

سازمان برنامه و بودجه

زلزله ۴ مارس ۱۹۷۷ کشور رومانی

از

علی اکبر معین فر



مقدمه

در ساعت ۹ و ۲۲ دقیقه بعد از ظهر (بوقت محلی) روز جمعه چهارم ماه مارس ۱۹۷۷ زلزله شدیدی خساک کشور رومانی و قسمتی از اروپای شرقی را به لرزه در آورد و خسارات و تلفات زیادی به شهر بوخارست و شهرهای زمینی چیا (Zimnicea) و کرایوا (Craiova) و الکساندریا (Alexandria) و پاره ای دیگر از نقاط کشور رومانی و شهر اسویس لیف (Svisliov) در کشور بلغارستان وارد آورد . بر طبق آمار رسمی جمعاً " در کشور رومانی در اثر زلزله ۱۸۰۰ نفر کشته شدند ، خسارات زلزله در کشور رومانی به حدود ۵۰۰ میلیون دلار برآورد میگردد .

مرکز زلزله (Epicenter) در فاصله ۱۶۰ کیلومتری شمال شرق شیر بوخارست حوالی روستاهای (Brisest) و (Noruja) در نزدیکی شهر فوکشان (Focsani) قرار داشته است که در منطقه ورنچیا (Vrancea) و در جنوب کوههای کارپاتیان (Carpathian) واقع شده است .

آنچه بیش از هر چیز این زلزله را مشخص میسازد گسترده بودن دامنه خسارات آن میباشد که بصورت یک بیضی که طول قطر اطولش در امتداد شمال شرقی بجنوب غربی حدود ۳۰۰ کیلومتر میباشد تا سواحل رودخانه دانوب ادامه داشته و قسمتی از خاک بلغارستان را نیز در برمیگیرد ، شهریک میلیون و هفتصد هزار نفری بوخارست تقریباً در نیمه راه بین دانوب و کوههای کارپاتیان است .

شدت زلزله بحدی بوده است که از رم تا مسکو احساس گردید و در استانبول و بلغراد موجب وحشت اهالی شد . بیشتر خسارات این زلزله به شهر بوخارست وارد شد ، در این شهر تعدادی ساختمان و چند مرکز عمومی کسه در موقع وقوع زلزله دارای جمعیت بودند (رستورانها) خراب گردید و بطور کلی ۸۵ درصد از تلفات زلزله مربوط این شهر میباشد .

در شهر بوخارست به تعدادی ساختمان که اسکلت آنها بتن آرمه بود خسارت زیاد رسید و پاره ای از این ساختمانها بکلی خراب و موجب تلفاتی گردیدند ، این نوع ساختمانها بیشتر ساختمانهائی هستند که قبل از سال ۱۹۴۰ ساخته شده و در زلزله سال ۱۹۴۰ رومانی خساراتی دیده و بعد بخوبی تقویت نگردیده بودند . تعداد زیادی ساختمانهای بتن آرمه که صحیح طرح و اجرا شده بودند در زلزله اخیر بخوبی مقاومت کردند .

در حدود ۳۰۰ کیلومتری جنوبی مرکز زلزله در سواحل دانوب به شهر زمینی چیا در کشور رومانی آسیب فراوان رسید و ساختمانهای این شهر که نوعاً " گلی است خسارات زیادی دیدند همچنین در ساحل دیگر دانوب به شهر اسویس لیف در کشور بلغارستان آسیب هائی وارد آمد و در این کشور نیز جمعاً " ۱۰۸ نفر کشته شدند و سسه ساختمان بلند با پرید طبیعی بیش از ۸/۰ ثانیه بطور کامل خراب شد .

