



بررسی زلزله شناختی، زلزله شناختی مهندسی و پردازش داده های شتابنگاری زلزله ۱۷ اوت ۱۹۹۹ ایزمیت (گولجوک، کوجائلی) ترکیه

مهدی زارع، استادیار پژوهشکده زلزله شناسی پژوهشگاه

۱- مقدمه

سازوکار ژرفی این گسیختگی راستالغز بوده که با توجه به موقعیت گسل آناتولی شمالی و شواهد روی زمین، سازوکار راستالغز راستگرد به عنوان سازوکار غالب در این زلزله معرفی می گردد. بر طبق آمار رسمی بیشینه شدت در این رویداد در ناحیه گولجوک و پیرامون خلیج ایزمیت در مقیاس $MSK = X^+$ گزارش گردید. آمار کشته ها با توجه به تعداد مفقودین که در هفته های اول پس از رویداد حدود ۳۰,۰۰۰ نفر اعلام شد، باید به مراتب بیش از ۱۵۰۰۰ نفر بوده باشد.

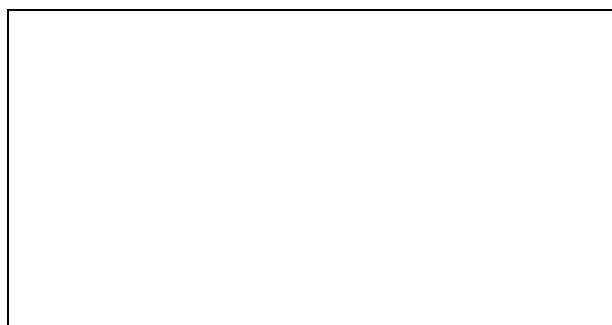
زلزله ایزمیت در پایگاه پژوهشکده زلزله شناسی پژوهشگاه نیز ثبت گردید که نداشت آن در این مقاله ارائه می گردد. علاوه بر آن، جنبش شدید زمین با نداشتهای به دست آمده از شبکه مرمه نیز در این مقاله معرفی می شود. بیشینه شتاب در دسترس که مربوط به پایگاه شتابنگاری یاریمجا بود در فاصله حدود ۱۰ کیلومتری از گسیختگی سطحی واقع بوده است (بیشینه شتاب بیش از 30%g). جنبشهای قویتری از آداپازاری و دوزجه که در بخش خاوری ایزمیت واقعند نیز گزارش شده، ولی نداشتهای آنها تا هنگام آماده سازی این مقاله در دسترس نبوده است.

در این مقاله ویژگیهای لرزه زمین ساختی ناحیه باختری پهنه گسل آناتولی شمالی معرفی، عوامل ساختاری و زلزله شناختی این رویداد بحث، ویژگیهای زلزله شناختی و پس لرزه های این زلزله بررسی می شود. در نهایت به ویژگیهای زلزله شناختی مهندسی زلزله ایزمیت، بیشینه شدت و بیشینه شتاب زمین لرزه در این زلزله پرداخته می شود. در این قسمت داده های شتابنگاری حاصله در این زلزله پردازش شده و شتابنگاشتهای تصحیح شده برای ۱۰ ایستگاه (که همگی در لرزه اصلی حاصل شده اند) به همراه طیفهای آنها برای میراییهای مختلف ارائه می شود.

زمین لرزه خلیج ایزمیت که در سحرگاه ۱۷ اوت ۱۹۹۹ (۲۶ مرداد ۱۳۷۸) در شمال باختر کشور ترکیه رخ داد، با گسیختگی حدود ۱۲۵ کیلومتر گسل زمین لرزه ای همراه بود و موجب کشته شدن حدود ۱۵۰۰۰ نفر شد. در این زلزله از دیدگاه زلزله شناختی می توان به بروز حالت جهت پذیری بر اثر گسیختگی طولانی در راستای پهنه گسله آناتولی شمالی اشاره نمود. سازوکار ژرفی این زلزله از نوع راستالغز راستگرد و این زلزله پایان یک نبود لرزه ای بوده است و هیچ گسیختگی زمین لرزه ای بر اثر جنبش شدن این گسل پس از سال ۳۵۸ میلادی در ناحیه ایزمیت گزارش نشده بود. از نظر جنبش شدید زمین نیز نداشتهای با دوام زیاد، بیشینه شتاب کم و کاهندگی کمتر در راستای گسل و بیشتر در جهت عمود بر گسل از ویژگیهای این زلزله بوده است. زمین لرزه خلیج ایزمیت (استان کوجائلی و استان ساکارایا در شمال باختری ترکیه) از دیدگاه زلزله شناختی دارای ویژگیهای مهمی بوده است که آن را منحصر به فرد می کند. رصدخانه کاندیلی استانبول بزرگای زلزله را در مقیاس امواج سطحی $7/8$ و در مقیاس امواج حجمی $6/3$ گزارش نمود. این زلزله که در تاریخ ۱۷ اوت ۱۹۹۹ با $M_{ww} = 7.4$ (USGS) در استان کوجائلی در شمال باختر ترکیه رخ داد با جنبش شدن یکی از طولانی ترین گسلهای امتدادلغز جهان (گسل شمال آناتولی) همراه بود. گسل آناتولی شمالی از سال ۱۹۳۹ میلادی مرتباً جنبش شده و گسیختگی های متعددی ایجاد نموده است. جنبایی گسل آناتولی شمالی با رویداد زمین لرزه های مخربی با $M > 7$ همراه بوده است که آخرین آنها زمین لرزه ۱۹۹۹ ایزمیت می باشد. گسیختگی سطحی این گسل در زلزله ایزمیت حدود ۱۲ کیلومتر و در نوع خود یک گسیختگی سطحی طولانی می باشد (گرچه گسل آناتولی شمالی گسیختگی های سطحی بیش از این نیز در ۶۰ سال اخیر از خود نشان داده است).

۲- لرزه خیزی و لرزه زمین ساخت پهنه گسله آناتولی شمالی

گسیختگی بر روی پهنه گسله آناتولی شمالی بر اثر حرکت به سوی شمال صفحه عربی و پایداری صفحه اوراسیا رخ می دهد و صفحه آناتولی به این ترتیب به سوی باختر فشرده می شود. صفحه آفریقا نیز در این ناحیه با حرکت به سوی شمال باعث فرورانش کمانهای هلینک و قبرس می گردد. صفحه آناتولی در بخش خاوری خود به پهنه گسلی آناتولی خاوری، در بخش شمالی به پهنه گسلی آناتولی شمالی (شکل ۱)، در بخش باختری به گسیختگی پیرامون ناحیه اژه و در جنوب به کمانهای هلینک و قبرس محدود می شود [۱]. ناحیه زلزله زده ایزمیت در بخش شمال باختری فلات آناتولی و در پهنه گسله آناتولی شمالی



شکل (۱): گسلهای اصلی در پهنه صفحه آناتولی در کشور ترکیه [۲]

واقع شده است. در این ناحیه، دگرشکلی مربوط به سیستم کششی خمیدگی پشتی (Back Arc) اژه و گسل آناتولی شمالی مربوط است [۳]. به نظر می رسد که این گسل در حدود ۱۰ میلیون سال قبل در خاور ترکیه بر اثر برخورد صفحه های عربی و اوراسیا شکل گرفته است. پهنه گسلی آناتولی شمالی در سالهای ۱۹۳۹ تا ۱۹۹۹، با رخداد زمین لرزه هایی با $M > 7$ ، ۹۵۰ کیلومتر گسیختگی سطحی داشته است [۴]. زمین لرزه سالهای ۱۹۴۴، ۱۹۵۷ و ۱۹۶۷ بر روی بخشهایی از گسل آناتولی و در نزدیکی پهنه زلزله زده ایزمیت (۱۹۹۹) رخ داده اند (شکل ۲). هنگامی که گسل آناتولی شمالی با محیط کششی اژه تداخل می کند، به دو شاخه اصلی تقسیم می شود. هر شاخه از این پهنه گسله از گسلهای آن- اشلان



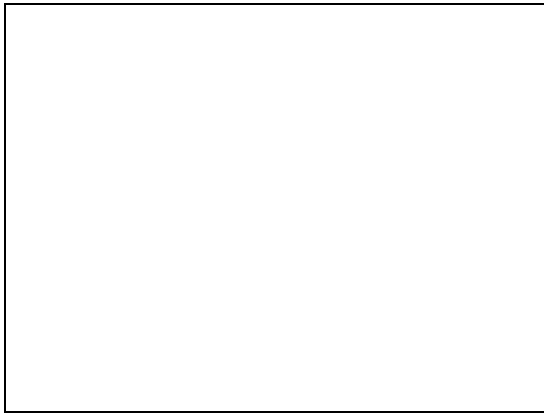
شکل (۲): سازوکارهای ژرفی و گسیختگی های زمین لرزه ای در باختر ترکیه و ناحیه دریای اژه [۴]

مرتبط با حوزه های کششی (Pull-Apart) تشکیل شده اند. شاخه شمالی این پهنه گسله ساختار حوزه دریایی مرمره را شکل می دهد. شاخه جنوبی از نظر زمین ریخت شناختی وضوح کمتری دارد. در پیرامون دریای مرمره یک شبکه بسته GPS نصب شده است که میزان لغزش گسل آناتولی شمالی را 17 ± 3 میلیمتر در سال نشان می دهد [۵]. سازوکار غالب در پهنه گسل آناتولی شمالی به صورت دگرشکلی برشی می باشد؛ لذا، اکثر زمین لرزه های مرتبط با این پهنه گسلی (از جمله زلزله های ۱۹۴۳، ۱۹۵۷، ۱۹۶۷، شکل ۲) دارای سازوکار ژرفی راستالغز راستگرد بوده اند. کاری بودن سیستم یاد شده به صورت برشی، با وقوع روندهای ثانویه به صورت گسل کششی می باشد (از جمله زمین لرزه های ۱۹۶۳، ۱۹۶۴، ۱۹۷۵، شکل ۲). در بخش جنوبی پهنه- گسلی آناتولی شمالی، لرزه خیزی بالا با سازوکار کششی غالب است.

