تجارب مهندسی از زلزلـــه ۱۵ آوریـــل ۱۹۷۹ مونت نگرو[1] (یوگسلاوی)

نوشتـــــــــه
حجت الله عـادلـــــی
دانشکده فنی دانشگـــاه تهـــران

چکیـــده

در روز ۱۵ آوریل ۱۹۷۹ زلزلهٔ مخربی منطقه وسیعی از سواحل جنوب غربی یوگسلاوی رابه لرزه درآورد و بیش از ۲/۷ بلیون دلار خسارت بجا گذاشت . دراین مقاله ،تجارب مهندسی مهمی که از این زلزله حاصل شده است به کمـــک تصاویر نمونه به طور خلاصه مورد بحث قرار میگیرد . نحـــوه عملکرد و علل اصلی خرابی ساختمان های سنگی ، آجری ، بلوک سیمانی وبتن مسلحی و تاثیرطرح معماری در روی رفتار دینامیکی ساختمانها تشریح میگردد . نحوه خرابی های ناشی از گسیختگی زمین بویژه پدیده روانگری خاک نیز در بخـــش آخر مقاله ارائه میشود .

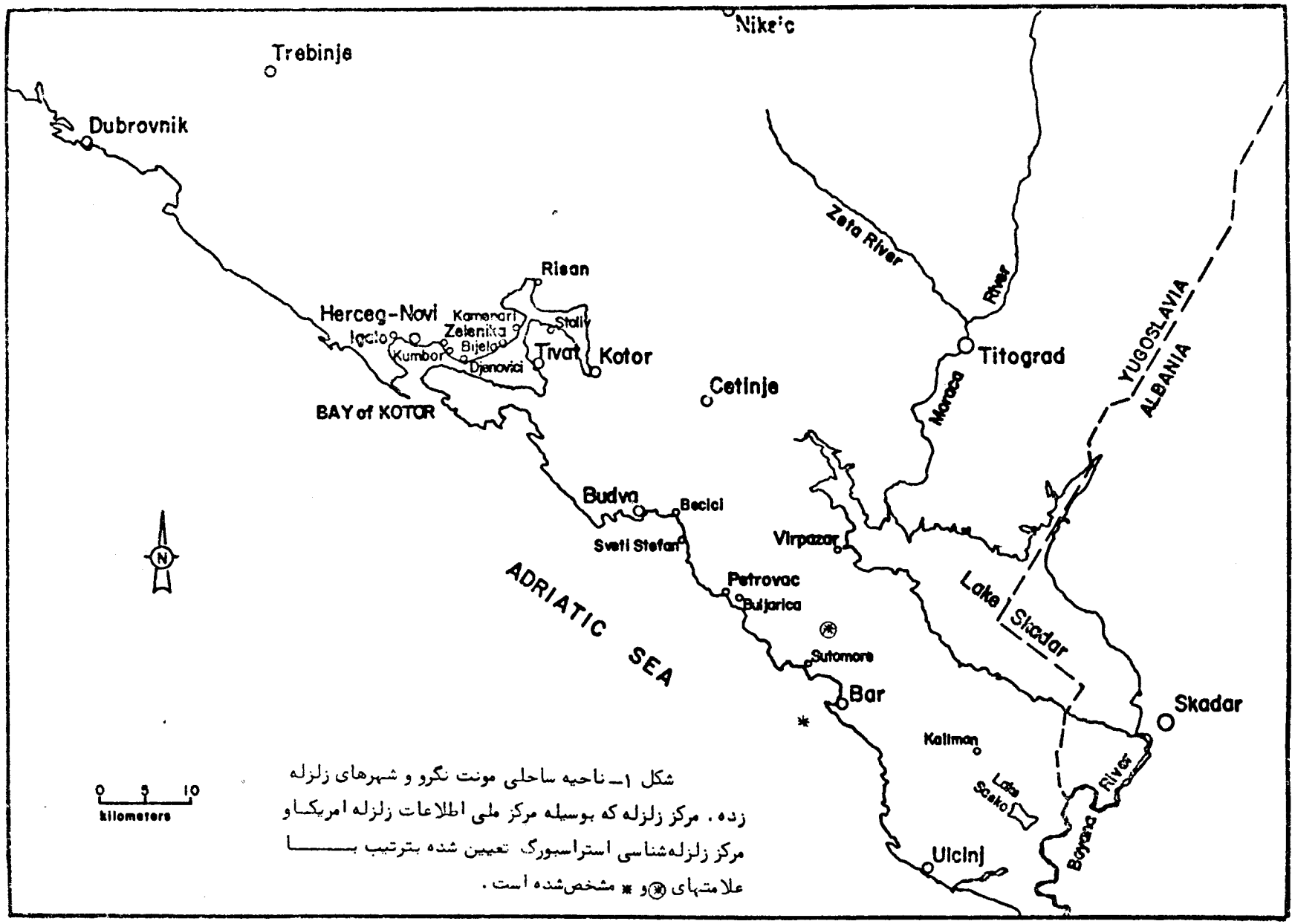
۱ــ مقـــدمـــــه

در ساعت هفت وبیست دقیقه بامداد روز ۱۵ آوریل ۱۹۷۹ زلزلهٔ شدیدی منطقه‌وسیعی از سواحل جنوب غربـی یوگسلاوی در جمهوری سوسیالیستی[2] مونت نگرو درسواحـــل دریای آدریاتیک و همچنین قسمتی از شمال آلبانی را ویران نمود (شکل ۱) . ایستگاههای زلزله شناسی مختلف ، بزرگی یا قدرت زلزله [۲] براساس امواج سطحی را بین ۶/۶ تـــا ۷ گـــــزارش کرده اند[۷] .عمق کانون زلزله در حدود ۱۷ کیلومتر تخمین زده شده است[۷] . حداکثر شتاب افقی‌زمین دراین زلزله در حدود ۵۰ درصد شتاب ثقل زمین ثبـــت گردیده است . آمار رسمی تلفات زلزله ۹۶ نفر در یوگسلاوی و ۳۵ نفر در آلبانی میباشد . تنهادر یوگسلاوی ، بیـــش از ۱۰۰۰ نفر دراین زلزله صدمه دیدند و در حدود ۸۰۰۰۰ نفر (یک هفتم جمعیت مونت‌نگرو) بی خانمان گشتند . بـا اینکه قدرت این زلزله از لرزه ۲۶ ژوئیه ۱۹۶۳ اسکوپیه[3] (یوگسلاوی) بیشتربود ،تعداد کشته و زخمی شدگان درزلزله اخیر بسیارکمتر از زلزله ۱۹۶۳ بود . در زلزله ۱۹۶۳ بیـش از ۱۰۰۰ نفر تلف شدند .تعداد کم تلفات و آسیب دیدگان در زلزله اخیربدان جهت است‌که زلزله مزبور در روز یکشنبه (روز تعطیل) و قبل از آغاز فصل توریستی اتفاق افتـــاد . منطقه زلزله زده دارای نقاط تاریخی متعدد میباشد و از زیبائی طبیعی‌زیادی برخوردار است و درنتیجه از مناطـــق توریستی یوگسلاوی به شمار میرود . صنعت عمده مونت‌نگرو ، کشتی سازی میباشد که کارگاههای آن همگی‌در روز وقـــوع