نگارنده حدود ۲ ماه پس از وقوع زلزله از منطقه زلزله زده در کشور رومانی بازدید بعمل آورد وبا وجودیکه خصوصا " در شهر بوخارست بلافاصله اقدام به خراب کردن تعداد زیادی از ساختمانهای آسیب دیده وبرچیدن و تمیز کردن محل آنها نموده بودند هنوز موارد زیادی موجود بود که قابل مطالعه میباشد. این نشریه حاصل بازدید دو هفته در کشور رومانی و مشاهداتی است که در نقاط مختلف منطقه آسیب دیده آن کشور بعمل آمد و در مواردیکه بعلت برچیده شدن ساختمان و یا عدم بازدید شخصی دسترسی به آثار زلزله میسرنبوده است از ملاحظات کارشناسانی که بلافاصله پس از وقوع زلزله محل را بازدید نموده بودند استفاده شده است .

زلزله چهارم مارس ۱۹۷۷ کشور رومانی اطلاعات کلی در مورد منطقه

کشور رومانی با وسعت معادل ۲۰۰۷۴۴ کیلومتر مربع در جنوب شرقی اروپا واقع شده است و جمعیت آن حدود ۲۲ میلیون نفر میباشد ، کوههای کارپاتیان (Carpathian) که در امتداد سلسله جبال آلپ است در این کشور قرار دارد ، این کوهها با حداکثر ارتفاع ۲۵۳۷ متر از شمال کشور بطرف جنوب ادامه داشته و با انحناء در نواحی مرکزی کشور بطرف جنوب غربی ادامه مییابد و در نتیجه دشت های واقع در شرق و جنوب رومانی را از دشت شمال غربی آن کشور جدا میسازد . شهر بوخارست با جمعیت حدود ۱۷۰۰۰۰۰ نفر در دشت جنوب قرار گرفته است و ارتفاع این شهر از سطح دریابین ۵۳ و ۹۶ متر است ، رودخانه دیم بوویتا (Dimbovita) از این شهر عبور مینماید و تعدادی دریاچه بهم پیوسته در شمال این شهر قرار دارد .

در جنوب کشور رومانی رودخانه دانوب قرار دارد که مرز کشور رومانی با کشورهای بلغارستان و یوگسلاوی است ، شهر کوچک زمینی چیا (Zimnicea) با جمعیت حدود ۱۶۰۰۰ نفر در مجاورت رودخانه دانوب و فاصله حدود ۱۱۰ کیلومتر در جنوب غربی بوخارست و شهر الکساندرا (Alexandria) با جمعیت حدود ۳۶۰۰۰ نفر فاصله حدود ۲۵ کیلومتر در شمال زمینی چیا است ، شهر کرایوا (Craiova) با جمعیت حدود ۱۸۵۰۰۰ نفر در ۱۸۰ کیلومتری غرب بوخارست قرار گرفته است . نواحی نفتی و تاسیسات پتروشیمی کشور رومانی در منطقه پلیوشت (Ploiesti) است که در فاصله ۶۰ کیلومتری شمال بوخارست میباشد . شهر فوکشان (Focsani) که مرکز زلزله اخیر نزدیک به آن شهر بوده است در منطقه ورنچیا (Vrancea) در فاصله ۱۶۰ کیلومتری شمال شرقی بوخارست و در نزدیکی کوههای کارپاتیان واقع شده است ، مراکز زلزله های گذشته کشور رومانی نیز عموماً در این منطقه بوده است .

مختصات مرکز ، ساعت وقوع ، بزرگی و شدت زلزله

زلزله در ساعت ۱۹ و ۲۱ دقیقه و ۵۶/۲ ثانیه (بوقت گرینویچ) در روز ۴ مارس ۱۹۷۷ روی داد و در ناحیه وسیعی احساس شد بطوریکه مثلاً " در مسکو (۱۵۰۰ کیلومتری شمال) در جزیره کرت (۱۰۰۰ کیلومتری جنوب) و در تریست (۱۰۰۰ کیلومتری غرب) این زلزله احساس گردید .