ضخامت لایه لرزه زا (Seismogenic) در این ناحیه ۱۲/۵ کیلومتر برآورد شده است. پهنه زلزله زده ایزمیت (۱۹۹۹) در نزدیکی پهنه زمین لرزه ۱۹۶۷ دره مودورنو (Mudurnu) با $M_s = 7.1$ قرار گرفته است. در مقطع زمانی ۱۹۳۹ تا ۱۹۹۹ هفت زمین لرزه بزرگ بر اثر فعالیت پهنه گسلی آناتولی شمالی رخ داده است [۶]. لازم به ذکر است که رویداد زمین لرزه ۱۹۹۹ ایزمیت پس از وقوع زلزله سال ۳۵۸ میلادی ایزمیت اولین رویداد مهم در این پهنه بوده است. امیانوس مرسلینوس (Ammianus Mercellinus) نویسنده یونانی قرن چهارم در گزارشی که گودوبونی (Guidoboni) به انگلیسی ترجمه کرده است، به وقوع یک زلزله تاریخی در سال ۳۵۸ در این مکان اشاره نموده که با فرو ریختن تپه ها و زمین لغزش، خرابی خانه ها و برخاستن غباری عظیم همراه بوده است. مرسلینوس در گزارش مذکور به یک فاجعه که با تلفات فراوان انسانی همراه بوده و وقوع یک آتش سوزی وسیع که موجب خرابیهای بیشتر پس از رویداد لرزه اصلی شده، اشاره کرده است. آنچه مسلم است، رویداد زلزله ۱۹۹۹ به یک نبود لرزه ای از زمان زلزله ۳۵۸ میلادی، در راستای ۱۰۰ تا ۱۵۰ کیلومتری از پهنه گسله آناتولی بین پهنه های رومرکزی زلزله های ۱۹۶۳، ۱۹۶۴ و ۱۹۶۷ پایان داده است. این نبود برای اولین بار توسط توکسوز و همکاران در سال ۱۹۷۹ معرفی گردید [۷] و خطر متناسب به آن توسط اشتین و همکاران در سال ۱۹۹۷ مورد بررسی قرار گرفت [۸]. اشتین و همکاران، برای گسیختگی این قطعه از پهنه گسله آناتولی در فاصله سال ۱۹۹۶ تا ۲۰۲۶ میلادی احتمال وقوع ۱۲٪ را مطرح نمودند.

۳- گسیختگی سطحی گسل زمین لرزه ای گولجوک در زمین لرزه ۱۷ اوت ۱۹۹۹

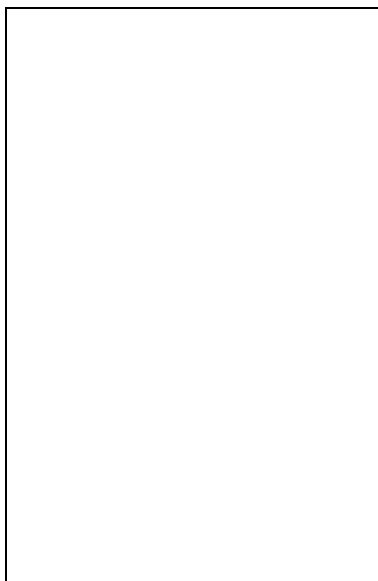
گسیختگی سطحی گسل زمین لرزه ای در زلزله ۱۷ اوت ۱۹۹۹ گولجوک در ناحیه خلیج ایزمیت به طول حدود ۱۲۵ کیلومتر از شمال هرسک نزدیک یالوا (Yalova) در ناحیه خلیج ایزمیت در باختر تا دشت دوزجه در خاور مشاهده شده است. موقعیت این گسیختگی در شکل (۳) با راستای متغیر از $N88W$ تا $N69E$ [۹] و میزان تغییر مکان بر روی این گسل در شکل (۴) مشخص شده است. شکل مذکور نشان می دهد که مقدارهای جا به جایی امتداد لغز راستگرد و تغییر مکان قائم از حدود ۱۰ سانتیمتر تا بیش از چهار متر می باشد و



شکل (۵): تغییر مکان افقی بیش از دو متر در نزدیکی ایزمیت در راستای گسل زمین لرزه ای (عکس از گروه اعزامی پژوهشگاه)



شکل (۶): موقیعت گسیختگی سطحی گسل زمین لرزه ای زمین لرزه گولجوک ناحیه خلیج ایزمیت که در راستای پهنه گسله آناتولی شمالی واقع است [۹]



شکل (۷): گسیختگی زمین در نزدیکی خلیج ایزمیت در راستای گسل زمین لرزه [۱۱]

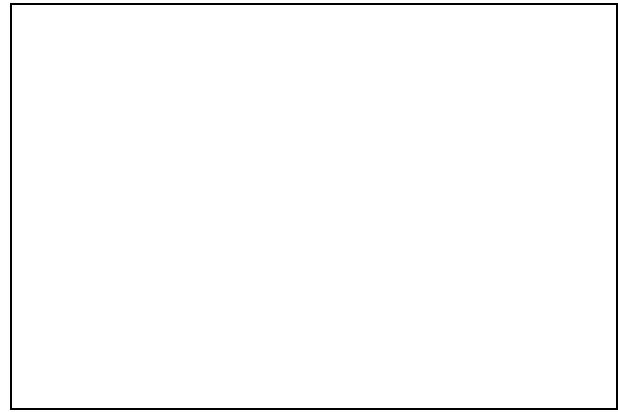
زیر پل بوده است. در بیشتر این شکلها دیده می شود که درست در محل گسیختگی اصلی، در صورتی که سازه دارای حداقل استحکام باشد، عمدتاً خسارت مهمی به سازه های پیرامون گسیختگی اصلی وارد نشده است.



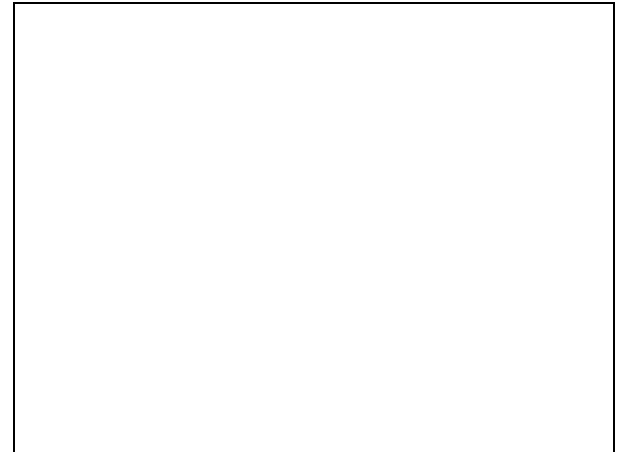
شکل (۸): مقدارهای تغییر مکانهای راستالغز راستگرد (اعداد به متر) و تغییر مکان قائم (به متر) مشخص شده است [۱۰]

جا به جایی قائم بیش از دو متر نیز قابل توجه است. نمونه هایی از تغییر مکانهای افقی و قائم در راستای گسل زمین لرزه ای گولجوک (۱۷ اوت ۱۹۹۹) در شکلهای (۵ تا ۱۱)، نشان داده شده است. در این شکلها ترکیبی از جا به جایی افقی راستالغز راستگرد و قائم مشاهده می گردد. البته نکته جالب توجه این است که در محل گسیختگی گسل (شکل ۵) سازه های پیرامون آن آسیب مهمی ندیده اند بجز پلی که در نزدیکی این گسل در بزرگراه ایزمیت فرو ریخت (شکل ۱۱) و موجب در هم کوبیدن اتوبوسی شد که درست در همان لحظه در حال عبور از

