

مهاجرت پس لرزه‌ها و احتمال رخداد زمین لرزه در بخش انتهایی خاوری گسل

مشا

محمدباقر بحرینی^۱، نوربخش میرزائی^۲

^۱دانشجوی دکتری، مؤسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران، mb.bahraini@ut.ac.ir

^۲استاد، مؤسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران، nmirzaei@ut.ac.ir

چکیده

با بررسی زمین لرزه‌های دو سال گذشته بر روی گسل مشا، پدیده مهاجرت پس لرزه‌های زمین لرزه ۱۸ اردیبهشت ۱۳۹۹ با بزرگی $M_N = 5/0$ به سوی انتهایی بخش خاوری گسل امتداد لغز چپ گرد مشا شناسایی شد. مهاجرت پس لرزه‌ها بر روی گسل امتداد لغز چپ گرد مشا می‌تواند به علت انتقال تنش به سوی انتهایی خاوری گسل مشا و یا در نتیجه انتشار امواج برهمکنشی دور در امتداد گسل مشا باشد. برپایه تجربه‌های موجود، این مهاجرت را می‌توان به عنوان پیش‌نشانگر بلند مدت یا میان مدت برای رخداد زمین لرزه‌ای بزرگ ($M_w \geq 5/5$)، در بخش انتهایی خاوری گسل مشا و در نتیجه خطر باورپذیر برای شهر تهران و نواحی پیرامون قلمداد کرد. ضرورت دارد که لرزه‌خیزی گسل مشا با دقت پایش شود. **واژه‌های کلیدی:** مهاجرت زمین لرزه‌ها، مهاجرت پس لرزه‌ها، گسل مشا، پیش‌نشانگر زمین لرزه، خطر زمین لرزه، چشمه زمین لرزه

Migration of aftershocks and possibility of earthquake occurrence at the end of eastern part of the Mosha fault

Mohammad Bagher Bahraini¹, Noorbakhsh Mirzaei²

¹Ph.D candidate, Institute of Geophysics, University of Tehran

²Professor, Institute of Geophysics, University of Tehran

Abstract

By checking two years of seismicity on the left-lateral strike-slip Mosha fault, the phenomenon of aftershocks migration toward the end of eastern part of the Mosha fault for the April 2, 2020, $M_N = 5/0$, earthquake was detected. The aftershocks migration on the left-lateral strike-slip Mosha fault can be due to the transfer of stress towards the end of eastern part of the fault or as a result of the release of remote interaction waves along the Mosha fault. This can be considered as a long-term or intermediate-term precursor for occurrence of a large earthquake ($M_w \geq 5.5$) at the end of the eastern part of the Mosha fault and therefore, an expectable danger to the city of Tehran and the surrounding areas. It seems necessary to monitor the seismicity of Mosha fault, carefully. **Keywords:** Migration of earthquakes, Migration of aftershocks, The Mosha fault, Earthquake precursor, Earthquake hazard, Earthquake source

۱ مقدمه

مهاجرت زمین لرزه در مقیاس‌های مختلف و در نواحی فعال لرزه‌ای جهان مشاهده شده است. این پدیده می‌تواند به عنوان نشانه‌ای معنبر از پیش‌نشانگر بلند مدت و میان مدت زمین لرزه مورد استفاده قرار گیرد. نخستین بار مهاجرت زمین لرزه توسط چارلز ریشتر در ۱۹۵۸ و سپس توسط دیگر محققان در دهه ۱۹۶۰-۱۹۵۰ میلادی گزارش شده است. در طی دوره مشاهدات زلزله‌شناسی دستگاهی، توالی مهاجرت زمین لرزه‌ها برای سواحل اقیانوس آرام و اقیانوس اطلس، کالیفرنیا، ترکیه، آسیای مرکزی، کامچاتکا و دیگر نواحی گزارش و توصیف شده است (نووپاشینا^۱ و سانکوف^۲، ۲۰۱۵). با توجه به

