

مدل چشمه زمینلرزه ۱۳۹۶ سرپل - ذهاب و اثر آن بر پراکندگی خسارات ساختمانی

محمد رضا قایمقامیان^۱استاد، پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله، تهران - فرمانیه - ارغوان غربی - پلاک ۲۱، mrgh@iiees.ac.ir

چکیده

در بیست و یکم آبان ماه ۱۳۹۶ ساعت ۲۱/۴۸ به وقت محلی زمین لرزه سرپل-ذهاب با بزرگای ۷/۳ در نزدیکی شهر ازگله در استان کرمانشاه واقع در شمال غرب ایران به وقوع پیوست. بررسی پراکندگی بیشینه شتابهای ثبت شده و شدت تخریبهای شدید ساختمانی حاصل از این زمینلرزه نشان می دهد که خسارات در مناطق و جهات خاصی در اطراف گسل مسبب تجمع یافته و از میزان آن در دیگر مناطق به سرعت کاسته می شود. این امر بیانگر تاثیرپذیری شدید حرکات توانمند زمین در سطح از فرایند گسلش در عمق شامل جهت انتشار گسیختگی، مقادیر لغزش، الگوی لغزش در سطح گسل و غیره می باشد. در این مقاله به کمک تحلیل برگشتی شتابنگاشتهای ثبت شده در حوزه نزدیک گسل، پارامترهای عمومی (مختصات کانونی، عمق، شیب، امتداد) و خاص چشمه (مقادیر لغزش، الگوی لغزش، سرعت انتشار گسیختگی و ...) تعیین و ارتباط آن با پراکندگی حرکات توانمند زمین و میزان خسارات ساختمانی تشریح شده است.

واژه های کلیدی: زلزله ۱۳۹۶ سرپل-ذهاب، مدل چشمه لرزه ای، شتابنگاشتهای حوزه نزدیک گسل.

Source model of the 2017 Sarepole-Zahab earthquake and its effect on damage distributions

M.R. Ghayamghamian¹¹Professor, International Institute of Earthquake Engineering & Seismology, Tehran, Iran, mrgh@iiees.ac.ir

Abstract

On November 17, 2017 at 21:48 (local time), a devastating earthquake of $M_w = 7.3$ occurred at (34.91°N, 45.96°E), near Ezgele City in Kermansha province, Iran. The earthquake shake large areas in west and north-west of Iran, and east of Iraq. Meanwhile, the damaged areas were focused near the causative fault located in south-west of Iran. The ground motion distribution in the area show large dependence to the rupture parameters including rupture direction, slip direction and pattern, slip velocity etc. The recorded ground motion in Sarepole-Zahab City shows a long-period pulse resulted the largest PGA of 0.67g in the area. In this paper, source model of 2017 Sarepole-Zahab earthquake was investigated using reverse analysis of near-source ground motions, and examined its relation with observed damaged in the area.

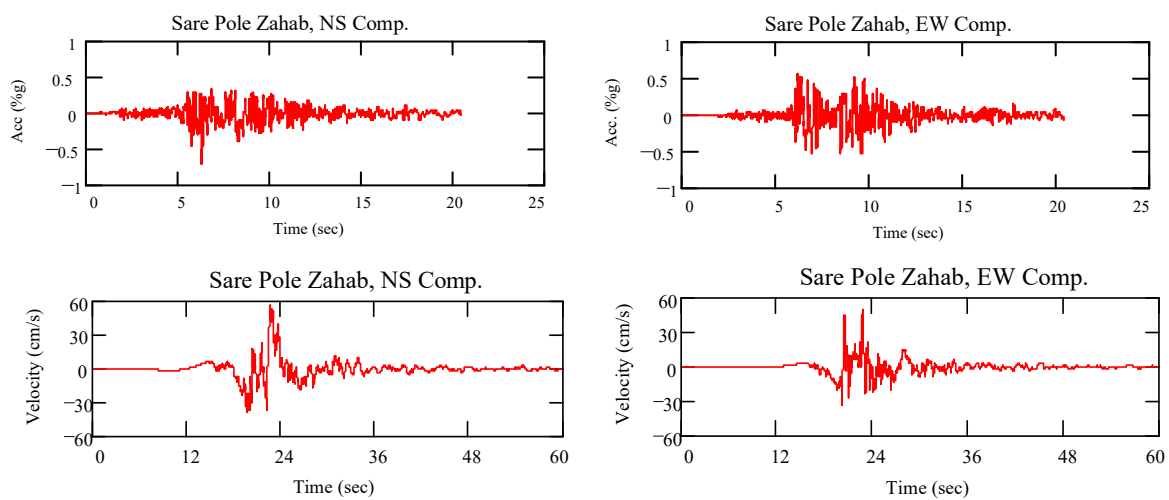
Keywords: Sarepole-Zahab earthquake (2017), source model, near-fault ground motion.

