

Seismotectonic Investigation and Velocity Structure of the NW-Iran Using 11th August 2012 Ahar-Varzaghan Earthquake Doublet Sequence

Mohammad Tatar

Professor, Seismology Research Center
mtatar@iiees.ac.ir

Seyyed Maalek Momeni

تحلیل لرزه زمین‌ساختی و تعیین ساختار سرعتی پوسته شمال غرب ایران با استفاده از توالی زمین‌لرزه‌های دوگانه ۹۱/۵/۲۱ مهر-ورزقان

محمد تاتار

استاد پژوهشکده زلزله‌شناسی mtatar@iiees.ac.ir

سید مالک مؤمنی

The Ahar-Varzaghan earthquake doublet (Mw6.5 and Mw6.3), separated in time by 11 minutes, and its aftershocks sequence are studied. The main goal of this research is to investigate the seismotectonic features of the Ahar-Varzaghan complex fault system in order to assess the seismic hazard of the region and especially Tabriz city. The 11th August 2012 Ahar-Varzaghan earthquake doublet occurred on previously unidentified Ahar-Varzaghan fault system. This fault system is situated on 50 km northeast of Tabriz with two million populations. Our final goal is to investigate the stress interaction between the Ahar-Varzaghan earthquake doublet causative faults and the North Tabriz fault with a history of several M7.0+ historical earthquakes. We used the data of a local dense seismic network installed by IIEES in order to study the aftershocks of the Ahar-Varzaghan seismic sequence and investigating the seismotectonic features of the causative faults of this doublet. The aftershocks relocated with high accuracy and their focal mechanisms solved using first motion polarities. Then, the 1D velocity model of the area was computed. The mainshocks were relocated and their source parameters were obtained by inverting the regional broadband and near-field strong motions. Using the obtained source models, the 3D stress field of each mainshock was obtained and the effect of stress transfer from M1 to M2 and from both of them to NTF was investigated.

The results show that the mainshocks have occurred on two different faults: M1 ruptured on an E-W striking 80° south dipping fault, while M2 slipped on an ENE-WSW striking 60° northward dip plane. Both ruptures extended toward the west and to shallow depths. The rupture of M1 was estimated on an elliptical patch with a maximum slip of 3.1 m situated at 5 km west of its hypocenter. The total rupture occurred in 8 s releasing the total seismic energy of $8.4E+18$ Nm. The M2 ruptured on two patched with different mechanisms. The first patch had a strike-slip mechanism. The rupture on this patch occurred in 2.5 s with speed of ~ 2.5 km/s. Then the second patch started rupturing at the depth of

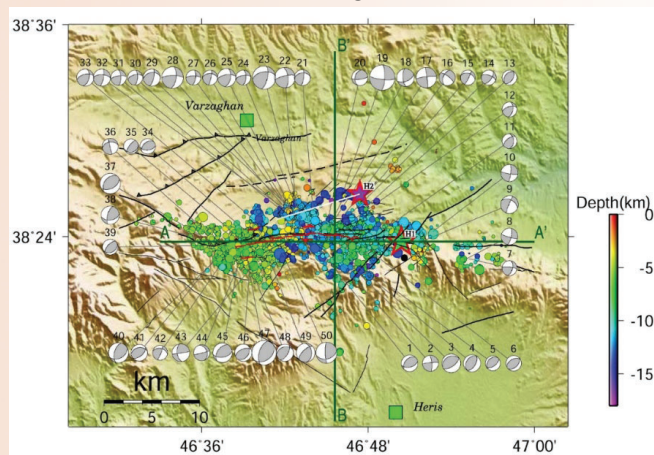
در پژوهش حاضر، با استفاده از داده‌های گردآوری شده پس از نصب یک شبکه لرزه‌نگاری محلی موقت توسط پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله، پس‌لرزه‌های زمین‌لرزه‌های دوگانه مهر-ورزقان مطالعه شدند. هدف اصلی این مطالعه بررسی ویژگی‌های لرزه‌زمین‌ساختی سیستم گسلی مهر-ورزقان به منظور ارزیابی صحیح خطر لرزه‌ای منطقه شمال غرب ایران خصوصاً شهر تبریز می‌باشد. زمین‌لرزه‌های دوگانه ۲۱ مرداد ۱۳۹۱ مهر-ورزقان بر روی این سیستم گسلی که پیش‌تر مطالعه نشده بود رخ دادند. سیستم گسلی مهر-ورزقان در ۵۰ کیلومتری شمال شرق شهر تبریز با بیش از دو میلیون جمعیت واقع شده است. هدف نهایی ارزیابی اندرکنش تنش بین گسل‌های مسبب زمین‌لرزه‌های دوگانه مهر-ورزقان و گسل شمال تبریز با سابقه چندین زمین‌لرزه تاریخی با بزرگای بیش از ۷ می‌باشد. برای این منظور، پس‌لرزه‌های ثبت شده در شبکه لرزه‌نگاری موقت نصب شده با دقت بالا مکان‌یابی و سازوکارهای کانونی چشمه‌های پس‌لرزه‌های نسبتاً بزرگ محاسبه شدند. مدل سرعت یک بعدی پوسته در ناحیه مهر-ورزقان محاسبه شد. سپس زمین‌لرزه‌های اصلی و پس‌لرزه‌ها با مدل سرعتی جدید بازمکان‌یابی شدند و چشمه‌های آنها به دو روش تقریب نقطه‌ای و لغزش توسعه یافته روی سطح گسل مدل‌سازی شدند. مدل‌سازی چشمه‌های لرزه‌ای با روش تقریب نقطه‌ای با استفاده از وارون‌سازی تاریخچه زمانی جابه‌جایی‌های ثبت شده در ایستگاه‌های باند پهن موجود در منطقه محاسبه شد. مدل‌سازی توزیع لغزش چشمه‌های لرزه‌ای با وارون‌سازی داده‌های شتابنگاشت‌های میدان نزدیک گسل انجام شد. همچنین میدان تنش سه‌بعدی حاصل از زمین‌لرزه اول بر روی گسل مسبب زمین‌لرزه دوم و میدان تنش هر دو زمین‌لرزه اصلی بر روی گسل شمال تبریز محاسبه شد.

