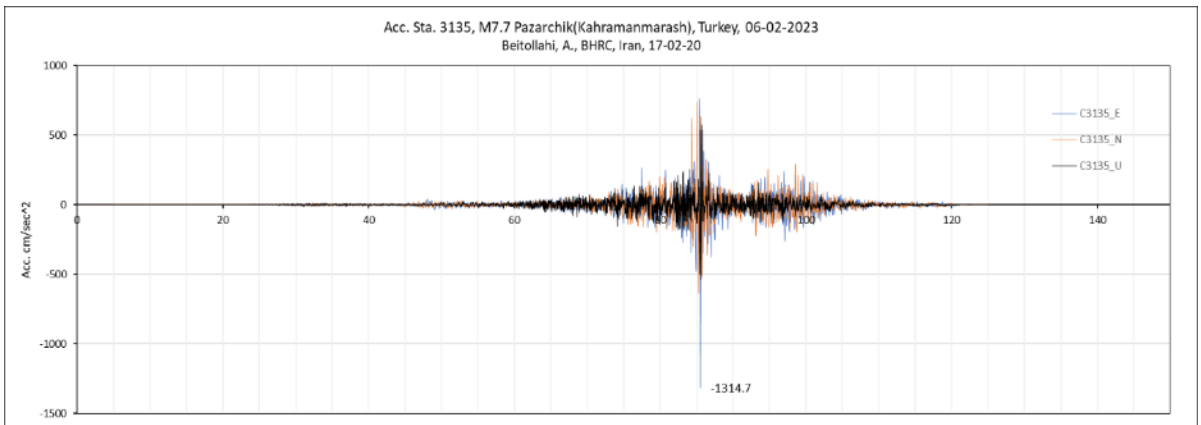
مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی

گزارش مقدماتی

زلزله‌های ۷٫۷ پازارچیک و ۷٫۶ البیستان (قهرمان ماراش)

رخدادهای ۰۶-۰۲-۲۰۲۳ ترکیه



• ۷٫۷ Pazarcik Erq. Acceleration record, station code:۳۱۳۵

بخش زلزله‌شناسی مهندسی و خطرپذیری

مولفان:

علی بیت اللهی- مرتضی مهدوی- فاطمه دهقان- معصومه سلیمانی- مجتبی بصیری

۱۴۰۱-۱۲-۱۳

تشکر و قدردانی

اغلب داده‌های مورد استفاده در این گزارش برگرفته از سایت AFAD(سازمان مدیریت بحران و فوریت‌های اضطراری، وزارت کشور ترکیه) ترکیه است. نگارندگان گزارش حاضر تشکر خود را بابت تلاش‌های بی وقفه کارشناسان AFAD برای در اختیار قراردادن داده‌ها و اطلاعات ارزشمند رخدادهای لرزه‌ای ۰۶-۰۲-۲۰۲۳ ترکیه، اعلام می‌دارند.

مولفان از همکاری تعدادی از کارشناسان ایرانی که با ارسال عکس‌ها و داده‌ها، در تدوین گزارش حاضر کمک کردند تشکر می‌نماییم.

از آقای امید بیت اللهی جهت کمک در ترجمه برخی از متون ترکی و ارسال عکس و مطالب مفید تشکر می کنیم.

جا دارد از ارائه نظرات کارشناسی همکار ارجمند جناب آقای دکتر رسول احمدی، در بخش ارزیابی خسارت های سازه ای، تقدیر و تشکر ویژه بعمل آوریم.

پیشگفتار

رخداد حوادث بزرگ لرزه‌ای نظیر زلزله‌های ۰۶-۰۲-۲۰۲۳ قهرمان ماراش ترکیه، از دیدگاه کارشناسی برای تمامی کشورهای لرزه خیز در بردارنده درس‌های مهم و قابل توجهی است که با ارزیابی‌های دقیق آن نظیر بررسی نحوه رفتار ساختمان‌ها، دلایل تخریب، ابعاد بحران‌های پیش آمده و نیز مشاهده رفتار مردم و نحوه پاسخ مردم و مسئولین به حادثه رخ داده می‌توان در برنامه‌های کاهش ریسک و ارتقاء تاب آوری و مدیریت بهینه بحران از آن بهره برد.

گزارش پیش رو با هدف مستندنمودن رخداد ۷٫۷ و ۷٫۶ ترکیه (۰۶-۰۲-۲۰۲۳)، پس از گذشت کمتر از یکماه از وقوع زلزله تدوین یافته است. در طی این مدت داده‌ها و اطلاعات متعددی از مراجع مختلف جمع آوری گردید و مورد استفاده قرار گرفت. مسلم است که گزارش کارشناسی جامع‌تر با گذشت زمان و حصول اطلاعات بیشتر قابل تهیه است، اما با توجه به بازه زمانی حساس روزهای کنونی که توجه و حساسیت همگانی به زلزله بیشتر است، مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی، تلاش به عمل آورد تا از دیدگاه کارشناسی، به صورت مقدماتی گزارش کارشناسی تهیه و منتشر نماید تا مورد استفاده و مطالعه کارشناسان و مدیران مرتبط قرار گیرد.

وزارت راه و شهرسازی و مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی مراتب تأسف و تأثر خود را بابت تلفات جانی زلزله‌های دهشتناک ترکیه و سوریه اعلام می‌دارند و خود را در غم خانواده‌هایی که نزدیکان خود را دست داده‌اند شریک می‌داند. امیدواریم با درس آموزی از زلزله‌های رخ داده پازارچیک و البیستان در استان قهرمان ماراش ترکیه، چنین حوادثی با این ابعاد از تلفات و خسارت‌ها را در آینده در هیچ کشوری شاهد نباشیم.

محمد مهدی حیدری

سرپرست مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی

فهرست مطالب

۱- کلیاتی از زلزله‌های ۷٫۷ و ۷٫۶ پازارچیک و البیستان (قهرمان ماراش)، رخداد ۰۶-۰۲-۲۰۲۳..... ۵

۲- مشخصات جنبش نیرومند زمین در زلزله‌های ۷٫۷ و ۷٫۶ قهرمان ماراش..... ۴۶

۳- ارزیابی مستندات خسارات زلزله ۸۵

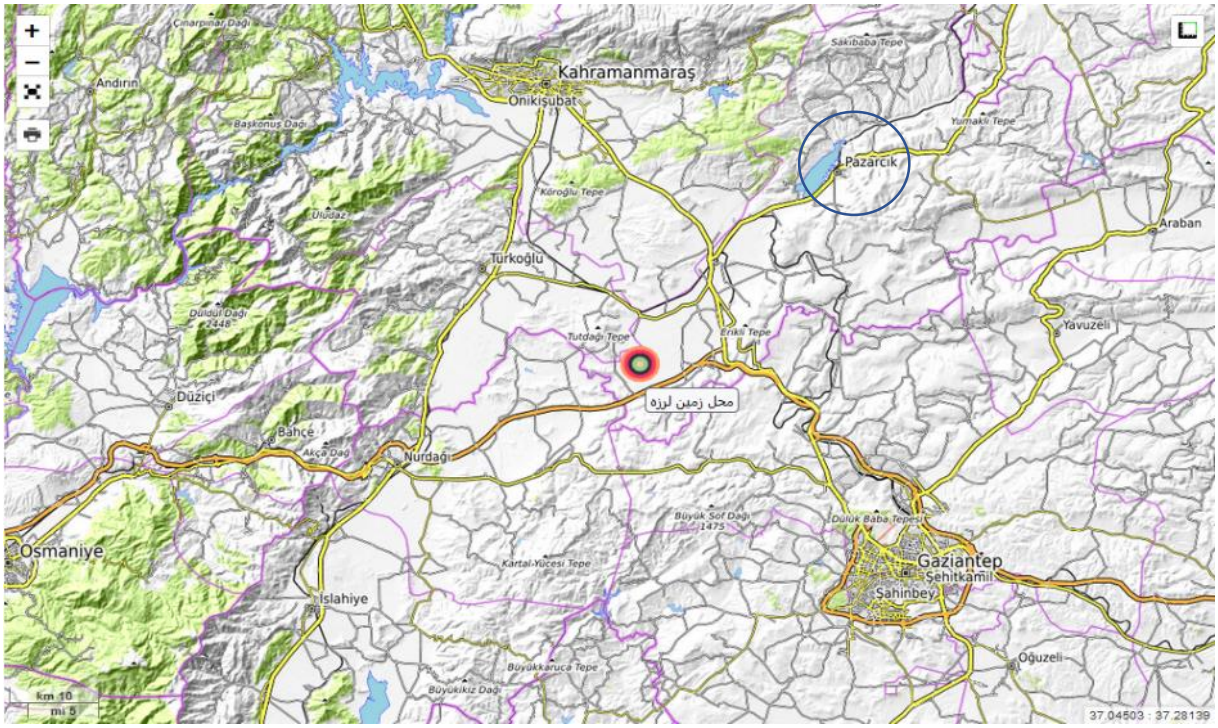
۴- مدیریت بحران ۱۳۲

۵- نتایج و پیشنهادات ۱۴۰

مراجع ۱۴۲

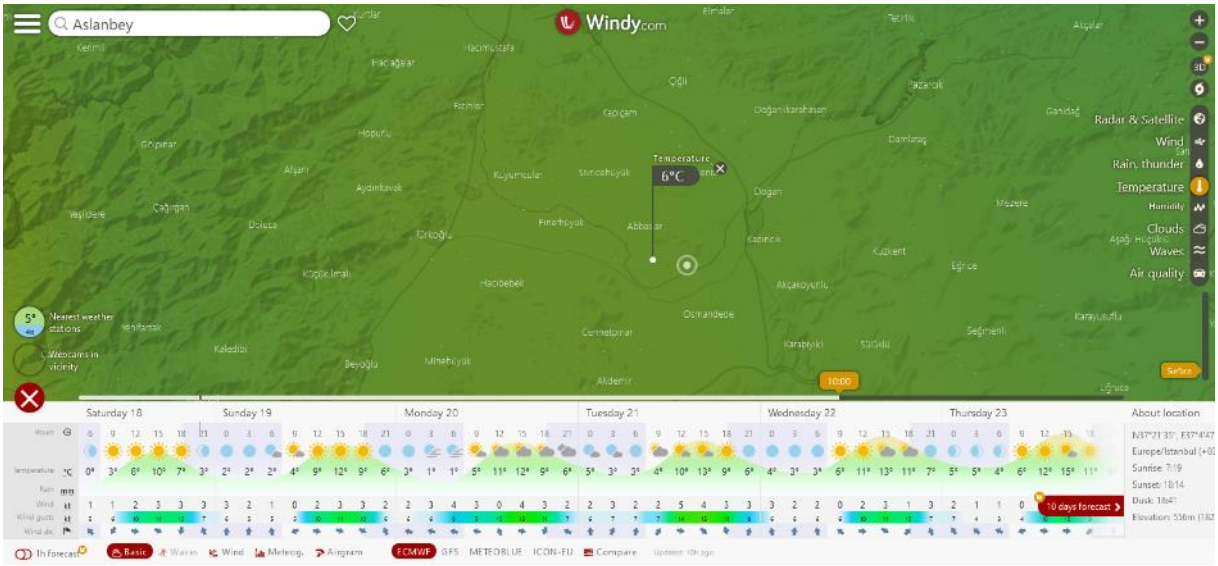
۱- کلیاتی از زلزله‌های ۷٫۷ و ۷٫۶ پازارچیک و البیستان (قهرمان ماراش)، رخداد ۰۶-۰۲-۲۰۲۳

زلزله‌ای با بزرگی ۷٫۷ (AFAD) در محدوده جنوب مرکزی ترکیه در محدوده بین غازیان تپ و قهرمان ماراش و به فاصله تقریبی ۳۷ کیلومتر از هر کدام از این دو شهر، روز ۶ فوریه ۲۰۲۳ ساعت ۰۱:۱۷ محلی رخ داد (شکل ۱-۱).

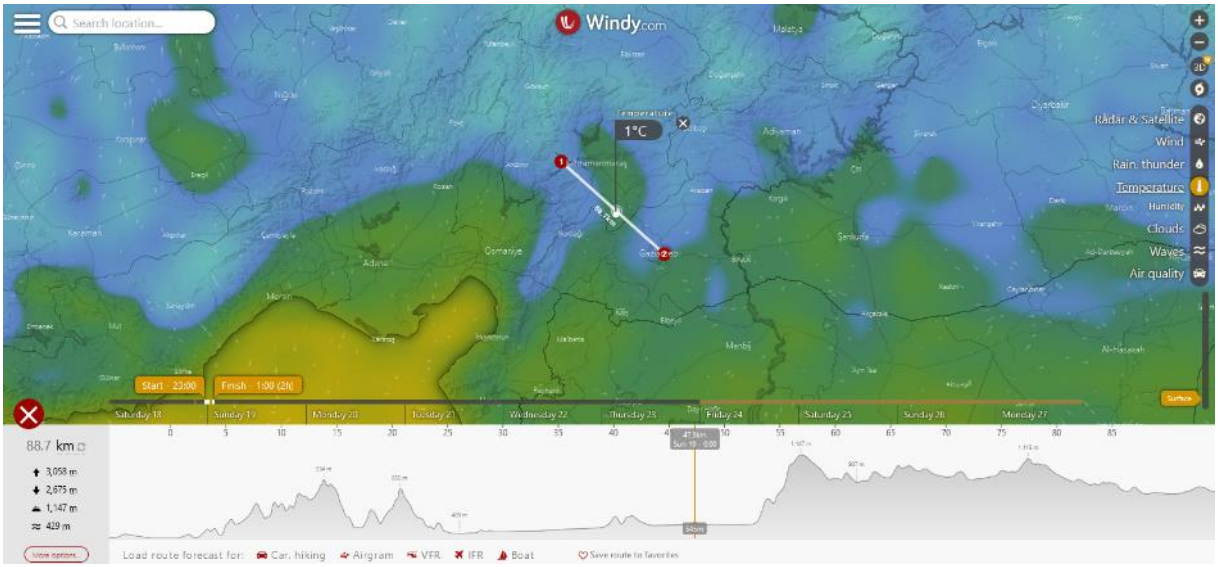


شکل ۱-۱- محل رومرکز زلزله ۷٫۷ (AFAD)

بزرگی زلزله ۷٫۷ و متعاقب آن رخداد زلزله بزرگ دیگر حدود ۹ ساعت بعد وقوع زلزله پازارچیک در منطقه البیستان قهرمان ماراش، خسارت و تخریب زلزله‌های رخ داده ۶-۲-۲۰۲۳ ترکیه را بیشتر کرد. علاوه بر آن زمان رخداد زلزله (ماه و ساعت رخداد) که فصل سرد منطقه و ساعت خواب اکثریت ساکنین منطقه بوده، موجب شد تا تلفات جانی بالائی برای این رخداد پیش بینی شود. در شکل‌های ۱-۲ براساس اطلاعات سایت windy.com دمای منطقه قهرمان ماراش برای روزهای ۱۸ تا ۲۳ فوریه ۲۰۲۳ نشان داده شده است. نوسان دما بین ۰ تا ۱۵ درجه بوده که معرف سردی هوا به ویژه شب هنگام است. همچنین منطقه شرایط مورفولوژیکی متغیری را دارد (شکل ۳-۳). تغییرات ارتفاع، شیب تند زمین در امتداد برخی مسیرها معرف وقوع زمین لغزش و سنگ افت و احتمالاً انسداد جاده‌ها و حوادث ریلی می‌باشد که چنین شرایطی تردد را در منطقه سخت‌تر می‌نماید. در هر حال، بزرگی زلزله ۷٫۷ و در ادامه آن رخداد زلزله بزرگ دیگر در فاصله ۹۰ کیلومتری آن در حوالی البیستان استان قهرمان ماراش، ساعت وقوع و فصل و ماه وقوع زلزله و شرایط مورفولوژیکی محدوده اثر زلزله‌ها، جملگی موید وقوع بحران تاریخی در منطقه جنوب کشور ترکیه و همسایه آن کشور سوریه است. هرچند که کیفیت دقیق بناها و اطلاعات کامل آن در دسترس نبوده، اما پیش بینی می‌شد که تلفات جانی زلزله‌ها از مرز ۵۰،۰۰۰ نفر فراتر رود که جزء دهشتناک‌ترین زمین لرزه‌های جهان تلقی می‌گردد. به عبارت دیگر منطقه و کشور ترکیه با یک فاجعه به معنی واقعی کلمه روبرو شده است که ضرورت کمک‌های بین المللی کاملاً محسوس است.



شکل ۱-۲- تغییرات دمای محدوده رومرکزی زلزله ۷٫۷ پازارچیک، از ۱۸ تا ۲۳ فوریه ۲۰۲۳ (سایت windy.com)

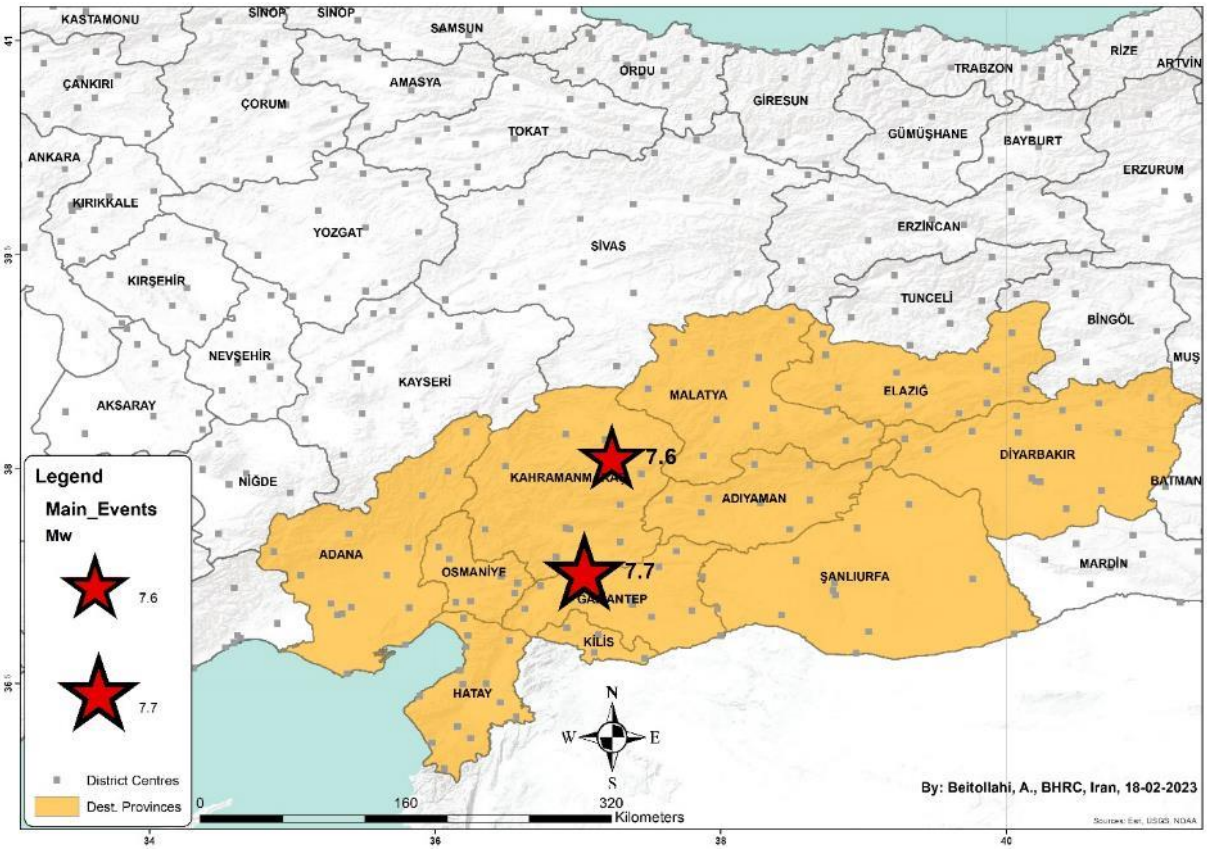


شکل ۱-۳- تغییرات ارتفاعی در پروفیل واصل غازیان تپ، رومرکز زلزله ۷٫۷ (سایت windy.com)

۱-۱- خسارت و تلفات زلزله‌های قهرمان ماراش، رخدادهای ۶-۲-۲۰۲۳

در بخش‌های بعدی این گزارش در خصوص خسارت‌ها و تلفات زلزله‌های رخ داده توضیحات بیشتری ارائه می‌گردد. به طور کلی رخداد زمین لرزه‌های مخرب جنوب ترکیه براساس آمار رسمی تا تاریخ ۴-۳-۲۰۲۳ منجر به قربانی شدن ۴۵۰۸۹ نفر در ترکیه و بیش از ۵۹۵۱ نفر در سوریه گردیده است. آمار مستند و رسمی در خصوص خسارت‌های ساختمان‌ها تا تاریخ تدوین این گزارش نهائی و اعلام نگردیده است. براساس گفته‌های مسئولین مختلف ترکیه در رسانه‌ها، بیش از ۱۷۳۰۰۰ ساختمان در ترکیه و ۸۵۰۰ ساختمان در سوریه با درجات مختلفی آسیب دیده است. برآورد شده است که بیش از ۵ میلیون نفر بی‌خانمان شده باشند.

در زلزله‌های رخ داده ۱۱ استان ترکیه دچار خسارت و تلفات جانی شده‌اند که شامل استان‌های قهرمان‌ماراش، غازیان‌تپ، شانلی اورفا، دیاربکر، آدانا، آدیامان، عثمانیه، هاتای، کیلیس، مالاتیا و الازیق می‌باشد (شکل ۱-۴). در جدول ۱-۱ مراکز شهری شهرستان‌ها در استان‌های خسارت دیده که احتمال داده می‌شود آسیب و خسارت‌های احتمالی زلزله‌های رخ داده در آنها مشاهده گردد، آورده شده است. در برخی از استان‌ها مانند قهرمان ماراش، هاتای، غازیان تپ، مالاتیا، عثمانیه، آدی یامان و کیلیس انتظار می‌رود که خسارت بیشتر باشد.



شکل ۱-۴- محدوده استان‌های آسیب دیده از زلزله‌های ۶-۲-۲۰۲۳ قهرمان ماراش

۱-۲- رومرکزها و بزرگی و زمان و سازوکار

در گزارش حاضر، رومرکز اعلام شده توسط AFAD مورد استناد قرار گرفته است. مراکز لرزه نگاری و اعلام رخداد زلزله‌های متعددی زلزله‌های سترگ ۶-۲-۲۰۲۳ ترکیه را گزارش کرده‌اند. در جدول ۱-۲ مختصات رومرکز، بزرگی و عمق دو زلزله ۷٫۷ پازارچیک (۷٫۸) و ۷٫۶ البیستان (۷٫۶) نشان داده شده است. در شکل ۱-۵ نیز نقشه موقعیت این رومرکزها آورده شده است.

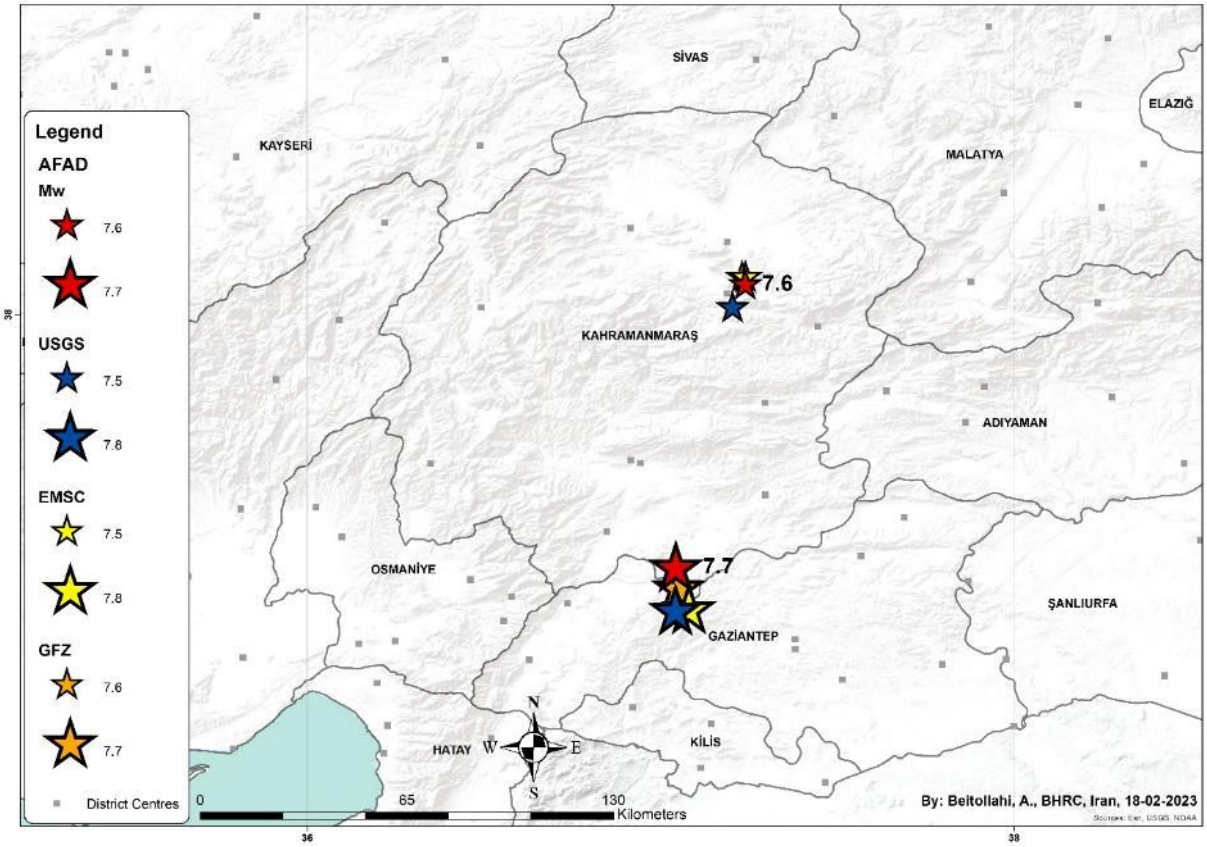
در شکل ۱-۵ فواصل رومرکزهای USGS و AFAD برای زلزله اول و بزرگتر، حدود ۱۴ کیلومتر و برای زلزله دوم حدود ۷ کیلومتر فاصله دارند که در کل خطای برآورد رومرکز توسط ۴ مرجع ذکر شده چندان زیاد نیست. همچنین در شکل ۱-۵ نشان داده می‌شود که رومرکز زلزله‌های ۷٫۷ و ۷٫۶ (با فاصله زمانی حدود ۹ ساعت ازهم رخ داده‌اند) حدود ۹۰ کیلومتر فاصله دارند.

جدول۱-۱- مراکز شهری با احتمال خسارت در زلزله‌های قهرمان ماراش

latitude	longitude	admin1Name_tr	admin2Name_tr
37.028	35.818	ADANA	CEYHAN
37.058	35.271	ADANA	ÇUKUROVA
37.815	35.912	ADANA	FEKE
37.258	35.662	ADANA	İMAMOĞLU
36.568	35.385	ADANA	KARATAŞ
37.450	35.812	ADANA	KOZAN
37.985	36.090	ADANA	SAİMBEYLİ
37.034	35.413	ADANA	SARIÇAM
36.979	35.314	ADANA	SEYHAN
38.260	36.219	ADANA	TUFANBEYLİ
36.770	35.790	ADANA	YUMURTALIK
36.987	35.348	ADANA	YÜREĞİR
37.766	38.277	ADIYAMAN	ADIYAMAN
37.695	37.862	ADIYAMAN	BESNİ
38.033	38.237	ADIYAMAN	ÇELİKHAN
38.028	39.034	ADIYAMAN	GERGER
37.784	37.638	ADIYAMAN	GÖLBAŞI
37.782	38.623	ADIYAMAN	KAHTA
37.578	38.481	ADIYAMAN	SAMSAT
38.028	38.621	ADIYAMAN	SİNCİK
37.795	37.916	ADIYAMAN	TUT
38.137	39.451	DİYARBAKIR	ÇERMİK
38.212	39.288	DİYARBAKIR	ÇÜNGÜŞ
38.569	38.824	ELAZIĞ	BASKİL
38.392	39.669	ELAZIĞ	MADEN
38.448	39.312	ELAZIĞ	SİVRİCE
37.426	37.689	GAZİANTEP	ARABAN
37.022	36.628	GAZİANTEP	İSLAHİYE
36.834	37.999	GAZİANTEP	KARKAMIŞ
37.009	37.797	GAZİANTEP	NİZİP
37.182	36.736	GAZİANTEP	NURDAĞI
36.966	37.514	GAZİANTEP	OĞUZELİ
37.053	37.381	GAZİANTEP	ŞAHİNBEY
37.080	37.380	GAZİANTEP	ŞEHİTKAMİL
37.316	37.567	GAZİANTEP	YAVUZELİ
36.116	36.249	HATAY	ALTINÖZÜ
36.200	36.160	HATAY	ANTAKYA
36.412	35.893	HATAY	ARSUZ
36.493	36.193	HATAY	BELEN
36.198	36.154	HATAY	DEFNE
36.835	36.227	HATAY	DÖRTYOL
36.956	36.198	HATAY	ERZİN
36.800	36.520	HATAY	HASSA
36.591	36.173	HATAY	İSKENDERUN
36.498	36.356	HATAY	KIRIKHAN
36.365	36.455	HATAY	KUMLU
36.758	36.216	HATAY	PAYAS
36.263	36.568	HATAY	REYHANLI
36.085	35.979	HATAY	SAMANDAĞ
35.902	36.064	HATAY	YAYLADAĞI
38.244	36.914	KAHRAMANMARAŞ	AFŞİN
37.578	36.349	KAHRAMANMARAŞ	ANDIRIN
37.750	37.295	KAHRAMANMARAŞ	ÇAĞLAYANCERİT
37.580	36.943	KAHRAMANMARAŞ	DULKADİROĞLU
38.059	37.188	KAHRAMANMARAŞ	EKİNÖZÜ
38.205	37.189	KAHRAMANMARAŞ	ELBİSTAN
38.020	36.492	KAHRAMANMARAŞ	GÖKSUN
37.966	37.444	KAHRAMANMARAŞ	NURHAK
37.588	36.915	KAHRAMANMARAŞ	ONİKİŞUBAT
37.489	37.295	KAHRAMANMARAŞ	PAZARCIK
37.385	36.847	KAHRAMANMARAŞ	TÜRKOĞLU
36.675	37.466	KİLİS	ELBEYLİ
36.716	37.113	KİLİS	KİLİS
36.887	36.921	KİLİS	MUSABEYLİ
36.841	37.143	KİLİS	POLATELİ
38.345	37.971	MALATYA	AKÇADAĞ
38.427	38.367	MALATYA	BATTALGAZİ
38.563	37.491	MALATYA	DARENDE
38.092	37.877	MALATYA	DOĞANŞEHİR
38.311	39.038	MALATYA	DOĞANYOL
38.403	38.747	MALATYA	KALE
38.198	38.873	MALATYA	PÜTÜRGE
38.594	38.180	MALATYA	YAZIHAN
38.303	38.248	MALATYA	YEŞİLYURT
37.201	36.578	OSMANİYE	BAHÇE
37.249	36.462	OSMANİYE	DÜZİÇİ
37.132	36.556	OSMANİYE	HASANBEYLİ
37.371	36.098	OSMANİYE	KADİRLİ
37.075	36.248	OSMANİYE	OSMANİYE
37.454	36.025	OSMANİYE	SUMBAS
37.068	36.146	OSMANİYE	TOPRAKKALE
37.023	37.977	ŞANLIURFA	BİRECİK
37.360	38.526	ŞANLIURFA	BOZOVA
37.117	38.803	ŞANLIURFA	EYYÜBİYE
37.245	37.870	ŞANLIURFA	HALFETİ
37.154	38.786	ŞANLIURFA	HALİLİYE
37.587	38.955	ŞANLIURFA	HİLVAN
37.205	38.795	ŞANLIURFA	KARAKÖPRÜ
37.753	39.318	ŞANLIURFA	SİVEREK
36.977	38.426	ŞANLIURFA	SURUÇ

جدول ۱-۲- مشخصات رومرکزهای اعلام شده برای زلزله‌های ۷٫۷ و ۷٫۶ قهرمان ماراش

Date_Time	Latitude	Longitude	Depth	Type	Magnitude	REF
2023-02-06, 01:17	38.089	37.239	7	MW	7.6	AFAD
2023-02-06,10:24	37.288	37.043	8.6	MW	7.7	AFAD
2023-02-06, 13:54:49	38.024	37.203	10	Mw	7.5	USGS
2023-02-06, 04:47:35	37.166	37.042	18	Mw	7.8	USGS
2023-02-06,01:17:36.1	37.17	37.08	20	Mw	7.8	EMSC
2023-02-06,10:24:49.6	38.11	37.24	10	Mw	7.5	EMSC
2023-02-06,01:17:34.9	37.23	37.05	10	Mw	7.7	GFZ
2023-02-06,10:24:49.9	38.11	37.23	10	Mw	7.6	GFZ

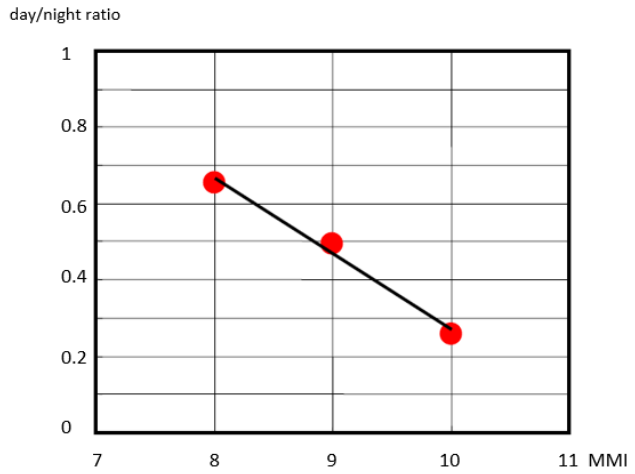


شکل ۱–۵– رومرکزهای تعیین شده برای زلزله‌های ۷٫۷ (۷٫۸) و ۷٫۶ (۷٫۵) قهرمان ماراش، رخداد ۶–۲–۲۰۲۳؛
توسط رفرنس‌های AFAD، USGS، EMSC و GFZ

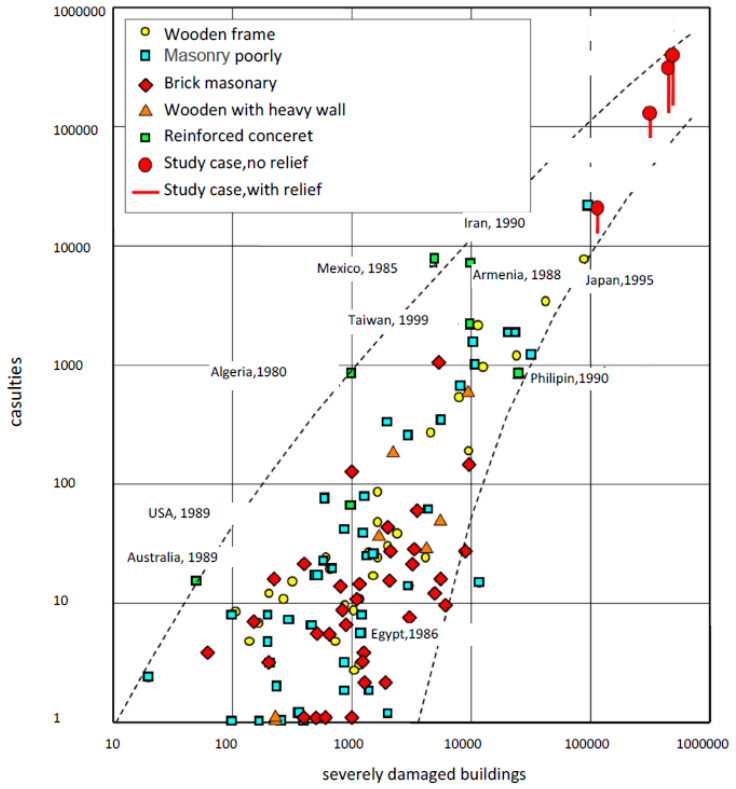
بزرگی‌های اعلام شده برای دو زلزله ۶–۲–۲۰۲۳ قهرمان ماراش اختلاف زیادی نسبت به هم ندارند، سایت‌های AFAD و GFZ بزرگی رخدادها را یکسان اعلام نموده‌اند، مراجع بین المللی USGS و EMSC نیز بزرگی زلزله‌ها را مشابه هم و ۷٫۷ و ۷٫۵ گزارش کرده‌اند.

در زمان رخداد زلزله‌ها نیز مراجع مذکور، در حد چند ثانیه با هم اختلاف دارند که با توجه به خطاهای مرسوم موجود این اختلاف عددی مرسوم و دور از ذهن نمی‌باشد. ساعت رخداد زلزله ۷٫۷ پازارچیک (ساعت ۰۱:۱۷ روز ۶ فوریه ۲۰۲۳) از آن نظر که در فصل سرد سال در منطقه و در ساعت خواب و استراحت اغلب ساکنین محدوده بوده، بر ابعاد بحران تأثیر

گذار بوده است. براساس ارزیابی صورت گرفته بر روی ۶ زمین لرزه ویرانگر ایران، برآورد شده است که در شدت‌های بالای زلزله، میزان تلفات جانی در شب به ۴ برابر تلفات در روز نیز فرا می‌رسد (شکل ۱-۶). براساس برآوردهای تجربی زلزله‌های ویرانگر دنیا در شکل ۱-۷ رابطه تقریبی تعداد تلفات با تعداد ساختمان‌های با آسیب دیدگی شدید نشان داده شده است (JICA, ۲۰۰۱). لازم بذکر است که روابط تجربی و برمبنای اطلاعات ساختمان‌های تخریب شده در سال‌های قبل از ۲۰۰۰ می‌باشد. با این‌وصف برآوردی کلی از تعداد ساختمان‌های تخریبی و تعداد تلفات جانی را می‌توان در مورد زلزله‌های قهرمان ماراش ترکیه بدست آورد.

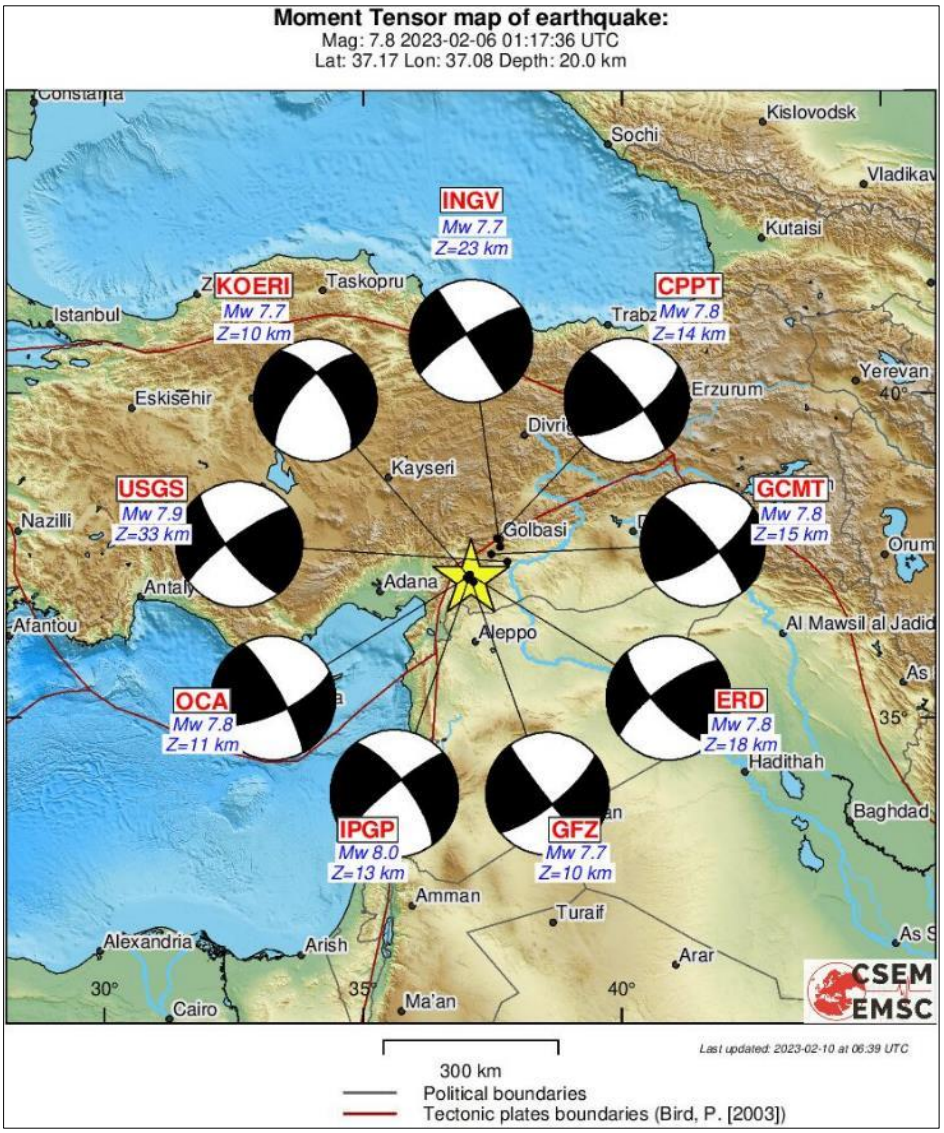


شکل ۱-۶- نسبت تلفات جانی روز به شب در شدت‌های مختلف زلزله (Jica, ۲۰۰۱)



شکل ۱-۷- تلفات جانی زلزله‌های بزرگ نسبت به تعداد ساختمان‌های به شدت آسیب دیده (Jica, ۲۰۰۱)

زلزله‌های رخ داده سازوکار امتداد لغز نشان می‌دهد. گزارش‌های ارائه شده توسط سایر مراجع رسمی نشان می‌دهد که سازوکار گسل مسبب زلزله، امتداد لغز (چپگرد می‌باشد). شکل ۱–۸ برگرفته از سایت EMSC سازوکارهای تعیین شده برای زلزله ۷٫۷ پازارچیک را توسط مراجع مختلف نشان می‌دهد که تمامی حل صفحات گسلی، سازوکار امتداد لغز را تائید می‌کنند.



شکل ۱–۸– سازوکارهای مراجع مختلف لرزه‌ای برای زلزله ۷٫۷ پازارچیک ترکیه، رخداد ۶–۲–۲۰۲۳ (برگرفته از EMSC)

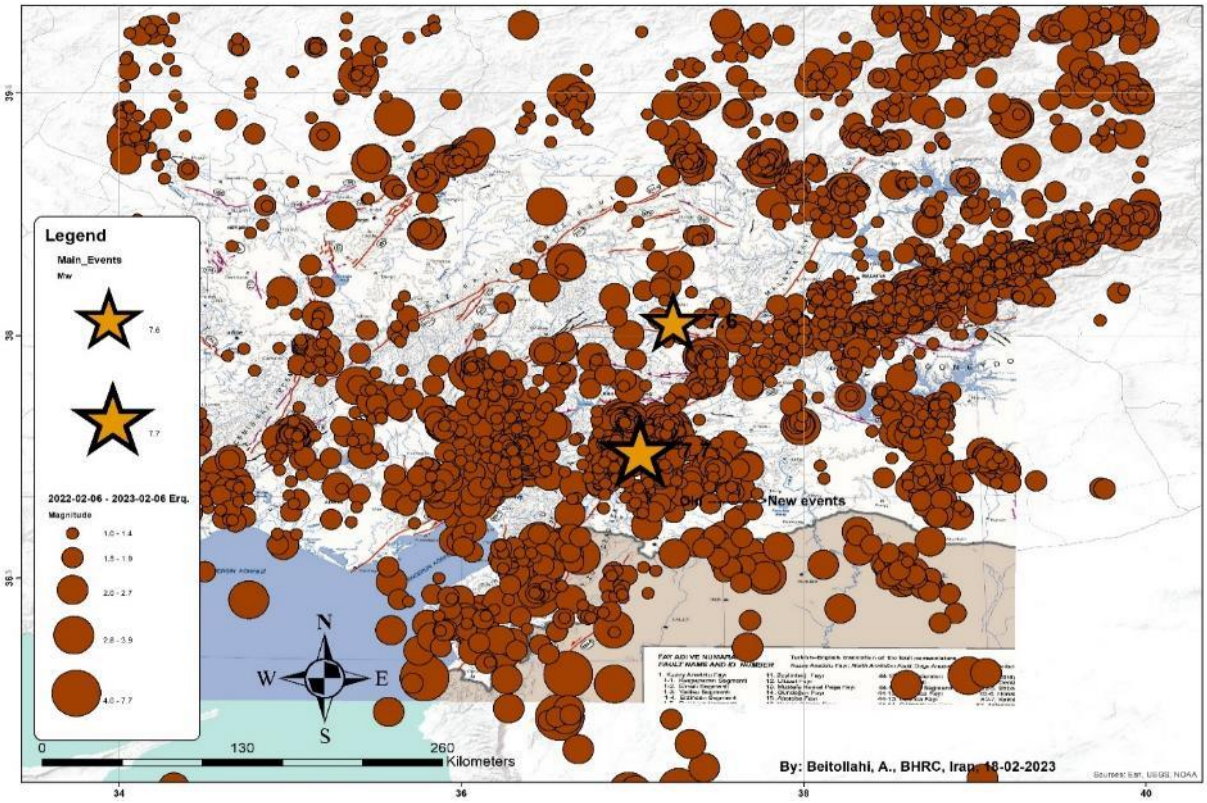
مشخصات سازوکار ارائه شده برای زلزله ۷٫۷ قهرمان ماراش در ادامه داخل کادر نشان داده شده است.

Strike 1	233
Dip 1	74
Rake 1	18
Strike 2	140
Dip 2	77
Rake 2	168

سازوکارهای نشان داده شده در شکل ۱–۸ کمک موثری در تعیین سازوکار گسل مسبب زلزله دارند و از آنجا که فوکال مکانیسم‌های ارائه شده توسط مراجع گزارش دهنده زلزله از طریق رکوردهای دستگاهای تعیین می‌شوند و واضح است که فوکال مکانیسم زلزله با سازوکار گسل مسبب زلزله باید تطابق داشته باشد، لذا برآورد سازوکار زلزله رخ داده، کمک موثری در شناخت دقیقتر گسل مسبب زلزله نیز خواهد بود.

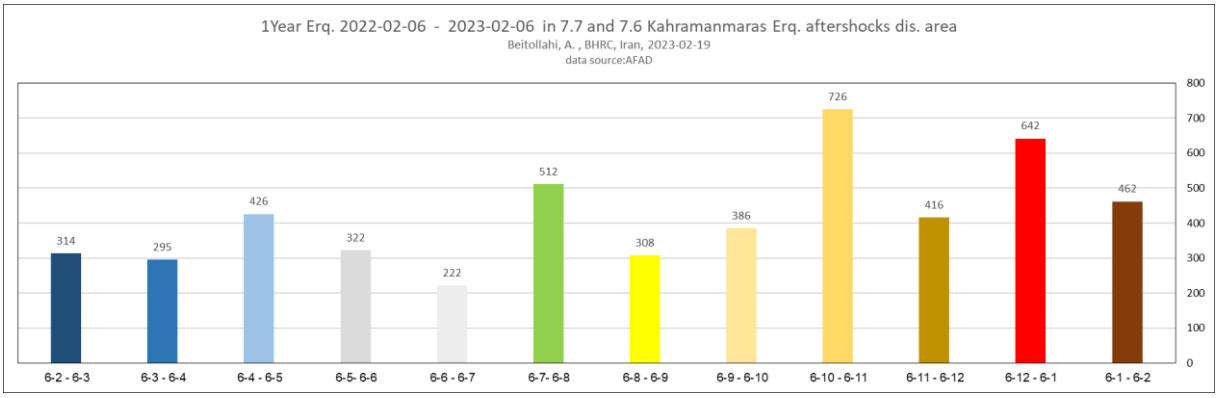
۱-۳- پیشلرزه ها و پسلرزه ها

▪ **پیشلرزه ها:** برای بررسی روند رخداد زلزله‌های پیش از رویداد ۷٫۷ و ۷٫۶ قهرمان ماراش، ابتدا از روی کاتالوگ زلزله ترکیه، زلزله‌های رخ داده در مستطیل ۵*۴ درجه‌ای دربرگیرنده پسلرزه های زلزله‌های قهرمان ماراش برای بازه یکساله قبل از رویداد انتخاب گردید (بازه زمانی ۲۰۲۲-۰۲-۰۶ – ۲۰۲۲-۰۲-۰۶). در شکل ۱–۹ توزیع مکانی زلزله‌های رخ داده در یکسال قبل از وقوع زلزله ۰۶– ۰۲– ۲۰۲۳ نشان داده شده است.

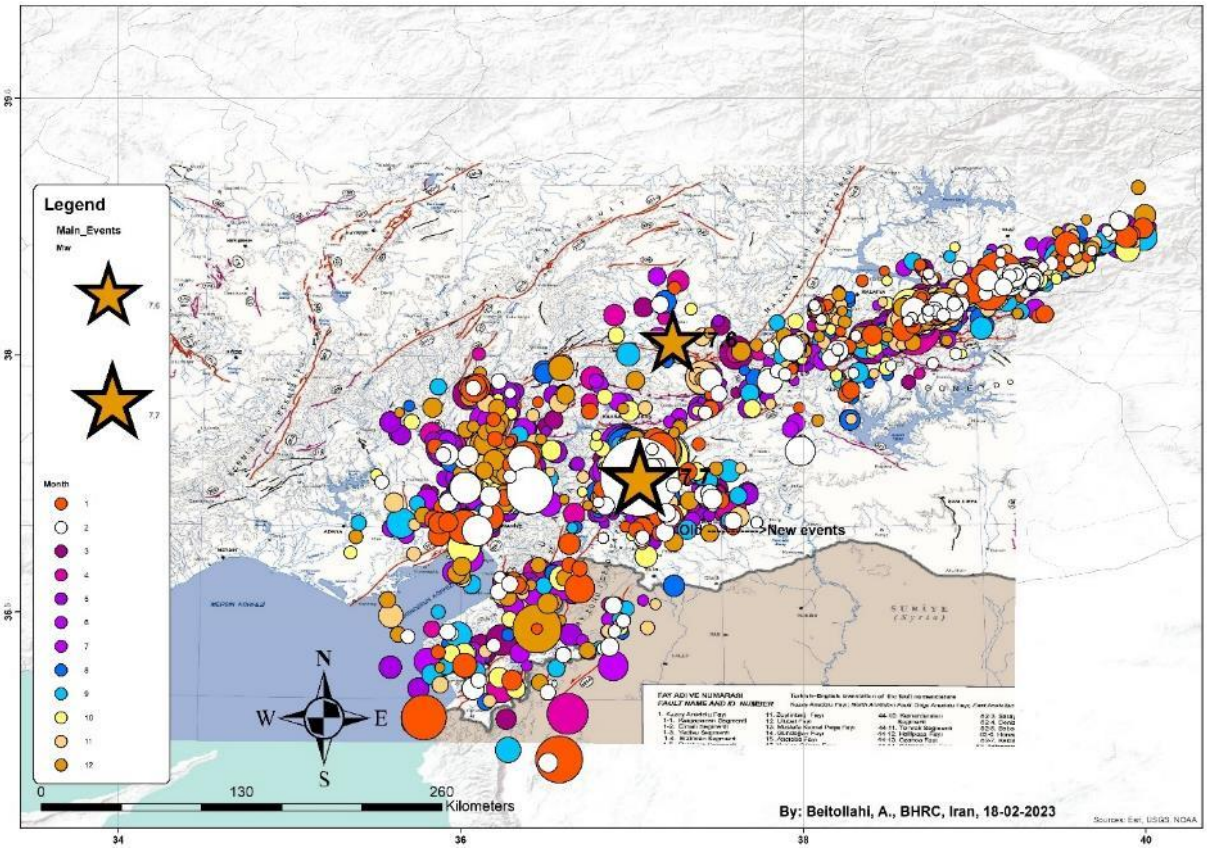


شکل ۱–۹– توزیع زلزله‌های یکسال قبل از وقوع زلزله ۷٫۷ پازارچیک در کادر ۵*۴ درجه‌ای

رخدادهای یک‌ساله قبل از زلزله ۷٫۷ پازارچیک، به صورت ماهانه در شکل ۱–۱۰ نشان داده شده است. در چهارگوش انتخاب شده تعداد ۳۶۱۹ زلزله در طی ۱ سال (۲۰۲۲-۰۲-۰۶ – ۲۰۲۳ – ۰۲–۰۶) در این چهارگوش رخ داده است. تعداد ۱۹ زلزله، بزرگی ۴ و بالاتر را داشته‌اند. پخش شدگی رویدادهای یک‌سال گذشته، هرچند به‌دلیل فعالیت گسل آناتولی شرقی در امتداد آن گسل، تمرکز نسبی بالاتری را داراست، اما از روی شکل نمی‌توان روند معناداری را برای بی هنجاری احتمالی موجود پیش از رویداد اصلی پیدا نمود. در شکل ۱–۱۱ زلزله‌های یکسال قبل از رخداد زلزله ۷٫۷ پازارچیک قهرمان ماراش که در امتداد گسل آناتولی شرقی و گسله‌های اطراف آن پراکندگی دارند، جدا شده و به ازای بزرگی و زمان با رنگ و سایز دایره‌های معرف رخداد زلزله‌ها، نشان داده شده‌اند.



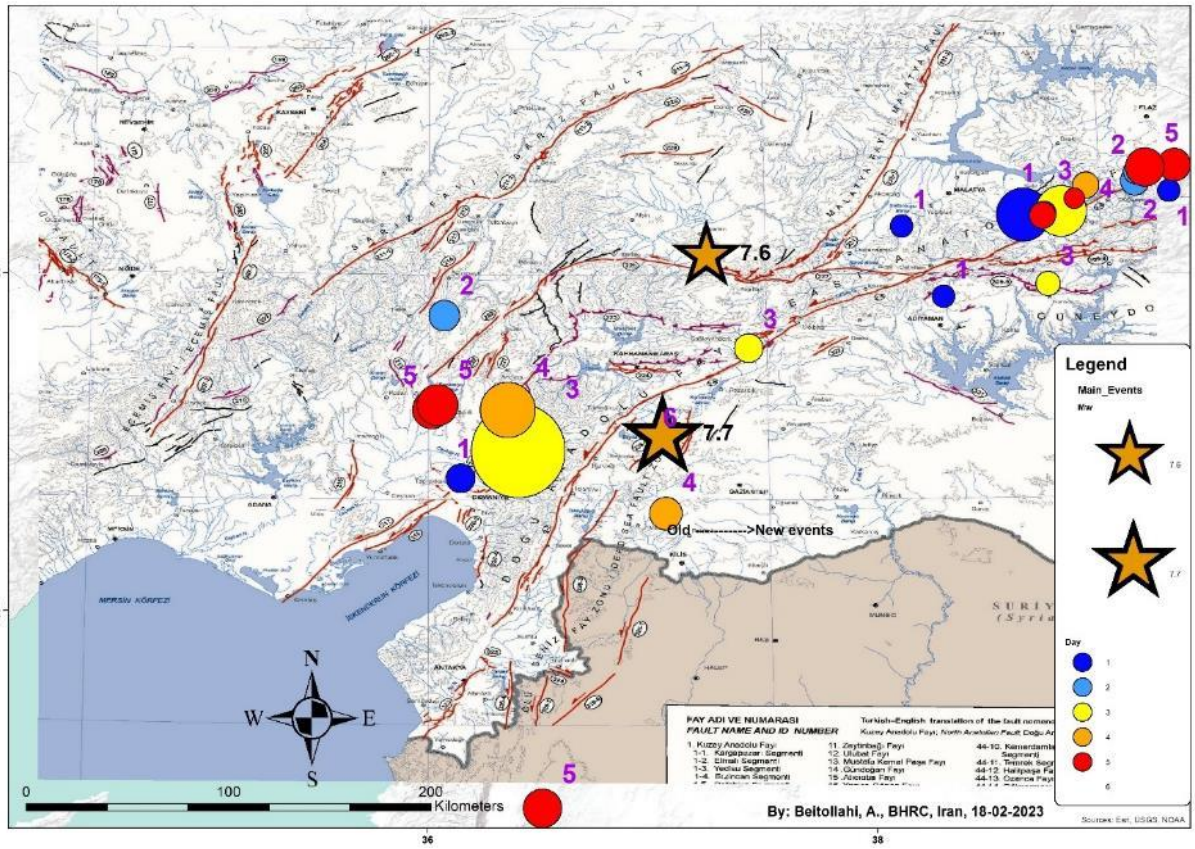
شکل ۱–۱۰– نمودار ماهانه رخداد زلزله‌های یکسال پیش از زلزله ۷٫۷ پازارچیک قهرمان ماراش



شکل ۱–۱۱– زلزله‌های یک‌سال قبل از رخداد ۷٫۷ پازارچیک، سایز دایره‌ها معرف بزرگی و رنگ آنها معرف ماه‌های رخداد در یک‌سال گذشته است.

در شکل ۱–۱۱ رخداد زلزله‌های متعدد در محدوده‌های رومرکزی زلزله ۷٫۷ و ۷٫۶ پازارچیک و البیستان، معرف تکاپوئی لرزه‌ای این زون از سرزمین ترکیه به‌عنوان یکی از محدوده‌های فعال لرزه‌ای است. فعالیت لرزه‌ای در امتداد ۳۵۰ کیلومتری و در راستای گسل‌های اصلی و لرزه زای منطقه مانند گسل آناتولی شرقی معرف لرزه خیزی بالای منطقه است. از بین زلزله‌های رخ داده در یکسال پیش از وقوع زلزله ویرانگر ۷٫۷ پازارچیک، زلزله‌های ۵ روز پیش از رخداد (از تاریخ ۱–۲–۲۰۲۳ –۶–۲–۲۰۲۳) جدا و در شکل ۱–۱۲ نشان داده شده است. تعداد ۳۴ زمین لرزه در این منطقه در مدت ۵ روز قبل از زلزله، رخ داده است و در روز ۵–۲–۲۰۲۳، به تنهائی تعداد ۸ زمین لرزه رخ می‌دهد که در شکل ۱–۱۲ به ترتیب رنگ و سایز دایره‌ها نشان داده می‌شود. رخداد این زلزله‌ها هرچند در امتداد سازوکارهای تکتونیکی شناخته شده منطقه که رومرکزهای زلزله‌های ۷٫۷ و ۷٫۶ نیز بر روی آنها واقع می‌گردد، صورت گرفته است، اما فاصله آنها از رومرکز زلزله‌های

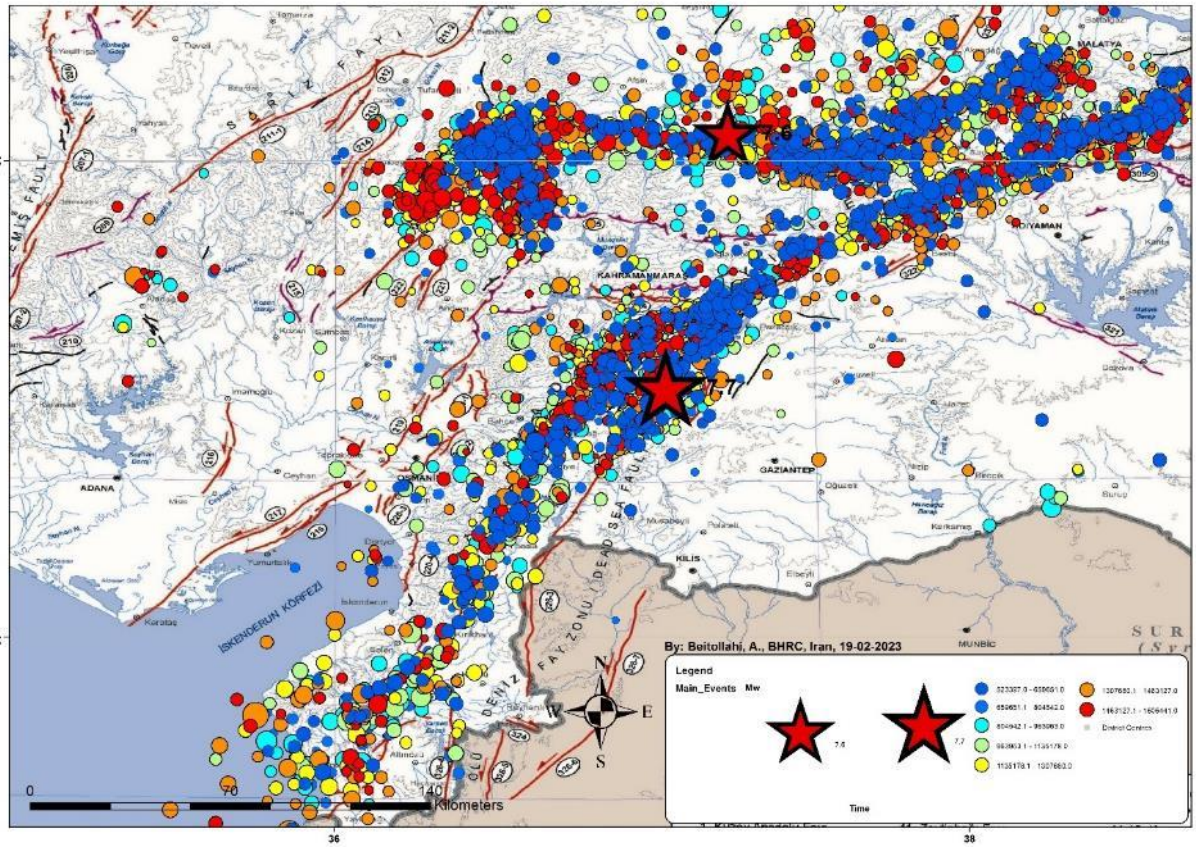
۷٫۷ و ۷٫۶ امکان تعیین زون بی هنجاری پیش از رویداد را نمی‌دهد. بنابراین از رویدادهای پیش از وقوع امکان تعیین تغییرات عمده در رژیم لرزه خیزی منطقه و محدوده‌های رومرکزی برای مؤلفین بدست نیامد.



شکل ۱-۱۲- رخدادهای لرزه‌ای پنج روز پیش از وقوع زلزله در محدوده‌های اطراف رومرکز و امتداد گسله‌های اصلی منطقه

▪ پسلرزه های زلزله‌های ۷٫۷ و ۷٫۶ قهرمان ماراش

تا ساعت‌های عصر روز ۱۸-۲-۲۰۲۳، زلزله‌های رخ داده در محدوده اطراف رومرکز از سایت AFAD جدا و به نقشه در آمد. تعداد رخدادها، ۵۶۴۴ زمین لرزه بوده که در شکل ۱-۱۳ توزیع آنها نشان داده شده است. انطباق قابل ملاحظه‌ای بین رخداد پسلرزه ها و گسله‌های اصلی منطقه قابل مشاهده است. در شکل ۱-۱۳، پسلرزه های رخ داده به رنگ آبی به قرمز معرف ترتیب زمانی از ۶-۲-۲۰۲۳ تا ۱۸-۲-۲۰۲۳ بوده و سایز دایره‌ها نیز معرف بزرگی پس لرزه‌هاست. هدف از ترتیب مقیاس رنگی پسلرزه ها این بود که روند توسعه گسیختگی زیرسطحی در راستای گسل از زمان شروع زلزله اصلی بررسی شود که با توجه به خطاهای ثبت و مکانیابی پسلرزه ها به علت نبود شبکه محلی و نیز احتمالاً به دلیل رخداد تصادفی پسلرزه ها در تمام طول گسیختگی به طور متناوب، روند خاصی در جهت یافتگی زمانی پسلرزه ها بدست نیامد. از شکل ۱-۱۳ می‌توان مشاهده نمود که در دو راستای کاملاً متمایز پسلرزه ها در طولی ۳۵۰ و ۲۵۰ کیلومتری و کمابیش به به موازات هم گسترده شده‌اند. می‌توان نتیجه گیری کرد که دو سامانه گسلی موجب دو رویداد و در ادامه رخداد پسلرزه ها شده‌اند. هرچند که پسلرزه ها مرتبط با فعالیت دو زلزله متمایز از هم می‌باشند، ولی در کل نتایج آماری آنجا به صورت دو نمودار تعداد به ازای زمان (به روز) و تعداد به ازای بزرگا در شکل‌های ۱-۱۴ و ۱-۱۵ نشان داده شده است.



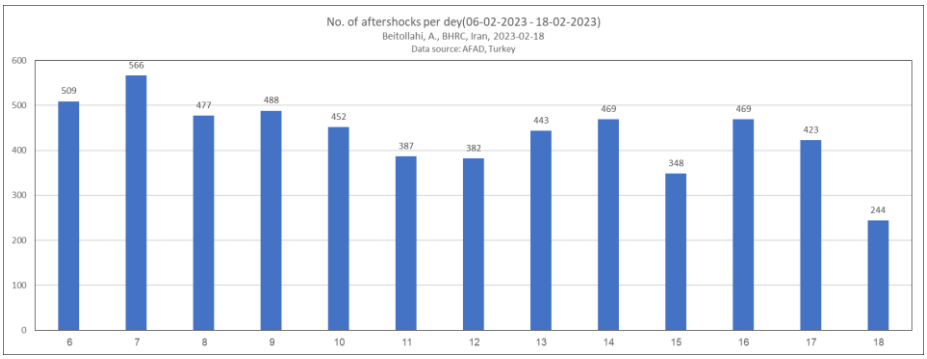
شکل ۱-۱۳- توزیع پسلرزه ها تا تاریخ ۱۸-۲-۲۰۲۳ در محدوده رومرکزی زلزله‌های پازارچیک و البیستان

در شکل ۱-۱۳ تعداد ۵۶۴۵ زلزله جانمائی شده است که جملگی پس از رخداد زلزله ۷٫۷ پازارچیک به وقوع پیوسته‌اند. به ازای روز تغییرات رخداد در نمودار شکل ۱-۱۴ نشان داده شده است. روند کاهشی محسوسی در رخداد پسلرزه ها تا تاریخ ۱۸-۲-۲۰۲۳ مشاهده نمی‌گردد و انتظار می‌رود رخداد پسلرزه ها ادامه پیدا کند. براساس روابط آماری که در حذف پسلرزه ها در تحلیل خطر زلزله بکار برده می‌شود، می‌توان بصورت تخمینی مدت دوام استمرار پسلرزه ها را محدوده مکانی رومرکز و اطراف آن تخمین زد.

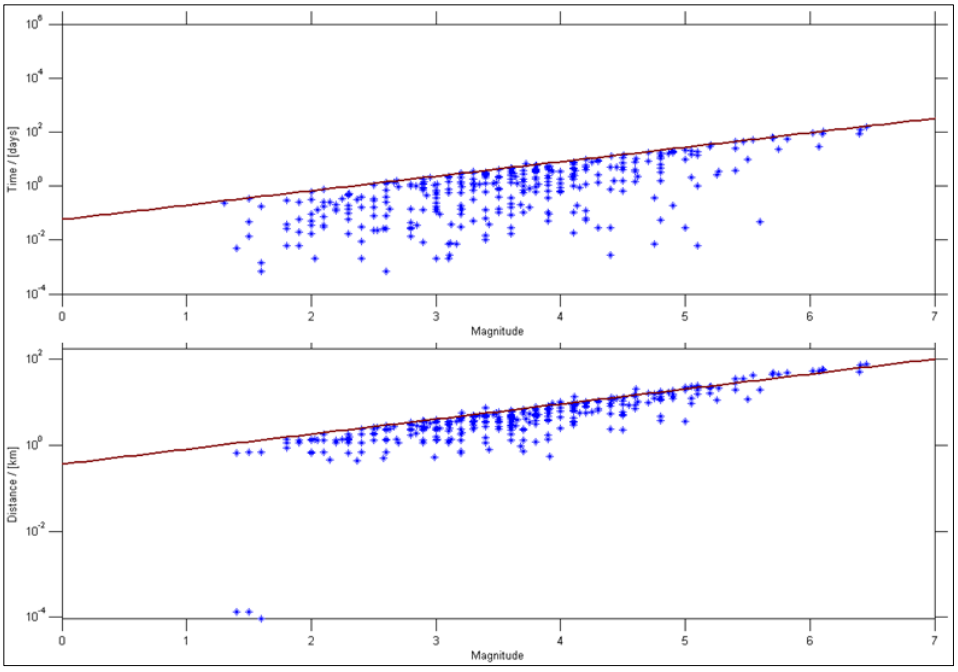
در شکل ۱-۱۵ نمودار وابستگی پسلرزه های زلزله‌های با بزرگاهای مختلف (محور افقی) نسبت به زمان (نمودار بالائی) و شعاع اطراف (شکل پائینی) نشان داده شده است. برپایه این منحنی‌ها، برای زلزله ۷٫۷ پازارچیک، بیش از دوسال رخداد پسلرزه در محدوده مکانی بیش از ۱۰۰ کیلومتری اطراف آن می‌توان تخمین است (برآورد کاملاً تخمینی است و به عوامل مختلف وابسته است).

در شکل ۱-۱۶ الف رخداد پسلرزه ها به ازای بزرگی نمایش داده شده است. تا ۱۲ روز پس از رخداد، از تعداد ۵۶۴۵ پسلرزه، ۱ رخداد با بزرگی بالای ۶ بوده است. ۸ پسلرزه بین ۵٫۵ تا ۶ بزرگی داشته و ۳۱ پسلرزه بین ۵ تا ۵٫۵ بوده است. رخداد پسلرزه هایی با این مقادیر بزرگا که هرکدام از آن‌ها می‌توانند به نوبه خود مخرب باشند، بیانگر میزان تنش شگرفی است که در جنوب ترکیه انباشته شده بوده و با رخداد این رویدادهای لرزه‌ای رها می‌شود. مهم‌ترین نکته در این قسمت این است که ساکنین و امدادگران باید به طور جدی مراقب رخداد پسلرزه باشند. رفتار زمین به گونه‌ای است که گاه چند روز سکون نسبی لرزه‌ای در محدوده اثر رخداد اصلی حاکم شده و سپس رویدادهای پسلرزه ای بزرگی رخ می‌دهند. این

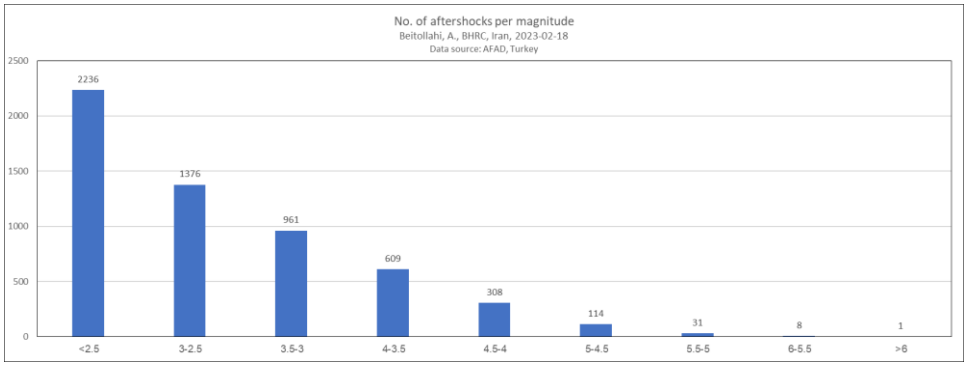
پسلرزه ها مسلماً از زلزله اصلی کوچکتر خواهند بود، ولی می‌توانند مخرب باشند، به ویژه در شرایطی که ساختمان و دیوارها پابرجا مانده در اثر ارتعاشات مستمر لرزه‌ای به مرز ناپایداری رسیده باشند.