۱ مقدمه

در بیست و یکم آبان ماه ۱۳۹۶ ساعت ۲۱:۴۸ (به وقت محلی) زمینلرزه ای سرپل-ذهاب با بزرگای $M_w = 7.3$ بخش وسیعی از ایران زمین و کشور عراق را به لرزه در آورد. این زلزله موجب ویرانی بسیاری از ساختمانهای شهر سرپل-ذهاب و روستاها و شهرکهای اطراف آن گردید و خسارات جدی به شهرهای ازگله، اسلام آباد غرب، قصر شیرین، جوانرود، روانسر و کرد و کرد وارد نمود. بر طبق آمار رسمی این زلزله موجب کشته شدن ۶۲۰ نفر و زخمی شدن نزدیک به ۱۰۰۰۰ نفر گردید. مکانیسم کانونی این زمینلرزه با استفاده از امواج دور لرزه توسط سازمان زمین شناسی امریکا (USGS, 2017) و مرکز اطلاعات جغرافیای مکانی ژاپن (GSI, 2017) از نوع شیب لغز معکوس و عمق آن ۱۹ تا ۲۳ کیلومتر گزارش شده است

در شکل ۱ شتابنگاشت ثبت شده به همراه نگاشت سرعت محاسبه شده در ایستگاه واقع در شهر سرپل-ذهاب نشان داده شده است. نکته قابل توجه در سرعتنگاشتهای محاسبه شده در شکل ۱، وجود پالس جهت یافته پیشرونده با پیرو بلند است. این پالس زمانی ایجاد می گردد که جهت انتشار گسلش با جهت لغزش همراستا و به سمت ایستگاه اندازه گیری باشد. حضور این پالس باعث افزایش ناگهانی بیشینه شتاب گردیده است بطوریکه علیرغم فاصله نسبتا زیاد شهر سرپل-ذهاب با مرکز رو

سطحی زلزله (حدوداً ۴۰ کیلومتر) بالاترین مقدار بیشینه شتاب حرکات توانمند زمین معادل $0.67g$ در این ایستگاه ثبت گردیده است. دامنه این پالس با فاصله از گسل و در آزمون‌های غیر هم‌راستا سریعاً کاهش می‌یابد که باعث کاهش ناگهانی بیشینه شتاب در دیگر ایستگاه‌های شتابنگاری می‌گردد بطوریکه در ایستگاه جوانرود که در فاصله ۵۰ کیلومتری و در خلاف جهت انتشار گسلش قرار دارد به علت عدم وجود این پالس مقدار بیشینه شتاب به یک سوم این مقدار و به $0.22g$ کاهش می‌یابد. از طرفی مقدار بیشینه شتاب در ایستگاه گور سفید به فاصله ۵۵ کیلومتری اما در آزمون هم‌راستا نیز به نصف مقدار ایستگاه سرپل-ذهاب و به مقدار $0.31g$ کاهش یافته است. بدین ترتیب همانگونه که ملاحظه می‌گردد، پراکندگی بیشینه شتاب در منطقه که نسبت مسقیم با نیروی وارده از طرف زمین به ساختمانها و بالطبع آن خسارات ساختمانی دارد، صرفاً تابع فاصله نبوده و متأثر از فرایند گسلش و پارامترهای آن در منطقه می‌باشد. بدین ترتیب پارامترهای نظیر جهت انتشار گسلش، جهت و میزان لغزش در سطح گسل، موقعیت نواحی با حداکثر لغزش بر روی سطح گسل که اسپریتی نامیده می‌شوند، همگی می‌توانند پراکندگی مقادیر بیشینه شتاب و خسارات ساختمانی وارده را متأثر نمایند.