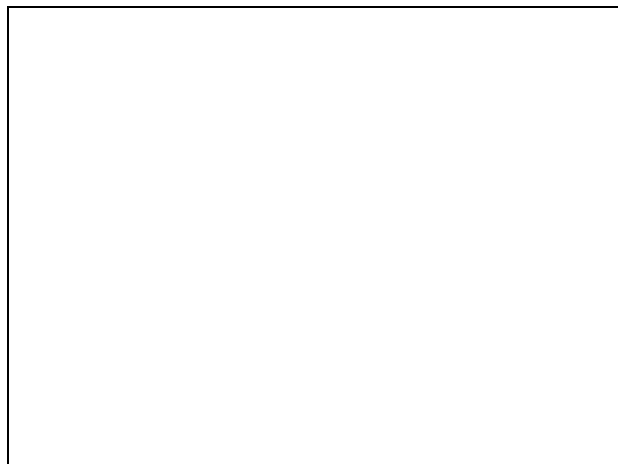
گسیختگی سطحی، تقریباً بر راستای شاخه ای از سیستم گسل آناتولی شمالی در این ناحیه منطبق است و در بعضی مکانها تا حدود ۴۰ تا ۵۰ متر از محل شاخه گسل روی نقشه فاصله می گیرد. راستای گسل از درینس (Derince)، کاراموسل (Karamusel)، گولجوک، دیرمندره (Deoirmendere)، کولار (Kullar)، ساری تپه (Saritepe)، تپه تارلا (Tepetarla)، آجی سو (Acisu)، عارفیه (Arefiye)، تورکجی باپی (Turkcybapi)، کامیسیپلی (Kamispli)، کادی کوی (Kadikoy)، کازانچی (Kazanci)، آگیازی-سیفلر (Akyazi-Seyfeler)، افچیملر (Efecimler)، کاپاناچا (Kapanaca) و گولیاکا (Golyaka) در



شکل (۷): گسیختگی زمین و ایجاد ترکهای کششی و عرضی در راستای گسل زمین لرزه در ناحیه خلیج ایزمیت [۱۱]

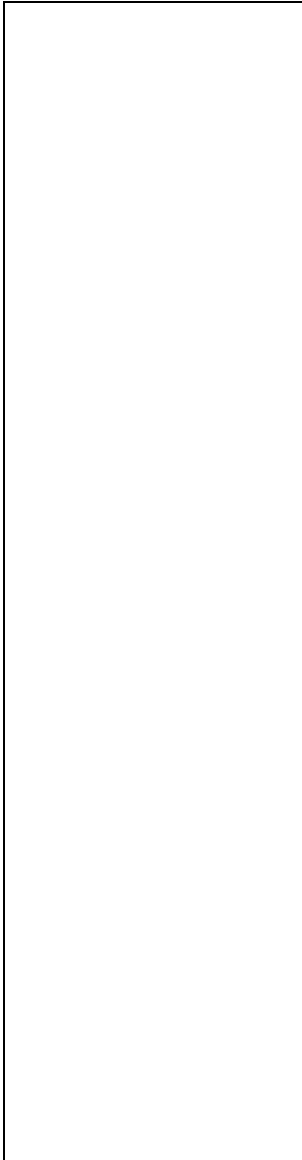


شکل (۸): تغییر مکان قائم در راستای گسل زمین لرزه ای ۱۷ اوت ۱۹۹۹ در شرق گولجوک (عکس از گروه اعزامی پژوهشگاه)



شکل (۹): گسیختگی یک درخت بر اثر تغییر مکان افقی در راستای گسل گولجوک (عکس از گروه اعزامی پژوهشگاه)

میانگین تغییر مکان راستالغز راستگرد و قائم در این رویداد به ترتیب حدود ۲/۵ و حدود یک متر بوده است. یک مؤلفه شیب لغز کوچک نیز در بخش خاوری راستای گسل گزارش شده است. راستای

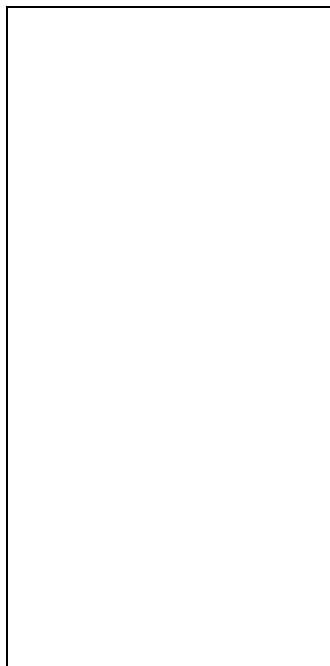


شکل (۱۰): تغییر مکان افقی در راستای خط راه آهن سراسری ترکیه [پایگاه خبررسانی خبرگزاری آناتولی در شبکه اینترنت، اصل عکس در روزهای اول پس از زلزله، هوایی تهیه شده و در مطبوعات ترکیه منتشر شده است]

در این صورت می توان فرض کرد که پهنه گسیخته شده گسل ۱۵۰۰ کیلومتر مربع وسعت داشته باشد.

۴- سازوکار ژرفی لرزه اصلی زمین لرزه ۱۹۹۹ ایزمیت

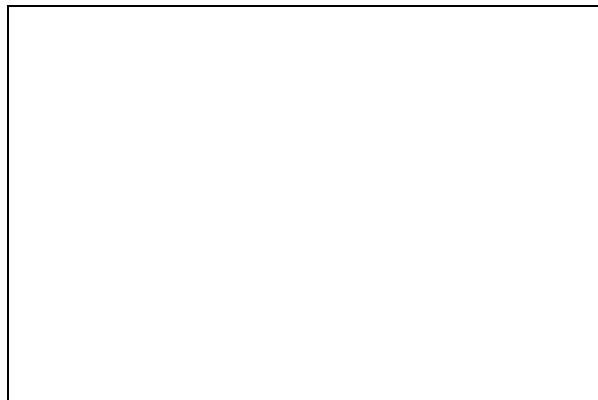
گسلش سطحی به طول حدود ۱۲۰ کیلومتر در بخش جنوبی خلیج ایزمیت، با تغییر مکان راستالغز راستگرد در قسمت سوم مورد بحث واقع گردید. با توجه به مدت زمان این زمین لرزه که حدود ۴۵ ثانیه بوده است، احتمال می رود گسیختگی زمین لرزه ای آن چندگانه بوده باشد. در این مورد در بخش مربوط به جنبش شدید زمین توضیح بیشتری داده می شود. سازوکار ژرفی زمین لرزه ایزمیت در شکل (۱۲) مشاهده می شود. در این شکل سازوکار ژرفی راستالغز مشخص است که با توجه به موقعیت پهنه زلزله زده، سازوکار پهنه گسلی آناتولی شمالی و تغییر مکان در راستای گسیختگی سطحی راستای خاوری- باختری و با سازوکار راستالغز راستگرد به عنوان صفحه گسل معرفی می گردد. براساس این حل، سازوکار ژرفی گشتاور لرزه $1.4 \times 10^{20} N/M$ و $M_w = 7.4$ محاسبه شده است. صفحه گسل نیز دارای مشخصات $N91.76N - NE$ می باشد.



شکل (۱۲): سازوکار ژرفی زمین لرزه ایزمیت [۱۱]

۵- ویژگیهای زلزله شناختی و شکل موج در زمین لرزه ۱۷ اوت ۱۹۹۹

زلزله ۱۷ اوت ۱۹۹۹ در ساعت ۰۱:۳۹:۰۰ به وقت بین المللی و

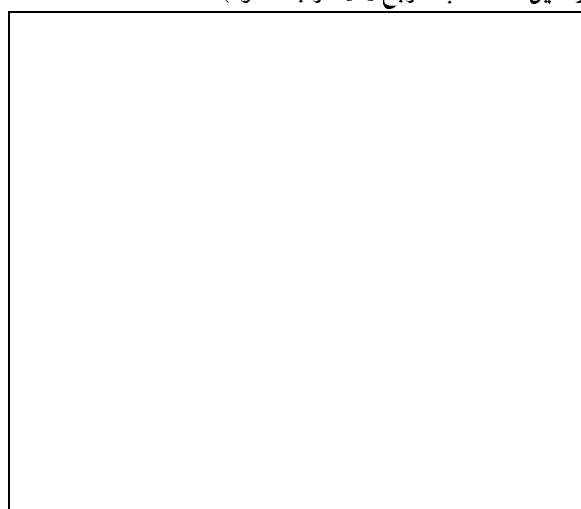


شکل (۱۱): تغییر مکان افقی و قائم ایجاد شده در راستای بزرگراه کنار خلیج ایزمیت که جا به جایی راستالغز راستگرد در آن به طور کامل مشخص است [۱۱]

بولو عبور می کند. با ایجاد یک ترانشه باریک، ژرفای ۲۰۰ متری راستای گسل پس از ورود به بخش جنوب خاوری خلیج ایزمیت دنبال شده است. این ترانشه به ساحل جنوبی خلیج ایزمیت قابل مشاهده می باشد. گسیختگی سطحی در بخش ساحلی دیرمندره نیز وجود دارد. در بخش باختری گسیختگی به هرسک می رسد؛ ولی، در دلتای هرسک هیچ گونه گسیختگی سطحی ایجاد نکرده است. داده های ژرفاسنجی (Bathymetric) نشان می دهد که گسیختگی، درست در باختر ساحل دلتای هرسک به پایان می رسد. در بخش باختری دلتای هرسک نیز احتمالاً گسیختگی وجود دارد [۹]. قطعه گولجوک که به نظر می رسد قطعه اصلی گسیختگی گسله در زمین لرزه ۱۷ اوت ۱۹۹۹ باشد، طولی حدود ۱۱۰ کیلومتر را داراست. راستای عمومی این قطعه حدود $N82W$ تا $N88W$ (تقریباً خاوری- باختری) می باشد. به سمت خاور، قطعه بعدی گسیختگی که به صورت آن- اشلان نسبت به گسیختگی گولجوک قرار دارد، از نزدیکی روستای کاپاناچا آغاز می شود و با راستای $N68-70E$ به سوی روستای گولیاکا در باختر دشت دوزجه ادامه مسیر می دهد (شکل ۳). تغییر مکان امتداد لغز در کاپاناچا حدود ۸۰ سانتیمتر بوده است. در کازانچی در نزدیکی دره رودخانه مودورنو تغییر مکان بیش از ۱۵ سانتیمتر قابل مشاهده نیست. نهشته های سطحی عهد حاضر (هولوسن) می تواند به عنوان دلیل کمتر مشاهده شدن تغییر مکانها در راستای گسل در نظر گرفته شود. در خاور کاپاناچا تغییر مکان شیب لغز در راستای گسل قابل مشاهده است، به نحوی که سوی شمال گسل نسبت به سوی جنوبی آن به پایین افتاده است. در این ناحیه، ژرفای لایه لرزه زا (*Seimogenic Layer*) حدود ۱۲ کیلومتر در نظر گرفته می شود.