۲ــ جمهوری فدرال یوگسلاوی از ۶ جمهوری تشکیل می‌یابد .

1- Montenegro

3- Skopje



شکل ۱ــ ناحیه ساحلی مونت نگرو و شهرهای زلزله زده . مرکز زلزله که بوسیله مرکز ملی اطلاعات زلزله امریکا و مرکز زلزله‌شناسی استراسبورگ تعیین شده بترتیب بـــــا علامتهای ⊛ و * مشخص‌شده است .

زلزله تعطیل بودند . اما خسارات اقتصادی ناشی از زلزله بسیار زیاد بوده و بین ۲/۷ تا ۳/۵ بلیون دلار تخمین زده شده است [۶] .

مرکز زلزله بوسیله مرکز ملی اطلاعات زلزله امریکا در ۴۲/۱۴ درجه شمالی و ۱۹/۰۶ درجه شرقی و بوسیله مرکز زلزله شناسی استراسبورگ در ۴۲/۰۳ درجه شمالی و ۱۹/۰۴ درجه شرقی تعیین گردیده است . محل مراکز مزبور در روی شکل ۱ مشخص شده است .

ساختمانهای هتل ها در منطقه به شدت آسیب دیدند .از حدود ۲۰۰۰۰ واحد هتل ومحل پذیرائی مسافرین ، ۵۵۰۰ عدد فرو ریختند یا به شدت صدمه دیدند ، ۵۵۰۰ عدد قابل تعمیر بودند و ۹۰۰۰ عدد باقیمانده صدمه مختصری دیدند یا اصلا" صدمه ندیدند .

ساختمانهای مدارس و بیمارستانها نیز به شدت آسیب دیدند .از ۵۴ ساختمان مدرسه ، ۵۰ ساختمان به صورت غیر قابل تعمیر صدمه دیدند . در حدود ۴۰۰۰۰ واحد آپارتمانی نیز آسیب دیدند یا ویران شدند .

۲ـ صدمات ناشی از اثر مستقیم ارتعاشات ناشی از زلزله

۱ـ۲ـ تاءثیر طرح معماری

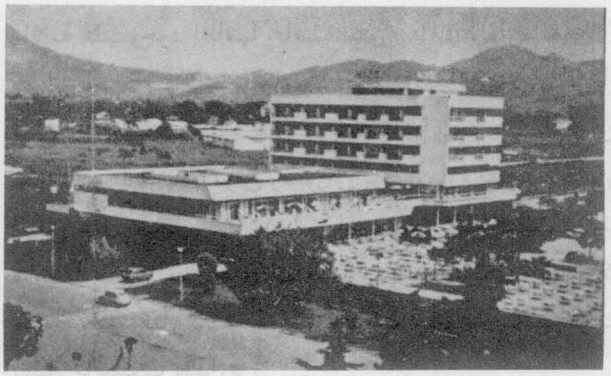
خرابی ساختمان ها ناشی از ارتعاشات زمین ، نه‌فقط در اثر مقاومت غیر کافی عناصر سازه ای ساختمان ها بوده است بلکه اشتباهات اساسی در طرح معماری نیز در خرابی آن ها نقش عمده ای داشته اند . اگر این جنبه معماری طرح بوسیله مهندس وارشیتکت به‌خوبی شناخته نشود چه بسا ساختمانهائی که ظاهرا" با اصول ضدزلزله ساخته شده اند در زلزله های شدید فرو خواهند ریخت یا آسیب خواهند دید .