مرکز زلزله (epicenter) در فاصله ۱۶۰ کیلومتری شمال شرقی بوخارست قرار داشت که بر طبق گزارشهای U.S.G.S مختصات جغرافیائی آن ۴۵/۸۴ درجه عرض شمالی و ۲۶/۷۳ درجه طول شرقی است ، بر طبق محاسبه استراسبورگ زلزله در ۴۵/۷۸ درجه عرض شمالی و ۲۶/۵۸ درجه طول شرقی بوده است و بهر حال مرکز زلزله در منطقه ورنچیا (Vrancea) و در کوهستان کارپاتیان (Carpathian) قرار داشته است که از

قدیم الایام از مناطق زلزله خیز شناخته شده است .

کانون زلزله (Focus) بر طبق محاسبه U.S.G.S در عمق ۹۱ کیلومتری و بر طبق گزارش برکلی در عمق ۶۱ کیلومتر و بر طبق گزارش استراسبورگ در ۹۳ کیلومتری قرار داشته است و با این ترتیب زلزله از نوع زلزله های با عمق متوسط بوده است و این موضوع وسعت منطقه تحت تاثیر این زلزله را توجیه میکند .

بزرگی (Magnitude) زلزله بر طبق محاسبه U.S.G.S برابر ۷/۲ بوده است که جزو زلزله های با بزرگی زیاد است که بندرت در اروپا اتفاق میافتد . شدت (Intensity) زلزله در شهر بوخارست که فاصله آن تا مرکز زلزله به حدود ۱۶۰ کیلومتر بالغ میگردد در حدود ۸ (با مقیاس اصلاحی مرکالی) و در سایر نقاط بشرح زیر تخمین زده میشود .