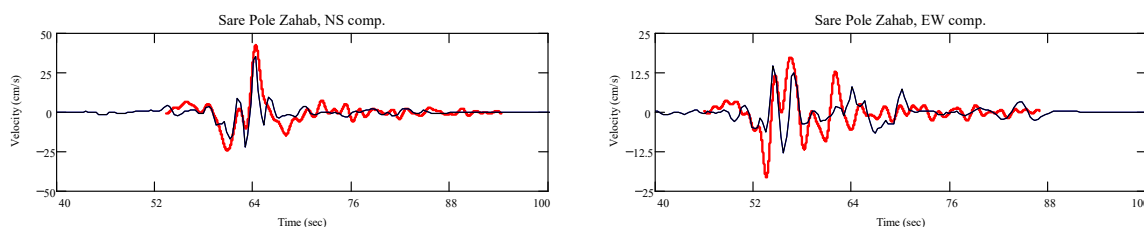
شکل ۱. شتاب‌نگاشتهای ثبت شده در ایستگاه سرپل ذهاب و سرعت‌نگاشتهای محاسبه شده آن.

تعیین مدل و مشخصات گسلش بصورت مستقیم ممکن نبوده و معمولاً به کمک تحلیل‌های برگشتی بر پایه مدل سینماتیک گسلش و یا مدل‌های پیچیده‌تر دینامیکی و استفاده از شتاب‌نگاشتهای ثبت شده در ایستگاه‌های مختلف واقع در فواصل و آزمون‌های مختلف قابل انجام است. پس از تعیین مدل گسل و پارامترهای گسلش می‌توان شتاب‌نگاشتهای واقع در مناطق خسارت دیده که در آنها ایستگاه‌های شتابنگاری وجود ندارد را شبیه سازی نمود. همچنین می‌توان ارتباط بین میزان خسارت لرزه‌ای با بیشینه شتاب را برای سازه‌های موجود در منطقه تعیین نمود. بعلاوه این نتایج بررسی ارتباط بین بیشینه شتاب با پارامترهای خاص گسلش نظیر جهت انتشار گسیختگی، جهت و میزان لغزش در سطح گسل، موقعیت و تعداد اسپریتها در سطح گسل را ممکن می‌نماید. بدین منظور در ادامه نحوه تعیین مدل چشمه زلزله ۱۳۹۶ سرپل-ذهاب تشریح می‌گردد.

۲ مدل چشمه لرزه‌ای زلزله ۱۳۹۶ سرپل-ذهاب

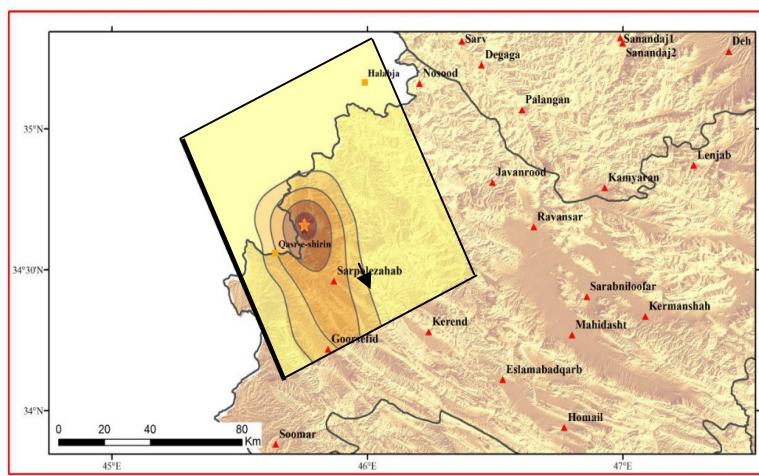
برای تعیین پارامترهای گسل مسبب زمینلرزه، استفاده از روش و اندازه‌گیری‌های مستقیم به دلیل عمق زیاد زلزله، وسعت سطح گسلش، ارتباط پارامترهای انتشار گسیختگی با زمان و فراوانی مقادیر مجهول امری محال است. لذا برای تعیین این پارامترها، از روشهای معکوس به کمک تحلیل‌های برگشتی استفاده می‌شود. بدین منظور از لرزه‌نگاشتها (سرعت‌سنج) و شتاب‌نگاشتهای ثبت شده از این زلزله در ایستگاه‌های مختلف لرزه نگاری استفاده می‌گردد. در این راستا ابتدا مدلی از سطح گسل و پوسته زمین در محل (محیط انتشار موج) ساخته و پارامترهای گسل و نحوه گسلش با کمک روشهای مختلف بهینه سازی به گونه‌ای تعیین می‌گردد که بهترین تطابق بین نگاشتهای ثبت شده و مدل شده حاصل و پارامترهای گسلش تعیین - گردد. جهت تعیین دقیق پارامترها در حوزه نزدیک گسل، لازم است تا سطح گسل به تعداد زیادی زیر گسل تقسیم شود.