شکل ۱-۱۴- نمودار آماری رخداد پسلرزه ها تا تاریخ ۱۸-۲-۲۰۲۳ در محدوده رومرکزی زلزله‌های پازارچیک و البیستان به ازای روز (از ۶ تا ۱۸ فوریه ۲۰۲۳)



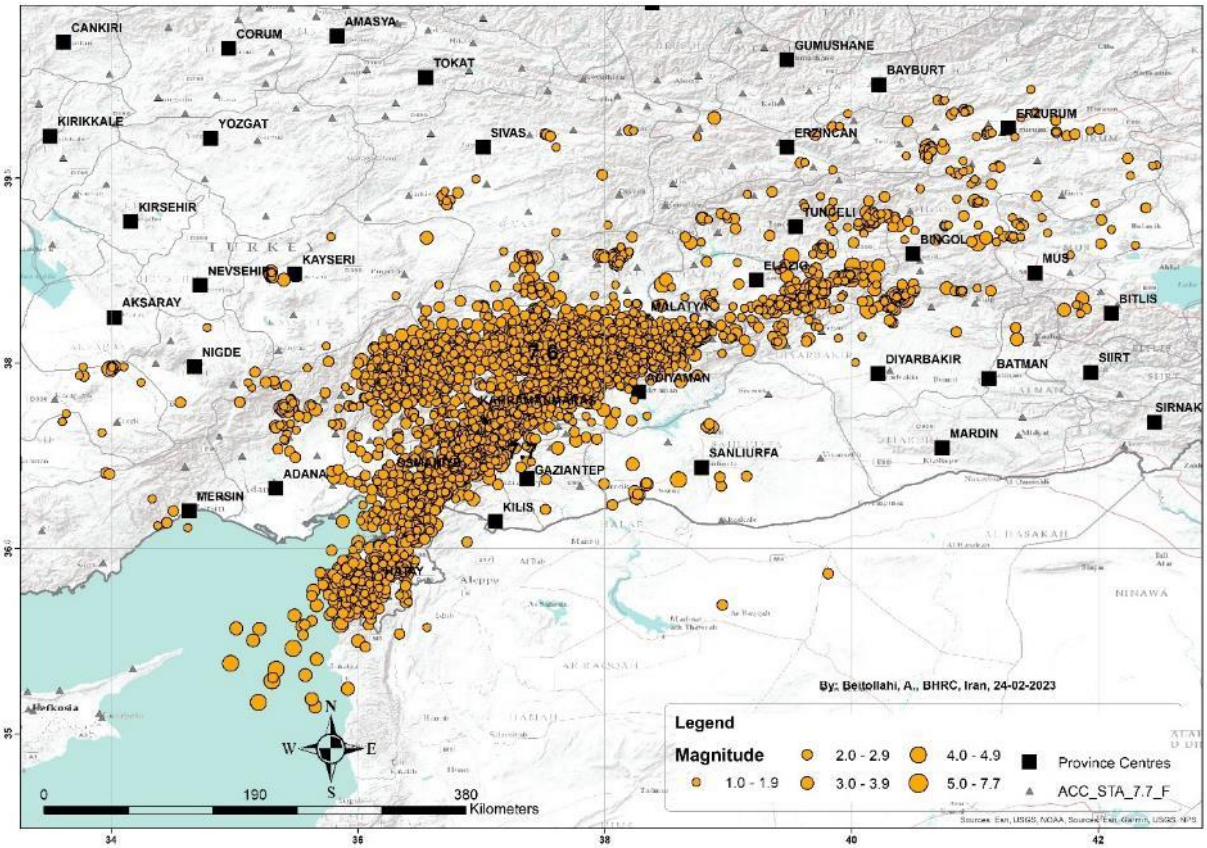
شکل ۱-۱۵- نمودارهای وابستگی پسلرزه های زلزله‌های اصلی به زمان و مکان (براساس گاردنر-نوپوف ۱۹۷۵)



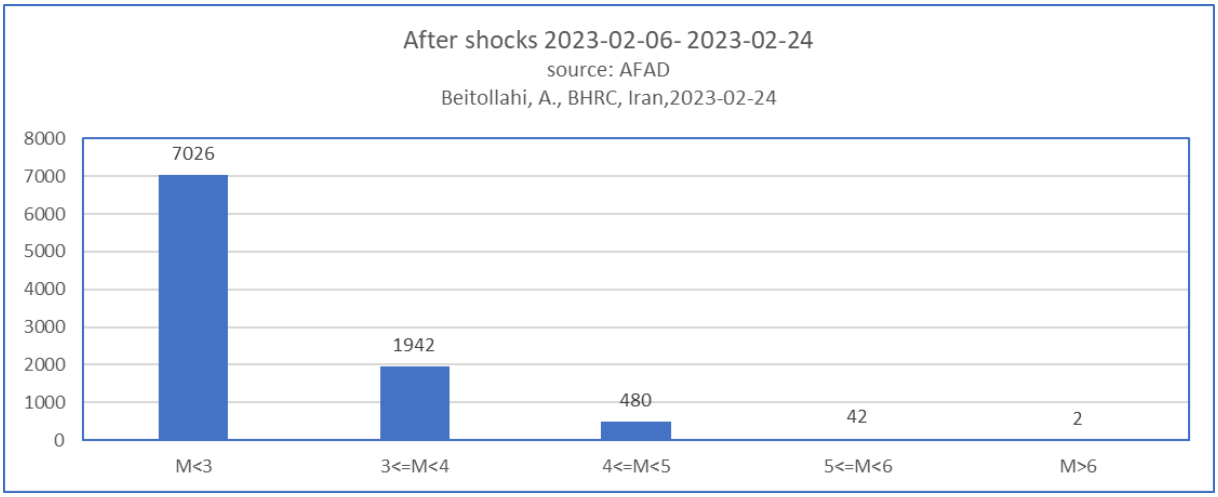
شکل ۱-۱۶-الف- نمودار آماری رخداد پسلرزه ها تا تاریخ ۱۸-۲-۲۰۲۳ در محدوده رومرکزی زلزله‌های پازارچیک و البیستان به ازای بزرگا

*تا زمان تدوین نهائی گزارش، ساعات شب ۲۴-۰۲-۲۰۲۳، براساس آمار AFAD تعداد ۹۴۹۲ پسلرزه در منطقه رخ داده

است که از آن میان تعداد ۲ پسلرزه بالای ۶، ۴۲ پسلرزه با بزرگی ۵ تا ۶ بوده است. در شکل و نمودارهای زیر، موقعیت و تعداد آن آورده شده است:



شکل ۱-۱۶-ب- توزیع پسلرزه ها تا تاریخ ۲۴-۲-۲۰۲۳ در محدوده رومرکزی زلزله‌های پازارچیک و البیستان



شکل ۱-۱۶-ج- تعداد پسلرزه ها به ازای بزرگا تا ۲۴-۰۲-۲۰۲۳ محدوده قهرمان ماراش و اطراف آن

۱-۴- گسل‌های مسبب زلزله‌های ۰۶-۰۲-۲۰۲۳ قهرمان ماراش

رومرکزهای زلزله‌های ۷٫۷ پازاچیک و ۷٫۶ البیستان (استان قهرمان ماراش) برروی نقشه گسله‌های ترکیه برهم نهی شد. فایل تصویری نقشه گسل‌ها (MTA, ۲۰۱۳, ۱/۱۲۵۰۰۰۰, Emre and etal) ابتدا ژئورفرنس و سپس رومرکزهای گزارش شده توسط مراجع AFAD,USGS,EMSC & GFZ برای زلزله‌ها بر روی آن و بر روی نقشه پایه توپوگرافی جهانی

اضافه گردید. صرفنظر از خطای ژئورفرنسینگ که جزئی بوده، می‌تواند در مورد گسل‌های مسبب دو زلزله بزرگ جنوب ترکیه اظهار نظر کرد. همچنین رخداد پسلرزه ها نیز گویای گسیختگی‌های گسل‌های مسبب است که می‌تواند در مورد شناسائی گسل مسبب و سازوکار آن مفید باشد. در شکل ۱–۱۷ مشاهده می‌شود که هر ۴ رومرکز تعیین شده برای هرکدام از زلزله‌های ۷٫۷ و ۷٫۶ در مجاورت هم واقع می‌گردند که این امر احتمال خطای برآورد موقعیت رومرکز را تا حدودی کمتر می‌کند. براین اساس می‌توان گفت که گسل مسبب زلزله ۷٫۷، سگمنت هایی از سامانه گسلی دریای مرده است. سگمنت ۳۲۶–۱ و ۳۲۶–۲ در مجاورت رومرکز زلزله ۷٫۷ در نقشه گسل‌های کشور ترکیه قرار گرفته است. این دوسگمنت در نقشه گسل‌های MTA، با نام‌های **نارلی** و **ساکچاگز** نامگذاری شده‌اند. فاصله محدوده مرکزی قرارگیری رومرکزهای زلزله ۷٫۷ و فاصله سگمنت های ۳۲۶–۱ و ۳۲۶–۲ سامانه گسلی دریای مرده از گسل آناتولی شرقی واقع در سوی غربی آن حدود ۱۷ تا ۲۰ کیلومتر است. در خصوص سازوکار سگمنت های سامانه گسلی دریای مرده در محدوده رومرکزی زلزله ۷٫۷، باید بررسی بیشتری صورت گیرد (شکل ۱–۱۷).

رومرکزهای تعیین شده برای زلزله ۷٫۶ البیستان نیز بر روی نقشه گسله‌های ترکیه برهم نهی گردید. مشخص می‌شود که امتداد گسل **چارداک** (جهت امتداد شرقی – غربی) از مجاورت رومرکزهای زلزله ۷٫۶ عبور می‌کند و چنین استنباط می‌شود که جنبائی این قطعه گسلی موجب رخداد زلزله البیستان گردیده است (شکل ۱–۱۷).

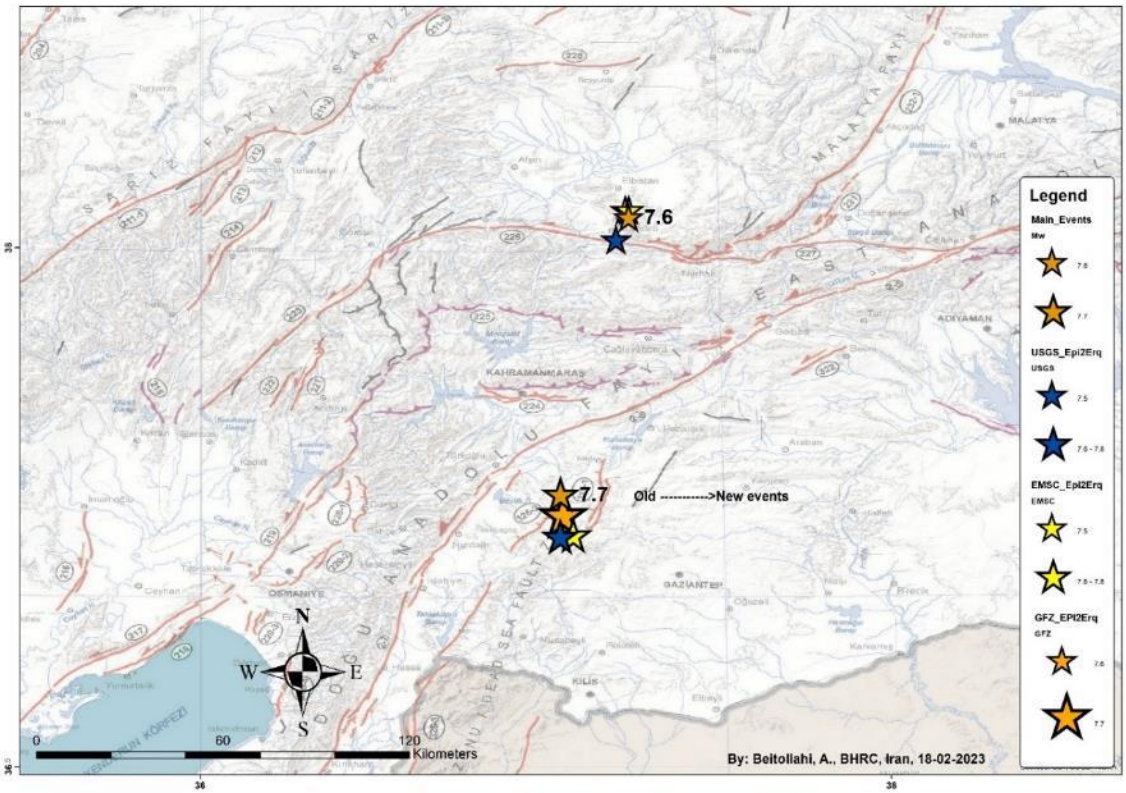
بنابه گفته وزیر انرژی و منابع طبیعی، تیم‌های MTA در ۱۳۶ نقطه از بخش ۲۱۸ کیلومتری خط گسل ۳۱۵ کیلومتری را که در اولین زلزله شکسته شد، رصد کردند. در زلزله دوم کار روی گسل ۱۷۷ کیلومتری ادامه دارد. این گفته با نقشه‌های رومرکز و نقشه گسله‌های منطقه سازگاری ندارد. طول سگمنت های گسلی دریای مرده در این ناحیه هرگز ۳۱۵ کیلومتر نمی‌باشد و تنها گسله با این طول در این زون، گسل آناتولی شرقی است. در خصوص تصاویر متعدد از زون‌های گسیختگی متاسفانه مختصات جغرافیائی تصاویر مشخص نمی‌کند که محل دقیق تصاویر مربوط به کدام نقطه از منطقه تحت اثر گسیختگی است. در شکل ۱–۱۸ یکی از عکس‌های اکیپ MTA نشان داده شده است.

دقت بر روی نقشه پراکنش پسلرزه های زلزله‌های ۷٫۷ پازارچیک و ۷٫۶ البیستان، اطلاعات خوبی از روند گسله‌ها می‌دهد. در شکل ۱–۱۹ نقشه پسلرزه های زلزله‌ها، بر روی نقشه گسله‌ها همراه با رومرکز زلزله‌های بزرگ قهرمان ماراش برهم نهی گردید.

در نقشه مشاهده می‌شود که تراکم پسلرزه ها در راستای سگمنت گسلی ۳۲۶–۱ و ۲ به صورت مشخصی از توزیع پسلرزه ها بر روی گسله آناتولی شرقی جداست. هرچند که امتداد آن به سوی شمالی، همگرائی دو امتداد توزیع پسلرزه ای را همگرا می‌کند و پس از آن پراکنش پسلرزه ها از روند امتداد گسل آناتولی شرقی تبعیت می‌کند. چهارگوشی که در شکل ۱–۱۹ با شماره ۱ مشخص گردیده، روند و جهت یافتگی توزیع پسلرزه ها را بخوبی و جدا از امتداد گسل آناتولی شرقی نشان می‌دهد که در امتداد آن رومرکزهای ۴ گانه برای زلزله ۷٫۷ نیز نشان داده شده است.

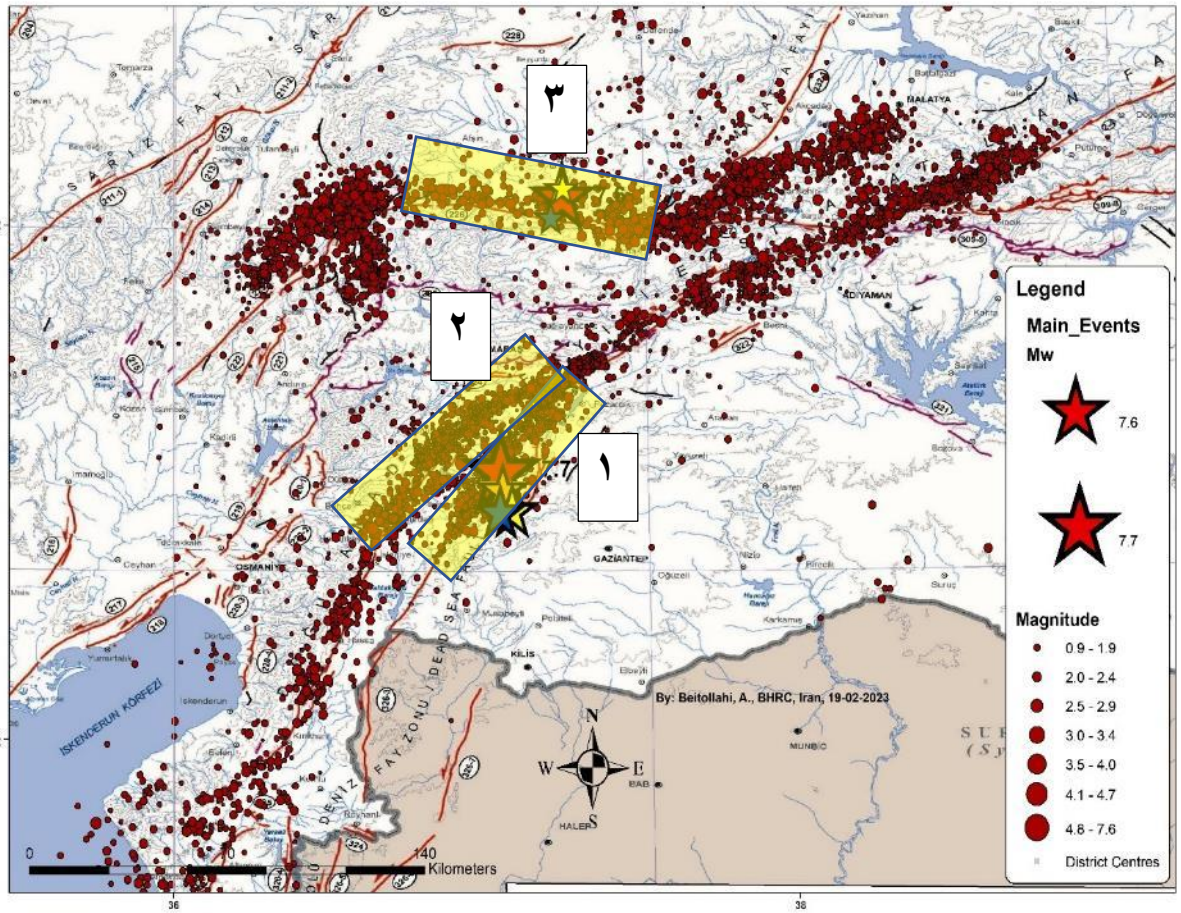
در مورد گسل چارداک و راستای آن و پسلرزه های واقع بر روی آن ابهام کمتری وجود دارد و به نظر می‌رسد که تنش و جابجائی و رخداد لرزه‌ای در امتداد محدوده رومرکزی زلزله ۷٫۷ پازارچیک، موجب تحریک سگمنت گسلی چارداک گردیده و موجب رخداد زلزله ۷٫۶ بعد از ۹ ساعت از وقوع زلزله اول، گردیده است. چنین توالی رخداد که زلزله بزرگ اول موجب

آسیب جدی ساختمان‌ها شده و در زلزله دوم، ساختمان‌های آسیب دیده، تخریب کامل شوند و همراه با رخداد پسلرزه های نیرومند، خسارت را بیشتر گردد، در کمتر زلزله‌ای در جهان تجربه شده است.



شکل ۱–۱۷– رومرکزهای زلزله‌های ۷٫۷ و ۷٫۶ قهرمان ماراش ترکیه بر روی نقشه گسله‌های ترکیه (MTA,۲۰۱۳)

شکل ۱–۱۸– مسیر اثر چپگردی گسل مسبب زلزله ۷٫۷(سمت راست، مکان نامعلوم) و گسیختگی سطحی، گروه MTA, Turkey



شکل ۱-۱۹- جهت یافتگی متمایز توزیع پسلرزه ها در امتداد گسله‌های منطقه و جدایش پسلرزه های واقع بر سگمنت های گسلی ۳۲۶-۱ و ۲ از سامانه گسلی دریای مرده در مجاورت رومرکزهای زلزله ۷٫۷ پازارچیک

۱-۵- گسیختگی‌های سطحی بر اساس روابط و مشاهدات میدانی

برمبنای روابط تجربی – آماری ولز-کوپراسمیت برای زلزله ۷٫۷ مطابق ضرائب مرتبط با گسل امتداد لغز، مقادیر گسیختگی سطحی، جابجائی بیشینه و متوسط محاسبه گردید (روابط ۱-۱). میزان گسیختگی سطحی ۱۴۰ کیلومتر، بیشینه مقدار جابجائی ۸ متر و جابجائی متوسط ۴ متر محاسبه گردید.

$$\log(SRL)=a+b*M$$

SRL: surface rupture length(km)

a:۵٫۱٦ **b:**۱٫۱۲

$$\log(MD)=a+b*M \qquad ۱-۱$$

MD: maximum displacement(meter)

a: -۷٫۰۳ **b:**۱٫۰۳

$$\log(AD)=a+b*M$$

AD: average displacement(meter)

a: -٦٫۳۲ **b:**۰٫۹

از داده‌های شبکه شتابنگاری ترکیه، برگرفته از سایت AFAD بیشینه مقدار جابجائی PGD حدود ۶۶۲ سانتی متر برآورد گردیده است (این مقدار برمبنای رکوردهای شتابنگاشتی است و با جابجائی ماندگار سطحی متفاوت می‌باشد، بیشینه مقدار PGD در ایستگاه ۰۷۲۰ واقع در ۴۲۸ کیلومتری از رومرکز و در مؤلفه قائم آن محاسبه شده است).

مشاهدات میدانی مردم منطقه و اکیپ‌های تخصصی با استفاده تصویربرداری هوائی از مناطق تحت تأثیر زمین لرزه‌های ۷٫۷ و ۷٫۶ قهرمان ماراش مستندات قابل توجهی از گسیختگی سطحی به صورت زون گسیختگی چپگرد، جابجائی های کششی و تشکیل فروریزش های خطی را نشان داده است که جای بررسی‌های دقیقتر میدانی را دارد.

در شکل ۱-۲۰ چند نمونه از تصاویر گسیختگی قابل توجه و مهم از دیدگاه کارشناسی برگرفته از گزارشات و فضای مجازی و رسانه‌ها نشان داده شده است.

شکل ۱-۲۰- جابجائی تقریبی ۳ متری چپگرد در این عکس نمایان است. این گسیختگی مرتبط با عملکرد گسل مسبب زلزله است. مختصات دقیق مکانی عکس ذکر نشده است.

ادامه، شکل ۱-۲۰- گسیختگی سطحی در زلزله‌های ۶-۲-۲۰۲۳ قهرمان ماراش، شکل ۱-۲۰- جابجائی چپگرد جاده و نرده‌های کناری آن در این عکس مشاهده می‌شود. این گسیختگی مرتبط با عملکرد گسل مسبب زلزله است. مختصات دقیق مکانی عکس ذکر نشده است.

ادامه، شکل ۱–۲۰– گسیختگی سطحی در زلزله‌های ۶–۲–۲۰۲۳ قهرمان ماراش، جابجائی از نوع کششی و گسیختگی در سطح جاده و دامنه‌های شیب دار ناشی از ارتعاش نیرومند زمین است، این تصاویر مرتبط با گسیختگی گسل مسبب زلزله نمی‌باشد. مختصات دقیق مکانی عکس ذکر نشده است.

ادامه، شکل ۱-۲۰- سنگ افت‌ها و شکستگی سنگ‌ها معرف اعمال نیروی ارتعاشی جنبش نیرومند زمین است. شواهدی دال بر امتداد گسل چپگرد مسبب زلزله در این عکس‌ها مشاهده نمی‌شود. مختصات طول و عرض جغرافیایی نقاط مشخص نیست.

ادامه شکل ۱-۲۰- جابجائی کلاسیک و نمایان چپگرد زمین در امتداد گسل مسبب زلزله قهرمان ماراش (زلزله‌های ۶-۲-۲۰۲۳)، این جابجائی تحت تأثیر و عملکرد گسل مسبب زلزله رخ داده است.

ادامه، شکل ۱–۲۰– گسیختگی کششی سطحی در زلزله‌های ۶–۲–۲۰۲۳ قهرمان ماراش، این گسیختگی اثر ارتعاشی نیرومند زلزله بر سطح خاک زمین شیب دار منطقه اثر زلزله را نشان می‌دهد. شکل و نوع جابجائی به طور مستقیم مرتبط با عملکرد گسل مسبب زلزله نیست. مختصات دقیق مکانی عکس ذکر نشده است.

ادامه، شکل ۱–۲۰– لغزش القائی سطح زمین و گسیختگی کششی زمین و یا احتمالاً فروریزش سطحی خطی در اثر جنبش نیرومند زمین. شکل و نوع جابجائی به طور مستقیم مرتبط با عملکرد گسل مسبب زلزله نیست. به نظر می‌رسد کشش در اثر لغزش القائی و یا فروریزش سطحی در اثر ارتعاش زمین در امتداد مسیری که دارای حفرات تونلی زیر سطحی بوده است. مختصات دقیق مکانی عکس ذکر نشده است.

ادامه، شکل ۱-۲۰- گسیختگی سطحی جاده، برآمدگی سطحی آسفالت جاده بصورت عمود بر آن معرف فشارشی بودن تنش وارده و گسیختگی اریب به نظر ناشی از اثر ارتعاشی زلزله است. حرکت چپگرد نمایانی در این عکس تشخیص داده نشد. مختصات دقیق مکانی عکس ذکر نشده است.

ادامه شکل ۱-۲۰- جابجائی چپگرد در حاشیه جاده معرف گسیختگی گسلی در این ناحیه در اثر رخداد زلزله پازارچیک قهرمان ماراش (زلزله ۶-۲-۲۰۲۳) است، مختصات مکانی دقیق نقطه مشخص نیست.

ادامه شکل ۱-۲۰- گسیختگی سطحی به نظر می‌رسد که از نوع کششی و معرف کشش ناشی از لغزش القائی دامنه باشد. هر چند که جاده پائین دست در عکس اثر جابجائی را نشان نمی‌دهد. در خصوص این عکس ضرورت بررسی بیشتر وجود دارد. مختصات مکانی دقیق نقطه مشخص نیست.

ادامه شکل ۱-۲۰- گسیختگی سطحی از نوع کششی عمود بر مسیر جاده همزمان با اثر چپگردی جابجائی زمین در خط وسط جاده معرف تأثیر جابجائی گسلی و ارتعاش نیرومند زمین در محدوده شیب دار امتداد جاده است. مختصات مکانی دقیق نقطه مشخص نیست.

ادامه شکل ۱-۲۰- جابجائی چپگرد در حاشیه جاده معرف و جدول کناری آن معرف گسیختگی گسلی در این ناحیه در اثر رخداد زلزله پازارچیک قهرمان ماراش (زلزله ۶-۲-۲۰۲۳) است، گسیختگی کناره‌های نوار سبز وسط جاده، مهم و شایان توجه است. مختصات مکانی دقیق نقطه مشخص نیست.

ادامه، شکل ۱-۲۰- گسیختگی کششی سطحی در زلزله‌های ۶-۲-۲۰۲۳ قهرمان ماراش، در امتداد جاده، افت قائم و کشش در سطح جاده و دامنه‌های شیب ناحیه، معرف وقوع این گسیختگی کششی در اثر لغزش القائی ناشی از جنبش نیرومند زمین در دامنه شیب دار است. شکل و نوع جابجائی به طور مستقیم مرتبط با عملکرد گسل مسبب زلزله نیست. مختصات دقیق مکانی عکس ذکر نشده است.

ادامه، شکل ۱-۲۰- اثر نمایان و کلاسیک چپگرد جابجائی زمین معرف مسیر عبور گسل مسبب زلزله از این ناحیه و در امتداد متقاطع با جاده است. این عکس یکی از عکس‌های معرف و شاخص حرکت چپگرد زمین در طرفین گسل است. مختصات دقیق مکانی عکس ذکر نشده است.

ادامه، شکل ۱-۲۰- اثر نمایان چپگرد جابجائی زمین معرف مسیر عبور گسل مسبب زلزله از مسیر ریل بصورت اریب و زاویه دار است. این عکس نیز یکی از عکس‌های معرف و شاخص حرکت چپگرد زمین در طرفین گسل است. مختصات دقیق مکانی عکس ذکر نشده است.

۱-۶- شدت برآورد شده زلزله‌های قهرمان ماراش (بزرگی ۷٫۷ پازارچیک و ۷٫۶ البیستان، ۲-۶-۲۰۲۳)

در محاسبه شدت بر مبنای روابط تجربی – آمار براساس کار ایمانی (مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی ۱۳۸۱) از روابط زیر برای شدت در نقطه رومرکز I و بزرگی Mw به جای Ms، شدت مرکالی اصلاح شده I برحسب MM و شعاع به کیلومتر R استفاه گردید. ضریب ناهمسانگردی شدت در امتداد طول گسل و عمود بر آن که با شدت زلزله نیز ارتباط دارد با نماد ρ داده شده است و مقدار آن معرف نسبت شدت در امتداد طول گسل مسبب نسبت بر عمود بر آن است. شبیه این پارامتر در مؤلفه‌های شتاب افقی، مؤلفه‌های نرمال و موازی با گسل استفاده می‌شود. لازم به ذکر است که روابط و نتایج حاصل از آن تقریبی و نیاز به برآوردهای میدانی شدت زلزله است.

$$\boldsymbol{M_s = 1.12 I_0^{\frac{5}{6}}}$$

$$I = M_s^{1.2} Log \frac{67}{\frac{R^{0.8}}{M_s} + 9}$$

R فاصله از گسلش سطحی بر حسب (Km) و Ms بزرگی سطحی، شدت مرکزی I_0، بر حسب I MM, شدت بر حسب MM می‌باشد. نسبت محور طولی به محور عرضی دایره بزرگتر از ۱ است (شکل بیضی است) که رابطه بین شعاع‌های بیضی در زیر آمده است:

$$\rho = \sqrt{۱ + ۰.۱I^۲}$$

که نسبت محور طولی (X) به محور عرضی (Y) و I شدت است.

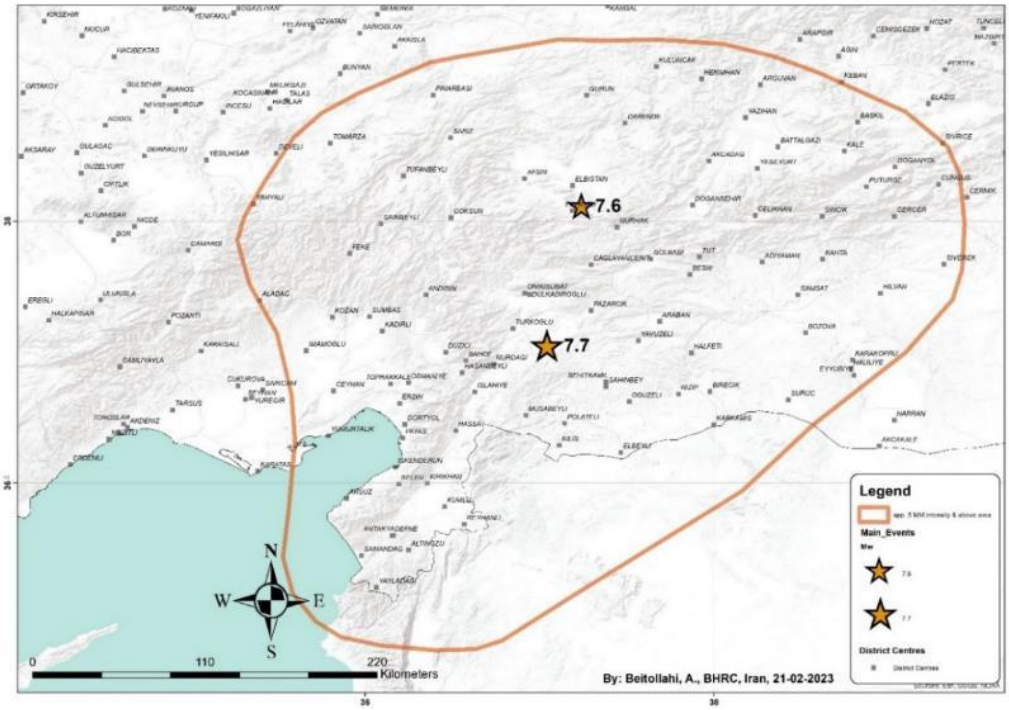
براساس روابط فوق برای دو زلزله ۷٫۷ و ۷٫۶ پازارچیک و البیستان قهرمان ماراش، محدوده شدت بدست آمد که ترکیب بیضوی‌های شدت به صورت شکل ۱-۲۱-a نشان داده شده است. محدوده شدت محسوس با درجه ۵ مرکالی اصلاح شده و فراتر از آن مساحتی حدود ۹۰ هزار کیلومتر مربع را در بر می‌گیرد که معرف وسعت اثر زلزله‌های رخ داده است.

بالاترین شدت محاسباتی برای زلزله رخ داده ۱۰ در واحد مرکالی اصلاح شده برآورد گردیده است که محدوده رومرکز زلزله ۷٫۷ را با مساحت تقریبی ۶۰ کیلومتر مربع در بر می‌گیرد. برمبنای رومرکز ارائه شده توسط AFAD، این منطقه مابین غازیان‌تپ و قهرمان ماراش واقع می‌گردد. محدوده‌های شدت ۹، ۸ و ۷ محدوده‌های با وسعت بیش از ۳۰۰۰، ۱۰،۰۰۰ و ۳۰،۰۰۰ کیلومتر مربع در اطراف رومرکزهای زلزله‌های ۷٫۷ و ۷٫۶ نواحی با حداکثر خرابی را دربر می‌گیرند. علاوه بر مقادیر شدت ارزیابی شده از روی روابط تجربی–آماری ضرورت دارد به این نکته نیز توجه شود که شدت زلزله علاوه بر بزرگی و فاصله، به شرایط ساختگاهی و پریود غالب و اثر جهت یافتگی نیز در این دو زلزله وابسته بوده است که در روابط تجربی – آماری لحاظ نشده است.

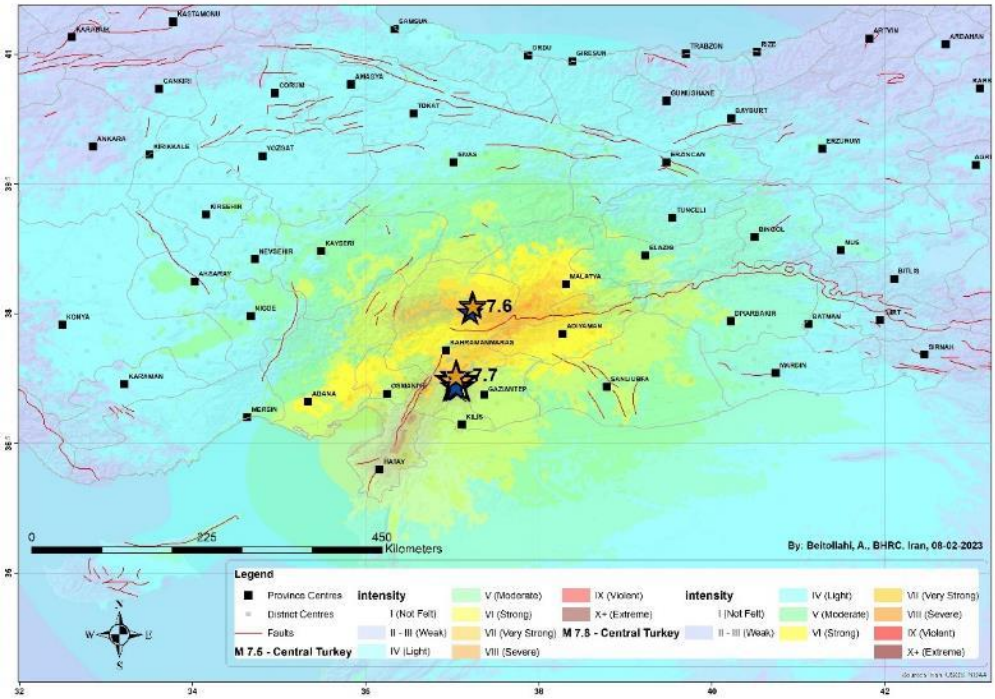
در شکل ۱-۲۱-b نقشه ترکیبی شدت دو زلزله ۷٫۷ و ۷٫۶ نشان داده شده است. محدوده مساحت شدت ۵ در این نقشه به مراتب بیشتر می‌باشد. این نقشه‌ها براساس روابط و با توجه به شرایط کلی زمین شناختی و ارتفاعی مناطق رخداد زلزله در سطح جهانی و به صورت اتوماتیک تهیه می‌شوند.

برآورد شدت از روی مقادیر شتاب‌های ثبت شده نیز مفهوم دقیقتری از اثر زلزله بر مستحدثات واقع در محدوده و مردم

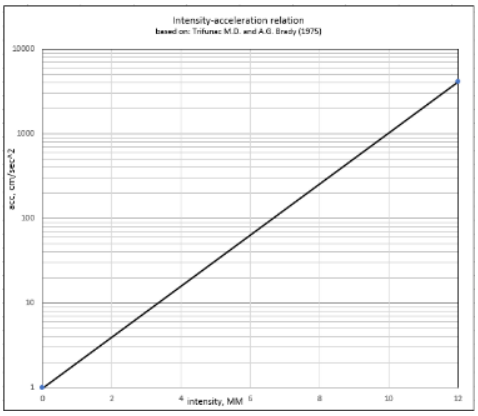
ساکن آن نشان خواهد داد. در این مورد علاوه بر بر میزان بیشینه شتاب که معمولاً به تنهائی برای محاسبه شدت زلزله استفاده می‌شود، ضرورت دارد به تعداد پالس‌های قوی، مدت دوام و محتوای فرکانسی سری زمانی شتاب‌های ثبت شده در ایستگاه‌های شتابنگاری مستقر در منطقه نیز توجه شود. در شکل ۱-۲۲ رابطه شتاب با شدت براساس دی و تریفونک (۱۹۷۵) آورده شده است. براساس رکوردهای شتابنگاشتی ثبت شده در زلزله‌های قهرمان ماراش که اعداد بالای g۱ نیز در آن ثبت شده، انتظار شدت بالاتر از ۱۰ هم در فواصل نزدیک به کانون می‌رود.



شکل ۱-۲۱- a: محدوده ترکیبی شدت ۵ و بالاتر از آن زلزله‌های ۷٫۷ و ۷٫۶ پازارچیک و البیستان قهرمان ماراش (رخداد ۶-۲-۲۰۲۳)



شکل ۱-۲۱- b: محدوده ترکیبی شدت ۵ و بالاتر از آن زلزله‌های ۷٫۷ و ۷٫۶ پازارچیک و البیستان قهرمان ماراش (رخداد ۶-۲-۲۰۲۳) براساس USGS

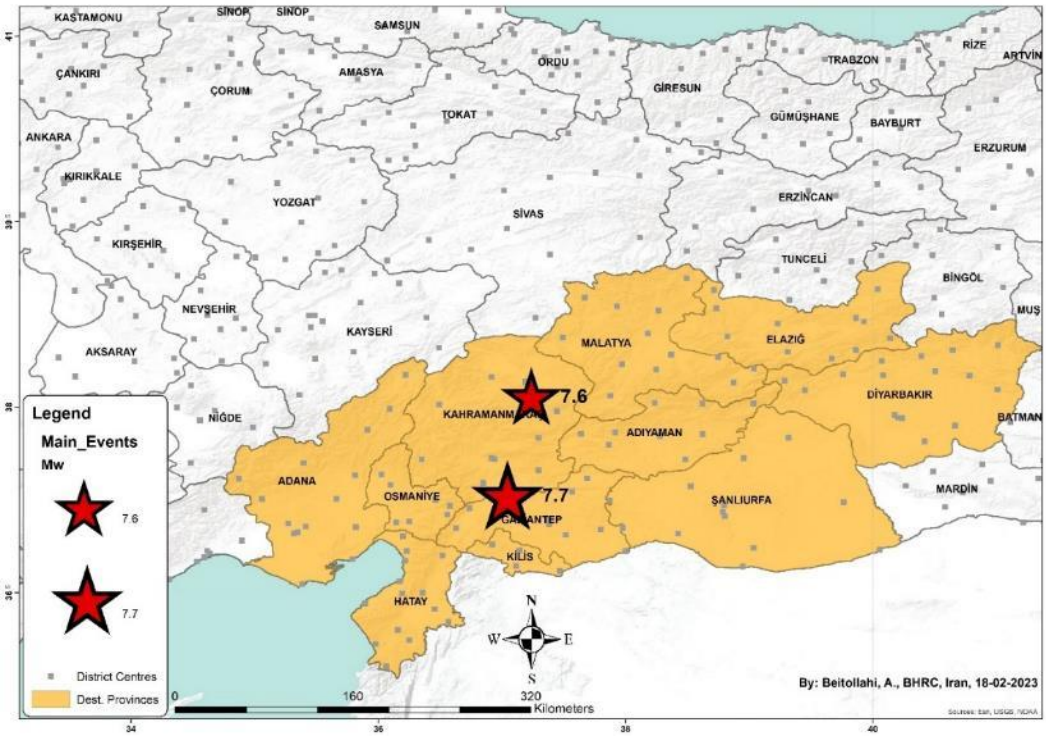


شکل ۱-۲۲ – رابطه شتاب (برمبنای گال) و شدت زلزله (برمبنای مرکالی اصلاح شده، دی-تریفونک ۱۹۷۵)

۱-۷- استان‌ها و مراکز شهری واقع در محدوده اثر زلزله‌ها

براساس تلفات جانی زلزله‌های قهرمان ماراش، ۱۱ استان تفکیک و در شکل ۱-۲۳ نشان داده شده است. در شکل ۱-۲۳ مرز استان‌های تفکیک شده و نشان داده شده است، بدیهی است که خسارت در استان‌های مختلف متفاوت بوده است و نیز در محدوده‌های هر استان نیز نسبت به مراکز جمعیتی واقع در آن و عواملی مانند نزدیکی و دوری به زلزله، خسارت و تلفات متغیر بوده است. براساس اطلاعات اعلام شده، تلفات جانی در استان‌های قهرمان ماراش، حاتای و غازیان تپه، عثمانیه و آدی یامان بیشتر بوده است.

در جدول ۱-۲ تعدادی از شهرهای نزدیک به رومرکزهای زلزله‌های ۷٫۷ پازارچیک و ۷٫۶ البیستان آورده شده است. براساس اعلام مراجع رسمی ترکیه، در تعدادی از شهرهای دور، مانند شهرها و مراکز جمعیتی ساحلی و یا شهرها و روستاهایی که کیفیت ساختمانی پائینی داشته‌اند، خسارت و تلفات جانی گزارش شده است. همچنین در برخی موارد نیز اثر خاک نرم و ساختگاه موجب بزرگنمائی و تخریب و خسارت بیشتر گردیده است.



شکل ۱-۲۳- ۱۱ استان آسیب دیده با تلفات جانی

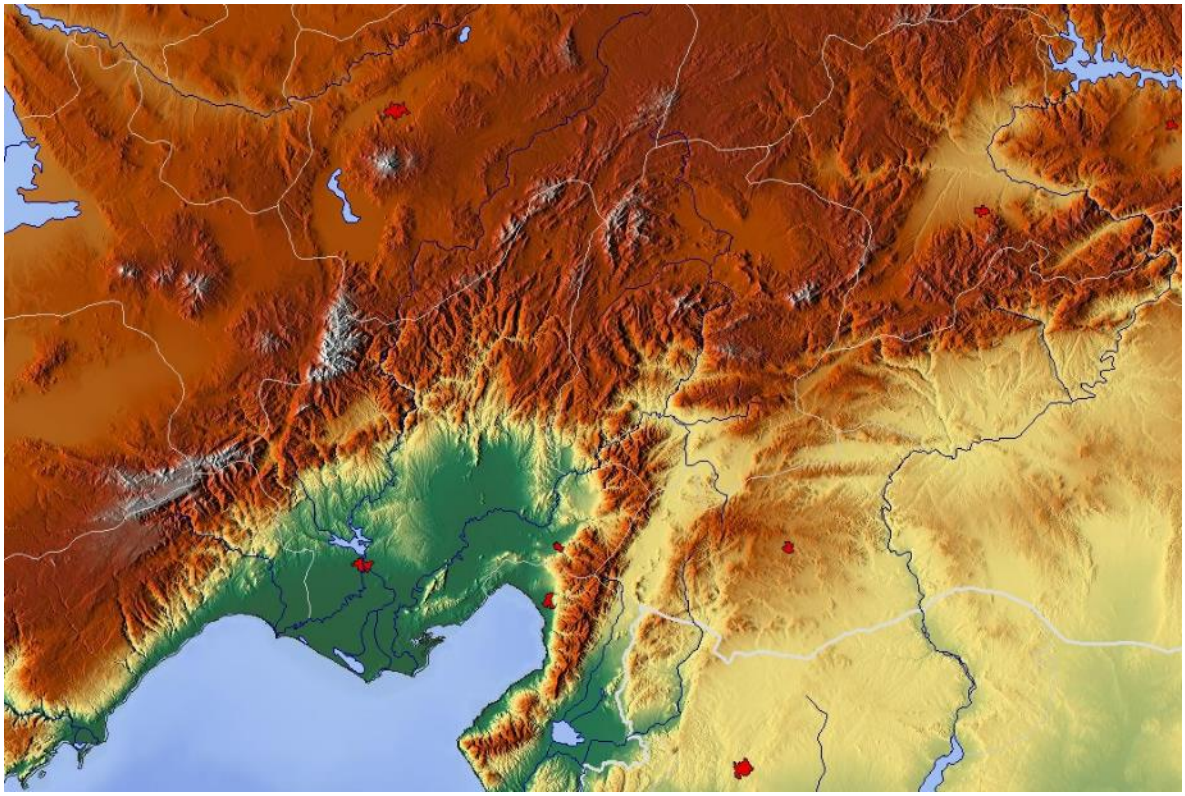
جدول ۱-۲- فواصل تقریبی مستقیم شهرهای نزدیک به رومرکزهای زلزله‌های ۷٫۷ و ۷٫۶ قهرمان ماراش

admin1Name	admin2Name	Dis. 7.6Erq.
KAHRAMANMARAS	EKINOZU	7
KAHRAMANMARAS	ELBISTAN	14
KAHRAMANMARAS	NURHAK	26
KAHRAMANMARAS	CAGLAYANCERIT	38
KAHRAMANMARAS	AFSIN	40
ADIYAMAN	GOLBASI	55
MALATYA	DARENDE	59
KAHRAMANMARAS	DULKADIROGLU	65
KAHRAMANMARAS	ONIKISUBAT	66
KAHRAMANMARAS	PAZARCIK	66

Provinc	City	Dis. 7.7Erq. Epi.
KAHRAMANMARAS	TURKOGLU	24
KAHRAMANMARAS	DULKADIROGLU	34
KAHRAMANMARAS	PAZARCIK	36
GAZIANTEP	NURDAGI	36
KAHRAMANMARAS	ONIKISUBAT	36
GAZIANTEP	SEHITKAMIL	44
GAZIANTEP	SAHINBEY	45
KILIS	MUSABEYLI	46
KILIS	POLATELI	50
OSMANIYE	BAHCE	52
GAZIANTEP	ISLAHIYE	54
OSMANIYE	HASANBEYLI	56
GAZIANTEP	YAVUZELI	58
KAHRAMANMARAS	CAGLAYANCERIT	58
GAZIANTEP	OGUZELI	63
KILIS	KILIS	63
OSMANIYE	DUZICI	64
GAZIANTEP	ARABAN	73
HATAY	HASSA	79

۱-۸- شرایط جغرافیائی محدوده‌های رومرکزی زلزله‌های ۶-۲-۲۰۲۳ قهرمان ماراش ترکیه

در شکل ۱-۳ پروفیل ارتفاعی از منطقه نشان داده شد. در شکل ۱-۲۴ چهارگوشی از نقشه ارتفاعی محدوده نشان داده شده است. ناهمواری محسوس منطقه، شرایط ساحلی در جنوب و کوهستانی در شمال همراه با آبراهه و رلیف متغیر محدوده، خصوصیت عمده جغرافیایی منطقه است. در چنین شرایط متغیر جغرافیائی، رفتار متفاوت انتشار امواج لرزه، اثر ساختگاه، روانگرائی، گسیختگی‌های کششی، زمین لغزش‌ها و سنگ افت‌ها را می‌توان انتظار داشت که این امر به ویژه در زمان رخداد زلزله‌های سترگی مانند زلزله‌های پازارچیک و البیستان به صورت گسترده موجب افزایش خسارت می‌شود. در شکل ۱-۲ در خصوص شرایط آب و هوائی منطقه نیز توضیح داده شد که دمای متغیر و سردسیری با توجه به بیرون ماندن مردم منطقه و ترس از پسلرزه ها و ریزش ساختمان، مشکلات بیشتری را در مدیریت بحران حادثه ایجاد می‌کند.



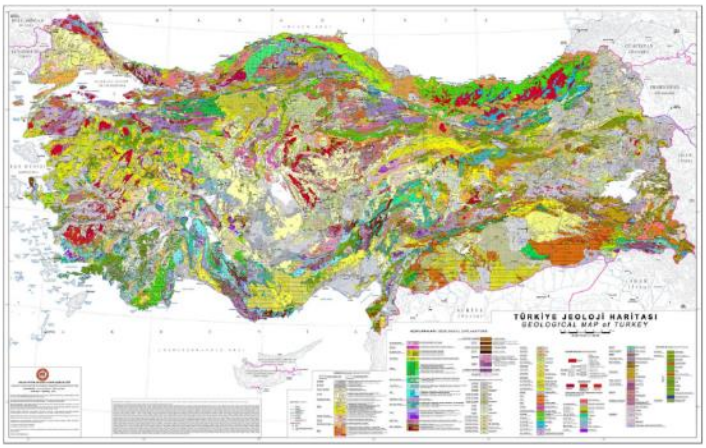
شکل ۱-۲۴- نمائی از ناهمواری سطحی در محدوده رخداد زلزله و اطراف آن

۱-۹- کلیاتی از زمین شناسی، تکتونیک و لرزه‌خیزی ناحیه رومرکزی و اطراف

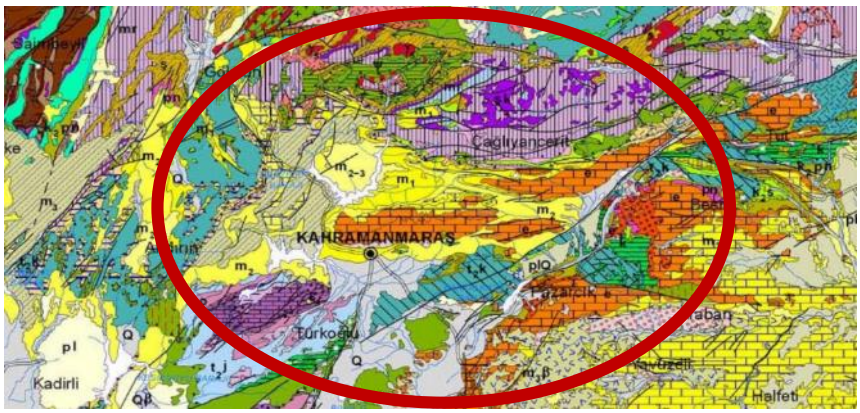
در شکل ۱-۲۵ نقشه زمین‌شناسی کشور ترکیه نشان داده شده است. در شکل ۱-۲۶ زمین‌شناسی محدوده رومرکزی زلزله از نمایی نزدیکتر نشان داده شده است. همانطوری که در شکل ۱-۲۶ مشاهده می‌شود، لیتولوژی متنوعی در اطراف منطقه رومرکز زلزله‌های قهرمان ماراش وجود دارد. در قسمت‌های غربی قهرمان ماراش سنگ آهک‌های نریتیک (m۲)، تشکیلات مربوط به سنگ‌های آواری، سنگ‌های کربناته قابل مشاهده است.

در قسمت‌های جنوبی قهرمان ماراش، آبرفت‌های تفکیک نشده کواترنری (Q)، سنگ آهک، شیل و مارن، سنگ آهک پلاژیک، چرت، رادیولاریت و سنگ‌های آواری (صفحات افیولیتی در بعضی جاها)، سنگ‌های کربناته و آواری، تشکیلات مربوط به سنگ‌های بازیک و اولترابازیک تفکیک نشده (of) به رنگ سبز و سنگ‌آهک نرتیک (t_2j) به رنگ آبی قابل مشاهده است. در قسمت‌های شمالی قهرمان ماراش، سنگ‌آهک نرتیک به رنگ نارنجی و شیل، مارن و سنگ‌آهک به رنگ زرد و سنگ‌های آواری قاره‌ای، مرمر و شیست در برخی جاها قابل مشاهده است.

تشکیلات بخش شرقی قهرمان ماراش شامل سنگ آهک نرتیک، سنگ آهک، شیل و مارن، سنگ‌های آواری قاره‌ای تفکیک نشده، آبرفت‌های کواترنری تفکیک نشده و سنگ آهک پلاژیک، رادیولاریت، چرت و سنگ‌های آواری (صفحات افیولیتی در برخی جاها) می‌باشد.



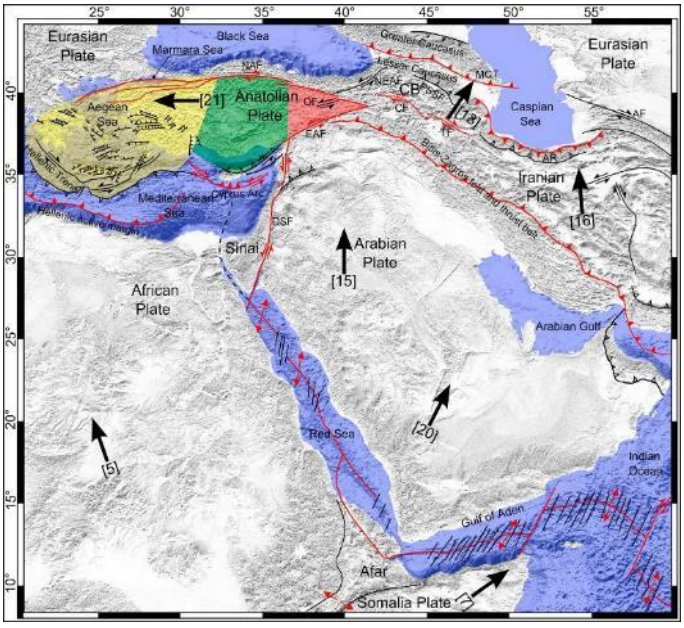
شکل ۱-۲۵-نقشه زمین شناسی کشور ترکیهhttps://www.mindat.org/photo-۱۱۸۷۵۷۳.html



شکل ۱-۲۶-نقشه زمین شناسی منطقه رومرکزی زلزله و اطراف آن از نمائی نزدیک https://www.mindat.org/photo-۱۱۸۷۵۷۳.html

- **تکتونیک فلات آناتولی**

چارچوب تکتونیکی فلات آناتولی در نتیجه همگرایی شمالی- جنوبی صفحات تکتونیکی عربی و اوراسیا در شرق این فلات و فرورانش لیتوسفر اقیانوسی صفحه آفریقا در جنوب آن شکل گرفته است. برخورد صفحات عربی و اوراسیا در نتیجه باز شدن دریای سرخ بوده و از حدود ۱۲ میلیون سال قبل یعنی میوسن شروع شده و تا به امروز ادامه دارد. محل اصلی این برخورد کمربند تراستی بیتلیس – زاگرس می‌باشد که از شرق فلات آناتولی تا جنوب ایران امتداد یافته است. فرورانش صفحه تکتونیکی آفریقا از میوسن پیشین شروع شده و همچنان ادامه دارد. بخشی از این فرورانش در امتداد کمان هلنیک – قبرس از دریای اژه در غرب تا جزیره قبرس در شرق دریای مدیترانه واقع شده و در شکل‌گیری تکتونیک فلات آناتولی تأثیرگذار می‌باشد (شکل ۱-۲۷).

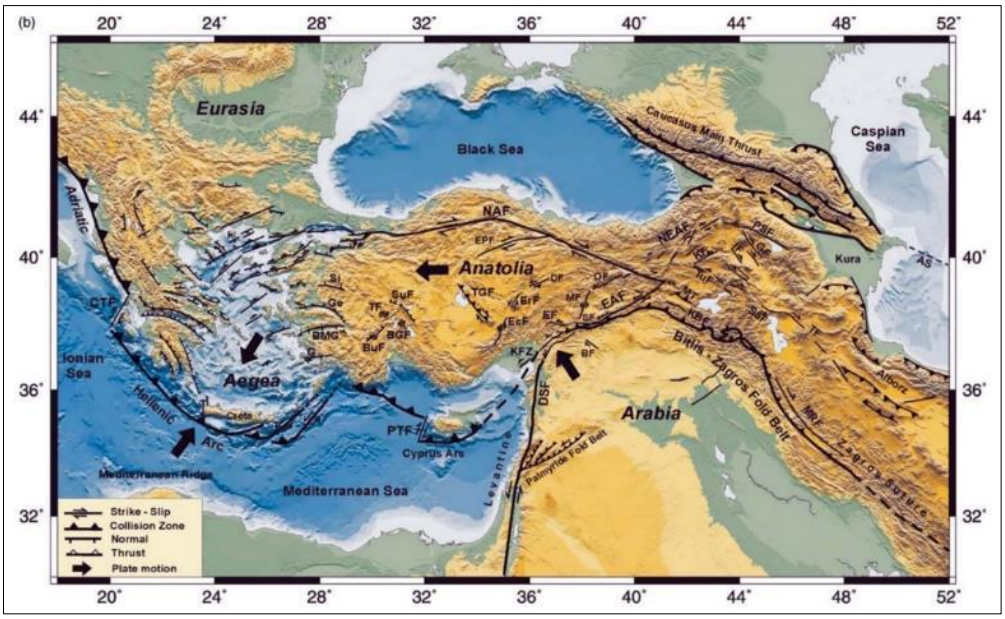


شکل ۱-۲۷- فلات آناتولی و صفحات تکتونیکی پیرامون آن (Fraser et al., ۲۰۱۰)

برخورد قاره – قاره صفحات عربی و اورسیا و فرورانش صفحه اقیانوسی آفریقا موجب شکل‌گیری ساختارهای تکتونیکی مختلفی شده که مهمترین آن سامانه‌های گسلی شمال و شرق آناتولی، کمربندهای چین و راندگی و همچنین یک سری ساختارهای کششی و گسل‌های نرمال می‌باشد که این ساختارهای کششی بیشتر در غرب فلات آناتولی و در سمت دریای اژه واقع شده‌اند (شکل ۱-۲۸).

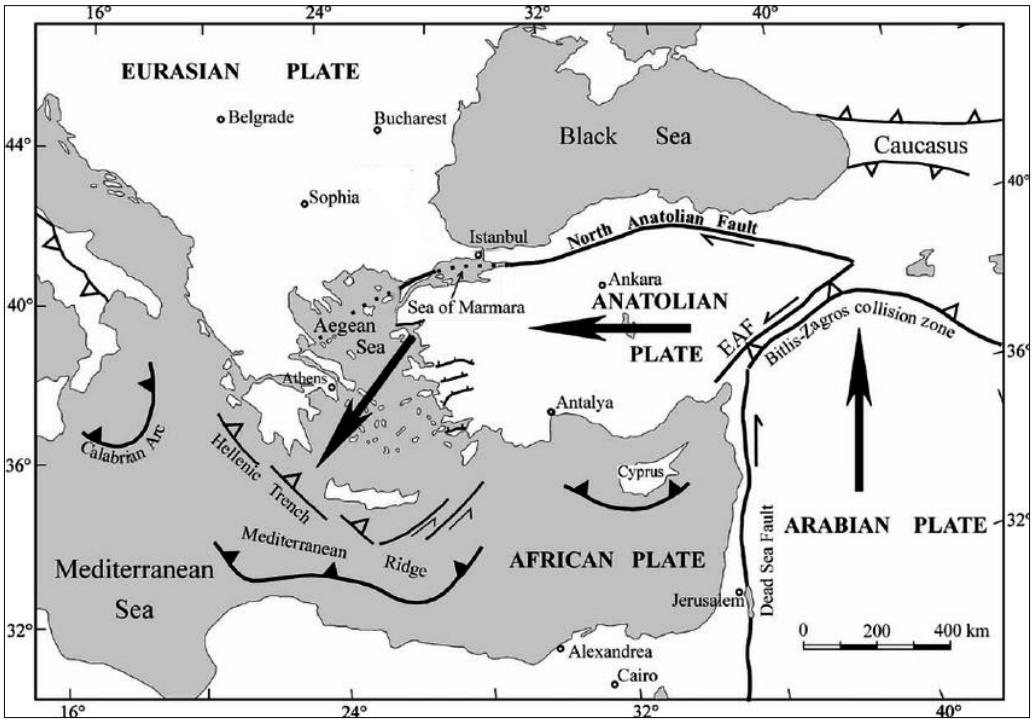
گسل شمال آناتولی با درازای حدود ۱۵۰۰ کیلومتر و سازوکار امتداد لغز راستگرد و گسل شرق آناتولی با درازای حدود ۵۵۰ کیلومتر و سازوکار امتداد لغز چپگرد از مهمترین ساختارهای تکتونیکی فعال در ترکیه بوده و از گذشته تاکنون موجب رخداد زمین‌لرزه‌های ویرانگر زیادی شده‌اند (Gokkaya, ۲۰۱۶). برخورد صفحات عربی و اوراسیا و حرکت راستگرد گسل شمال آناتولی و حرکت چپگرد گسل شرق آناتولی موجب شده تا فلات آناتولی به دلیل ایجاد تکتونیک فرار[۱] () به سمت غرب حرکت کند (شکل ۱-۲۹).

[۱] Escape tectonic

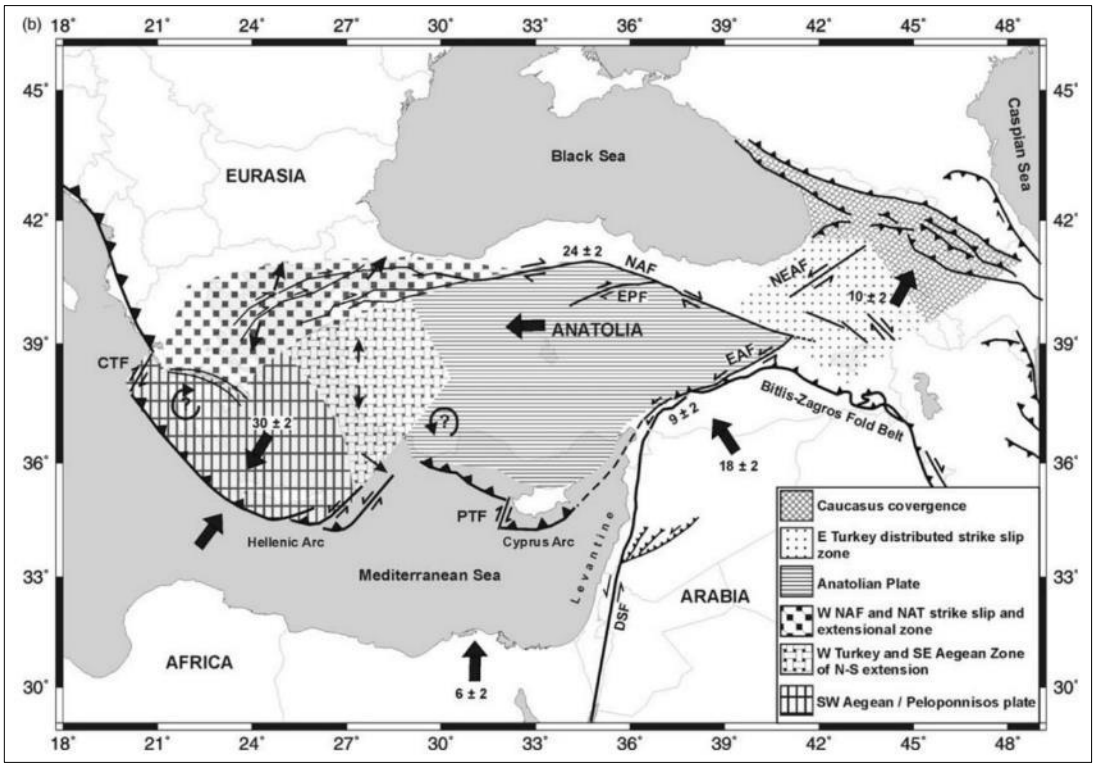


شکل ۱–۲۸– ساختارهای تکتونیکی فلات آناتولی و پیرامون آن (Taymaz et al., ۲۰۰۷)

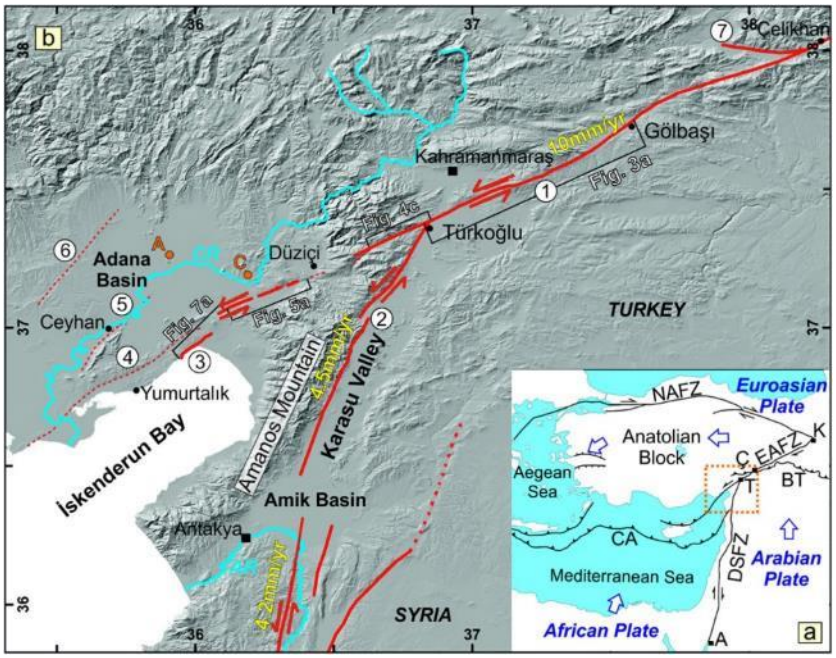
نرخ حرکت در امتداد گسل آناتولی شمالی حدود ۲۴ میلی‌متر در سال و در امتداد گسل آناتولی شرقی حدود ۱۰ میلی‌متر در سال است که نشان دهنده فعالیت بالای این سامانه‌های گسلی می‌باشد (شکل ۱–۳۰). توجه شود که این نرخ‌ها در تمام طول چند صد کیلومتری گسل‌ها یکسان نبوده و قطعات گسلی با سرعت‌های متفاوتی در حال لغزش هستند. این موضوع تأثیر مستقیمی بر روی توان لرزه‌خیزی سگمنت‌های گسلی دارد. در شکل ۱–۳۱ تفاوت نرخ لغزش قطعات مختلف گسل شرق آناتولی نمایش داده شده است.



شکل ۱–۲۹– تکتونیک فرار و حرکت صفحه آناتولی به سمت غرب

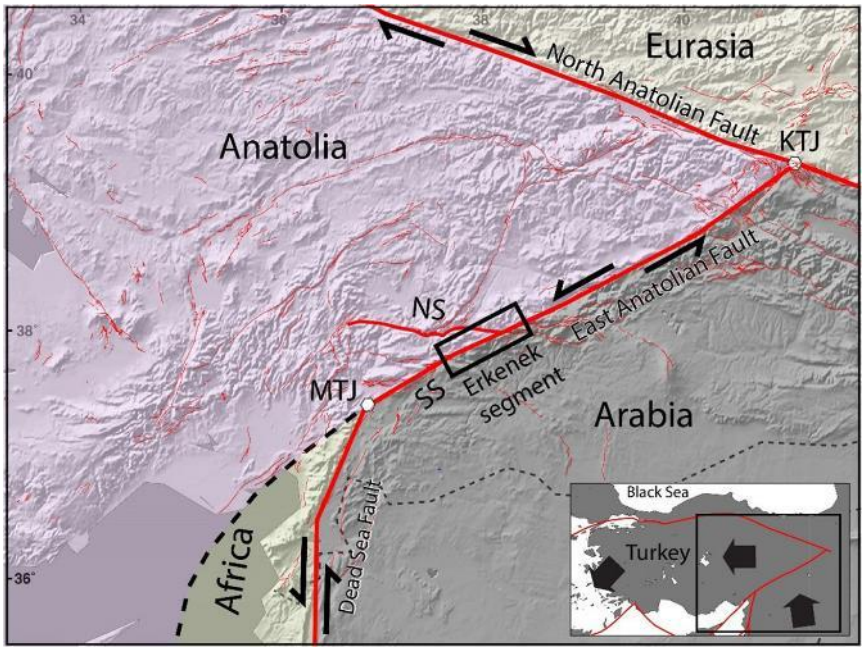


شکل ۱-۳۰- نرخ حرکت صفحات تکتونیکی و گسل‌های شمال و شرق آناتولی (Taymaz et al., ۲۰۰۷)



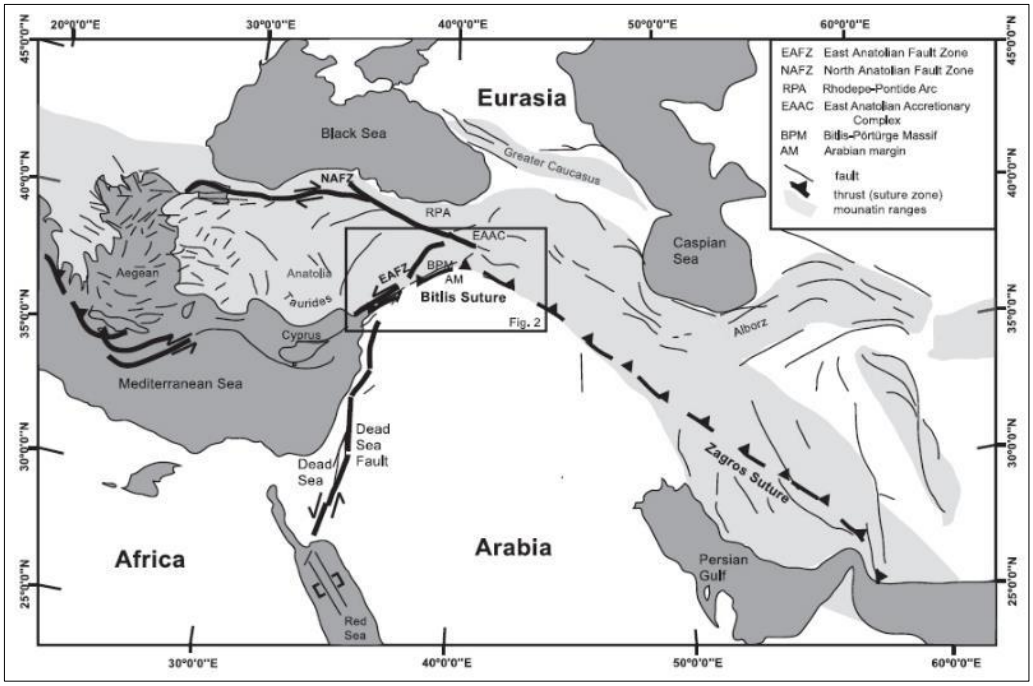
شکل ۱-۳۱- نرخ لغزش در قطعات پایانه‌های جنوب غربی گسل شرق آناتولی (Yonlu et al., ۲۰۱۷)

گسل‌های شمال آناتولی و شرق آناتولی تشکیل دهنده مرزهای شمالی و شرقی فلات یا همان میکروپلیت آناتـولی می‌باشند. گسل شمال آناتولی در مرز بین فلات آناتولی و پلیت اوراسیا و گسل شرق آناتولی در مرز بین این فلات با پلیت عربی واقع شده است (شکل ۱-۳۲).