۳:۰۲ به وقت محلی رخ داد. رصدخانه کاندیدلی دانشگاه بوغازچی استانبول بزرگای زلزله ایزمیت را در مقیاس امواج سطحی و امواج حجمی به ترتیب $7/8$ و $6/3$ گزارش نمود. رومرکز دستگاهی این زلزله در جنوب خلیج ایزمیت (نزدیک گولجوک) تعیین شده است (مختصات $29.987E$ و $40.702N$).

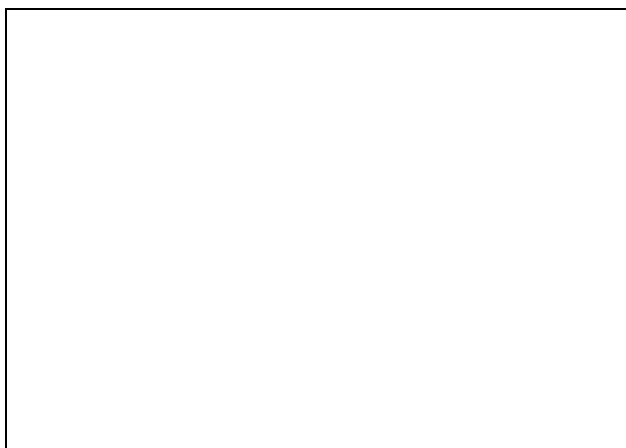
گشتاور این زلزله بر اساس گزارش $USGS$ ، $1.4 \times 10^{20} N/M$ محاسبه شد و بر این اساس نماد بزرگای آن در مقیاس جهانی، $M_w = 7.4$ می باشد. ژرفای این زلزله ۱۷ کیلومتر محاسبه شده است. شکل موج ثبت شده در ایستگاه پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله (تهران) در شکل (۱۳) مشاهده می شود. فازهای مختلف بر روی شکل مذکور مشخص است (برای تفسیر بیشتر در مورد مورد این نگاشت به مرجع [۶] مراجعه شود).



شکل (۱۳): نگاشت به دست آمده در ایستگاه پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله (فرمانیه-تهران) فازهای مختلف بر روی شکل مشخص شده است [۶]

۶- بررسی پس لرزه ها

بررسی موقعیت پس لرزه ها در پهنه رومرکزی زمین لرزه کوچانی نشان می دهد که اکثر رویدادهای پس لرزه ها بر روی قطعه گسیختگی جدید گسل آناتولی شمالی پراکنده شده اند و تقریباً در هر دو سوی گسیختگی (خاور و باختر آن) تمرکز رومرکز پس لرزه ها مشاهده می گردد (شکل ۱۴). چنین توزیعی احتمالاً نمایانگر این است که گسیختگی در چندین محل مختلف در صفحه گسل در زمانهای مختلف با آزاد کردن انرژی در حال بازگشت به حالت تعادلی بوده اند. وقوع پس لرزه هایی با بزرگای ۵ تا ۶ پس از زمین لرزه ۱۷ اوت ۱۹۹۹ با بزرگای $M_w = 7.4$ نیز منطقی به نظر می رسد (پس لرزه های



شکل (۱۴): توزیع پس لرزه ها با بزرگای از ۱ تا ۵ در پیرامون پهنه زلزله زده ایزمیت نقل از مرکز پژوهشی توییتاک مرمره [۱۲]

روزهای ۱۳ سپتامبر ۱۹۹۹ و ۵ اکتبر ۱۹۹۹، جدول ۱). شایان توجه است که پس لرزه ها در دو سوی گسل زمین لرزه ای توزیعی نسبتاً متوازن دارند که احتمالاً می تواند نمایانگر قائم یا نزدیک به قائم بودن صفحه گسل باشد. نکته دیگر نیز این است که توزیع پس لرزه در دو ماه پس از زمین لرزه در دو سوی خاوری و باختری گسل تقریباً متوازن و برابر است و این موضوع می تواند، احتمالاً نمایانگر جهت پذیری دو طرفه (*Bilateral Directivity*) بر اثر فعالیت گسیختگی اصلی در زمین لرزه ۱۷ اوت ۱۹۹۹ باشد. در این مورد و با استفاده از شواهد موجود در مورد داده های جنبش شدید زمین در قسمت هفتم و هشتم مقاله توضیح بیشتری داده شده است. ریزنبرگ و جزو وقوع پس لرزه های مهم با بزرگای بیش از ۶ و ۷ را از ۱۶ سپتامبر ۱۹۹۹ در سه فاصله زمانی یک هفته ای، یک ماهه و شش ماهه از ۱۶ سپتامبر تا ۲۳ سپتامبر ۱۹۹۹، از ۱۶ سپتامبر تا ۱۶ اکتبر ۱۹۹۹ و از ۱۶ سپتامبر ۱۹۹۹ تا ۱۶ مارس ۲۰۰۰ بر اساس مراجع [۱۳] و [۱۴] مدلل کرده اند و نتایج، در جدول (۲) نشان داده شده است. بر اساس این جدول تا یک دوره زمانی شش ماهه، احتمال وقوع یک پس لرزه با $M > 6$ حدود ۰.۴٪ می باشد.

۷- بررسی شدت زمین لرزه

شدت زمین لرزه ایزمیت بر اساس بازبازدیدهای محلی X^+ در مقیاس MSK تخمین زده شده است. بر اساس نقشه هم شدت این زمین لرزه، امتداد خمهای هم شدت راستای پهنه گسیختگی گسل آناتولی شمالی به صورت خاوری- باختری کشیدگی واضحی نشان می دهد (شکل ۱۵).

به شکل (۱۵) این است که کاهندگی شدت زمین لرزه در جهت عمود بر گسل (در راستای شمالی-جنوبی) سریعتر از راستای موازی گسل (جهت خاوری-باختری) به نظر می رسد که به این ترتیب احتمال وقوع یک جهت پذیری دو طرفه در راستای گسل تقویت می گردد (این مسأله با محل وقوع پس لرزه ها مورد بحث واقع شد و در قسمت هشتم نیز با بهره گیری از داده های جنبش شدید مجدداً بررسی می شود).

ذکر این نکته مهم است که پهنه⁺ VIII به ناحیه ای با وسعت حدود ۱۴۰ کیلومتر در راستای خاوری-باختری و ۸۰ کیلومتر در راستای شمالی-جنوبی محدود می گردد. بیشینه شدت زمین لرزه در استان بول VIII⁺ بود؛ ولی، در بعضی از محله های آن (نظیر آوجیلر که به دلیل اثر خاک دچار تشدید و تخریب وسیع ولی موضعی گردید) شدت حدود MSK IX-X نیز قابل تخمین می باشد. شدت در آنکارا VI+ و در بورسا VII+ تخمین زده می شود. از نکته های جالب دیگر با توجه

جدول (۱): فهرست پس لرزه های ثبت شده توسط رصدخانه کاندیلی از لرزه اصلی در ۱۷ اوت ۱۹۹۹ تا ۵ اکتبر ۱۹۹۹ (به ترتیب از جدید به قدیم فهرست شده اند)