ضمناً مشخصات مدل پوسته (محیط انتشار موج) شامل سرعت امواج P و S، ضخامت و دانسیته هر لایه به همراه روابط بیان کننده میرایی امواج با فاصله نیز از پارامترهای ورودی مدل بوده و باید قبل از انجام تحلیل تعیین گردد. جهت تعیین مدل گسل و پارامترهای چشمه زمینلرزه ۱۳۹۶ سرپل-ذهاب، از روش و روابط میرایی مورد استفاده در مطالعات قائمقامیان و هیسادا (۲۰۰۷) استفاده شده است. بعلاوه نگاشت‌های سرعت به کمک شتاب‌نگاشت‌های ثبت شده در حوزه نزدیک گسل برای ایستگاههای مورد نظر محاسبه و به عنوان تابع هدف در تحلیل برگشتی استفاده شده است. در ادامه مدل پوسته در زاگرس بر اساس مطالعات انجام یافته توسط هاتزفلد و همکاران (۲۰۰۳) ساخته شد. سپس سطح گسل به ابعاد ۶۰ در ۸۰ کیلومتر در نظر گرفته شد و به ۲۴۰ زیر گسل تقسیم گردید. در قدم اول از مدل‌های ارائه شده توسط سازمان زمین‌شناسی امریکا و مرکز اطلاعات جغرافیای مکانی ژاپن در تحلیل برگشتی استفاده شد که تطابق ضعیفی بین سرعت نگاشت‌های ثبت و شبیه‌سازی شده را نشان داد. در قدم دوم، تحلیل برگشتی به کمک ساخت مدلی اولیه حاصل از تلفیق دو مدل ارائه شده توسط سازمان زمین‌شناسی امریکا و مرکز اطلاعات جغرافیای مکانی ژاپن تهیه و پارامترهای این مدل به روش آزمون و خطا به گونه‌ای بهینه سازی گردید که بهترین تطابق بین سرعت نگاشت‌های ثبت و شبیه‌سازی شده حاصل گردد. این مدل توانست بخوبی سرعت‌نگاشت ثبت شده در ایستگاه سرپل-ذهاب و دیگر ایستگاهها را شبیه‌سازی نماید. در شکل ۲ سرعت-نگاشت ثبت شده با شبیه‌سازی شده در ایستگاه سرپل-ذهاب با یکدیگر مقایسه شده است.



شکل ۲. مقایسه سرعت نگاشت ثبت شده (خط پر) با شبیه‌سازی شده (خط ساده) فیلتر شده در محدوده فرکانسی ۰/۱ تا ۲ هرتز در ایستگاه سرپل-ذهاب.

به منظور بررسی یکتایی پاسخ بر اساس این مدل، سرعت‌نگاشت‌های ایستگاه‌های دیگر که در تحلیل برگشتی مورد استفاده قرار نگرفته بود، شبیه‌سازی و با سرعت‌نگاشت ثبت شده مقایسه و تطابق خوب نتایج بین آنها تاییدی بر یکتایی مدل بود. در شکل ۳ مدل گسل زمینلرزه ۱۳۹۶ سرپل-ذهاب بر روی نقشه منطقه به همراه موقعیت ایستگاهها نشان داده شده است. با توجه به شکل ۳ ملاحظه می‌گردد که این مدل دارای یک اسپریتی با بیشینه لغزش ۳/۵ متر و جهت متوسط لغزش ۱۴۰ درجه است.