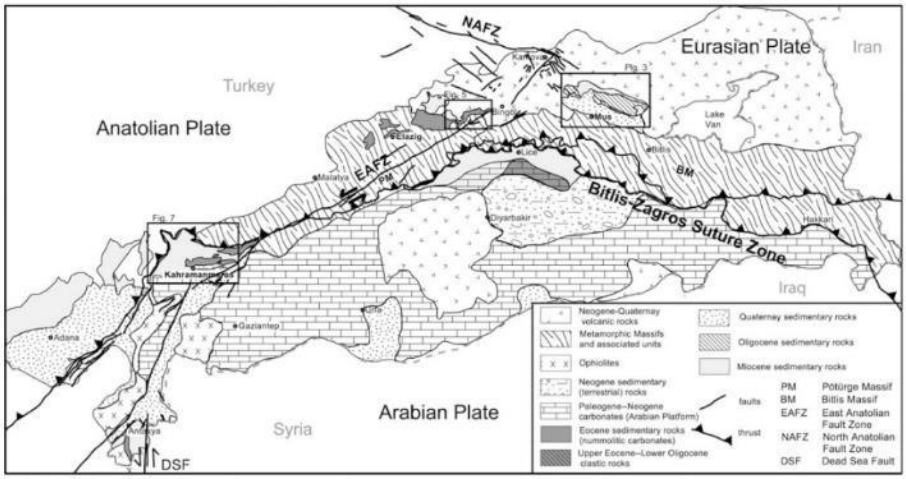


شکل ۱-۳۲- مرزهای گسلی فلات آناتولی در شمال و شرق (Khalifa et al., ۲۰۲۰)

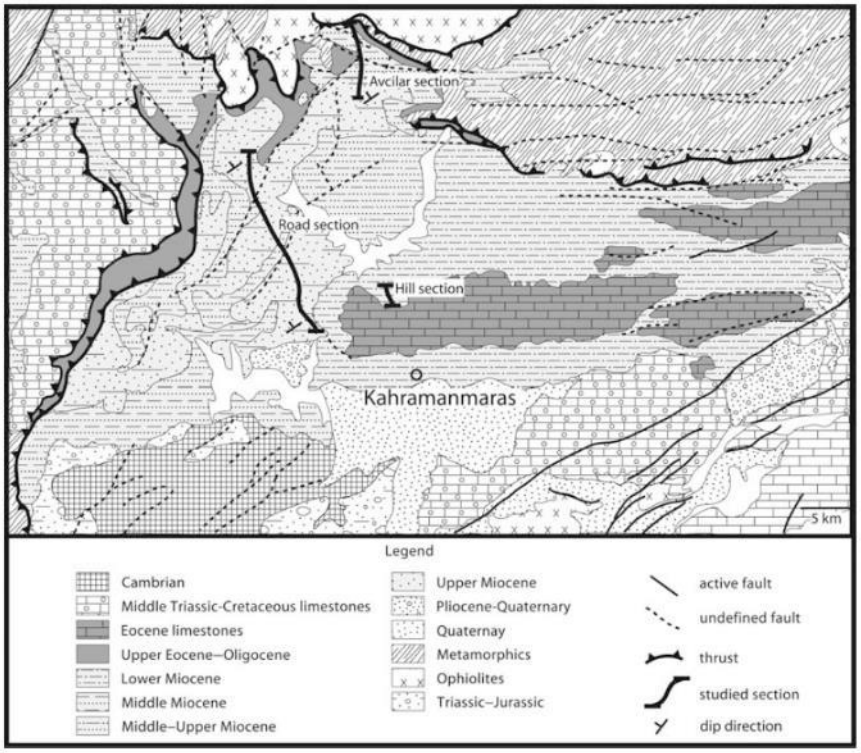
در بیشتر نقشه‌ها گسل شرق آناتولی در مرز بین صفحه عربی و فلات آناتولی ترسیم شده است. با این وجود توجه شود که فلات آناتولی خود بخشی از صفحه اوراسیا است و مرز بین صفحه عربی و اورسیا همان کمربند چین و راندگی یا در اصل زمین درز بیتلیس – زاگرس (Bitlis-Zagros Suture Zone) می‌باشد (شکل ۱-۳۳). در واقع زمین درز بیتلیس – زاگرس از نزدیکی محل تقاطع گسل‌های شمال و شرق آناتولی، دچار خمش شده و از اینجا به بعد تطابق خوبی با گسل شرق آناتولی پیدا کرده است (شکل‌های ۱-۳۴ تا ۱-۳۶).



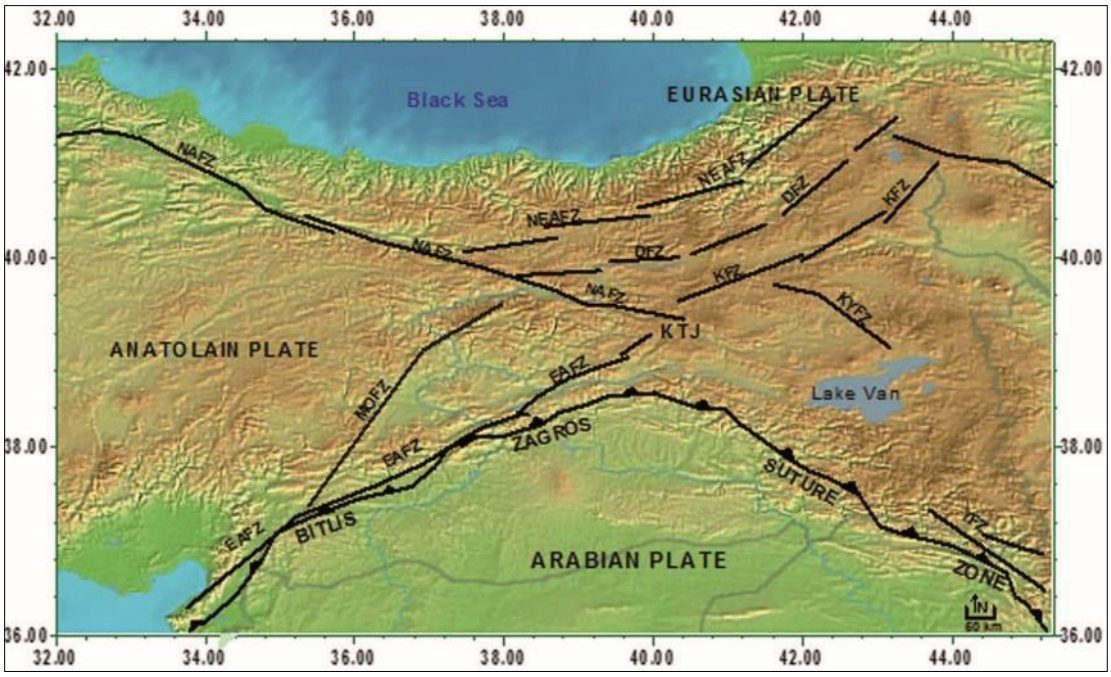
شکل ۱-۳۳- زمین درز بیتلیس – زاگرس در مرز صفحات تکتونیکی عربی و اوراسیا (Hüsing et al., ۲۰۰۹)



شکل ۱-۳۴- خمش زمین درز بیتلیس – زاگرس در نزدیکی محل تقاطع گسل‌های شمال و شرق آناتولی. توجه شود که از اینجا به بعد این مرز راندگی تطابق خوبی با گسل شرق آناتولی پیدا کرده به طوری که در محدوده شهر قهرمان ماراش در غرب آن قرار گرفته است. موقعیت این شکل با مستطیل در شکل قبلی مشخص شده است (Hüsing et al., ۲۰۰۹).



شکل ۱-۳۵- محل قرارگیری راندگی‌های بیتلیس – زاگرس در غرب شهر قهرمان ماراش و شاخه‌های گسل شرق آناتولی در شرق این شهر. موقعیت این شکل با مستطیل در شکل قبلی مشخص شده است (Hüsing et al., ۲۰۰۹).



شکل ۱-۳۶- خمش زمین درز بیتلیس – زاگرس در نزدیکی محل تقاطع گسل‌های شمال و شرق آناتولی. توجه شود که از اینجا به بعد این مرز راندگی تطابق خوبی با گسل شرق آناتولی پیدا کرده است (Aydın, ۲۰۱۶).

به طور کلی و خلاصه از دیدگاه تکتونیکی، ترکیه روی سگمنت مدیترانه از کمربند کوهزایی آلپ-هیمالیا قرار دارد. کوه‌های آلپ از برخورد صفحات آفریقا و هند با اروسیا در شمال تشکیل شده است. برخورد صفحات هند و آسیا، کوهزایی هیمالیا را سبب شده است. کمربند کوهزایی آلپ-هیمالیا لرزه‌خیزی ناهمگنی دارد که اساساً در امتداد لبه صفحات متمرکزشده است. تکتونیک منطقه مدیترانه صفحات اوراسیا، عربستان و آفریقا را تحت تأثیر قرار می‌دهد (McKenzie,۱۹۷۰). بخش شرقی مدیترانه پیچیده‌تر است و فعالیت لرزه‌ای مضاعفی دارد که دلیل آن حرکات سریع صفحات کوچک است (Chorowicz et al. ۲۰۰۵; McKenzie ۱۹۷۲; Alptekin ۱۹۷۳; Dewey and S¸eng€or ۱۹۷۹; Erdik et al. ۱۹۸۵; Westaway ۲۰۰۳; Cabalar ۲۰۰۶, ۲۰۰۸).

دوره نئوتتیس در ترکیه با تقلیل[۲] شاخه جنوبی اقیانوس نئوتتیس با امتداد شرقی-غربی در شمال صفحه آفریقا-عربستان در امتداد کمربند زمین‌درز بیتلیس- زاگرس در شرقی‌ترین بخش و برخورد قاره به قاره صفحه آناتولی و عربی در اواخر دوره میوسن میانی در ۱۲ میلیون سال قبل شروع شده است,. (Koçyiğit ۱۹۸۴; Şengör and Yılmaz, ۱۹۸۱; Bozkurt, ۲۰۰۱). بعد از این برخورد آناتولی شرقی فشرده و ضخیم شد. این ضخیم شدگی به حدی رسید که نمی‌توانست توسط پوسته قاره‌ای جبران شود.

این حرکت سپس با تشکیل زون گسلی آناتولی شمالی و زون گسلی آناتولی شرقی جبران شد[۳] و این آغاز دوره نئوتکتونیک در ترکیه بود (Koçyiğit, ۱۹۸۴) و حرکت صفحه آناتولی در طول و امتداد زون گسلی آناتولی شمالی و زون گسلی آناتولی شرقی (شکل ۱-۳۷) توسعه یافت. در نتیجه برخورد بین صفحات اوراسیا و عربستان، کمربند زمین درز زاگرس تشکیل

[۲] depletion
[۳] compensated

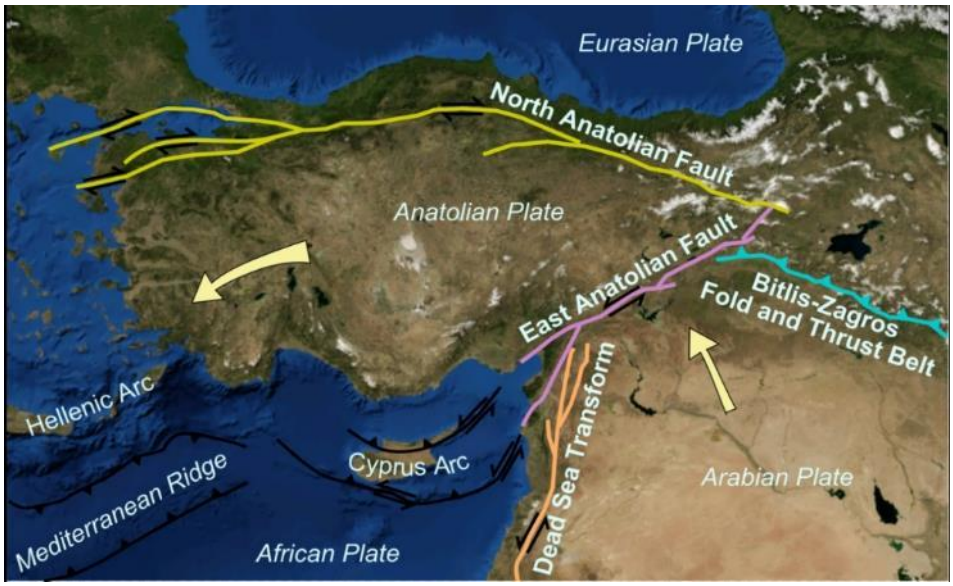
شد. در نتیجه فرورانش صفحه آفریقا در زیر بلوک آناتولی در غرب، قوس هلنیک و قبرس ایجاد شد (McKenzie, ۱۹۷۰ and ۱۹۷۲; Şengör and Yılmaz, ۱۹۸۱; Dewey et al., ۱۹۸۶).

مرز بین صفحه اوراسیا و بلوک آناتولی توسط زون گسلی شمال آناتولی و مرز بین صفحه عربستان و آفریقا توسط زون گسلی بحرالمیت مشخص می‌شود. حرکت بین صفحه آفریقا و آناتولی توسط قوس هلنیک و قبرس جبران می‌شود. همگرایی بین صفحه آناتولی و عربستان توسط حرکات امتدادلغزچپ گرد جبران می‌شود که در امتداد زون گسلی آناتولی شرقی تشکیل می‌شود. (McKenzie, ۱۹۷۲; Harch et al., ۱۹۸۱; Şengör and Yılmaz, ۱۹۸۱; Şengör et al., ۱۹۸۵; Parlak, ۲۰۰۴)

ساختارهای مهم زمین‌شناسی در ناحیه قهرمان ماراش مشاهده می‌شود که یک ناحیه مهم است که در این ناحیه، کمربند کوهزایی تاروس[۴] و صفحه عربستان به هم متصل[۵] شده‌اند (Yalçın etal, ۲۰۲۲). به خاطر ساختارهای پیچیده، Gül, (۲۰۰۰)این ناحیه را به عنوان کمربند کوهزایی و کمربند صفحه عربستان نامید و واحدهای متعلق به اینها را به دو کمربند به صورت زیرکمربند تقسیم کرد.

همانطور که عنوان شد، قهرمان ماراش در کمربند زمین‌درزی که صفحات آناتولی و عربستان برخورد می‌کند، قرار دارد. بنابراین قهرمان ماراش تکامل ژئودینامیکی خیلی پیچیده‌ای دارد و مجموعه‌های سنگی و تراس‌های تغییر شکل یافته بسیاری در محیط‌های مختلف در دوره پالئوزوئیک تا حال حاضر وجود دارد (Palutoglu and A. Sasmaz,۲۰۱۷).

حوضه قهرمان ماراش که توسط تغییر شکل‌های سطحی با منشأ تکتونیکی در دوره‌های کواترنر و هولوسن ایجاد شده است، در جنوب ناحیه توده بیتلیس–پوتورگه در نزدیکی اتصال سه‌گانه صفحات عربی، آفریقایی و آناتولی قرار دارد ۲۰۰۹(. Husing etal؛ Akil and Ecemis,۲۰۱۱).



شکل ۱–۳۷–نقشه عوارض مهم تکتونیکی ترکیه و اطراف آن

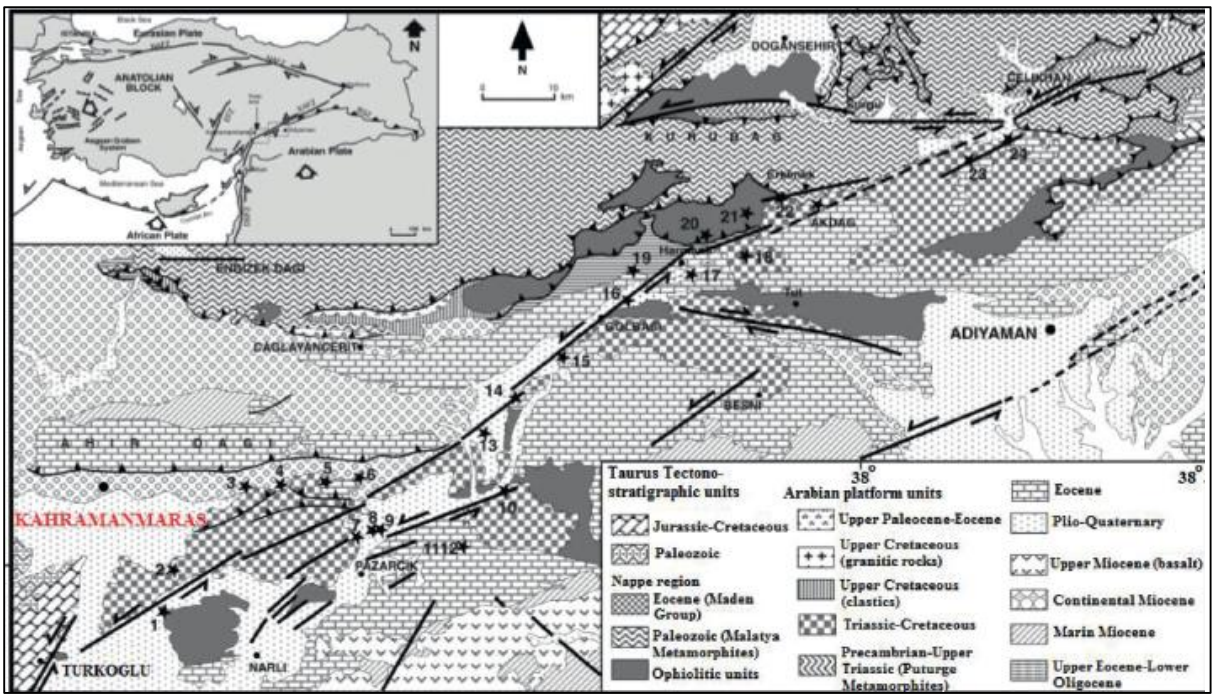
[۴] Taurus
[۵] Suture

با توجه به برخورد صفحات عربی و اوراسیا بر روی زمین درز بیتلیس، حوضه در نهایت توسط رسوبات آبرفتی سنگین و توالی فلیش توربیدیتی متراکم پر شده است (Sengor and Yilmaz,۱۹۸۱ Perincek and Kozlu,۱۹۸۴; Karig and Kozlu,۱۹۹۰; Yilmaz,۱۹۹۳)، در این حوضه، سازند Alacik بر روی واحدهای قدیمی‌تر با تماس غیرقابل تطبیق که با پایه کنگلومرا شروع می‌شود، پوشانده شده است (Gul etal.,۲۰۰۵). در شمال، سازند خواص سنگ‌شناسی متفاوتی را نشان می‌دهد که شامل مارن، سنگ آهک رسی، تناوب باند زغال سنگ و سنگ رسی است.

آبرفت‌های با سن کواترنری مواد غالب در حوضه است که متشکل از گراول خاکستری تا خاکستری روشن، ماسه و سیلت که بافت نرم دارد که در جهت عمودی و افقی ته نشین شده‌اند. ضخامت آبرفت در منطقه تا ۳۰۰ متر افزایش داشته است که می‌تواند سبب افزایش شدت زلزله تا ۲ و ۳ درجه شود(Biricik and Korkmaz,۲۰۰۱) (شکل ۱–۳۸).

برخورد صفحات عربستان و اوراسیا در امتداد زون زمین‌درز بیتلیس در سال‌های طولانی سبب شده است یک فرورفتگی در جلوی صفحات تراستی ایجاد شود و در نتیجه آن رسوبات آبرفتی ضخیمی در آنجا ته‌نشین شود (Sengor and Yilmaz ۱۹۸۱; Karig and Kozlu ۱۹۹۰; Yilmaz ۱۹۹۳; H€using et al. ۲۰۰۹) .

بنابراین قهرمان ماراش یک صفحه آبرفتی تکتونیکی است که مرزهای آن تحت کنترل خطوط گسلی هستند. طول دشت یا صفحه قهرمان ماراش که بین کوه‌های سیمن و اهیر قرار دارد، ۴۰ کیلومتر است و عرض آن از شمال تا جنوب حدود ۲۰ کیلومتر است. بر اساس نظر برخی از محققان، (Karig and Kozlu ۱۹۹۰; Yilmaz ۱۹۹۳) حوضه قهرمان ماراش بخشی از حوضه‌ای است که از هاکاری در جنوب شرقی ترکیه تا آدانا در جنوب بخش مرکزی ترکیه کشیده شده است.



شکل ۱–۳۸–نقشه زمین شناسی منطقه قهرمان ماراش Yilmaz etal,۲۰۰۶

قهرمان ماراش و مناطق مجاور آن در منطقه تکتونیکی بسیار پیچیده‌ای قرار دارند تا جایی که بیان شده است که نقطه اتصال گسل‌ها که چارچوب زمین‌ساختی این منطقه را تشکیل می‌دهند، منطقه بین قهرمان ماراش و گلباشی است.

(McKenzie, ۱۹۷۲; Dewey et al., ۱۹۷۳; Jackson and McKenzie, ۱۹۸۴; Şengör et al., ۱۹۸۵; Gülen et al., ۱۹۸۷; Karig and Kozlu, ۱۹۹۰; Kempler and Grafunkel, ۱۹۹۱; Chorowicz et al., ۱۹۹۴).

این منطقه که به نام تقاطع سه گانه ماراش نامیده شده است گوشه شمال غربی صفحه عربستان و صفحات آفریقا–اوراسیا را پوشش می‌دهد که به طور همزمان تغییرشکل داده‌اند و شامل ویژگی‌هایی است که در زون برخوردی قاره دیده می‌شود (Gülen et al., ۱۹۸۷; Westaway, ۲۰۰۳) ادامه زون گسلی آناتولی شرقی بعد از قهرمان ماراش بحث برانگیز است. برخی تحقیقات تاکید می‌کنند که زون گسلی بعد از قهرمان ماراش به طرف آنتاکیا ادامه پیدا می‌کند و با زون گسلی بحرالمیت ادغام می‌شود (Allen, ۱۹۶۹; Arpat and Şaroğlu, ۱۹۷۵; Rotstein, ۱۹۸۴; Kelling et al., ۱۹۸۷; Şaroğlu et al., ۱۹۹۲b; Kiratzi, ۱۹۹۳; Rojay et al., ۲۰۰۰; Sezgin et al., ۲۰۰۲).

بهرحال، تحقیقات دیگر حاکی از آن است که زون گسلی به گسل یومارتالیک و سیپروس در جهت جنوب غرب بعد از قهرمان ماراش گسترش پیدا می‌کند (McKenzie, ۱۹۷۲; Dewey et al., ۱۹۷۳; Jackson and McKenzie, ۱۹۸۴; Gülen et al., ۱۹۸۷; Barka and Kadinsky-Cade, ۱۹۸۸; Karig and Kozlu, ۱۹۹۰; Kempler and Garfunkel, ۱۹۹۱; Westaway and Arger, ۱۹۹۶).

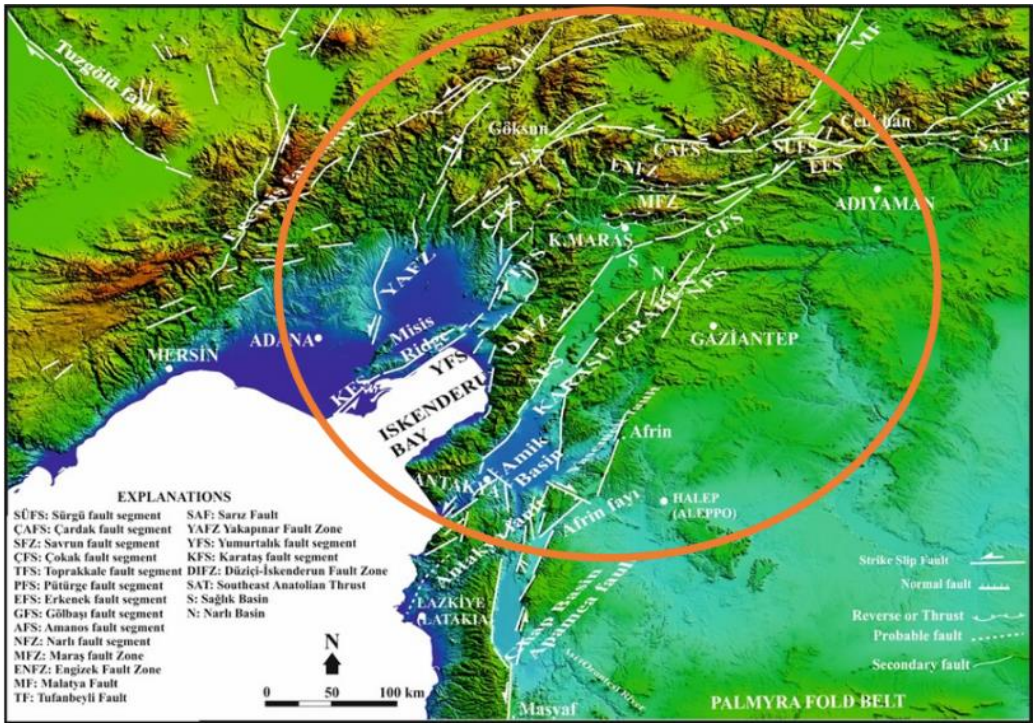
گروهی دیگر از محققان بر این باورند که زون گسلی در اطراف ترکوگلو تمام می‌شود (Lovelock, ۱۹۸۴; Chorowicz et al., ۱۹۹۴). زون گسلی آناتولی شرقی رودخانه اکسو را در شرق کوه‌های امانوس قطع می‌کند و شاخه شمالی زون گسلی بحرالمیت را تشکیل می‌دهد. برخی محققان اظهار داشتند که چنین گسلی وجود دارد اما سگمنت زون گسلی آناتولی شرقی نیست. آن‌ها معتقدند که این بخش مرز صفحه بین آناتولی و آفریقاست (Muehlberger and Gordon, ۱۹۸۷). منطقه با گسل‌های فعال زون گسلی آناتولی شرقی (سگمنت سورجو، ساورون، کارداک، توپراکال، کوکاک، امانوس و گل‌باشی)، زون گسلی قهرمان ماراش، زون گسلی انجیزکو سگمنت نارلی از گسل بحرالمیت احاطه شده است(Palutoglu and A. Sasmaz ,.۲۰۱۷).

ساختارهای مهم تکتونیکی در قهرمان ماراش و نواحی اطراف قابل مشاهده است (Allen, ۱۹۶۹; Arpat and Şaroğlu, ۱۹۷۵; Herece, ۲۰۰۸; Duman and Emre, ۲۰۱۳; Robertson et al., ۲۰۱۳) (شکل ۱–۳۹) و همچنین زلزله‌های بی شماری در ناحیه در دوره‌های تاریخی در امتداد گسل‌ها و سگمنت‌های همراه آنها رخ می‌دهند (Ergin, ۱۹۶۶; Soysal et al., ۱۹۸۱; Özmen, ۱۹۹۹). زون گسلی انجیزک با طول ۶۶ کیلومتر در شمال منطقه قرار دارد. زون گسلی قهرمان ماراش از شرق منطقه شروع می‌شود و از بخش شمالی شهر قهرمان ماراش عبور می‌کند و به سد کیلاویزلو می‌رسد (Emre etal,۲۰۱۲a,۲۰۱۲b). Yilmaz etal,۲۰۰۶ نشان دادند که سگمنت گل باشی–ترکوگلو زلزله‌های مخربی را تجربه کرده است (جدول ۱–۳).

جدول ۱–۲–زلزله‌های رخ داده در روی سگمنت گل باشی–ترکوگلو

Yilmaz,۲۰۰۶; Nalbant etal,۲۰۰۲; mbraseys۱۹۸۸; Ambraseys and. Jackson,۱۹۹۸

Date	Magnitude	Length of rupture (km)
29 November, 1114	$M = 7.8$	—
28 March, 1513	$M = 7.4$	103
2 March, 1893	$M = 7.1$	45
4 December, 1905	$M = 6.8$	38



شکل ۱-۳۹-نقشه تکتونیک رومرکز زلزله‌های قهرمان ماراش و اطراف آن(modified from Emre and Duman, ۲۰۱۳)

- **تعدادی از گسل‌های مهم پیرامون رومرکزهای زلزله‌های قهرمان ماراش (رخداد ۶-۲-۲۰۲۳)**

NFS: سگمنت گسلی نارلی

GFS: سگمنت گسلی گلباشی

AFS: سگمنت گسلی آمانوس

CFS: سگمنت گسلی گوکاک

KFS: سگمنت گسلی کاراتاش

YFS: سگمنت گسلی یومورتالیک

TFS: سگمنت گسلی توپراکال

EFS: سگمنت گسلی ارکنک

SUFS: سگمنت گسلی سورجی

CAFS: سگمنت گسلی چارداک

SFZ: سگمنت گسلی ساورون

PSF: سگمنت گسلی پوتورگ

MFZ: زون گسلی ماراش

ENFZ: زون گسلی اینجیزک

MF: گسل مالاتیا

TF: گسل توفانبیلی

SAF: گسل ساریز

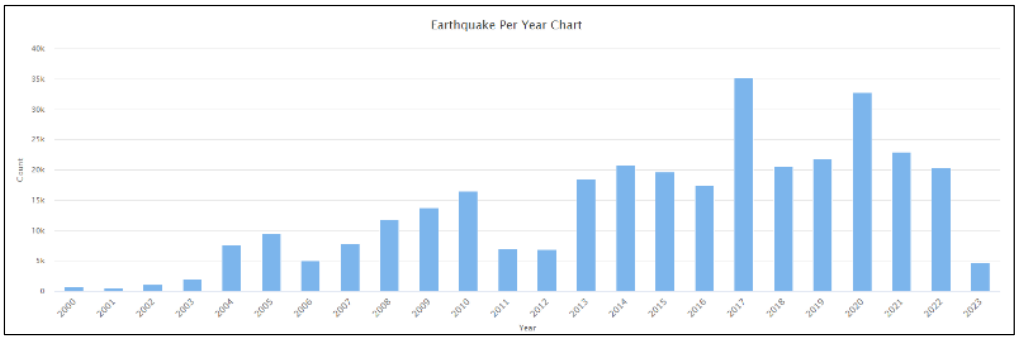
YAFZ: زون گسلی یاکاپینار

DIFZ: زون گسلی دزیچ-اسکندورن

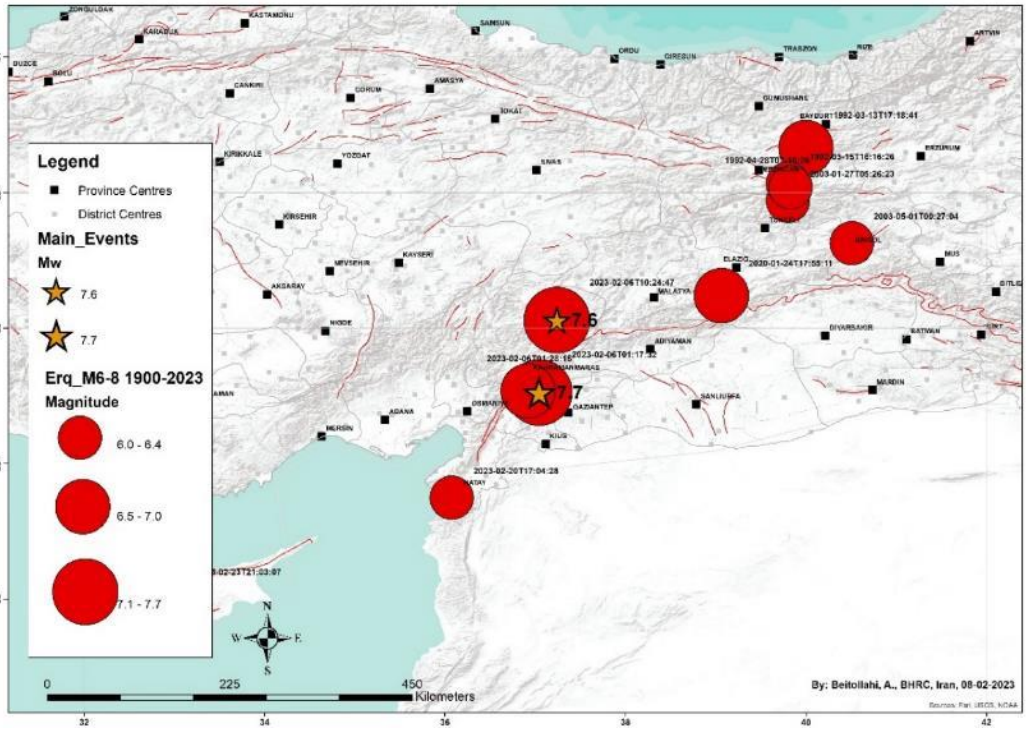
- **لرزه خیزی منطقه**

کشور ترکیه به دلیل موقعیت زمین شناختی و جغرافیائی خود، محدوده‌ای لرزه خیز است و در تاریخ این کشور، زلزله‌های ویرانگر متعددی رخ داده است. در شکل ۱-۴۰ نموداری از زلزله‌های رخ داده در کشور ترکیه نشان داده شده است (AFAD).

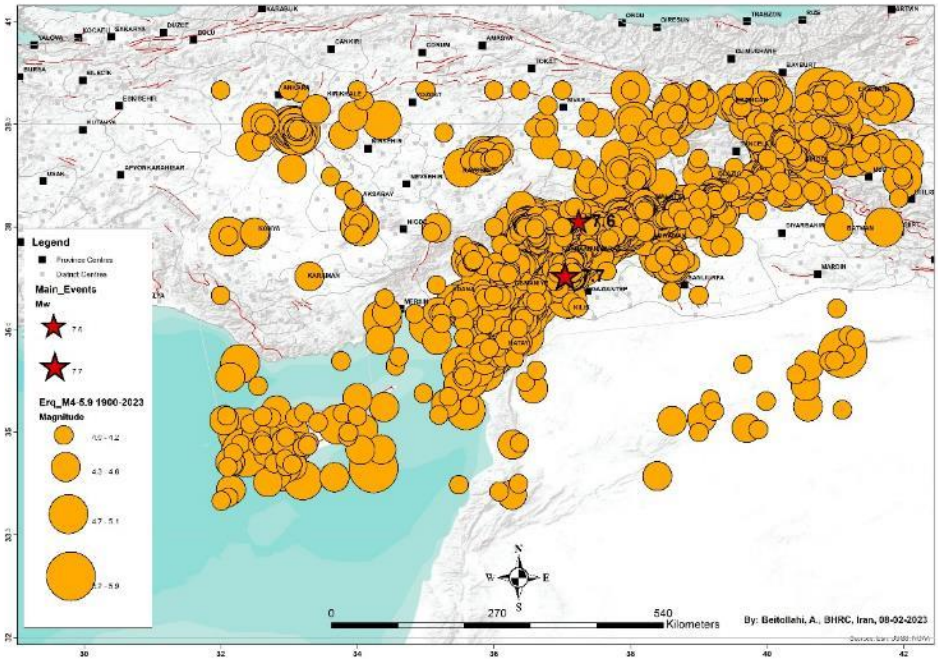
در شکل‌های ۱-۴۱ و ۱-۴۲ به ترتیب زلزله‌های با بزرگی ۶ تا ۸ و ۴-۶ دستگاهی (۱۹۰۰-۲۰۲۳) در چهارگوش اطراف رومرکز نشان داده شده است. عمده زلزله‌های رخ داده با امتداد گسل آناتولی شرقی و شمالی همخوانی دارند. شکل‌های ۱-۴۱ و ۱-۴۲ نشان می‌دهند که محدوده رومرکزی زلزله‌های ۷٫۷ پازارچیک و ۷٫۶ البیستان قهرمان ماراش، از نظر تکتونیکی فعال و لرزه زا هستند. در ۱۲۳ سال گذشته در چهارگوش نشان داده شده، ۱۲ زلزله با بزرگی ۶ و بزرگتر از آن و ۱۳۲۵ زلزله با بزرگی ۴ تا ۶ رخ داده است که ۱۲۵ رخداد از آن نیز بزرگی بین ۵-۶ را داشته است.



شکل ۱-۴۰- نمودار آماری رخداد سالیانه زلزله در کشور ترکیه (برگرفته از AFAD)



شکل ۱-۴۱- زلزله‌های با بزرگی ۶ و بالاتر در بازه ۱۹۰۰-۲۰۲۳ در محدوده اطراف رومرکزهای زلزله‌های قهرمان ماراش



شکل ۱-۴۲- زلزله‌های با بزرگی ۴ تا ۶ در بازه ۱۹۰۰-۲۰۲۳ در محدوده اطراف رومرکزهای زلزله‌های قهرمان ماراش

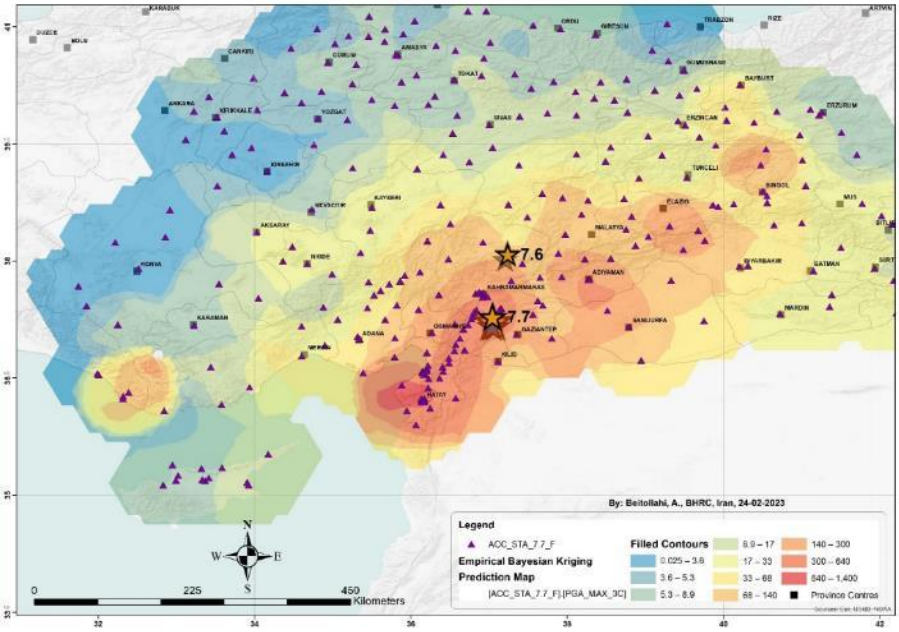
۲- مشخصات جنبش نیرومند زمین در زلزله‌های ۷٫۷ و ۷٫۶ قهرمان ماراش

بعد از رخداد زلزله‌های ویرانگر پازارچیک و البیستان، داده‌های جنبش نیرومند زمین در ایستگاه‌های متعددی ثبت گردید. تعداد ایستگاه‌های ثبت کننده زلزله ۷٫۷، بیش از ۲۹۰ ایستگاه و در زلزله ۷٫۶، تعداد ۲۶۵ رکورد ثبت گردیده است. رکوردهای پسلرزه های نیرومند رخ داده نیز در ایستگاه‌های مختلف ثبت شده است. بررسی کارشناسی و جزئی هرکدام از رکوردها، نیازمند زمان است. در این بخش به بخشی از نقشه‌ها، نمودارها و یافته‌های حاصل از این داده‌ها پرداخته می‌شود. **لازم به ذکر است که کلیه داده‌های این بخش برگرفته از سایت AFAD می‌باشد.** تعداد ۲۸۹ ایستگاه در زلزله ۷٫۷ پازارچیک فعال شده و رکورد ثبت کرده‌اند. براساس داده‌های آنها، نقشه‌ها و نمودارهای این بخش تهیه شده است که در ادامه آورده می‌شود.

۲-۱- نقشه‌های زلزله ۷٫۷ پازارچیک

- نقشه بیشینه شتاب (هر ۳ مؤلفه) زلزله ۷٫۷ پازارچیک، رخداد ۰۶-۰۲-۲۰۲۳ ساعت ۰۱:۱۷ به وقت محلی (شکل ۲-۱)

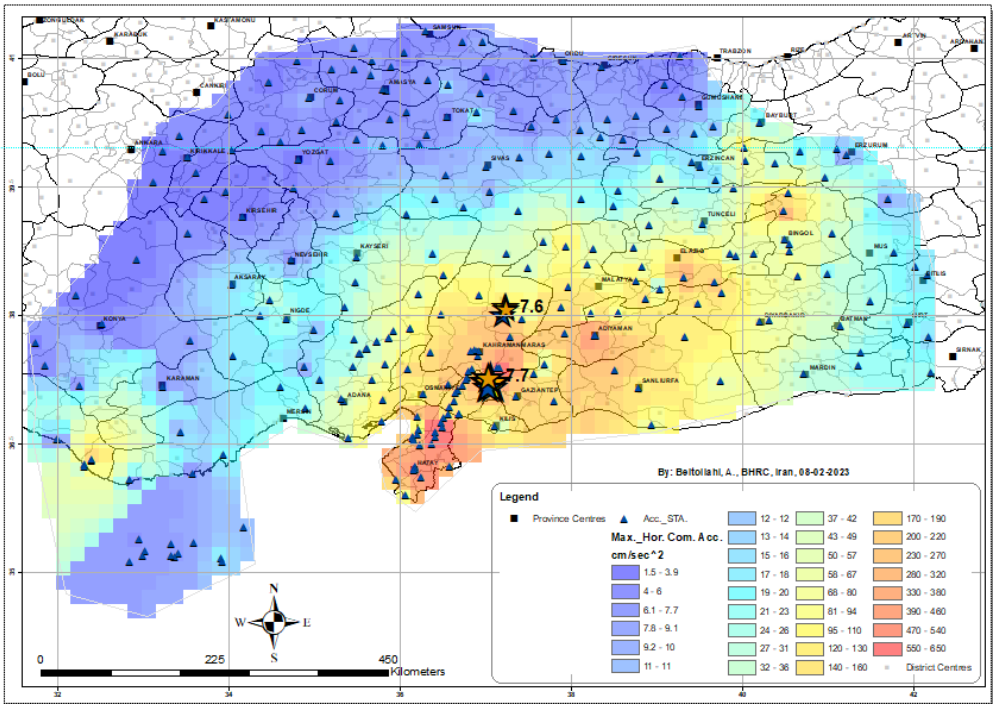
در شکل ۲-۱ نشان داده شده است که در ناحیه‌ای به طول ۲۵ کیلومتر از جنوب (سمت شهر حاتای) بخش شمال و شمال شرق شتاب زلزله بین ۲۰۰ تا ۱۴۰۰ سانتی متر بر مجذور ثانیه بوده که مقادیر بزرگی است. از محدوده قهرمان ماراش شکل پخش بیشینه شتاب به حالت مایل به سمت شمال شرق در می‌آید و از امتداد گسل آناتولی شرقی تبعیت می‌کند. شکل پخش پسلرزه های زلزله ۷٫۷ پازاچیک نیز روندی نظیر شکل توزیع بیشینه شتاب را دارد که با پسلرزه های زلزله البیستان نیز ترکیب و در محدوده قهرمان ماراش به سمت غرب نیز دچار کشیدگی می‌شود.



شکل ۲-۱- نقشه بیشینه شتاب ثبت شده در ایستگاه‌های شتابنگاشتی طیف قرمز مقادیر بزرگتر و طیف آبی مقادیر کمتر را (طبق مقیاس نقشه) نشان می‌دهند.

- نقشه بیشینه شتاب مؤلفه افقی (مؤلفه‌های NS یا EW در داده‌های AFAD) زلزله ۷٫۷ پازارچیک

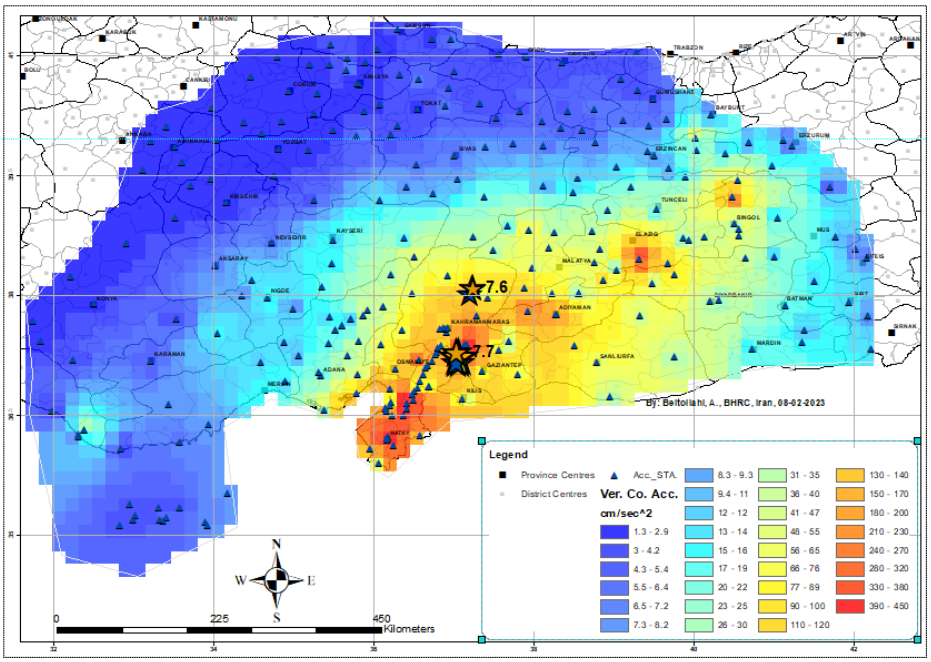
مؤلفه افقی شتاب زلزله، به دلیل عملکرد برشی آن نقش مهمی در بروز تخریب‌های ساختمانی دارد در شکل ۲-۲، توزیع بیشینه شتاب افقی (از دو مؤلفه افقی، مؤلفه با مقدار بالاتر انتخاب شده است). شکل پخش شتاب بیشینه معرف میزان محدوده تحت تأثیر زلزله ویرانگر ۷٫۷ پازارچیک (رخداد ۶-۲-۲۰۲۳ ساعت بوقت محلی ۰۱:۱۷) می‌باشد.



شکل ۲-۲- نقشه بیشینه شتاب مؤلفه افقی ثبت شده در ایستگاه‌های شتابنگاشتی

- نقشه بیشینه شتاب مؤلفه قائم زلزله ۷٫۷ پازارچیک (شکل ۲-۳)

در شکل ۲-۳ علاوه بر روند کلی شتاب قائم بیشینه، مشاهده می‌شود در برخی ایستگاه مقدار آن به طور محلی بالاتر رفته است. دلایل متعددی برای این پدیده می‌توان متصور شد که شرایط ساختگاهی ایستگاه که یکی از آن می‌باشد که نیازمند بررسی‌های تفصیلی‌تری است.

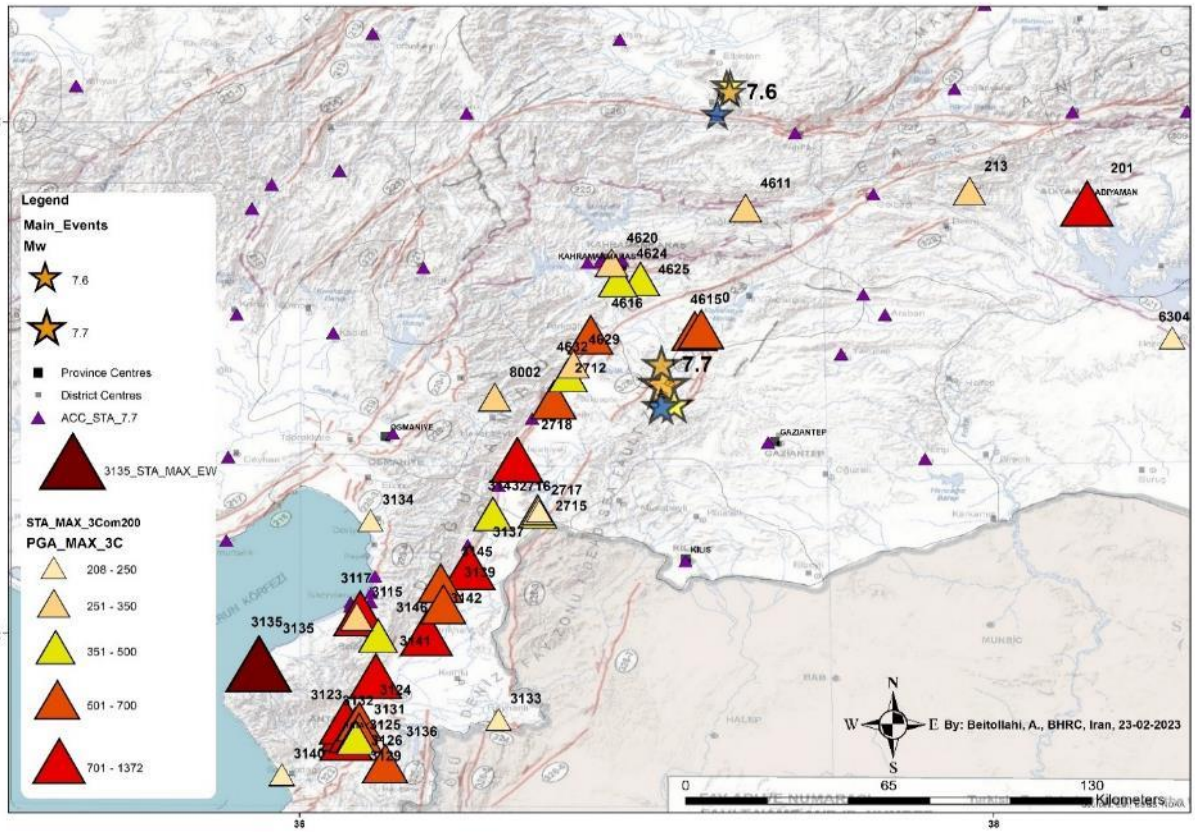


شکل ۲-۳- نقشه توزیع بیشینه شتاب قائم زلزله ۷٫۷ پازاچیک

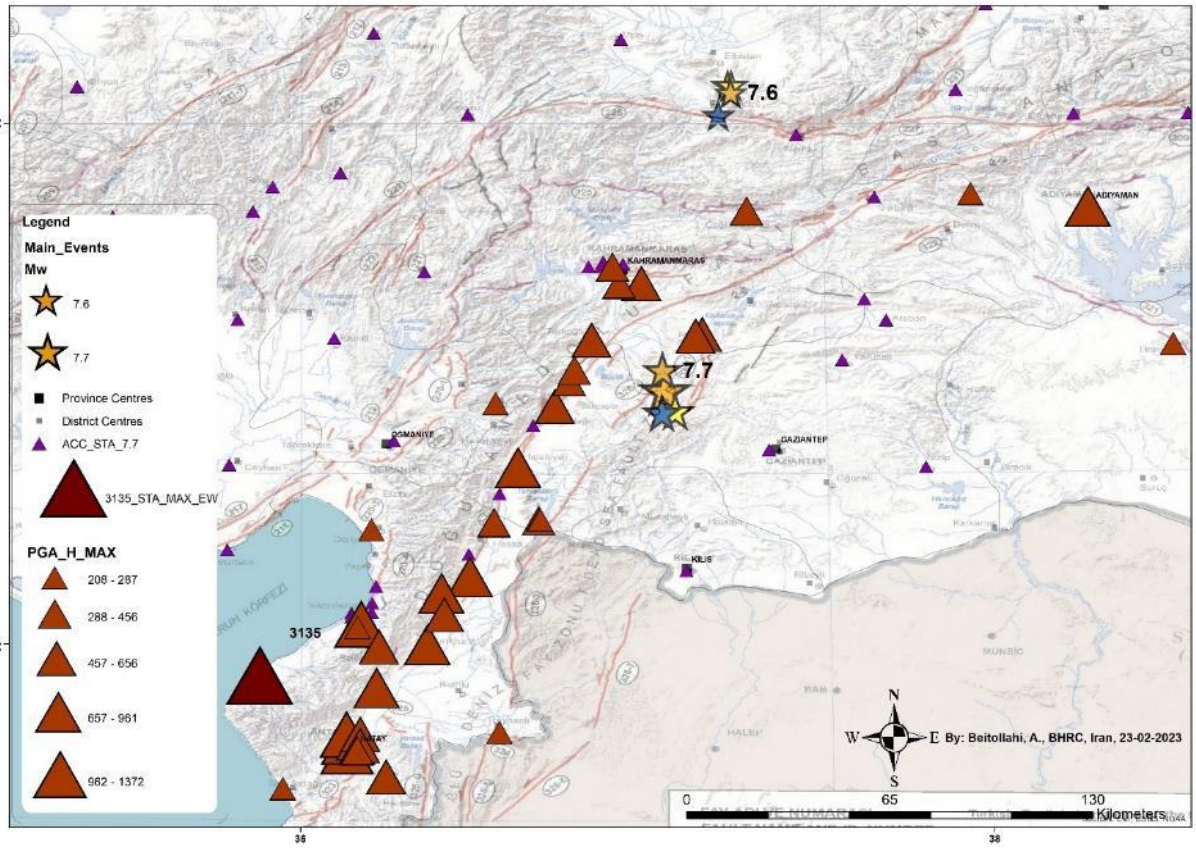
- **ایستگاه‌های ثبت کننده بیشینه شتاب (هر کدام از سه مؤلفه)**

در شکل‌های ۲-۴، ۲-۵ و ۲-۶ ایستگاه‌های ثبت کننده بیشینه مقادیر شتاب مشخص شده است. میزان شتاب ثبت شده

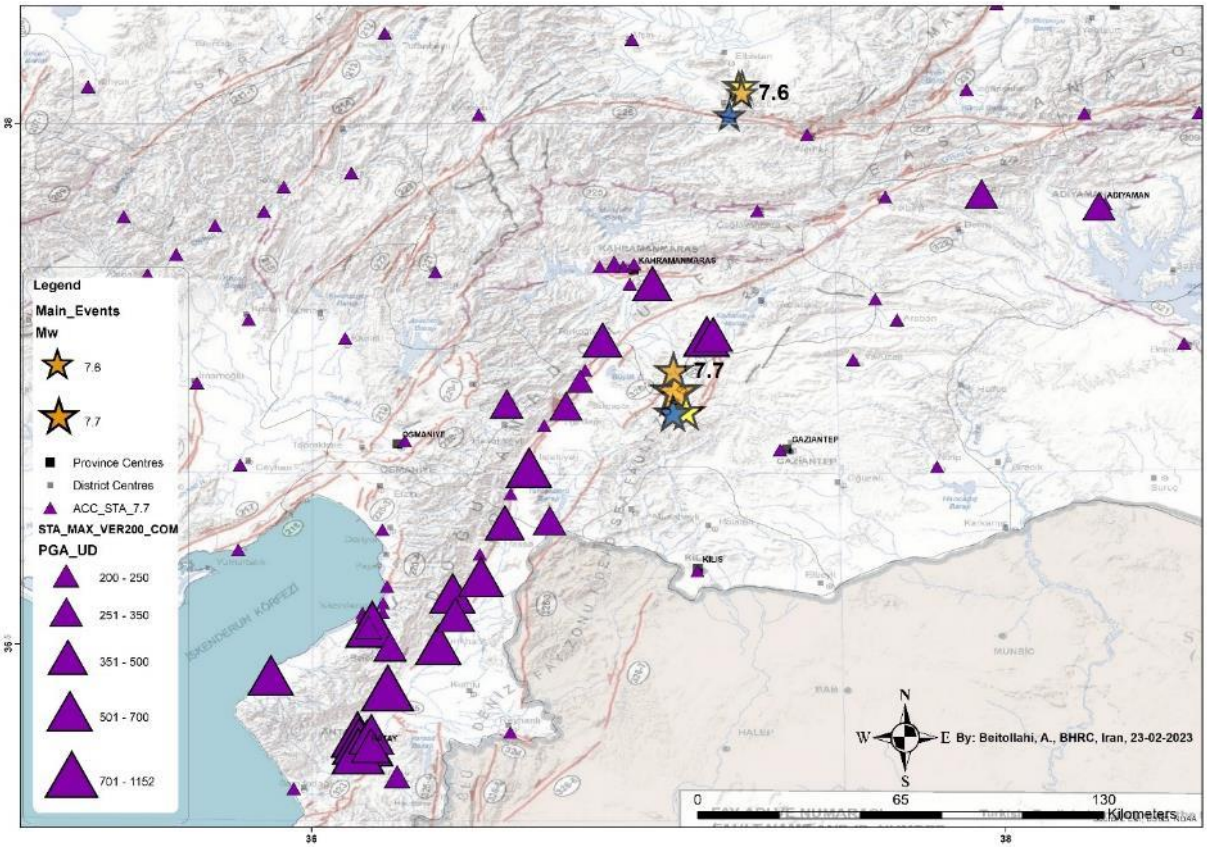
در این ایستگاه‌ها بیشتر از سایر نقاط بوده که معرف محدوده اثر شدیدتر زلزله می‌باشد.



شکل ۲-۴- ایستگاه‌های ثبت کننده شتاب بالای ۲۰۰ cm/sec^۲ در هر کدام از سه مؤلفه رکورد (کد ایستگاه‌ها مجاورت هرکدام از ایستگاه آورده شده است)



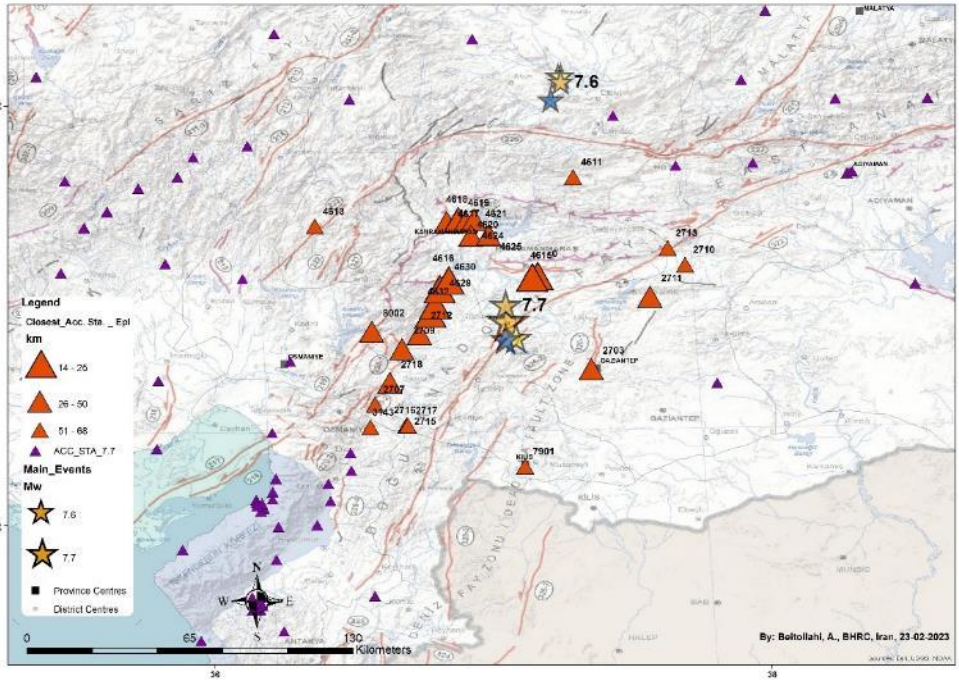
شکل ۲-۵- ایستگاه‌های ثبت کننده شتاب بالای ۲۰۰ cm/sec^۲ در مؤلفه‌های افقی



شکل ۲-۶- ایستگاه‌های ثبت کننده شتاب بالای ۲۰۰ cm/sec^۲ در مؤلفه قائم

- **ایستگاه‌های نزدیک به رومرکز زلزله ۷٫۷ پازاچیک (کمتر از ۷۰ کیلومتر فاصله مستقیم ایستگاه تا رومرکز) (شکل ۲-۷)**

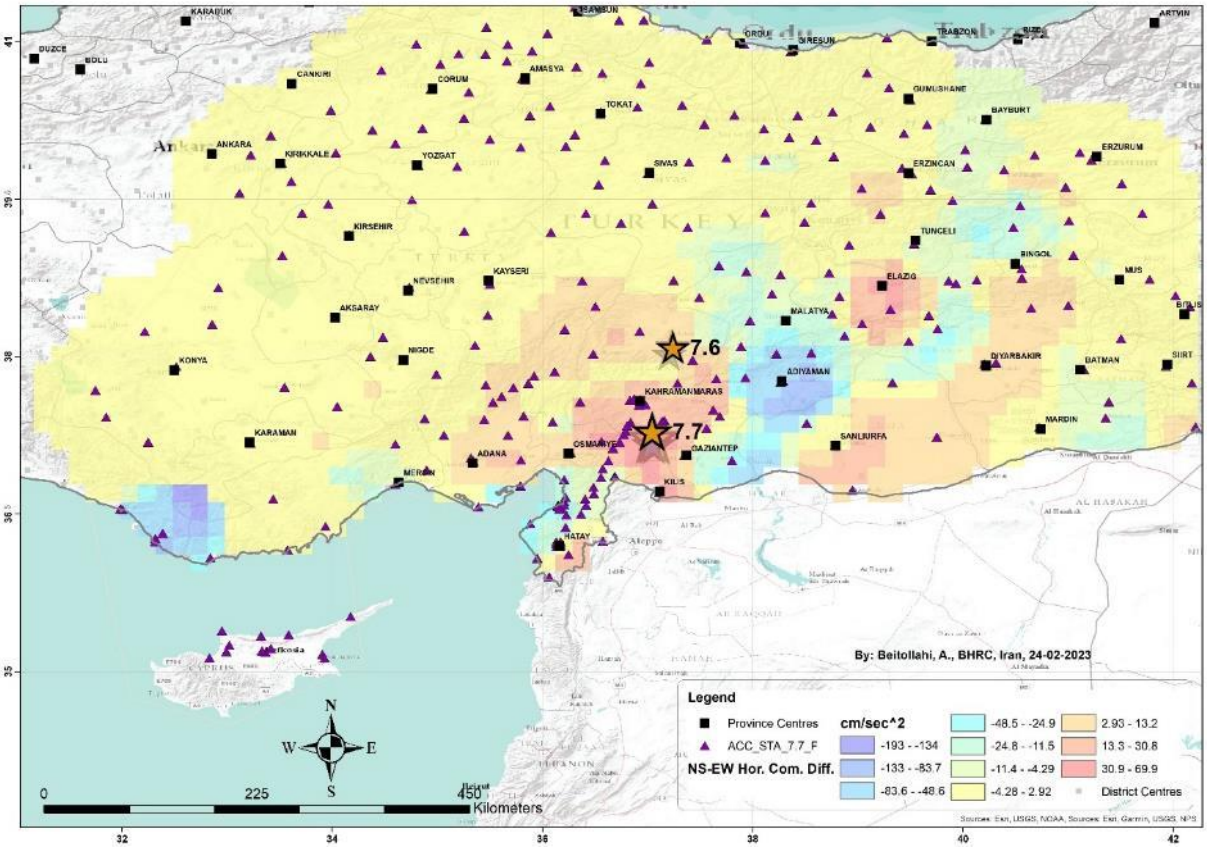
هرچند مقادیر شتاب زلزله به فاصله از رومرکز زلزله وابسته‌اند ولی در زلزله ۷٫۷ پازارچیک مشاهده می‌شود که در تعدادی از ایستگاه‌های نزدیکتر (کمتر از ۷۰ کیلومتر) عدد بیشینه شتاب ثبت شده کمتر از ایستگاه‌های دور است. به عنوان مثال ایستگاه ارسوز با کد ۳۱۳۵ بیشترین مقدار شتاب افقی زلزله ۷٫۷ را ثبت کرده است (حدود ۱۴۰۰ سانتی متر بر مجذور ثانیه) که در فاصله ۱۴۲ کیلومتری از رومرکز زلزله ۷٫۷ واقع گردیده ولی ایستگاه ۴۶۱۵ واقع در جنوب غرب پازارچیک در فاصله ۱۵ کیلومتری از رومرکز مؤلفه افقی از نصف آن مقدر کمتر است (حدود ۵۵۰ سانتی متر بر مجذور ثانیه، در این ایستگاه مقدار شتاب قائم بیش از افقی است)، این امر در چند ایستگاه شتابنگاری قابل ارزیابی است. احتمال خطا در برآورد دقیق رومرکز زلزله، جهت یافتگی و شرایط ساختگاهی نیز از جمله دلایلی برای توجیه این مقادیر است. در شکل ۲-۷ ایستگاه‌های در فاصله کمتر از ۷۰ کیلومتر با نماد مشخصی تفکیک شده‌اند و بر روی سمبل آنها در نقشه، کد هر ایستگاه نیز درج گردیده تا مقادیر عددی ثبت شده در هر کدام از ایستگاه بر اساس داده‌های AFAD قابل بررسی باشد.



شکل ۲-۷- ایستگاه‌های نزدیک به رومرکز زلزله ۷٫۷ پازارچیک (فاصله کمتر از ۷۰ کیلومتر)

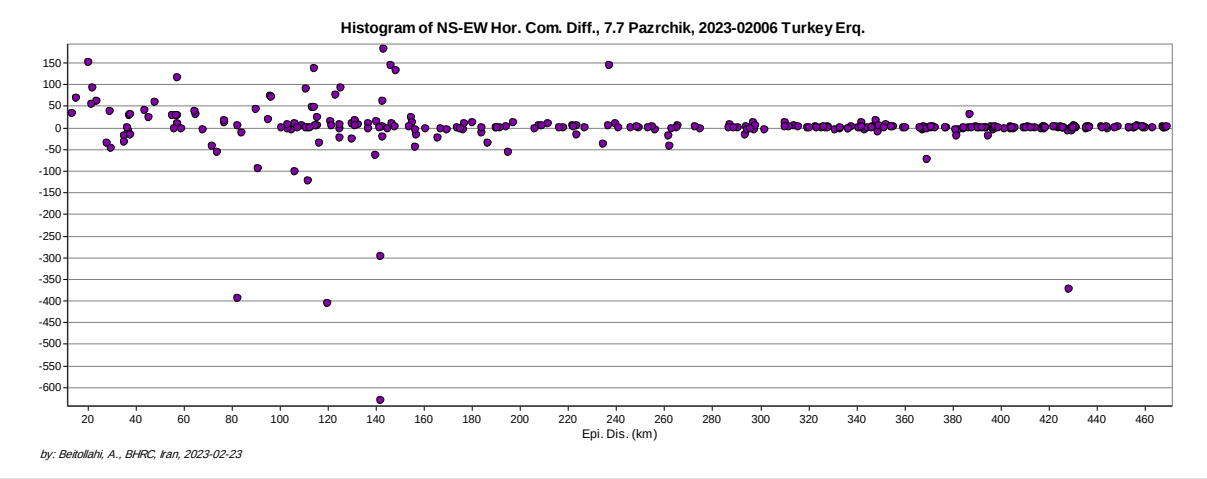
- **نقشه مقادیر تفاضلی مؤلفه‌های افقی NS-EW زلزله ۷٫۷ پازارچیک**

در شکل ۲-۸ نقشه مقدار تفاضلی دو مؤلفه افقی NS و EW نشان داده شده است. علامت مثبت اعداد نشان می‌دهد که مؤلفه افقی NS بزرگ‌تر از مؤلفه افقی EW می‌باشد و مقادیر منفی، بزرگ بودن مقدار مؤلفه افقی در راستای EW را نسبت به NS نشان می‌دهد (شکل ۲-۸). نوع رفتار مؤلفه‌های افقی به جهت بندی ایستگاه نسبت به جابجائی گسل و جهت بردار جابجائی زمین در زلزله رخ داده، وابسته است. بررسی شکل‌های حاصل از توزیع شتاب مؤلفه‌های افقی نه به طور کامل و بلکه به صورت محلی چنین وابستگی را نشان می‌دهد. برای تعقیب و ارزیابی این وابستگی نقشه مقدار تفاضلی مؤلفه افقی NS و EW تهیه گردید که در شکل ۲-۸ نشان داده شده است. مقادیر با علامت مثبت معرف بیشتر بودن مؤلفه افقی NS و مقادیر منفی معرف بیشتر بودن مؤلفه افقی EW می‌باشد. همانطور که در شکل ۲-۸ مشاهده می‌شود با دور شدن از محدوده رومرکزی اختلاف این دو مؤلفه به جز در برخی از ایستگاه‌ها، کمتر می‌شود، این حالت در شکل ۲-۹ نشان داده شده است.



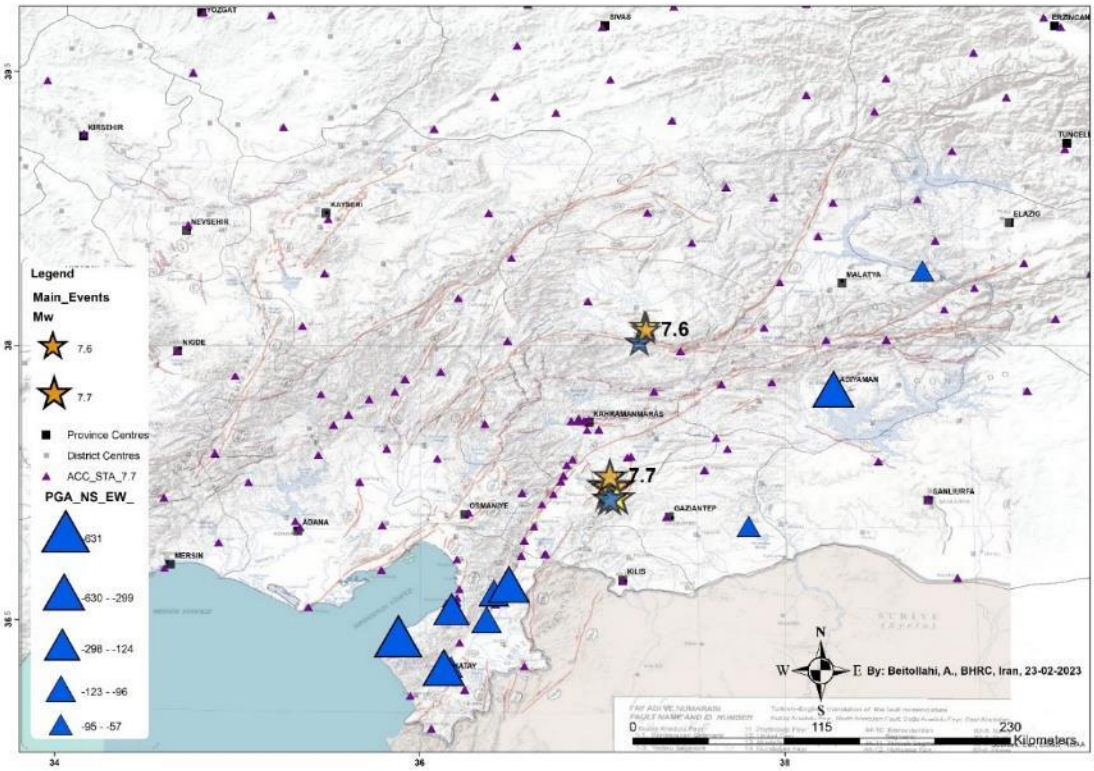
شکل ۲–۸– نقشه مقادیر تفاضلی دو مؤلفه افقی در زلزله ۷٫۷ پازارچیک رخداد ۰۶– ۰۲ – ۲۰۲۳

در شکل ۲–۹ نمودار مقادیر تفاضلی دو مؤلفه افقی در دو راستای عمود برهم نسبت به فاصله از رومرکز ترسیم شده است. نشان داده می‌شود که میزان اختلاف در فاصله کمتر از رومرکز در مؤلفه‌های ثبت شده به مراتب بیشتر است.