در زمینی جیا (Zimnicea) بفاصله حدود ۳۰۰ کیلومتری جنوب غرب مرکز زلزله حدود ۷ یا ۸

در کرایوا (Craiova) بفاصله حدود ۳۰۰ کیلومتری جنوب غرب از مرکز زلزله حدود ۷

در براشوف (Brasov) بفاصله حدود ۱۲۰ کیلومتر غرب مرکز زلزله حدود ۵

در حوالی مرزهای شمالی کشور رومانی حدود ۴

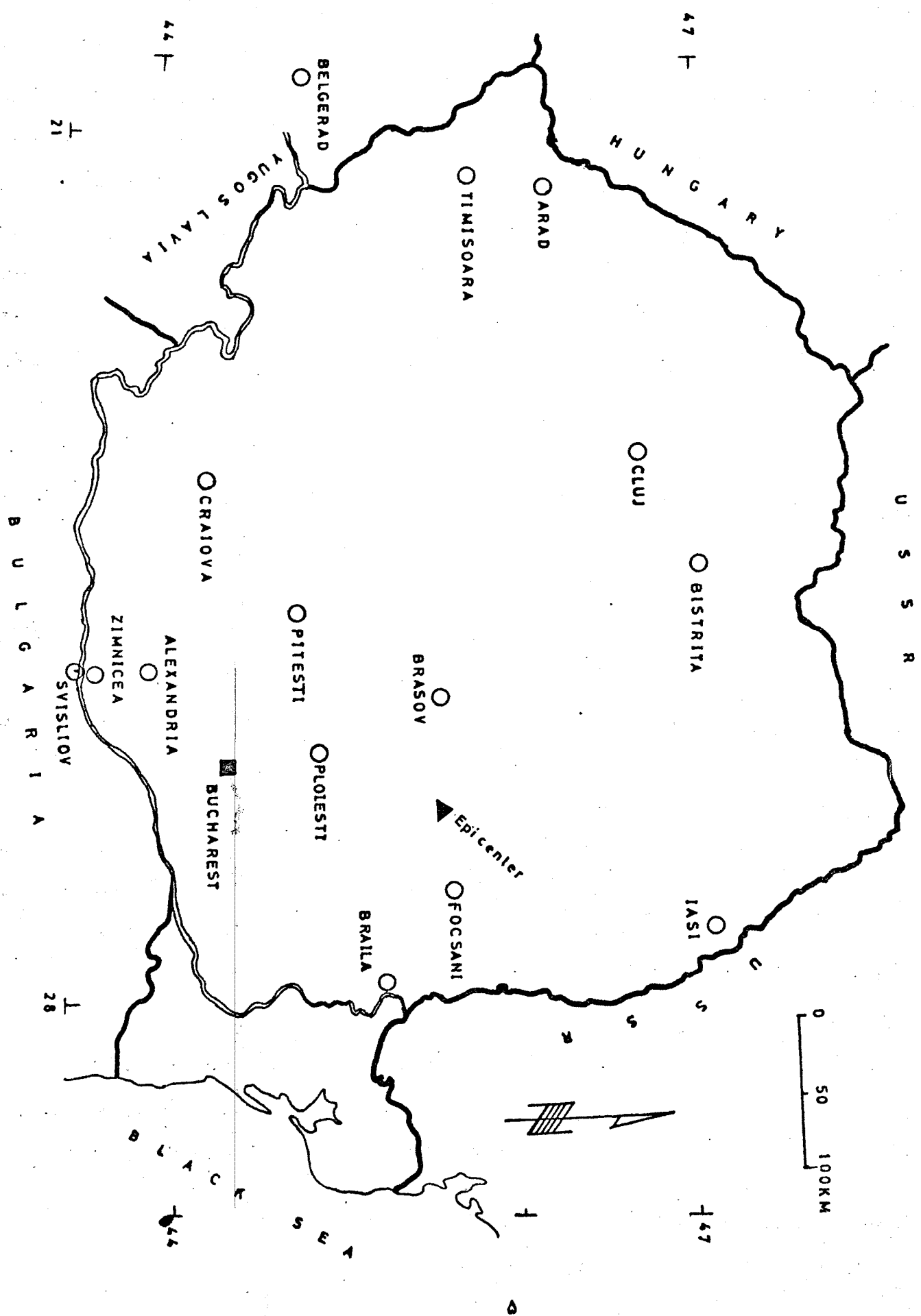
در شرق کشور یوگسلاوی حدود ۶

در قسمتهای مرکزی کشور یوگسلاوی حدود ۵

بطوریکه ملاحظه میشود حداکثر مقدار شدت در بوخارست و زمینی جیا یعنی نواحی دور از مرکز زلزله اتفاق افتاده است و این نکته قابل توجه است که در حوالی مرکز زلزله شدت چندان زیاد نبوده است مثلاً " در ورنچی اویا (حدود ۲ کیلومتری مرکز زلزله) اثر زلزله خیلی کم و در حدود ایجاد شکاف در دیوارهای گلی بوده است و یا در فوکشان (Focsani) که در نزدیکی مرکز زلزله بوده و در بوژاو (Buzau) که بین مرکز زلزله و شهر بوخارست قرار دارد شدت زلزله بمراتب کمتر از شدت در بوخارست بوده رتتها دیوارهای غیر مسلح با مصالح بنائیی در ساختمانهای کوتاه بطور جزئی و یا بعضاً " کلی خراب شده اند .

گرچه ناهم آهنگ بودن شدت زلزله را در زلزله رومانی میتوان بعلت عوامل مربوط به نوع زمین و تشدید ناشی از نوع خاص خاک (Soil Amplification) توجیه نمود ولی با توجه به اینکه در شهر بوخارست بیشتر خسارات در ساختمانهای بلند بوده و ساختمانهای کوتاه کمتر آسیب دیده اند شاید بتوان گفت که برآوردی که معمولاً بعنوان شدت (Intensity) زلزله انجام میگیرد در اینجا صادق نباشد زیرا انواعی از ساختمانهای بنائی در این زلزله در شهر بوخارست از آسیب محفوظ ماندند و یا خسارت زیادی ندیدند که علی القاعده در اثر زلزله با شدت ۸ باید خراب میشدند بنابراین کاربرد شدت مرکالی که خود اساساً " غیر علمی است در اینگونه موارد بخصوص گمراه کننده نیز میباشد .