¹ Novopashnina

² San'kov

اینکه رخداد زمین‌لرزه پدیده‌ای تصادفی است، پیش‌بینی زمین‌لرزه به معنی واقعی کلمه، یعنی پیش‌بینی دقیق هر سه مؤلفه مکان، زمان و بزرگی زمین‌لرزه بزرگ بعدی، غیر ممکن است. از بین سه مؤلفه مکان، زمان و بزرگی، پیش‌بینی مکان و یا گسل عامل زمین‌لرزه آینده با دقت بالاتری قابل انجام است. در خصوص بزرگی زمین‌لرزه آینده، پس از مشخص کردن چشمه بالقوه (عموماً، گسل یا گسل‌های فعال)، با توجه به هندسه، ابعاد و سازوکار هر گسل، و همچنین، برپایه اطلاعات زمین‌لرزه‌های تاریخی رخ داده بر روی گسل می‌توان توان لرزه‌خیزی آن را ارزیابی کرد. با تخمین دوره بازگشت زمین‌لرزه‌های بزرگ برای چشمه (گسل) شناسایی شده نیز می‌توان هشدارهایی در مورد نزدیک شدن به زمان رخداد زمین‌لرزه بزرگ مورد انتظار بعدی بر روی گسل را ارائه داد. در این مقاله پدیده مهاجرت پس‌لرزه‌های زمین‌لرزه ۱۸ اردیبهشت ۱۳۹۹ با بزرگی $M_N = 5/0$ بر روی بخش خاوری گسل امتدادلغز چپ‌گرد مشا شناسایی و به عنوان پیش‌نشاندگی برای مکان احتمالی رخداد یک زمین‌لرزه بزرگ و هشدار در خصوص خطر احتمال رخداد زمین‌لرزه مخرب بعدی برای تهران و نواحی پیرامون بر روی گسل مشا مورد توجه و استفاده قرار گرفته است. به عنوان نمونه‌هایی از مطالعات انجام گرفته در خصوص پدیده مهاجرت زمین‌لرزه‌ها و پس‌لرزه‌ها بر روی گسل‌های امتدادلغز و نیز مهاجرت خردلرزه‌ها به عنوان پیش‌نشاندگی برای رخداد یک زمین‌لرزه بزرگ می‌توان به کارهای نوپاشینا و سانکوو (۲۰۱۵)، الاریفی^۳ و همکاران (۲۰۱۲)، و یوچیدای^۴ و همکاران (۲۰۲۰) اشاره کرد.

