

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

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

تحلیل لرزه زمین ساختی و تعیین ساختار سرعتی پوسته
شمال غرب ایران با استفاده از توالی
زمین لرزه های دو گانه ۱۹۱/۵/۲۱-۱۹۱-ورزقان

محمد تاتار

استاد پژوهشکده زلزله شناسی
mtatar@iiees.ac.ir

سید مالک مؤمنی

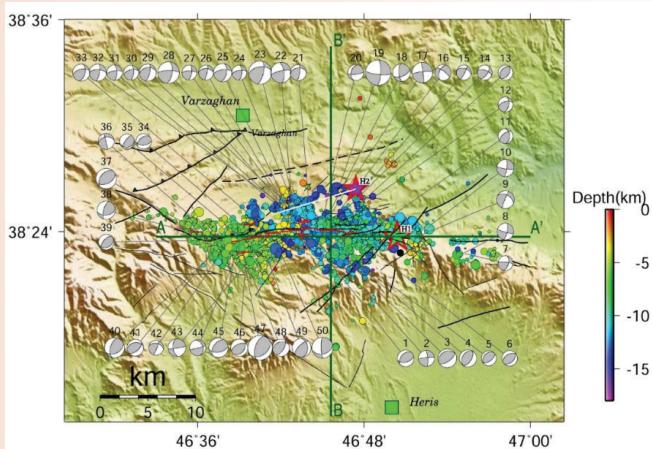
در پژوهش حاضر، با استفاده از داده های گردآوری شده پس از نصب یک شبکه لرزه نگاری محلی موقت توسط پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله، پس لرزه های زمین لرزه های دو گانه اهر-ورزقان مطالعه شدند. هدف اصلی این مطالعه بررسی ویژگی های لرزه زمین ساختی سیستم گسلی اهر-ورزقان به منظور ارزیابی صحیح خطر لرزه ای منطقه شمال غرب ایران خصوصاً شهر تبریز می باشد. زمین لرزه های دو گانه ۲۱ مرداد ۱۳۹۱ با پیش از دو میلیون جمعیت واقع شده است. هدف نهایی ارزیابی اندر کنش تنش بین گسل های مسبب زمین لرزه های دو گانه اهر-ورزقان و گسل شمال تبریز با سابقه چندین زمین لرزه تاریخی با بزرگای بیش از ۷ می باشد. برای این منظور، پس لرزه های ثبت شده در شبکه لرزه نگاری موقت نصب شده با دقت بالا مکان یابی و سازو کارهای کانونی چشم های پس لرزه های نسبتاً بزرگ محاسبه شدند. مدل سرعت یک بعدی پوسته در ناحیه اهر-ورزقان محاسبه شد. سپس زمین لرزه های اصلی و پس لرزه ها با مدل سرعتی جدید باز مکان یابی شدند و چشم های آنها به دو روش تقریب نقطه ای و لغزش توسعه یافته روی سطح گسل مدل سازی شدند. مدل سازی چشم های لرزه ای با روش تقریب نقطه ای با استفاده از وارون سازی تاریخ چه زمانی جایه جایی های ثبت شده در ایستگاه های باند پهن موجود در منطقه محاسبه شد. مدل سازی توزیع لغزش چشم های لرزه ای با وارون سازی داده های شتاب نگاشته های میدان نزدیک گسل انجام شد. همچنین میدان تنش سه بعدی حاصل از زمین لرزه اول بر روی گسل مسبب زمین لرزه دوم و میدان تنش هر دو زمین لرزه اصلی بر روی گسل شمال تبریز محاسبه شد.

نتایج مطالعات بیان شده در بالا نشان داد که زمین لرزه های دو گانه اهر-ورزقان بر روی دو گسل مجزا که در فاصله نزدیک به یکدیگر واقع شده اند، رخ دادند. زمین لرزه 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 زمین لرزه به سوی غرب و به اعماق کمتر توسعه پیدا کرد و به سطح زمین رسید و جایه جایی نزدیک به یک متر با سازو کار 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 لرزه ای $8.4E+18$ نیوتن متر را رها کرد. زمین لرزه دوم در ۵ کیلومتری غرب و ۴ کیلومتری شمال کانون ژرفی زمین لرزه اول آغاز شد و توسعه گسیخت آن بر روی گسلی با روند ۲۵۶ درجه و شیب ۶۰ درجه به سوی شمال رخ داد. لغزش زمین لرزه 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



موقعیت مقطع عمقی 'AA' بر روی نقشه توزیع مکانی لرزه خیزی (بالا) و توزیع عمقی در راستای مقطع 'AA' (پائین). دایره‌های سیاه کانون‌های ژرفی پس‌لرزه‌ها هستند (با بزرگی بین ۰,۵ تا ۵,۲). دایره‌های توپر رنگی توزیع لرزش را در جریان رخداد M1 و M2 نشان می‌دهند. رنگ‌ها دهنده میزان لرزش هستند. ستاره‌های قرمز کانون‌های ژرفی M1 و M2 هستند که بترتیب با H1 و H2 مرتبط‌اند. مقطع 'AA' جدایش بزرگی از فعالیت پس‌لرزه‌ها را در دو ابر متمایز نشان می‌دهد. بیشینه لرزش که به توده لرزش اصلی زمین‌لرزه اول M1 متعلق است، در موقعیت این گپ پس‌لرزه‌ای واقع شده است

سازوکار امتداد لجز راست گرد تقریباً خالص با سرعت ۲,۵ کیلومتر بر ثانیه و در ۲,۶ ثانیه بعد، با سازوکار معکوس با مؤلفه امتداد لجز 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 بودست آمده برای رها کرد. توزیع فضایی پس‌لرزه‌ها به خوبی هندسه‌های بدست آمده برای گسیخت زمین‌لرزه‌های اصلی را تأیید می‌کند. پس‌لرزه‌ها در سه خوش‌اصلی در شرق، شمال و غرب گسیخت سطحی متتمرکز شدند. پس‌لرزه‌های شرقی و شمالی در مجاورت ناحیه‌های لرزش 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 لرزش در زمین‌لرزه دوم در اعماق نزدیک به ۸ کیلومتر شد. در نهایت تانسور تنش سه‌بعدی هر دو زمین‌لرزه از مدل‌های چشممه 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 ۷,۷-۷,۶ 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 باشد.

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