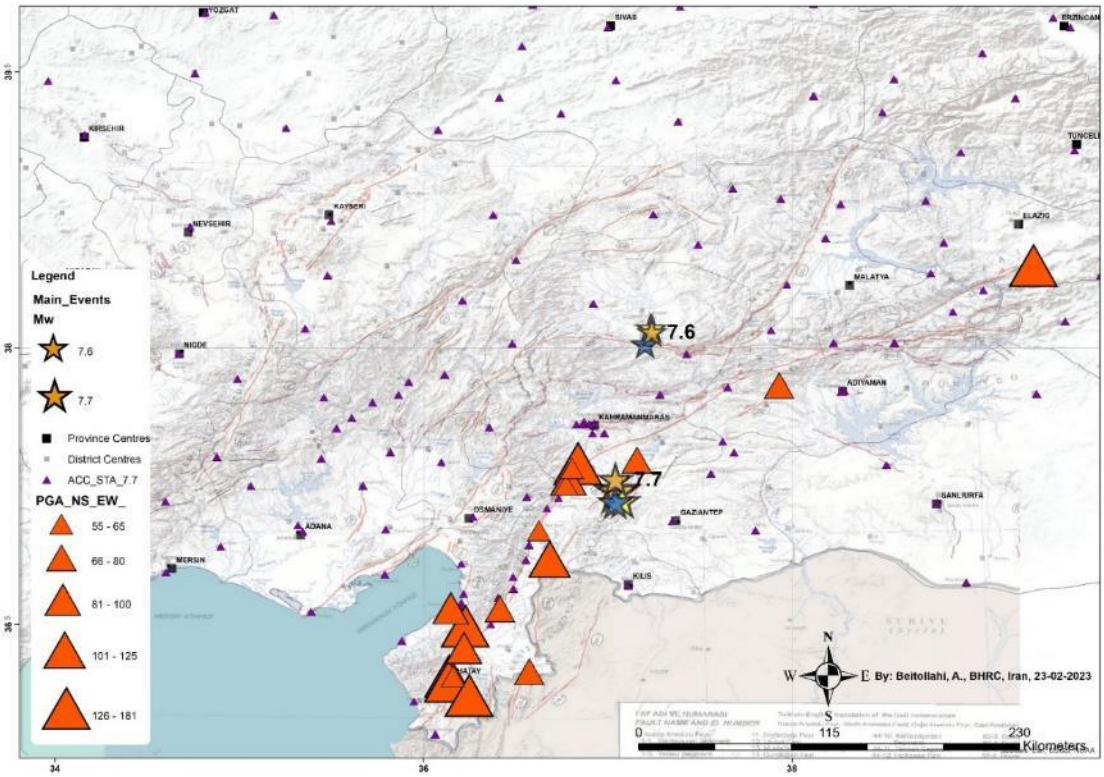


شکل ۲-۹- نمودار مقادیر تفاضلی دو مؤلفه افقی در دو راستای عمود برهم نسبت به فاصله در زلزله ۷٫۷ پازارچیک

در شکل ۲–۱۰ موقعیت ایستگاه‌های با مؤلفه افقی بیشتر در راستای EW (قدر مطلق) و در شکل ۲–۱۱ مقادیر مؤلفه افقی بیشتر در راستای NS نسبت به راستای EW نشان داده شده است. ایستگاه‌های ثبت کننده بیشینه مقادیر شتاب در این نقشه‌ها قابل تفکیک هستند که با کد مندرج در کنار برحسب آن‌ها می‌توان رکوردهای آنها را به تفصیل مورد تجزیه و تحلیل قرار داد.



شکل ۲-۱۰- موقعیت ایستگاه با مؤلفه افقی در راستای EW بزرگ‌تر (مقدار مطق عددی) در زلزله ۷٫۷ پازارچیک قهرمان ماراش

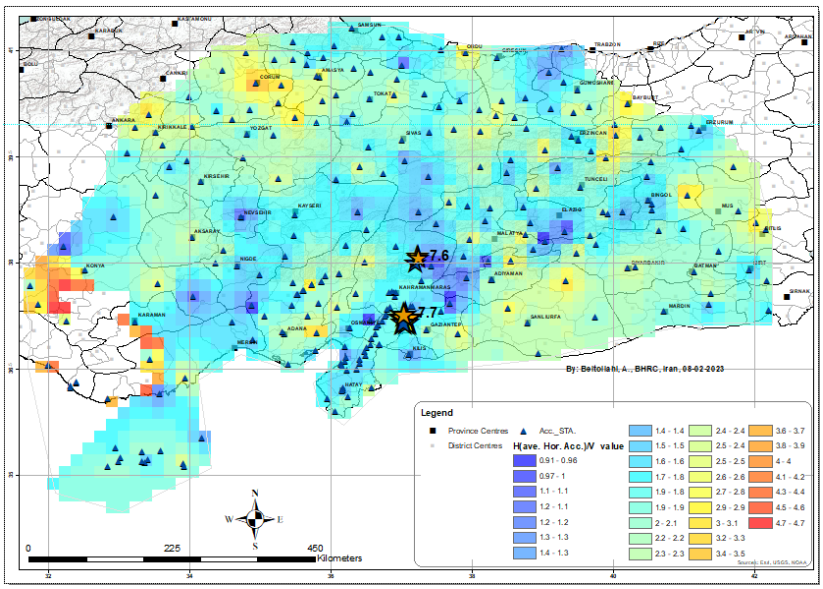


شکل ۲-۱۱- موقعیت ایستگاه با مؤلفه افقی در راستای NS بزرگ‌تر (مقدار مطق عددی) در زلزله ۷٫۷ پازارچیک قهرمان ماراش

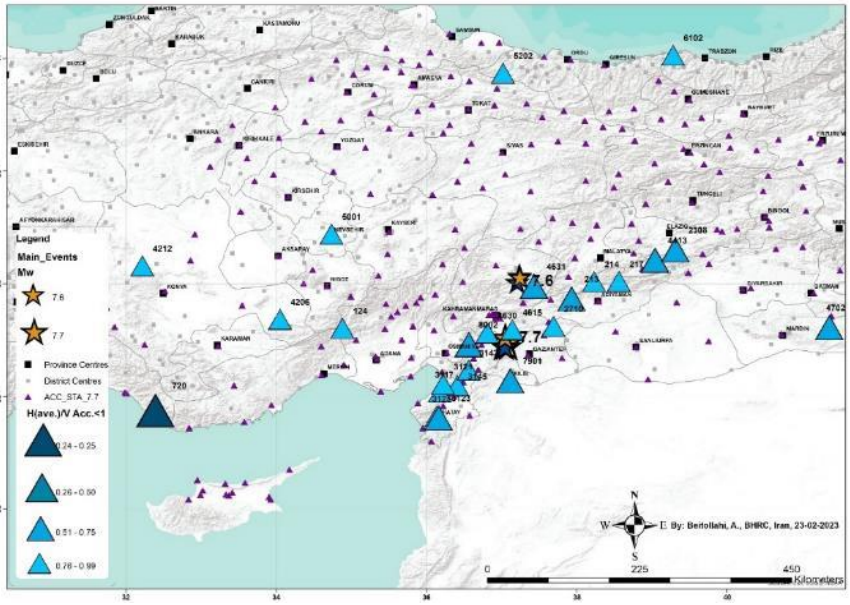
- **نسبت مؤلفه افقی به قائم رکوردهای ایستگاه‌های شتابنگاری زلزله ۷٫۷ پازارچیک**

در شکل‌های ۲-۱۲ تا ۲-۱۵ نقشه‌ها و موقعیت ایستگاه‌های با مقادیر بالای پارامتر H/V (به صورت نقطه‌ای بیشینه

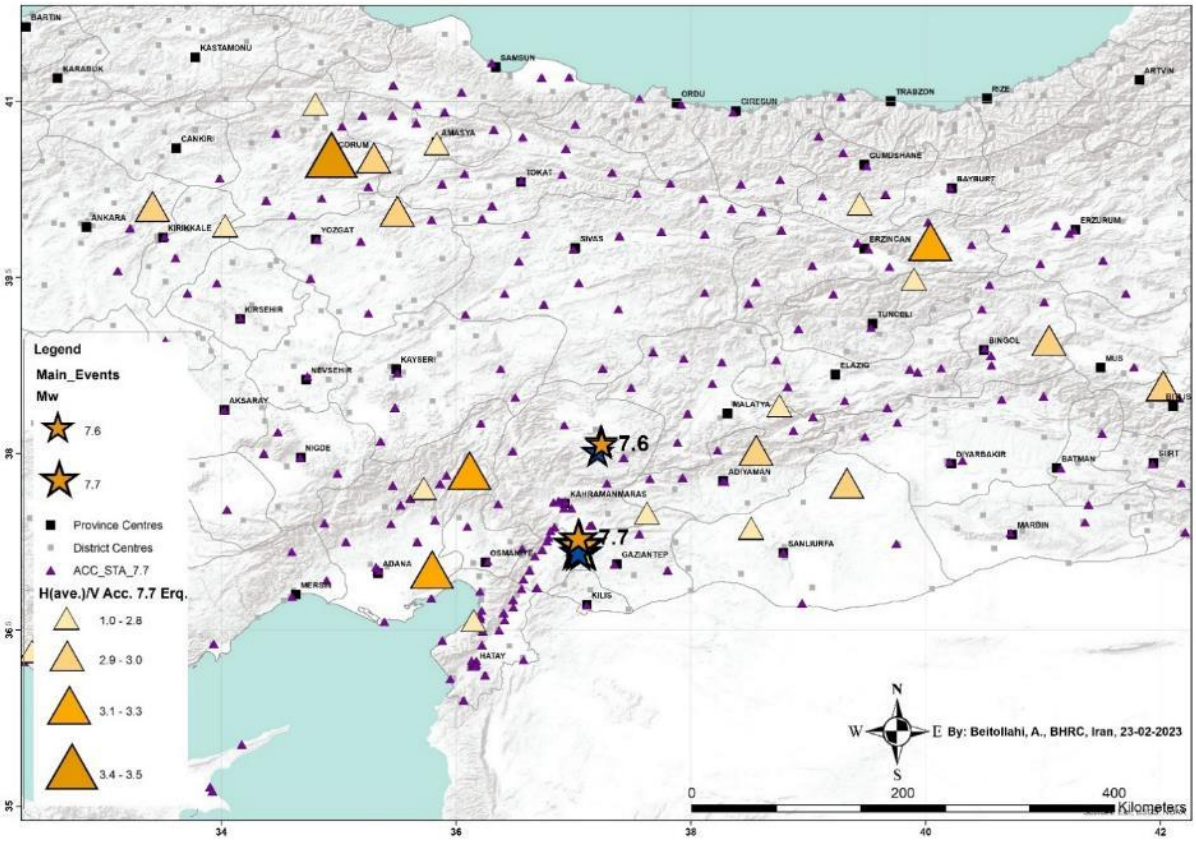
مقدار آنها) نشان داده شده است. در این شکل‌ها، مقادیر کمتر از ۱، معرف شتاب قائم بیش از شتاب افقی ثبت شده در ایستگاه‌ها است که کمیت مهمی است. فاکتور نسبت مؤلفه افقی به قائم، وابسته به نزدیکی و دوری از کانون داخلی زلزله (ایستگاه‌های نزدیک واقع در سطح فوقانی از کانون، انتظار می‌رود شتاب قائم بالاتری نسبت به شتاب افقی دریافت کنند) و شرایط ساختگاهی، جهت یافتگی و نوع قرارگیری ایستگاه نسبت به کانون زلزله می‌باشد. عمده‌ترین یافته در بررسی کلی این کمیت، تخمین چگونگی شرایط ساختگاه است. انتظار می‌رود در ساختگاه های نرم میزان مؤلفه افقی در مقایسه با مؤلفه قائم بیشتر باشد. در شکل ۲-۱۵ وضعیت ایستگاه‌های با مقادیرکمابیش مشابه مؤلفه‌های افقی و عمودی نشان داده شده است. مشاهده می‌شود که با افزایش فاصله از رومرکز زلزله، کمیت H/V به سمت عدد ۱ میل می‌کند که این رفتار قابل انتظاری است.



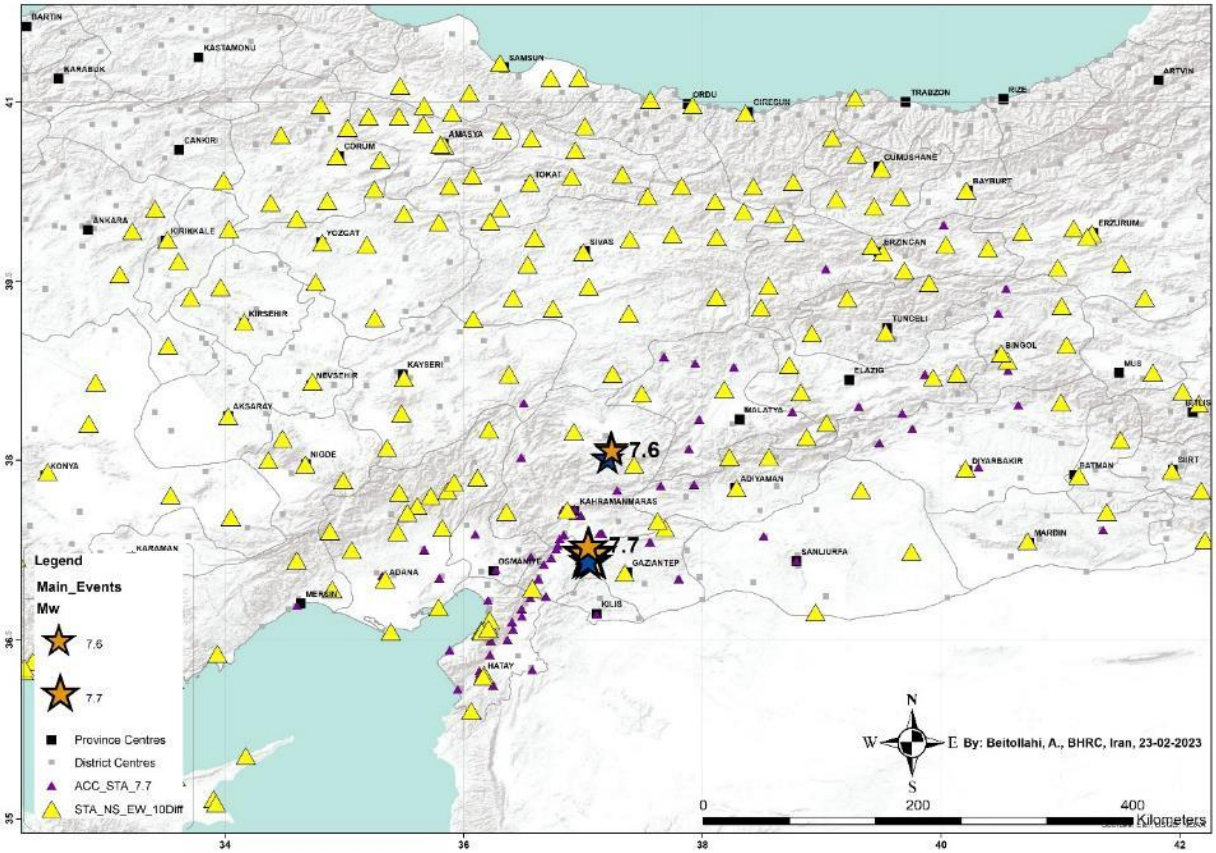
شکل ۲-۱۲- توزیع مقادیر کمیت نسبت مؤلفه بیشینه افقی به قائم برای زلزله ۷٫۷ پازارچیک



شکل ۲-۱۳- ایستگاه‌های با مقدار مؤلفه قائم بیش از مؤلفه افقی شتاب بیشینه ثبت شده در زلزله ۷٫۷ پازارچیک، لازم به ذکر است که در برخی از ایستگاه‌ها مقادیر مؤلفه‌های افقی و قائم ثبت شده کمتر است اما نسبت دو کمیت عدد بالائی را نشان می‌دهد که لازمه بررسی‌های بیشتری است. به عنوان مثال ایستگاه با کد ۷۲۰ نمونه‌ای از این حالت می‌باشد.



شکل ۲-۱۴- ایستگاه‌های با مقدار مؤلفه افقی بیش از مؤلفه قائم شتاب بیشینه ثبت شده در زلزله ۷٫۷ پازارچیک

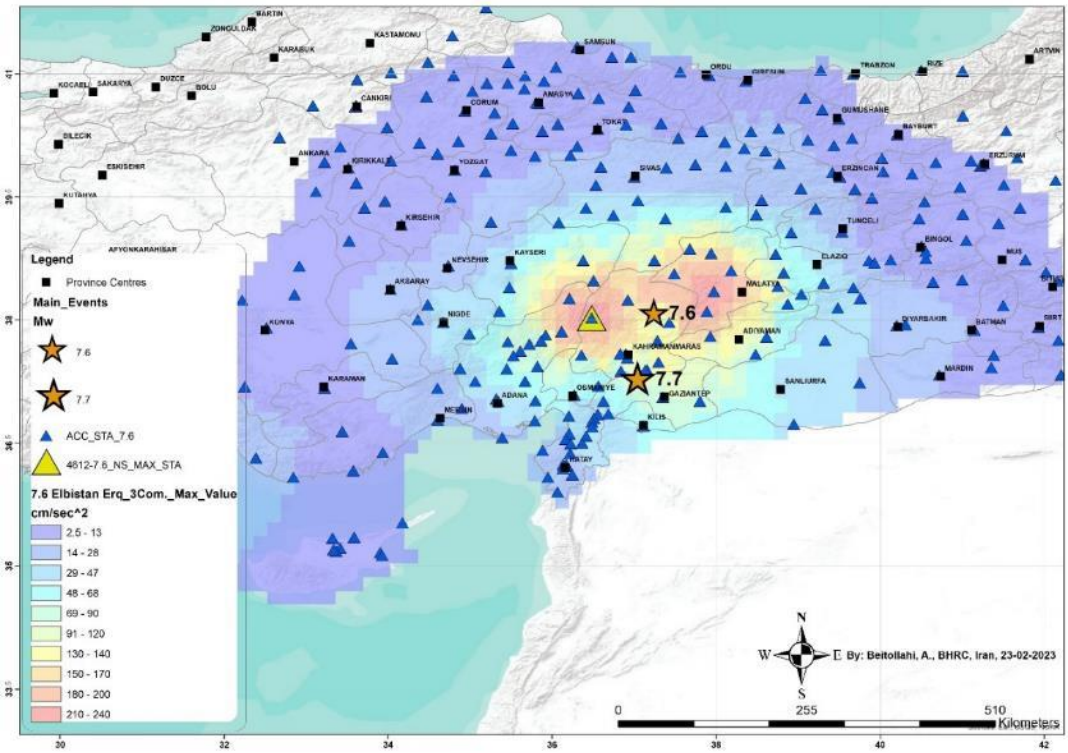


شکل ۲-۱۵- ایستگاه‌های با مقادیر مؤلفه افقی و مؤلفه قائم شتاب بیشینه کمابیش مشابه ثبت شده در زلزله ۷٫۷ پازارچیک (میزان اختلاف مؤلفه‌های افقی و قائم ۱۰ سانتی متر بر مجذور ثانیه و کمتر از آن در نظر گرفته شده است)

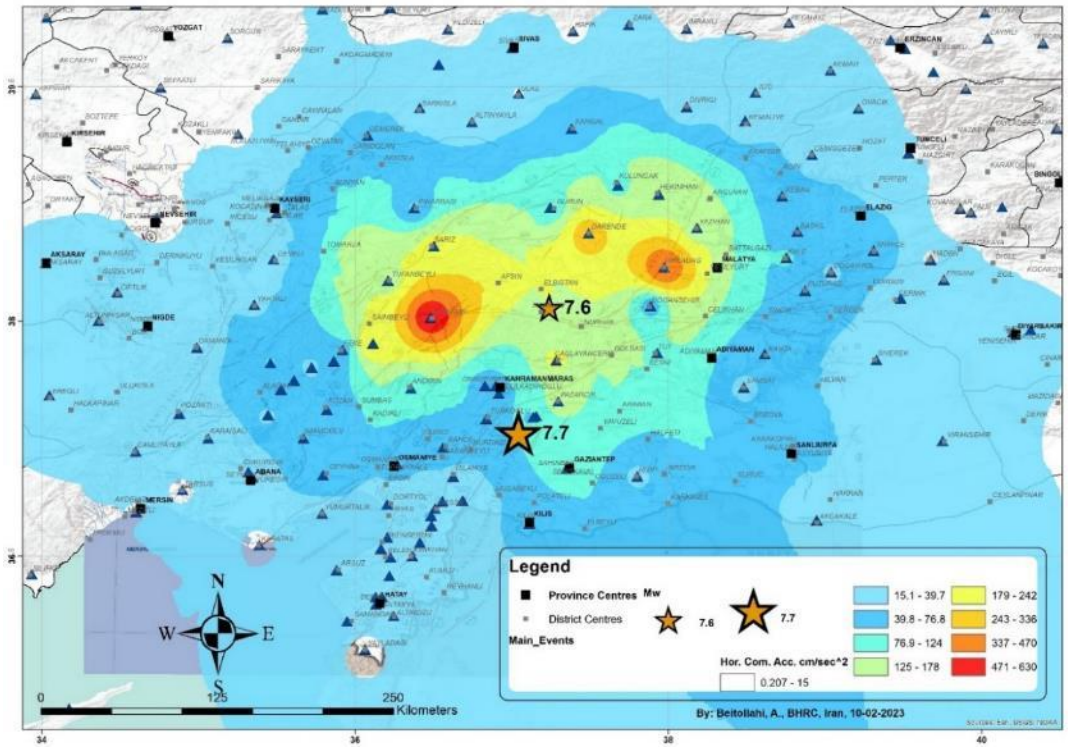
۲-۲- نقشه‌های زلزله ۷٫۶ البیستان

مشابه به زلزله ۷٫۷ پازارچیک، برای زلزله ۷٫۶ البیستان قهرمان ماراش نیز نقشه‌های مرتبط با مقادیر شتاب‌های زلزله ثبت شده که به ترتیب نشان داده شده است.

- نقشه بیشینه شتاب هر سه مؤلفه و هر کدام از مؤلفه‌های افقی و قائم برای زلزله ۷٫۶ البیستان (شکل ۲-۱۶)



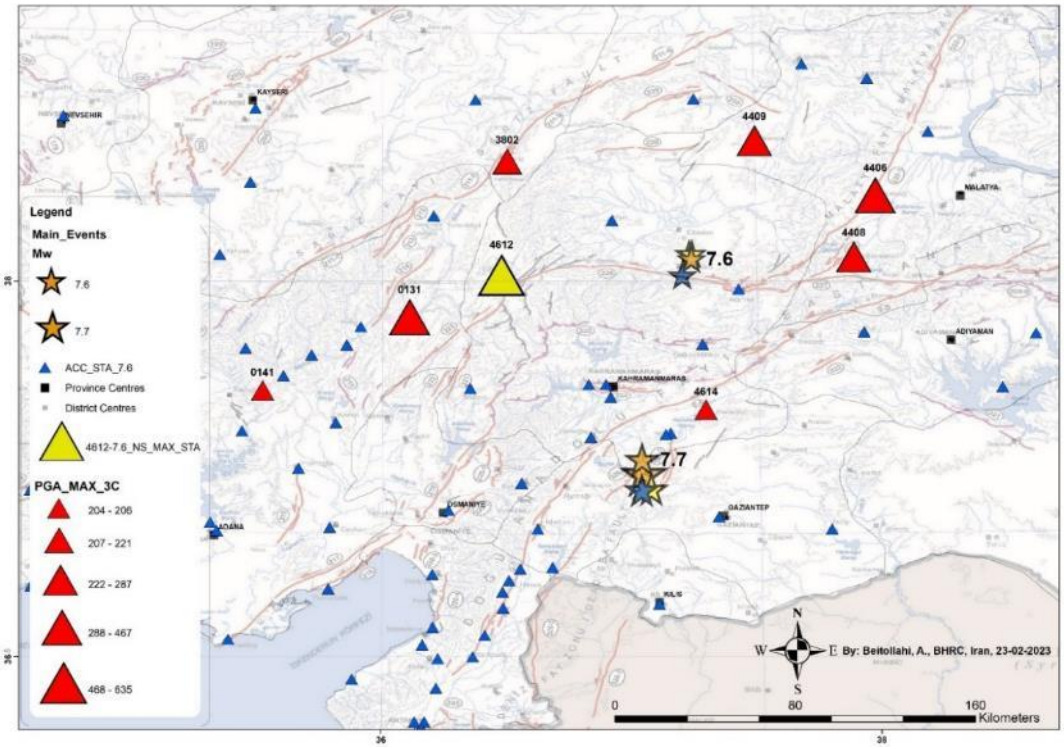
شکل ۲-۱۶- نقشه بیشینه شتاب هر سه مؤلفه برای زلزله ۷٫۶ البیستان



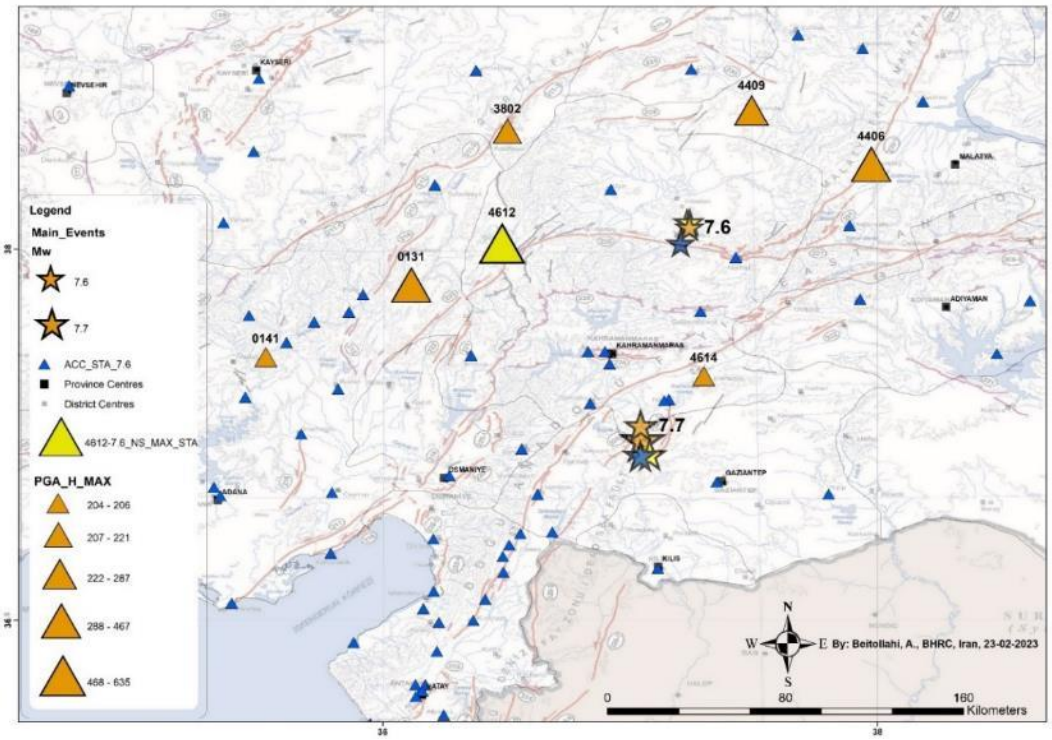
شکل ۲-۱۷- نقشه بیشینه شتاب مؤلفه افقی برای زلزله ۷٫۶ البیستان قهرمان ماراش ترکیه

- ایستگاه‌های با مقادیر بیشینه مؤلفه‌های شتاب زلزله ۷٫۶ البیستان

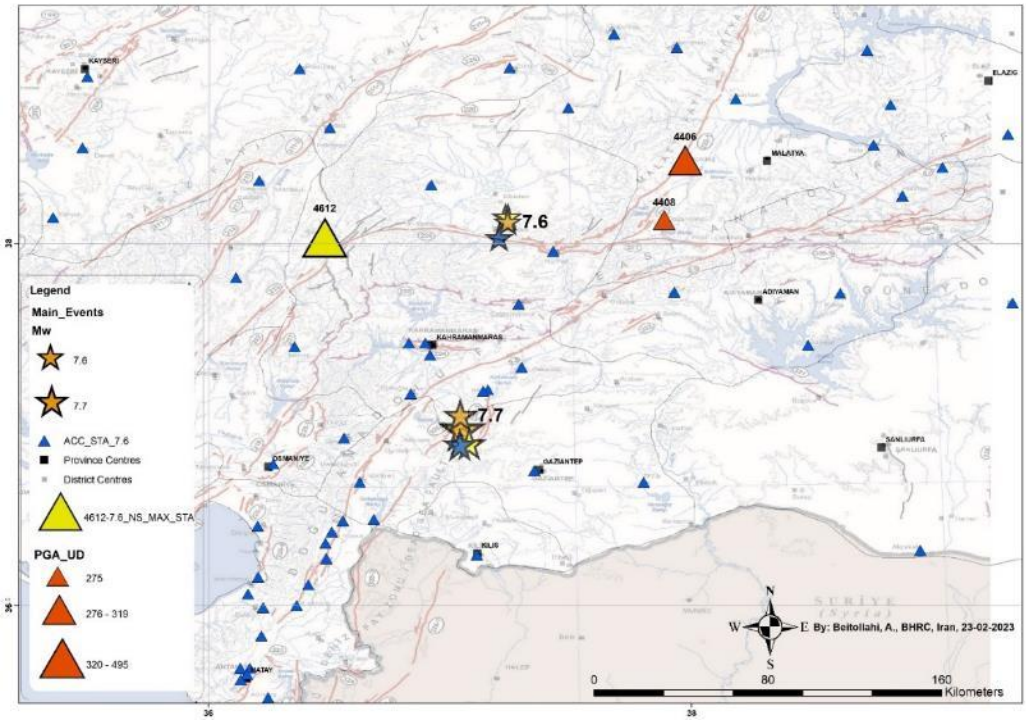
در شکل ۲–۱۸ و ۲–۱۹ و ۲–۲۰ ایستگاه‌های ثبت کننده مقادیر بیش از ۲۰۰ گال برای زلزله ۷٫۶ برای هر سه مؤلفه (شکل ۲–۱۸)، مؤلفه افقی (شکل ۲–۱۹) و مؤلفه قائم (شکل ۲–۲۰) نشان داده شده است.



شکل ۲–۱۸– ایستگاه‌های با مقادیر شتاب بیش از ۲۰۰ سانتیمتر بر مجذور ثانیه (هرکدام از ۳ مؤلفه)



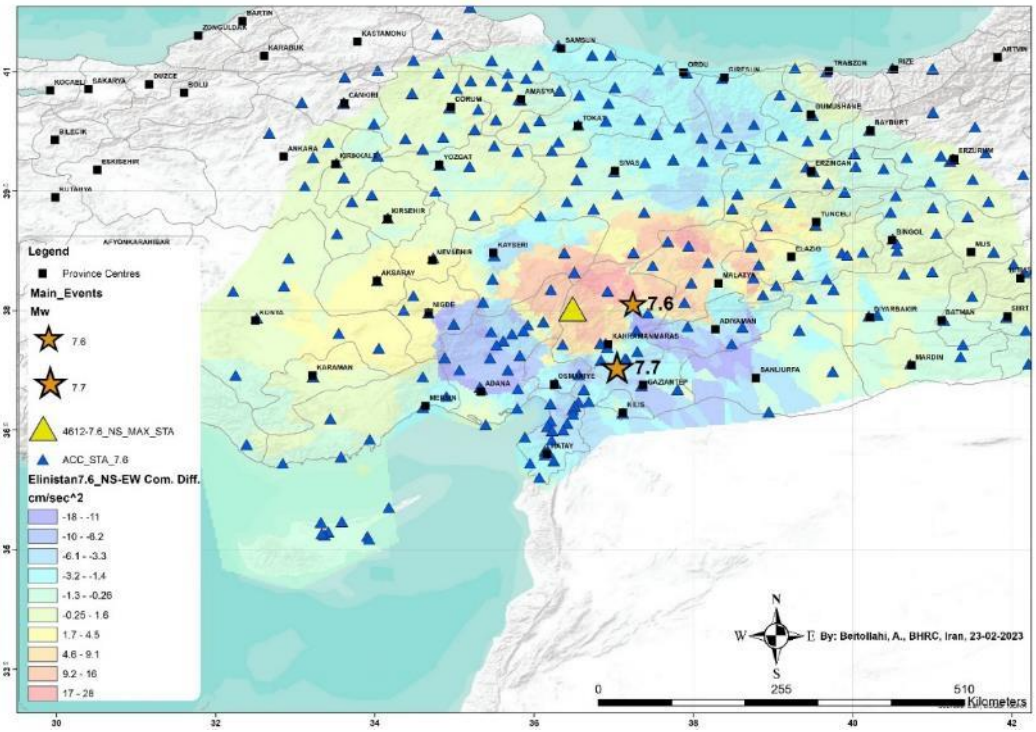
شکل ۲–۱۹– ایستگاه‌های با مقادیر شتاب مؤلفه افقی بیش از ۲۰۰ سانتیمتر بر مجذور ثانیه



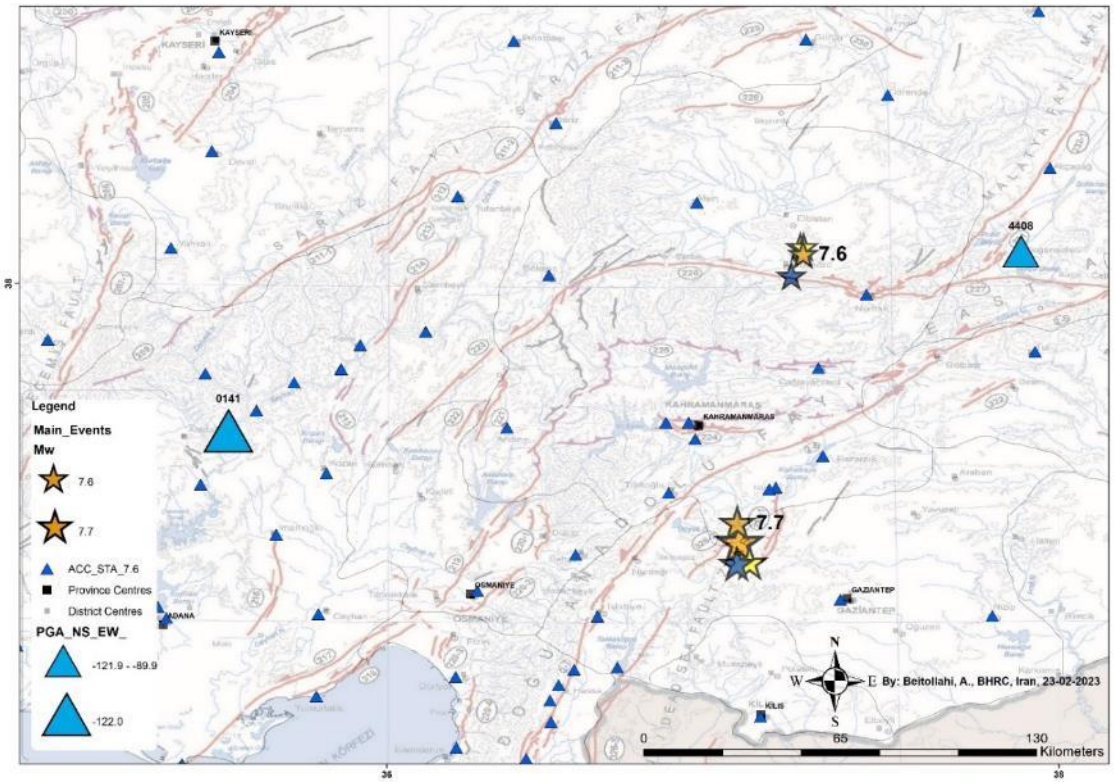
شکل ۲-۲۰- ایستگاه‌های با مقادیر شتاب مؤلفه قائم بیش از ۲۰۰ سانتیمتر بر مجذور ثانیه

- نقشه میزان اختلاف دو مؤلفه افقی بیشینه شتاب برای زلزله ۷٫۶ البیستان

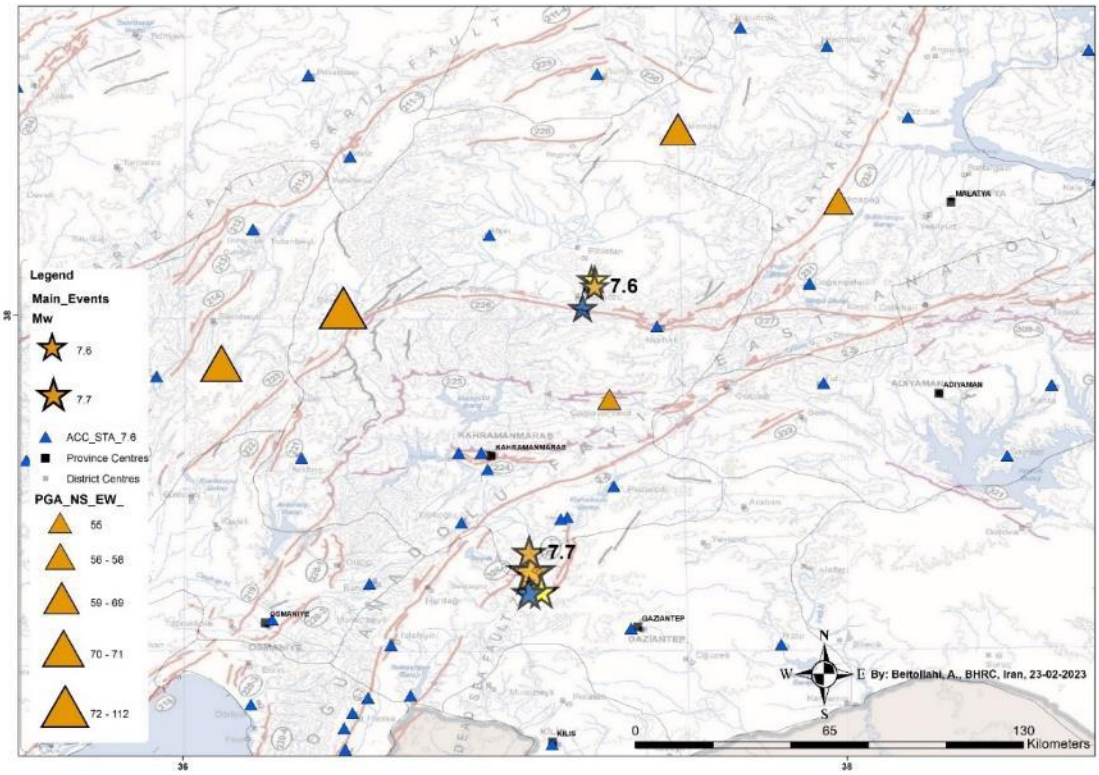
در شکل‌های ۲-۲۱ و ۲-۲۲ و ۲-۲۳ نقشه تفاضلی مقادیر دو مؤلفه افقی و ایستگاه‌های ثبت کننده بیشترین مقدار برای آنها نشان داده شده است.



شکل ۲-۲۱- نقشه میزان اختلاف دو مؤلفه افقی بیشینه شتاب برای زلزله ۷٫۶ البیستان



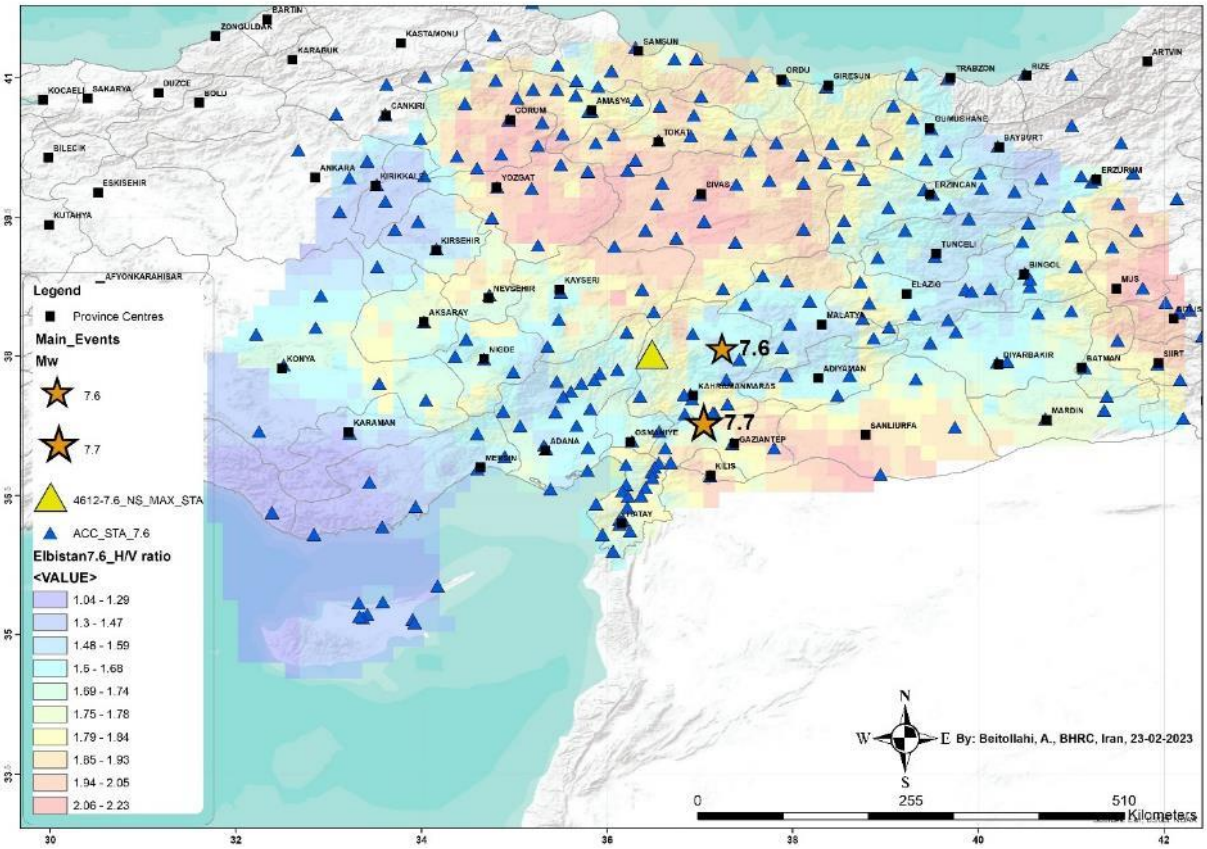
شکل ۲-۲۲- نقشه ایستگاه‌های با مؤلفه EW بیشتر از مؤلفه NS در زلزله ۷٫۶ البیستان



شکل ۲-۲۳- نقشه ایستگاه‌های با مؤلفه NS بیشتر از مؤلفه EW در زلزله ۷٫۶ البیستان

- نقشه مؤلفه H/V برای مقادیر بیشینه شتاب زلزله ۷٫۶ البیستان قهرمان ماراش ترکیه

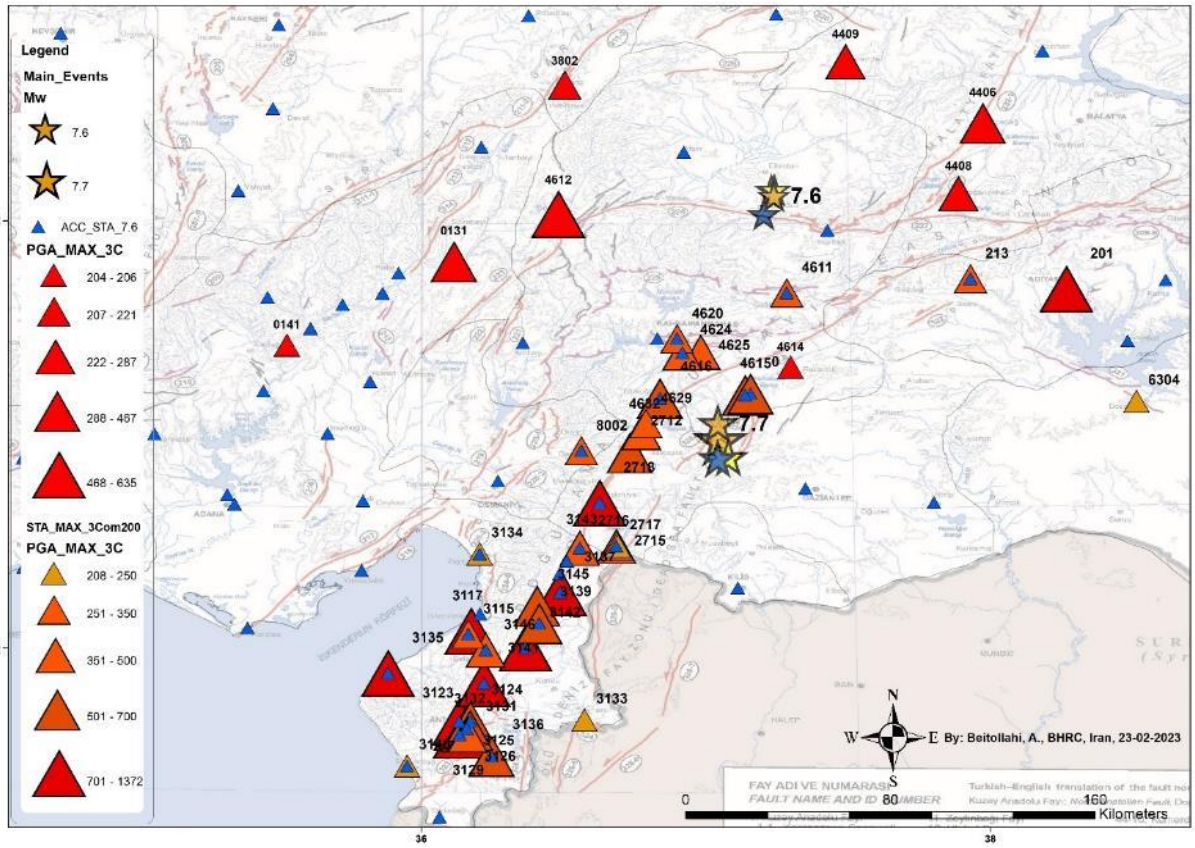
در شکل ۲-۲۴ نسبت بیشینه مقدار مؤلفه‌های افقی به عمودی نشان داده شده است. روندی که در شکل ۲-۲۴ برای پارامتر H/V مشاهده می‌شود قابل توجه است. مؤلفه افقی به طور عمده در دو سمت شمال و جنوب امتداد گسل چارداک (گسل احتمالی مسبب زلزله ۷٫۶) مقادیر بیشتری را نشان می‌دهد. ایستگاه‌های واقع در بخش میانی به طور عمده مقادیر کمتری برای پارامتر H/V بیشینه شتاب زلزله ۷٫۶ نشان می‌دهند.



شکل ۲-۲۴- مقادیر نسبت مؤلفه افقی به قائم شتاب بیشینه زلزله ۷٫۶ البیسان

۲-۳- نقشه ترکیبی بیشینه شتاب ثبت شده برای زلزله‌های ۷٫۷ و ۷٫۶ قهرمان ماراش

در شکل ۲-۲۵ براساس مقادیر بیشینه شتاب (هرکدام از ۳ مؤلفه) برای زلزله‌های ۷٫۷ و ۷٫۶ قهرمان ماراش ایستگاه‌های ثبت کننده مقادیر بیشینه نشان داده شده است. به طور کلی از روی این نقشه، می‌توان به محدوده‌های تحت تأثیر بیشتر دو زلزله پی برد. محدوده توزیع بیشینه شتاب به طول تقریبی ۳۵۰ کیلومتر در ۱۵۰ کیلومتر بوده که گستردگی محدوده شدت بالای زلزله را نیز ه بطور شماتیک نشان می‌دهد. در این ایستگاه‌های مقادیر بیشینه شتاب ثبت شده (هرکدام از سه مؤلفه) بالای ۲۰۰ گال در نظر گرفته شده است. تصور می‌رود که در محدوده چنین مقادیری از جنبش نیرومند زمین، میزان خرابی‌ها با توجه به نوع ساخت و ساز بیشتر بوده باشد.



شکل ۲-۲۵- ایستگاه‌های ثبت کننده شتاب (هرکدام از ۳ مؤلفه افقی و یا قائم) بالای ۲۰۰ سانتی متر بر مجذور ثانیه در هر دو زلزله ۷٫۷ و ۷٫۶ قهرمان ماراش

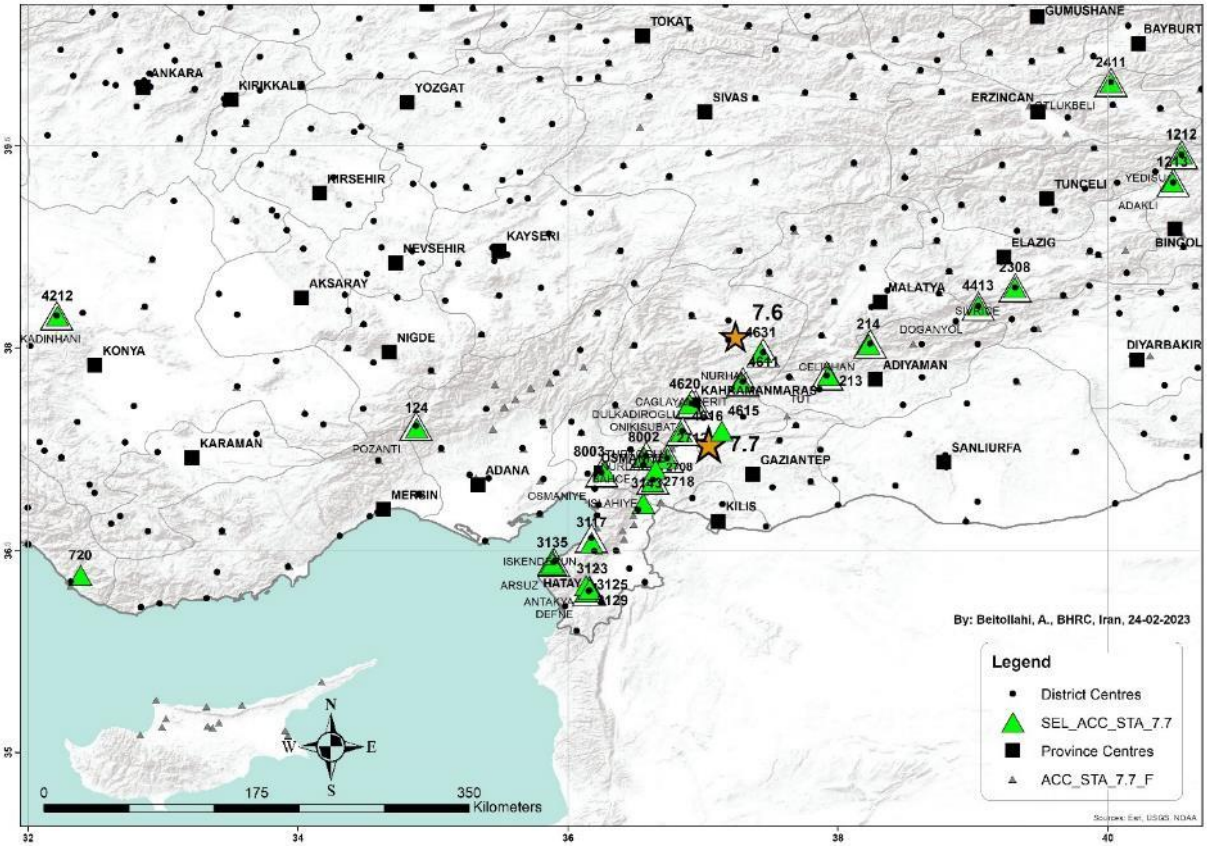
۲-۴- پردازش‌های اولیه داده‌های چند ایستگاه شتابنگاری و نتایج حاصل از آنها

عوامل مؤثر بر تشدید خسارت زلزله‌ها را علاوه بر مقادیر بیشینه شتاب مؤلفه‌های افقی و قائم که در شکل‌های پیشین نشان داده شد، در رفتار طیفی جنبش نیرومند زمین شامل طیف شتاب و جابجائی و مدت دوام آن نیز باید در نظر گرفت. در این قسمت با توجه به کندی برگرفتن داده‌ها از سایت AFAD تلاش شده است تا نمودارهای انتخابی از ایستگاه‌های در امتداد گسل‌های مسبب زلزله و توزیع پسلرزه ها تهیه و ارائه گردد.

براساس داده‌های سایت AFAD در زلزله ۷٫۷ پازارچیک ۲۸۹ ایستگاه رکورد شتاب ثبت کرده است و در زلزله ۷٫۶ البیستان نیز تعداد ایستگاه‌های ثبت کننده شتاب آن زلزله به تعداد ۲۶۷ ایستگاه می‌باشد. کلیه نقشه‌ها و نمودارهای تهیه شده در این گزارش در خصوص پارامترهای جنبش نیرومند زمین نیز برگرفته از داده‌های آن مرکز می‌باشد. لازم به ذکر است که در سایت AFAD داده‌های پردازش یافته تصحیح خط مبنا و محدوده فرکانسی اعمال فیلترشده قرار دارد. همچنین در این سایت علاوه بر داده‌های شتاب، سرعت و جابجائی، داده‌های طیفی، پریود غالب، مدت دوام نیز قابل برگرفتن است. براساس داده‌های برگرفته شده در محیط نرم افزاری نقشه‌ها و نمودارهای متعددی در این گزارش تهیه شده است که بخشی از آنها توضیح داده شد. در ادامه داده‌های چند ایستگاه منتخب به صورت نموداری در خصوص چند پارامتر مؤثر و مهم نشان داده شده است. لازم به ذکر است زلزله‌های رخ داده در کشور ترکیه به دلیل داده‌های بسیار مهم آن، مستلزم کارهای تفصیلی است. در اینجا تنها جزء کوچکی از خروجی آن داده‌ها نشان داده می‌شود.

- نقشه ایستگاه‌های منتخب برای ارائه نمودارهای جنبش نیرومند زلزله‌های ۷٫۷ و ۷٫۶ قهرمان ماراش

شکل ۲-۲۶ نقشه ایستگاه‌های منتخب را بر بررسی‌های بیشتر مقادیر حرکتی زلزله‌های قهرمان ماراش نشان می‌دهد. در انتخاب ایستگاه‌ها دقت شد که امتداد پراکنش پسلرزه ها که معرف زون جابجائی و گسیختگی احتمالی در زلزله‌های اخیر است، مد نظر قرار گیرد. ایستگاه ۱۲۱۲ در شمال شرق و ایستگاه ۳۱۲۹ در جنوب غرب در دو سوی زون در بردارنده ایستگاه‌های منتخب واقع می‌شود. طول این مسیر بیش از ۴۵۰ کیلومتر می‌باشد. در شکل ۲-۲۶ ایستگاه‌های شتابنگاشتی در نقاط شهری نشان داده شده است که اسامی آن شهرها در نقشه به صورت برچسب در کنار علامت‌های مثلث شکل درج گردیده است.



شکل ۲-۲۶- نقشه موقعیت ایستگاه‌های منتخب برای ارائه تعدادی از نمودارهای جنبش نیرومند زمین در زلزله‌های ۷٫۷ و ۷٫۶ قهرمان ماراش

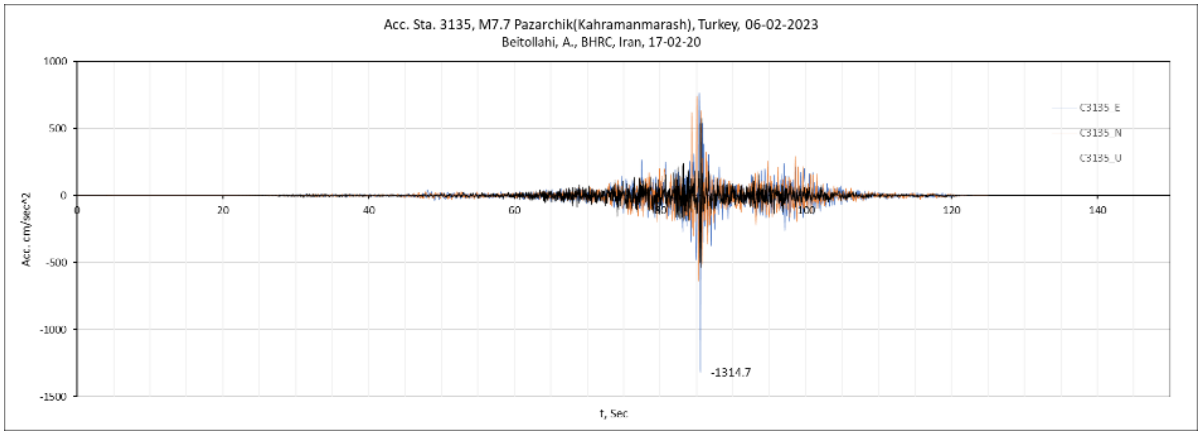
- رکورد ایستگاه ۳۱۳۵ (ایستگاه محدوده ارسوز Arsuz واقع در ۳۰ کیلومتر شمال غرب حاتای) به عنوان ایستگاهی با بیشینه مقدار مؤلفه افقی ثبت کننده زلزله ۷٫۷ پازارچیک

در شکل‌های ۲-۲۷ تا ۲-۳۰، نمودارهای شتاب، جابجائی، طیف شتاب و جابجائی برای سه مؤلفه ثبت شده شتاب زلزله در ایستگاه ۳۱۳۵ نشان داده شده است.

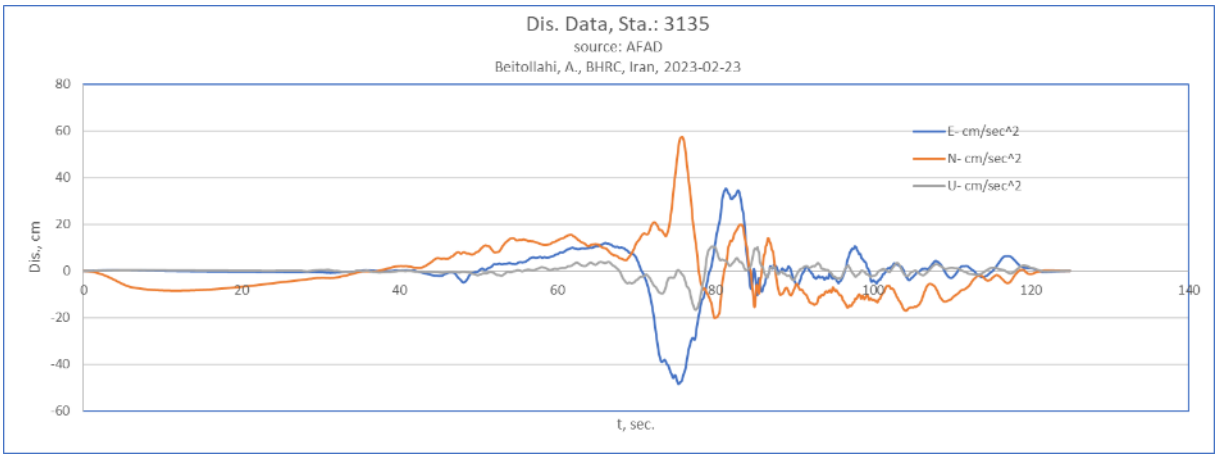
پالس بیشینه شتاب مؤلفه افقی با علامت منفی در شکل نمایان است که به صورت تک پالس بوده و سایر دامنه‌ها به طور قابل ملاحظه‌ای مقادیر کمتری به نسبت این مقدار دارند.

رکوردهای جابجائی و طیف شتاب و طیف جابجائی داده‌های ایستگاه ۳۱۳۵ به ترتیب در ادامه نشان داده شده است. رفتار طیفی شتاب و جابجائی داده‌های این ایستگاه حائز اهمیت است. مؤلفه‌های افقی طیف شتاب در پریود حدود ۰٫۷ ثانیه نیز مقادیر بیشینه‌ای را نشان می‌دهند در حالیکه مؤلفه قائم میرائی نرمالی را نشان می‌دهد. مقادیر عددی شتاب طیفی در

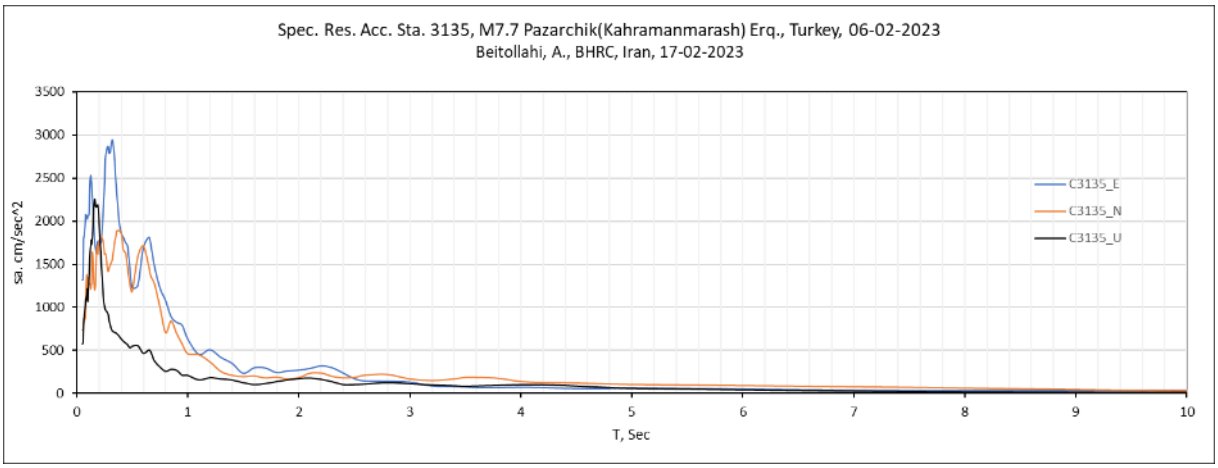
پریودهای زیر ۱ ثانیه برای مؤلفه‌های افقی به نحو متمایزی بالاست. انتظار می‌رود که تخریب در محدوده این ایستگاه گسترده بوده باشد. تغییرات میزان جابجائی در محدوده برخی از پریودها به بیش از ۱ متر نیز بالغ می‌گردد که معرف تحمیل جابجائی عمده‌ای بر مستحدثات در این ناحیه است.



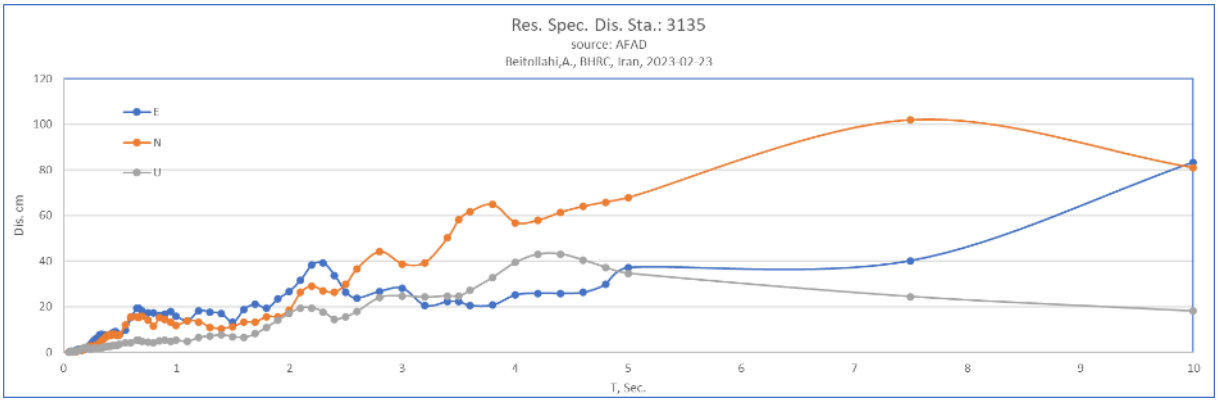
شکل ۲-۲۷-سری زمانی شتاب (هر سه مؤلفه) در ایستگاه ۳۱۳۵



شکل ۲-۲۸-سری زمانی جابجائی (هر سه مؤلفه) در ایستگاه ۳۱۳۵

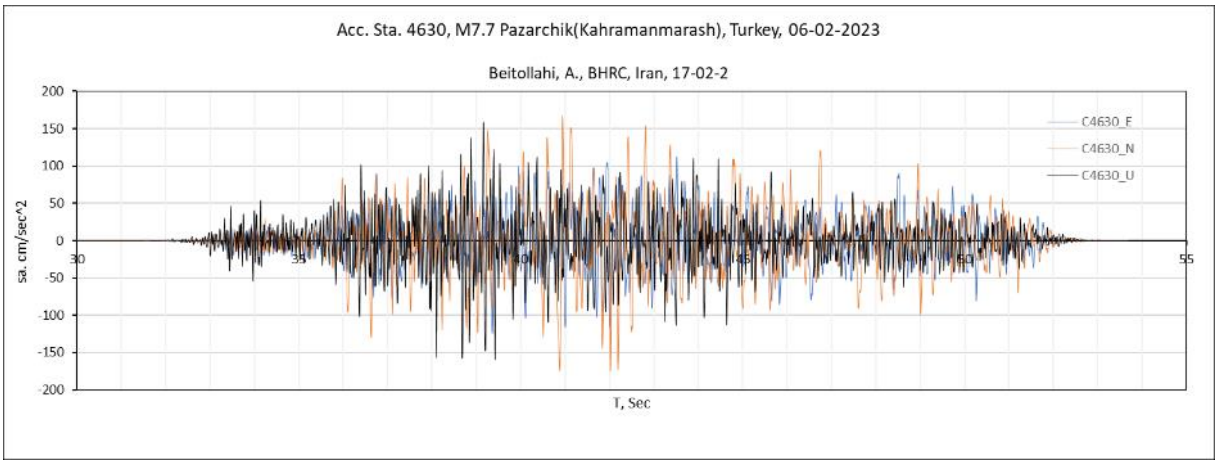


شکل ۲-۲۹-طیف پاسخ شتاب در هر سه مؤلفه ایستگاه ۳۱۳۵



شکل ۲-۳۰-طیف پاسخ جابجائی در هر سه مؤلفه ایستگاه ۳۱۳۵، رفتار مؤلفه قائم و مؤلفه E-W در پریودهای بلند قابل توجه است.

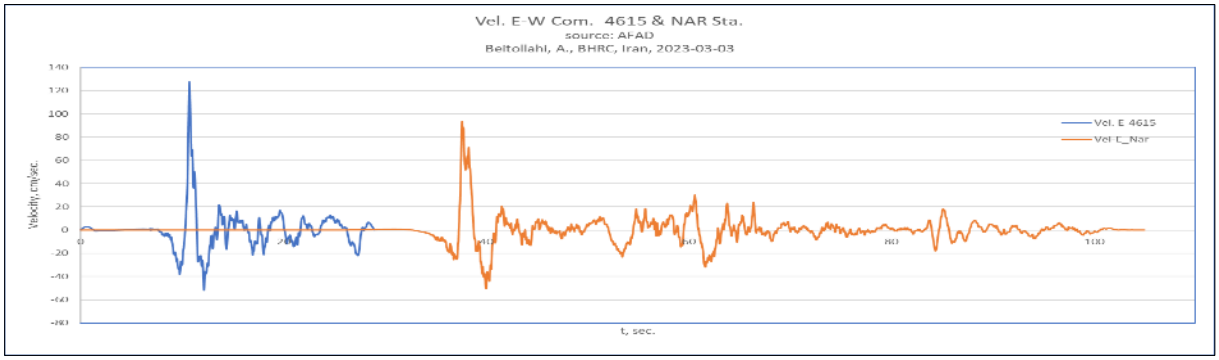
در ادامه به عنوان نمونه، رکوردهای شتاب ایستگاه ۴۶۳۰ نشان داده شده است (شکل ۲-۳۱).



شکل ۲-۳۱-رکوردهای شتاب ایستگاه ۴۶۳۰

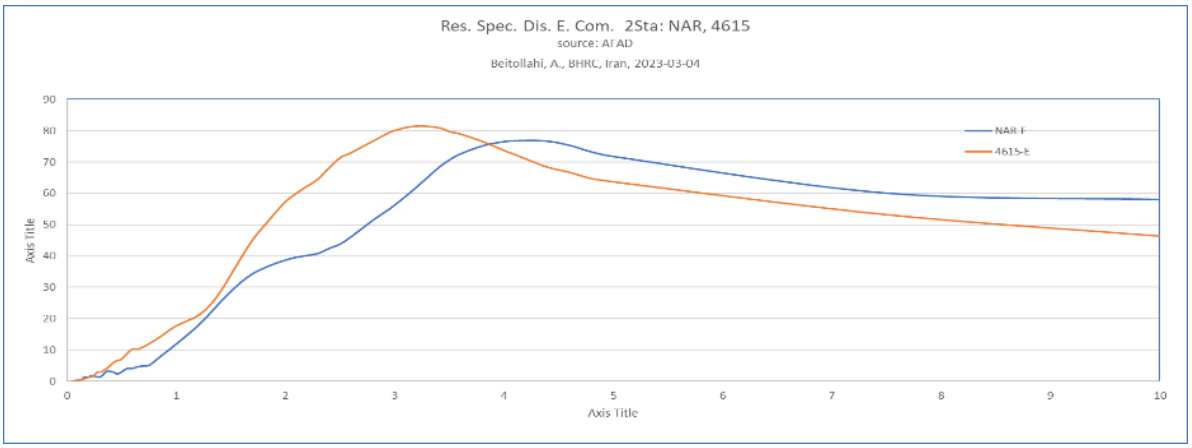
▪ اثر دایرکتیویتی

اثر جهت یافتگی را در رکوردهای سرعت می‌توان در ایستگاه‌های در جهت گسیختگی تشخیص داد در شکل ۲-۳۲ که مربوط به ایستگاه‌های نارلی NAR و شرق آن با کد ۴۶۱۵ است، رکورد سرعت pulse like را نشان می‌دهد. علت اختلاف زمان شروع نگاشت در دو ایستگاه با توجه به اینکه هر دو ایستگاه در نزدیکی هم هستند، جای ابهام دارد که نیاز به بررسی بیشتری دارد.



شکل ۲-۳۲-سری زمانی سرعت مؤلفه افقی E-W در ایستگاه ۴۶۱۵

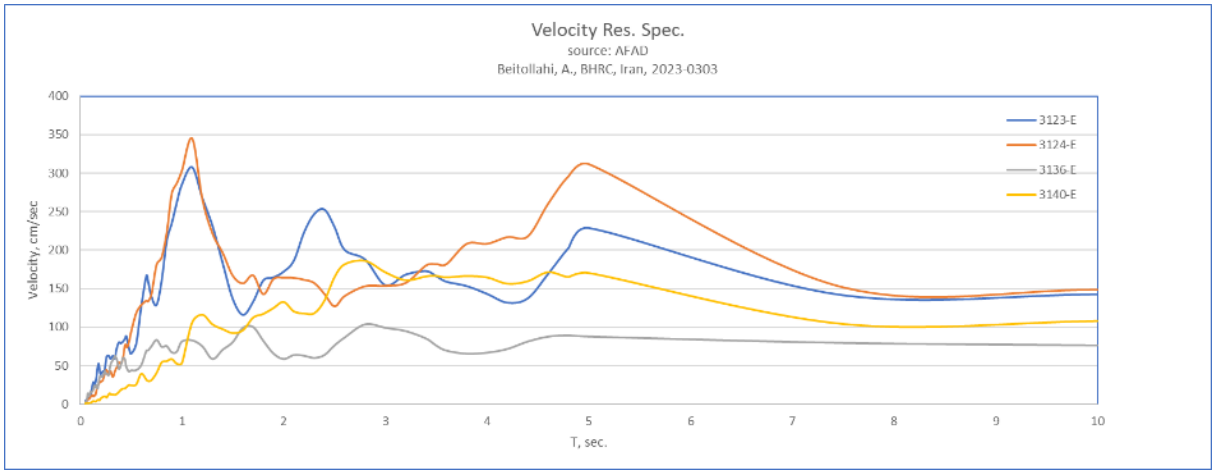
طیف جابجائی ۲ ایستگاه با کدهای NAR و ۴۶۱۵ در شکل ۲-۳۳ نشان داده شده است. تفاوت مقادیر جابجائی طیفی در دو ایستگاه در شکل نمایان است. بطور کلی رفتار طیفی جابجائی دو ایستگاه با وجود مقادیر کوچک تفاوت، مشابه هم هستند.