آنچه در زلزله رومانی جالب توجه میباشد اثری است که زلزله بیشتر در ساختمانهای بلند که پرید طبیعی نوسان آنها حدود یک ثانیه بوده است داشته است و بخوبی موضوع تاثیر زلزله راه دور را در این قبیل ساختمانها که



بفاصله بیش از ۱۶۰ کیلومتر از مرکز زلزله قرار داشتند نشان میدهد، در شهر بوخارست ۳۵ ساختمان مرتفع بتن آرمه از این نوع خراب گردید و به تعداد زیادی ساختمان دیگر آسیب دید در حالیکه به ساختمانهای با پرید طبیعی نوسان کم خسارت چندانی وارد نشد و در حقیقت اگر انواع ساختمانهای بلند در این شهر موجود نبود ملاحظه خرابی بر روی ساختمانهای کوتاه بیننده را به تخمین شدت زلزله ۸ برای این شهر رهنمون نمیکردید، در مقام تذکر میتوان یادآوری کرد که در زلزله دهم شهریورماه ۱۳۴۱ بوئین زهرا که در ۱۲ کیلومتری تهران روی داد و تهران بشدت تکان خورد خسارت وارده به ساختمانهای تهران از حدود پاره ای ترکهای غیر مهم در بعضی از ساختمانها تجاوز ننمود، بر حسب مقیاس اصلاحی مرکالی شدت زلزله در این شهر در حدود ۵ تخمین زده شد و از آنجا که در آنموقع ساختمانهای بلند در مقیاس فعلی در تهران وجود نداشت خسارتی در تهران ملاحظه نشد در حالیکه اگر در شرائط فعلی که تعداد ساختمانهای مرتفع تهران زیاد است همان زلزله و با همان بزرگی و در همان فاصله دور از تهران روی دهد باید در انتظار خساراتی باین قبیل ساختمانها بود و چه بسا در این حال برآوردی که بعنوان شدت زلزله، در این شهر میشود بمراتب بیش از میزانی باشد که در زلزله سال ۱۳۴۱ بوئین زهرا برای تهران در نظر گرفته شد.

پیش لرزه ها (Foreshocks) و پس لرزه ها (Aftershocks)

آخرین زلزله ای که قبل از زلزله اخیر در حوالی مرکز این زلزله اتفاق افتاده است زلزله ای است که ۵ ماه قبل از زلزله اخیر در روز اول اکتبر ۱۹۷۶ در عمق ۱۴۰ کیلومتری و با بزرگی (Magnitude) ۵/۵ در ورنجیا روی داده است. مختصات جغرافیائی مرکز زلزله مزبور ۲۵/۸ درجه عرض شمالی و ۲۶/۵ درجه طول شرقی بوده است که تقریباً "منطبق با مرکز زلزله اخیر است و پس از آن گزارشی در مورد اینکه تا وقوع این زلزله، زلزله ای در این نقطه روی داده است موجود نیست.

پس از زلزله اخیر پس لرزه های (Aftershocks) زیادی با بزرگی کم بوقوع پیوسته است و گرچه هنوز هم این پس لرزه ها ادامه دارند ولی عموماً "با بزرگی کم میباشند و بالاترین بزرگی که برای پس لرزه ها ثبت شده است در همان روزهای اول بعد از وقوع زلزله و با بزرگی ۴/۳ بود، است.

آثار روی زمین

در این زلزله وقوع هیچگونه گسل (Fault) و یا تغییر شکل در سطح زمین گزارش نشده است. در حوالی دانوب در زمینهای بین زمینی چیا (Zimnicea) و براگادیرو (Bragadiru) و پاره ای نقاط دیگر پدیده خمیرگونگی (Liquefaction) گزارش شده است (سطح آب زیر زمینی در حوالی شهر زمینی چیا ۱۲ تا ۱۴ متر میباشد)

همچنین گویا در شهر بوخارست در نزدیکی رودخانه دیم بوویتا (Dimboita) این پدیده بطور مختصر مشاهده شده است .