پلان (تصویر افقی) طبقات هتل های واقع درسواحل دریای آدریاتیک معمولا" چنان طرح میشود که حتی الامکان تعداد بیشتری اطاق رو به دریا باشد . این پلان ها اغلب غیر متقارن هستند . در طبقه‌هم کف معمولا" فضاهای وسیعی برای پذیرائی و استراحت مسافرین در نظر گرفته میشود که لازمه وجود آنها ستون های با فاصله زیاد از یکدیگر و یک سیستم سازه ای انعطاف پذیر در امتداد افق میباشد . اما در طبقات بالا به علت وجود اطاقها ،فاصله ستون ها یا دیوارها معمولا" کم است . بدین ترتیب صلبیت جانبی طبقات بالا بسیار بیشتر از صلبیت طبقه همکف میباشد . اغلب یک ساختمان یک یا دو طبقه به عنوان رستوران به‌طورسازه ای به‌ساختمان اصلی هتل متصل میباشد .این امر منجر به‌ایجاد پیچش در سازه یا عکس العمل های‌دینامیکی پیچیده دیگری میگردد که میتواند در رفتار دینامیکی سازه مرکب ازدو ساختمان اثرات بسیار نامطلوب بگذارد .

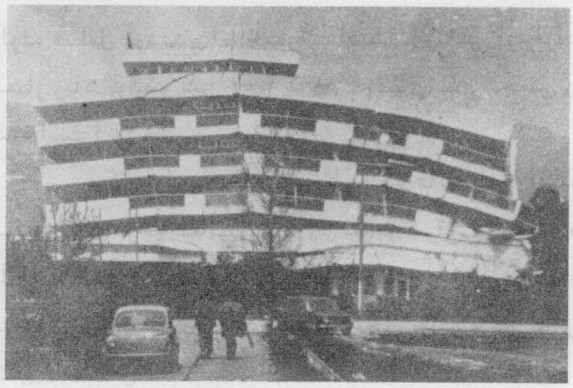
شکل های ۲و۳ ساختمان بتن مسلحی هتل آگاوا[1] واقع در بندر بار[2] (شکل ۱) را بترتیب قبل و بعد از وقوع زلزله نشان میدهند .ساختمان دو طبقه‌ای به منظور رستوران و راهرو به قسمت شمالی‌ساختمان اصلی هتل به طور سازه‌ای متصل‌بوده است .این امر باعث پیچش و دوران سازه واضافه‌شدن حرکت انتقالی جانبی آن گردیده است . در نتیجه ، ستون های طبقه همکف در دوانتهای غربی وشرقی ساختمان مطابق شکل ۴ به شدت آسیب دیدند . دال های پیش‌آمده (بالکن های) طبقه دوم درانتهای غربی ساختمان نیزباعث شده اند بار فشاری ستون های این انتهای ساختمان افزایش یابد . اگر از تاءثیر متقابل دو قسمت سازه با جدا کردن‌آنها جلوگیری میشدو حتی‌الامکان پلان‌متقارنی برای‌آنها انتخاب میگشت ، خسارت وارد بر سازه مزبور به مراتب کمتر میشد . هتل مزبور در پسلرزه ۲۳ مه ۱۹۷۹ به طور کامل فرو ریخت .

شکل ۵ ساختمان هتل‌الیوا[3] در شهر پتروواک[4] را پس از وقوع زلزله نشان میدهد . این ساختمان‌قابی بتن مسلحی دراثر زلزله ای در سال ۱۹۶۶ صدمه دیده و بعدا" بوسیله دیوارهای برشی تقویت شده بود .قسمت اصلی این ساختمان چهار طبقه بوده‌و قسمت یک طبقه ای (به عنوان رستوران) مطابق شکل ۵ به طور سازه ای به‌آن متصل شده بود . در اثر زلزله ۱۹۷۹ و تاءثیرمتقابل دو قسمت سازه ، پیچش قابل ملاحظه ای درآن ایجاد گردیدو دیوارهای‌برشی آن همانطوری که در شکل های ۵و۶ مشاهده میگردد به شدت آسیب دیدند . اما این دیوارهای برشی از فرو ریختن ساختمان جلوگیری به عمل آوردند و ساکنین آن توانستند بدون هیچگونه آسیبی جان سالم در ببرند .

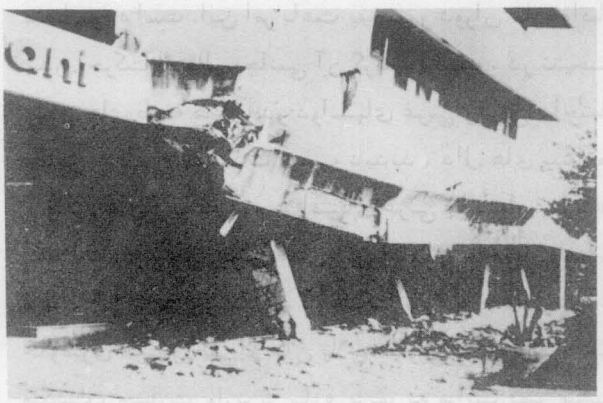
1- Agava 2- Bar 3- Oliva 4- Petrovac



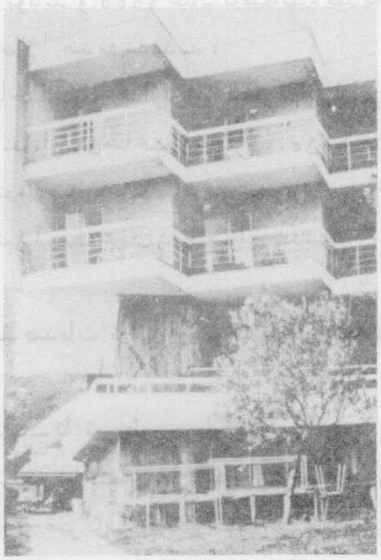
شکل ۲ـ ساختمان بتن مسلحی هتل آگاوا در بندر بار قبل از وقوع زلزله.