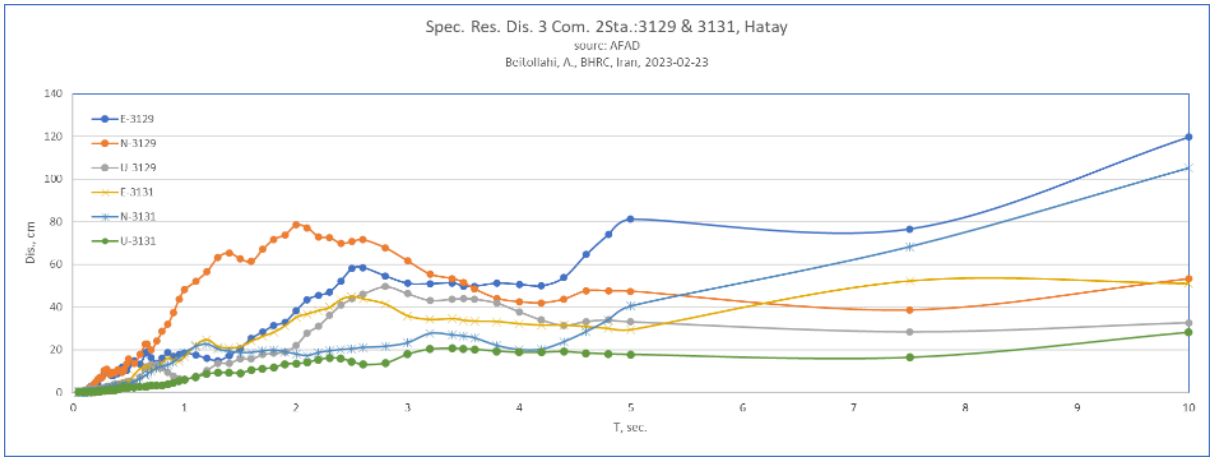
شکل ۲-۳۳-طیف جابجائی مؤلفه افقی E-W در ایستگاه‌های نزدیک به رومرکز نارلی، NAR و ۴۶۱۵

- **اثر بزرگنمائی خاک**

در ایستگاه‌های با کد ۳۱۳۶، ۳۱۴۹، ۳۱۲۳ و ۳۱۲۴ با توج به سرعت موج برشی و نیز موقعیت قرارگیری آن‌ها می‌تواند اثر ساختگاه را در طیف پاسخ سرعت نشان داد. شکل‌های زیر (شکل‌های ۲-۳۴ و ۲-۳۵) مربوط به محـــدوده حاتای می‌باشد.



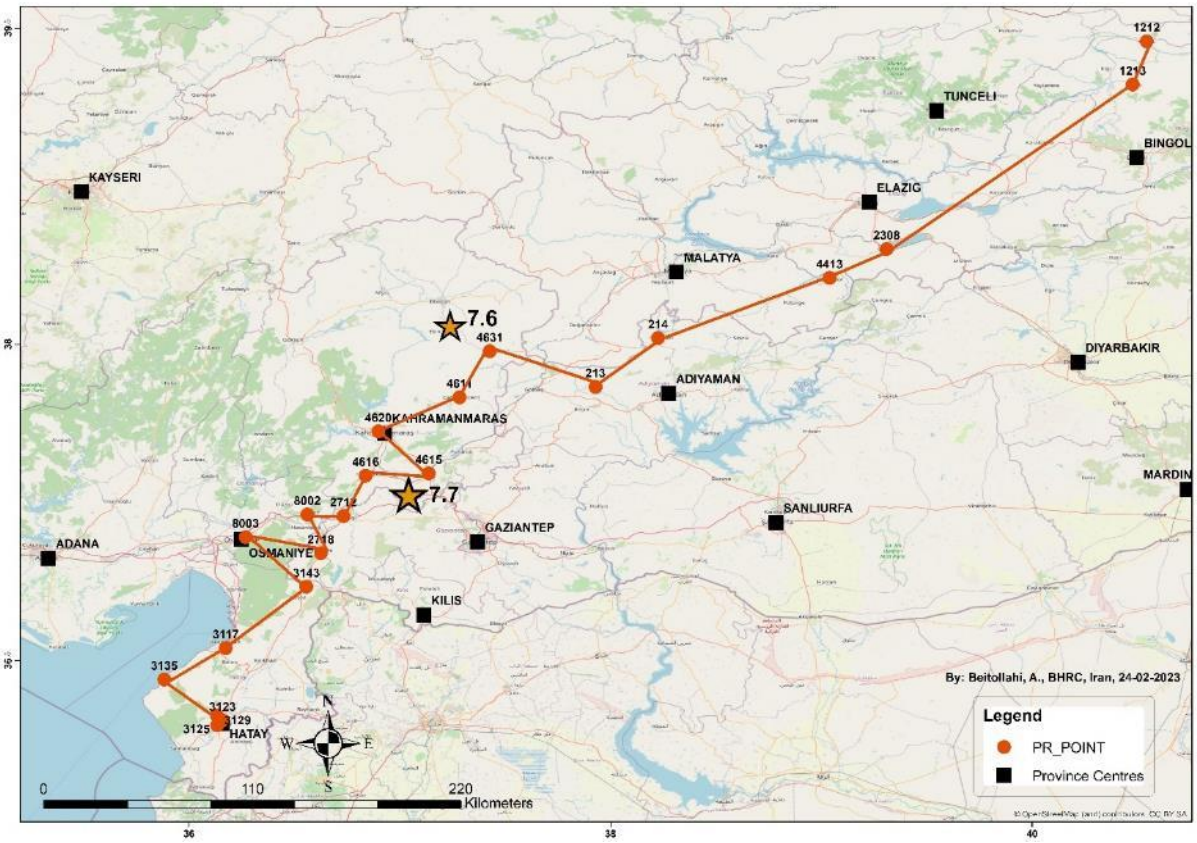
شکل ۲-۳۴- مؤلفه افقی E-W طیف پاسخ سرعت در چهار ایستگاه جنوبی (منطقه حاتای)، ایستگاه‌های ۳۱۲۳(Vs۳۰=۴۷۰ m/s)، ۳۱۲۴(Vs۳۰=۲۸۳ m/s)، ۳۱۳۶(Vs۳۰=۳۴۴ m/s) و ۳۱۴۰(Vs۳۰=۲۱۰m/s)



شکل ۲-۳۵-طیف پاسخ جابجائی در دو ایستگاه ۳۱۳۱ و ۳۱۲۰ محدوده حاتای که با توجه به مجاورت این دو ایستگاه نسبت به هم، احتمالاً بدلیل تغییرات شرایط ساختگاهی رفتار طیفی متفاوتی را نشان می‌دهند که می‌تواند یکی از دلایل توجیهی برای تفاوت خرابی‌ها در مناطق مختلف یک شهر نیز باشد.

▪ پروفیل ایستگاه‌های منتخب از جنوب غرب به شمال شرق

در امتداد توزیع پسلرزه ها، امتداد گسل آناتولی شرقی و با توجه به خرابی‌های بوجود آمده ناشی از وقوع زلزله‌های بزرگ ۷٫۷ و ۷٫۶ قهرمان ماراش، ایستگاه‌های شتابنگاری برای ارزیابی بیشتر انتخاب گردیدند که در شکل ۲-۳۶ نشان داده شده است. این پروفیل و نمودارهای تهیه شده برای آن چگونگی تغییرات پارامترهای مختلف جنبش نیرومند زمین را از جنوب به شمال در محدوده اثر زلزله ۷٫۷ پازارچیک نشان می‌دهد که می‌تواند در ارزیابی خرابی‌ها نیز مفید باشد.

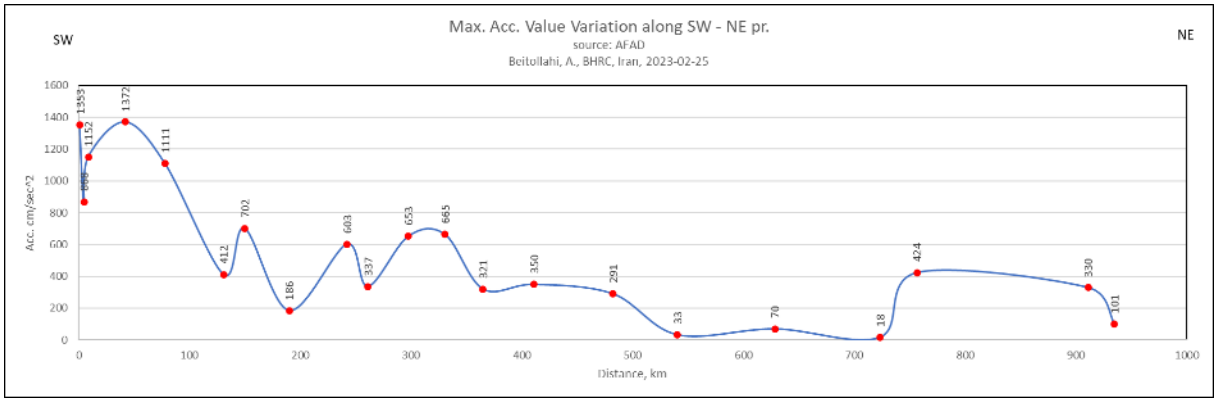


شکل ۲-۳۶-نقشه موقعیت پروفیل و ایستگاه‌های منتخب در آن (مبدأ پروفیل ایستگاه جنوبی حاتای می‌باشد)

جدول ۲-۱-مختصات و فواصل جانبی ایستگاه‌ها نسبت به هم در پروفیل منتخب

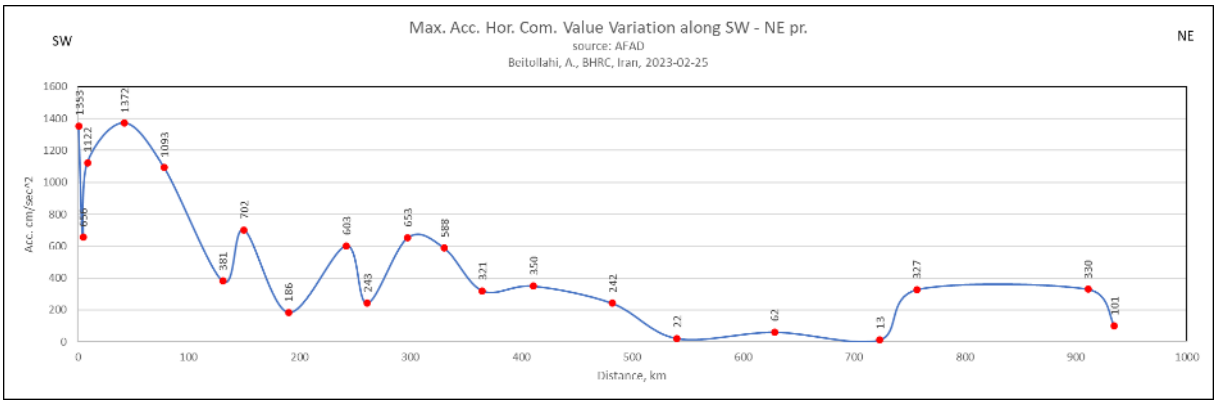
Code -E	Longitude	Latitude	DIS_PR_T
STA.3129	36.1343	36.19117	0
STA.3123	36.15973	36.21423	5
STA.3125	36.13264	36.23808	9
STA.3135	35.8831	36.40886	42
STA.3117	36.17471	36.55712	78
STA.3143	36.557138	36.848907	131
STA.2718	36.6266	37.00777	150
STA.8003	36.26936	37.08417	190
STA.2712	36.73283	37.184	242
STA.8002	36.56195	37.19156	261
STA.4616	36.83836	37.37547	298
STA.4615	37.13803	37.38676	331
STA.4620	36.89845	37.58568	365
STA.4611	37.28426	37.7472	411
STA.213	37.92957	37.79667	482
STA.4631	37.427653	37.966325	540
STA.214	38.22594	38.028298	628
STA.4413	39.039342	38.313533	723
STA.2308	39.3102	38.45063	757
STA.1213	40.4774	39.231	911
STA.1212	40.54324	39.43613	935

- تغییرات بیشینه شتاب (هر سه مؤلفه) در راستای پروفیل انتخابی (شکل ۲-۳۷)



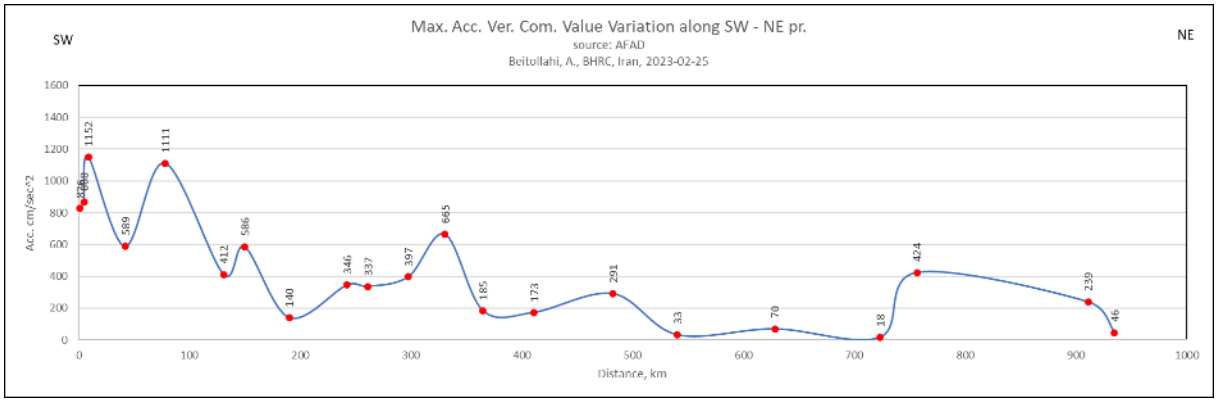
شکل ۲-۳۷- تغییرات بیشینه شتاب (هر سه مؤلفه) در راستای پروفیل انتخابی

- تغییرات شتاب افقی (بیشینه مقدار) در طول پروفیل (شکل ۲-۳۸)



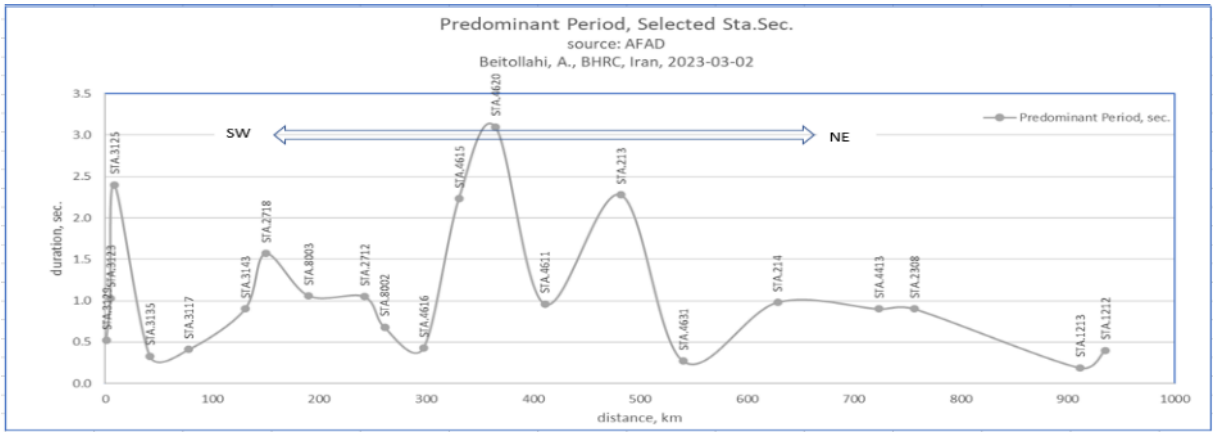
شکل ۲-۳۸- تغییرات شتاب افقی (بیشینه مقدار) در طول پروفیل

- تغییرات بیشینه مقدار شتاب مؤلفه قائم در طول پروفیل (شکل ۲-۳۹)



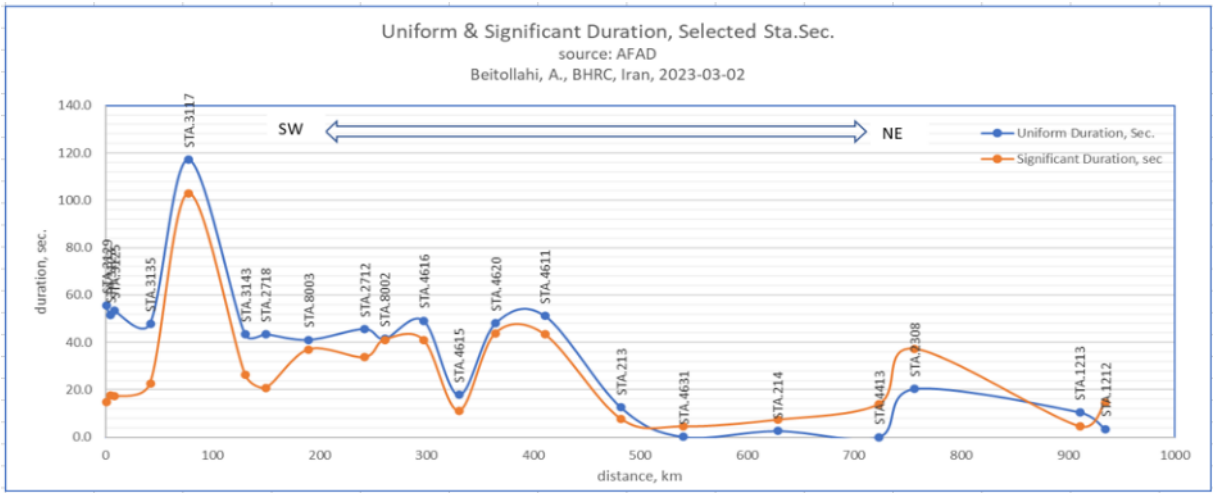
شکل ۲-۳۹- تغییرات بیشینه مقدار شتاب مؤلفه قائم در طول پروفیل

- تغییرات پریود غالب در راستای پروفیل منتخب مشتمل بر ۲۱ ایستگاه در طول ۹۵۰ کیلومتر (فاصله جانبی ایستگاه‌ها نسبت به ایستگاه جنوبی) (شکل ۲-۴۰)



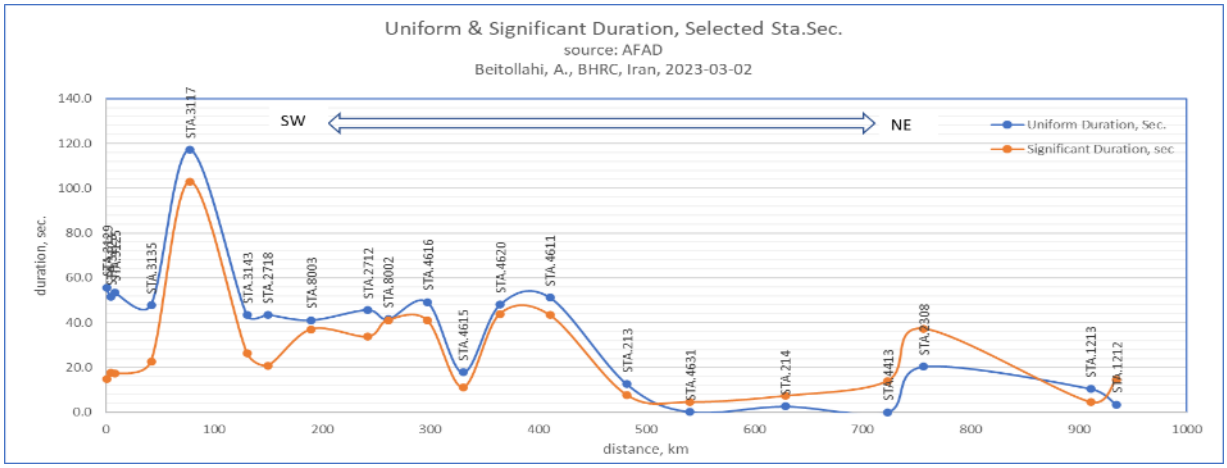
شکل ۲-۴۰- تغییرات پریود غالب در راستای پروفیل منتخب

- تغییرات مدت زمان در راستای پروفیل منتخب مشتمل بر ۲۱ ایستگاه در طول ۹۵۰ کیلومتر (فاصله جانبی ایستگاه‌ها نسبت به ایستگاه جنوبی) (شکل ۲-۴۱)



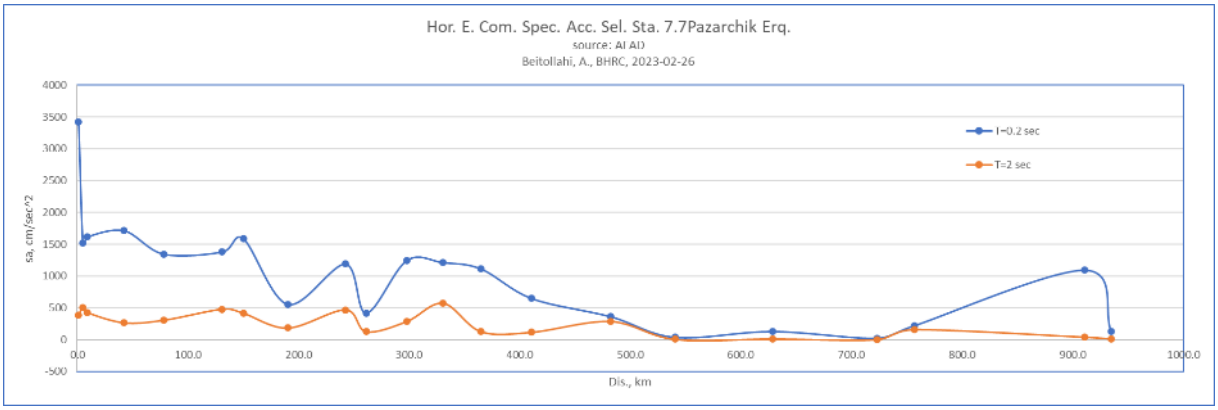
شکل ۲-۴۱- تغییرات مدت زمان در راستای پروفیل منتخب

- میزان تفاوت مدت دوام یکنواخت و مؤثر در ایستگاه‌های واقع بر روی پروفیل منتخب (شکل ۲-۴۲)



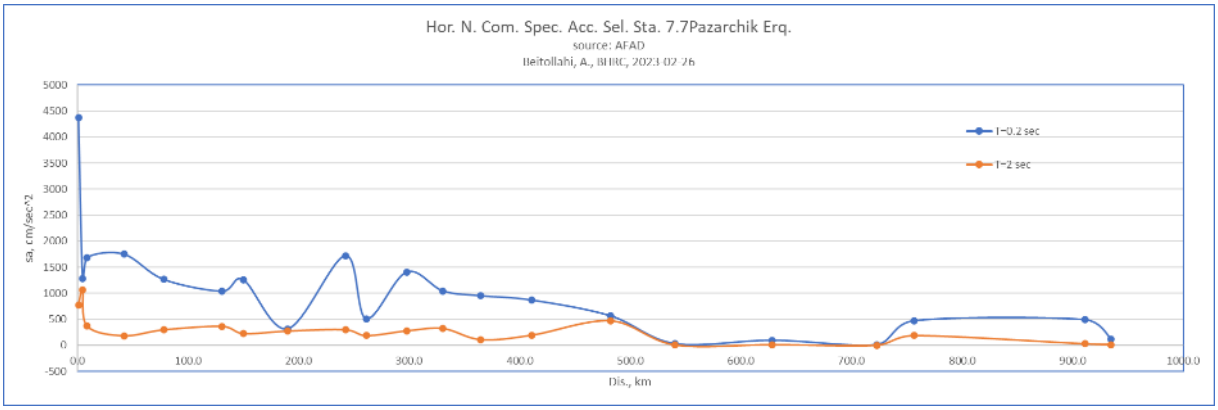
شکل ۲-۴۲- میزان تفاوت مدت دوام یکنواخت و مؤثر در ایستگاه‌های واقع بر روی پروفیل منتخب

- مقادیر شتاب طیفی (مؤلفه افقی E-W) در پریودهای ۰٫۲ و ۲ ثانیه در ایستگاه‌های منتخب واقع در پروفیل جنوب غرب – شمال شرق (شکل ۲-۴۳)



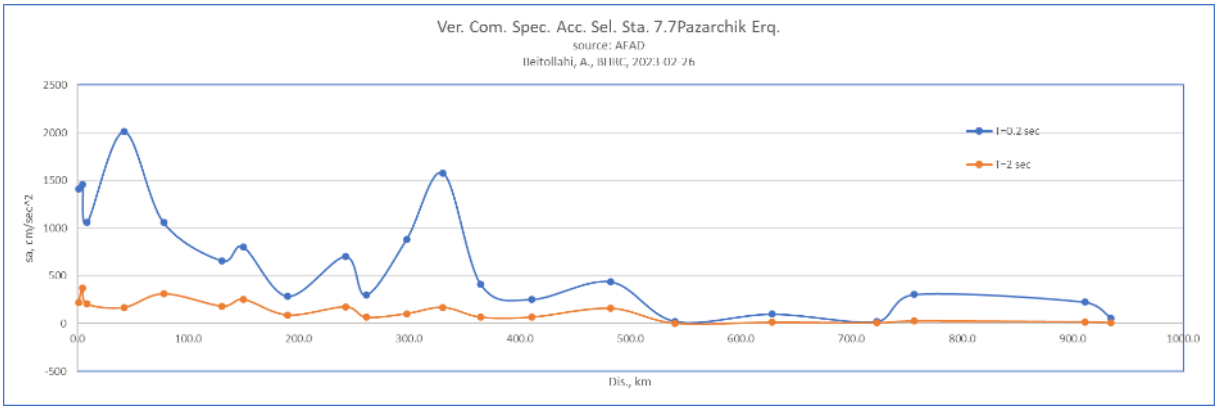
شکل ۲-۴۳- مقادیر شتاب طیفی (مؤلفه افقی E-W) در پریودهای ۰٫۲ و ۲ ثانیه در ایستگاه‌های منتخب

- مقادیر شتاب طیفی (مؤلفه افقی N-S) در پریودهای ۰٫۲ و ۲ ثانیه در ایستگاه‌های منتخب واقع در پروفیل جنوب غرب – شمال شرق (شکل ۲-۴۴)



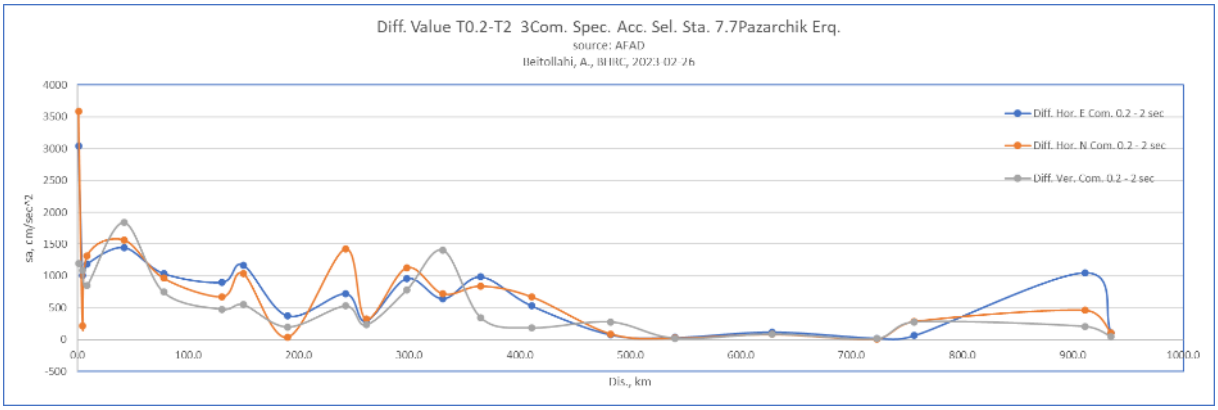
شکل ۲-۴۴- مقادیر شتاب طیفی (مؤلفه افقی N-S) در پریودهای ۰٫۲ و ۲ ثانیه در ایستگاه‌های منتخب

- مقادیر شتاب طیفی (مؤلفه قائم) برای پریودهای ۰٫۲ و ۲ ثانیه در ایستگاه‌های پروفیل منتخب (شکل ۲-۴۵)



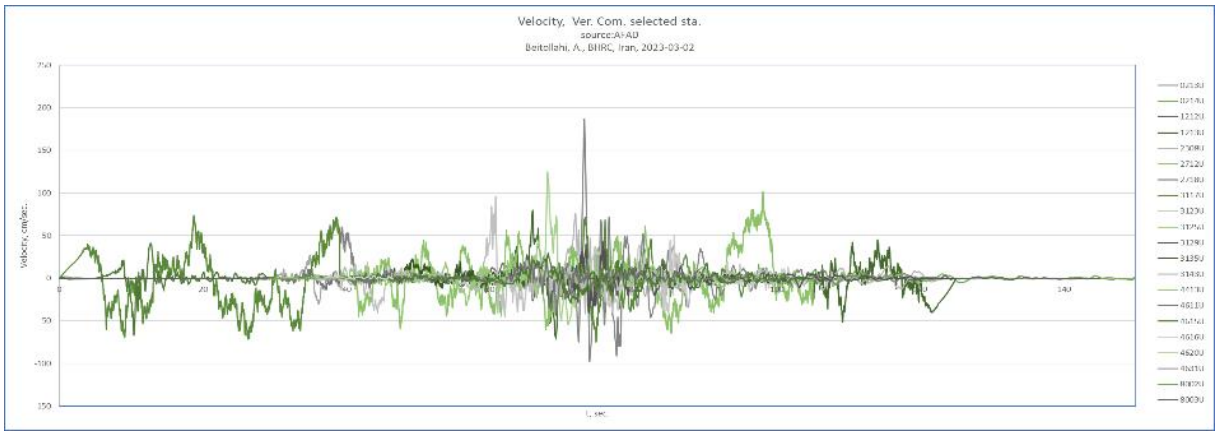
شکل ۲-۴۵- مقادیر شتاب طیفی (مؤلفه قائم) برای پریودهای ۰٫۲ و ۲ ثانیه در ایستگاه‌های پروفیل منتخب

- مقادیر تفاضلی شتاب‌های طیفی ۰٫۲ و ۲ ثانیه از هم برای هر سه مؤلفه در طول پروفیل SW-NE (شکل ۲-۴۶)

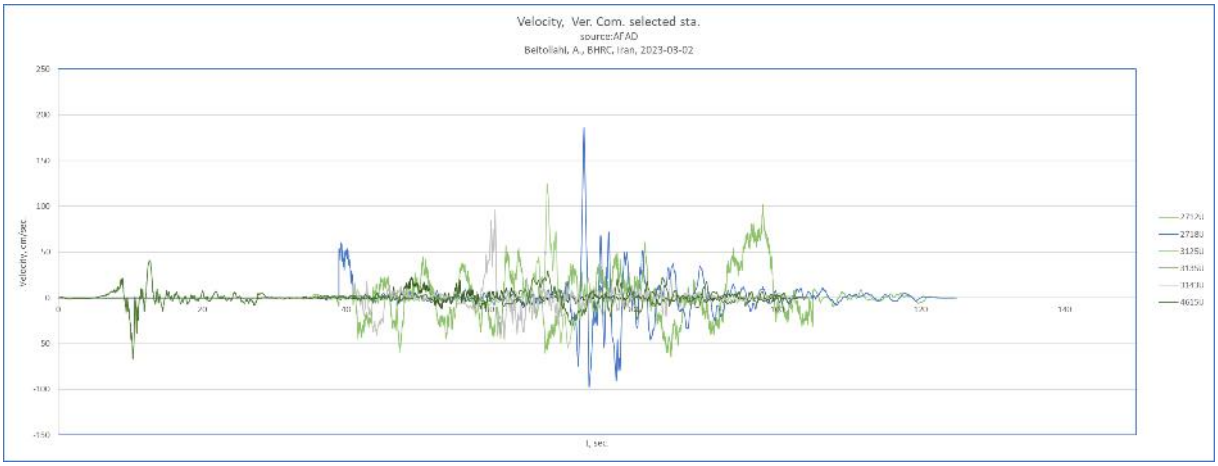


شکل ۲-۴۶- مقادیر تفاضلی شتاب‌های طیفی ۰٫۲ و ۲ ثانیه از هم برای هر سه مؤلفه در طول پروفیل SW-NE

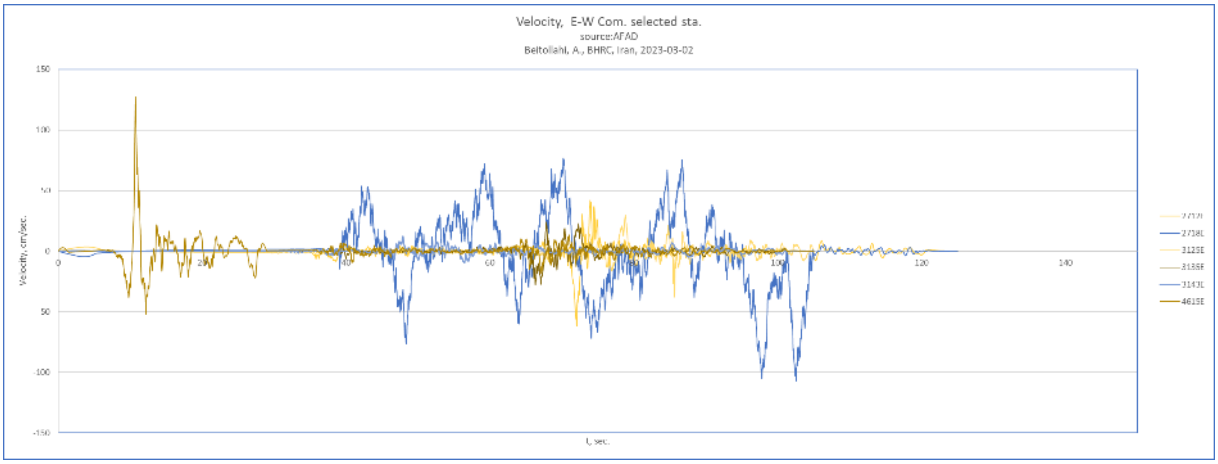
در شکل‌های ۲-۴۷ تا ۲-۵۰ در امتداد پروفیل منتخب مشتمل بر ۲۱ ایستگاه، سری زمانی سرعت نشان داده شده است. توجه به پالس‌های سرعت و وجود اثر جهت یافتگی در توجیه خرابی‌ها مهم است.



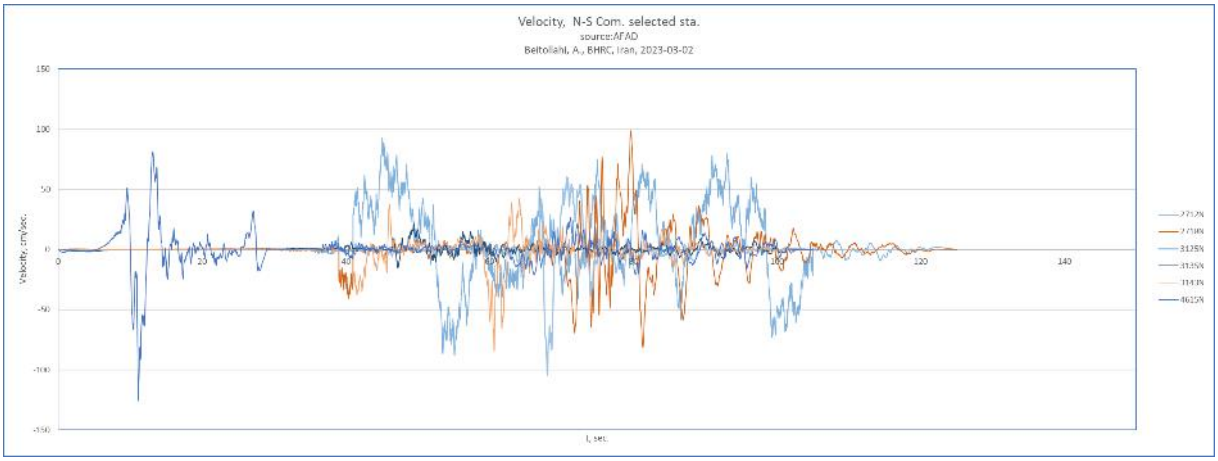
شکل ۲-۴۷-سری زمانی سرعت، هر سه مؤلفه، برای ایستگاه‌های واقع در پروفیل SW-NE



شکل ۲-۴۸-سری زمانی سرعت، مؤلفه قائم، برای ایستگاه‌های واقع در پروفیل SW-NE



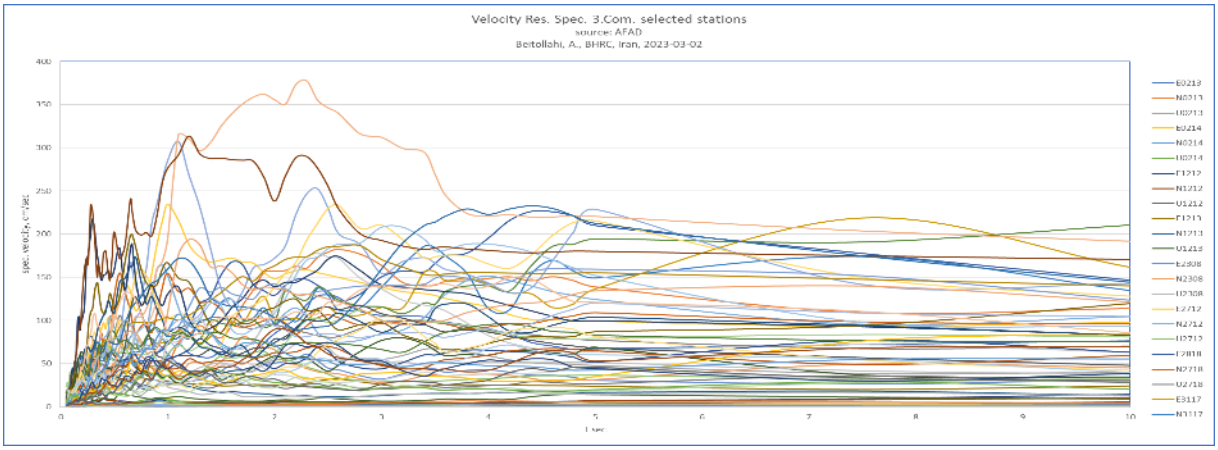
شکل ۲-۴۹-سری زمانی سرعت، مؤلفه افقی E-W، برای ایستگاه‌های واقع در پروفیل SW-NE



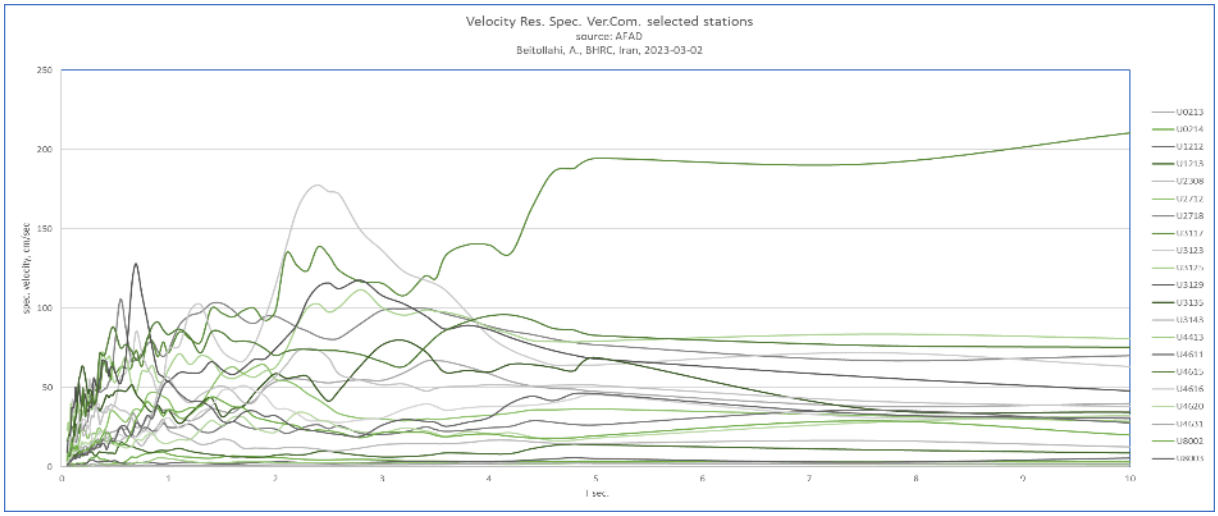
شکل ۲-۵۰-سری زمانی سرعت، مؤلفه افقی N-S، برای ایستگاه‌های واقع در پروفیل SW-NE

در شکل‌های ۲-۵۱ تا ۲-۵۴ طیف‌های پاسخ سرعت برای ایستگاه‌های منتخب واقع در طول پروفیل جنوب غرب – شمال شرق نشان داده شده است. برخی از ایستگاه‌ها، در پریودهای مختلف و بویژه در پریودهای بلند مقادیر سرعتی نسبی بالاتری را نشان می‌دهند. اثر پریود بلندها بر سازه‌های بلند مانند ساختمان‌های بلند مرتبه، پل‌های بزرگ، مخازن مایعات حجیم مهم است. در تشکیل طبقات نرم در ساختمان‌های بلند مرتبه نیز این پارامتر در هر کدام از ایستگاه‌های

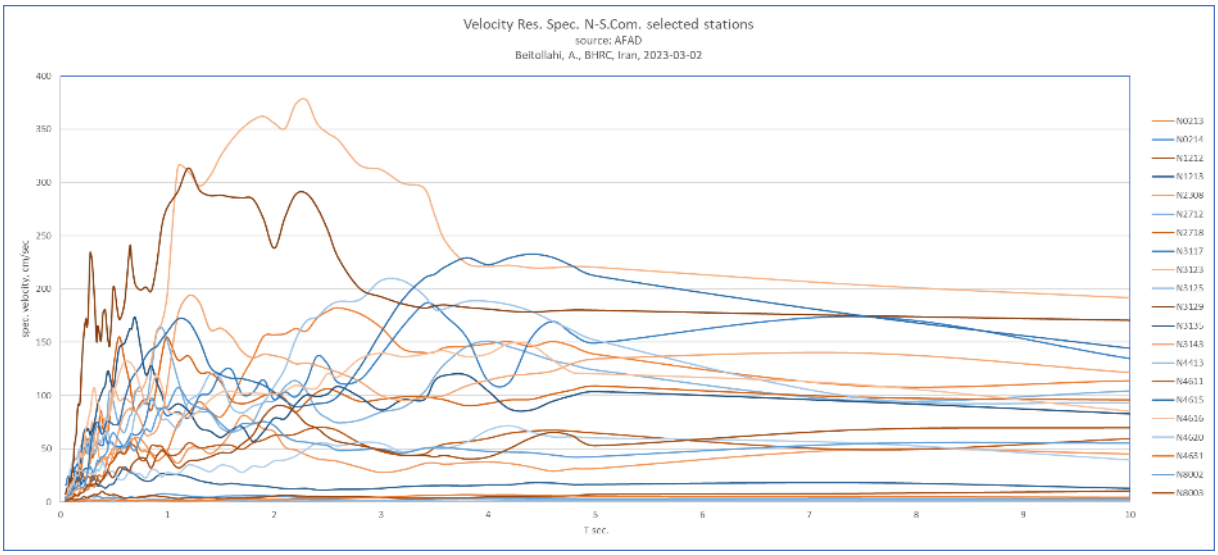
واقع در شهرهای مختلف لازم است که مورد توجه قرار گیرد.



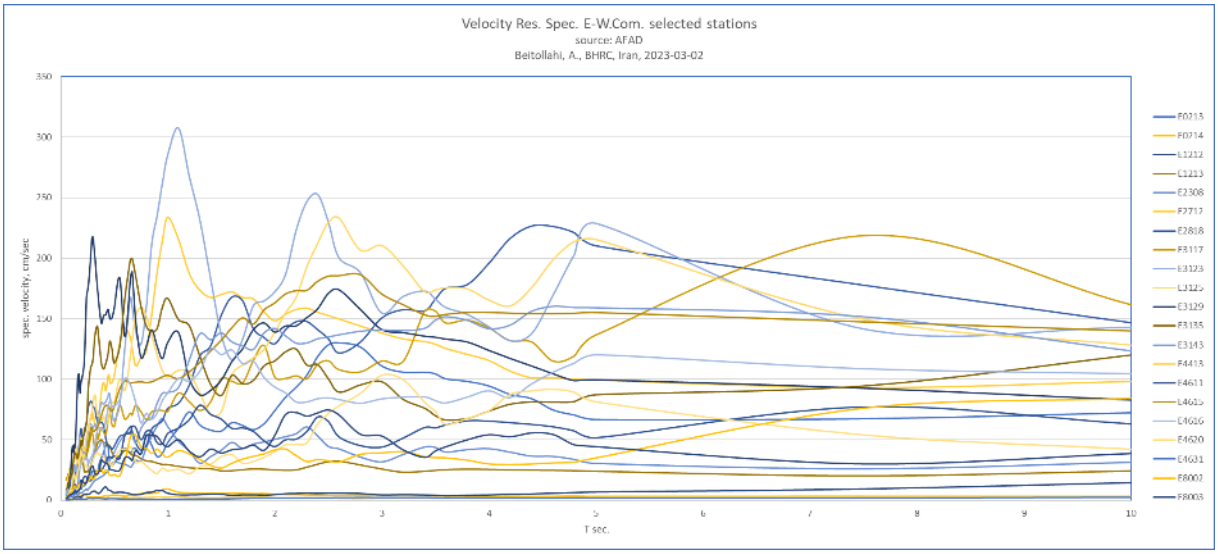
شکل ۲-۵۱-طیف پاسخ سرعت برای هرسه مؤلفه در ایستگاه‌های منتخب واقع در امتداد پروفیل جنوب غرب – شمال شرق



شکل ۲-۵۲-طیف پاسخ سرعت برای مؤلفه قائم در ایستگاه‌های منتخب واقع در امتداد پروفیل جنوب غرب – شمال شرق



شکل ۲-۵۳-طیف پاسخ سرعت برای مؤلفه افقی N-S در ایستگاه‌های منتخب واقع در امتداد پروفیل جنوب غرب – شمال شرق

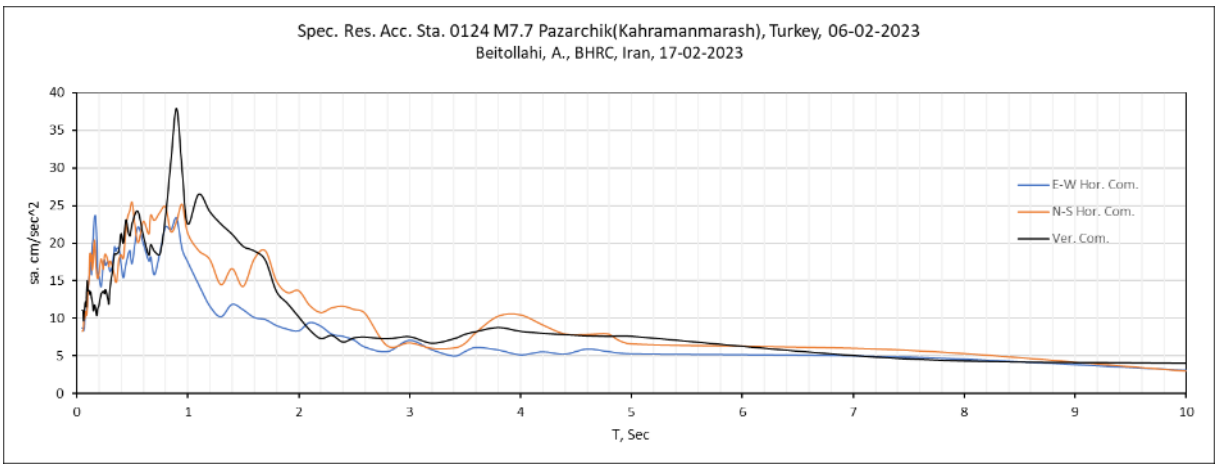


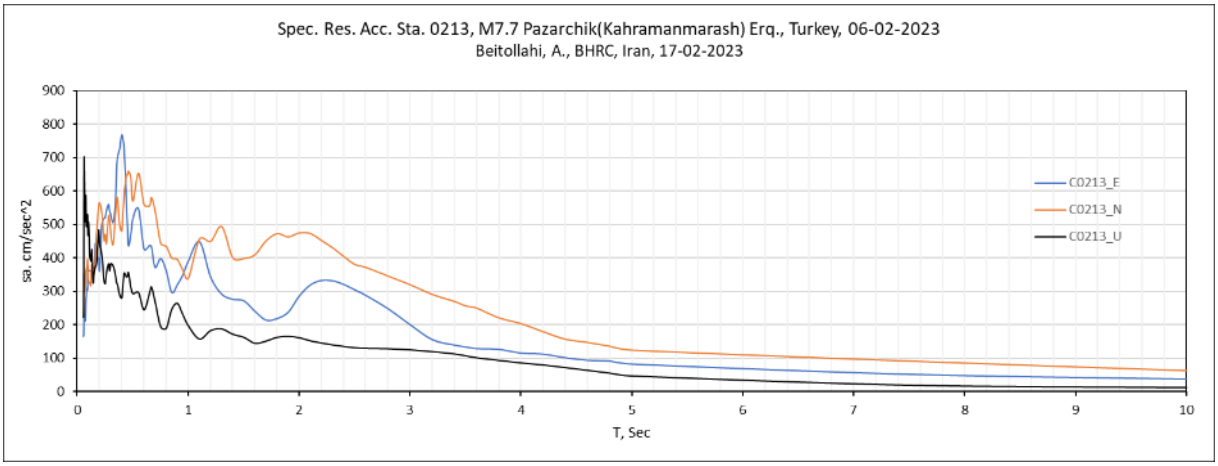
شکل ۲-۵۴-طیف پاسخ سرعت برای مؤلفه افقی E-W در ایستگاه‌های منتخب واقع در امتداد پروفیل جنوب غرب – شمال شرق

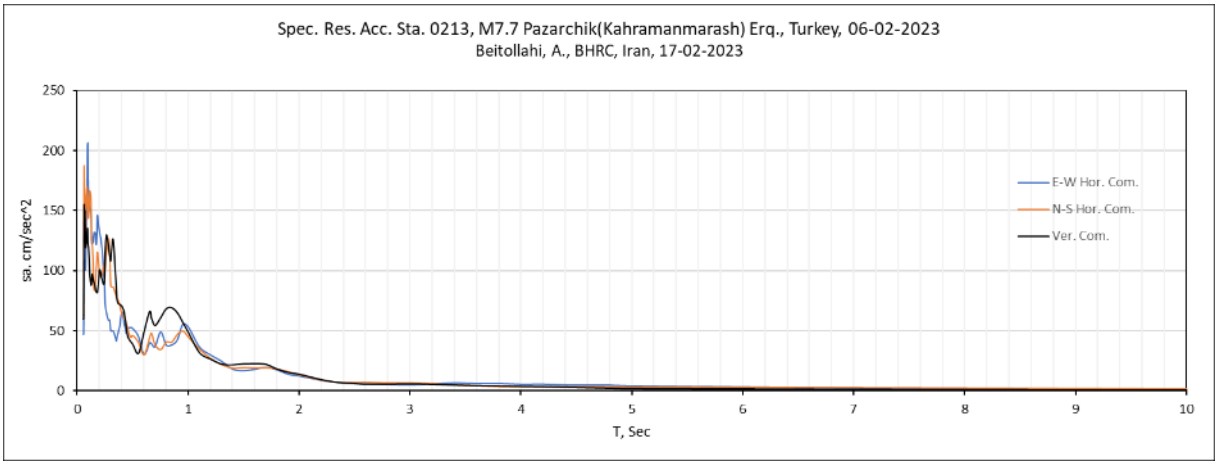
در شکل‌های بعدی به ازای چند ایستگاه شتابنگاشتی (کد ایستگاه‌ها در بالای نمودارها درج شده است که با در نظر گرفتن نقشه ارائه شده در شکل ۲-۲۶ می‌توان به موقعیت هر کدام از ایستگاه‌ها پی برد، همچنین اسامی شهرهایی که ایستگاه‌های شتابنگاشتی در آن و یا مجاورت آن واقع گردیده در نقشه درج گردیده است)، طیف پاسخ جابجائی نشان داده شده است. مقادیر جابجائی به ازای پریودهای مختلف (جابجائی طیفی) بسیار متغیر است. جابجائی طیفی بیش از ۱ متر و تفاوت جابجائی در پریودهای مختلف نشان از پیچیدگی های زیاد زمین و ساختگاه محدوده‌های تأثیر زلزله دارد و بر همین مبنا نیز رفتار خرابی ساختمان‌ها نیز متفاوت است. در برخی از موارد ساختمان‌ها در مقابل طیفی که به مراتب بالاتر از طیف آئین نامه ساخت و ساز ترکیه است، رفتار خوبی را نشان داده و فرو نریخته‌اند. در برخی موارد طیف زلزله پائین تر از طیف آئین نامه بوده که خرابی و فروریزش ساختمان‌ها باید به طور کارشناسی ارزیابی دقیقتری شود.

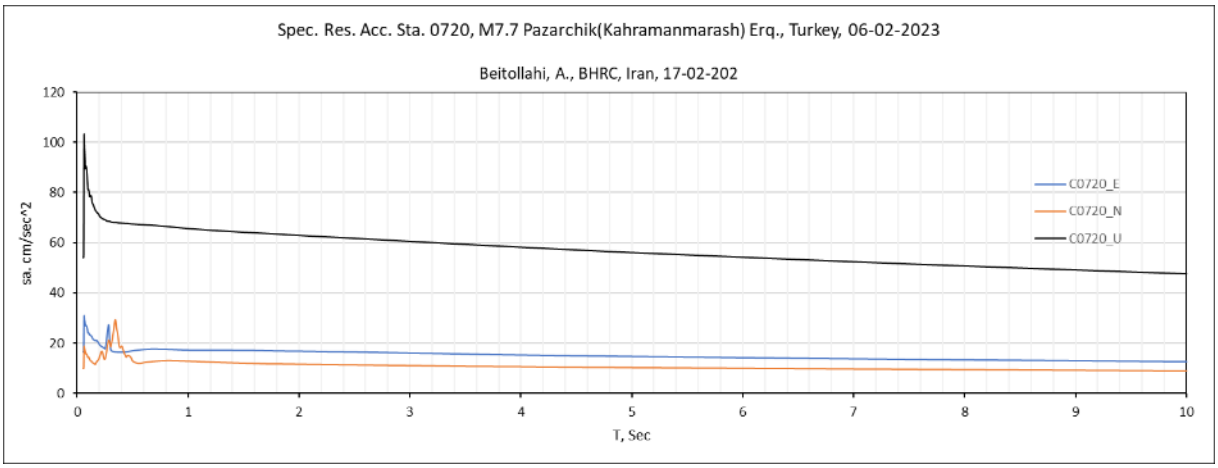
- نمودارهای طیف‌های پاسخ شتاب (هر سه مؤلفه) در چند ایستگاه (موقعیت ایستگاه‌ها با کد مربوطه آن و محل شهر نزدیک به آن در شکل ۲-۲۶ نشان داده شده است).

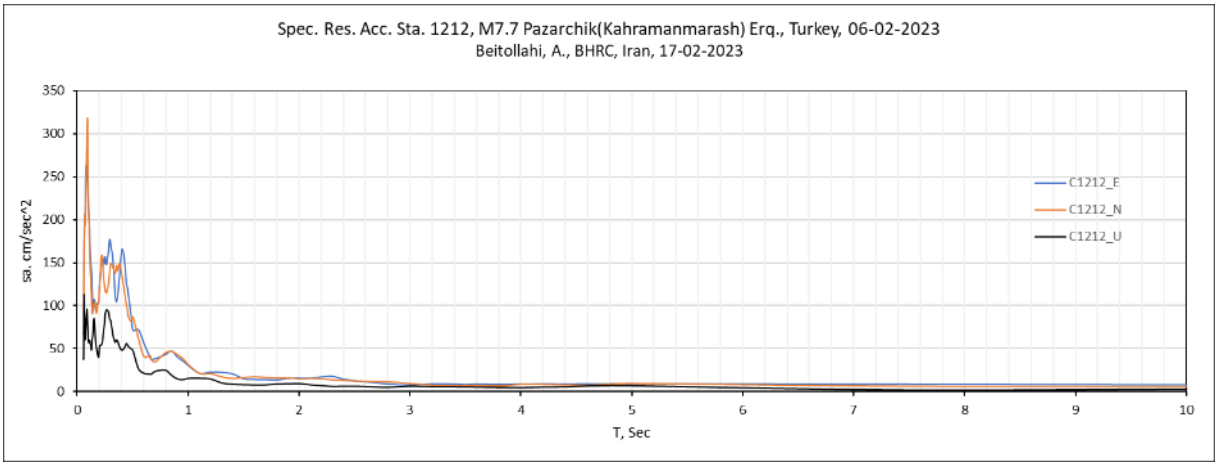
در بررسی نمودارهای طیف پاسخ شتاب، رفتار نمودار در پریودهای مختلف حائز اهمیت است. در برخی از نمودارها اثر دایرکتیویتی مشهود است. در برخی از ایستگاه پریود غالب خاک موجب بزرگنمائی در مقادیر گردیده است. بررسی تفصیلی داده‌های طیفی زلزله‌های ۷٫۷ و ۷٫۶ قهرمان ماراش ترکیه در فرصت دیگر و با جزئیات بیشتر باید انجام شود.

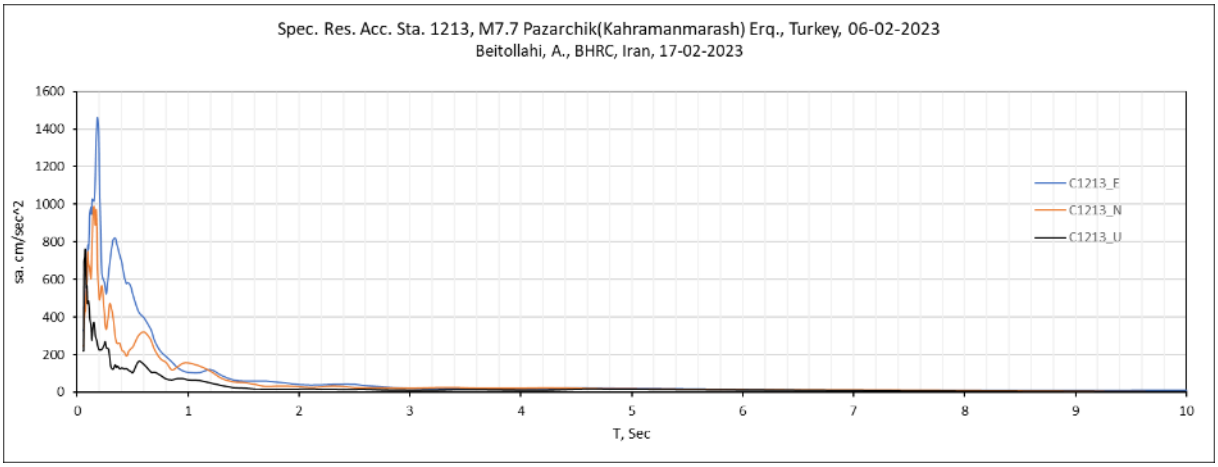


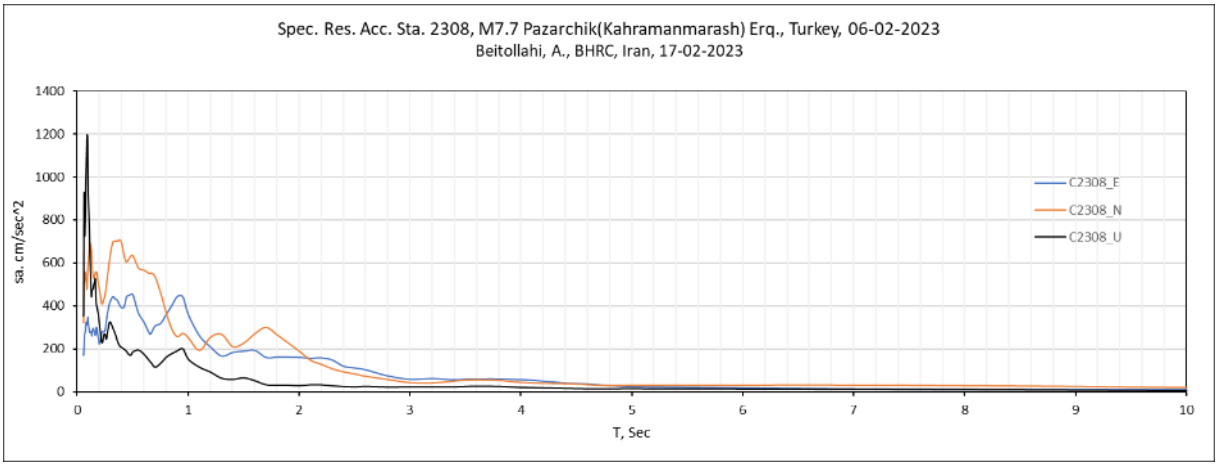

Spec. Res. Acc. Sta. 0213, M7.7 Pazarchik(Kahramanmarash) Erq., Turkey, 06-02-2023
Beitollahi, A., BHRC, Iran, 17-02-2023
sa. cm/sec^2
T, Sec
C0213_E
C0213_N
C0213_U

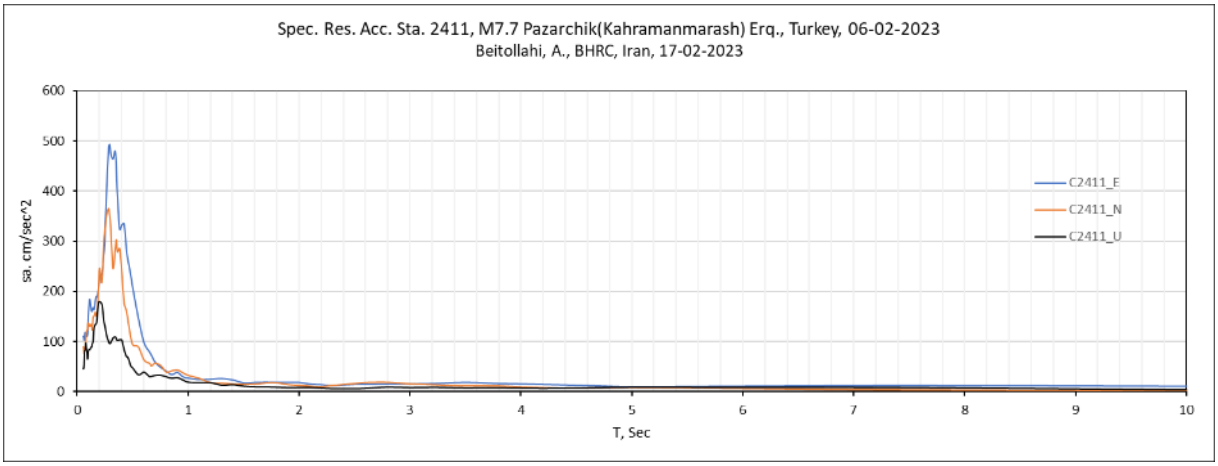

Spec. Res. Acc. Sta. 0213, M7.7 Pazarchik(Kahramanmarash) Erq., Turkey, 06-02-2023
Beitollahi, A., BHRC, Iran, 17-02-2023
sa. cm/sec^2
T, Sec
E-W Hor. Com.
N-S Hor. Com.
Ver. Com.