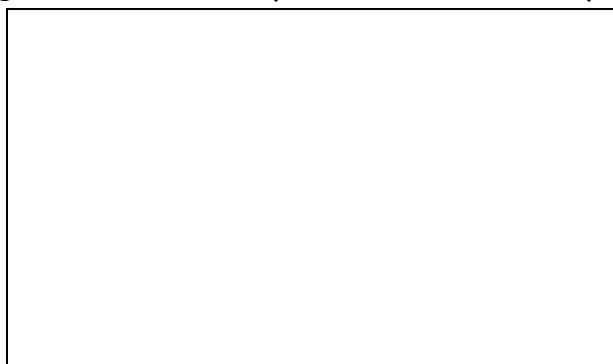
بزرگا	ژرفا (کیلومتر)	مختصات رومرکز		زمان (CMT)	تاریخ
۳/۱ D	۱۹/۵	۲۹/۱۶ E	۳۷/۷۹ N	۱۷:۲۱:۰۳	۱۹۹۹/۱۰/۰۵
۴/۲ D	۱۱/۴	۲۸/۰۷ E	۳۶/۹۴ N	۰۱:۰۵:۱۱	۱۹۹۹/۱۰/۰۵
۵/۲ D	۲۳/۶	۲۸/۱۴ E	۳۶/۸۰ N	۰۰:۵۴:۲۲	۱۹۹۹/۱۰/۰۵
۴/۹ D	۱۸/۹	۲۹/۲۶ E	۴۰/۷۱ N	۰۰:۱۳:۱۹	۱۹۹۹/۰۹/۲۹
۴/۱ D	۹/۰	۲۷/۹۲ E	۳۹/۰۲ N	۰۶:۳۹:۱۱	۱۹۹۹/۰۹/۲۶
۴/۱ D	۹/۰	۲۷/۸۳ E	۳۹/۰۹ N	۰۶:۳۹:۰۲	۱۹۹۹/۰۹/۲۶
۳/۶ D	۱۳/۴	۲۷/۲۸ E	۳۷/۶۹ N	۲۱:۱۱:۵۱	۱۹۹۹/۰۹/۲۵
۴/۵ D	۱۶/۲	۳۸/۵۳ E	۳۷/۵۱ N	۱۹:۰۸:۲۳	۱۹۹۹/۰۹/۲۴
۴/۱ D	۲/۲	۳۰/۲۳ E	۴۰/۷۷ N	۱۳:۴۵:۱۲	۱۹۹۹/۰۹/۲۴
۳/۸ D	۳/۱	۳۰/۵۴ E	۴۰/۵۹ N	۰۵:۰۲:۲۰	۱۹۹۹/۰۹/۲۲
۳/۵ D	۶/۷	۳۰/۴۶ E	۴۰/۷۴ N	۰۳:۱۹:۰۲	۱۹۹۹/۰۹/۲۲
۵/۰ D	۱۶/۴	۲۷/۵۸ E	۴۰/۶۹ N	۲۱:۲۸:۴۶	۱۹۹۹/۰۹/۲۰
۴/۳ D	۶/۵	۳۰/۴۹ E	۴۰/۷۰ N	۲۰:۲۶:۵۶	۱۹۹۹/۰۹/۱۹
۴/۶ D	۱۴/۴	۲۹/۱۲ E	۴۰/۶۰ N	۰۰:۴۸:۳۶	۱۹۹۹/۰۹/۱۸
۳/۵ D	۱۲/۴	۳۰/۷۴ E	۴۰/۶۵ N	۱۸:۳۶:۴۸	۱۹۹۹/۰۹/۱۶
۳/۲ D	۱۷/۰	۲۹/۹۵ E	۴۰/۷۴ N	۰۱:۲۷:۱۵	۱۹۹۹/۰۹/۱۶
۵/۷ D	۴/۳	۳۰/۰۳ E	۴۰/۸۰ N	۱۱:۵۵:۴۶	۱۹۹۹/۰۹/۱۳
۲/۹ D	۵/۰	۲۸/۷۴ E	۳۷/۶۸ N	۱۲:۳۸:۴۲	۱۹۹۹/۰۹/۱۱
۴/۶ D	۲۴/۴	۲۴/۴۶ E	۴۰/۴۷ N	۰۸:۱۵:۴۸	۱۹۹۹/۰۹/۰۹
۴/۲ D	۲۱/۱	۲۵/۵۱ E	۴۰/۳۱ N	۰۸:۱۲:۱۷	۱۹۹۹/۰۹/۰۹
۳/۰ D	۹/۵	۳۰/۵۷ E	۴۰/۸۳ N	۰۴:۰۳:۱۱	۱۹۹۹/۰۹/۰۱
۴/۳ D	۱۰/۶	۴۰/۱۰ E	۳۹/۱۴ N	۱۱:۱۲:۵۶	۱۹۹۹/۰۸/۲۲
۶/۷ D	۱۸/۰	۲۹/۶۰ E	۴۰/۷۵ N	۰۰:۰۱:۵۴	۱۹۹۹/۰۸/۱۷

جدول (۲): محاسبه احتمال وقوع پس لرزه ها در دوره های زمانی یک هفته، یک ماهه و شش ماهه پس از ۱۶ سپتامبر ۱۹۹۹ [۱۱]

فاصله زمانی	احتمال رویداد پس لرزه با بزرگای بیش از ۶	احتمال رویداد پس لرزه ای با بزرگای بیش از ۷
۱۶ سپتامبر ۱۹۹۹ تا ۲۳ سپتامبر ۱۹۹۹	کمتر از ۱۰٪	کمتر از ۱۰٪
۱۶ سپتامبر ۱۹۹۹ تا ۱۶ اکتبر ۱۹۹۹	حدود ۲۰٪	کمتر از ۱۰٪
۱۶ سپتامبر ۱۹۹۹ تا ۱۶ مارس ۲۰۰۰	حدود ۴۰٪	کمتر از ۱۰٪

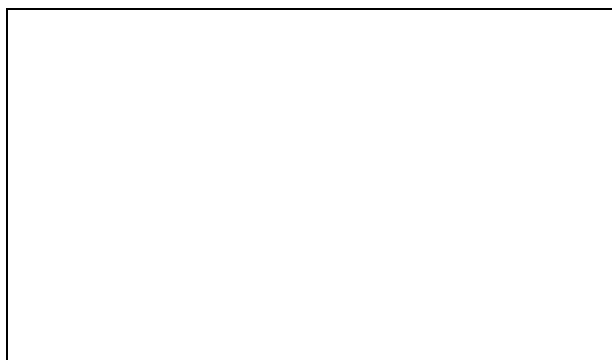
۸- بررسی، پردازش و تحلیل مقدماتی داده های جنبش شدید زمین

داده های جنبش شدید زمین در کشور ترکیه از سال ۱۹۷۳ با نصب اولین دستگاه شتابنگاری آنالوگ (*SMA-1*) برداشت شده است. البته با وجود ۱۱۹ ایستگاه شتابنگاری که اکثر آنها رقمی هستند تا پایان اکتبر ۱۹۹۹ داده های شتابنگاری ثبت و از طریق شبکه جهان بین (اینترنت) به صورت آزاد در اختیار همگان قرار داده شده است. داده هایی که به این طریق در دسترس است به صورت اصلاح نشده (*Uncorrected*) می باشد و پردازش آنها ضروری است (برای دستیابی به این داده ها می توان به نشانی پایگاه داده های شتابنگاری کشور ترکیه در شبکه جهان بین <http://angora.deprem.gov.tr/> مراجعه نمود). در بررسیهای حاضر برای مطالعه جنبش شدید زمین، با جستجو در پایگاه داده های یاد شده و پایگاه رصدخانه کاندیلی



شکل (۱۵): نقشه هم شدت زمین لرزه ۱۷ اوت ۱۹۹۹ گولجورک (خلیج ایزمیت) نقل با اصلاح از [۱۲]

(دانشگاه بوغازیچی) در شبکه جهان بین، تعداد ۱۰ نگاشت مربوط به زلزله اصلی به دست آمد که محلهای آنها با حروف اختصاری سه حرفی در شکل (۱۶) مشخص است. این ایستگاهها که در شبکه استانبول و منطقه مرمره واقعند با نام کامل و با مشخصات مربوط به هر محل در



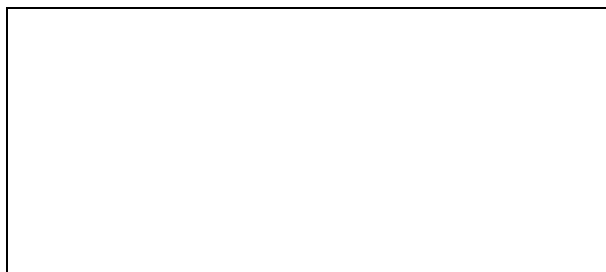
شکل (۱۶): محل ایستگاههای شتابنگاری بررسی شده مربوط به شبکه استانبول ومنطقه مرمره [۱۲]

جدول (۳) نشان داده شده اند. محل بعضی از این ایستگاهها که در شهر استانبول واقعند ایستگاههای فاتیح، یایی و آتاکوی در شکل (۱۷) مشخص شده اند. جدول مذکور حاوی داده های کاملی از موقعیت هر محل، فاصله آن تا رومرکز دستگاهی، فاصله از گسیختگی سطحی زمین لرزه ای، باندهای فرکانسی مربوط و گذر پایین و گذر بالا که توسط نگارنده برای فیلتر کردن و تصحیح نگاشتها به کار رفته است و در نهایت مقادیرهای بیشینه شتاب، سرعت و تغییرمکان در محلهای مختلف به همراه طول زمانی نگاشت و بیشینه شدت در محل مشخص می باشد.