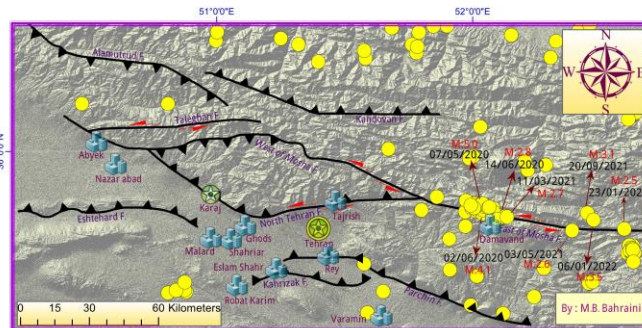
۲ روش تحقیق

تحقیق در خصوص مهاجرت زمین‌لرزه نیازمند تحلیل مشاهدات زلزله‌شناسی بلند مدت است. این که چه چیزی سبب پدیده مهاجرت زمین‌لرزه‌ها می‌شود هنوز موضوعی بحث بر انگیز است. عمومی‌ترین دیدگاه‌های پذیرفته شده شامل فرضیه‌ای در خصوص انتشار امواج (حاصل از) دگرشکلی (Deformation waves) بعد از هر رویداد زمین‌لرزه‌ای در پوسته، سنگ‌کره و گوشته پایینی است. دو نوع موج دگرشکلی عبارتند از: امواج برهمکنشی دور (remote interaction waves)، که در امتداد کمربندهای زمین‌ساختی یا گسل‌های بخصوص انتشار می‌یابند؛ و دیگری، امواج برهمکنشی پیش‌لرزه‌ای و پس‌لرزه‌ای و یا امواج برهمکنشی نزدیک (close interaction waves)، که از محدوده چشمه زمین‌لرزه‌های بزرگ عبور می‌کنند. محققان دیگر تصور می‌کنند که مهاجرت زمین‌لرزه‌ها در نتیجه انتقال تنش در پوسته از طریق انتقال تنش‌های الاستیک (کشسان) و ویسکوالاستیک از یک قطعه گسل به قطعه دیگر به عنوان نتیجه‌ای از برهمکنش رخ می‌دهد. مطالعه نشان داده است که زمین‌لرزه‌های بزرگ و کوچک در طی مهاجرت از لحاظ زمانی-مکانی در ارتباط هستند. بدین معنی که سبب تشکیل توالی خوشه زمین‌لرزه‌ها با انرژی مختلف می‌شوند که در جهتی خاص مهاجرت می‌کنند (پاشینا و سانکوو، ۲۰۱۵). این مقاله نتیجه بررسی رخداد زمین‌لرزه‌ها در گسل‌های پیرامون شهر تهران و با تمرکز بر روی لرزه‌خیزی گسل مشا از زمان رخداد زمین‌لرزه ۱۸ اردیبهشت ۱۳۹۹ با بزرگی $M_N = 5/0$ است. زمین‌لرزه ۱۸ اردیبهشت ۱۳۹۹ با بزرگی $M_N = 5/0$ بر روی گسل امتدادلغز چپ‌گرد مشا با دو پیش‌لرزه با بزرگی $M_N = 2/8$ و $M_N = 2/9$ همراه بود (شماره‌های ۱ و ۲ در جدول ۱). برای این مطالعه ۲۷ پس‌لرزه با بزرگی $M_N \geq 2/5$ (بزرگ‌ترین پس‌لرزه دارای بزرگی $M_N = 4/1$)، با فاصله‌های مختلف از رومرکز زمین‌لرزه اصلی، مورد مطالعه و بررسی قرار گرفته‌اند. در ابتدا، تمامی زمین‌لرزه‌های رخ داده بر روی گسل‌های پیرامون شهر تهران از وبگاه مرکز لرزه‌نگاری کشوری مؤسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران استخراج و در نقشه لرزه‌زمین‌ساختی تهیه شده برای این مطالعه رسم شده و به ارتباط زمانی-مکانی زمین‌لرزه‌ها بر روی گسل مشا توجه ویژه شده است (شکل ۱). با بررسی زمانی-مکانی پس‌لرزه‌های زمین‌لرزه ۱۸ اردیبهشت ۱۳۹۹ دو دسته متفاوت از پس‌لرزه‌ها شناسایی شدند. دسته اول شامل پس‌لرزه‌هایی هستند که همانند دو پیش‌لرزه، در حوالی رومرکز زمین‌لرزه اصلی رخ داده‌اند. در جدول ۱ پس‌لرزه‌های دسته اول، با $M_N \geq 3/0$ ، با رنگ زرد مشخص شده‌اند. دسته دوم شامل ۶ پس‌لرزه می‌شود که در جدول ۱ با رنگ آبی مشخص شده‌اند. این پس‌لرزه‌ها به تدریج از پیرامون رومرکز زمین‌لرزه اصلی فاصله گرفته و به سوی انتهای خاوری گسل مشا مهاجرت کرده‌اند.

³ Al-Arifi

⁴ Uchida

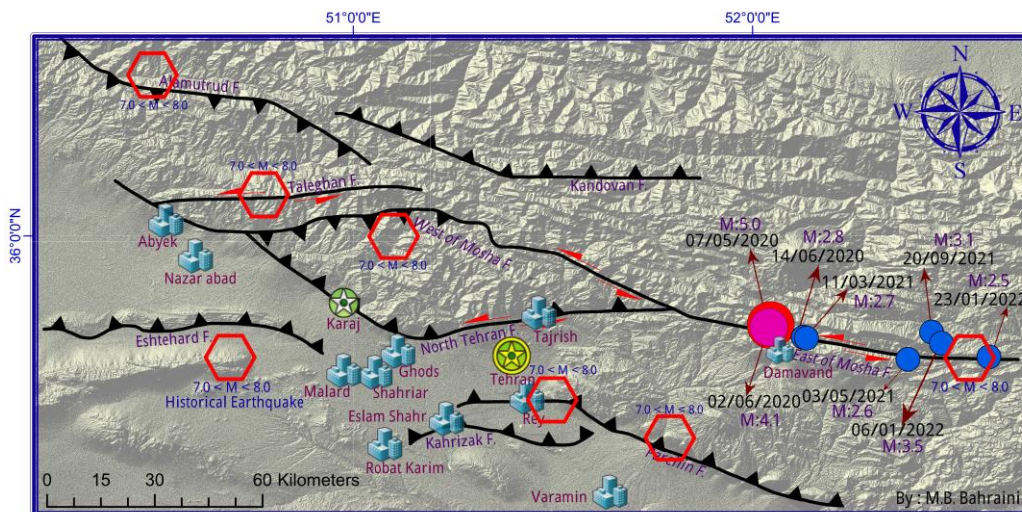
در شکل ۲، برای نمایش گرافیکی پدیده مهاجرت پس لرزه‌ها به سوی انتهای بخش خاوری گسل مشا، زمین لرزه اصلی با رنگ قرمز، بزرگ‌ترین پس لرزه با رنگ بنفش و ۶ پس لرزه دسته دوم با رنگ آبی، همراه با تاریخ و بزرگی زمین لرزه‌ها در مقیاس M_N ، بر روی نقشه لرزه زمین‌ساختی نمایش داده شده است. در این شکل، شش ضلعی‌های قرمز رنگ زمین لرزه‌های تاریخی با $7/0 < M < 8/0$ را نشان می‌دهند.