شکل ۳. مدل گسلش زمینلرزه ۱۳۹۶ سرپل-ذهاب و موقعیت برخی ایستگاههای شتابنگاری مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی در حوزه نزدیک گسل.

یک نکته قابل توجه در شکل ۳، قرار گرفتن دو شهر سرپل ذهاب و گورسفید بر روی اسپریتی با لغزش بالا است. این دو شهر که بر روی نقاطی از گسل با لغزش بالا قرار گرفته‌اند، بیشترین شتاب را تجربه و لذا خسارات بالای را نشان می‌دهند. این مشاهده با آنچه که در زمینلرزه ۱۳۸۲ بم اتفاق افتاد کاملاً تطابق داشته و در شهر بم نیز نقاط با خسارت بالا بر روی اسپریتی با لغزش بالا قرار داشته‌اند. این مشاهدات نشانگر این حقیقت است که مشخصات خاص گسلش خصوصاً سرعت و جهت لغزش، موقعیت و شکل اسپریتی و مقدار لغزش می‌تواند نقش بسزایی را در الگوی پراکندگی بیشینه شتاب و خسارت ایفا نماید. بنابر این پراکندگی بیشینه شتاب و خسارت در حوزه نزدیک گسل می‌تواند کاملاً با حوزه متوسط و دور که در آنها فاصله از چشمه نقش اساسی را ایفا می‌نماید، متفاوت باشد.

۳ بحث و نتیجه‌گیری

در این مقاله مدل گسل و پارامترهای چشمه زمینلرزه ۱۳۹۶ سرپل-ذهاب در استان کرمانشاه به کمک تحلیل برگشتی شتابنگاشتهای ثبت شده در حوزه نزدیک گسل تعیین گردید. این مدل بیانگر یک گسل با شیب ۱۶ درجه و امتداد ۳۲۴ درجه با مکانیسم جابجایی شیب-لغز تراستی است. سطح گسل یک تک اسپریتی کم عمق با حداکثر لغزش ۳/۵ متر با جهت لغزش متوسط ۱۴۰ درجه را نشان می‌دهد. همانطور که ملاحظه میشود جهت لغزش با جهت انتشار لغزش هم راستا و به سمت ایستگاههای سرپل-ذهاب و گور سفید می‌باشد. این امر باعث ایجاد پالس پیرو بلند جهت یافته پیشرونده‌ای شده که این پالس از مشخصات بارز حرکات توانمند زمین در حوزه نزدیک گسل بوده و در ایستگاه سرپل-ذهاب براحتی قابل مشاهده است. وجود این پالس باعث افزایش ناگهانی بیشینه شتاب در این دو ایستگاه شده بطوریکه این دو ایستگاه بالاترین بیشینه شتاب نسبت به دیگر ایستگاهها را نشان میدهند. این افزایش شتاب به شدت با فاصله از گسل و اسپریتی کاسته شده و از ۰/۶۷g در ایستگاه سرپل-ذهاب به ۰/۳۱g در ایستگاه گور سفید با اختلاف ۱۵ کیلومتر می‌رسد. این امر نشانگر این حقیقت است که در حوزه نزدیک گسل پارامترهای خاص مرتبط با چشمه بر خلاف حوزه متوسط و دور می‌تواند نقش بسزایی را در پراکندگی بیشینه شتاب و بدنبال آن میزان خسارات سنگین ایفا نماید. لذا لازم است تا این پارامترها هر چه بیشتر در مطالعات مرتبط با تحلیل خطر زمینلرزه و آیین نامه های طراحی ساختمان خصوصاً ساختمانهای مهم و سازه‌های با پیرو بلند مد نظر قرار گیرد.

منابع

- Geospatial Information Authority of Japan (GSI), 2017, <http://www.gsi.go.jp/cais/topic171115-index-e.html>
 Ghayamghamian M. R., Hisada Y., 2007, Near-fault strong motion complexity of the 2003 Bam earthquake (Iran) and low-frequency ground motion simulation, **170**, 679-686.
 Hatzfeld, D., Tatar M., Priestly K., Ghafory-Ashtiany M., 2003, Seismological constraints on the crustal beneath the Zagros mountain belt (Iran). *Geophysical Journal International*, **155**, 403-410.
 United States Geological Survey (USGS), 2017, <http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eventpage/us2000bmcg#finite-fault>