سوابق زلزله خیزی منطقه

در جدول زیر زلزله هائی که از ابتدای قرن اخیر میلادی در کشور رومانی روی داده و بزرگی (Magnitude) آنها بیش از ۵/۵ بوده است ذکر گردیده است .

بزرگی	عمق (کیلومتر)	مرکز وقوع	تاریخ
۶/۸	۱۲۵	45.5 N - 26.5 E	۶ اکتبر ۱۹۰۸
۶/۴	۹۰	45.7 N - 27.2 E	۲۵ مه ۱۹۱۲
۵/۸	۱۰۰	45.7 N - 27.2 E	۲۵ مه ۱۹۱۲
۵/۷	۱۰۰	47.7 N - 27.2 E	۱۹ آوریل ۱۹۱۹
۵/۶	۱۲۰	45.7 N - 26.6 E	۹ اوت ۱۹۱۹
۵/۶	۱۲۰	45.9 N - 26.5 E	۳۰ مارس ۱۹۲۸
۵/۶	۱۰۰	45.8 N - 26.5 E	۴۰ مه ۱۹۲۹
۶/۶	۱۶۰	45.9 N - 26.5 E	۱ نوامبر ۱۹۲۹
۶/۹	۹۰	45.8 N - 26.5 E	۲۹ مارس ۱۹۳۴
۶/۱	۱۲۰	45.9 N - 26.7 E	۵ سپتامبر ۱۹۳۹
۶/۲	۱۲۵	45.9 N - 26.9 E	۲۲ اکتبر ۱۹۴۰
۷/۴	۱۲۵	45.9 N - 26.7 E	۱۰ نوامبر ۱۹۴۰
۵/۸	۱۲۵	45.6 N - 26.4 E	۱۲ مارس ۱۹۴۵
۶/۵	۸۰	45.9 N - 26.5 E	۷ سپتامبر ۱۹۴۵
۶/۲	۸۰	45.7 N - 26.8 E	۹ دسامبر ۱۹۴۵
۶	۱۳۰	45.8 N - 26.5 E	۲۹ مه ۱۹۴۸
۵/۵	۱۴۰	45.8 N - 26.5 E	۱ اکتبر ۱۹۷۶
۷/۲	۹۱	45.8 N - 26.7 E	۴ مارس ۱۹۷۷

بطوریکه ملاحظه میشود کلیه این زلزله ها در یک منطقه خاص بوقوع پیوسته است و عمق کانون آنها نیز عموماً " در حدود ۱۰۰ کیلومتر بوده است .

در بین این زلزله ها ، زلزله دهم نوامبر ۱۹۴۰ که با بزرگی ۷/۴ بوقوع پیوست مخربترین آنها بوده است ، زلزله مزبور موجب خرابیهائی در شهر بوخارست گردید و مقداری از خرابیهائی که در زلزله اخیر ایجاد شده است میراثی است که زلزله سال ۱۹۴۰ بجای گذارده است بدین معنی که موجب تضعیف ساختمانها گردیده و در نتیجه آن ساختمانها با زلزله اخیر ویران شد .