شکل ۱. نقشه گسل‌های اصلی و رومرکز زمین لرزه‌های گستره تهران از ۲۰۲۰/۰۲/۰۶ تا ۲۰۲۲/۱۰/۲۸.

جدول ۱. مشخصات پیش لرزه‌ها و تعدادی از پس لرزه‌های دسته اول با $M_N \geq 3/0$ (رنگ زرد)، پس لرزه‌های دسته دوم (رنگ آبی) و زمین لرزه اصلی ۱۸ اردیبهشت ۱۳۹۹ (رنگ قرمز).

No.	Event ID	Origin Time	Lat.	Long.	Depth(km)	Mag.	Mag. Type
1	161922	2020/02/06	35.764	51.971	9.5	2.8	MN
2	164839	2020/05/07	35.784	52.038	10	2.9	MN
3	164840	2020/05/07	35.776	52.046	10.7	5	MN
4	164852	5/7/2020	35.765	52.026	8	3.7	MN
5	164859	5/7/2020	35.774	52.026	7.5	3.3	MN
6	164965	2020/05/09	35.779	51.997	8.4	3.1	MN
7	164980	5/9/2020	35.773	52.038	12.7	3	MN
8	164981	5/9/2020	35.756	52.04	8	3.7	MN
9	165551	5/27/2020	35.771	52.041	10.4	4.1	MN
10	166157	6/14/2020	35.746	52.127	9.9	2.8	MN
11	168778	9/9/2020	35.735	52.097	8	3.1	MN
12	171073	2020/11/15	35.98	52.003	11.1	3.4	MN
13	171933	2020/12/18	35.779	52.006	7.7	3.9	MN
14	174256	2021/03/11	35.744	52.135	10	2.7	MN
15	175761	2021/05/03	35.691	52.389	10	2.6	MN
16	179214	2021/09/20	35.759	52.448	8	3.1	MN
17	181900	2022/01/06	35.731	52.473	7.5	3.5	MN
18	182238	2022/01/23	35.789	51.993	14.1	3.6	MN
19	182288	2022/01/25	35.697	52.592	6	2.5	MN



شکل ۲. نمایش گرافیکی پدیده مهاجرت پس لرزه‌های زمین لرزه ۱۸ اردیبهشت ۱۳۹۹ به سوی بخش انتهای خاوری گسل مشا.