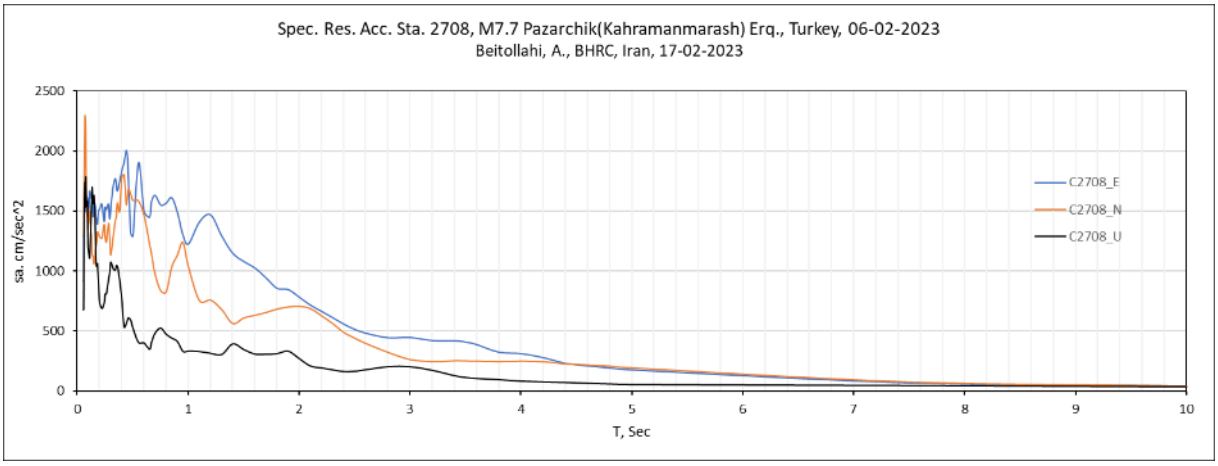

Spec. Res. Acc. Sta. 0720, M7.7 Pazarchik(Kahramanmarash) Erq., Turkey, 06-02-2023
Beitollahi, A., BHRC, Iran, 17-02-202
sa. cm/sec^2
T, Sec
C0720_E
C0720_N
C0720_U

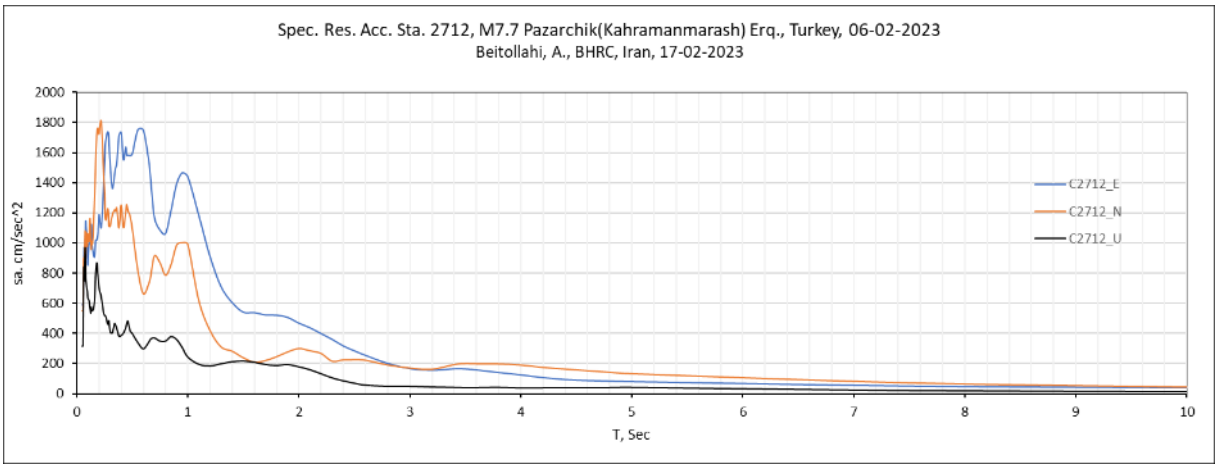

Spec. Res. Acc. Sta. 1212, M7.7 Pazarchik(Kahramanmarash) Erq., Turkey, 06-02-2023
Beitollahi, A., BHRC, Iran, 17-02-2023
sa. cm/sec^2
T, Sec
C1212_E
C1212_N
C1212_U

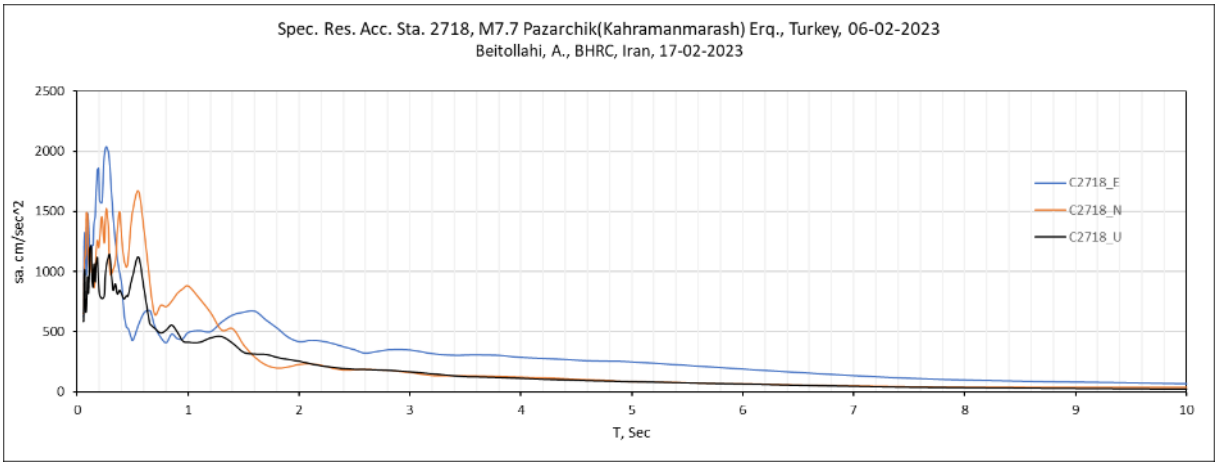

Spec. Res. Acc. Sta. 1213, M7.7 Pazarchik(Kahramanmarash) Erq., Turkey, 06-02-2023
Beitollahi, A., BHRC, Iran, 17-02-2023
sa. cm/sec^2
T, Sec
C1213_E
C1213_N
C1213_U

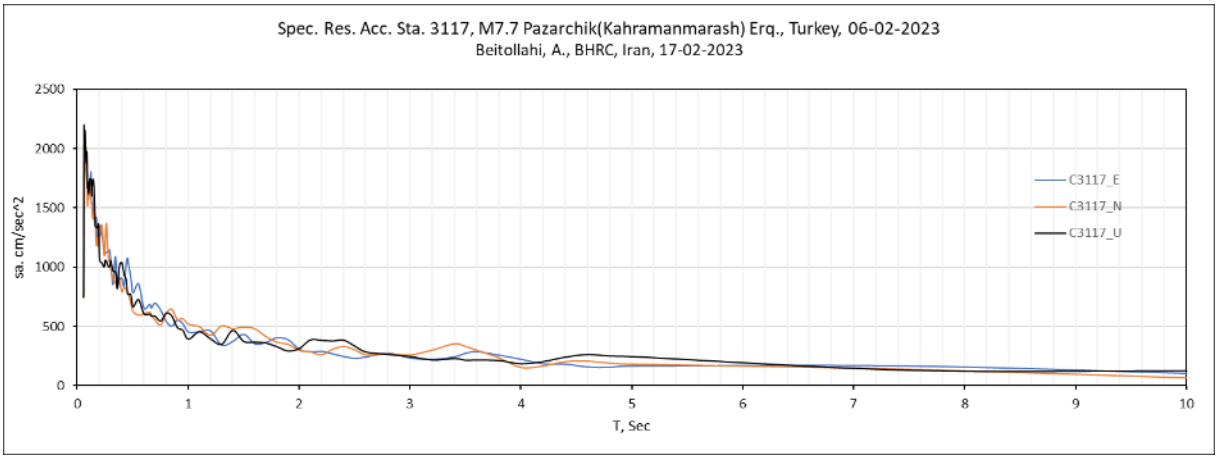

Spec. Res. Acc. Sta. 2308, M7.7 Pazarchik(Kahramanmarash) Erq., Turkey, 06-02-2023
Beitollahi, A., BHRC, Iran, 17-02-2023
sa. cm/sec^2
T, Sec
C2308_E
C2308_N
C2308_U

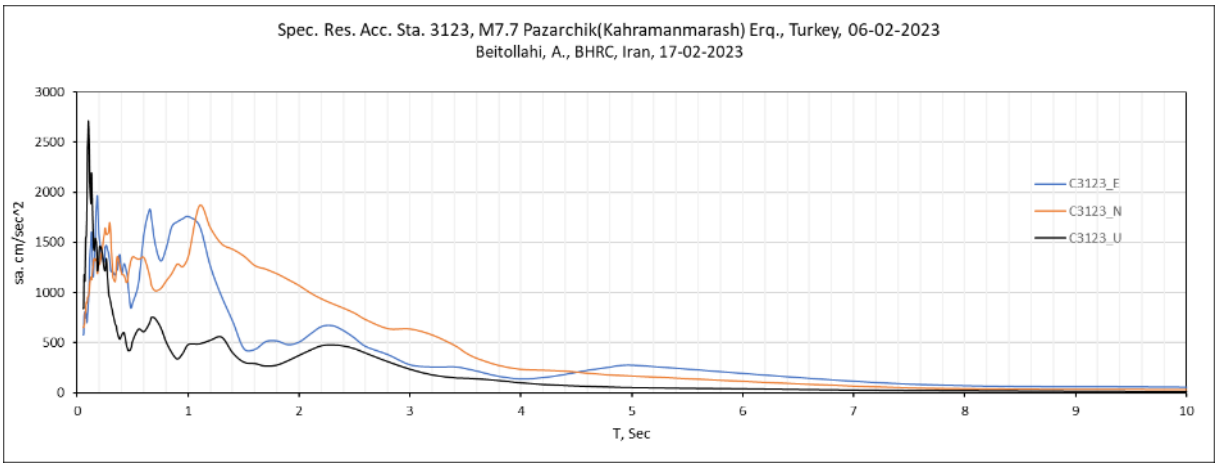

Spec. Res. Acc. Sta. 2411, M7.7 Pazarchik(Kahramanmarash) Erq., Turkey, 06-02-2023
Beitollahi, A., BHRC, Iran, 17-02-2023
sa. cm/sec^2
T, Sec
C2411_E
C2411_N
C2411_U

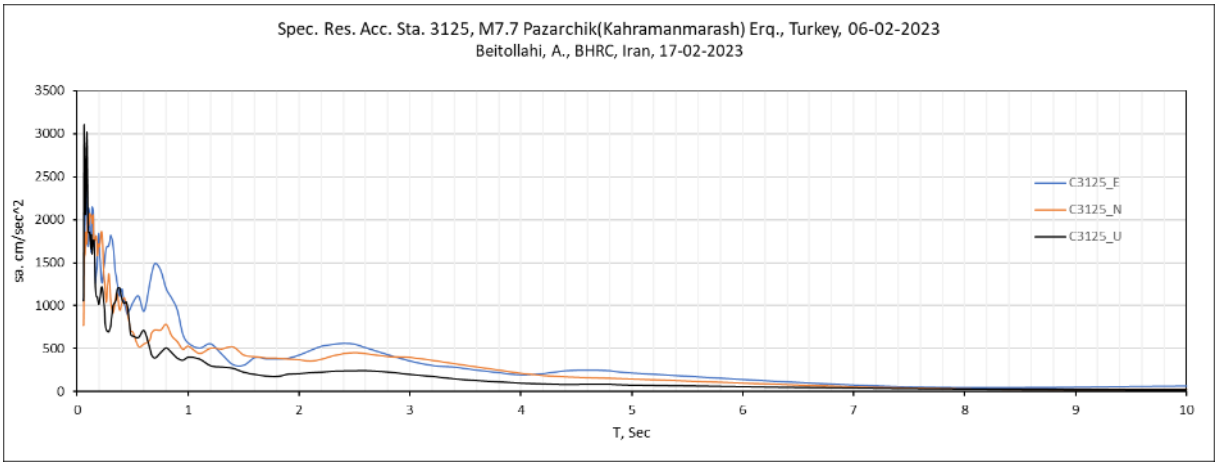

Spec. Res. Acc. Sta. 2708, M7.7 Pazarchik(Kahramanmarash) Erq., Turkey, 06-02-2023
Beitollahi, A., BHRC, Iran, 17-02-2023
sa. cm/sec^2
T, Sec
C2708_E
C2708_N
C2708_U

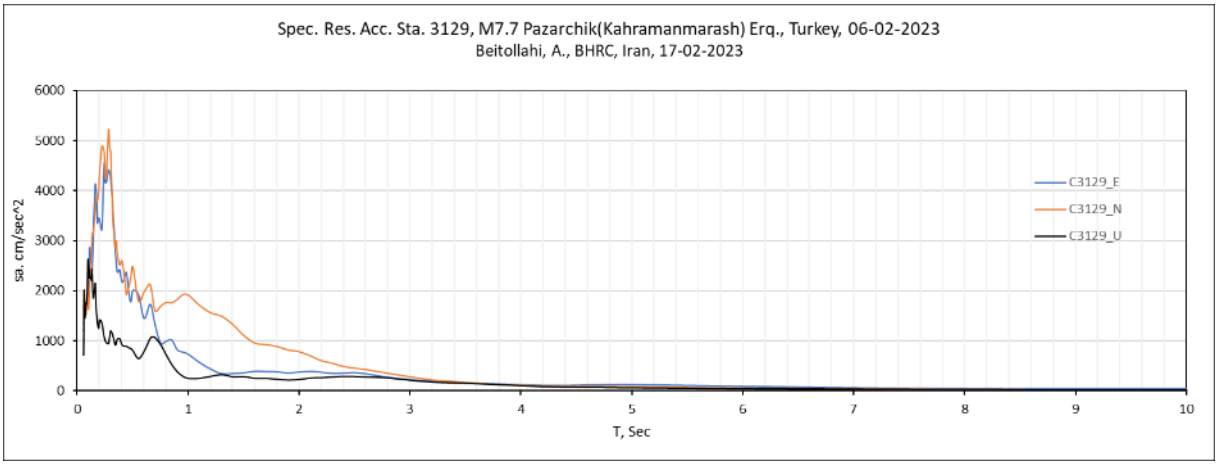

Spec. Res. Acc. Sta. 2712, M7.7 Pazarchik(Kahramanmarash) Erq., Turkey, 06-02-2023
Beitollahi, A., BHRC, Iran, 17-02-2023
sa. cm/sec^2
T, Sec
C2712_E
C2712_N
C2712_U

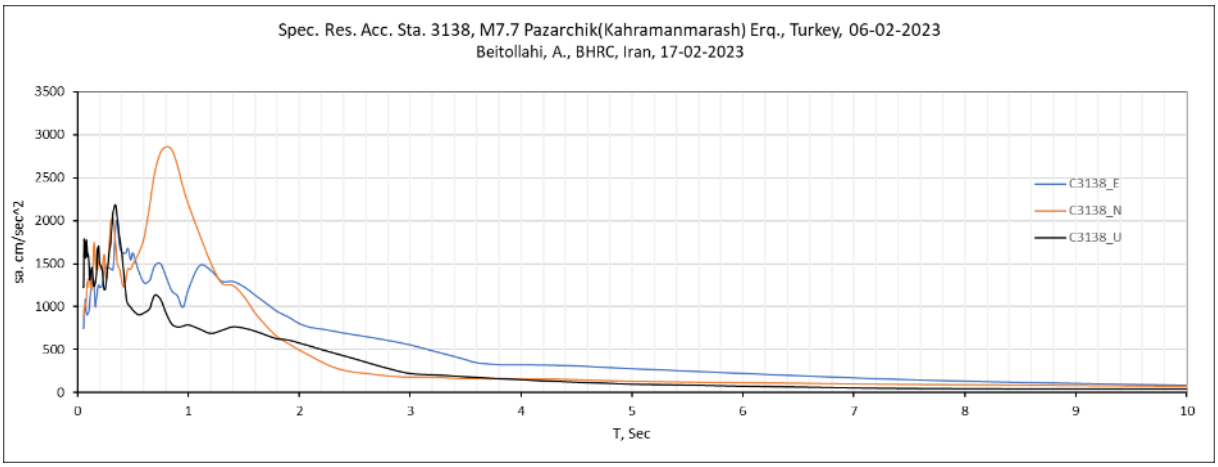

Spec. Res. Acc. Sta. 2718, M7.7 Pazarchik(Kahramanmarash) Erq., Turkey, 06-02-2023
Beitollahi, A., BHRC, Iran, 17-02-2023
sa. cm/sec^2
T, Sec
C2718_E
C2718_N
C2718_U

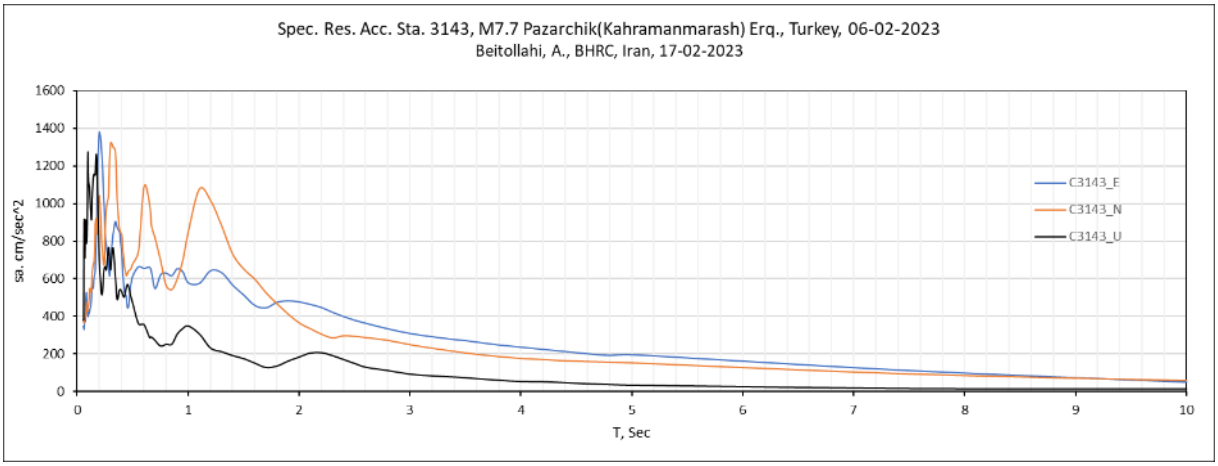

Spec. Res. Acc. Sta. 3117, M7.7 Pazarchik(Kahramanmarash) Erq., Turkey, 06-02-2023
Beitollahi, A., BHRC, Iran, 17-02-2023
sa. cm/sec^2
T, Sec
C3117_E
C3117_N
C3117_U

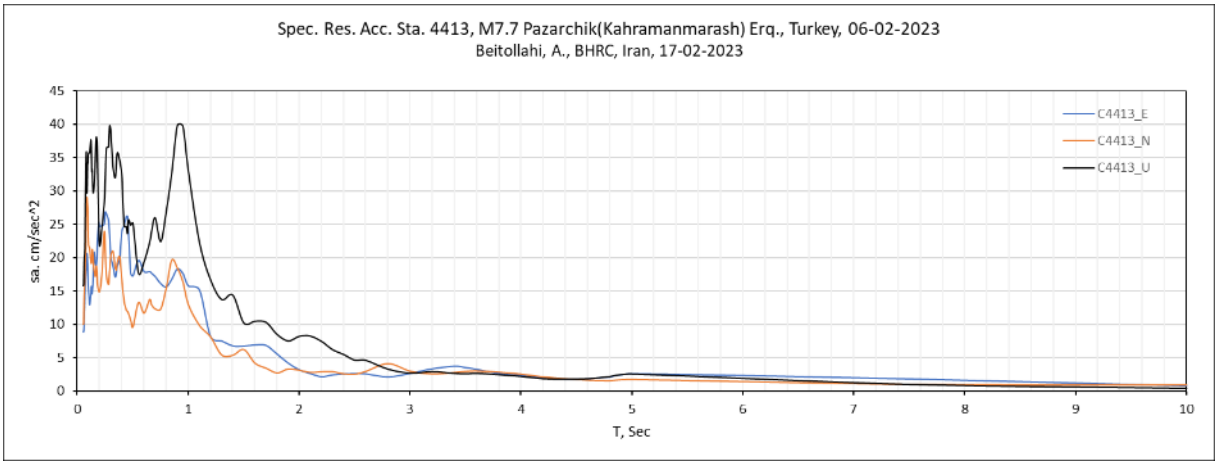

Spec. Res. Acc. Sta. 3123, M7.7 Pazarchik(Kahramanmarash) Erq., Turkey, 06-02-2023
Beitollahi, A., BHRC, Iran, 17-02-2023
sa. cm/sec^2
T, Sec
C3123_E
C3123_N
C3123_U

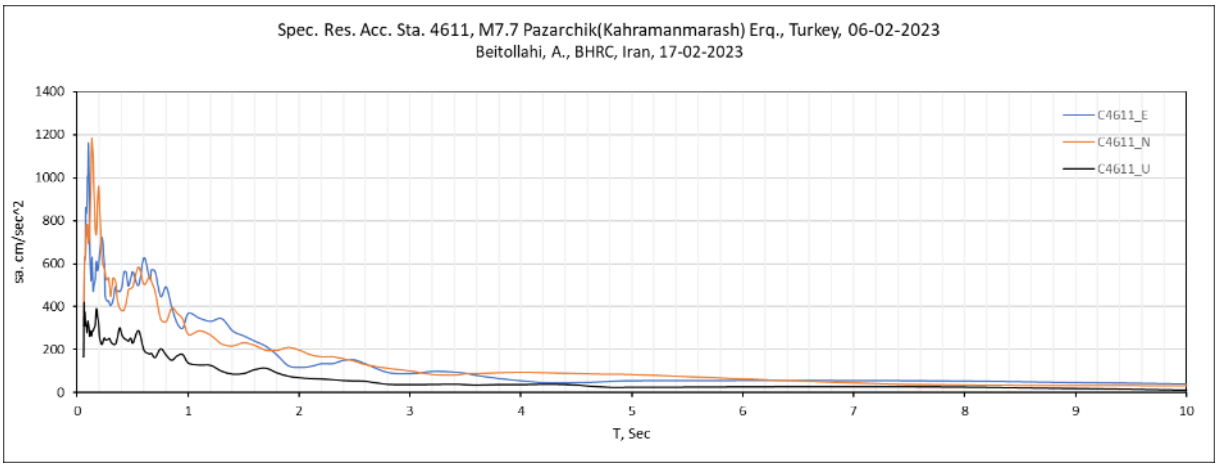

Spec. Res. Acc. Sta. 3125, M7.7 Pazarchik(Kahramanmarash) Erq., Turkey, 06-02-2023
Beitollahi, A., BHRC, Iran, 17-02-2023
sa, cm/sec^2
T, Sec
C3125_E
C3125_N
C3125_U

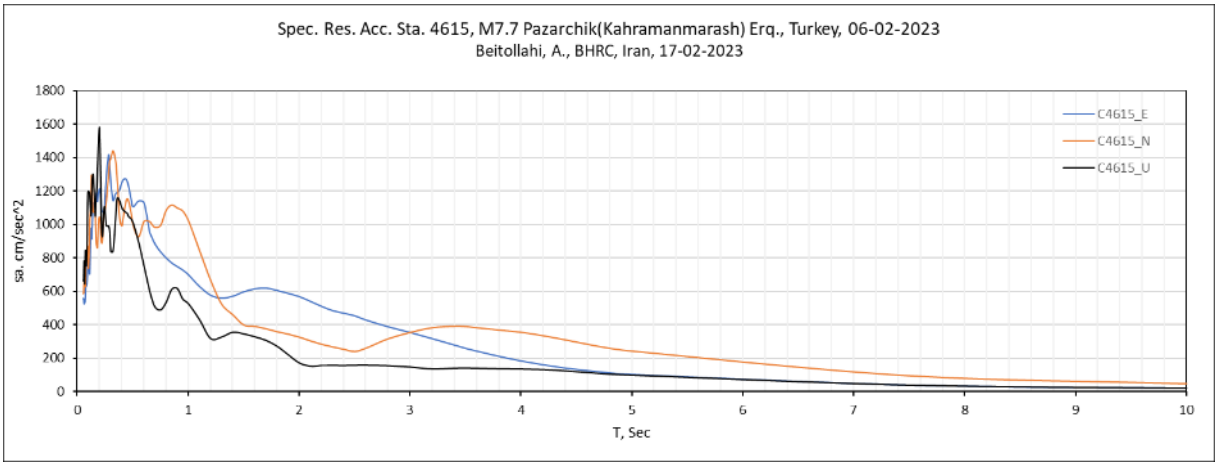

Spec. Res. Acc. Sta. 3129, M7.7 Pazarchik(Kahramanmarash) Erq., Turkey, 06-02-2023
Beitollahi, A., BHRC, Iran, 17-02-2023
sa, cm/sec^2
T, Sec
C3129_E
C3129_N
C3129_U

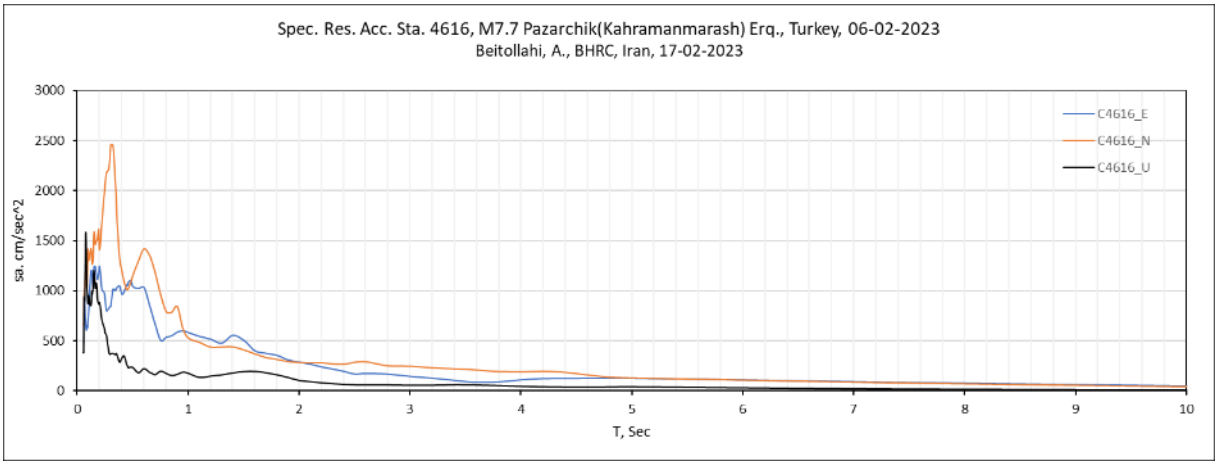

Spec. Res. Acc. Sta. 3138, M7.7 Pazarchik(Kahramanmarash) Erq., Turkey, 06-02-2023
Beitollahi, A., BHRC, Iran, 17-02-2023
sa, cm/sec^2
T, Sec
C3138_E
C3138_N
C3138_U

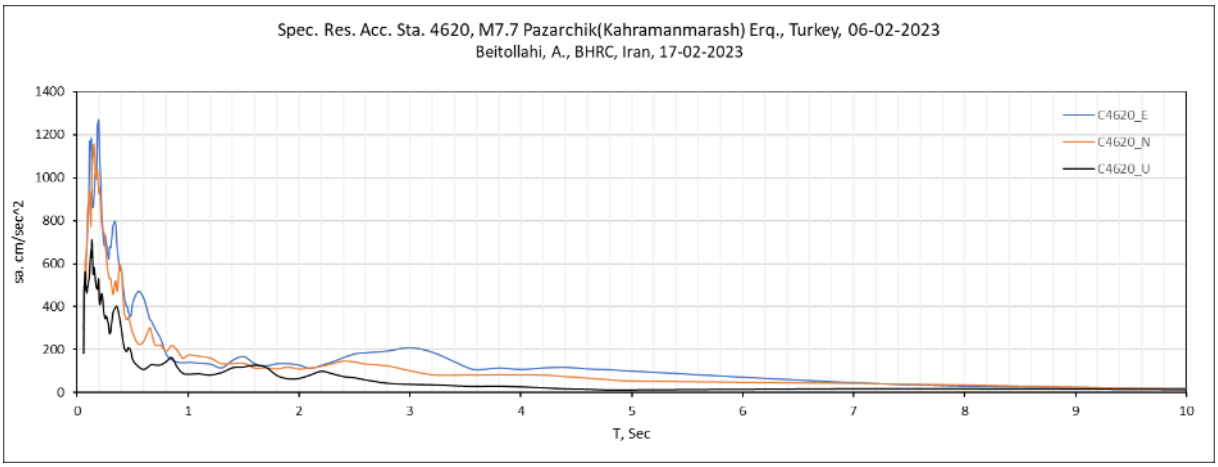

Spec. Res. Acc. Sta. 3143, M7.7 Pazarchik(Kahramanmarash) Erq., Turkey, 06-02-2023
Beitollahi, A., BHRC, Iran, 17-02-2023
sa. cm/sec^2
T, Sec
C3143_E
C3143_N
C3143_U

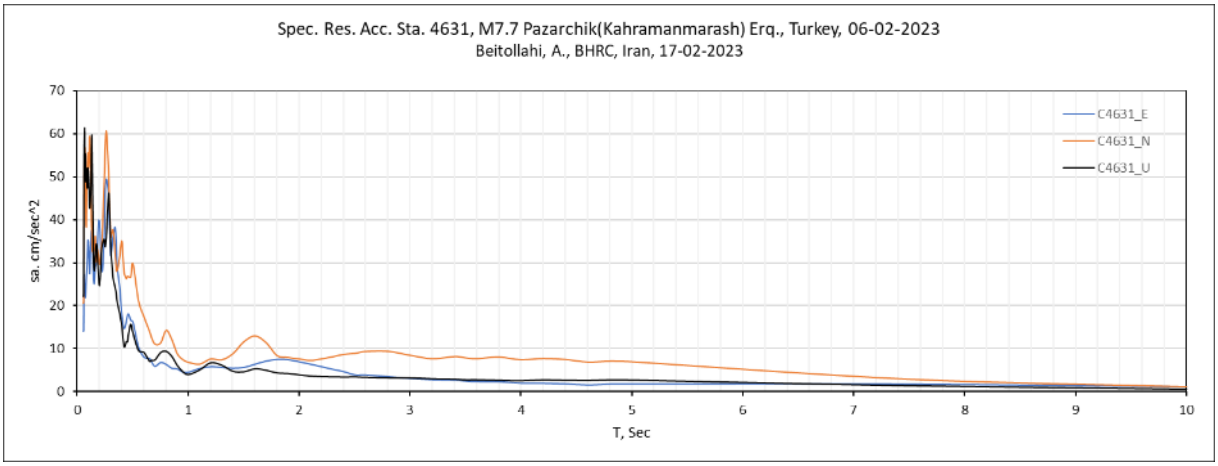

Spec. Res. Acc. Sta. 4413, M7.7 Pazarchik(Kahramanmarash) Erq., Turkey, 06-02-2023
Beitollahi, A., BHRC, Iran, 17-02-2023
sa. cm/sec^2
T, Sec
C4413_E
C4413_N
C4413_U

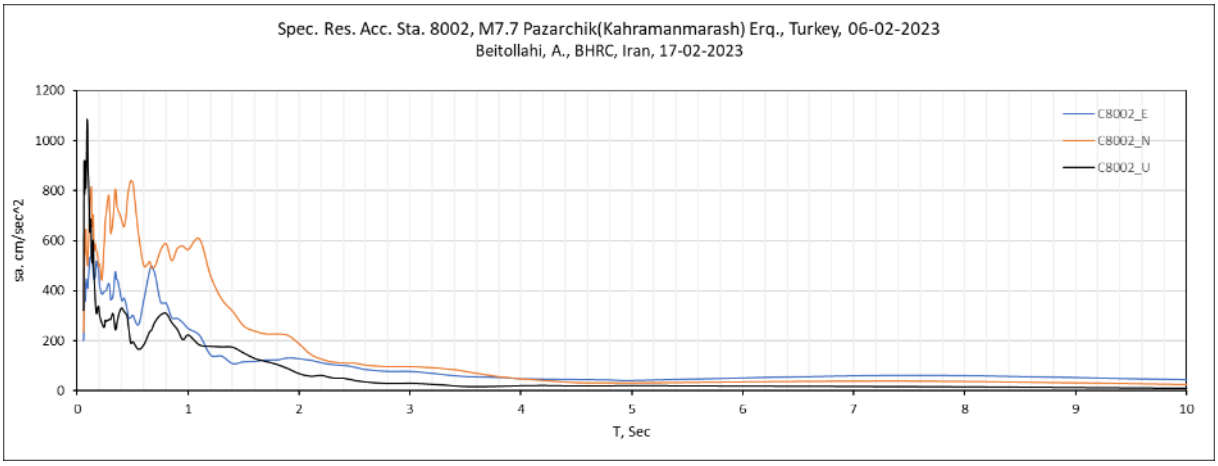

Spec. Res. Acc. Sta. 4611, M7.7 Pazarchik(Kahramanmarash) Erq., Turkey, 06-02-2023
Beitollahi, A., BHRC, Iran, 17-02-2023
sa. cm/sec^2
T, Sec
C4611_E
C4611_N
C4611_U

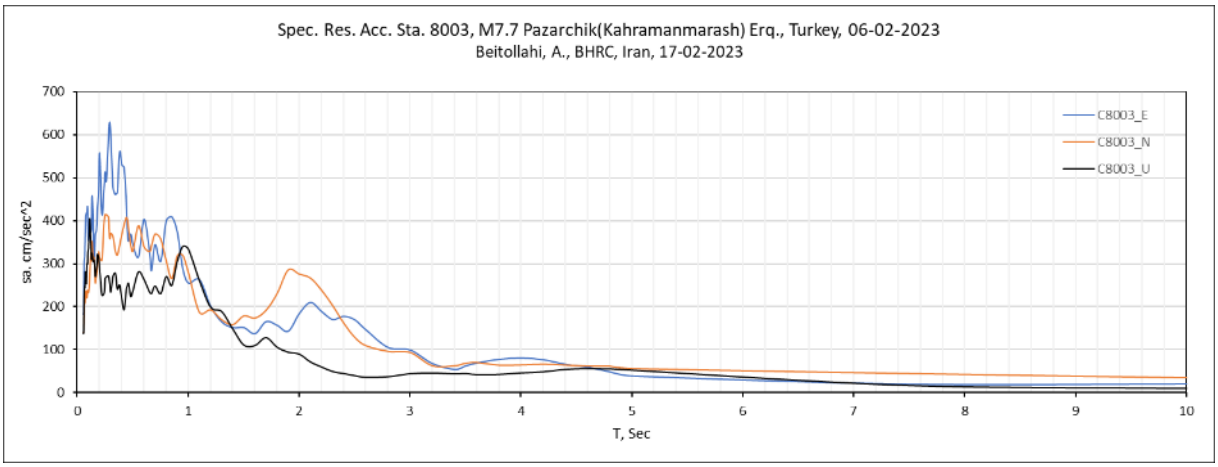

Spec. Res. Acc. Sta. 4615, M7.7 Pazarchik(Kahramanmarash) Erq., Turkey, 06-02-2023
Beitollahi, A., BHRC, Iran, 17-02-2023
sa. cm/sec^2
T, Sec
C4615_E
C4615_N
C4615_U


Spec. Res. Acc. Sta. 4616, M7.7 Pazarchik(Kahramanmarash) Erq., Turkey, 06-02-2023
Beitollahi, A., BHRC, Iran, 17-02-2023
sa. cm/sec^2
T, Sec
C4616_E
C4616_N
C4616_U


Spec. Res. Acc. Sta. 4620, M7.7 Pazarchik(Kahramanmarash) Erq., Turkey, 06-02-2023
Beitollahi, A., BHRC, Iran, 17-02-2023
sa. cm/sec^2
T, Sec
C4620_E
C4620_N
C4620_U

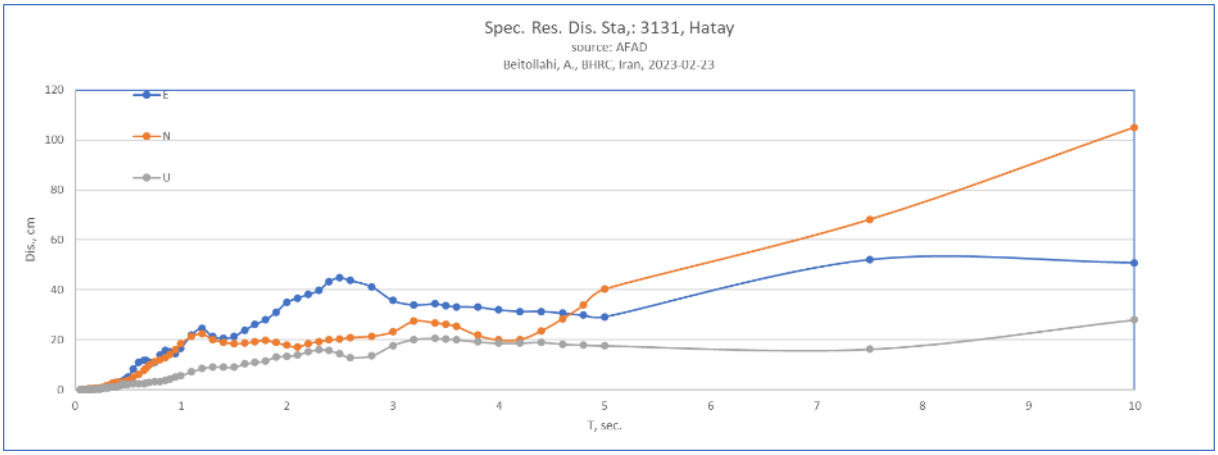


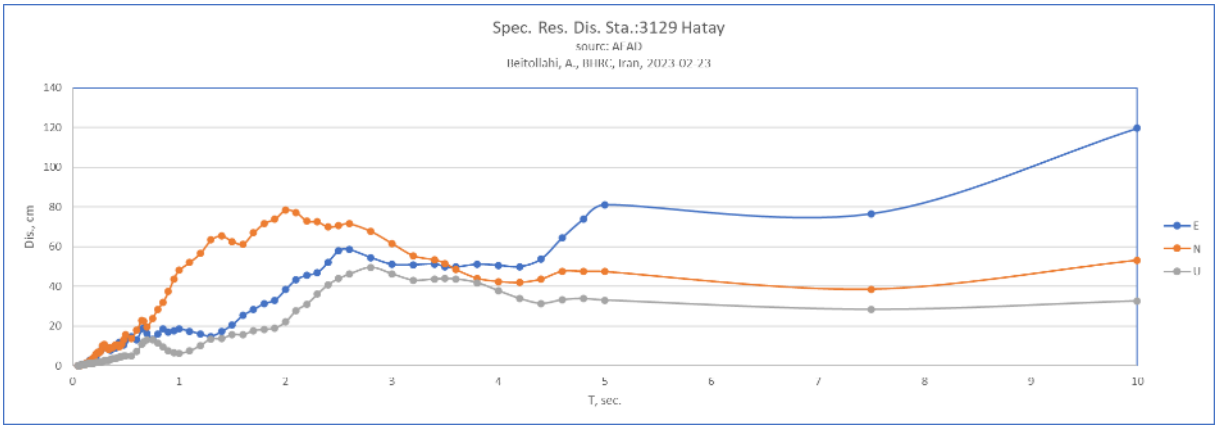




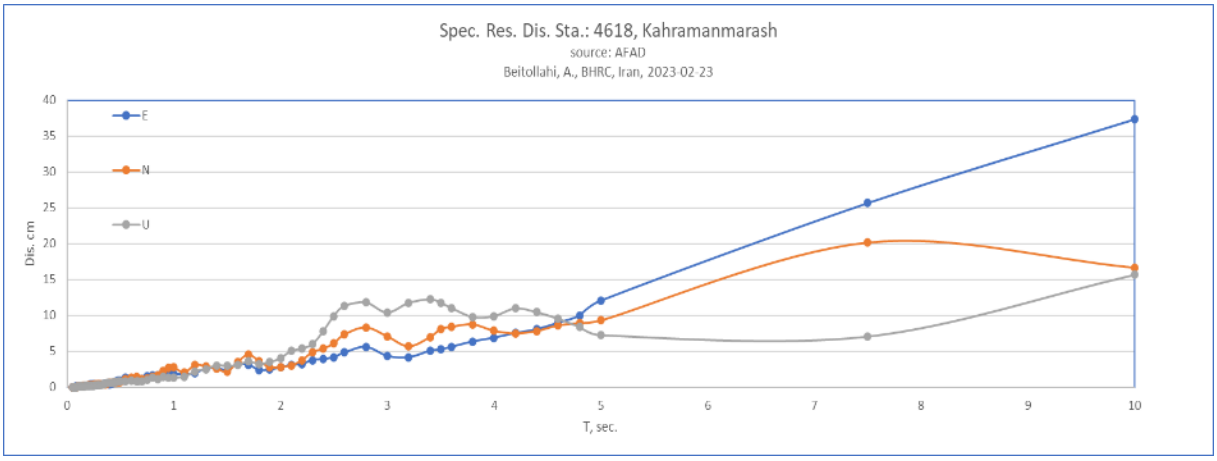
- **طیف‌های جابجائی رکوردهای شهرهای حاتای، قهرمان ماراش و غازیان‌تپ**

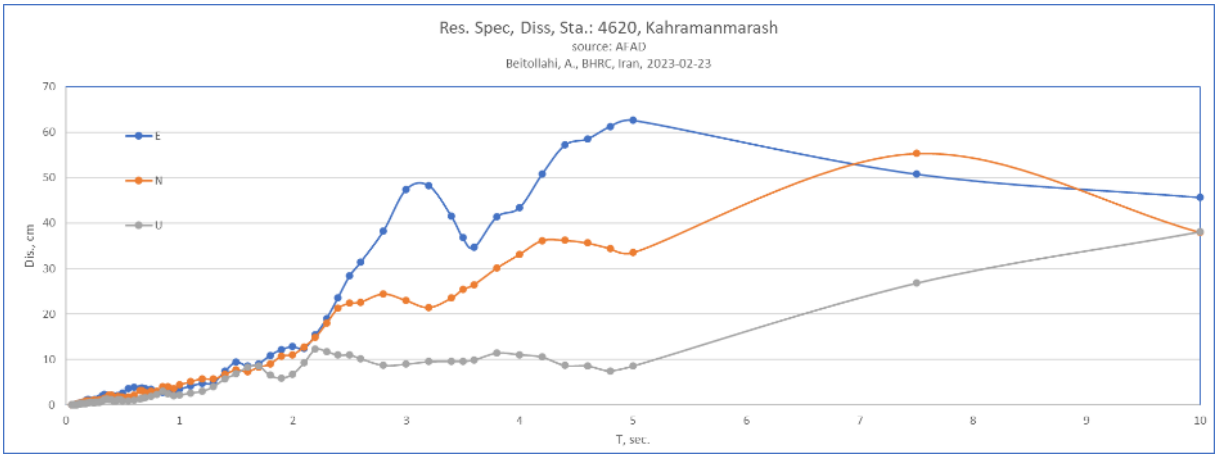
در ادامه به طور مشخص طیف جابجائی رکوردهای ثبت شده در چند ایستگاه واقع در شهر حاتای، قهرمان ماراش و غازیان‌تپ نشان داده شده است. به عنوان مثال رفتار طیف جابجائی زلزله ۷٫۷ در هر سه مؤلفه آن و در دو ایستگاه شتابنگاری واقع در شهر حاتای (عنوان شهرها در بالای هر نمودار درج شده است) نشان از تغییرات فاحش رفتار ساختگاه در پریودهای مختلف و نیز مقادیر جابجائی دارد. پرواضح است که باید در تفسیر خرابی‌ها، این پارامترهای مهم نیز مورد توجه قرار گیرد.



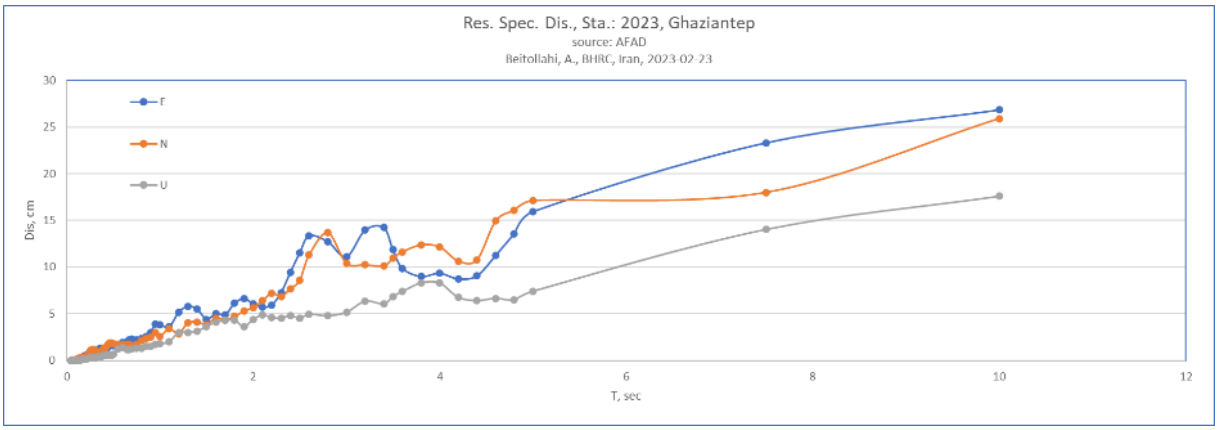


در شهر قهرمان ماراش نیز در دو ایستگاه ۴۶۱۸ و ۴۶۲۹ رفتار جابجائی زمین در طیف‌های مختلف و در دو ایستگاه به طور قابل ملاحظه‌ای از هم متمایز هستند.



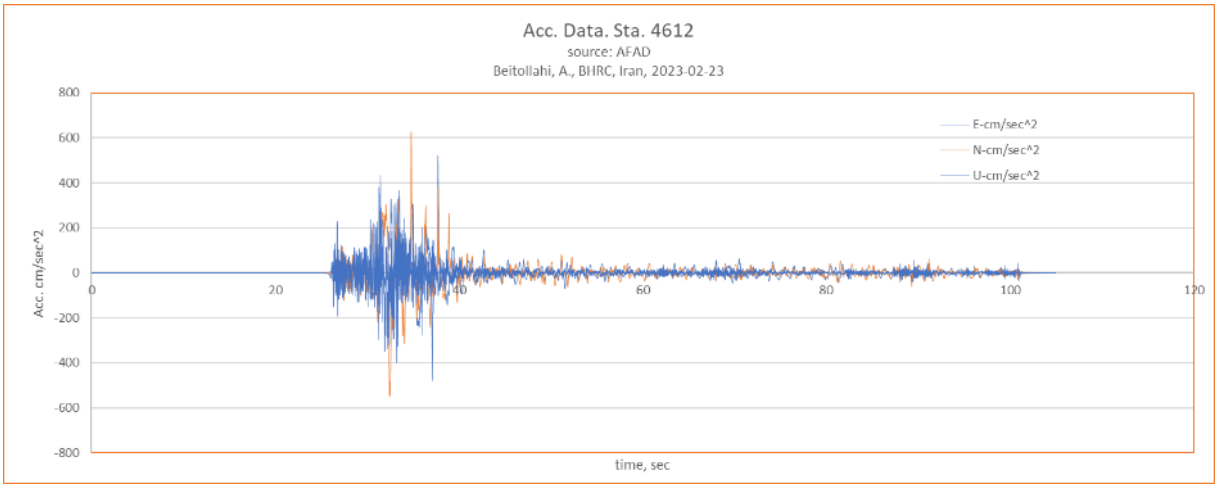


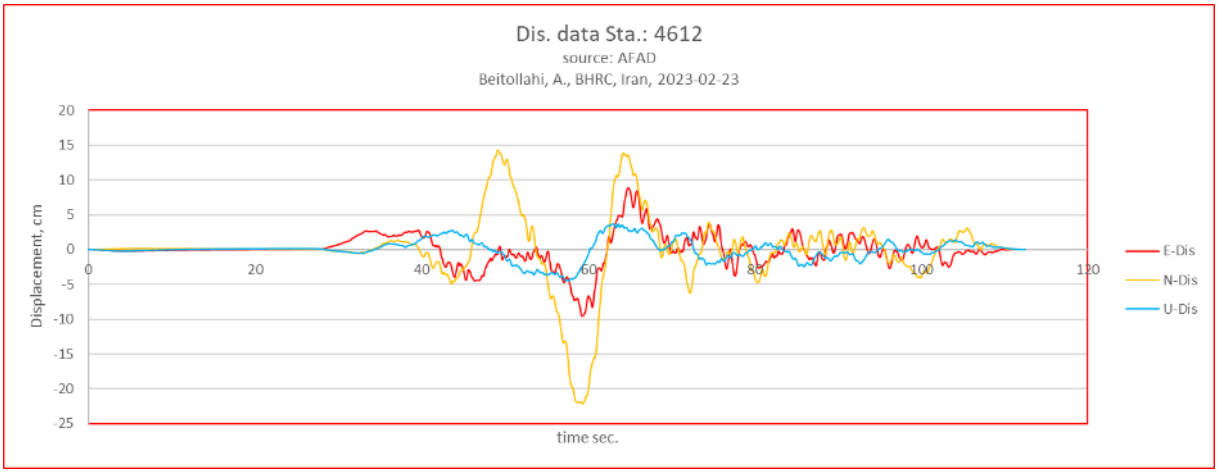
ایستگاه ۲۰۲۳ در محدوده غازیان‌تپ دارای طیف جابجائی به شکل زیر است. مقادیر جابجائی در این ایستگاه در مقایسه با شهر حاتای کمتر است هرچند که این ایستگاه‌ها از ایستگاه‌های واقع در محدوده حاتای به رومرکز زلزله نزدیک‌تر بوده‌اند.

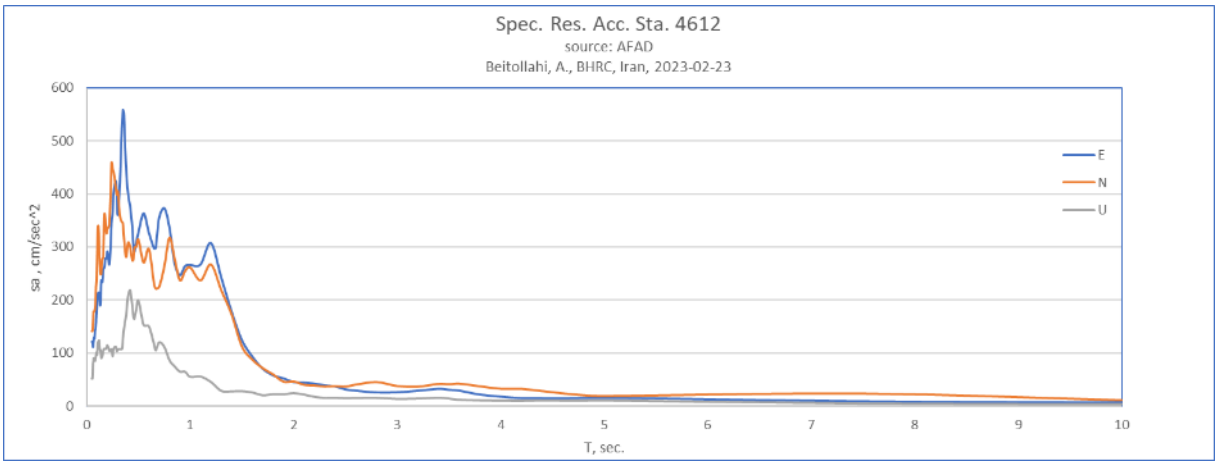


- **زلزله ۷٫۶ البیستان قهرمان ماراش**

به عنوان نمونه رکورد ایستگاه ۴۶۱۲ که بیشترین شتاب ثبت شده زلزله ۷٫۶ البیستان قهرمان ماراش در آن ثبت شده است به عنوان نمونه‌ای از داده‌های ثبت شده در شکل‌های زیر نشان داده شده است. شکل سری زمانی شتاب (بالا)، سری جابجائی پائین، طیف پاسخ شتاب و جابجائی نیر به ترتیب در ادامه نشان داده شده است.







با توجه به شکل رکوردها و مقادیر آنها تفاوت رکوردهای این زلزله با بزرگای ۷٫۶ با رکوردهای زلزله ۷٫۷ قابل ملاحظه است به طوری که استنباط می‌شود تفاوت بزرگی زلزله‌ها باید بیشتر از مقادیر اعلامی توسط AFAD بوده باشد. این موضوع نیاز به بررسی‌های تفصیلی دارد.

بررسی رکوردها و طیف‌های هر کدام از ایستگاه‌های شبکه شتابنگاری کشور ترکیه نشان می‌دهد که در برخی از موارد خرابی ساختمان‌ها، به دلیل رفتار طیفی فراتر از طیف آئین نامه حتی در محدوده‌های دور از رومرکز زلزله است. بررسی خرابی ساختمان که در بخش بعدی این گزارش ارائه می‌گردد، نیز نشان می‌دهد در برخی از موارد و نواحی، رفتار

ساختمان‌ها فراتر از سطح طراحی بوده و ساختمان‌ها مقاومت قابل قبولی را در برابر نیروی زلزله نشان داده‌اند.

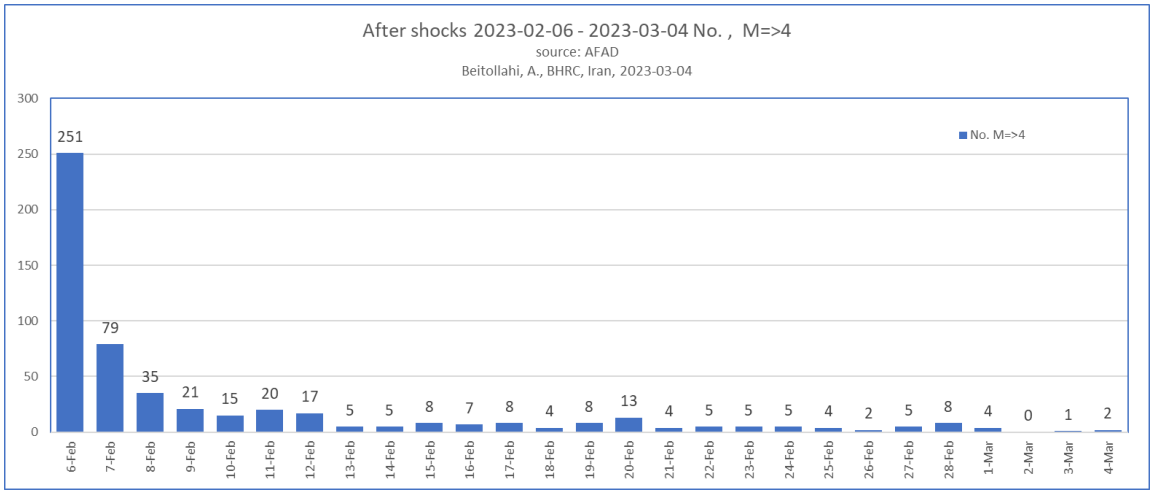
- مقادیر مدت دوام جنبش نیرومند زمین

در ایستگاه‌های مختلف مقادیر مدت دوام به صورت یک عدد برای هر کدام از مؤلفه‌های سه گانه شتاب زلزله ثبت شده محاسبه گردیده و در سایت AFAD ارائه شده است. بجز در ۳ ایستگاه که به نظر می‌رسد مقادیر خطا باشد (ایستگاه‌های ۲۴۱۱ و ۰۷۲۰ و ۱۲۱۲) در سایر ایستگاه‌ها اعداد مدت دوام به طور متوسط حدود ۴۵ ثانیه برآورد می‌شود. بیشینه مقدار مدت دوام البته در بین ایستگاه‌های منتخب که رکوردهای آنها مورد ارزیابی قرار گرفته است، ۱۱۶٫۶۴ ثانیه در ایستگاه با کد ۳۱۱۷ (ایستگاه شهر اسکندرون) و کمترین آن در ایستگاه با کد ۲۳۰۸ و مقدار آن ۲۲٫۳۳ ثانیه است.

در پایان این قسمت نکته مهم قابل ذکر وجود فضای ارزشمند برگرفتن داده‌های جنبش نیرومند زمین و داده‌های زلزله‌های رخ داده از سایت AFAD می‌باشد. هرچند در مدت تدوین این گزارش به دلیل تعداد بسیار بالای مراجعه کنندگان و احتمالاً پهنای محدود باند، برگرفتن داده‌ها به کندی انجام می‌شد، ولی داده‌های ارزشمند و مفید زلزله‌های ۷٫۷ و ۷٫۶ قهرمان ماراش، بی تردید نکات بسیار مهم و برجسته‌ای دارد که در ادامه کار باید به طور ویژه به آنها پرداخته شود.

نکته مهم دیگر در قضاوت پیرامون خرابی‌های ناشی از زلزله، مقادیر بسیار بالای شتاب زلزله و اعداد بالای طیف شتاب، سرعت و جابجائی است که در برخی از مناطق ساختمان‌ها بجز تسلیم، امکان رفتار دیگر نمی‌توانستند داشته باشند.

*تعداد زلزله‌های رخ داده در محدوده اطرف رومرکزی زلزله در چهارگوش ۳۲ تا ۴۰ طول جغرافیائی و ۳۴ تا ۴۱ عرض، دربازه زمانی ۰۶ – ۰۲ – ۲۰۲۳ تا ۰۴ – ۰۳– ۲۰۲۳ بالغ بر ۱۳۴۰ رخداد می‌باشد که تعداد ۴۹ رخداد با بزرگی ۵ و بزرگتر از آن است. زلزله‌های بالای ۴ در این چهارگوش ۵۴۳ رخداد می‌باشد. با فرض ۵۴۱ رخداد بالای ۴ بعنوان پسلرزه های زلزله‌های ۷٫۷ و ۷٫۶ قهرمان ماراش نمودار زیر بعنوان روند رخداد پسلرزه ها به ازای روز تهیه گردید. نشان داده می‌شود که تنش تکتونیکی در منطقه با شتاب بیشتری رو به کاهش است.



۳- ارزیابی مستندات خسارات بروز یافته و بیان نقطه نظرات احتمالی

با توجه به تعداد قابل‌توجه ساختمان‌های تخریب‌شده یا آسیب‌دیده (تا لحظه تدوین این گزارش تعداد ۱۷۳۰۰۰ ساختمان در ترکیه تخریب شده یا آسیب شدید دیده است و میزان قابل توجه ۲۱۰ میلیون تن آوار ساختمانی تولید کرده است، همچنین در سوریه نیز بیش از ۲۰۰۰ ساختمان تخریب شده و حدود ۸۵۰۰ ساختمان نیز درجات متفاوتی از آسیب پذیری را به همراه داشته است) و همچنین زیرساخت‌های تحت تأثیر زلزله، در این بخش از گزارش ضمن مرور چارچوب‌های موجود سازه‌ای و آئین‌نامه‌های لرزه‌ای کشور ترکیه، با معطوف شدن در مناطق تحت تأثیر زلزله، به ارزیابی نقطه نظرات احتمالی در مستندات بدست آمده (تصاویر، گزارش‌ها) تا لحظه تدوین گزارش پیرامون خسارات بروز یافته پرداخته خواهد شد.

۳-۱- وضعیت آمار ساختمانی و آئین‌نامه‌ای لرزه‌ای ترکیه

با توجه به تجارب زلزله‌های مخرب پیشین کشور ترکیه، همواره تأثیرگذاری این مخاطره بر ساختمان‌ها، ابنیه و تأسیسات و زیرساخت‌ها موردتوجه بوده است. به‌عنوان مثال در زلزله ۱۹۹۹ ترکیه، بیش از ۲۰ هزار ساختمان به شکل کامل تخریب شدند و در زلزله‌های ۷٫۷ و ۷٫۶ اخیر نیز شاهد حجم قابل‌توجهی از تخریب و آسیب در ساختمان‌هایی با سیستم سازه‌ای متفاوت (غالباً اسکلت‌های بتن مسلح و یا سیستم مصالح بنایی) هستیم. این نکته بر لزوم ارزیابی دقیق دلایل فنی بروز خسارات ساختمانی، مبتنی بر اطلاعات تجربی و میدانی کافی، با هدف شناسایی نقاط تأثیرپذیری و بروز ریسک لرزه‌ای در این مجموعه‌ها، تأکید می‌نماید.

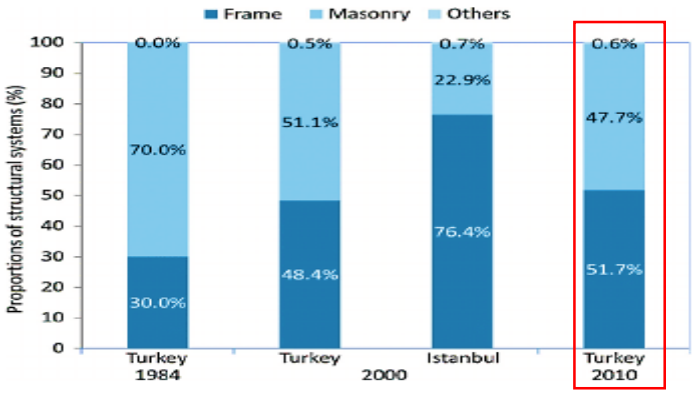
اولین آیین‌نامه ملی طراحی لرزه‌ای در ترکیه در سال ۱۹۴۴ منتشر شد که عمدتاً شامل قوانین عمومی تجویزی بوده است. نسخه ۱۹۷۵ اولین نسخه‌ای بود که شباهت زیادی به کدهای لرزه‌نگاری مدرن داشت، درحالی‌که نسخه ۱۹۹۸ را می‌توان در واقع یک نسخه نسبتاً جامع در نظر گرفت. نسخه ۲۰۰۷ که به شکل گسترده‌ای در طرح‌های ساخت‌وساز و روند توسعه ترکیه مورداستفاده قرارگرفته است، در سال ۲۰۱۸ بهبودیافته و در سال ۲۰۱۹ آخرین نسخه از آئین‌نامه لرزه‌ای ترکیه (TEBC ۲۰۱۹) ارائه شده است. (Gizem Nur,Talas Soylu,۲۰۱۹)

ارزیابی آئین‌نامه لرزه‌ای ترکیه ورژن ۲۰۱۸ (ابلاغ‌شده در ۲۰۱۹) و حتی نسخه ۲۰۰۷، نشان می‌دهد که معیارهای مهم در ارزیابی، طراحی اجرای سازه‌ها برای مقاومت در برابر زلزله بطور کامل در این سند قانونی پوشش داده شده است؛ بنابراین بروز نقایص در سازه‌های جدیدساخت ترکیه در مواجهه با زلزله را نمی‌توان به دلایل نقص در بندهای ضوابط و قانون در این حوزه برشمرد. بلکه این موضوع را باید در نحوه اجرای مفاد آئین‌نامه‌ای در این پروژه‌ها جستجو نمود.

پراکنش زیادی بین انواع سیستم‌های سازه‌ای از قبیل سازه‌های بنایی، اسکلت فلزی، اسکلت بتن مسلح، اسکلت چوبی و سازه‌های پیش‌ساخته در کشور ترکیه وجود دارد؛ اما ارزیابی کمی از سیستم‌های سازه‌ای در ساختمان‌های موجود در ترکیه تا سال ۲۰۱۸ نشان می‌دهد که بخش عمده‌ای از ساختمان‌های نوساز در ترکیه دارای قاب بتن مسلح هستند.

یکی از موارد بسیار مهم در موضوع آسیب‌پذیری ناشی از زلزله‌ها، سهم ساختمان‌های دارای اسکلت از میان کلیه آمار

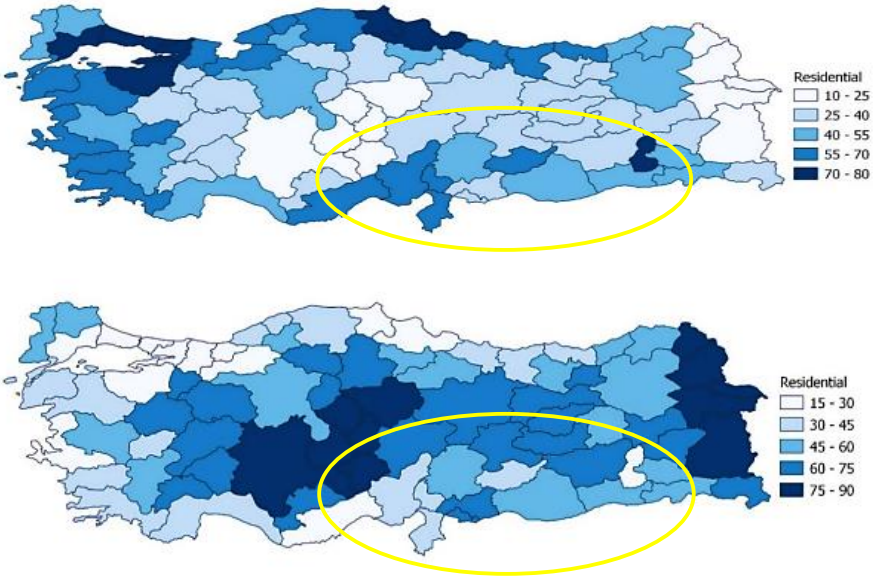
است. بطور کلی کشور ترکیه با توجه به بخش‌هایی از این کشور که همچنان ساختاری سنتی از حیث مصالح و سیستم‌های ساختمانی دارند، با وجود روند رو به توسعه این کشور، دارای سهم قابل توجهی از سازه‌های قدیمی در کنار ساختمان‌های مهندسی ساز جدیدالاحداث می‌باشد. در شکل ۳-۱ نموداری از میزان درصد سازه‌های اسکلت دار و همچنین ساختمان‌های سنتی مصالح بنایی در کشور ترکیه قابل مشاهده است.



شکل ۳-۱- وضعیت سیستم‌های ساختمانی در کشور ترکیه (اسکلت دار و مصالح بنایی)

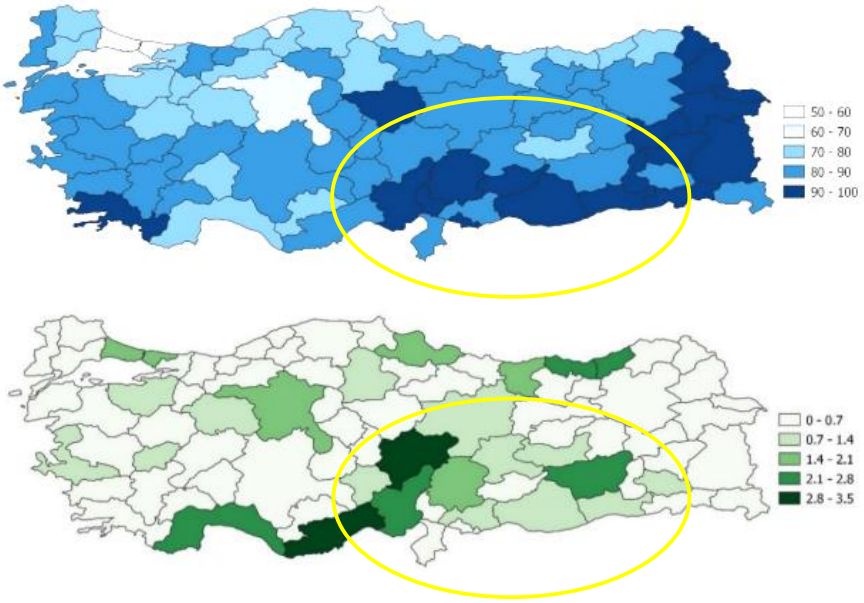
(Distribution of buildings in Istanbul and Turkey by their structural system. Source:www.tuik.gov.tr)

همان‌طور که در نمودار فوق قابل مشاهده است، تقریباً نیمی از ساختمان‌های مناطق مختلف کشور ترکیه، همچنان با سیستم‌های سنتی و مصالح بنایی هستند. همچنین، می‌توان سیستم سازه‌ای قاب‌دار بتن مسلح را به دلایل فنی و اجتماعی و اقتصادی، به‌نوعی سیستم قالب توسعه‌ای در حوزه ساخت‌وساز واحدهای مسکونی و غیرمسکونی ترکیه دانست. در شکل ۳-۲ پراکنش سازه‌های بتن مسلح و همچنین سازه‌های مصالح بنایی در سطح ترکیه برای ساختمان‌های مسکونی قابل مشاهده است. در این شکل محدوده استان‌های تحت تأثیر زلزله نیز مشخص شده است.



شکل ۳-۲- پراکنش اسکلت‌های بتن مسلح و سیستم مصالح بنایی در سطح منازل مسکونی کشور ترکیه (تصویر فوقانی مربوط به سازه‌های اسکلت دار بتن مسلح و تصویر پایین مربوط به سازه‌های مصالح بنایی)(GIZEM NUR,TALAS SOYLU, SEPTEMBER ۲۰۱۹)

یکی دیگر از پارامترهای تأثیرگذار در موضوع آسیب‌پذیری لرزه‌ای و به‌ویژه مباحث مدیریت بحران پس از زلزله، ارتفاع سازه‌هاست. نوع رفتار سازه‌های کوتاه یا بلندمرتبه در مواجهه با زلزله‌ها و همچنین نوع تأثیرپذیری متفاوت این سازه‌ها بر اساس ارتفاعشان از زلزله‌های حوزه نزدیک یا دور، موجب می‌گردد تا پراکنش هریک از این طبقه‌بندی‌های ارتفاعی در ساختمان‌ها، موردتوجه فرآیندهای ارزیابی لرزه‌ای در شهرها قرار گیرد. در شکل ۳-۳ پراکنش رده‌های طبقاتی ساختمان‌ها در سطح کشور ترکیه و مناطق تحت تأثیر زلزله شامل ساختمان‌های بلندمرتبه و کوتاه مرتبه قابل مشاهده می‌باشد (تصویر فوقانی ساختمان‌های کوتاه مرتبه و تصویر پائینی ساختمان‌های بلندمرتبه). بر اساس این شکل می‌توان استنباط نمود که مناطق تحت تأثیر زلزله در جنوب و جنوب شرقی ترکیه، آمار قابل‌توجهی از ساختمان‌های کوتاه مرتبه و میان مرتبه را به خود اختصاص داده‌اند.



شکل ۳-۳- پراکنش رده‌های طبقاتی ساختمان‌ها در سطح کشور ترکیه (تصویر فوقانی مربوط به سازه‌های کوتاه مرتبه و تصویر پایین مربوط به سازه‌های بلندمرتبه)
(GIZEM NUR,TALAS SOYLU, SEPTEMBER ۲۰۱۹)

با توجه به کلیه موارد ذکرشده در این بخش پیرامون آمارهای ساختمانی و لرزه‌های کشور ترکیه به‌ویژه در مناطق تحت تأثیر زلزله، قابل استنباط است که بیشترین میزان آسیب‌پذیری مربوط به سازه‌های قدیمی با مصالح بنایی و همچنین سازه‌های اسکلت بتن مسلح می‌باشد. در شکل‌های ۳-۴ نمونه‌هایی از بافت شهری برخی از مناطق تحت تأثیر زلزله جنوب شرقی ترکیه جهت ارائه نمایی از پراکنش انواع سازه‌های سنتی و جدید (اسکلت دار) در بدنه این مجموعه‌های شهری نمایش داده شده است.

شکل ۳-۴- نمایی از بافت ساختمانی شهرهای تحت تأثیر زلزله (هم‌جواری اسکلت‌های بتن مسلح و سازه‌های قدیمی مصالح بنایی در رده کوتاه یا میان مرتبه)

با توجه به موارد فوق‌الذکر، جمع‌بندی کاربردی برای دریافت تصویری روشن از وضعیت موجود شهرهای تحت تأثیر زلزله (از حیث درصد سیستم‌های سازه‌ای و رده‌های ارتفاعی) در جدول ۳-۱ ارائه گردیده است. همچنین وضعیت غالب شهرهای تحت تأثیر از حیث سیستم سازه‌ای و رده ارتفاعی در جدول ۳-۲ قابل مشاهده است.

جدول ۳-۱- درصد سیستم سازه‌ای و رده ارتفاعی در شهرهای تحت تأثیر زلزله (GIZEM NUR,TALAS SOYLU, SEPTEMBER ۲۰۱۹)

CITY NAME		Adana	Adıyaman	Diyarbakır	Gaziantep	Hatay	Kahramanmaraş	Kilis	Malatya	Osmaniye	Şanlıurfa
Structure System	RC	55-70	55-70	25-40	25-40	55-70	40-55	20-40	25-40	55-70	40-55
	Masonery	30-45	30-45	60-75	60-75	30-45	45-60	60-70	60-75	30-45	45-60
Elevation Level	low_rise	90-100	90-100	80-90	80-90	80-90	90-100	90-100	80-90	90-100	90-100
	high_rise	2.1-2.8	0-0.7	2.1-2.8	0.7-1.4	0-0.7	1.4-2.1	0-0.7	0.7-1.4	0-0.7	0.7-1.4

جدول ۳-۲- سیستم سازه‌ای و رده ارتفاعی در شهرهای تحت تأثیر زلزله (GIZEM NUR,TALAS SOYLU, SEPTEMBER ۲۰۱۹)

CITY NAME	Adana	Adıyaman	Diyarbakır	Gaziantep	Hatay	Kahramanmaraş	Kilis	Malatya	Osmaniye	Şanlıurfa
Structure System	RC	RC	Masonery	Masonery	RC	Both	Masonery	Masonery	RC	Both
Elevation Level	low_rise	low_rise	low_rise	low_rise	low_rise	low_rise	low_rise	low_rise	low_rise	low_rise

بر اساس جداول فوق، در شهرهای تحت تأثیر زلزله، ترکیبی از سیستم‌های اسکلت دار بتن مسلح (سهم سازهای قاب‌دار بیشتر است) به همراه سازه‌های بنایی و همچنین رده کوتاه و میان‌مرتبه برتری نسبی دارد.

*** با توجه به آمار قابل توجه ساختمان‌های اسکلت‌دار بتن مسلح و مصالح بنایی در شهرهای تحت تأثیر زلزله و همچنین کمبود اطلاعات و مستندات خسارات سازه‌های فولادی و صنعتی در زلزله‌های اخیر ترکیه (تا لحظه تدوین گزارش)، در این بخش از گزارش به ارزیابی مستندات و نقطه نظرات احتمالی بروز آسیب‌ها در **ساختمان‌های اسکلت دار بتن مسلح** و همچنین **ساختمان‌های مصالح بنایی** در مناطق تحت تأثیر زلزله بر اساس آمارها، عکس‌ها و گزارش‌های اخذشده، پرداخته شده است.

*** لازم به ذکر است نقطه نظرات مطرح‌شده در این بخش از گزارش (فصل سوم)، صرفاً بعنوان موارد احتمالی و حائز اهمیت با توجه به مستندات دریافت شده دو زلزله اخیر ترکیه و همچنین تجارب فنی بدست آمده از زلزله‌های پیشین، بیان گردیده است و به معنای دلایل قطعی و نهایی برای آسیب‌ها و خسارات تلقی نمی‌گردد. مسلماً ارائه دلایل قطعی، مستلزم انجام ارزیابی‌های مناسب میدانی، انجام نمونه‌برداری‌ها و آزمایش‌های لازم جهت بررسی‌های فنی تکمیلی و ارزیابی کلیه معیارهای موجود در هرنمونه ساختمانی در شهرهای تحت تأثیر زلزله ترکیه خواهد بود.

۳-۲- ارزیابی مستندات آسیب‌های وارده به سازه‌های اسکلت بتنی و نقطه نظرات احتمالی

همان‌طور که در بخش قبل به آن اشاره گردید، تمایل بالایی از لحاظ فنی و اجتماعی برای احداث سازه‌های اسکلت‌دار بتن مسلح در سطح شهرهای ترکیه وجود دارد. بر اساس آمار، متداول‌ترین سیستم ساختمانی درحال‌توسعه در ترکیه، سیستم سازه‌ای بتن‌آرمه شامل قاب‌های بتنی مسلح با پلان کف متقارن و با دیوارهای پرکننده بنایی غیرمسلح از مصالحی چون آجرهای سفالی توخالی و یا بلوک‌های سیمانی است (البته از دیواره‌های برشی بتونی مسلح در مناطق لرزه‌ای بالا برای افزایش مقاومت در برابر بار جانبی نیز استفاده می‌شود). در زلزله‌های اخیر ترکیه نیز، آسیب‌های متنوعی برای سازه‌های بتن مسلح بروز یافته است. در این موارد می‌توان تأثیرگذاری معیارهای پایه‌ای چون کیفیت مصالح، شتاب لرزه‌ای، نوع آرماتورگذاری طولی و عرضی، بروز طبقه نرم، پتانسیل بروز انواع شکست در ستون‌ها، تخریب در چشمه‌های اتصال، شرایط درزهای انقطاع، بروز تخریب‌های موضعی و کامل سازه‌ای، اثر موارد ژئوتکنیکی و ساختگاه و عدم رعایت دیگر ضوابط لرزه‌ای را در بروز خسارات ناشی از زلزله‌های اخیر ترکیه، محتمل دانست. لازم به ذکر است که برخی از ساختمان‌های آسیب‌دیده و یا تخریب‌شده، قبل از تهیه آیین‌نامه‌های لرزه‌ای ترکیه و یا با نسخه‌های قدیمی‌تر آن ساخته شده‌اند. همچنین احتمال آن وجود دارد که در مواردی، برخی از ساختمان‌ها در روند اجرا با نکات آیین‌نامه‌ای فاصله گرفته‌اند.

بر همین اساس، با توجه به ارزیابی تصاویر و گزارش‌های دریافتی تا لحظه تدوین گزارش، موارد ذیل به‌عنوان **نقطه نظرات احتمالی و حائز اهمیت در خسارات ساختمان‌ها اسکلت بتنی** در شهرهای تحت تأثیر دو زلزله ۷٫۷ و ۷٫۶ ترکیه، ارائه می‌گردد.

۳-۲-۱- ایجاد طبقه نرم در ساختمان‌ها[٦]:

یک طبقه نرم در ساختمان، در مقایسه با طبقه‌های فوق یا زیر آن طبقه، قدرت جانبی یا سختی نسبتاً کمی دارد. در ساختمان‌های منظم اسکلت بتونی، طبقه نرم معمولاً در اولین طبقه به دلیل حذف دیوارها و یا ستون‌های بلندتر محتمل است. نمونه‌های متعددی از ایجاد طبقه نرم در ساختمان‌ها، به‌ویژه در طبقه همکف به دلیل حذف میانقابها و افزایش ارتفاع ستون‌ها برای مصارف معمارانه (تأمین پارکینگ، ایجاد مسیر ورودی، تعبیه بازشوها و پنجره‌های بزرگ)، اقتصادی (ایجاد فضای تجاری) و استفاده از ظرفیت بیشتر فضا مشاهده گردیده که موجب کاهش سختی طبقه نسبت به طبقات فوقانی گردیده و در زمان وقوع زلزله، موجب ایجاد مفاصل پلاستیک و بروز شکست‌های برشی در ستون‌های طبقه

[٦] Soft Story Problem

همکف شده و دیگر طبقات نیز در اثر جابجایی سازه و اثر P-Δ آسیب خواهند دید که به دنبال آن سقوط سازه به‌طور کامل (تخریب پنکیک)، سقوط سازه در محیط‌های مجاور و یا حذف طبقه اول در زیر طبقات فوقانی رخ خواهد داد. در شکل ۳-۵ نمونه‌هایی از احتمال این پدیده و نقش آن در تخریب‌های صورت گرفته، در شهرهای تحت تأثیر زلزله مانند قهرمان ماراش، غازیانتپ و دیاربکر ارائه گردیده است.

شکل ۳-۵- احتمال وقوع طبقه نرم در تراز همکف سازه و تأثیر آن بر تخریب ساختمان‌ها

بر اساس عکس‌ها و دیگر مستندات، تعدد موارد ساختمانی تخریب‌شده با احتمال وقوع طبقه نرم، قابل‌توجه بوده است. در شکل ۳-۶ نمونه‌هایی از احتمال همین نوع آسیب در ساختمان‌های شهر الازیغ ترکیه قابل مشاهده است.