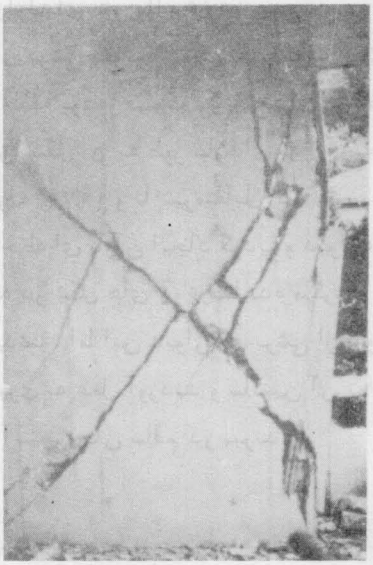
شکل ۳ـ ساختمان‌بتن مسلحی هتل آگاوا بعـــداز وقوع زلزله.



شکل ۴ـ خرابی ستونهای طبقه همکف ساختمان‌هتل آگاوا.



شکل ۵ ـ ساختمان هتل الیوا در شهر پتروواک‌پس از وقوع زلزله.



شکل ۶ـ شکست دیوار برشی ساختمان هتل الیوا.

شکل ۷ـ فرو ریختن ساختمانهای سنگی در قسمت قدیمی شهر بودوا.

۲ـ۲ـ ساختمانهای سنگی

بسیاری‌از ساختمان های شهرها و روستاهای زلزله زده به‌خصوص‌ساختمانهای‌قدیمی ،سنگی بودند .ساختمانهای سنگی قدیمی در زلزله های‌ضعیف تر از زلزله اخیر صدمه دیده اند و دراین زلزله بیشترین آسیب را دیدند . ملات‌به کار رفته دراین ساختمان ها ملات آهک میباشد و چون آنها اغلب حداقل ۸۰ سال پیش ساخته شده اند فاقد فولادهای تقویتی هستند . سقف آنها از تیرهای چوبی با دهانه های نسبتا" بزرگ تشکیل می‌یابند .

شکل ۷ فرو ریختن ساختمان های سنگی در قسمت قدیمی شهربودوا[1] (شکل ۱) را نشان میدهد . سقف بسیاری ازساختمانهای سنگی دراین زلزله‌فرو ریخت .در ساختمانهای سنگی‌دو یا سه طبقه ، دیوارها در قسمت فوقانی ساختمان گاهی تا سه سانتیمتر تغییر مکان جانبی دادند . در ساختمانهائی که کمتر آسیب دیدند ، ترک در محل اتصال بین دیوارها و سقف ها ،در محل اتصال بین دیوارهای باربر و دیوارهای جدا کننده ، و در نعل درگاهها پدیدار گشت . دودکش های سنگی بالای ساختمانهاحتی درمناطق بسیار دور از مرکز زلزله فرو ریختند .

۳ـ۲ـ ساختمان های آجری و بلوک سیمانی

عمر این نوع ساختمانها معمولا" کمتر از ۳۰ سال میباشد و اغلب به صورت ساختمانهای کوچک مسکونی و گاهی اوقات ساختمانهای آپارتمانی یا اداری بزرگ بنا شده اند . پی این ساختمان ها اغلب پی نواری بتنی در زیر دیوارهای باربر میباشد .پس از اینکه روی این پی یکپارچه و سراسری لایه ای از خاک متراکم ریخته شد یک کف بتنی در روی آن قرار داده میشود . دیوارهای باربر این ساختمانها که معمولا" یک یا دو طبقه و گاهی اوقات سه طبقه ساخته میشوند از آجرهای توپریاتوخالی یا **بلوک** های سیمانی ساخته میگردند . سقف آن ها معمولا" دال بتن مسلحی کامل‌به ضخامت ۱۰ تا ۱۴ سانتیمتر میباشد . تمام ساختمان هائی که پس از زلزله ۱۹۶۳ یوگسلاوی ساخته شده اند دارای تیر کلاف در بالای هرطبقه هستند .ساختمانهای‌آجری یابلوکی بزرگ‌دارای‌عناصر بتن مسلحی قائم در محل برخورد دیوارهای‌باربر هستند [۱] .ابعاد خارجی ساختمان های مسکونی به ندرت از ۱۳×۱۰ متر تجاوز میکند . به طور کلی ، این ساختمان ها ارتعاشات ناشی از زلزله و همچنین‌پسلرزه ها را با خسارات جزئی تحمل نمودند . اما ساختمان های آپارتمانی یااداری بزرگ دچار صدمه بیشتری از ساختمان های کوچک مسکونی شدند و دو تا از آن ها به شدت آسیب دیدند . یکی‌از این دو، ساختمان شهرداری‌بودوا میباشد که در شکل ۸ مشاهده میگردد . نیروهای افقی ناشی از زلزله بیشترین مقدار را در پای ساختمان دارند که بر اثرآن‌ها دیوارهای طبقه‌ی اول ساختمان مزبور در شکل ۸ ترک های ضربدری برداشته است .