نتایج مطالعات بیان شده در بالا نشان داد که زمین‌لرزه‌های دوگانه مهر-ورزقان بر روی دو گسل مجزا که در فاصله نزدیک به یکدیگر واقع شده‌اند، رخ دادند. زمین‌لرزه اول بر روی گسلی با روند شرقی-غربی و با شیب ۸۰ درجه به سوی جنوب رخ داد. آغاز گسیخت آن در 4 ± 2 کیلومتری انتهای شرقی گسیخت سطحی و در عمق ۸٫۵ کیلومتر محاسبه شد. لغزش در این زمین‌لرزه به سوی غرب و به اعماق کمتر توسعه پیدا کرد و به سطح زمین رسید و جابه‌جایی نزدیک به یک متر با سازوکار امتداد لغز راست گرد ایجاد کرد. فرایند گسیخت در ۵٫۶ ثانیه و با سرعت میانگین ۲٫۵ کیلومتر بر ثانیه انجام شد که گشتاور لرزه‌ای $8.4E+18$ نیوتن متر را رها کرد. زمین‌لرزه دوم در ۵ کیلومتری غرب و ۴ کیلومتری شمال کانون زرفی زمین‌لرزه اول آغاز شد و توسعه گسیخت آن بر روی گسلی با روند ۲۵۶ درجه و شیب ۶۰ درجه به سوی شمال رخ داد. لغزش زمین‌لرزه دوم در ۲٫۵ ثانیه ابتدایی با

~13 km and with speed of >2.8 km/s for ~ 2.6 s. The whole rupture released the total seismic moment of $3.2E+18$ Nm. The spatial distribution of aftershocks has a good consistency to the obtained geometries for the mainshocks faults. They situated in three main clusters on east, north and west of the surface rupture. The eastern and northern aftershocks are situated near the mainshocks slips. A 3D stress tensor were obtained from the M1 shows a considerable positive stress transfer of higher than 10 bars to the ruptured segment during M2. Also, the area with remarkable negative stress seems to behave as a barrier to the continuation of the M2 rupture near the depth of 8 km. Finally, a 3-D stress tensor of both mainshocks was computed from their source models on the NTF. It showed stress increase of over 0.1 bar on the eastern segment of the NTF. It seems that the 2012 Ahar-Varzaghan earthquake doublet brought the eastern segment of the NTF closer to failure. This segment did not rupture since 1721 which has been ruptured in an M7.6-7.7 historical earthquake.

Our finding reveals that the Ahar-Varzaghan fault system contains two major faults in a very close distance which can cause earthquake doublets in the future. Also, these two active faults can raise the probability of occurrence of an event on the eastern segment of the NTF. Although this probability slightly decreases on the western segment of the NTF, this study shows that in seismic sequences the occurrence of the secondary events can be strongly affected by the stress field produced by the first main shock.