شکل (۱۷): محل بعضی از ایستگاههای شتابنگاری که به هنگام نگارش این گزارش نگاشت آنها از شهر استانبول در دسترس بوده در شکل مشخص است یایی کردی پلازا و مقبره فاتیح [۲ و ۱۲]

نگاشتهای دیگری نیز مربوط به پهنه رومرکزی در این زمین لرزه به دست آمده است که تا زمان آماده سازی این مقاله داده های رقمی آنها از طریق شبکه جهان بین در دسترس نبوده، بنابراین امکان تحلیل و بررسی آنها در مقاله حاضر وجود نداشته است. مقادیرهای بیشینه شتاب در محلهای مختلف در جدول (۳) و در سایر محلها که داده های آنها در دسترس نبوده، در شکل (۱۸) آمده است. در این شکل مشخص می باشد که مقادیرهای بیشینه شتاب در دو سوی خاوری و باختری گسل کمتر کاهنده شده است (نسبت به جهت عمود بر گسل که ظاهراً سریعتر کاهنده شده است).



شکل (۱۸): مقادیرهای بیشینه شتاب در محلهای مختلف پهنه رومرکزی (اعداد به درصد g می باشند) [۲ و ۱۲]

این شکلها نشان می دهند که محتوای فرکانسی غالب برای جنبش شدید زمین در زمین لرزه ایزمیت در حدود ۰/۸ تا ۴ هرتز در نگاهتهای مختلف قابل مشاهده بوده است. بیشینه شتاب چندان زیاد نبوده و در حوزه نزدیک گسل مقادارهای آن نسبت به آنچه که ممکن است در چنین زمین لرزه ای در ایران رخ دهد (با توجه به نگاهتهای به دست آمده از زلزله های ۱۳۵۷ طبس و ۱۳۶۹ منجیل) پایین تر بوده است. کاهندگی جنبش شدید زمین در زلزله گولجوک بر اساس مقادارهای بیشینه شتاب (جدول ۳) در شکل (۳۰) ارائه شده است. در این شکل مدل های کاهندگی توسعه داده شده برای ایران در ناحیه زاگرس و مدل توسعه داده شده برای کل کشور [۱۵] با در نظر گرفتن $M_w = 7.0$ برای فاصله های مختلف و همچنین مدل های استوا (۱۹۷۰)، دونوآن (۱۹۷۴) و جویئر و بور (۱۹۸۱) نیز برای چنین زمین لرزه ای در همین شکل آمده است. مقادارهای بیشینه شتاب در زمین لرزه ۱۹۹۹ ترکیه بر روی شکل مذکور مشخص شده و دو خط رگرسیون برای مؤلفه های شمالی- جنوبی و خاوری- باختری جنبش در این شکل مشخص شده است. واضح است که مقادارهای بیشینه شتاب حتی نسبت به زمین لرزه ای با $M=7$ برای مدل های مختلف قبلی (و مدل ایران) و مقادارهایی پایین تر از تخمین با مدل های تجربی به دست می دهد. با توجه به رگرسیونهای صورت گرفته برای مؤلفه های خاوری- باختری (موازی گسل) و شمالی- جنوبی (عمود بر گسل) مشخص است که کاهندگی در راستای موازی گسل آرامتر از روند عمود بر گسل بوده است که این امر می تواند نمایانگر جهت پذیری دو طرفه در راستای گسل باشد.

این مسأله احتمالاً مؤید دیگری بر مسأله جهت پذیری دو طرفه است که در قسمتهای ششم و هفتم این مقاله با استفاده از موقعیت پس لرزه ها و موقعیت خمهای هم شدت مورد بحث واقع شدند. داده های ارائه شده در جدول (۳) بر اساس پردازش ده شتابنگاشت به دست آمده از تکان اصلی بوده است. نگاهتهای شتاب، سرعت و تغییر مکان تصحیح شده توسط نگارنده برای این ده نگاهت در شکلهای (۱۹ تا ۲۸) و مشخصات دستگاهها در شکل (۲۹) آمده است. باندهای فرکانسی برای تصحیح این نگاهتها به کار رفته، همان گونه که در جدول (۳) و در بالای هر شکل ارائه شده است. مؤلفه های افقی شمالی- جنوبی و خاوری- باختری به ترتیب با حروف الف و پ و مؤلفه قائم با حرف ب مشخص است. در ایستگاه CNA که در فاصله ۱۸ کیلومتری از گسل واقع است (شکل ۱۹)، حذف دامنه های پریود کوتاه در مؤلفه های افقی (فرکانس بالا که بر روی مؤلفه قائم مشخص است) احتمالاً نمایانگر مسأله جهت پذیری است. این نکته موجب تشدید روی طیف H/V در فرکانسهای کوتاه (پریود بلند) خواهد گردید. این حالت در مورد نگاهت یاریمجا (YPT) در شکل (۲۸)، که در فاصله ۱۰ کیلومتری از گسیختگی سطحی واقع است، کاملاً مشخص می باشد و بر روی مؤلفه های افقی با حذف دامنه های پریود کوتاهی که در حدود ۰/۸ ثانیه است بر روی مؤلفه قائم مشخص است. این مسأله احتمالاً نمایانگر جهت پذیری بر اثر حرکت جبهه گسیختگی بوده است. نکته دیگر مشاهده پریودهای غالب در حدود ۰/۴ تا ۰/۶ ثانیه است که در اکثر طیفها (شکلهای ۱۹ تا ۲۸) مشاهده می شوند.

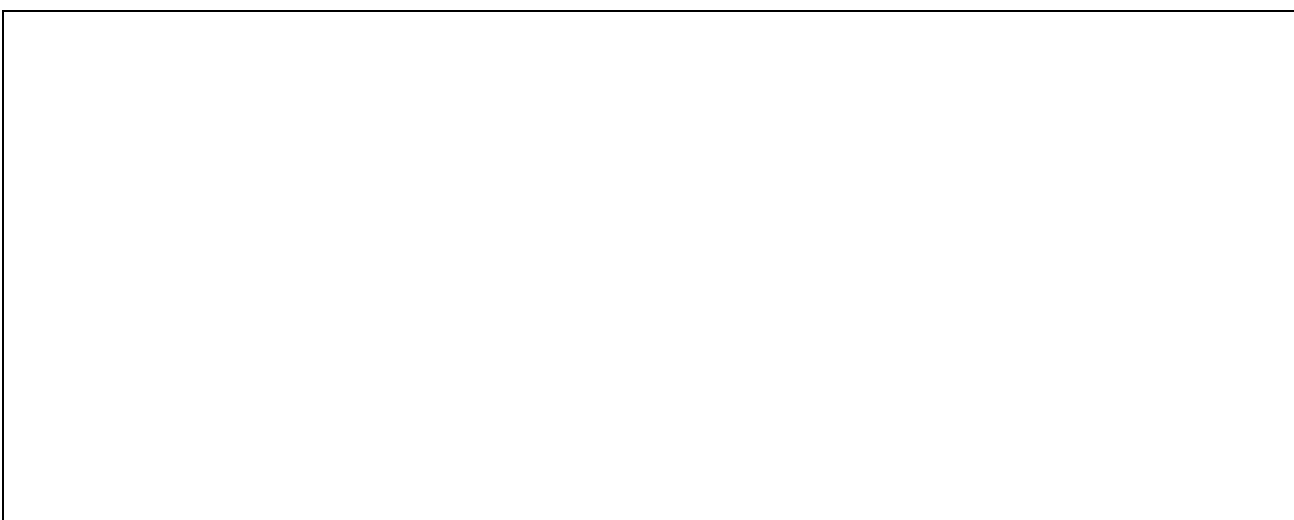
شکل (۱۹): شتابنگاشت به دست آمده در آرچلیک پس از پردازش و ترسیم طیف شبه سرعت



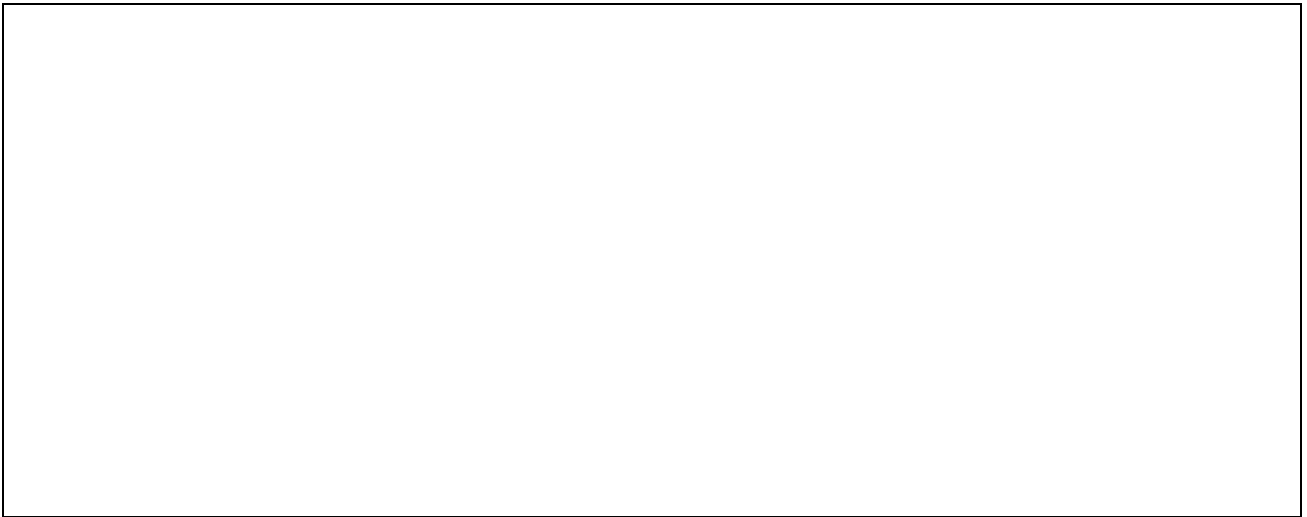
شکل (۴۰): شتابنگاشت به دست آمده در نیروگاه حرارتی آمبارلیک پس از پردازش و ترسیم طیف شبه سرعت