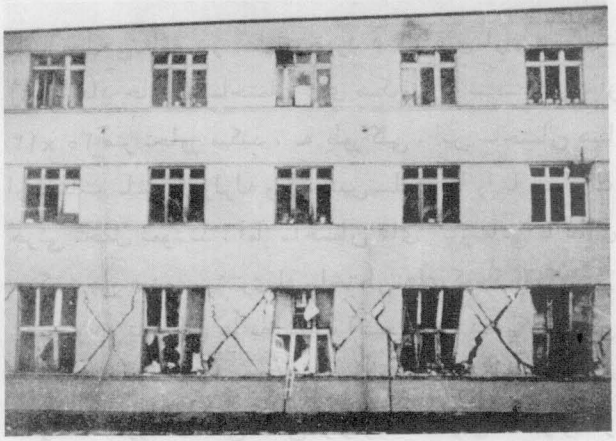
۴ـ۲ـ ساختمان های بتن مسلحی

منطقه زلزله‌زده دارای سازه های بتن مسلحی متعددی‌باکاربردهای مختلف می‌باشد . تمام این ساختمان ها در ۲۰ سال گذشته با توجه به آئین نامه ی زلزله ای که در سال ۱۹۶۴ (پس‌از وقوع زلزله ۱۹۶۳ یوگسلاوی) منتشر گردید ساخته شده اند .

رفتار سازه هائی‌که با دیوارهای باربر بتن مسلحی ساخته شده اند‌دراین زلزله رضایتبخش بود . هیچیک از این نوع ساختمان ها فرو نریختند و صدمه به دیوارهای باربر تعدادی‌از این ساختمان ها نسبتا "کم بوده و تعمیر آنها با هزینه کم امکان پذیر بود .

اما رفتار سازه های قابی بتن مسلحی در این زلزله نسبتا" بد بود و آن ها اغلب همان اشکالاتی را که‌در زلزله های دیگر مشاهده شده است[۲ ،۳و۴] از خود نشان دادند . شکل ۹ ساختمان های شماره ۱و۲ هتل تاماریس[2]را در منطقه ی هرچگ‌ـ نوی[3]نشان میدهدکه در سال ۱۹۶۹ ساخته شدند . این ساختمان ها از قاب های بتن مسلحی و دیوارهای بلوکی پرکننده غیر سازه ای تشکیل می‌یابند . ساختمان شماره ۱ ، هفت طبقه و ساختمان شمارهٔ ۲ ، شش طبقه میباشد . پلان ساختمان شمارهٔ ۱ هتل تاماریس غیر متقارن است و در نتیجهٔ پیچش ساختمان ، قسمت فوقانی تعدادی از ستون ها صدمه دیده است و دیوارهای پرکنندهٔ غیر سازه ای در انتهاهای ساختمان و در دو طبقه اول آن

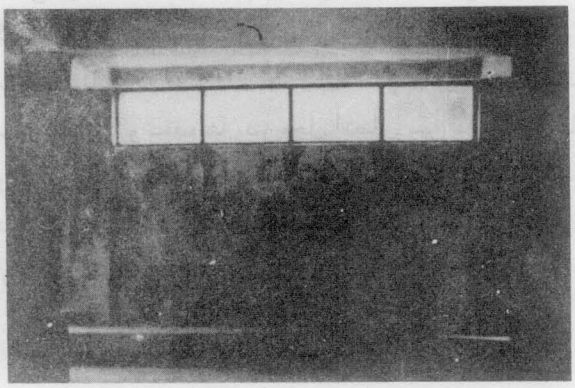
1- Budva 2- Tamaris 3- Herceg-Novi



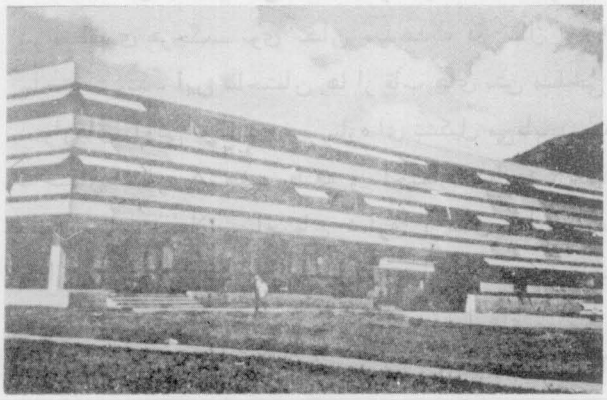
شکل ۸ـ ترکهای ضربدری در ساختمان شهرداری بودوا.

شکل ۹ـ ساختمانهای شماره ۱ و ۲ هتل تاماریس.

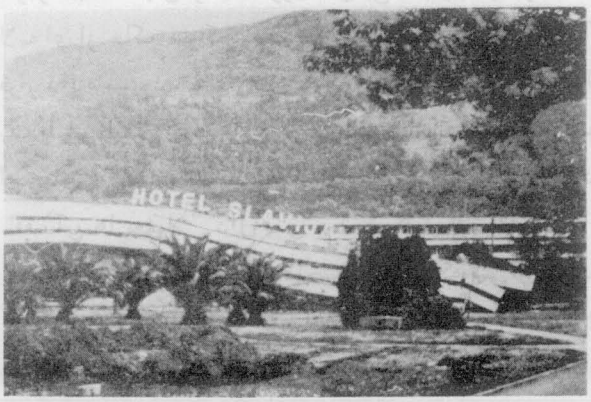
شکل ۱۰ـ صدمه‌به دیوارهای پرکننده غیرسازه‌ای هتل تاماریس.



شکل ۱۱ـ دیوارپرکننده غیر سازه ای در ساختمان شماره ۲ تاماریس باعث بوجودآمدن ترک برشی در قسمت فوقانی ستون گردیده است.



شکل ۱۲ـ ساختمان قابی بتن‌مسلحی هتل‌اسلاویا در شهر بودوا قبل از وقوع زلزله.