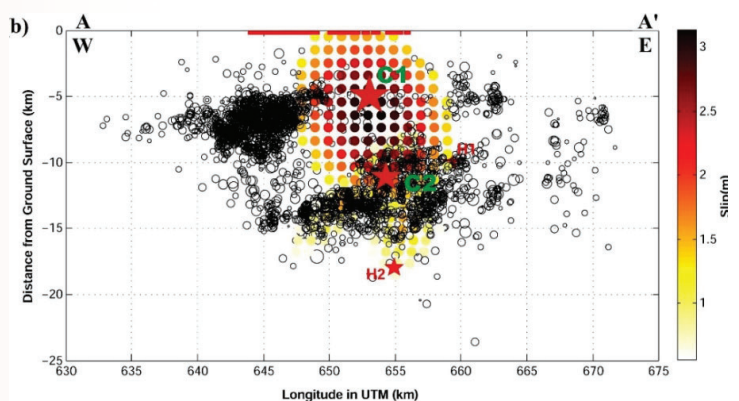
Keywords: Ahar-Varzaghan, Earthquake doublet, Moment tensor inversion, North Tabriz fault, Near-field source inversion, Coulomb stress changes



سازوکار امتداد لغز راست گرد تقریباً خالص با سرعت ۲٫۵ کیلومتر بر ثانیه و در ۲٫۶ ثانیه بعد، با سازوکار معکوس با مؤلفه امتداد لغز راستگرد با سرعت بیش از ۲٫۸ کیلومتر بر ثانیه رخ داد. گسیخت زمین‌لرزه دوم در عمق ۸ کیلومتر متوقف شد. این زمین‌لرزه گشتاور لرزهای $۳.۲E+۱۸$ نیوتن متر را رها کرد. توزیع فضایی پس‌لرزه‌ها به خوبی هندسه‌های بدست آمده برای گسیخت زمین‌لرزه‌های اصلی را تأیید می‌کند. پس‌لرزه‌ها در سه خوشه اصلی در شرق، شمال و غرب گسیخت سطحی متمرکز شدند. پس‌لرزه‌های شرقی و شمالی در مجاورت ناحیه‌های لغزش زمین‌لرزه‌های اصلی اول و دوم قرار گرفتند. تانسور تنش سه‌بعدی محاسبه شده از زمین‌لرزه اول انتقال تنش کولمب قابل توجهی به بزرگی تا ۱۰ بار را از زمین‌لرزه اول به ناحیه گسیخته شده در زمین‌لرزه دوم نشان می‌دهد. همچنین ناحیه با تنش منفی قابل توجه به نظر مانع توسعه لغزش در زمین‌لرزه دوم در اعماق نزدیک به ۸ کیلومتر شد. در نهایت تانسور تنش سه‌بعدی هر دو زمین‌لرزه از مدل‌های چشمه آنها محاسبه شد که افزایش تنش بیش از ۰٫۱ بار را بر روی قطعه شرقی گسل شمال تبریز نشان داد. به نظر زمین‌لرزه‌های دوگانه اهر-ورزقان زمان رخداد زلزله محتمل روی قطعه جنوب شرقی گسل شمال تبریز را که از زمین‌لرزه تاریخی ۱۷۲۱ میلادی با بزرگای ۷٫۶-۷٫۷ به بعد گسیخته نشده را جلو انداخته باشد.

بنابراین، سیستم گسلی اهر-ورزقان شامل دو گسل فعال با فاصله بسیار نزدیک به یکدیگر می‌تواند عامل زمین‌لرزه‌های دوگانه دیگری در آینده نیز باشد. همچنین این دو گسل می‌توانند احتمال رخداد زمین‌لرزه‌ای بزرگ روی قطعه شرقی گسل شمال تبریز را افزایش دهند. در حالی که این احتمال روی قطعه غربی گسل شمال تبریز در اثر این زمین‌لرزه‌ها اندکی کاهش یافته است. این مطالعه نشان داد که در توالی‌های لرزه‌ای گسیخت زمین‌لرزه ثانویه می‌تواند بسیار متأثر از میدان تنش حاصل از زمین‌لرزه اول باشند.

واژه‌های کلیدی: زمین‌لرزه دوگانه اهر-ورزقان، گسل شمال تبریز، وارون‌سازی چشمه حوزه نزدیک، تانسور ممان، تغییرات تنش کولمب



موقعیت مقطع عمقی AA' بر روی نقشه توزیع مکانی لرزه‌خیزی (بالا) و توزیع عمقی در راستای مقطع AA' (پائین). دایره‌های سیاه کانون‌های ژرفی پس‌لرزه‌ها هستند (با بزرگای بین ۰٫۵ تا ۵٫۰). دایره‌های توپر رنگی توزیع لغزش را در جریان رخداد M1 و M2 نشان می‌دهند. رنگ‌ها نشان‌دهنده میزان لغزش هستند. ستاره‌های قرمز کانون‌های ژرفی M1 و M2 هستند که به ترتیب با H1 و H2 علامتگذاری شده‌اند. مقطع AA' جدایش بزرگی از فعالیت پس‌لرزه‌ها را در دو ابر متمایز نشان می‌دهد. بیشینه لغزش که به توده لغزش اصلی زمین‌لرزه اول M1 متعلق است، در موقعیت این گپ پس‌لرزه‌ای واقع شده است