بر اساس مطالعات الاریفی و همکاران (۲۰۱۲)، بر روی گسل تراگذر (Transform fault) خلیج آقابا در دریای سیاه با سازوکار امتدادلغز و طول ۱۱۰۰ کیلومتر، به عنوان یکی از فعالترین نواحی لرزه خیز در خاورمیانه، سبب رخداد توالی از زمین لرزه‌ها در ژوئیه ۱۹۹۳ شد. در ۳ اوت ۱۹۹۳ زمین لرزه اصلی با بزرگی $M_d = 6/0$ رخ داد و سپس ۴۰۳ پس لرزه ($M_d \geq 2/8$) در طی ۴ ماه بعدی رخ دادند که بزرگترین پس لرزه دارای بزرگی $M_d = 5/6$ بود. در این ناحیه زمین لرزه دیگری در ۲۲ نوامبر ۱۹۹۵ با بزرگی $M_d = 6/2$ رخ داد که نسبت به زمین لرزه اول شدت بسیار بیشتری داشت. در فاصله زمانی بین دو زمین لرزه اصلی، مهاجرت سامان مند پس لرزه‌ها از جنوب به شمال برای چشمه‌های ایجاد کننده زمین لرزه‌ها رخ داد. سازوکار مهاجرت زمین لرزه‌ها در خلیج آقابا بدین گونه تفسیر شده است که با تجمع تنش و در نهایت شکست در گسل و در پی آن با افت تنش شدید در نتیجه رخداد زمین لرزه اصلی سال ۱۹۹۳، تنش آزاد شده به مکان بزرگترین پس لرزه زمین لرزه سال ۱۹۹۳ با بزرگی $M_d = 5/6$ منتقل شده و رخداد این پس لرزه سبب فعال شدن دوباره ناحیه شده و با انتقال و تجمع تنش در بخش شمالی موجب زمین لرزه دوم با بزرگی $M_d = 6/2$ در سال ۱۹۹۵ شده است. در مقایسه مدل پیشنهاد شده توسط الاریفی و همکاران (۲۰۱۲)، با سازوکار رخداد توالی زمین لرزه‌ها بر روی گسل مشا می‌توان به شباهت بین آن‌ها پی برد. برپایه داده‌های جدول ۱ می‌توان گفت که با رخداد دو پیش لرزه با بزرگی $2/8$ و $2/9$ (شماره‌های ۱ و ۲ در جدول ۱)، این دور از لرزه‌خیزی بر روی گسل مشا آغاز و در ۱۸ اردیبهشت ۱۳۹۳ زمین لرزه اصلی با بزرگی $M_N = 5/0$ رخ داد. در ادامه، با تعداد زیادی پس لرزه که بزرگترین آنها دارای بزرگی $M_N = 4/1$ بوده است (شماره ۹ در جدول ۱)، مهاجرت پس لرزه‌ها به سوی انتهای خاوری گسل مشا آغاز شد (شماره‌های ۱۰، ۱۴، ۱۵، ۱۶، ۱۷ و ۱۹ در جدول ۱). مهاجرت پس لرزه‌ها بر روی گسل مشا پس از رخداد زمین لرزه اصلی و بزرگترین پس لرزه این زمین لرزه می‌تواند به علت انتقال تنش به سوی انتهای خاوری گسل مشا و یا در نتیجه انتشار امواج برهمکنشی دور در امتداد گسل مشا باشد.

۳ نتیجه‌گیری

پدیده مهاجرت پس لرزه‌های زمین لرزه اصلی ۱۸ اردیبهشت ۱۳۹۹ به سوی انتهای بخش خاوری گسل مشا که سابقه رخداد یک کلان زمین لرزه تاریخی ($7/0 < M < 8/0$) را دارد، شایان توجه ویژه است. در واقع، در مقایسه با تجربیات در نواحی دیگر دنیا، مهاجرت پس لرزه‌ها به سوی انتهای بخش خاوری گسل مشا را می‌توان به‌عنوان یک پیش‌نشانگر میان مدت یا بلندمدت برای رخداد زمین لرزه‌ای بزرگ ($M_w \geq 5.5$) در انتهای بخش خاوری گسل مشا و خطری مورد انتظار برای شهر تهران و نواحی پیرامون قلمداد کرد.

منابع

- Al-Arif, N., Lashin, A., Al-Humidan, S., 2012, Migration of local earthquakes in the Gulf of Aqaba, North Red Sea. *Earth Sciences Research Journal*, 16(1), 35-40.
- Novopashnina, A. V., San'kov, V. A., 2015, Migration of seismic activity in strike-slip zones: A case study of the boundary between the North American and pacific plates. *Russian Journal of Pacific Geology*, 9(2), 141-153.
- Uchida, N., Takagi, R., Asano, Y., Obara, K., 2020., Migration of shallow and deep slow earthquakes toward the locked segment of the Nankai megathrust. *Earth and Planetary Science Letters*, 531, 115986.