شکل ۱۳ـ ساختمان قابی بتن مسلحی هتل اسلاویا بعد از وقوع زلزله.

ترک های برشی مورب برداشته اند (شکل ۱۰) . در ساختمان شمارهٔ ۲ تاماریس، دیوارهای پرکننده ای که فقط در قسمتی از ارتفاع طبقه وجود داشتند سبب شدند که طول موثر ستونها کاهش یابد و ستونها در قسمت فوقانی ترکهای برشی بردارند (شکل ۱۱) .بدین ترتیب این دیوارهای غیر سازه‌ای به شکست ستونهاکمک کردند و باعث تغییر رفتارسازه گردیدند .

شکل‌های ۱۲ و ۱۳ساختمان قابی بتن مسلحی هتل اسلاویا[1] واقع در شهر بودوا را به ترتیب قبل و بعد از وقوع زلزله نشان می‌دهند . علل اصلی فروریختن این ساختمان ، کافی نبودن فولادهای طولی ستونها برای گرفتن لنگر خمشی درامتداد طول ساختمان و همچنین کافی نبودن تنگهای جانبی در ستون ها به خصوص در قسمت فوقانی آنها بوده است . شکل ۱۴ قسمت فوقانی یکی از ستونهای آسیب دیده را نشان می‌دهد .توجه کنیدکه میله گردهای بکار رفته آجدار نمی‌باشند .

علل دیگر شکست ساختمانهای قابی بتن مسلحی عبارتند از :

ـ کمانش میله‌گردهای اصلی ستونها و خرد شدن‌بتن در اثر نبودن تنگهای جانبی کافی (شکل ۱۵) .

ـ انعطاف پذیری زیاد طبقه اول و بوجود آمدن تغییر شکل ماندنی قابل توجه .

ـ تشکیل مفصل های خمیری (پلاستیک) در انتهای ستونها بجای تشکیل آنها در انتهای تیرها [۲] .

ـ شکست برشی‌ستونهای کوتاه [۴] یا ستون هائی‌که در اثر وجود دیوارهای پرکنندهٔ غیر سازه ای به صورت کوتاه در می‌آیند .

ـ سوراخ شدن دالهای بتن مسلحی به وسیله‌ستونها بر اثر عدم مقاومت برشی کافی دال‌ها (شکل ۱۶) .

شکلهای ۱۷و۱۸ ساختمان قابی بتن مسلحی هتل پلازا در شهر بودوا را به ترتیب قبل و بعد از وقوع زلزله نشان می‌دهند .علت اساسی سقوط‌کامل این هتل و ساختمان ضمیمهٔ آنرا نمی‌شد ازروی آوار باقیماندهٔ آن‌پیدا نمود .

بطور کلی ، ساختمان هائی که از قطعات دیواری (پانل) بتن مسلحی پیش ساخته براساس ضوابط طرح ضد زلزله موجود دریوگسلاوی ساخته شده بودند ارتعاشات‌ناشی از زلزله را به خوبی تحمل نمودند .صدمه به عناصربراین نوع ساختمانهانادر و در صورت وجود به سهولت قابل تعمیر بودند . تعدادی ساختمان ۱۵ طبقهٔ مدرن از این نوع ، واقع در شهر بار ، ترکهای جزئی سطحی برداشتند .

۳ـ صدمات ناشی ازگسیختگی زمین

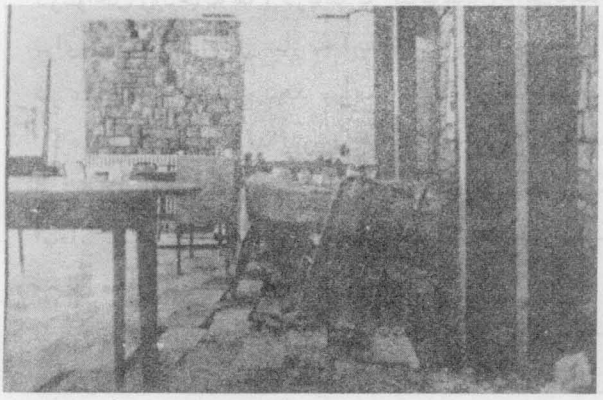
از چند نوع گسیختگی زمین که دراین زلزله‌مشاهده گردید ، روانگری خاک[2] بیشترین صدمه را به ساختمانهاوارد نمود .بعضی از خاکهاتحت بارگذاری زلزله ممکن است‌فشرده شوند که در اثرآن فشار آب‌منافذ (خلل و فرج) خاک اضافه و مقاومت برشی خاک کم می‌شود .این پدیده به روانگری‌خاک موسوم است‌که دراثر آن خاک حالتی شبیه مایع پیدامی‌کند . شن یا خاک های رسی مستعد روانگری نیستند . ماسه های متراکم‌نسبت به ماسه های شل احتمال روانگری‌کمتری‌دارند . ماسه هائی که بطور هیدرولیکی ذخیره شده اند به علت یکنواختی شان بویژه مستعد روانگری هستند . روانگری‌اغلب درسواحل رودخانه ها ، دریاها یا اقیانوسها رخ می‌دهد زیرا برای بوجود آمدن آن نیاز به آب است . روانگری ممکن است در عمقی از زمین رخ دهد وباعث شود که آب بطرف بالا (گاهی اوقات به صورت فوران)جریان پیدا کند . هرچند که این جریان آب ممکن است درلایه های فوقانی زمین‌روانگری ایجاد نکند ، فشار هیدرودینامیکی ممکن است فشارقابل تحمل مجاز خاک در سطح زمین راکاهش دهد .