شکل ۳-۶- احتمال وقوع طبقه نرم در تراز همکف سازه (شهر الازیغ)

در نمونه دیگری مربوط به بیمارستان شهر هاتای که در شکل ۳-۷ قابل مشاهده است، با وجود حفظ انسجام طبقات فوقانی سازه، اما احتمال بروز وقوع طبقه نرم در طبقه همکف و بروز شکست در این طبقه، می‌تواند یکی از دلایل محتمل انحراف سازه و تخریب بروز یافته تلقی گردد (نیازمند مطالعات دقیق‌تر). باید به این نکته مهم اشاره نماییم که بر اساس آئین‌نامه لرزه‌ای ترکیه، بیمارستان‌ها با ماهیت عملکردی‌شان، جزو سازه‌های با اهمیت بسیار زیاد محسوب شده که باید تداوم عملکرد آنها پس از زلزله تأمین گردد (IO) و حتی بخشنامه‌های لازم الاجرائی برای نصب جداگرهای لرزه‌ای در بیمارستان‌های ترکیه نیز ابلاغ گردیده است.

شکل ۳-۷- احتمال وقوع طبقه نرم در تراز همکف و تأثیر آن بر تخریب در سازه (شهر هاتای)

در نمونه دیگر، در شکل ۳-۸ حذف دیوارهای طبقه همکف در ساختمانی در شهر غازیانتپ ترکیه مشهود است که احتمال تخریب سازه در اثر وقوع پدیده طبقه نرم در همکف را تقویت می‌بخشد. نکته جالب این تصویر، تخریب کامل سازه در عین سالم ماندن بناهای مجاور است.

شکل ۳-۸- احتمال وقوع طبقه نرم در تراز همکف و تخریب سازه در اثر حذف دیوارهای این طبقه (شهر غازیانتپ ترکیه)

همچنین در شکل شماره ۳-۹ دو نمونه دیگر از احتمال وقوع طبقه نرم در طبقه همکف و شکست ستون‌ها در این طبقه و تأثیر احتمالی آن در سقوط سازه قابل مشاهده است. لازم به ذکر است که این تصویر نیز مربوط به خرابی‌های زلزله در شهر غازیانتپ ترکیه است.

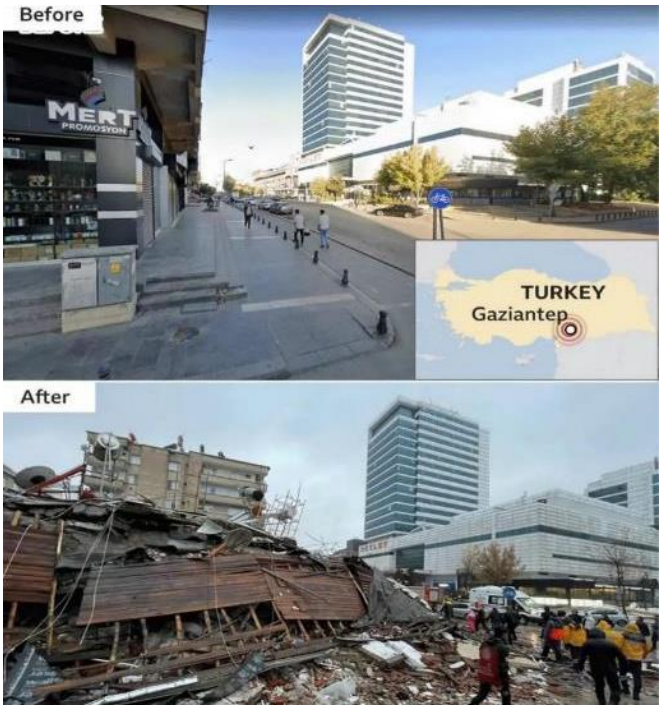
شکل ۳-۹- احتمال وقوع طبقه نرم در تراز همکف و حذف این طبقه در زمان زلزله (شهر غازیانتپ ترکیه)

در شکل ۳-۱۰ نمونه دیگری از احتمال تأثیر وقوع طبقه نرم در تراز همکف و شکست نامتقارن ستون‌ها و انحراف سازه در اثر برهم خوردن شرایط نظم تکیه‌گاهی در یکی از شهرهای تحت تأثیر زلزله قابل مشاهده است. نکته مهم در تصویر، کاهش حجم دیوارها و همچنین افزایش ارتفاع طبقه با اهداف تجاری است که احتمال بروز طبقه نرم و تخریب سازه در زمان زلزله را افزایش خواهد داد.

شکل ۳-۱۰- احتمال وقوع طبقه نرم در تراز همکف

در شکل ۳-۱۱ نمونه دیگری از احتمال بروز طبقه نرم در ساختمان تجاری در شهر غازیانتپ ترکیه (به دلیل احتمالی حذف دیوارهای طبقه همکف و همچنین تفاوت در ارتفاع ستون‌ها در این طبقه از سازه) و تخریب کامل سازه ناشی از

این پدیده قابل مشاهده است. این در حالی است که ساختمان‌های مجاور آسیب جدی را متحمل نشده‌اند. لازم به ذکر است دلایل دیگری نیز برای بروز این رده از خرابی‌ها محتمل است که تعیین دلایل قطعی نیازمند ارزیابی‌های تکمیلی می‌باشد. مقایسه بین این دو نوع بسیار متفاوت از رفتار و آسیب لرزه‌ای، بر اهمیت حیاتی جزئیات فنی (به‌ویژه وجود نکاتی چون پتانسیل ایجاد طبقه نرم و یا زمینه شکست برشی در ستون‌ها و چشمه‌های اتصال) تأکید می‌نماید. در این تصویر نیز ایجاد حذف دیوارها، ایجاد بازشوهای بزرگ و افزایش ارتفاع طبقه مشهود است.



شکل ۳-۱۱- احتمال بروز طبقه نرم بعنوان یکی از دلایل تخریب سازه تجاری (شهر غازیانتپ)

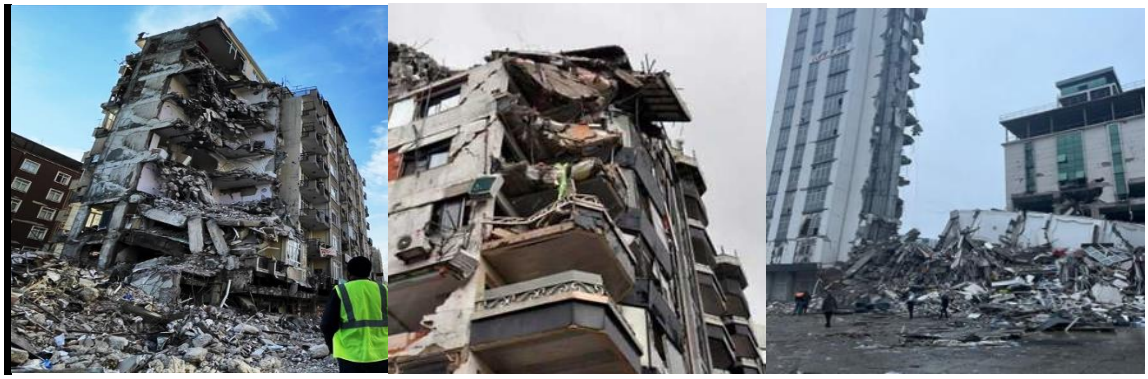
۳-۲-۲- واژگونی ساختمان‌ها:

با توجه به بروز مواردی از واژگونی ساختمان‌ها در شهرهای تحت تأثیر زلزله (با وجود لحاظ نمودن ضرایب اطمینان آیین‌نامه‌ای برای واژگونی) که در برخی از این موارد، سازه در عین سلامت کلیه اجزای داخلی، دچار انحراف و یا واژگونی سراسری از پی گردیده است و علائم بیرون‌زدگی و چرخش فونداسیون نیز بدون بروز شکستگی در اجزا مشهود است، ضعف در مواردی چون عدم توجه به تأثیر شتاب قائم زلزله در طراحی‌ها (به‌ویژه برای زلزله‌های حوزه نزدیک) و یا احتمال بروز پدیده روانگرایی، ضعف مطالعات ژئوتکنیکی، طراحی و اجرای نامناسب فونداسیون و عدم کنترل ضوابط واژگونی برای ساختمان‌ها، را می‌توان برای این نوع از تخریب‌ها محتمل دانست که نیازمند ارزیابی‌های تکمیلی است. لازم به ذکر است در زلزله‌های حوزه نزدیک به دلیل بالا بودن مؤلفه قائم شتاب، نوعی تشدید لنگر واژگونی به دلیل اثر توأم نیروی قائم زلزله با مؤلفه افقی وجود خواهد داشت که شرایط خاصی را از حیث واژگونی به وجود خواهد آورد. تخریب‌های بروز یافته در این رده، هم در موضوع خسارت وارده به سازه، هم در بروز ضربات به سازه‌های مجاور و هم در بحث آواربرداری و نجات مصدومان، شرایط پیچیده‌ای را رقم خواهند زد. در شکل ۳-۱۲ نمونه‌ای از این حالت تخریب قابل مشاهده است.

شکل ۳-۱۲- واژگونی کامل سازه در اثر زلزله

۳-۲-۳- بروز تخریب‌های موضعی (فروپاشی جزئی) در برخی ساختمان‌ها[۷]:

بطور کلی فروریزش موضعی به معنای تخریب بخشی از اعضای سازه بدون سرایت دامنه تخریب به کل سازه است. در برخی از موارد در زلزله‌های اخیر ترکیه، آسیب‌های جدی در بخشی از بدنه ساختمان‌ها مانند بالکن‌ها و یا اتصال دال راه‌پله‌ها به تیرهای نشیمن و یا بروز تخریب با دامنه محدود در سقف و اجزای الحاقی سازه‌ای طبقات بصورت ناحیه‌ای بروز یافته است. ارائه نتایج دقیق فروریزش موضعی در سازه‌ها نیازمند انجام مطالعات تکمیلی بر روی هر نمونه است. در شکل ۳-۱۳ که مربوط به شهر دیاربکر ترکیه است، نمونه‌هایی از این نوع آسیب قابل مشاهده است.



شکل ۳-۱۳- آسیب‌های موضعی و یا تخریب بخشی از ساختمان‌ها در زلزله (شهر دیاربکر)

[۷] Partial Collapse

در شکل ۳- ۱۴ نمونه‌ای از تخریب موضعی در برخی ساختمان‌های شهر آدانا قابل مشاهده است.

شکل ۳-۱۴- تخریب موضعی در برخی ساختمان‌ها در اثر زلزله (شهر آدانا)

۳-۲-۴- آسیب در اجزای غیر سازه‌ای برخی ساختمان‌ها (به‌ویژه دیوارهای پرکننده[۸]):

برخی از تصاویر مربوط به خسارات ساختمانی زلزله‌های ترکیه، حاکی از این نکته است که آسیب‌ها و خردشدگی مصالح و حتی سقوط و واژگونی در برخی دیوارهای پرکننده تقویت نشده و قطعات نما در ساختمان‌ها ایجاد گردیده است. لازم به ذکر است، این نوع از آسیب‌ها غالباً ناشی از ضعف این نوع المان‌ها از حیث مصالح و اجرا، عدم اتصال مناسب این اجزا به اسکلت سازه بتنی و عدم رعایت ضوابط جداسازی آنها نسبت به اسکلت سازه است. این سطح از آسیب، باوجوداینکه خسارات کمتری در مقابل تخریب‌های کامل سازه با فرم پنکیک در ساختمان‌ها به همراه داشته است، اما به دلیل پتانسیل سقوط مصالح در محیط‌های مجاور، انتظار بروز تلفات و صدمات جدی را به همراه داشته است[۹]. برای جلوگیری از این مشکل، ظرفیت تحمل دیوارها باید افزایش یابد و شکل‌پذیری خارج از صفحه آنها نیز باید در عین اتصال مناسب بدنه دیوار به اسکلت سازه، تأمین گردد.

لازم به ذکر است دیوارهای پرکننده تقویت نشده دارای استحکام جانبی نسبتاً کمی هستند و معمولاً پس از رسیدن به حد مقاومت آنها، شکننده خواهند بود. در اسکلت‌های بتنی در ترکیه، غالباً از آجرهای سفالی توخالی و یا بلوک‌های سیمانی به‌عنوان مصالح پرکننده دیوارهای میانقابی استفاده می‌شود. ضعف این نوع مصالح در تنش‌های قابل‌توجه، موجب بروز انواع شکست‌های درون صفحه‌ای (بروز ترک‌های برشی و خردشدگی ناشی از تنش اعمالی از حرکت لرزه‌ای اسکلت) و یا برون صفحه‌ای (بیرون‌زدگی و کمانش دیوار از صفحه قاب و بروز انواع ترک و حتی احتمال سقوط مصالح دیوار به بیرون از سازه در صوت عدم تعبیه عناصر اتصالی مانند وال پست) خواهد گردید.

لازم به ذکر است که در سازه‌های قاب‌دار بتن مسلح، نقش دیوارهای پرکننده در برقراری سختی طبقات و همچنین تغییرشکل‌های سازه در برابر بار زلزله (پاسخ لرزه‌ای سازه) بسیار مهم است (ایجاد لنگر خمشی در تیرها و ستون‌ها علاوه بر بار محوری) و در بسیاری از موارد، رانش جانبی سازه را محدود می‌کنند. هنگامی‌که دیوارهای پرکننده از کار می‌افتند

[۸] Infill Wall Damage

[۹] کشور ایران نیز پس از بروز خسارات متعدد در بخش اجزای غیرسازه‌ای در زلزله سرپل‌ذهاب کرمانشاه، ضوابط بسیار ارزشمندی در این حوزه در قالب پیوست ۶ آئین‌نامه ۲۸۰۰ تدوین و ارائه گردید که نقش بسیار مهمی در ایمن‌سازی این اجزا در زلزله‌های اخیر کشور ایفا نموده است.

(به‌ویژه در شکست‌های خارج صفحه‌ای و سقوط دیوار)، مقاومت جانبی باید توسط قاب‌های بتن مسلح به‌تنهایی ایجاد شود و این ممکن است به دلایل اجرائی، فراتر از توان سازه باشد که آسیب‌های جدی را به همراه خواهد داشت. در شکل ۳-۱۵ نمونه‌هایی از این نوع آسیب در محدوده شهرهای تحت تأثیر زلزله، قابل مشاهده است.

شکل ۳-۱۵- ریزش و آسیب در دیوارهای پیرامونی سازه‌های بتنی (ناشی از بروز شکست‌های درون و برون صفحه‌ای و عدم اتصال مناسب آنها به اسکلت)

در شکل شماره ۳-۱۶ نمونه‌هایی از این نوع آسیب در شهر قهرمان ماراش ترکیه و وضعیت ترکیبی از شکست‌های درون صفحه و برون صفحه دیوارها قابل مشاهده است. همانطور که از شکل می‌توان دریافت، با وجود سالم ماندن اسکلت ساختمان، سقوط قطعات سنگین دیوارهای پیرامونی، تلفات و خسارات قابل‌توجهی را به بار آورده است.

شکل ۳-۱۶- ریزش و آسیب در دیوارهای پیرامونی ساختمان‌ها (شهر قهرمان ماراش ترکیه)

۳-۲-۵- عدم رعایت ضابطه تیر ضعیف – ستون قوی[۱۰] در بخشی از تخریب‌ها:

قاب‌های بتن‌آرمه باید هم برای استحکام و هم برای شکل‌پذیری بهینه در اعضا، طراحی و اجرا شوند، تا هر دو عامل موجب جلوگیری از تخریب سازه و استهلاک صحیح انرژی زلزله در اعضای مناسب گردند. ضابطه تیر ضعیف – ستون

۱۰ Strong Beam-Weak Column

قوی، با هدف انتقال مفاصل پلاستیک در زمان زلزله به تیرها (بعنوان نقاط فیوز سازه‌ای) و استفاده از ظرفیت شکل‌پذیری آنها در استهلاک انرژی زلزله و جلوگیری از گسیختگی در ستون‌ها که برای حیات سازه بسیار خطرناک است، تعریف گردیده است.

بر اساس این قاعده، باید به‌منظور اتلاف انرژی کافی در مفاصل پلاستیک در تیرها، جزئیات ویژه‌ای برای بهبود ظرفیت جذب انرژی و شکل‌پذیری رعایت شود. برهم‌خوردن این قاعده به دلایل ضعف طراحی و یا اجرای نامناسب، موجب خواهد گردید تا سطح قابل‌توجهی از تخریب برای این نوع سازه‌ها در زلزله رقم بخورد (در چنین شرایطی، درحالی‌که تیرهای صلب رفتار الاستیک از خود نشان می‌دهند، شکست برشی یا خرد شدن فشاری باعث ایجاد لولاهای پلاستیک در ستون‌های انعطاف‌پذیر می‌شود). عوامل مختلفی مانند ضعف در طراحی، ضعف مصالح، عدم رعایت آرماتورگذاری مناسب عرضی در ستون‌ها (به‌ویژه در دو انتهای عضو)، عدم رعایت قلاب‌های مناسب (قلاب‌های ۱۳۵ درجه) در انتهای خاموت‌ها و عدم رعایت محل وصله آرماتورهای طولی در ستون‌ها، برخی از مهمترین عوامل در ایجاد چنین وضعیتی خواهند بود. تصاویر ساختمان‌های تخریب‌شده در دو زلزله اخیر ترکیه، نشانه‌هایی از ضعف شدید ستون‌ها نسبت به تیرها (بروز شکست‌های برشی در نقاط حساس ستون طبقات و بروز تخریب‌های سازه‌ای ناشی از آن) را به همراه داشته‌اند. در شکل ۳–۱۷ نمونه‌هایی از بروز شکست در ستون‌ها قابل مشاهده است.

شکل ۳–۱۷– بروز نقاط شکست برشی در ستون‌ها در برخی ساختمان‌ها در زلزله‌های ترکیه

نمونه‌های مختلفی از موارد شکست ستون در ساختمان‌ها در تصاویر دو زلزله اخیر ترکیه قابل شناسایی بوده است. در شکل ۳–۱۸ نمونه‌هایی از استفاده از میلگرد صاف، عدم آرماتورگذاری مناسب طولی و عرضی (تعداد کم آرماتور طولی و قطر کم آنها در کنار فواصل زیاد و کمبود خاموت در مقطع ستون‌ها) و احتمال کیفیت پایین بتن در ستون‌های آسیب‌دیده در زلزله‌های ترکیه قابل مشاهده است. نقش نقایص اجرائی در بروز چنین نقاط شکست در ستون‌ها بسیار محتمل بوده که باید مورد ارزیابی دقیق در آینده قرار گیرد.

شکل ۳-۱۸- بروز شکست در ستون‌ها در مناطق مختلف در اثر زلزله‌های ترکیه

در نمونه دیگری از ساختمان‌های تخریب‌شده در شهرهای تحت تأثیر زلزله که در شکل ۳-۱۹ قابل مشاهده است، شکست ستون‌ها با ظاهر شدن علائمی چون استفاده از میلگردهای بدون آج، تعداد و قطر کم آرماتورهای طولی، کیفیت نامناسب بتن و همچنین بروز کمانش موضعی در میلگردهای طولی ستون به دلیل فواصل زیاد آرماتورهای عرضی، قابل مشاهده است.

شکل ۳-۱۹- ضعف در آرماتورگذاری طولی و عرضی مقطع ستون آسیب‌دیده

۳-۲-۶- سیستم دال تخت بر روی ستون‌های ضعیف (بدون تعبیه تیر و دیوارهای برشی):

در تصاویر برخی ساختمان‌های تخریب‌شده در شهرهای تحت تأثیر دو زلزله اخیر ترکیه، مواردی از ساختمان‌های آسیب‌دیده اسکلت بتنی با سیستم دال تخت بعنوان سقف بدون آویز (بعضاً بسیار سنگین با دیتیل بسیار ضعیف) بر روی ستون‌های ضعیف (از حیث ابعاد و آرماتورگذاری طولی و عرضی)، بدون بهره‌گیری از تیرهای واسط و دیوارهای برشی در سازه و همچنین عدم رعایت ضوابط مناسب برای نقاط اتصال ستون به دال، شناسایی گردیده است که با توجه به موارد آئین‌نامه‌ای و عدم تناسب این سیستم با شرایط لرزه‌ای مناطق و بروز انواع شکست در ستون‌ها (غالباً ستون‌ها ضعیف و انعطاف‌پذیری قابل‌توجهی داشته و دچار شکست سراسری شده‌اند) و یا خیز قابل‌توجه و یا سقوط موضعی بخشی از دال‌ها (به‌ویژه در دال‌هایی با ضخامت اندک و آرماتورگذاری بسیار ضعیف)، حجم قابل‌توجهی از تخریب‌ها را به همراه داشته است. لازم به ذکر است که در چنین رده از قاب‌های خمشی، به دلیل عدم اتصال تعریف‌شده بین ستون و سقف سازه‌ای، و همچنین عدم مشارکت کامل سقف طبقات در انتقال و توزیع نیروی جانبی، ستون‌ها صرفاً نقش نشیمن را برای سقف سازه ایفا کرده و بدین ترتیب در زمان زلزله، سقف دال تخت نقش مؤثری در برابر بارهای جانبی نخواهد داشت. لازم به ذکر است این سیستم سازه‌ای از نظر آئین‌نامه دارای محدودیت طبقه و ارتفاع بوده و در تعداد طبقات بالا، در صورت عدم وجود دیوارهای برشی و یا سیستم مهاربندی مناسب دیگر، احتمال بروز شکست‌های گسترده برشی در ستون‌ها، تخریب سقف طبقات و تخریب کامل یا موضعی سازه افزایش خواهد یافت[۱۱].

در شکل ۳-۲۰ نمونه‌هایی از تخریب‌های بروز یافته در این رده از ساختمان‌ها پس از بروز زلزله قابل مشاهده است.

شکل ۳-۲۰- نمونه‌های تخریب‌های برخی ساختمان‌های احداثی با سقف‌های دال تخت

عدم تعبیه دیوار برشی در چنین سازه‌هایی تأثیرپذیری دیگر المان‌ها به ویژه ستون‌ها را در برابر بار جانبی زلزله بشدت

[۱۱] بر اساس آئین نامه ۲۸۰۰ ایران، استفاده از سیستم دال تخت بر روی ستون، صرفاً تا ۳ طبقه مجاز است و برای طبقات بیشتر، دیوار برشی الزامیست.

افزایش خواهد داد و این موضوع در کنار موارد دیگر از قبیل ضعف شدید دال‌ها بدون تیرهای پیرامونی تقویتی و همچنین ضعف شدید در آرماتورگذاری ستون‌ها و ضعف جزئیات فنی اتصالی بین ستون‌ها و دال، نقش بسزایی در افزایش احتمال تخریب سازه در زمان زلزله خواهد داشت. در شکل ۳-۲۱ نمونه‌هایی از آسیب جدی به ستون‌های سازه‌ای در این نوع سازه‌ها و سقوط سقف‌ها به روی یکدیگر قابل مشاهده است.

شکل ۳-۲۱- آسیب جدی در ستون‌ها و سقوط سقف‌ها دال تخت بر روی یکدیگر

۳-۲-۷- آسیب‌های ناشی از عدم رعایت درز انقطاع مناسب بین برخی از ساختمان‌ها:

با توجه به تفاوت در هندسه، جرم و سیستم سازه‌ای ساختمان‌ها، رفتار لرزه‌ای آنها در زمان زلزله متفاوت خواهد بود و این موجب خواهد گردید که در زمان زلزله، تفاوت مشخصی در دامنه جابجایی در آنها شکل گیرد. همین موضوع زمینه اندرکنش دینامیکی ساختمان‌ها و ایجاد ضربات متقابل به یکدیگر راه فراهم خواهد نمود. اگر فاصله بین ساختمان‌های مجاور کافی نباشد، هم‌سطح نبودن تراز طبقات در ساختمان‌های مجاور، موجب ایراد ضربه به نقاط حساس اسکلت سازه و همچنین ایجاد تمرکز نیرو در ستون‌های مجاور خواهد گردید. لازم به ذکر است اثرات این ضربات در ساختمان‌های گوشه‌ای به دلیل احتمال و امکان حرکت بیشتر در جهات مختلف، چشمگیرتر است. همچنین عدم رعایت ضوابط مربوط به دریفت مجاز در برخی ساختمان‌ها (انعطاف‌پذیری و جابجایی افقی طبقات نسبت به میزان مجاز آئین‌نامه) این مورد را تشدید خواهد نمود. برای جلوگیری از این نوع ضربات، رعایت درز انقطاع و تعبیه فاصله مناسب بر اساس ضوابط بین ساختمان‌ها و انباشت فاصله مذکور با مواد مناسب منعطف بسیار ضروری است. در برخی از فیلم‌های دریافت شده از زلزله‌های اخیر ترکیه، بروز ضربه به سازه‌های مجاور مشهود است. در شکل ۳-۲۲ نمونه‌ای از این پدیده قابل مشاهده است.

شکل ۳-۲۲- نمونه‌ای از اعمال ضربات بین سازه‌های مجاور در زمان بروز زلزله اولیه ترکیه (شهر قهرمان ماراش)

۳-۲-۸- بروز تخریب کامل در برخی ساختمان‌ها (با فرم پنکیک):

یکی از بدترین انواع تخریب در سازه‌های بتنی، حالت تخریب کامل با فرم پنکیک[۱۲] است که در آن، ضعف و شکست در برخی نقاط سازه، موجب تخریب کامل سازه خواهد گردید. بروز تخریب‌های پیشرونده که در آن شکست عنصر باربر (مانند ستون‌ها) معمولاً در طبقات پایینی ساختمان یا فونداسیون، باعث می‌شود طبقات بالایی به‌صورت عمودی در طبقات زیر فرو ریخته و دیوارها و مجموعه‌های سقف و کف تخریب خواهند شد، یکی از فرم‌های محتمل و پیچیده برای تخریب کامل است، که البته اثبات آن نیازمند انجام تحلیل‌های دقیق در هریک از نمونه‌هاست (در حال حاضر نمی‌توان در مورد میزان احتمال این فرم از خرابی در نمونه‌های تخریب‌شده، نظر قطعی ارائه نمود).

یکی از مواردی که احتمال تأثیر آن در بروز تخریب‌های کامل، قابل توجه بوده است، بروز طبقه نرم در طبقه همکف ساختمان‌ها است، که نقش تغییرات معماری طبقه و همچنین نقایص اجرائی در بروز آنها، بسیار محتمل است. همچنین در ساختمان‌های قاب خمشی با سیستم دال تخت بر روی ستون‌های ضعیف نیز چنین تخریب‌هایی به شکل گسترده بروز یافته است که طی آن، عناصر پایین‌تر سازه (ستون‌های انعطاف‌پذیر و ضعیف)، دچار شکست برشی در برابر نیروی جانبی زلزله شده و سپس تحت‌فشار وزن و ضربه عناصر فوقانی که خارج از سطح طراحی و تحمل آن‌هاست، از بین رفته و نقش سازه‌ای خود را از دست داده‌اند.

لازم به ذکر است فروریختن پنکیک خطرناک‌تر از فروپاشی‌های دیگر بوده و تلفات قابل‌توجهی در سازه به‌جای خواهد گذاشت (با توجه به تخریب کامل سازه و نشست سقف‌ها بر روی هم) که روند آواربرداری آن نیز بسیار خواهد بود.

لازم به ذکر است دلایل مختلفی در بروز چنین حالتی نقش دارد که مجموع عوامل بیان‌شده در این بخش به‌طور موازی می‌تواند در ایجاد زمینه چنین تخریبی در سازه‌ها در زمان زلزله، نقش ایفا نماید؛ اما نقش مواردی چون ایجاد طبقه نرم (در بخش ۳-۲-۱ دلایل آن بیان گردیده است)، بروز تخریب در چشمه‌های اتصال (ناشی از ضعف برشی این ناحیه) و همچنین ضعف برشی و اتصالی ستون‌ها در سیستم دال تخت، نقش بسیار مستقیم و مهم‌تری در بروز این پدیده در تخریب‌های دو زلزله اخیر ترکیه داشته است.

---

[۱۲] Pancake Collapse

در شکل ۳-۲۳ نمونه‌ای از این نوع تخریب در شهر غازیانتپ ترکیه قابل مشاهده است. همانطور که در شکل مشخص است، ستون‌ها به‌طورکلی از بین رفته و سقف‌ها به روی‌هم سقوط نموده‌اند. همچنین در شکل ۳-۲۴ نمونه‌های از این نوع تخریب که دلایل متعددی از قبیل وقوع طبقه نرم در تشکیل آن محتمل است، در شهر اسکندرون قابل مشاهده است. وجود بخش تجاری در طبقه همکف این سازه‌ها و کاهش دیوارها به همراه افزایش ارتفاع ستون‌ها، احتمال تأثیر بروز پدیده طبقه نرم و تخریب کامل سازه ناشی از شکست‌های برشی در ستون‌ها در این سازه را افزایش خواهد داد.

شکل ۳-۲۳- بروز تخریب کامل ساختمان به فرم پنکیک (شهر غازیانتپ ترکیه)

شکل ۳-۲۴- بروز تخریب کامل ساختمان (شهر اسکندرون ترکیه)

در شکل ۳-۲۵ نمونه دیگری از تخریب کامل ساختمانی در شهر هاتای ترکیه در اثر زلزله قابل مشاهده است. احتمال

وقوع طبقه نرم در این ساختمان و یا وجود برش پایه قابل ملاحظه نیز قابل توجه است (البته بیان دلایل قطعی نیازمند انجام بازدیدهای میدانی و انجام ارزیابی‌های تکمیلی است).

شکل ۳-۲۵- بروز تخریب کامل ساختمان (شهر هاتای ترکیه)

۳-۲-۹- احتمال وجود نقایص اجرائی:

همان‌طور در بخش‌های قبل اشاره گردید، آئین‌نامه‌های لرزه‌ای ترکیه از شرایط مطلوبی از حیث پوشش بخش‌های مختلف احداث، منطبق با شرایط لرزه‌خیزی ترکیه برخوردار هستند. اما ارزیابی تخریب‌های گسترده در شهرهای تحت تأثیر زلزله نشان‌دهنده عدم تطابق بخشی از ساختمان‌ها با موارد درج شده در آئین‌نامه‌های لرزه‌ای ترکیه است. برای مثال عکس‌های تخریب‌ها حاوی موارد متعددی از شکست ستون‌ها و حذف شدن آنها تحت اثر وزن و ضربه سقف‌های فوقانی است که ممکن است در اثر نواقص اجرائی در پیاده‌سازی موارد آئین‌نامه‌ای بروز یافته باشد. در مثال دیگر در شهرهای تحت تأثیر زلزله، شاهد احداث ساختمان‌هایی با سیستم دال تخت بدون آویز بر روی ستون‌های ضعیف و بدون سیستم مهاربندی جانبی مناسب بوده‌ایم، که بخش قابل‌توجهی از خسارات و تلفات را به خود اختصاص داده است. بنابراین نقش عدم رعایت ضوابط آئین‌نامه‌ای در طراحی و اجرا را باید محتمل دانست.

البته باید به اثر شتاب قابل‌توجه وارده به سازه‌ها که در بخش‌هایی، فراتر از میزان در نظر گرفته شده برای طراحی آنها بوده است اشاره نماییم. این در حالی است که در مجاورت بسیاری از این ساختمان‌ها، سازه‌های دیگری از همین رده و ارتفاع وجود دارند که هیچ‌گونه آسیب جدی از حیث سازه‌ای نداشته‌اند و سازه از نهایت ظرفیت‌های اضافی خود در شکل‌پذیری، استهلاک انرژی لرزه‌ای و پایداری در برابر زلزله استفاده نموده و حفظ ایمنی جانی ساکنین را فراهم نموده است.

مقایسه معناداری بین این دو نوع آسیب‌پذیری در سازه‌های نزدیک به هم از حیث مکانی و سیستم سازه‌ای، در مواجهه با شتاب واحد لرزه‌ای داشته‌اند، احتمال تأثیرگذاری نقایص طراحی و اجرا، کیفیت نامناسب مصالح، عدم مطالعات ژئوتکنیکی کامل و همچنین تأثیر احتمالی شرایط ساختگاهی را در افزایش آسیب‌پذیری لرزه‌ای آن مطرح می‌نماید.

نکته قابل‌توجه دیگر که در بسیاری از زلزله‌های مشابه جهان نیز، مشاهده گردیده است، مربوط به تغییرات انجام یافته در معماری ساختمان‌ها بخصوص در طبقه همکف (تفاوت در سختی موجود طبقه) و افزایش پتانسیل ایجاد طبقه نرم در ساختمان بوده است که در کنار نقایص فنی و اجرائی، به‌ویژه در اجرای ستون‌ها و ضعف سیستم مهاربندی در برخی ساختمان‌ها، دلایلی با احتمال قابل توجه برای تشدید خسارات می‌باشند. در شکل ۳-۲۶ نمونه‌ای از آسیب شدید در ساختمان در شهر آدیامان ترکیه قابل مشاهده است که در این مورد، احتمال وجود برش پایه قابل توجه، بروز طبقه نرم و شکست برشی ستون‌ها در تراز فوقانی به دلیل موارد طراحی (ابعاد کوچک ستون‌ها در عین افزایش ارتفاع ستون)، یا ضعف‌های اجرایی خاموت‌گذاری در این ناحیه (ضعف آرماتورگذاری عرضی از حیث سطح مقطع برشی و فواصل خاموت‌ها) مطرح می‌باشد، که تعیین دلایل قطعی نیازمند انجام ارزیابی‌های دقیق تکمیلی بر روی سازه است.

لازم به ذکر است، تأثیر احتمالی کیفیت پایین بتن در تخریب‌های بروز یافته نباید نادیده گرفته شود. همانطور که بر اساس مستندات زلزله‌های پیشین ترکیه مانند زلزله وان و ازمیت، کیفیت‌های بتن در تعدادی از ساختمان‌ها به دلایل ساخت بتن در المان‌های حساسی چون ستون‌ها به روش دستی بدون رعایت ضرایب اختلاط صحیح، دارای مقادیر کوچکتری از حداقل‌های آئین‌نامه‌ای بوده است و این موضوع بر تخریب‌های مربوطه نقش مستقیم ایفا نموده‌اند، در زلزله‌های اخیر ترکیه نیز باید تست‌های دقیق بر روی این عامل صورت پذیرد تا نتایج قطعی قابل ارزیابی و ارائه باشد.

شکل ۳-۲۶- شکست در ستون طبقه همکف ساختمان (شهر آدیامان)

در مثال دیگر برای نقش نقایص اجرائی در بروز تخریب‌ها، در شکل شماره ۳-۲۷ نمونه‌هایی از نقایص آرماتورگذاری طولی و عرضی ستون‌ها در محل اتصال به دال سقف طبقات در شهر هاتای ترکیه، قابل مشاهده است. همانطور که در شکل مشهود است، کمبود آرماتور عرضی و فاصله زیاد بین آنها در ستون‌ها مشهود است. همچنین مواردی از چسبیدگی آرماتورهای طولی به یکدیگر در این مقاطع به دور از نکات آئین‌نامه‌ای قابل مشاهده است.

شکل ۳-۲۷- نقایص اجرائی در آرماتورگذاری طولی و عرضی ستون‌ها (عکاس تصویر سمت چپ: آقای دکتر مرتضی جعفری)

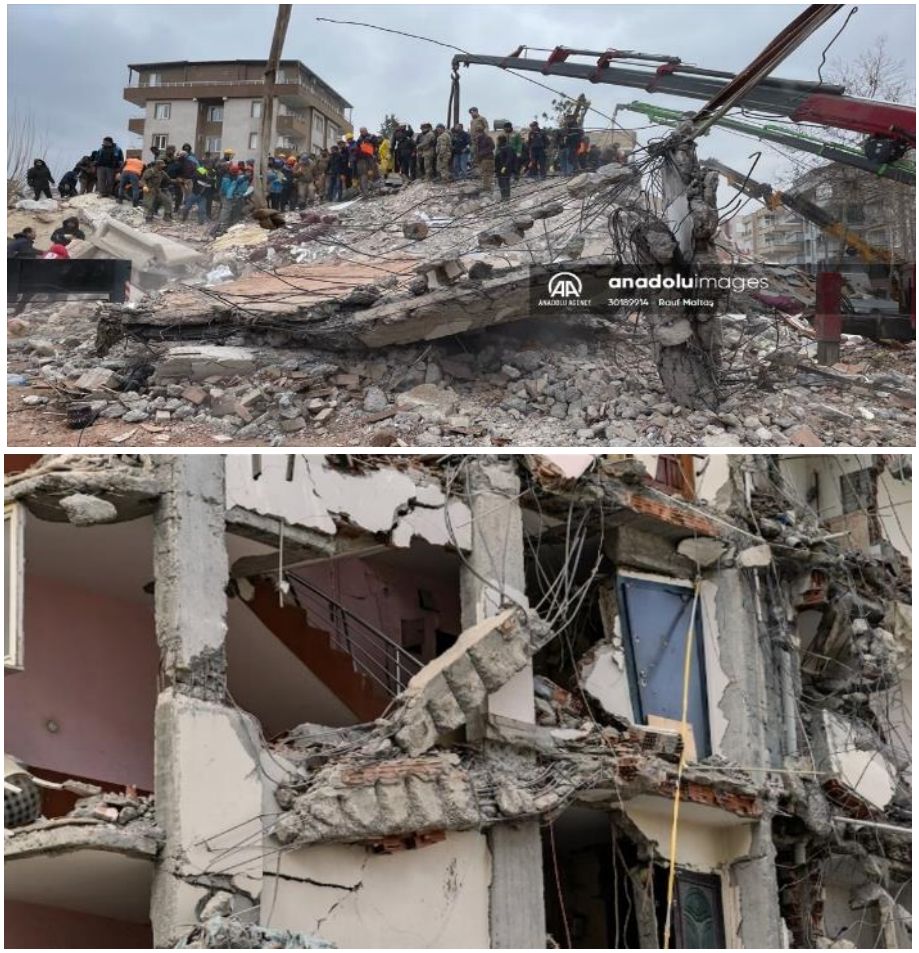
در نمونه‌های دیگر که در شکل ۳-۲۸ قابل مشاهده هستند (مربوط به شهر مالاتیا در ترکیه می‌باشند)، ضعف ستون از نظر سطح مقطع (ستون با ابعاد کوچک) و وضعیت آرماتورهای طولی و عرضی (استفاده از میلگردهای صاف، تعداد و قطر کم آرماتورهای طولی و همچنین فاصله زیاد آرماتورهای عرضی در بخش فوقانی ستون) قابل مشاهده است.

شکل ۳-۲۸- ضعف‌های اجرائی در ستون و اتصالات آن به دال سقف (شهر مالاتیا)

در شکل ۳- ۲۹ که مربوط به شهرهای هاتای، غازیانتپ و قهرمان ماراش ترکیه است، بروز شکست در ستون‌ها در تراز سقف به دلایل محتمل طراحی یا اجرائی مانند ابعاد نامناسب ستون‌ها، کمبود آرماتورگذاری عرضی در این مقاطع، فواصل زیاد آرماتورها در ستون‌ها قابل مشاهده است. البته باید به این نکته اشاره نمائیم که دلایل فنی دیگر مانند وجود مقادیر قابل توجه برش پایه و یا عدم سیستم مهاربندی مناسب در سازه نیز جزو عوامل محتمل خواهد بود که نیازمند ارزیابی دقیق تکمیلی در هر نمونه خواهد بود.

شکل ۳-۲۹- احتمال تأثیر نقایص اجرائی در بروز شکست در ستون‌های برخی ساختمان‌ها (شهرهای هاتای، غازیانتپ و قهرمان ماراش ترکیه)

در شکل ۳-۳۰ نمونه‌ای از سازه تخریب‌شده در شهر هاتای ترکیه قابل مشاهده است. همانطور که در تصویر مشهود است، آرماتورهای مورد استفاده در مقاطع به ویژه ستون‌ها بشدت ضعیف بوده (قطر کم میلگردهای طولی و استفاده از میلگردهای بدون آج) و احتمال تأثیرگذاری ضعف‌های اجرایی در بروز تخریب‌ها گسترده در سازه مطرح می‌باشد (ذکر دلایل فنی دقیق نیازمند ارزیابی کل سازه در بازدید میدانی است)



شکل ۳-۳۰- ضعف آرماتورگذاری طولی و عرضی در مقاطع ستون (شهر هاتای ترکیه)

در شکل ۳-۳۱ برخی نقایص اجرائی در نقاط اتصالی ستون‌ها در تراز سقف و احتمال تأثیر مستقیم آن بر تخریب کلی سازه نمایش داده شده است. در این شکل مواردی چون استفاده از میلگرد صاف (بدون آج)، ضعف برشی ستون (کمبود خاموت)، فواصل زیاد آرماتورهای عرضی و همچنین عدم استفاده از خم ۱۳۵ درجه در خاموت ها که منتهی به باز شدن خاموت در زمان زلزله (برهم خوردن محصورشدگی مقطع در محل اتصال) و شکست در ستون گردیده است، مشهود است.

شکل ۳-۳۱- نمونه‌ای از نقایص اجرائی در آرماتورگذاری مقاطع

در شکل ۳-۳۲ نمونه‌هایی از عدم رعایت طول مهاری و خم مناسب آرماتورهای طولی در تیرها که عامل بسیار مهمی در برآورده کردن شرایط شکل‌پذیری در سازه‌های بتن مسلح است، قابل مشاهده است.

شکل ۳-۳۲- نمونه‌ای از نقایص اجرائی در رعایت طول مهاری و خم آرماتورهای طولی

در شکل ۳-۳۳ نمونه‌هایی از تضعیف تیر سازه‌ای بتن مسلح در ساختمانی در ترکیه قابل مشاهده است که در آن برای عبور تأسیسات، از تخریب بخشی از بدنه تیر استفاده شده است. مسلماً این‌چنین برهم زدگی‌های فنی در سازه، نقش بسیار خطرناکی در زمان زلزله ایفا خواهد نمود (لازم به ذکر است تصاویر از فیلم استخراج شده است). لازم به ذکر است که در بیشتر مناطق بروز تخریب‌های گسترده که نقایص اجرائی در آنها محتمل است، ساختمان‌هایی وجود دارند که عملکرد بسیار مطلوبی در مواجهه با شرایط لرزه‌ای منطقه داشته‌اند و این نکته بر احتمال تأثیر نکات اجرائی بر سطوح مختلف آسیب پذیری می‌افزاید.

شکل ۳-۳۳- نمونه‌ای از تخریب بدنه تیر بتنی برای عبور تأسیسات در ساختمان

در شکل ۳-۳۴ نمونه‌ای تأمل‌برانگیز از برخی ساختمان‌های جدیدالاحداث بدون آسیب جدی در میان انبوهی از سازه‌های تخریب‌شده در زلزله در شهر هاتای ترکیه قابل مشاهده است. بخشی از این تفاوت در رفتار لرزه‌ای و سطح آسیب‌پذیری بسیار بزرگ را، می‌توان به تأثیر احتمالی معیارهای آئین‌نامه‌ای و تأثیر آن بر بهبود رفتار لرزه‌ای سازه‌های جدید و یا تأثیر احتمالی ضوابط مربوط به سازه‌های خاص چون بیمارستان‌ها جهت حفظ شرایط عملکردی آنها در زمان زلزله، مرتبط دانست؛ اما بروز موارد متعدد تناقض و تفاوت در سطوح آسیب‌پذیری ساختمان‌ها در مناطق مشابه را، نمی‌توان صرفاً به دلایل آئین‌نامه‌ای دانست و احتمال تأثیر کیفیت اجرای سازه‌ها و مواردی از قبیل ضعف مصالح، وجود پتانسیل شکست‌های برشی در ستون‌های سازه‌ها (به‌ویژه به دلیل کمبود آرماتورهای عرضی و فاصله نامناسب آنها)، عدم رعایت ضوابط طول مهاری و خم آرماتورهای طولی، تشکیل طبقه نرم و مواردی ازاین‌دست را در بروز چنین تفاوت‌های گسترده‌ای، مطرح می‌باشد (بیان دلایل قطعی صرفاً آر طریق ارزیابی‌های دقیق میدانی، ارزیابی مستندات فنی و انجام تست‌های تکمیلی امکان‌پذیر است).

شکل ۳-۳۴- مقایسه بین رفتار لرزه‌ای و سطوح آسیب‌پذیری متفاوت ساختمان‌ها در مجاورت یکدیگر (شهر هاتای ترکیه)

با توجه به شکل فوق باید به این نکته اشاره نماییم که کشور ترکیه قوانین بسیار مناسبی برای سازه‌هایی با اهمیت زیاد مانند بیمارستان‌ها و مدارس دارد به‌نحوی‌که بر اساس این ضوابط، این سازه‌ها باید شرایط تداوم عملکرد در زمان زلزله را حفظ نمایند (IO). همچنین دولت ترکیه بخشنامه‌ای برای بهره‌گیری از جداسازهای لرزه‌ای در کلیه بیمارستان‌های کشور ابلاغ نموده است که تأثیر بسزایی در حفظ ایمنی سازه و تداوم عملکرد آن در زمان زلزله خواهد داشت. در زلزله‌های اخیر ترکیه نمونه‌های بسیار موفقی از عملکرد بیمارستان‌ها در شهرهای تحت تأثیر گزارش گردیده است. برای مثال در شکل ۳-۳۵ بیمارستان شهر آدیامان که دارای سیستم جداساز لرزه‌ای است قابل مشاهده است. این سازه در زلزله‌های اخیر ترکیه که تخریب‌های گسترده‌ای در آدیامان به همراه داشته است، نشانه‌ای از آسیب بروز نداده و تداوم عملکردی آن به‌طور کامل برقرار بوده است.

شکل ۳-۳۵- عملکرد مطلوب لرزه‌ای در بیمارستان شهر آدیامان ترکیه در زلزله‌های اخیر

در شکل ۳-۳۶ نمونه‌های از تفاوت عملکرد لرزه‌ای و سطوح آسیب‌پذیری ساختمان‌ها در شهر آدانا ترکیه قابل مشاهده است. تفاوت بسیار معناداری بین سازه‌های تخریب‌شده و همچنین ساختمان‌های میان مرتبه نسبتاً سالم (با سطح آسیب بسیار اندک و حفظ ایمنی جانی ساکنین) در کنار یکدیگر قابل مشاهده است. مقایسه این موارد علاوه بر تأثیرگذاری موارد آئین‌نامه‌ای بر تقویت لرزه‌ای سازه‌ها در ورژن های جدیدتر، بر تأثیر چشمگیر جزئیات فنی در اجرا بر میزان آسیب‌پذیری لرزه‌ای تأکید می‌نماید. در این شکل، تخریب کامل برخی سازه‌ها به فرم پنکیک (به دلایل مختلف که پیش‌تر بدان اشاره گردید) مشهود است و این در حالی است که سازه‌های مجاور حتی از حیث اجزای غیر سازه‌ای مانند دیوار، نما و حتی شیشه‌های شکننده پنجره‌ها، آسیب مشهودی را نشان نمی‌دهند.

شکل ۳-۳۶- مقایسه بین رفتار لرزه‌ای و سطوح آسیب‌پذیری متفاوت ساختمان‌ها در مجاورت یکدیگر (شهر آدانا ترکیه)

۳-۲-۱۰- اثر تشدیدکننده دو زلزله و پسلرزه های متعدد بر ساختمان‌ها

با توجه به اینکه زلزله‌های اخیر ترکیه یکی از حوادث نادر لرزه‌ای در جهان محسوب می‌شود که طی آن، در بازه زمانی محدود ۹ ساعته، ۲ زلزله بزرگ ۷٫۷ و ۷٫۶ با فاصله نزدیک به ۹۰ کیلومتر، در عمق کم و دامنه ارتعاشی نسبتاً مشترک بر روی شهرهای تحت تأثیر رخ داده است، بروز تخریب‌های گسترده قابل انتظار بوده و ضمناً می‌توان احتمال تشدید آثار زلزله اول در رخداد زلزله دوم و ناپایدارتر نمودن ساختمان‌های آسیب‌دیده در زلزله اولیه را محتمل دانست.

در مواردی در شهرهای تحت تأثیر زلزله ترکیه، ساختمان‌هایی که حتی المان‌های باربر اصلی آنها در اثر زلزله اولیه مقاومت کرده و پا برجا مانده بودند، با رخداد زلزله و وقوع پسلرزه های شدید بعدی، فرو ریختند. در این موارد، احتمال بر این است که زلزله اولیه، زمینه ایجاد مفاصل پلاستیک در اعضای حساس مانند ستون‌ها (کاهش شدید سختی سازه) را به دلایل مختلف از جمله پایین‌تر بودن طیف طراحی سازه نسبت به مقادیر واقعی زلزله (به دلایل آئین‌نامه‌ای و اقتصادی) یا ضعف در مصالح و اجرا، ایجاد نموده است و همچنین پتانسیل موارد دیگری مانند گسیختگی اجزا در سازه، خروج از محوریت اعضا و یا جدایی اجزای غیر سازه‌ای نیز شکل یافته است. در این حال با رخداد زلزله دوم و همین‌طور پسلرزه‌های متعدد و اثرگذار بر روی سازه‌ها، اثرات اولیه تشدید شده و موجب تخریب کامل و یا موضعی ساختمان‌های آسیب‌دیده گردیده است. در شکل ۳-۳۷ نمونه‌ای از تخریب یک ساختمان میان مرتبه، پس از وقوع دومین زلزله با بزرگای ۷٫۶ در ترکیه قابل مشاهده است.

شکل ۳-۳۷- تخریب ساختمان پس از بروز زلزله دوم ۷٫۶ ترکیه (احتمال تشدید اثرات زلزله اولیه در زلزله دوم)

در نمونه دیگری که در شکل ۳- ۳۸ قابل مشاهده است، تخریب ناگهانی سازه‌ای در روز بعد از بروز دو زلزله بزرگ منطقه قهرمان ماراش نمایش داده شده است. بروز تخریب‌های این‌گونه که حجم خسارات و تلفات قابل‌توجهی را با توجه به ماهیت ناگهانی و همچنین احتمال تخلیه نشدن جمعیت در زلزله نخست دارند، غالباً با اثرات تشدیدکننده زلزله و پسلرزه های بعد از رویداد اولیه (فعال شدن گسیختگی‌ها و نودهای پلاستیک در اعضا ناشی آر رویداد اولیه) مرتبط می‌باشند.

شکل ۳-۳۸- تخریب با فاصله زمانی قابل‌توجه بعد از بروز زلزله‌های ترکیه (احتمال تشدید اثرات زلزله در پسلرزه ها)

۳-۲-۱۱- اثر ساختگاه و شرایط ژئوتکنیکی بر تخریب‌ها

همانطور که در بخش‌های قبل به آن اشاره گردید، در دو زلزله اخیر ترکیه در شهرهای تحت تأثیر، الگوهای پیچیده‌ای از تخریب در بافت‌های شهری نمایان گردیده است، به‌نحوی‌که در یک محدوده، سطوح مختلفی از تخریب و همچنین اختلافات قابل‌توجهی در نوع آسیب‌پذیری لرزه‌ای در ساختمان‌ها بروز یافته است. وجود تخریب‌های کلی سازه‌ها به‌ویژه به شکل انحراف سراسری بدنه، بروز واژگونی ساختمان‌ها (با بروز علائم بیرون‌زدگی فونداسیون) و افزایش نرخ اندرکنش دینامیکی سازه‌ها، احتمال تأثیرگذاری شرایط ساختگاهی و ایجاد تفاوت به دلایل ژئوتکنیکی در محل ساختمان‌ها را در این بخش‌ها افزایش می‌دهد. به همین دلیل بخشی از تخریب‌های صورت گرفته و تفاوت‌های آشکار در این موضوع را باید در جزئیات ژئوتکنیکی و ساختگاهی بخش‌های مختلف این شهرها دنبال نمود. باید به این نکته مهم اشاره نماییم که

در صورت تأثیرگذاری این موارد بر تشدید تخریب‌ها در شهرهای موردنظر، یکی از ضعف‌های طراحی در ساختمان‌های تخریب یافته، عدم توجه به شرایط ساختگاهی ساختمان‌ها بوده است.

لازم به ذکر است، در برخی از مناطق مانند شهر ساحلی هاتای که در آنها هم نوعی آب‌گرفتگی (بالازدگی آب) در بخش‌هایی از شهر گزارش شده و هم آمار قابل‌توجهی از تخریب ساختمان‌ها با فرم واژگونی و بروز ضربات سنگین سازه‌ها به یکدیگر بروز یافته است، با توجه به سطح بالای آب زیرزمینی، احتمال رخداد پدیده روانگرایی و تأثیر آن بر تخریب‌ها مطرح می‌باشد که باید به‌طور ویژه مورد ارزیابی تکمیلی قرار گیرد. در شکل ۳-۳۹ نمونه‌هایی از تخریب‌های گسترده در شهرهای هاتای و آدیامان ترکیه قابل مشاهده است. با توجه به وضعیت نسبتاً مشابه ساختمان‌ها از حیث مشخصات سازه‌ای و نظم هندسی سازه و نوع مصالح مورداستفاده در مناطق این شهرها، که در عکس‌ها مشهود است، الگوهای متفاوتی از تخریب و همچنین واژگونی اساسی سازه صورت گرفته است. با توجه به این موضوع و همچنین بالا بودن سطح آب زیرزمینی در این مناطق، احتمال تأثیرگذاری شرایط ژئوتکنیکی و ساختگاهی محتمل است.

شکل ۳-۳۹- وجود سطوح مختلف تخریب ساختمان‌ها در محدوده‌های شهری و احتمال تأثیر موارد ژئوتکنیکی و ساختگاهی (شهر هاتای و آدیامان ترکیه)

۳-۲-۱۲- شتاب زلزله

در مورد شتاب بروز یافته بر اثر دو زلزله اخیر ترکیه که دارای اعماق کم بوده‌اند، در بخش‌های قبل، تفاسیری بر اساس داده‌های شبکه شتاب‌نگاری ترکیه در محدوده شهرهای تحت تأثیر ارائه گردیده است که معیاری برای دستیابی به منظر مهندسی در موضوع شتاب اعمالی و مقایسه آن با مقادیر طراحی‌شده برای سازه‌ها بر اساس آئین‌نامه لرزه‌ای ترکیه در این مناطق است. لازم به ذکر است در مورد شتاب، تفاوت‌های زیادی بین آئین‌نامه زلزله ۲۰۱۸ و ۲۰۰۷ وجود دارد. همچنین ضریب اهمیت ساختمان، ضریب رفتار سازه، ضریب شتاب زلزله، نوع خاک و برخی پارامترهای دیگر در آیین‌نامه جدید زلزله تغییر یافته است.

فارغ از تمام تغییرات آیین‌نامه‌ای در ترکیه، باید به این نکته مهم اشاره نماییم غالب مناطق تحت تأثیر زلزله بر اساس پهنه‌بندی صورت گرفته برای خطر لرزه‌ای در ترکیه، جزو مناطق درجه ۱ تا ۳ قرار خواهند گرفت (شتاب مبنای طرح نهایتاً تا ۰٫۵ شتاب گرانش بر اساس آئین‌نامه). شتاب افقی و قائم زلزله در بخش‌هایی از مناطق تحت تأثیر، قابل‌توجه و فراتر از شتاب طراحی آنها بوده است که نقش بسزایی در گستردگی تخریب‌های بروز یافته در آن مناطق داشته است. اما در وجه دیگر، باید به این نکته نیز اشاره نماییم که در همین مناطق، شاهد آسیب‌های کم و پایداری برخی سازه‌ها در مواجهه با همین مقادیر شتاب هستیم که نشانگر کیفیت ساخت بالا و بهره‌برداری از بیشترین ظرفیت‌های شکل‌پذیری سازه برای حفظ پایداری در زمان زلزله می‌باشد.

نکته مهم دیگر در موضوع مقادیر قابل‌توجه شتاب قائم زلزله در مناطق نزدیک به رومرکز زلزله‌های اخیر است. لازم به ذکر است معمولاً توجه اندکی به موضوع شتاب قائم زلزله نسبت به شتاب افقی در طراحی و اجرا معطوف گردیده است و حتی در آیین‌نامه‌های قدیمی به‌طورکلی از اثر شتاب قائم زلزله بر سازه صرف‌نظر شده است. اما در مقادیر شتاب قائم به وجود آمده در حوزه نزدیک زلزله‌های ترکیه، احتمال تأثیر آن بر روی سازه‌ها بطور هم‌زمان با مؤلفه‌های افقی شتاب اعمالی، به‌ویژه در موضوع تأثیرپذیری و شکست طره‌ها، آسیب‌های ساختمان‌های نامنظم، بیرون‌زدگی‌ها و بخش‌های الحاقی سازه‌ای و همچنین برهم خوردن شرایط پایداری سازه‌ها (به‌ویژه در موارد عدم انجام مطالعات ژئوتکنیکی کافی و عدم کنترل ضوابط واژگونی در سازه‌ها) بسیار جدی است. در عکس‌های دریافتی از شهرهای تحت تأثیر زلزله، نمونه‌های متعددی از شکست طره‌ها و بالکن‌ها قابل مشاهده است که بر احتمال تأثیر مؤلفه قائم شتاب زلزله بر سازه می‌افزاید. در شکل ۳-۴۰ نمونه‌ای از آسیب‌های وارده به بالکن‌ها در برخی ساختمان‌ها در منطقه غازیانتپ قابل مشاهده است.

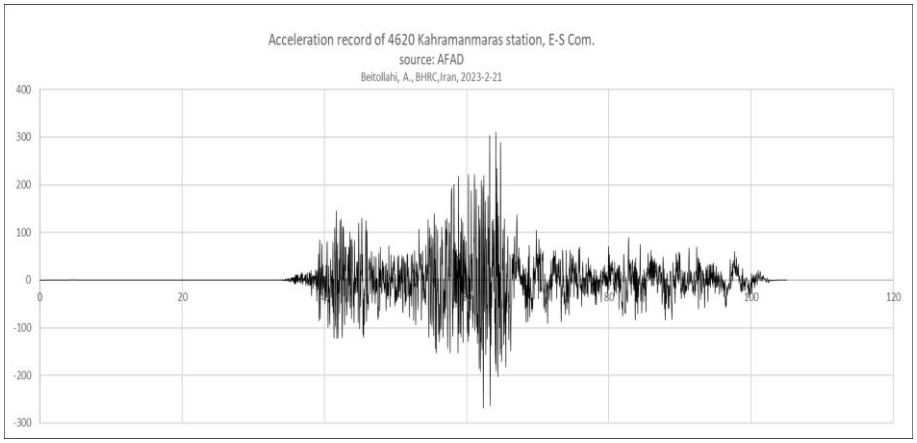
شکل ۳-۴۰- تخریب بالکن‌ها در ساختمان و احتمال اثر مؤلفه قائم شتاب زلزله (شهر غازیانتپ)

همچنین در برخی از مناطق، با توجه به پهنه‌بندی شتاب صورت‌گرفته در دو زلزله اخیر، سازه‌های جدیدالاحداث در میزان شتاب‌هایی کمتر از مقادیر طراحی، دچار تخریب و یا آسیب‌دیدگی جدی شده‌اند که این نکته بر احتمال عدم تطابق ساختمان‌های احداثی با برخی ضوابط لرزه‌ای طراحی آنها و بروز ضعف‌های اجرائی، دلالت خواهد داشت. البته باید به این نکته مهم اشاره نماییم که بخشی از ساختمان‌های آسیب‌دیده این مناطق، پیش از سال ۲۰۰۰ و یا با ورژن‌های اولیه آئین‌نامه‌های لرزه‌ای ترکیه احداث گردیده‌اند.

در شکل ۳-۴۱ نمونه‌ای از تخریب‌های صورت گرفته در قهرمان ماراش و در شکل ۳-۴۲ رکورد شتاب‌نگاری این منطقه قابل مشاهده است. همانطور که در شکل‌ها قابل مشاهده است، تخریب برخی سازه‌های جدیدالاحداث در مقادیر نه‌چندان

بالای شتاب ماکزیمم منطقه بروز یافته است.

شکل ۳-۴۱- نمونه‌ای از تخریب سازه‌های جدیدالاحداث در قهرمان ماراش ترکیه



شکل ۳-۴۲- رکورد شتابنگاشت ایستگاه ۴۶۲۰ قهرمان ماراش

۳-۲-۱۳- کیفیت مصالح (به‌ویژه بتن):

همان‌طور که در بخش‌های قبل به آن اشاره کردید کشور ترکیه از حیث آیین‌نامه‌ها و ضوابط ساخت‌وساز منابع بسیار غنی در اختیار دارد که در آنها، صراحتاً به رعایت ضوابط انتخاب، بهره‌گیری، عمل‌آوری و انجام آزمایش‌های دقیق بر روی مصالح مورداستفاده در احداث ساختمان‌ها و ابنیه دیگر، تأکید گردیده است. برای مثال، آئین‌نامه حداقل مقاومت فشاری مشخصه ۲۰ مگاپاسکال را برای بتن مورداستفاده در ساختمان‌ها در مناطق لرزه‌ای مشخص می‌کند. بااین‌حال، مقاومت بتن در برخی ساختمان‌های موجود ساخته‌شده قبل از سال ۲۰۰۰ که در آن بتن در محل مخلوط شده است (بتن دستی)، کمتر از این حداقل بوده است.

البته لازم به ذکر است بر اساس آمار و داده‌های ملی ترکیه، استفاده از بتن آماده در ساخت‌وساز و بهبود نظارت بر محل اجرا شده توسط قانون بازرسی ساخت‌وساز (قانون شماره ۴۷۰۸) مصوب ۲۰۰۱ باعث بهبود کیفیت بتن در ساختمان‌های ساخته‌شده پس از سال ۲۰۰۰ شده است؛ اما گزارش‌هایی از کمبود کیفیت مصالح در ساخت‌وسازهای مناطق تحت تأثیر زلزله در ترکیه وجود دارد. البته از این آمار صرفاً از جنبه ایجاد حساسیت می‌توان استفاده نمود و برای دو زلزله اخیر، صرفاً پس از انجام آزمایش‌های لازم از مصالح، می‌توان نقش کمبود کیفیت آنها را بطور قطع تائید یا تکذیب نمود، اما با توجه به ارزیابی عکس‌ها و گزارش‌های دریافت شده از زلزله (تا لحظه تنظیم این گزارش) احتمال تأثیر بی‌کیفیتی مصالح در

بروز تخریب‌ها وجود دارد. لازم به ذکر است که مواردی چون نسبت آب به سیمان بالا، درجه‌بندی نامناسب سنگدانه ها در بتن، عمل‌آوری ناکافی، استفاده از بتن دست‌ساز، عدم آزمایش به‌موقع از مصالح، عدم ویبره مناسب بتن در اجزای حساس سازه‌ای و عدم شستشوی مصالح جزو مهمترین دلایل کاهش مقاومت بتن مصرفی است که در مستندات زلزله‌های پیشین ترکیه بر تأثیر آنها بسیار تأکید گردیده است.

در زلزله اخیر نیز مستندات محدودی (تا لحظه تدوین گزارش) از احتمال تأثیرگذاری کیفیت مصالحی چون میلگردها و بتن دریافت گردیده است و نیازمند ارزیابی‌های تکمیلی است. در شکل شماره ۳-۴۳ نمونه‌ای از پکیدگی بتن در نقطه حساس ستون در ارتعاش اولیه زلزله و خالی شدن اطراف آرماتورها قابل مشاهده است. همان‌طور که از شکل استنباط می‌گردد، عدم کیفیت مناسب بتن، سبب تشکیل مفصل پلاستیک و شکست در ستون طبقه همکف ساختمان گردیده است. لازم به ذکر است عدم‌کفایت بتن در تحمل بارهای لرزه‌ای به میزان سهم در نظر گرفته شده برای آن در مقاطع بتنی (به‌ویژه ستون‌ها)، موجب برهم خوردن نظم طراحی‌شده باربری المان، خالی شدن اطراف میلگردها، ایجاد پتانسیل تشکیل مفصل پلاستیک (تشکیل نقطه شکست) و افزایش احتمال شکست برشی در مقطع خواهد گردید که بروز این موارد در ستون‌ها، خطر بسیار بزرگ تخریب کامل سازه را به همراه خواهد داشت.

شکل ۳-۴۳- نقش کیفیت نامناسب بتن در بروز شکست در ستون ساختمان

۳-۳- ارزیابی مستندات خسارات سازه‌های مصالح بنایی و نقطه نظرات مهم

بطور کلی سیستم‌های سازه‌ای متفاوت با توجه به رفتار هرکدام در مواجهه با نیروی زلزله، خسارات و آسیب‌های گوناگونی را متحمل می‌شوند. برای آسیب‌شناسی بافت‌های ساختمانی و سازه‌ای در پدیده زلزله، می‌بایست به بررسی دقیق اثرات این پدیده در هریک از فرم‌های ساخت و سیستم‌های سازه‌ای پرداخته شود و از مشاهدات و مستندات بدست آمده تفسیر نوع رفتار سازه‌ها و مصالح مورداستفاده، انجام پذیرد.

در بخش ۳-۱ به‌طور کامل پراکنش ساختمان‌های مصالح بنایی در شهرهای تحت تأثیر زلزله نمایش داده شده است. همانطور که از آمار این بخش قابل برداشت است، همچنان آمار قابل‌توجهی از این نوع از سازه‌ها در شهرهای تحت تأثیر زلزله و به‌ویژه مناطق روستایی آن‌ها وجود دارد. پیش از پرداختن به دلایل احتمالی بروز خسارات در این رده از سازه‌ها، باید به این نکته اشاره نماییم که برای زلزله‌های اخیر ترکیه، آمار و مستندات بسیار اندکی از خسارات این نوع از ساختمان‌ها در دست بوده است.

سازه‌های بنایی سنتی در این مناطق از ترکیه، غالباً از سنگ (سنگ‌های درشت تراش‌خورده) یا آجر به‌عنوان مصالح پرکننده دیوارها در کنار ملات‌های آهکی و یا ملات کاه‌گل یا گل ساخته شده‌اند و غالباً دارای ساختار سقف ترکیب یافته از تیرهای چوبی با پوشش ورق‌های گالوانیزه (به اصطلاح رایج، سقف حلبی) و یا سقف‌های سنگین خاکی به‌ویژه برای محل نگهداری دام و طیور هستند. غالباً در ترکیه منازلی با این نوع سیستم سنتی، از بیرون گچ‌کاری شده‌اند که البته در برخی از مناطق دارای قدمت تاریخی و فرهنگی، تعداد سازه‌هایی با نمای بدون پوشش نیز قابل‌توجه است. همچنین بر اساس آمار ملی ترکیه، حدود ۱۷ درصد آنها یک طبقه و ۷۰ درصدشان دو طبقه هستند (TUIK). این رده از سازه‌ها، به دلیل ضعف اساسی مصالح و المان‌ها در تحمل تنش‌های کششی، غالباً مقادیر قابل‌توجهی از آسیب را در زلزله‌ها به انواع مختلف متحمل می‌شوند. وجود بی‌نظمی‌های متفاوت در پلان و حتی ارتفاع آنها، این موضوع را تشدید می‌نماید. رایج‌ترین بی‌نظمی که در این نوع از سازه‌ها مشاهده می‌کنیم، تغییر ارتفاع طبقات بالای همکف نسبت به آن می‌باشد. همچنین تغییر در سختی به دلیل سازه‌های متصل به ساختمان اصلی نیز رایج است. در شکل ۳-۴۴ نمونه‌هایی از ساختمان‌های مصالح بنای قدیمی در ترکیه قابل مشاهده است.

شکل ۳-۴۴- نمایی از الگوهای رایج برای ساختمان‌های مصالح بنایی مناطق ترکیه

در این‌گونه ساختمان‌ها، به دلایل ذیل، آسیب و تخریب قابل‌توجهی در زمان وقوع زلزله‌ها، قابل‌انتظار است:

- ضعف در مصالح به‌کاررفته (مصالح نا مقاوم و ترد)
- عدم یکپارچگی در سیستم انتقال بار
- کافی نبودن طول تکیه‌گاهی تیرهای سقف بر روی دیوارها
- عدم وجود اتصال مناسب بین سقف و دیوارها
- عدم اتصال صحیح میان دیوارهای متقاطع
- وزن زیاد سازه به دلیل نوع مصالح و ماهیت سیستم

- سختی بالا در سازه
- ظرفیت مقاومت کششی و برشی پایین در المان‌ها
- ظرفیت پایین در تحمل بارهای رفت و برگشتی
- عدم وجود یکپارچگی لرزه‌ای در سازه (عدم وجود کلاف‌های افقی و قائم)
- ضعف خمشی و برشی دیوارها
- احتمال قابل‌توجه واژگونی یا ریزش مصالح دیوارها
- سقف سنگین سازه (به دلیل مرمت‌های مکرر)
- آسیب‌پذیری المان‌های سقف سازه در برابر ارتعاش لرزه‌ای

لازم به ذکر است در این نوع از ساختمان‌ها، آسیب‌پذیری داخل صفحه دیوارها (در دیوارهای موازی با نیروی زلزله) که با ترک‌هایی عمدتاً تحت زاویه ۴۵ درجه شکل می‌گیرد و درصورتی‌که مقاومت برشی مصالح کافی نباشد این ترک‌ها علاوه بر راستای قطری در راستای قائم و در انتهای ترک قطری امتداد می‌یابند. همچنین احتمال واژگونی دیوارهای متعامد با نیروی زلزله به دلیل نبود اتصالات مناسب با المان‌های دیگر همچون سقف و عدم ظرفیت خمشی مناسب در دیوار وجود خواهد داشت. در این قبیل ساختمان‌ها، غالباً در زمان زلزله شاهد واژگونی دیوارهای غیر باربر (دیوارهایی که نشیمن تیرهای سقف بر روی آن‌ها نباشد) به دلیل عدم‌کفایت بار ثقلی در نگهداشت دیوار در مواجهه با ارتعاش و نیروی جانبی زلزله خواهیم بود. همچنین وقوع انواع شکست‌های گوشه در محل تلاقی دیوارها قابل‌انتظار خواهد بود. نوع دیگر خرابی در این نوع سازه‌ها، سقوط سقف به دلیل عدم نشیمن کافی بر روی دیوارها و همچنین وزن قابل‌توجه سقف‌ها به دلیل بازسازی مکرر آن‌ها می‌باشد.

به‌بیان‌دیگر، در ساختمان‌های مصالح بنایی به دلیل ضعف در اتصال بین سقف و دیوار، احتمال لغزش سقف بر روی دیوار تحت ارتعاشات لرزه‌ای وجود دارد. این نوع آسیب‌پذیری بسیار خطرناک می‌باشد زیرا در صورت افزایش جابجایی نسبی سقف و دیوار، تیرچه‌های سقف ممکن است از روی دیوار خارج شده و عملاً تکیه‌گاه خود را از دست بدهند که در این صورت سقف به‌صورت یکپارچه فرو می‌ریزد.

وجود بازشوها در دیوارهای ساختمان‌های مصالح بنایی، موجب تضعیف این المان‌ها و افزایش شدت آسیب‌پذیری آنها در بحث لرزه‌ای خواهد گردید، به‌نحوی‌که احتمال ریزش و واژگونی در این دیوارها به دلیل کاهش سختی و همچنین وجود فضای لازم جهت ریزش لایه‌های فوقانی دیوار بسیار بالا خواهد بود.

عدم وجود ساختار فونداسیون مناسب و یکپارچه در این ساختمان‌ها موجب می‌گردد تا المان‌های متصل با زمین دچار آسیب‌های زودهنگام در لایه‌های تحتانی گردند و آثار ناپایداری این المان‌ها را به دنبال خواهد داشت. همچنین در مواردی که سازه دارای فونداسیون بوده اما رابط‌های لازم نیز وجود نداشته است، شاهد حرکت فونداسیون و یا بیرون‌زدگی آن بوده‌ایم که شرایط عدم پایداری سازه را فراهم آورده است.