شکل (۴۱): شتابنگاشت به دست آمده در پالایشگاه برتاش پس از پردازش و ترسیم طیف شبه سرعت



شکل (۴۲): شتابنگاشت به دست آمده در بورسای پس از پردازش و ترسیم طیف شبه سرعت



شکل (۲۳): شتابنگاشت به دست آمده در مرکز تحقیقات هسته ای چکمک پس از پردازش و ترسیم طیف شبه سرعت



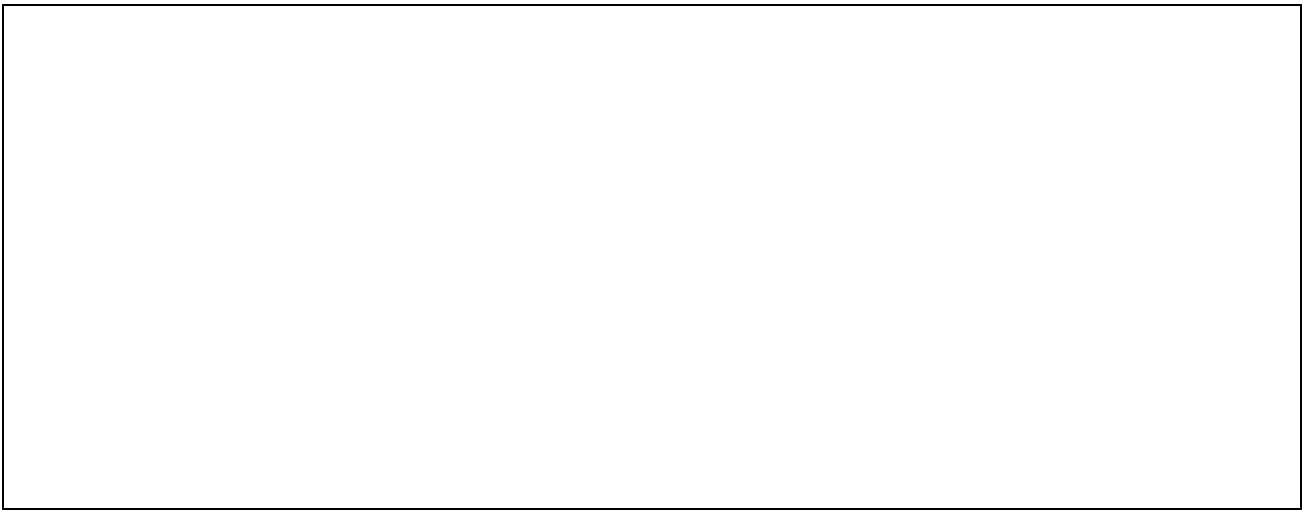
شکل (۲۴): شتابنگاشت به دست آمده در فرودگاه DHM پس از پردازش و ترسیم طیف شبه سرعت



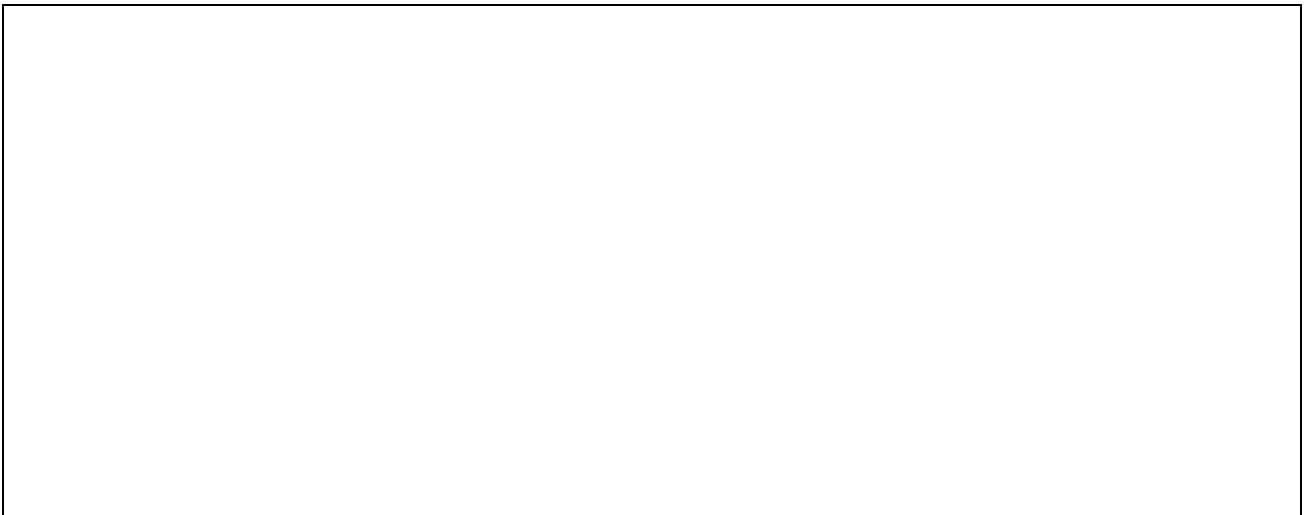
شکل (۲۵): شتابنگاشت به دست آمده در گنبد فاتح استانبول پس از پردازش و ترسیم طیف شبه سرعت



شکل (۲۶): شتابنگاشت به دست آمده در بیمارستان هیبلیدا پس از پردازش و ترسیم طیف شبه سرعت



شکل (۲۷): شتابنگاشت به دست آمده در ایستگاه یایی کردی (YKP) استانبول پس از پردازش و ترسیم طیف شبه سرعت



شکل (۲۸): شتابنگاشت به دست آمده در یاریمجا در ۱۰ کیلومتر گسیختگی گسله پس از پردازش و ترسیم طیف شبه سرعت

۹- جمع بندی جنبه های لرزه زمین ساختی، زلزله شناسی و زلزله شناسی مهندسی

ویژگیهای زمین لرزه گولجوک (ایزمیت) از دیدگاه زلزله شناختی و جنبش شدید زمین عبارتند از:

- زمین لرزه مذکور پایان یک نبود لرزه ای در بخش شناخته شده ای از راستای گسل آناتولی شمالی بود. این زلزله ها با آزاد شدن انرژی به صورت خوشه (Cluster) در محل این نبود، همراه بوده است.

- این زمین لرزه با گسیختگی سطحی حدود ۱۲۵ کیلومتر، از مورد های نادر در جهان می باشد. چنین گسیختگی سطحی در زلزله های قاره ای با بزرگای حدود ۷/۴ معمولاً کمتر گزارش می شود (گرچه چنین حالتی در فلات آناتولی غیر طبیعی نبود و قبلاً نیز چنین گسیختگی های طولانی مشاهده شده است).

- این زمین لرزه با بزرگای زیاد و ژرفای کم شباهت زیادی به بعضی از زمین لرزه های ایران داشته است که در پهنه ایران

علامت اختصاری روی نقشه	BTS	ATS	CNA	YKP	HAS	DAR	YPT	BUR (TOF)	ARC
مکان	بوتاش	نیروگاه حرارتی آمبارلی	کوجوک چکمه	یایی کردی پلازا	ایستگاه هیپلیدا (بیمارستان)	اصلان چیمنتو	یاریمجایتیم	کارخانه توفاش (بورسا)	آرچلیک
زمان نصب دستگاه	23-08-1994	28-12-1994	14-08-1994	28-10-1994	14-03-1995	09-08-1996	27-12-1994	10-07-1995	18-03-1995
مودم	آداموادم	U.S رو بوتیکس	U.S رو بوتیکس	آداموادم	U.S رو بوتیکس	U.S رو بوتیکس	U.S رو بوتیکس	آداموادم	U.S رو بوتیکس
بادریت خط	9600	9600	9600	9600	9600	9600	9600	9600	9600
حس گر	SSA-320	SSA-320	SSA-320	SSA-320	SSA-320	SSA-320	SSA-320	SSA-320	SSA-320
حداکثر مقیاس	±2g	±2g	±2g	±2g	±2g	±2g	±2g	±2g	±2g
سمت شمال	+Y	+X	-X	-X	-X	-X	+Y	-X	+X
سمت غرب	-X	+Y	-Y	+Y	-Y	-Y	+X	-Y	+Y
بالا	+Z	+Z	+Z	+Z	+Z	-Z	+Z	-Z	-Z
ثبت کننده	16/FB	16/FB	16/FB	16/FB	16/FB	16/FB	16/FB	16/FB	16/FB
زمین شناسی سطحی	-	سنگ سخت	-	-	سنگ سخت یالتوزونیک (ماسه سنگ، گل سنگ و شیل)	-	-	-	-