زلزله دهم نوامبر ۱۹۴۰ گرچه تقریباً " در همین مرکز زلزله اخیر بوقوع پیوسته بود ونحوه خرابیهای آن خیلی مشابه با نحوه خرابیهای زلزله اخیر بود لکن گسترش خرابیهای آن در ناحیه جنوبی کشور بشدت خرابیهای این زلزله نبود . در زلزله سال ۱۹۴۰ حدود ۱۰۰۰۰ نفر در بوخارست کشته شدند و تعداد زیادی ساختمان منجمله یک ساختمان ۱۴ طبقه بتن آرمه (هتل کارلتون) خراب شد که تنها در این ساختمان ۲۶۷ نفر کشته شدند ، گرچه پس از زلزله ۱۹۴۰ ساختمانیهای عمومی و ساختمانیهای چند طبقه بتن آرمه (۵ تا ۹ طبقه) تعمیر گردید لیکن نسبت به تقویت این ساختمانها اقدام جدی صورت نگرفت از طرفی به تعدادی از این ساختمانها در هنگام جنگ جهانی دوم نیز آسیب هائی وارد آمد و با این ترتیب در هنگام وقوع زلزله اخیر رومانی تعداد زیادی ساختمان در شهر بوخارست موجود بود که علاوه بر اینکه ساختمانیهای آنها مربوط به قبل از سال ۱۹۴۰ بود که اساساً " موضوع محاسبه در برابر زلزله در آنها رعایت نگردیده بود دارای نقاطضعفی نیز بود که زلزله قبلی وجنگ جهانی ایجاد کرده بود .

نمودارهای دستگاههای اندازه گیری حرکت شدید

در هنگام وقوع زلزله در تمام کشور رومانی جمعا " نه دستگاه شتاب نگار (Strong Motion accelerograph) و دو دستگاه سیمسکوپ (Seismoscope) نصب شده بود که از پاره ای از آنها نمودارهایی بدست آمد . نوع شتاب نگارهای کشور رومانی MO-2 (ساخت کشور زلاندنو) ، SMAC (ساخت کشور ژاپون) و بالاخره RMT-280 (ساخت کشور آمریکا) و نوع دستگاههای سیمسکوپ ، ویلموت (ساخت کشور آمریکا) میباشد . همچنین در موقع وقوع زلزله دو دستگاه شتاب نگار از نوع SMA-1 (ساخت کشور آمریکا) مربوط به پیروزه یونسکو در کشورهای بالکان در کشور رومانی موجود بود که نصب نشده بود ، و نیز بلافاصله پس از وقوع زلزله چند دستگاه شتاب نگار SMA-1 به کشور رومانی وارد و برای ثبت نمودارهای احتمالی مربوط به پس لرزه ها (After Shocks) در چند محل نصب گردید . جدول زیر محل قرار گرفتن دستگاههای شتاب نگار رومانی را در موقع وقوع زلزله و فاصله هر کدام از آنها را از مرکز زلزله نوع این دستگاه ها را مشخص میسازد .

محل دستگاه	نصب شده در	فاصله از مرکز کیلومتر	نوع دستگاه	ملاحظات
ویرنجی اوپا	روی زمین	۲	MO - ۲	دستگاه چرخش فیلم گیر کرده و نمودار کامل نیست
فوکشان	روی زمین	۴۰	MO - ۲	نمودار در موقع ظاهر کردن فیلم از بین رفته
باکو	روی زمین	۷۸	MO - ۲	دستگاه بکار نیافتاده است
گارلاتی	روی زمین	۱۱۰	MO - ۲	دستگاه معیوب بوده است
گارلاتی	بام ساختمان ۱۲ طبقه	۱۱۰	MO - ۲	دستگاه معیوب بوده است
بوخارست	روی زمین	۱۶۰	MO - ۲	دستگاه معیوب بوده است
بوخارست	بام ساختمان ۱۱ طبقه	۱۶۰	MO - ۲	نمودار بدست آمده است
بوخارست	روی زمین	۱۶۰	SMAC-B	نمودار بدست آمده است
بوخارست	طبقه ۱۲ ساختمان ۱۳ طبقه	۱۶۰	RMT -286	نمودار بدست آمده است

دو دستگاه سیسمسکوپ ویلموت در گالاتی و بوخارست (به ترتیب در حدود ۱۱۰ و ۱۶۰ کیلومتری مرکز زلزله) نصب بوده است و هر دو دستگاه نمودارهایی در روی شیشه های خود رسم کرده اند .

