:10.1111/j.1365-246X.2007.03386.x.
- Tchalenko, J.S., Berberian, M., Iranmanesh, H., Baily, M. and Arsovsky, M., 1974. Tectonic framework of the Tehran Region, in *Materials for the Study of Seismotectonics of Iran; North-Central Iran: Tehran, Geological Survey of Iran, Report*, v. 29, p. 7-46.
- Toké, N.A., Boone, C.G. and Arrowsmith, J.R., 2014. Fault zone regulation, seismic hazard, and social vulnerability in Los Angeles, California: Hazard or urban amenity?. *Earth's Future*, v. 2(9), p. 440-457. Doi: 10.1002/2014EF000241.
- Vernant, P., Nilforoushan, F., Hatzfeld, D., Abbassi, M., Vigny, C., Masson, F., Nankali, H., Martinod, J., Ashtiani, M., Bayer, R., Tavakoli, F. and Chéry, J., 2004. Present-day crustal deformation and plate kinematics in the Middle East constrained by GPS measurements in Iran and northern Oman. *Geoph. J. Int.*, v. 157, p. 381-398. Doi:10.1111/j.1365-246X.2004.02222.x.
- Yang, S. and Mavroeidis, G.P., 2018. Bridges crossing fault rupture zones: A review. *Soil Dynamics Earthq. Eng.*, v. 113, p. 545-571. Doi: 10.1016/j.soildyn.2018.03.027.
- Ziyaabadi, A., 2022. Explaining the historical location of Semiran Citadel as the center of urbanization and civilization in the heart of Alborz mountain range based on archaeological findings (potterys), *The Journal of Geography and Regional Planning*, Accepted paper (in Persian).
- Zhang, J.Y., Bo, J.S., Xu, G.D. and Huang, J.Y., 2012. Buildings setbacks research from surface-fault-rupture statistical analysis. *Applied Mech. Mater.*, v. 204, p. 2410-2418. Doi: 10.4028/www.scientific.net/AMM.204-208.2410.