پدیدهٔ روانگری دراین زلزله به صورتهای‌مختلف نمایان گشت . درنقاط متعددی در شهر کوتور[3] و حوالی آن (شکل ۱) روانگری خاک باعث نشست قسمتهائی از زمین گردید .شکلهای ۱۹و ۲۰ قسمتی‌از ساحل دریا را در نزدیکی شهر استولیف[4] (شکل ۱) به ترتیب قبل و بعد از وقوع‌زلزله نشان می‌دهند . توجه کنید که قسمتی از ساحل به صورت نوار طویلی در جلوی مهمانسراها و کلبه های توریستی در اثر روانگری خاک به داخل آب نشست کرده است .تعدادی از ساختمانهای مزبور نیز صدمه دیده یا فرو ریخته اند . روانگری خاک باعث "گسترش جانبی" تعدادی از ساختمانها گردید . بدین ترتیب که در اثر پدیدهٔ مزبور ، پی ها و ستونهای ساختمان تمایل به باز شدن و گسترش پیدا کردند

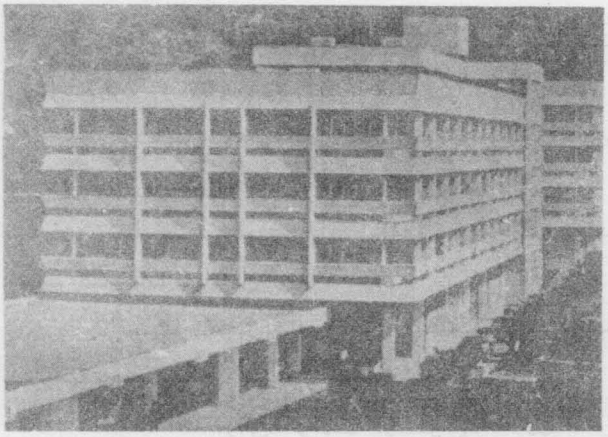
1- Slavija 2- Soil liquefaction 3- Kotor 4- Stoliv

شکل ۱۴ـ قسمت فوقانی یکی از ستونهای آسیب دیده ساختمان هتل اسلاویا .

شکل ۱۵ـ کمانش میله گردهای اصلی ستونها و خرد شدن بتن در اثر نبودن تنگ های‌جانبی کافی .

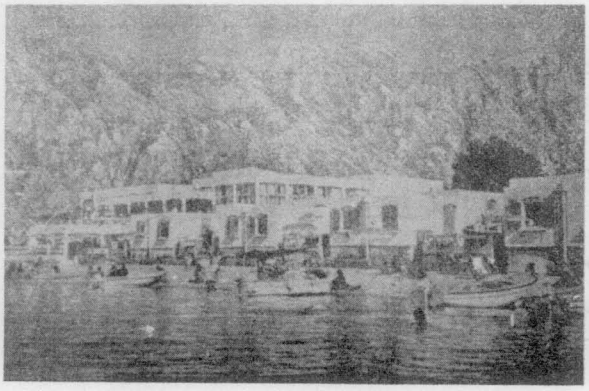


شکل ۱۶ـ سوراخ شدن دال بتن مسلحی بوسیله ستون بر اثر عدم مقاومت برشی کافی دال .



شکل ۱۷ـ ساختمان قابی بتن مسلحی هتل پلازا در شهر بودوا قبل از وقوع زلزله .

شکل ۱۸ـ ساختمان قابی بتن مسلحی هتل پلازابعد از وقوع زلزله .



شکل ۱۹ـ ساحل دریادرنزدیکی شهراستولیف قبل از وقوع زلزله .

(شکلهای ۲۱و۲۲) و این امر باعث ایجاد ترکهای قائم در دیوارها (شکل ۲۱) و گاهی اوقات سقوط کامل ساختمانها گردید. گسیختگی‌های ناشی از روانگری زمین در این زلزله بیشتر در رسوبات رودخانه ای جدید ماسه های ریز دانه یا با دانه بندی متوسط در خلیج کوتور (شکل ۱) و در طول سواحل رودخانهٔ بویانا[1] رخ داد. بر اثر روانگری خاک در بعضی ازنقاط ساحلی، "جوشش ماسه[2]" به وجود آمد. بدین ترتیب که آب تحت فشار از درون ماسه ها بیرون زده و در نتیجهٔ این عمل، حفره‌های متعدد در سطر ساحل به جا ماندند. در برخی از نقاط، روانگری خاک باعث نشست نایکسان خاک گردید. برج یادبود شکل ۲۳براثر نشست نایکسان ناشی از روانگری خاک به حالت مایل در آمده‌است.

اگر خطر روانگری خاک در محل ساختمان وجود داشته باشد ممکن است پی های عمیق یا شمع‌کوبی لازم‌گردد تا از نشست غیر قابل قبول یا شکست پی جلوگیری شود.

این زلزله در سطحی تقریبا" برابر با ۲۵۰۰ کیلومتر مربع در حدود یک هزار زمین لغزه و بهمن سنگ و خاک ایجاد نمود. اغلب این زمین لغزه ها در زمینها و در دامنه کوههای با شیب بیش از ۵۰ درجه رخ دادند و حجم هر یک از آنها از ۱۰۰ متر مکعب تجاوز نمی‌کرد. این زمین‌لغزه ها به ساختمانها خسارات زیادی وارد ننمودند زیرا اکثر آنها درجاهای کم‌جمعیت وکم‌سکونت به وقوع پیوستند. امابسیاری از سنگ لغزه هاتاچند هفته موجب بسته شدن راهها وراههای آهن گردیدند. شرایط مرطوب هوا قبل از وقوع زلزله به‌تعداد زیاد زمین لغزه ها کمک‌نمود. زمین لغزهٔ بزرگی در نزدیکی شهر بودوا موجب بسته شدن دهانهٔ یک‌تونل (شکل ۲۴) و بوجودآمدن ترک درطول ۳۰ متر از پوشش بتن مسلحی داخل آن گردید (شکل ۲۵).