شکل (۴۹، الف): مشخصات دستگاههای شتابنگاری شبکه استانبول و ناحیه مرمره [۲ و ۱۲]

علامت اختصاری روی نقشه	KMP	GB	FAT	PER	DHM
مکان	کمال مصطفی پاشا	سیرکچی	گنبد فاتح	آکسارای	یشیل کوی
تاریخ نصب دستگاه	27-06-1994	07-10-1994	17-06-1994	19-06-1994	28-04-1994
سطح لاگین	LOGIN 002	LOGIN 002	LOGIN 002	LOGIN 002	LOGIN 002
حس گر	SSA-320	SSA-320	SSA-320	SSA-320	SSA-320
حداکثر مقیاس	±2g	±2g	±2g	±2g	±2g
سمت شمال	+ Y K	+ X K	- X G	+ X K	- X G
سمت غرب	-X D	-Y B	- Y B	+Y B	+ Y D
سمت بالا	+Z Up	-Z Down	-Z Down	+Z Up	-Z Down
ثبت کننده	16/FB	16/FB	16/FB	16/FB	16/FB
عرض شمالی	41°00'13,8"	41°01'08,2"	41°03'13,3"	41°00'39,7"	40°58'56,6"
طول خاوری	28°55'04,2"	28°58'88,9"	28°57'00,4"	28°57'14,5"	28°49'11,1"

شکل (۴۹، ب): مشخصات ایستگاههای نصب شده در محدوده استانبول [۲]

مقدماتی است و انشالله در آینده با صرف زمان بیشتر لازم است بررسیهای دقیقتری انجام گردد. برای مطالعات بعدی، تحلیل طیفی جنبش شدید زمین و مطالعه جنبش شدید زمین در زمان پس لرزه ها پیش بینی می گردد.

در پایان یادآوری می شود که زمین لرزه گولجوک نمایانگر خطر بالای زمین لرزه در فلات آناتولی است و اتفاق این زلزله به صورت شاخص مربوط به این پهنه می باشد. از این نظر نیز باید به این زلزله توجه نمود که زلزله یاد شده مربوط به شرایط لرزه زمین ساختی است که شباهت فراوانی با شرایط فلات ایران (بویژه پهنه ایران مرکزی و ناحیه تهران) دارد و از این دیدگاه لازم است در کشور ما، ویژگیهای این زلزله با دقت توسط پژوهشگران تحلیل گردد. باشد که درسهای لازم از آن آموخته شود.

۱۰- مراجع

1-Westaway, R., Present-day Kinematics of the Middle-East and Eastern Mediterranean, J. Geoph. Res., Vol. 99, pp. 12071-12090, 1994.

2-Kaptan, C., The Turkish Approach to Seismic Design, Hydro Powers and Dams, Issue 4, pp. 85-93, 1999.

3-Barka, A A., The North Anatolian Fault Zone, Ann. Tectonicae, Supple. VI, pp. 164-195, 1992.

4-Nalbant, S. S., Hubert, A. and King. G. C. P., Stress Coupling Between Earthquakes in Northwest Turkey and the North Aegean Sea, J. Geoph. Res., Vol. 103. No. B10, pp. 24469-24486, 1998.

5-Straub, C. and Khale, H. G. Active Crustal Deformation in the Sea of Mramara Region, NW Anetolia, Referred From GPS Measurements, Geoph. Res. Lett., Vol. 22, pp. 2533-2536, 1995.

۶-زارع، مهدی؛ اسلامی، علی اکبر؛ فرهبد، امیرمنصور. دریافتهای زلزله شناختی از زمین لرزه ۱۷ اوت ۱۹۹۷ ایزمیت ترکیه، پژوهشنامه پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله، پاییز ۱۳۷۸.

7-Nafi Toksoz, M., Shakal, A. F. and Andrew, J. Michael, Space-time Migration of Earthquake Along the North Anatolian Fault Zone and Seismic Gaps Pageoph, Vol. 117, 1258-1270, 1979.

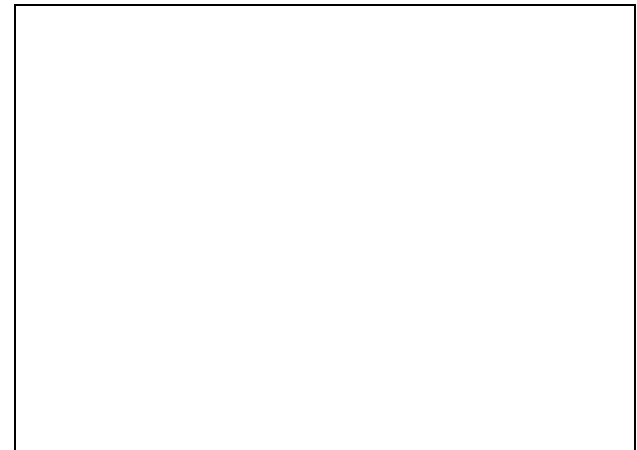
8-R. S., Stein, Aykut A. Barka and James H Dieterich, Progressive Failure on the North Anatolian Fault Since 1939

مرکزی رخ داده اند. زمین لرزه ۱۳۴۶ دشت بیاض، ۱۳۵۶ طبس، ۱۳۵۸ قانات و ۱۳۷۶ اردکول از نظر بزرگ، طول گسیختگی سطحی، سازوکار ژرفی و ژرفای کانونی با زمین لرزه گولجوک ۱۹۹۹ شباهتهایی دارند.

- زمین لرزه گولجوک با دوام زیاد جنبش شدید زمین شاخص می گردد. این دوام زیاد نیز نمایانگر شباهت دیگری به جنبشهای شدید در پهنه ایران مرکزی است.

- جنبش شدید زمین در این زلزله دارای محتوای فرکانسی نسبتاً پررود بلند بوده است.

- اثرهای جهت یافتگی دو طرفه در زمین لرزه گولجوک با شاهدهایی مربوط به توزیع پس لرزه ها، شدت زمین لرزه و پیشینه دامنه جنبش شدید زمین در قسمتهای مختلف در پیرامون گسل مشخص شده است. این مسأله مستلزم پژوهشهای تفصیلی بعدی است.



شکل (۳۰): مدلهای کاهندگی مختلف و مقادیرهای پیشینه شتاب برای زلزله ۱۹۹۹ گولجوک، کوچانی و مقایسه این مقادیرها با مدلهای ایران [۱۵] استوا ۱۹۷۰، دونوآن ۱۹۷۴ و جوینز و بور ۱۹۸۱. رگرسیون مربوط به جهت های خاوری- باختری (در راستای گسل) و شمالی- جنوبی (عمود بر راستای گسل) نیز در شکل مشخص شده است

- مقادیرهای پیشینه شتاب در این زلزله نسبت به زمین لرزه های با بزرگای مشابه مقادیرهای دست پایین تری را نشان می دهد. این زلزله علی رغم میزان بالای خرابی با پیشینه شتابی کمتر از 50%g (در بیشترین حالت) همراه بوده است

- کاهندگی پیشینه شتاب در جهت خاوری- باختری (موازی گسل) آرامتر از جهت شمالی- جنوبی (عمود بر روند گسل) بوده است. بررسیهای انجام شده و تحلیلهایی که در این مقاله عنوان گردید

- 12-Kandili Observatoy Internet WEB Page for the Izmit Kocaeli Earthquake of August 17, 1999, at <http://www.boun.edu.tg>.1999.
- 13-Reasenber, P. A. and Jones, L. M., "Earthquake Hazard After a Mainshock in California", Science, Volume 243, pp. 1173-1176, 1989.
- 14-Reasenber, P. A. and Jones, L. M., "Earthquake Aftershocks: Update", Science, Volume 265, pp. 1251-1252, 1994.
- 15-Zare', M., Contribution a' L' etude des mouvements forts en Iran: du Catalogue aux lois d' attenuations, Ph. D. thesis universite' Joseph-Fourier, Grenoble France, 1999.

by Earthquake Stress Triggering Geophysical Journal International, Vol. 128, 594-604, 1996.

- 9-Arpat, Essen, Preliminary Eevaluation of August 17, 1999, Kocaely Earthquake from the Geological Field Date, Dept.f Geophysics Kandili Observatoy, Bagzici University, 3 Pages 1999.

- 10-Earthquake Engineering Research Institute (EER1) EERI Special Earthquake Report on the Izmit, (Kocaeli) Earthquake of Ansust, 17 1999, 14 Pages 1999.

- 11-U.S. Geological Survey, Webpage on the Izmit, Kocaeli Earthquake of August 19, 1999, <http://quake.wr.usgs.gov/Study/Turkey/aftprobs0916.htm>. 1999.

* با توجه به اینکه تصحیح داده های شبانه نگاری در پژوهشگاه و توسط نگارنده انجام شده است، علاقه مسلمان به در اختیار داشتن این داده ها می تواند با نگارنده تماس حاصل نمایند.