ساختمان‌های با مصالح بنایی ساخته‌شده از سنگ و خشت به‌عنوان مصالح پرکننده، اصولاً دارای نوعی ایراد کلی در بحث چسبانندهها و قدرت آنها در حفظ مصالح پرکننده در هنگام بروز زلزله هستند به‌نوعی که در ساختمان‌های مناطق تحت تأثیر زلزله مصالحی چون گل و یا گل و گچ که به‌عنوان ملات مابین سنگ و یا خشت مورد استفاده قرار گرفته‌اند از حیث

چسبانندگی بسیار ضعیف عمل نموده و شرایط ریزش دیوارها و سقف را فراهم آورده‌اند.

با توجه به کلیه موارد فوق‌الذکر در زمینه ساختمان‌های مصالح بنایی بر اساس آمار تعداد قابل‌توجهی از آنها همچنان در شهرهای تحت تأثیر زلزله ترکیه وجود دارند (میزان بافت ساختمان‌های مصالح بنایی در مناطق تحت تأثیر در جدول ۳-۲ بیان شده است) آسیب‌پذیری قابل‌توجهی برای آنها در مواجهه با زلزله انتظار می‌رود البته سازمان تدوین گزارش آمار دقیقی از تخریب این نوع ساختمان‌ها به دست نیامده است اما کاملاً منطقی است که بخش قابل‌توجهی از ساختمان‌های این‌چنین در مناطق تحت تأثیر زلزله دچار تخریب‌های گسترده شده باشند این نکته بر لزوم اتخاذ تدابیر مدیریتی و فنی لازم جهت نوسازی و مقاوم‌سازی ساختمان‌های موردنظر با تکنیک‌های مناسب تأکید می‌نماید. در شکل ۳-۴۵ نمونه‌هایی از تخریب برخی ساختمان‌های مصالح بنایی در زلزله ۷٫۷ قهرمان ماراش قابل مشاهده است (لازم به ذکر است اطلاعات و مستندات بسیار اندکی از تخریب سازه‌های مصالح بنایی به‌ویژه در سطح روستاهای تحت تأثیر این زلزله‌ها وجود داشته است).

شکل ۳-۴۵- نمونه‌هایی از آسیب‌های جدی در ساختمان‌های مصالح بنایی شهرهای زلزله‌زده ترکیه

در شکل ۳-۴۶ نمونه‌هایی از تخریب‌های رایج سازه‌های مصالح بنایی تقویت نشده (بدون کلاف) در شهر هاتای ترکیه که دارای تخریب‌های گسترده‌ای نیز بوده است، قابل مشاهده است.

شکل ۳-۴۶- نمونه‌هایی از آسیب‌های گسترده در ساختمان‌های مصالح بنایی شهر هاتای ترکیه

همانطور که در عکس‌های فوق قابل مشاهده است، غالب تخریب‌های صورت گرفته در سازه‌های مصالح بنایی در شهرهای تأثیرپذیر از زلزله، به دلیل شتاب قابل‌توجه زلزله برای این رده از سازه‌ها (به‌ویژه سازه‌های قدیمی تقویت نشده و بدون کلاف)، بسیار قابل‌توجه و در سطح تخریب سراسری بوده است. بر اساس آخرین اخبار از خسارات زلزله‌های اخیر ترکیه، بیش از ۷۰ هزار منزل مسکونی در مناطق روستایی تخریب‌شده و یا آسیب جدی متحمل شده‌اند.

در شکل شماره ۳-۴۷ نمونه‌های دیگری از تخریب‌های ساختمان‌های قدیم مصالح بنایی (غالباً بدون کلاف) در مناطق روستایی حومه آدیامان قابل مشاهده است. همانطور که در شکل‌ها مشهود است، غالب ساختمان‌ها از مصالح بدون مقاومت و ترد مانند سنگ و ملات گل با سقف‌های سنگینی متکی به تیرهای چوبی تشکیل یافته‌اند. شتاب قابل‌توجه زلزله برای این رده از سازه‌ها، که فاقد انسجام لرزه‌ای و اتصالات مناسب بین المان‌ها بوده‌اند، بر اساس انتظار همیشگی در این نوع تیپ سازه‌ای، ویرانگر بوده و حجم آوار قابل‌توجهی را به همراه داشته است. لازم به ذکر است با توجه به مقدار کم

مستندات موجود از سازه‌های مصالح بنایی در مناطق تحت تأثیر زلزله، تصویر قابل استنادی برای رفتار سازه‌های کلاف دار از این رده در مناطق تحت تأثیر زلزله در دست نبوده است.

شکل ۳-۴۷- نمونه‌هایی از آسیب‌های ساختمان‌های مصالح بنایی مناطق روستایی محدوده آدیامان ترکیه

لازم به ذکر است به‌غیراز موضوع منازل مسکونی دارای اسکلت مصالح بنایی و همچنین محله‌های دارای بافت فرسوده در سطح شهرهای زلزله‌زده، بخش‌های مهم دیگری شامل آثار تاریخی و مراکز فرهنگی قدیمی به‌عنوان مراکز دارای سیستم آسیب‌پذیر و همچنین حساسیت و ارزش ویژه ملی، در زمان زلزله مطرح می‌باشند. کشور ترکیه از این حیث دارای منابع بسیار غنی از مراکز و آثار تاریخی و فرهنگی می‌باشد که حوزه بسیار ویژه‌ای را در موضوع آسیب‌پذیری لرزه‌ای به خود اختصاص می‌دهند و باید تمهیدات ویژه‌ای جهت نگهداری و کاهش آسیب‌پذیری در آنها در نظر گرفته شود.

برای مثال چند نمونه از آثار تاریخی ارزشمند این کشور در زلزله اخیر مورد آسیب جدی قرار گرفته است. اولین مورد مربوط به قلعه باستانی شهر غازیانتپ بر فراز کوهی در مرکز این شهر است که با توجه به قدمت بالای آن، همواره مقصد

اصلی گردشگری این شهر بوده است؛ اما متأسفانه در زلزله اخیر با توجه به شتاب قابل‌توجه لرزه‌ای اعمال‌شده توسط زلزله در محدوده شهر غازیانتپ، خسارات و آسیب‌های بسیار جدی را متحمل گردیده است. در شکل ۳-۴۸ تصاویری از تخریب این مجموعه در زلزله اخیر قابل مشاهده است. همان‌طور که در شکل مشخص است، بخش‌هایی از جنوب، شرق و جنوب شرقی این قلعه تاریخی، تخریب شده و ویرانه‌های آن در جاده فرو ریخته است. لازم به ذکر است نمونه مشابه دیگر آسیب‌دیده از همین نوع، مربوط به قلعه تاریخی شهر حلب در سوریه است.

نمونه دیگر مربوط به یکی دیگر از آثار تاریخی و فرهنگی شهر غازیانتپ بوده است. مسجد تاریخی کورتلوس[۱۳] به‌عنوان یکی از مهمترین مراکز توریستی این شهر که از سازه قدیمی و حساسی در برابر زلزله برخوردار بوده است، متأسفانه در جریان زلزله ۷٫۷ روی داده، دچار آسیب‌های بسیار جدی گردیده و بخش مهمی از بدنه آن فرو ریخته است. در شکل ۳-۴۹ تخریب این اثر مهم ترکیه قابل مشاهده است. نکته قابل‌توجه در مورد این مسجد ۱۳۰ ساله اینکه این مسجد در زمین‌لرزه ۱۸۹۴ یک‌بار فرو ریخته بود که با کمک حاکم وقت دوباره ساخته شده است، اما حالا دوباره در اثر زلزله تخریب شده است. نمونه مشابه این رخداد در این زلزله، برای مسجدی در مالاتیا اتفاق افتاده است.

شکل ۳-۴۸- تخریب بخش‌های زیادی از قلعه تاریخی شهر غازیانتپ در زلزله اخیر ترکیه

در مورد دیگر که مربوط به شهر اسکندرون می‌باشد، "کلیسای نیابتی بشارت" از آثار بسیار کهن این شهر مربوط به قرن نوزدهم میلادی، در اثر زلزله به شکل گسترده‌ای تخریب شده است. در شکل ۳-۵۰ عکسی از تخریب این بنای قدیمی شهر اسکندرون قابل مشاهده است.

[۱۳] kurtulus-camisi

شکل ۳-۴۹- تخریب بخش‌های مهمی از مسجد تاریخی شهر غازیانتپ

شکل ۳-۵۰- تخریب گسترده کلیسای شهر اسکندرون در اثر زلزله (تصویر سمت چپ وضعیت این بنا پیش از زلزله و تصویر سمت راست وضعیت تخریب شده این بنا بعد از دو زلزله اخیر ترکیه را نمایش می‌دهد)

در نمونه‌های دیگر، تخریب‌های صورت گرفته در تعدادی از مساجد دارای قدمت قابل‌توجه در شهرهای غازیانتپ و هاتای ترکیه در شکل ۳-۵۱ قابل مشاهده است. در تعدادی از مساجد، به دلیل بروز زلزله، مناره‌ها به‌عنوان المان‌های بلند که تأثیر بسزایی از ارتعاشات لرزه‌ای خواهند گرفت، تحت آسیب‌های جدی تا سطح شکست کامل بدنه و سقوط بخشی از سازه قرار گرفته‌اند.

شکل ۳-۵۱- تخریب‌های بروزیافته در برخی مساجد کهن شهرهای غازیانتپ و هاتای ترکیه در اثر زلزله

در شکل شماره ۳-۵۲ نمایی از آسیب‌های وارده به مناره‌های مسجد دیگری در شهر ساحلی هاتای قابل مشاهده است.

شکل ۳-۵۲- تخریب‌های بروزیافته در مناره مسجدی در شهر ساحلی هاتای ترکیه در اثر زلزله

همان‌طور که در موارد فوق می‌توان مشاهده نمود، حساسیت بسیار زیادی در مجموعه‌های تاریخی در مواجهه با پدیده

زلزله وجود دارد که مستلزم انجام ارزیابی‌های ویژه و اتخاذ تدابیر فنی و راهکارهای اجزائی مناسب جهت کاهش آسیب‌پذیری لرزه‌ای می‌باشد. ساختمان‌های قدیمی و تاریخی به دلیل قدمت بالای عملکردی، اضمحلال مصالح و همچنین عدم وجود سیستم یکپارچه کننده در مقابل زلزله، همواره سهم بسیار بزرگی از آسیب‌های لرزه‌ای شهرها را به خود اختصاص داده‌اند. در کشور ترکیه تعداد قابل‌توجهی ازاین‌گونه آثار و ابنیه تاریخی ارزشمند وجود دارد که باید به‌طور خاص و مستقل، تدابیر فنی لازم جهت مقاوم‌سازی لرزه‌ای در آنها اتخاذ گردیده و پیاده‌سازی شود.

در شکل ۳-۵۳ نمونه‌ای از تخریب‌های صورت گرفته در قلعه باستانی در محدوده دیاربکر ترکیه در قالب ریزش دیواره‌های سنگی، قابل مشاهده است.

شکل ۳-۵۳- تخریب‌های بروزیافته در قلعه باستانی در دیاربکر ترکیه در اثر زلزله

۳-۴- ارزیابی مستندات آسیب‌های وارده به زیرساخت‌ها و مراکز مهم

بطور کلی در زلزله‌ها، یکی از بخش‌های بسیار مهم از حیث ریسک لرزه‌ای، مربوط به شریان‌های حیاتی (شامل شبکه آب‌رسانی، برق‌رسانی، خطوط گاز، ایستگاه‌های گاز، خطوط مخابراتی و فیبر نوری و ...)، شبکه حمل‌ونقلی درون و برون‌شهری و همچنین مراکز مهم و استراتژیک شامل کلیه ساختمان‌های سازمانی، عملیاتی، امدادی و همچنین مخازن نگهداری سوخت، آب و مواد خطرزا می‌باشد.

با توجه به اینکه هر یک از این مراکز، نقش مهمی در کل سیستم عملکردی در سطح شهر و یا حتی کشور ایفا می‌کنند، وقوع آسیب در آنها در زمان زلزله، ریسکی فراتر از خود سازه به همراه خواهد داشت و امکان ایجاد اختلال در کل شبکه را رقم خواهد زد. از سوی دیگر این مراکز نقش بسیار مهمی در حفظ تاب‌آوری مناطق تحت تأثیر زلزله و برقراری جریان خدمت‌رسانی و امداد برای بخش‌های آسیب‌دیده و مردم بر عهده دارند که در صورت آسیب به آنها، بخش مهمی از این جریان مختل خواهد شد. همه این موارد دلایلی برای اهمیت ویژه این مراکز در موضوع ریسک لرزه‌ای می‌باشد.

در زلزله اخیر ترکیه، بر اساس آمار اخذشده تا لحظه تنظیم این گزارش، خسارات قابل‌توجهی به شریان‌های حیاتی و مراکز مهم وارد شده است. از جمله مهم‌ترین آن‌ها می‌توان به آسیب جدی و حتی ازکارافتادن برخی مجموعه‌های فرودگاهی در شهرهای زلزله‌زده (به‌عنوان‌مثال فرودگاه شهر هاتای و سه فرودگاه در دیاربکر)، آسیب جدی و حتی تخریب کامل در برخی بیمارستان‌ها (برای مثال آسیب جدی به بیمارستانی در بندر اسکندرون و همچنین آسیب‌هایی در بیمارستانی در آدانا) در این شهرها و همچنین اختلال‌های به وجود آمده در جریان گاز و برق (انفجار لوله گاز در استان هاتای و همین‌طور آسیب جدی به لوله گاز در نزدیکی شهر قهرمان ماراش) در ساعات اولیه زلزله اشاره نمود. در شکل ۳-۵۴ آثار ایجادشده در باند فرودگاه هاتای ترکیه بر اثر زلزله قابل مشاهده است.

شکل ۳-۵۴- تخریب سطح باند هاتای ترکیه در اثر زلزله ۷٫۷

همچنین بر اساس آمار و عکس‌های دریافت‌شده از ساعات اولیه زلزله، بندر اسکندرون در زمان وقوع زلزله دچار آتش‌سوزی بسیار گسترده و رو به توسعه‌ای گردیده است. در شکل ۳-۵۵ نمایی از وضعیت این بندرگاه پس از زلزله قابل مشاهده است.

شکل ۳-۵۵- وقوع آتش‌سوزی گسترده در بندر اسکندرون تکیه در اثر وقوع زلزله ۷٫۷

همچنین اخباری مبنی بر بروز برخی خسارات در سد آتاتورک در جنوب شرقی ترکیه پس از دو زمین‌لرزه ویرانگر گزارش شده است. گزارش‌ها حاکی از آن است که در پی زلزله‌های شدید شکاف‌های زیادی در سد ایجاد شده است. البته با توجه به عدم دستیابی تیم این مرکز به اخبار قطعی تأییدشده در این موضوع، نمی‌توان صحت این مطلب را تا زمان اعلام رسمی از سوی دولت ترکیه، تأیید نمود.

بر اساس آمار دریافتی، بر اثر زلزله اولیه، بخش‌هایی از خطوط انتقال گاز به‌ویژه در قهرمان ماراش و استان جنوبی هاتای دچار آسیب و آتش‌سوزی گردیده‌اند. در شکل ۳-۵۶ شعله‌های آتش ایجادشده در اثر انفجار لوله گاز در اثر زلزله اولیه قابل مشاهده می‌باشد. لازم به ذکر است لوله‌های گاز بین‌شهری، معمولاً از تاب‌آوری مناسبی در برابر سطحی از زلزله‌ها برخوردار هستند و وقوع انفجار در این خط لوله، نشان از ارتعاش و اثرگذاری بسیار زیاد زلزله‌های ۷٫۷. ۷٫۶ ترکیه در این محدوده دارد.

شکل ۳-۵۶- شعله‌های آتش ایجادشده در اثر انفجار لوله گاز در ترکیه در اثر زلزله

زلزله‌های ۷٫۷ و ۷٫۶، همچنین آسیب‌های جدی در برخی از نقاط شبکه حمل‌ونقل سراسری ترکیه در شهرهای زلزله‌زده ایجاد نموده‌اند. مسلماً زلزله‌هایی در این سطح و با این بزرگا، ظرفیت قابل‌توجهی برای بروز زمین‌لغزش‌ها در مجاورت جاده‌ها، شکست مسیر جاده‌ها، بروز ترک‌های مختل‌کننده مسیر، تخریب ابنیه فنی (پل‌ها و تونل‌ها) و همچنین سقوط سنگ در محورها ایجاد خواهند نمود. در شکل شماره ۳-۵۷ نمایی از بروز آسیب جدی زلزله به جاده‌ای در حومه شهر آدانا و گسترش ترک‌های طولی و عرضی ناشی از ارتعاش زلزله که جریان ترافیکی را مختل نموده است، قابل مشاهده است.

شکل ۳-۵۷- بروز آسیب‌های جدی به بخشی از جاده حومه شهر آدانا ترکیه در اثر زلزله

در همین راستا در شکل شماره ۳-۵۸ نمایی از بروز آسیب جدی زلزله به بزرگراه غازیانتپ – آدانا[۱۴] و اختلال در جریان ترافیکی قابل مشاهده است.

شکل ۳-۵۸- بروز ترک در بدنه بزرگراه در اثر زلزله

[۱۴] Tarsus-Adana-Gaziantep

در شکل ۳-۵۹ نمایی از بروز ریزش در کنار همین محور در اثر زلزله ۷٫۷ قابل مشاهده است. همان‌طور که در این بخش اشاره گردید، وقوع زمین‌لرزه، عامل مهمی در بروز زمین‌لغزش‌ها در نقاط مستعد و به‌ویژه دامنه‌های مجاور جاده‌ها است.

شکل ۳-۵۹- بروز ریزش در کنار محور بزرگراه در اثر زلزله

در شکل شماره ۳-۶۰ نمایی از وقوع زمین‌لغزش در بخشی از مسیر آدانا به غازیانتپ در ترکیه بر اثر زلزله اولیه ۷٫۷ قابل مشاهده است. همان‌طور که در شکل مشاهده می‌شود، سطح خرابی ایجاد شده قابل‌توجه بوده که موجب اختلال بسیار جدی در وضعیت ترافیک عبوری گردیده است.

شکل ۳-۶۰- بروز زمین‌لغزش در بخشی از جاده آدانا به غازیانتپ در اثر زلزله اولیه

در نمونه دیگری در شهر آدیامان ترکیه، در شکل ۳-۶۱ تأثیر مخرب زلزله بر معبر اصلی شهری و بروز اختلال در روند حمل و نقلی محدوده قابل مشاهده است.

شکل ۳-۶۱- بروز تخریب در معبر اصلی در محدوده شهر آدیامان ترکیه در اثر زلزله

در نمونه تخریبی دیگر، اثرات زلزله بر جاده محلی محور هاتای – ریحانلی در شکل ۳-۶۲ قابل مشاهده است (تصویر فوقانی شرایط قبل از زلزله و تصویر پائینی وضعیت همان مقطع از جاده پس از رخداد زلزله اولیه ۷٫۷ می‌باشد). سطح آسیب‌های بروز یافته در حد خارج کردن محور از وضعیت عملیاتی و اختلال کامل جریان ترافیکی در آن است.

شکل ۳-۶۲- بروز تخریب گسترده در محور جاده‌ای هاتای – ریحانلی ترکیه

در شکل ۳-۶۳ تأثیر مستقیم زلزله بر محور جاده‌ای در محدوده قهرمان ماراش ترکیه (اثر سطحی گسیختگی ناشی از فعالیت گسل در زلزله بر مسیر جاده‌ای) قابل مشاهده است. همانطور که در شکل می‌توان مشاهده نمود، اثر سطحی زلزله بر محدوده، موجب شکست و جابجایی عرضی محور جاده‌ای گردیده است.

شکل ۳-۶۳- شکست و جابجایی عرضی محور جاده‌ای در قهرمان ماراش ترکیه در اثر زلزله

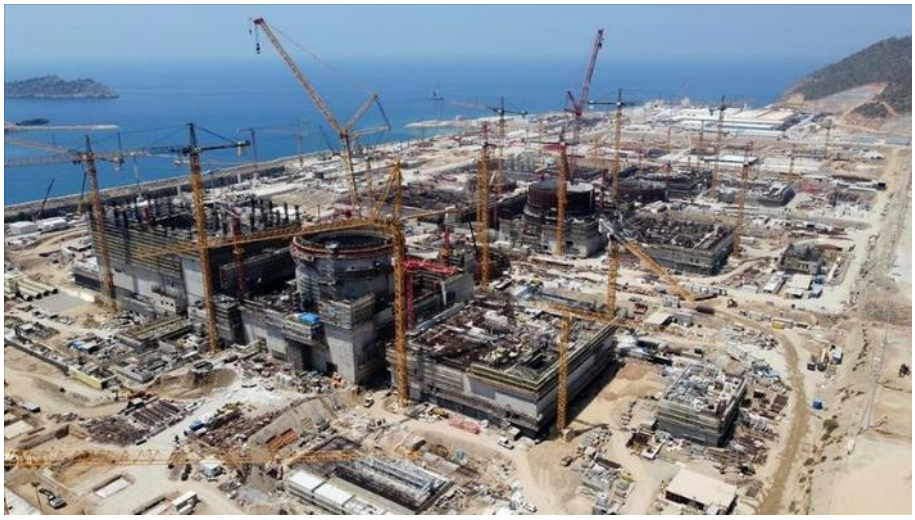
نمونه‌هایی از تخریب‌های بروز یافته در محورهای جاده‌ای محدوده شهر هاتای در شکل ۳-۶۴ قابل مشاهده است. تخریب‌ها در سطح بسیار گسترده‌ای بروز یافته و عملاً محورها را دچار اختلال کلی ارتباطی نموده است.

شکل ۳-۶۴- بروز تخریب گسترده در محورهای جاده‌ای هاتای ترکیه در اثر زلزله

همچنین بر اساس گزارش‌ها، اثر سطحی زلزله اولیه موجب گردید تا ریل راه‌آهن محلی در محدوده قهرمان ماراش ترکیه، نزدیک به ۳ متر جابجایی افقی داشته باشد که موجب بروز خرابی در ریل و اختلال در عبور وسایل نقلیه از این محوره گردید. در شکل ۳-۶۵ این مورد قابل مشاهده است.

شکل ۳-۶۶- بروز اعوجاج و اختلال در مسیر ریل راه‌آهن (محدوده قهرمان ماراش ترکیه)

همچنین با توجه به اهمیت مراکز ویژه در زلزله، متخصصان سایت نیروگاه هسته‌ای Akkuyu Nukleer به‌عنوان یکی از مراکز بسیار استراتژیک در موضوع ریسک لرزه‌ای، بازرسی سریع و عملیاتی از تمام ساختمان‌ها، سازه‌ها، جرثقیل‌های برجی، داربست‌ها و سایر سازه‌های در حال ساخت انجام دادند که نتایج ارزیابی‌ها نشان‌دهنده سلامت مجموعه بوده و خوشبختانه آسیب مشهودی در این نیروگاه مشاهده نشده است. در شکل ۳-۶۷ نمایی از این نیروگاه قابل مشاهده است.



شکل ۳-۶۷- نمایی از سایت نیروگاه هسته‌ای Akkuyu Nukleer ترکیه

۴- مدیریت بحران

(با توجه به انجام عملیات مدیریت بحران در روزهای متوالی و تغییر آمار و اطلاعات گزارش این بخش در تاریخ ۴-۳-۲۰۲۳ به‌روزرسانی گردید)

ابعاد و گستردگی دو زلزله به بزرگی ۷٫۷ و ۷٫۶ ریشتر در چندین استان ترکیه از جمله غازیانتپ، شانلی اورفا، دیاربکر، آدانا، آدیامان، مالاتیا، عثمانیه، هاتای و کیلیس، حجم تخریب گسترده‌ای به وجود آورده و بیش از ۱۳٫۵ میلیون نفر را تحت تأثیر قرار داد. این زمین‌لرزه‌ها به دلیل نزدیکی به کشور سوریه، استان‌های حلب، لاذقیه، حماء و طرطوس در این کشور را هم تحت تأثیر قرار داده و خسارات زیادی به وجود آوردند (شکل ۴-۱). همچنین اثر زلزله‌های مذکور، در چندین کشور دیگر منطقه از جمله لبنان، فلسطین، عراق، اردن، مصر و اوکراین و بخش‌هایی از اروپا نظیر یونان و بلغارستان نیز احساس شد.

شکل۴-۱-گستردگی ابعاد زلزله و میزان زیاد خرابی آن

ابعاد گسترده این رویدادهای طبیعی و همچنین تلفات و خسارت‌های قابل‌ملاحظه ناشی از آن، نیازمند توجه جدی به موضوع مدیریت بحران و کاهش خطرپذیری شهرهای با خطرپذیری بالا بوده و بر ضرورت برنامه‌های کاهش خطرپذیری بعد از وقوع بحران‌های بزرگ تأکید می‌نماید، که توجه به آن در چرخه مدیریت بحران می‌تواند معضلات و مشکلات پاسخ به بحران‌ها را تا حدود بسیار زیادی کاهش دهد. پس از وقوع بحران، فرایند پاسخ و مقابله با بحران در این چرخه فعال می‌گردد. بنابراین وجود سیستم مدیریت بحران مؤثر، یک ضرورت انکارناپذیر در شهرها و مراکز با خطرپذیری بالاست. متأسفانه بر اساس تجارب پیشین، معمولاً در مواقع رخداد، توجه جدی به سیستم مدیریت بحران حادثه پررنگ‌تر شده و پس‌ازآن به بوته فراموشی سپرده می‌شود. شاید مستندسازی بحران‌های بزرگ بتواند در ماه‌ها و سال‌های پس از رخداد، تلنگری برای افراد مسئول و مؤثر در این حوزه و حتی آحاد مردم برای نیل به آگاهی کاربردی در مدیریت مؤثر بحران‌های آینده باشد.

ارزیابی جنبه‌های مختلف و مراحل مدیریت بحران در زلزله ترکیه با توجه به ابعاد و گستردگی آن در بخش‌های مختلف شهری، غیرشهری، سازه‌ای، اجتماعی، اقتصادی و امدادرسانی، می‌تواند برای تقویت ساختارها و فرآیندهای پیش روی مدیریت بحران‌های در کشور ما، مفید و درس‌آموز باشد. این بخش از گزارش، با همین هدف به جمع‌بندی فعالیت‌ها و معیارهای مهم مدیریت بحران در زلزله‌های اخیر ترکیه پرداخته است.

به‌منظور مستندسازی این حادثه، اقدامات و فعالیت‌های انجام‌یافته در چرخه مدیریت بحران به‌ویژه پاسخ، به‌صورت بسیار اجمالی بررسی می‌گردد.

۴-۱- اقدامات کشور ترکیه در مرحله پیش از بحران (پیشگیری و آمادگی)

کشور ترکیه از نظر تلفات ناشی از زلزله، رتبه سوم و از نظر تعداد کل افراد آسیب دیده در زلزله، در رتبه هشتم جهان قرار دارد(AFAD) . بر اساس تجارب تاریخی، این کشور در بازه زمانی نه‌چندان بلندمدت، زلزله‌های با بزرگای بیش از ۵ را تجربه نموده است، که این امر بر لزوم مدیریت صحیح و هماهنگی بخش‌های ذیربط در این کشور تأکید می‌نماید.

در کشور ترکیه قوانین مختلفی نیز به شرح ذیل به‌منظور تسریع در فرآیند مدیریت بحران کشور تدوین گردیده است:

- قانون مدیریت حوادث و فوریت‌های اضطراری
- قانون تشکیلات و وظایف ریاست مدیریت حوادث و فوریت‌های پزشکی
- قانون کمک‌های لازم و اقدامات ضروری عمومی در بلایای طبیعی
- قانون نحوه اجرای خدمات مربوط به خسارت و تخریب ناشی از بلایای طبیعی
- قانون بیمه بلایای طبیعی
- قانون تحول مناطق در معرض خطر بلایا
- قانون ایجاد، وظایف و اصول کاری پلتفرم کاهش خطر بلایای طبیعی ترکیه
- قانون تدارکات عمومی

مسئولیت اصلی مدیریت بحران در کشور ترکیه بر عهده سازمان مدیریت حوادث و فوریت‌های اضطراری (AFAD) می‌باشد. این سازمان در سال ۲۰۰۹ میلادی تشکیل شده است و متشکل از هیئت هماهنگی بلایا و اضطرار با مسئولیت ارزیابی اطلاعات در موارد بلایا و شرایط اضطراری، شناسایی اقداماتی که باید انجام شود، اطمینان و بازرسی از اجرای آنها و اطمینان از هماهنگی بین سازمان‌های دولتی، سازمان‌های عمومی و سازمان‌های غیردولتی، می‌باشد. ریاست این هیئت بر عهده معاون نخست‌وزیر است و اعضای آن متشکل از وزرای دفاع ملی، کشور، دارایی، آموزش و پرورش ملی، محیط‌زیست و شهرسازی، بهداشت، حمل و نقل، انرژی و منابع طبیعی، جنگل‌ها و کارهای هیدرولیک، معاونان وزیر هستند.

AFAD با وجود موقعیت خود به‌عنوان تنها مرجع در زمینه بلایا و موارد اضطراری در ترکیه، بسته به ماهیت و شدت موارد فردی با طیف وسیعی از نهادهای دولتی و سازمان‌های غیردولتی همکاری می‌کند و در حال حاضر ۸۱ شعبه استانی در سراسر ترکیه به اضافه ۱۱ واحد جستجو و نجات دارد.

لازم به ذکر است که AFAD از حیث اطلاع‌رسانی مرتبط با مخاطرات در سطح کشور ترکیه و همچنین دسته‌بندی کاربردی برای تقسیم وظایف مرتبط با مدیریت بحران، گروه‌بندی بر اساس نوع وظایف در بحران انجام داده است. در زلزله‌های اخیر نیز همین طبقه‌بندی کاری و وظایف تقسیم شده در گروه‌های مشخص، در این نهاد صورت گرفته است. یکی از نکات مهم در این موضوع محوریت اصلی AFAD بعنوان اطلاع‌رسانی کاربردی در زمینه روند وقایع و عملیات مرتبط با مدیریت بحران زلزله‌ها بوده است، به نحوی که تنها مرجع رسمی دریافت هرگونه آمار مرتبط با خسارات ناشی از زلزله و همچنین تمامی فعالیت‌های صورت گرفته امدادی، این نهاد معتبر در کشور ترکیه بوده است و این نوعی وحدت رویه در مدیریت بحران را به دنبال داشته و همچنین از انتشار شایعات مخرب در دوره زمانی حساس پس از وقوع زلزله‌ها کاسته است.

۴-۲- اقدامات و عملیات پاسخ یا مقابله با بحران در کشور ترکیه

در زلزله‌های اخیر ترکیه (دو زلزله بزرگ در منطقه قهرمان ماراش)، بر اساس نظر کنفدراسیون شرکت‌ها و تجارت ترکیه (türkonfed)، خسارت وارده به کشور ترکیه تا زمان تدوین این گزارش، ۸۴ میلیارد و ۱۰۰ میلیون دلار تخمین زده شد است.

با توجه به ابعاد و گستردگی این حادثه، رئیس جمهور این کشور با اعلام بحران سطح ۴، از جامعه جهانی درخواست کمک نموده و سه روز پس از وقوع زلزله پارلمان ترکیه برای تسریع در کمک‌رسانی وضعیت فوق‌العاده سه ماهه را تصویب نمود تا عملیات جستجو و نجات و سایر تلاش‌ها، تسریع گردد. در این زلزله با توجه به ابعاد و گستردگی آن، طبق آمار مرکز (آفاد)، به حدود ۳۸ فرماندار، بیش از ۱۶۰ مقام محلی، ۶۸ مدیر استانی و ۱۹ مدیر ارشد آفاد در مناطق حادثه دیده مسئولیت مستقیم داده شده است. همچنین ۱۲ سفیر و ۱۵ پرسنل وزارت امور خارجه برای هماهنگی کمک‌های بین‌المللی به منطقه اعزام شدند. در این مرحله مجموعه اقدامات ذیل انجام یافت:

- **اعزام تیم‌های امدادی و عملیات جستجو و نجات**
- **ارسال تجهیزات و اقلام امدادی**
- **اقدامات تهیه غذا برای زلزله‌زدگان**
- **اقدامات مربوط به بهداشت و درمان**
- **اقدامات حمایت روانی و اجتماعی**
- **اقدامات مربوط به حمل و نقل**
- **اقدامات مربوط به اطلاع‌رسانی**
- **اقدامات مربوط به زیرساخت**
- **اقدامات مربوط به اسکان اضطراری**
- **اقدامات مربوط به آواربرداری**
- **اقدامات بین‌المللی**

طی موارد ذیل مجموعه اهم اقدامات عملیات پاسخ و مقابله (برای دو زلزله بزرگ اخیر ترکیه) بیان گردیده است.

- **اعزام تیم‌های امدادی و عملیات جستجو و نجات**

با توجه به گزارش‌های دریافتی از روند امدادرسانی در مناطق، نیروهای جستجو و نجات ازAFAD ، JÖAK، DİSAK، PAK، ژاندارمری، DAK، وزارت دفاع ملی، UMKE، کارکنان آمبولانس، آتش‌نشانی، وزارت آموزش ملی، Güven، سازمان‌های غیردولتی، واحدهای امنیتی و تیم‌های پشتیبانی محلی و جستجوی بین‌المللی و تیم‌های نجات و داوطلبان در شهرهای تحت تأثیر زلزله، مشغول امدادرسانی بوده‌اند.

از نکات قابل‌توجه در مبحث جستجو و نجات در این زلزله، اعزام تعداد قابل‌توجهی معدنچی به دستور وزیر انرژی و منابع طبیعی ترکیه به مناطق زلزله‌زده و نجات جان ۴۵۰ نفر توسط آنان با روش‌هایی خاص و ویژه بوده است.

- **ارسال تجهیزات و اقلام امدادی**

تا زمان تدوین این گزارش اقلام مورد نیاز امدادی به شکل گسترده در مناطق تحت تأثیر زلزله توزیع گردیده است. همچنین گروه تغذیه بلایا (آفاد)، با توزیع مناسب تجهیزات خود در راستای تأمین غذای آسیب دیدگان در مناطق، به پخش مایحتاج غذایی آنان پرداخته است.

- **اقدامات مربوط به بهداشت و درمان**

کشور ترکیه از ظرفیت مراکز بیمارستانی و امدادی خود در شهرهای تحت تأثیر و دیگر شهرها استفاده نموده و تا زمان تدوین این گزارش، تعداد ۲۱۸۵۹ نفر مصدوم، در مراکز درمانی و امدادی تحت درمان قرار گرفتند و ۳۶۳۶ نفر نیز در بخش مراقبت‌های ویژه بستری شده‌اند. همچنین واحدهای اورژانس و بیمارستان صحرایی نیز در مناطق تحت تأثیر زلزله مستقر شده است.

- **اقدامات حمایت روانی و اجتماعی**

برای حمایت روانی اجتماعی بلایا، ۴ مرکز خدمات اجتماعی در استان‌های قهرمان ماراش، هاتای، عثمانیه و مالاتیا فعال شده است. همچنین با اعزام متخصصین حوزه روانشناسی به مناطق تحت تأثیر زلزله، تعداد قابل‌توجهی از آنها تحت حمایت روانی – اجتماعی قرار گرفته‌اند.

- **اقدامات مربوط به حمل و نقل**

پس از وقوع زمین‌لرزه اولیه، یک "کریدور کمک هوایی" توسط نیروهای مسلح ترکیه برای تحویل تیم‌های جستجو و نجات به منطقه ایجاد شد. هواپیماهای آمبولانس نیز از کریدور کمک‌های هوایی جهت امدادرسانی و حمل مصدومان استفاده کرده‌اند. در همین راستا پروازهای متعددی با بالگرد و هواپیماهای نیروهای هوایی، زمینی و دریایی، ژاندارمری، گارد ساحلی، پلیس ترکیه، وزارت بهداشت و اداره کل جنگلداری برای جابجایی اقلام مورد نیاز، نیروهای امدادی و مصدومان انجام شده است.

همچنین از کشتی‌های گارد ساحلی برای انتقال نیرو و اقلام امدادی به منطقه آسیب دیده استفاده گردیده است. برخی شرکت هواپیمایی ترکیه نیز، پروازهای رایگانی برای حمل آسیب دیدگان، گروه‌های امدادی و اقلام مورد نیاز به مناطق تحت تأثیر برنامه‌ریزی و اجرا نموده‌اند.

- **اقدامات مربوط به اطلاع‌رسانی**

طبق اقدام گروه ارتباطات بلایا، هماهنگی بین مقامات دولتی به‌منظور وحدت رویه در اعلام پیام‌ها و بیانیه‌های رسمی و خبرها صورت گرفت و تنها اطلاعاتی که از سوی مرکز آفاد منتشرشده است، بعنوان آمار دقیق به رسمیت شناخته شد.

همچنین هشدارهای لازم برای پیگیری اظهارات رسمی از سوی مسئولان در راستای مبارزه با اطلاعات کذب صادر شد و مرکز اضطراری زلزله CIMER (مرکز ارتباطات ریاست جمهوری) فعال شد.

آفاد AFAD با توجه به درخواست مکرر مردم برای کمک‌رسانی و حمایت مالی، با اعلام شماره پیامک چهار رقمی از شهروندانی که مایل به حمایت و کمک مالی بودند، خواست که با تایپ عنوان زلزله و پیامکان به شماره مشخص شده، به مردم تحت تأثیر زلزله کمک کنند (راه‌اندازی سیستم و چارچوب دریافت حمایت‌های مالی).

گروه مکاتبات بلایا نیز، تعدادی ایستگاه پایه سیار و تجهیزات وابسته را برای مکاتبات اضطراری در مناطق تحت تأثیر زلزله مستقر نموده است.

اپراتورهای GSM برای امکان مکاتبه اضطراری با شهروندان در مناطق تحت تأثیر زلزله، خطوط تلفنی را که به دلیل بدهی‌های پرداخت نشده مسدود شده بود، دوباره فعال نموده است.

- **اقدامات مربوط به زیرساخت**

بر اساس اطلاعات ارائه‌شده توسط گروه انرژی بلایای طبیعی، با توجه به آسیب‌های بروز یافته در برخی خطوط گاز مناطق و همچنین احتمال بروز سوانح ثانویه در حوزه گاز، جریان گاز طبیعی به هاتای/حسا و کریخان به‌عنوان یک اقدام ایمنی در ساعات اولیه وقوع زلزله قطع گردیده و در اقدامی مشابه، جریان خط لوله نفت خام BOTAŞ نیز به حالت تعلیق درآمد. همچنین جریان گاز طبیعی از ایستگاه‌های نورداغی، اصلاحیه و غازیانتپ به‌عنوان یک اقدام ایمنی نیز به حالت تعلیق درآمد.

لازم به ذکر است در ساعات اولیه رخداد دو زلزله در ترکیه، ۲۷ مرکز برق در مناطق تحت تأثیر زلزله دچار مشکل و قطعی جریان شده بودند که با فعالیت مستمر نیروهای مسئول، این مشکل برطرف شد.

- **اقدامات مربوط به اسکان اضطراری:**

در زلزله‌های اخیر ترکیه، از ترکیب چادر و کانتینر (کانکس) بعنوان سیستم‌های قالب اسکان موقت در شهرهای تحت تأثیر استفاده شده است. (مجموعاً ۳۰۰ هزار و ۸۰۹ چادر خانوادگی در دهکده‌های چادری در ۲۷۰ نقطه از شهرهای آسیب دیده در زلزله و تهیه زیرساخت احداث شهرک کانتینری ۲۷۰۰۰ واحدی) (شکل ۴-۲ و ۴-۳)

لازم به ذکر است، در اولین شب پس از زلزله ۳۸۰۵۰۰ از افراد متأثر از زلزله، در سالن‌های ورزشی، خوابگاه‌های وزارت آموزش و پرورش و وزارت ورزش و جوانان و چادرهای برپا شده، اسکان موقت داده شدند.

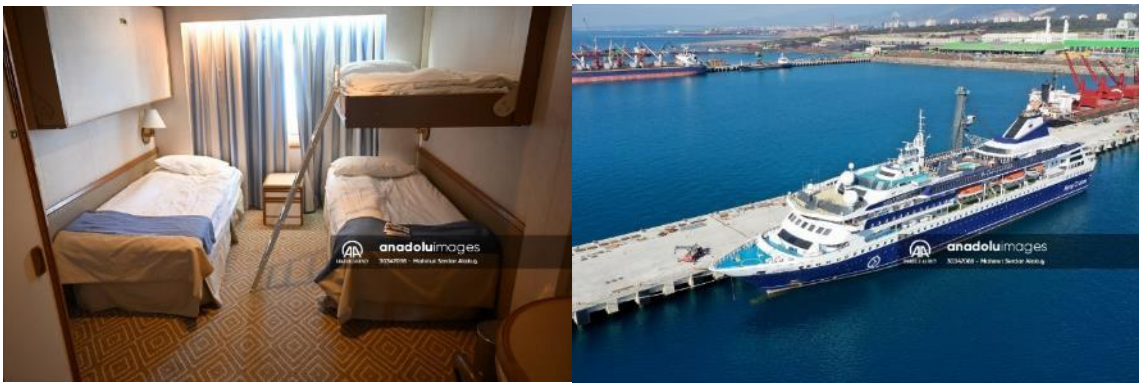
همچنین بخشی از خانواده‌های تحت تأثیر زلزله در مهمانپذیرها و هتل‌ها در شهرهای مختلف ترکیه اسکان داده شدند. بخشی از زلزله‌زدگان نیز بنا به درخواست خود به سایر استان‌های ترکیه منتقل شده‌اند. در همین راستا شرکت خطوط هوایی ترکیه موظف به انتقال همه افرادی که خواستار رفتن به مناطق زلزله‌زده یا بازگشت بوده‌اند، شده است. همچنین وزارت آموزش ملی ترکیه نیز، اعلام نمود که دانش‌آموزان مقطع راهنمایی و متوسطه در استان‌هایی که وضعیت فوق‌العاده در آنها اعلام شده است، در صورت تمایل می‌توانند به‌طور رایگان در خوابگاه‌های این مدارس اسکان یابند.

همچنین در همین راستا، دولت ترکیه اعلام کرده است به کسانی که خارج از شهرک‌های کانتینری اسکان یابند، در صورت داشتن محل سکونت، ماهیانه ۵ هزار لیر ترک و برای مستاجرین ماهیانه ۲ هزار لیر کمک مالی واریز می‌نماید.

در زمینه اسکان موقت افراد تحت تأثیر زلزله، در محدوده هاتای با مرکزیت انطاکیه، با توجه به حجم بالای خسارات ساختمانی و زیرساختی بروز یافته در این شهر، از تکنیک اسکان بخشی از افراد تحت تأثیر در کشتی‌های مجهز استفاده شده است (شکل ۴-۴)

شکل ۴-۲- استقرار چادر و ایجاد کمپ‌های اسکان موقت

شکل ۴-۳- تهیه زیرساخت راه‌اندازی شهرک‌های کانتینری برای اسکان موقت



شکل ۴-۴- استقرار بخشی از جمعیت تحت تأثیر زلزله در کشتی‌های مجهز (شهر ساحلی هاتای)

- **اقدامات مربوط به آواربرداری:**

از تاریخ ۱۹ فوریه ۲۰۲۳ کار آواربرداری تیم‌های مربوطه به صورت شبانه‌روزی آغاز گردید تا توده‌های آوار را از مناطق معین شده برداشته و به نقاط تعیین شده در خارج شهر منتقل نمایند. فهرست مناطق و زمان آواربرداری توسط گروه آواربرداری تعیین شده و به ساکنین ساختمان‌ها اعلام گردید که می‌توانند در صورت تمایل در زمان‌های مشخص شده تیم آواربرداری را همراهی کنند (شکل ۴-۵).

یکی از اقدامات مهم کشور ترکیه درخواست به موقع کمک از سازمان ملل مبنی بر همکاری و کمک در آواربرداری مناطق تحت تأثیر زلزله بود. برنامه توسعه سازمان ملل متحد (UNDP) نیز خواستار ۱۱۳٫۵ میلیون دلار برای حذف آوارهای حساس به محیطزیست در مناطق تحت تأثیر زلزله در ترکیه شد.

شکل ۴-۵- آواربرداری در مناطق تحت تأثیر زلزله

- **اقدامات بین‌المللی:**

بر اساس درخواست کشور ترکیه، کمک‌ها و تیم‌های امدادی زیادی از کشورهای مختلف دنیا و سازمان‌های امدادی مرتبط در نقاط مختلف جهان به این کشور اعزام گردیدند. بر اساس اعلام آفاد، تعداد ۹۰ کشور برای کمک در زلزله ترکیه اعلام آمادگی کردند که از این میان، ۶۱ کشور کمک‌های خود را به مناطق تحت تأثیر زلزله ارسال نمودند. همانطور که در بخش جستجو و نجات ذکر گردید، تعداد قابل‌توجهی نیروی امدادی از کشورهای مختلف به کشور ترکیه اعزام و در امر نجات و امداد فعالیت نمودند. برخی از این کشورها علاوه بر ارسال اقلام امدادی و مواد غذایی، اقدام به ارسال و نصب چادر برای اسکان موقت زلزله‌زدگان و ایجاد بیمارستان صحرایی به همراه کادر پزشک و کادر درمانی نمودند.

کشور ایران نیز نیروهای امداد و نجات و درمان اضطراری خود را با تجهیزات پیش بیمارستانی و امداد اولیه به ترکیه و سوریه اعزام نموده و همچنین محموله اقلام دارویی، کمک‌های اولیه و اقلام زیستی را به مناطق تحت تأثیر زلزله ارسال نموده است (شکل ۴-۶).

سازمان ملل نیز با اعلام فراخوان یک میلیارد دلاری سه ماهه (فوریه تا آوریل ۲۰۲۳) از همه نهادهای دولتی و غیردولتی در جهان خواسته است تا به ساخت سرپناه برای زلزله‌زدگان کمک کنند.

شکل ۴-۶- ارسال کمک‌های بین‌المللی به مناطق تحت تأثیر زلزله

۴-۳- اقدامات مربوط به مرحله پس از بحران- بازسازی

بازسازی شامل کلیه اقدامات لازم و ضروری پس از وقوع بحران است که برای بازگرداندن وضعیت عادی به مناطق آسیب‌دیده با در نظر گرفتن ویژگی‌های توسعه پایدار، ضوابط ایمنی، مشارکت‌های مردمی و مسائل فرهنگی، تاریخی، اجتماعی منطقه آسیب‌دیده انجام می‌گیرد. با توجه به اینکه کشور ترکیه در مرحله حین بحران می‌باشد هنوز اقدامی در این زمینه صورت نگرفته است.

۴-۴- تعداد تلفات و مصدومان:

طبق گزارش AFAD تا زمان تدوین این گزارش، ۴۵هزار و ۸۹ نفر در شهرهای تحت تأثیر زلزله در ترکیه، جان خود را از دست داده‌اند و تعداد ۱۰۸ هزار نفر نیز بعنوان مصدومان زلزله‌های اخیر ترکیه اعلام گردیده است. همچنین طبق آخرین امار تا لحظه تدوین این گزارش، تعداد ۵۹۵۱ نفر نیز در سوریه در اثر وقوع این زلزله، جان باخته اند.

۵- نتایج و پیشنهادات

با توجه به موارد مورد بحث در بخش‌های پیشین، نکات مهمی به‌عنوان نتایج و پیشنهادات ذکر می‌شود که با هدف درس‌آموزی از رویداد رخ داده می‌تواند مفید باشد.

۵-۱- نتایج

رخداد زلزله‌های ۷٫۷ و ۷٫۶ و نیز استمرار وقوع پسلرزه های نیرومند آن و اثرات آن بر محیط و مستحدثات به لحاظ زلزله شناختی و مهندسی زلزله و مدیریت بحران حاوی نکات بسیار مهمی است که در گزارش حاضر به‌طور چکیده وار در خصوص برخی از آنها، مطالب و نقشه هائی ارائه گردید. موارد مهم به‌عنوان نتایج بررسی‌های بعمل آمده به ترتیب زیر عنوان‌بندی و ارائه می‌گردد:

- رومرکز زلزله ۷٫۷ پازارچیک در مجاورت سگمنت گسلی نارلی از سامانه گسلی دریای مرده واقع می‌گردد (براساس نقشه ۲۰۱۳، MTA) و احتمالاً جنبائی گسل نارلی موجب رخداد زلزله ۷٫۷ پازارچیک شده است.
- رومرکز زلزله ۷٫۶ البیستان در مجاورت گسل چارداک (براساس نقشه MTA،۲۰۱۳) واقع می‌گردد و لذا احتمالاً جنبائی این گسل موجب رخداد زلزله ۷٫۶ البیستان در تاریخ ۰۶– ۰۲ – ۲۰۲۳ در محدوده قهرمان ماراش گردیده است.
- در امتداد گسل آناتولی شرقی و گسله‌های اطراف آن پیش از وقوع زلزله اصلی چندین پیش‌لرزه رخ داده بود. بررسی رژیم لرزه‌خیزی منطقه نشان می‌دهد که محدوده رومرکزی و اطراف آن لرزه‌خیز می‌باشد.
- رکوردهای شتابنگاشتی و طیف‌های مرتبط با آنها نشان می‌دهد که در برخی مناطق یکی از عمده‌ترین دلایل تخریب ساختمان‌ها، مقادیر بالای شتاب و طیف پاسخ شتاب، سرعت و جابجایی است.
- تغییرات مقادیر شتاب و طیف‌های آن معرف متنوع بودن نوع ساختگاه در مناطق مسکونی است. این پارامتر در توجیه خرابی‌ها لازم است که مد نظر قرار گیرد.
- مدت دوام جنبش نیرومند زمین در زلزله ۷٫۷ پازارچیک در ایستگاه‌های واقع در امتداد گسل آناتولی شرقی بیشتر و به‌طور متوسط در حدود ۴۵ ثانیه بوده است. تخریب ساختمان‌ها در اثر مدت زمان در این زلزله در برخی از محدوده‌های اطراف ایستگاه‌های شتابنگاشتی بیشتر بوده است که تأثیر مدت دوام بیشتر جنبش نیرومند زمین را نشان می‌دهد.
- اثر جهت یافتگی و تشکیل پالس‌های با دامنه بلند در برخی از رکوردها، قابل مشاهده است که می‌تواند در توجیه خرابی‌ها مهم باشد.
- مقادیر طیف‌های شتاب، سرعت و جابجائی به ویژه در پریودهای بالا، در تعداد زیادی از ایستگاه‌های شتابنگاری، نکته مهم و قابل توجهی در تحلیل رفتار ساختمان‌ها است.

همچنین با توجه به ارزیابی‌های صورت گرفته بر روی مستندات موجود از زلزله‌های اخیر ترکیه، موارد محتمل ذیل در آسیب‌ها و تخریب‌های صورت گرفته در حوزه ساختمان‌های بتن مسلح مطرح می‌باشد (این دلایل صرفاً موارد شناسائی شده در تصاویر می‌باشد و برای دلایل قطعی و نهایی، انجام بازدیدهای میدانی و ارزیابی‌های تکمیلی نیاز است):

- ایجاد طبقه نرم در ساختمان‌ها
- شتاب قابل‌توجه افقی و قائم زلزله در برخی مناطق
- احتمال تاثیرگذاری برخی ضعف‌های اجرائی در آسیب‌های اسکلت‌های بتن آرمه (مانند آرماتورگذاری طولی و عرضی، طول مهاری، خم خاموت ها)
- کیفیت نامناسب مصالح در برخی ساختمان‌ها (به‌ویژه بتن)
- آسیب جدی برخی سیستم دال تخت بر روی ستون‌های ضعیف (به‌دور از ضوابط آئین‌نامه‌ای و شرایط لرزه‌ای مناطق)

- تأثیر موارد ژئوتکنیکی و ساختگاهی بر خسارات (موضوع ظرفیت باربری خاک، طراحی فونداسیون، بروز روانگرایی و ...)
- بروز شکست‌های برشی در ستون‌ها در برخی ساختمان‌ها (عدم رعایت اصل تیر ضعیف – ستون قوی)
- آسیب در اجزای غیر سازه‌ای به ویژه دیوارهای پرکننده
- عدم احداث و بهره‌گیری از ظرفیت دیوارهای برشی در برخی ساختمان‌ها
- آسیب‌های ناشی از عدم رعایت درز انقطاع مناسب در برخی ساختمان‌ها
- بروز تخریب‌های کامل برخی ساختمان‌ها با الگوهای مختلف در شهرهای تحت تأثیر زلزله

و موارد ذیل به‌عنوان موارد مهم در تخریب‌ها در ساختمان‌های مصالح بنایی مطرح می‌باشد:

- شتاب قابل‌توجه لرزه‌ای (برای این رده از سازه‌ها)
- ضعف در مصالح به‌کاررفته (مصالح نامقاوم و ترد)
- عدم یکپارچگی ارتعاشی در المان‌های ساختمان‌ها
- نبود کلاف‌های افقی و قائم مناسب در سازه‌های ضعیف و قدیمی
- وزن و سختی زیاد سازه به دلیل نوع مصالح و ماهیت سیستم
- ظرفیت مقاومت کششی و برشی پایین در المان‌ها
- احتمال قابل‌توجه واژگونی یا ریزش مصالح دیوارها
- وجود سقف سنگین سازه (به دلیل مرمت‌های مکرر) بر روی تیرهایی با تکیه‌گاه ناکافی

۵-۲- پیشنهادات

- درس آموخته‌های زلزله‌های ترکیه بسیار گسترده و مفید و مؤثر است. با توجه به مشابهت لرزه‌خیزی و ساخت‌وساز و سایر موارد دیگر بین کشورهای ایران و ترکیه، پیشنهاد می‌نماید که با بازدیدهای میدانی گزارش‌های تفصیلی باهدف بکارگیری یافته‌ها و تجربیات در آئین‌نامه‌ها و مقررات ساخت‌وساز و نیز مدیریت بحران کشور، تهیه گردد.
- پایش جنبائی گسل آناتولی شرقی به صورت مستمر یکی از مهمترین اقدامات کاهش خطرات زلزله است.
- با استفاده از کل داده‌های شتابنگاشتی پیشنهاد می‌شود رفتار ساختمان‌ها در برابر طیف‌های پاسخ، طیف سرعت و طیف جابجایی ارزیابی و دلایل تخریب ساختمان‌ها با توجه به تعداد طبقات آنها، تعیین گردد.
- تعیین حریم گسل‌ها به‌عنوان یک کار مهم و مؤثر کاهش ریسک زلزله باید در امتداد گسله‌های لرزه زا در محدوده مراکز جمعیتی در دستور کار جدی قرار گیرد.
- پیشنهاد می‌نماید اقدامات صورت گرفته در اطلاع‌رسانی‌ها و مدیریت بحران حادثه و به اشتراک‌گذاری داده‌های ارزشمند زلزله‌شناسی مهندسی زلزله‌های ترکیه، به‌عنوان یک مبحث مجزای دیگر با برگزاری سمینارهای آموزشی مورد بحث و بررسی قرار گیرد.
- سایت AFAD پس از رخداد زلزله، بستر نرم افزاری مناسبی برای برگرفتن اطلاعات زلزله‌های پازارچیک و البیستان قهرمان ماراش ترکیه بود. ارزیابی آن سامانه و تلاش برای فراهم کردن سامانه‌ای مشابه در ایران اقدام مناسبی برای ارتقاء کیفیت تبادل اطلاعات مخاطرات طبیعی در کشور خواهد بود.

مراجع

Aydın, U., ۲۰۱۶. Lateral structural variations of Poisson's ratio and attenuation coefficient in the upper crust of eastern and south-eastern Anatolia. Boll. Geof. Teor. Appl., ۵۷, ۲۲۱-۲۳۱.

Bozkurt, E., ۲۰۰۱. Neotectonics of Turkey – a synthesis. Geodinamica Acta ۱۴ (۲۰۰۱) ۳-۳۰.

Fraser, J., Vanneste, K., Hubert-Ferrari, A., ۲۰۱۰. Recent behavior of the North Anatolian Fault: Insights from an integrated paleoseismological data set. J. Geophys. Res., ۱۱۵, B۰۹۳۱۶.

Gökkaya, k., ۲۰۱۶. Geographic analysis of earthquake damage in Turkey between ۱۹۰۰ and ۲۰۱۲. Geomatics, Natural Hazards and Risk, April ۲۰۱۶.

Hüsing, S., Zachariasse, W., Hinsbergen, D., Krijgsman, W., Inceöz, M., Harzhauser, M., Mandic, O., Kroh, A., ۲۰۰۹. Oligocene_Miocene basin evolution in SE Anatolia, Turkey: constraints on the closure of the eastern Tethys gateway. Geological Society, London, Special Publications ۲۰۰۹; v. ۳۱۱; p. ۱۰۷-۱۳۲.

Khalifa, A., Çakır, Z., Kaya, S., Gabr, S., ۲۰۲۰. ASTER spectral band ratios for lithological mapping: a case study for measuring geological offset along the Erkenek Segment of the East Anatolian Fault Zone, Turkey. Arabian Journal of Geosciences (۲۰۲۰) ۱۳:۸۳۲.

Taymaz, T., Yilmaz, Y., Dilek, Y., ۲۰۰۷. The geodynamics of the Aegean and Anatolia: introduction. Geological Society, London, Special Publications, ۲۹۱, ۱–۱۶.

Yonlu, O., Altunel, E., Karabacak, V., ۲۰۱۷. Geological and geomorphological evidence for the southwestern extension of the East Anatolian Fault Zone, Turkey. Earth and Planetary Science Letters ۴۶۹ (۲۰۱۷) ۱–۱۴.

S. K. Husing, W. J. Zachariasse, D. J. J. Hinsbergen et al., Oligocene–Miocene basin evolution in SE Anatolia, Turkey: constraints on the closure of the eastern Tethys gateway, vol. ۳۱۱, pp. ۱۰۷–۱۳۲, Geological Society, London, UK, ۲۰۰۹.

B. Akil and B. Y. Ecemis, Geological-Geotechnical Study Report for the Municipality of Kahramanmaras, Directorate of Underground Studies Department, Mineral Research & Exploration General Directorate, (MTA), Ankara, Turkey, ۲۰۱۱.

A. M. C. Sengor and Y. Yilmaz, "Tethyan evolution of Turkey;A plate tectonic approach," Tectonophysics, vol. ۷۵, pp. ۱۸۱–۲۴۱, ۱۹۸۱.

D. Perincek and H. Kozlu, "Stratigraphy and structural relations of the units in the Afșin-Elbistan-Do˘ganșehir region (Eastern Taurus)," in Proceedings of the International Symposium, Geology of Taurus Belt, O. Tekeli andM. C. Goncuoglu, Eds., pp. ۱۸۱–۱۹۸, MTA, Ankara, Turkey, ۱۹۸۴.

D. E. Karig and H. Kozlu, "Late Palaeogene-Neogene evolution of the triple junction region near Maras¸, south-central Turkey," Journal of the Geological Society, vol. ۱۴۷, no. ۶,pp. ۱۰۲۳–۱۰۳۴, ۱۹۹۰.

Y. Yilmaz, “New evidence and model on the evolution of the southeast Anatolian orogen,” Geological Society of America Bulletin, vol. ١٠٥, no. ٢, pp. ٢٥١–٢٧١, ١٩٩٣.

M. Gul, G. Darbas, and K. Gurbus, “Tectono-stratigraphic position of Alacik formation (latest middle eocene-earlymiocene) in the kahraman maras basin,” in Turkish with English Abstract and Summary, vol. ١٨, pp. ١٨٣–١٩٧, Istanbul University M¨uhendislik Fak¨ultesi Yerbilimleri Dergisi, Istanbul, Turkey, ٢٠٠٥.

S. Biricik and H. Korkmaz, “.e seismicity of kahramanmaraş, eastern mediterannean- Turkey,” MarmaraCo˘grafya Dergisi, vol. ١, pp. ٥٣–٨٢, ٢٠٠١.

H. Yilmaz, S. Over, and S. Ozden, “Kinematics of the east Anatolian Fault zone between turkoglu (Kahramanmaras) and celikhan (adiyaman), eastern Turkey,” Earth, Planets and Space, vol. ٥٨, no. ١١, pp. ١٤٦٣–١٤٧٣, ٢٠٠٦.

M. C. Sengor, N. Gorur, and F. Saroglu, “Strike-slip faulting and related basin formation in zones of tectonic escape: Turkey as a case study,” Special publication-Society of Economic Paleontologists and Mineralogists, vol. ٣٧, pp. ٢٢٧–٢٦٤, ١٩٨٥.

M. Palutoglu and A. Sasmaz, “٢٩ november ١٧٩٥ kahramanmaraș earthquake, southern Turkey,” Bulletin of De Mineral Research and Exploration, vol. ١٥٥, pp. ١٩١–٢٠٦, ٢٠١٧.

O. Emre, T. Y. Duman, and H. Elmaci, ١:٢٥٠,٠٠٠ OlcekliTurkiye Diri Fay Haritasi Serisi. Elbistan (NJ ٣٧-٥) Sheet Seri No: ٣٧, General Directorate of Mineral and Exploration,Ankara, Turkey, ٢٠١٢a.

O. Emre, T. Y. Duman, S. Olgun, H. Elmaci, and S. Ozalp, ١:٢٥٠,٠٠٠ Olcekli T¨urkiye Diri Fay Haritasi Serisi. Gaziantep (NJ٣٧-٩) Sheet Seri No: ٣٨, General Directorate of Mineral andExploration, Ankara, Turkey, ٢٠١٢b.

Allen, C.R. ١٩٦٩. Active Faulting in Northern Turkey. Contribution No: ١٥٧٧, Division of Geological Sciences, California. Institute. Technology, ٣٢ pp.

Bozkurt, E. ٢٠٠١. Neotectonics of Turkey-a synthesis. Geodinamica Acta, ١٤, ٣-٣٠.

Koçyiğit, A. ١٩٨٤. Güneybatı Türkiye ve yakın dolayında levha içi yeni tektonik gelişim. Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni, No: ٢٧, ١-١٦.

Şengör, A.M.C., Yılmaz, Y. ١٩٨١. Tethyan evolution of Turkey; A plate tectonic approach. Tectonophysics, ٧٥, p.١٨١-٢٤١.

Dewey, J.F., Hempton, M.R., Kidd, W.S.F., Şaroğlu, F., Şengör, A.M.C. ١٩٨٦. Shortening of continental lithosphere: the neotectonics of Eastern Anatolia-ayoung collision zone. In Collision Tectonics. Coward,

M.P., A.C. Ries (eds.). Geology Society of London, Special Publication, ١٩, ٣-٣٦.

McKenzie, D.P. ١٩٧٠. Plate tectonics of the Mediterranean region, Nature, ٢٢٠, ٢٣٩-٣٤٣.
McKenzie, D.P. ١٩٧٢. Active tectonics of the Mediterranean region. Geophysical Journal of the Royal Astronomical Society, ٣٠. ١٠٩-١٨٥.

Harch, W., Kupher, T., Rust, B. and Sagesser, R. ١٩٨١. Seismotectonic consideration on the nature of the Turkish-African plate boundary, Geol. Rundsch., ٧٠, ٣٦٨-٣٨٤.

Parlak, O. ٢٠٠٤. Çelikhan–Erkenek Arasında Doğu Anadolu Fayı'nın Özellikleri, Master of Thesis, Istanbul technical University, Avrasya Yer Bilimleri Enstitüsü ٩٩s, İstanbul (unpublished).

Gülen, L., Barka, A., Toksöz, M.N. ١٩٨٧. Kıtaların Çarpışması ile ilgili Kompleks Deformasyon, Maraş Üçlü Eklemi ve Çevre Yapıları. Yerbilimleri ١٤, ٣١٩-٣٣٦.

Jackson, J.A., McKenzie, D. ١٩٨٤. Active tectonic of the Alpine-Himalayan belt between western Turkey and Pakistan. Geophysical Journal of the Royal Astronomical Society, ٧٧, ١٨٥-٢٦٤.

Karig, D.E., Kozlu, H. ١٩٩٠. Late Palaeogene-Neogene evolution of the triple junction region near Kahramanmaraş, south-central Turkey, Journal of the Geological Society, London, ١٤٧, ١٠٢٣-١٠٣٤.

Kempler, D., Garfunkel, Z. ١٩٩١. Northeast Mediterranean triple junction from a plate kinematics point of view, Bulletin of the Technical University of İstanbul, Special Issue, ٤٤, ٤٢٥-٤٥٤.

Chorowicz, J., Luxey, P., Lyberis, N., Carvalho, J., Parrot, J.F., Yürür, T., Gündoğdu, N. ١٩٩٤. The Kahramanmaraş Triple Junction (southern Turkey) based on digital elevation model and satellite imagery interpretation. Journal of Geophysical Research, ٩٩, ٢٠٢٢٥-٢٠٢٤٢

Arpat, A. E., Şaroğlu, F. ١٩٧٢. Doğu Anadolu Fayı ile ilgili bazı gözlem ve düşünceler. Bulletin of the Mineral Research and Exploration, ٧٣, ١–٩.

Rotstein, Y. ١٩٨٤. Counterclockwise rotation of the Anatolian block, Tectonophysics, ١٠٨, ٧١-٩١.

Karig, D.E., Kozlu, H. ١٩٩٠. Late Palaeogene-Neogene evolution of the triple junction region near Kahramanmaraş, south-central Turkey, Journal of the Geological Society, London, ١٤٧, ١٠٢٣-١٠٣٤

Chorowicz, J., Luxey, P., Lyberis, N., Carvalho, J., Parrot, J.F., Yürür, T., Gündoğdu, N. ١٩٩٤. The Kahramanmaraş Triple Junction (southern Turkey) based on digital elevation model and satellite imagery interpretation. Journal of Geophysical Research, ٩٩, ٢٠٢٢٥-٢٠٢٤٢.

Rojay, B., Heimann, A., Toprak, V. ٢٠٠٠. Neotectonic and Volcanic Characteristics of the Karasu Fault Zone (Anatolia, Turkey): The Transition Zone between the Dead Sea Transform and the East Anatolian Fault Zone. Geodinamica Acta, ١٤, ١٩٧-٢١٢.

Sezgin, N., Pınar, A., Utkucu, M. ٢٠٠٢. Maraş Üçlü Eklem Bölgesinde Etkin Olan Tektonik Rejim. Istanbul University, Fac. Of Eng. Yerbilimleri Dergisi, Cilt: ١٥(١), ٤٣-٥٥.

Westaway, R., Arger J. ١٩٩٦. The Gölbaşı Basin, Southeastern Turkey: A Complex Discontinuity in a

Major Strike-Slip Fault Zone. Journal of the Geological Society ١٥٣, ٧٢٩-٧٤٤

Lovelock, P.E.R. ١٩٨٤. A review of the tectonics of the northern Middle East region. Geological Magazine, ١٢١, ٥٧٧-٥٨٧.

Chorowicz, J., Luxey, P., Lyberis, N., Carvalho, J., Parrot, J.F., Yürür, T., Gündoğdu, N. ١٩٩٤. The Kahramanmaraş Triple Junction (southern Turkey) based on digital elevation model and satellite imagery interpretation. Journal of Geophysical Research, ٩٩, ٢٠٢٢٥-٢٠٢٤٢.

Muehlberger, R.W., Gordon, M.B. ١٩٨٧. Observations on the complexity of the East Anatolian Fault, Turkey. Journal of Structural Geology, ٩, ٨٩٩-٩٠٣.

Duman, T.Y., Emre, Ö. ٢٠١٣. The East Anatolian Fault: geometry, segmentation and jog characteristics. Geological Society, London, Special Publications published online February ١٩, ٢٠١٣ as doi: ١٠,١١٤٤/SP٣٧٢,١٤

Robertson, A.H.F., Parlak, O., Ünlügenç, U.C. ٢٠١٣. Geological Development of Anatolia and Easternmost Mediterranean Region. Robertson, A.H.F., Parlak, O., Ünlügenç, U.C. (eds). Geological Society, London, Special Publications, ٣٧٢, ٤٩٥-٥٢٩. doi:١٠,١١٤٤/SP٣٧٢,١٤.

Ergin, K. ١٩٦٦. Türkiye ve Civarının Deprem Kataloğu. İstanbul Teknik Üniversitesi Maden Fakültesi Arz Fiziği Enstitüsü Yayınları, ١٧٠ s.

Soysal, H., Sipahioğlu, S., Kolçak, D., Altınok, Y. ١٩٨١. Türkiye ve Çevresinin Tarihsel Deprem Kataloğu. TÜBİTAK, Proje No: TBAG ٣٤١, İstanbul

Özmen, B. ١٩٩٩. Türkiye ve Çevresinin Tarihsel Deprem Kataloğunun Bölgesel Düzenlenmesi. Deprem Araştırma Bülteni, sayı; ٨٢, ٥–٨٣s.

S. S. Nalbant, J. McCloskey, S. Steacy, and A. A. Barka, “Stress accumulation and increased seismic risk in eastern Turkey,”Earth and Planetary Science Letters, vol. ١٩٥, no. ٣-٤,pp. ٢٩١–٢٩٨, ٢٠٠٢.

N. N. Ambraseys, “Temporary seismic quiescence: SE Turkey,”Geophysical Journal, vol. ٩٦, pp. ٣١١–٣٣١, ١٩٨٨.

N. N. Ambraseys and J. A. Jackson, “Faulting associated withhistorical and recent earthquakes in the eastern Mediterranean region,” Geophysical Journal International, vol. ١٣٣,no. ٢, pp. ٣٩٠–٤٠٦, ١٩٩٨.

Yalçın, C., Akkütük, M. T., & Uras, Y. (٢٠٢٢). Geological and Geochemical characterization of the radiolarite hosted Mn mineralization in Taşdemir (Pazarcık, Kahramanmaraş, Turkey). ٤th Advanced Engineering Days, ٩٣-٩٥

Gül, M.A., (٢٠٠٠). Kahramanmaraş yöresinin jeolojisi. Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, ٣٠٤ s.

Nihat Atmac, Adem Atmaca, Seydi Kılçık, The International Journal of Energy & Engineering Sciences,

٢٠١٩, comparison of ٢٠١٨ and ٢٠٠٧ turkish earthquake regulations, turkey

Department of disaster investigation and damage assessment, afad report, ٢٠٠٨, distribution of disaster events and damages according to provinces and districst (according to types of disasters), turkey

Fouad Bendimerad, Andrew Coburn, Guy Morrow, Laurie Johnson, Mohsen Rahnama, ١٩٩٩, Event Report for " Kochaeli,Erthquake in Turkey", Turkey

M.Serhat Yenice, Hasan Kalyoncu University, ٢٠١٩, A Comparative Analysis of the Spatial Characteristic of Apartment Buildings in Gaziantep,Turkey, Turkey

Adem Doğangün,Ali Ural,Ali Ural,Yücel Güney,Fatih Kürşat Fırat, ۶ February ٢٠١٣, The ٢٠١١ Earthquake in Simav, Turkey and Seismic Damage to Reinforced Concrete Buildings, Turkey

Afad, ٢٠١٩,overview of disaster management and natural disaster statistics, turkey, www.afad.gov.tr

O. Gunes, ٢٠١٥, Turkey's grand challenge: Disaster-proof building inventory within ٢٠ years, Istanbul Technical University, Istanbul, Turkey

Halûk Sucuoğlu, International Workshop on Advanced Materials and Innovative Systems in Structural Engineering: Seismic Practices, ٢٠١٨, New Improvements in the ٢٠١٨ Turkish Seismic Code, Turkey

Gizem nur,talas soylu, september ٢٠١٩, a statistical study on the harmonized up-to-date turkish building stock, middle east technical university

Egecan turan, izmir institute of technology, ٢٠٢٠, assessment of the ٢٠١٨ turkish seismic regulations unreinforced masonry construction pecifications through a case study structure, izmit, turkey

SAFKAN, University College London, ٢٠١٢, Comparison of Eurocode ٨ and Turkish Earthquake Code ٢٠٠٧ for Residential RC Buildings in Cyprus, UK

Hatahet, Tareq, ٢٢. Jan. ٢٠١٨, On the Analysis of the Disproportionate Structural Collapse in RC Buildings, Syrien
Anadolu Agency (https://www.aa.com.tr/en)
AFAD (https://en.afad.gov.tr)