این زلزله دربیش از ده نقطه باعث افت زمین و جریان خاک در خاکهای رسی یا خاک ریزهای مصنوعی در شیب های ملایم گردید. بارندگی‌سنگین درماه قبل از وقوع زلزله بدون شک فشارآب خلل وفرج خاک را اضافه ودربوجود آمدن افت زمین و جریان خاک کمک نمود. شدیدترین صدمه به ساختمانها بر اثر این نوع گسیختگی در دهکدهٔ کلیمان[3] (شکل ۱) رخ داد. در اینجا ترکیبی از افت زمین و جریان خاک با حرکتی در حدود ۱۰۰ متر بطرف پائین شیب، هشت ساختمان را ویران نمود.

منابع و مراجع

۱ـ عادلی، حجت اله، "ساختمانهای کوچک‌در مناطق زلزله خیز"، انتشارات دهخدا، ۱۳۵۹.

۲ـ عادلی، حجت اله، "مهندسی زلزله ـ جلد اول"، انتشارات دهخدا و هنر، ۱۳۵۹.

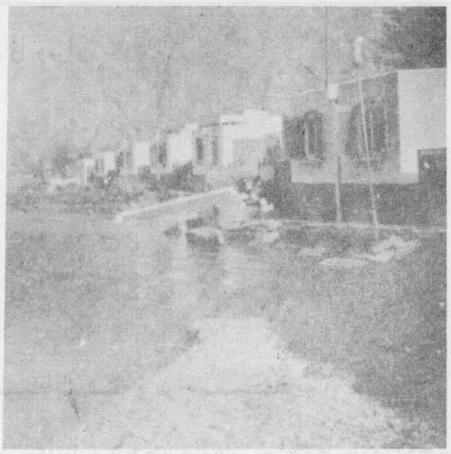
۳ـ عادلی، حجت اله، "زلزله ۲۳ نوامبر ۱۹۸۰ جنوب ایتالیا"، نشریه شماره ۳۷ مرکز تحقیقات ساختمان‌و مسکن، خرداد ۱۳۶۰.

۴ـ عادلی، حجت‌اله، "زلزله ۱۰اکتبره۱۹۸الاصنام"، نشریه شماره ۳۸ مرکزتحقیقات ساختمان و مسکن، تیر ۱۳۶۰.

5- Ambraseys, N.N., Ciborowski, A., and Despeyroux, J,"The Earthquake of 15 April, 1979 in Montenegro", Report of UNESCO Mission, Paris, 1979.

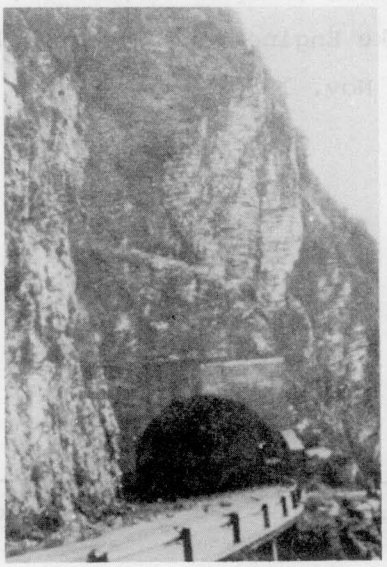
6- Leeds, A., Editor, "Reconnaissance Report-Montenegro, Yugoslavia Earthquake of April 15, 1979", Earthquake Engineering Research Institute, Nov. 1980.

1- Boyana 2- Sand boil 3- Kaliman



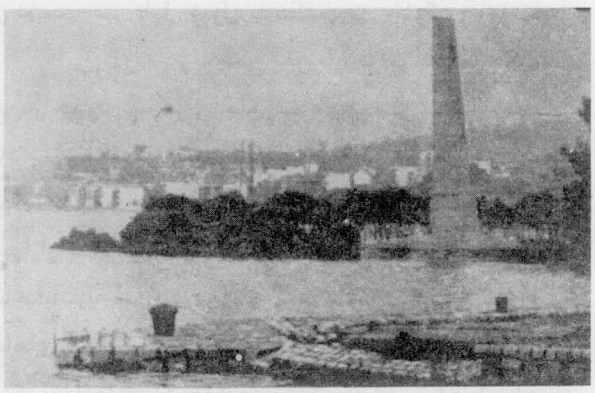
شکل ۲۰ـ ساحل دریادر نزدیکی شهر استولیـــف بعد از وقوع زلزله.

شکل ۲۲ـ مایل شدن ستون بر اثر پدیده روانگری خاک.



شکل ۲۴ـ تونلی‌در نزدیکی شهر بودوا. دهانـــه این تونل در اثر زمین لغزه بسته شد.

شکل ۲۱ـ ترک قائم‌در دیوارناشی از گسترش‌جانبی پی ساختمان.



شکل ۲۳ـ مایل شدن برج یادبود بر اثر نشســت نایکسان ناشی از روانگری خاک.

شکل ۲۵ـ ترک در پوشش بتن مسلحی داخل تونل شکل ۲۴.