دستگاه شتاب نگار SMAC-B که در زیرزمین ساختمان یک طبقه با قاب بتن آرمه در بوخارست قرار گرفته بود نموداری بمدت بیش از ۲۰ ثانیه ثبت کرده است ، نوع زمین محل این ساختمان تا عمق ۱۲ متر خاک رس میباشد که بر روی قشر ضخیمی از لایه های رسوبی قرار گرفته است ، مقدار حداکثر شتابی که مولفه های مختلف دستگاه بدست داده اند در امتداد شرق و غرب حدود ۱۶ درصد ، در امتداد شمال و جنوب ۲۰ درصد و در امتداد قائم ۱۵ درصد شتاب نقل زمین میباشد همچنین یک دستگاه سیسمسکوپ که با پرید نوسان ۰/۷۵ ثانیه و میرائیسی (Damping) ۱۰ درصد در همین ساختمان قرار داشته است در یک جهت میزان حداکثر سرعت ۴۲ سانتیمتر بر ثانیه و در جهت دیگر ۳۳ سانتیمتر بر ثانیه ثبت نموده است .

متاسفانه دستگاه شتاب نگار واقع در ویرانگی اویا که در نزدیکی مرکز زلزله بوده است بعلت اینکه دستگاه چرخش فیلم گیر کرده است نتوانسته است نمودار کامل بدست دهد ، همچنین نمودار دستگاه شتاب نگاری که در فوکشان نصب بوده در موقع ظاهر کردن فیلم از بین رفته است ولی از دستگاه سیسمسکوپ این شهر نموداری بدست آمده است .

ملاحظه نمودار شتاب که از دستگاه SMAC بوخارست بدست آمده است ویژگی این زلزله را در بوخارست نشان میدهد و بیانگر این حقیقت است که مقدار شتاب حداکثر در فرکانس های کم (پریدهای بالا) میباشد و طبیعی است که این زلزله بر روی ساختمانهای دارای پرید زیاد اثربیشتری داشته باشد این نکته رامیتوان از روی طیف های شتاب و همچنین ترانسفورم فوریه مربوط به این مولفه هادریافت ، منحنی ترانسفورم فوریه برای مولفه شمالی جنوبی نشان میدهد که در نقاط $T = 2/41$ ثانیه و $T = 1/71$ ثانیه و $T = 1/24$ ثانیه و $T = 0/57$ ثانیه و $T = 0/50$ ثانیه دارای نقاط اوج است که بیشترین مقدار آن در نقطه $T = 1/71$ ثانیه است همچنین برای مولفه شرقی غربی منحنی ترانسفورم فوریه در نقاط $T = 2/51$ ثانیه و $T = 1/50$ ثانیه و $T = 1/12$ ثانیه و $T = 0/94$ ثانیه و $T = 0/59$ ثانیه دارای اوج است که بیشترین مقدار آن در $T = 2/51$ ثانیه میباشد .

طیف های شتاب که برای مولفه شمالی جنوبی و برای میرائیسی های (Damping) مختلف رسم شده نشان میدهد مقدار شتاب در حوالی پرید $T = 1/70$ ثانیه حداکثر میباشد همچنین در حوالی پرید $T = 1$ ثانیه برای میرائیسیهای صفر و ۵ درصد منحنی طیف دارای اوج میباشد بهمین ترتیب ملاحظه میشود که طیف شتاب مولفه شرقی غربی برای میرائیسی های مختلف در حوالی پرید $T = 0/90$ ثانیه دارای مقدار حداکثر است .

چنانچه طیف شتاب زلزله معروف سال ۱۹۴۰ ال سنترو (El - Centro) که تقریباً بعنوان طیف استاندارد مورد کاربرد عده زیادی قرار گرفته است با طیف های زلزله رومانی مقایسه گردد تفاوت فاحش در پرید ناحیه ایکه حداکثر میزان شتاب بوسیله این دو طیف تعیین میگردد ملاحظه خواهد شد و این نکته نشان میدهد که تا چه

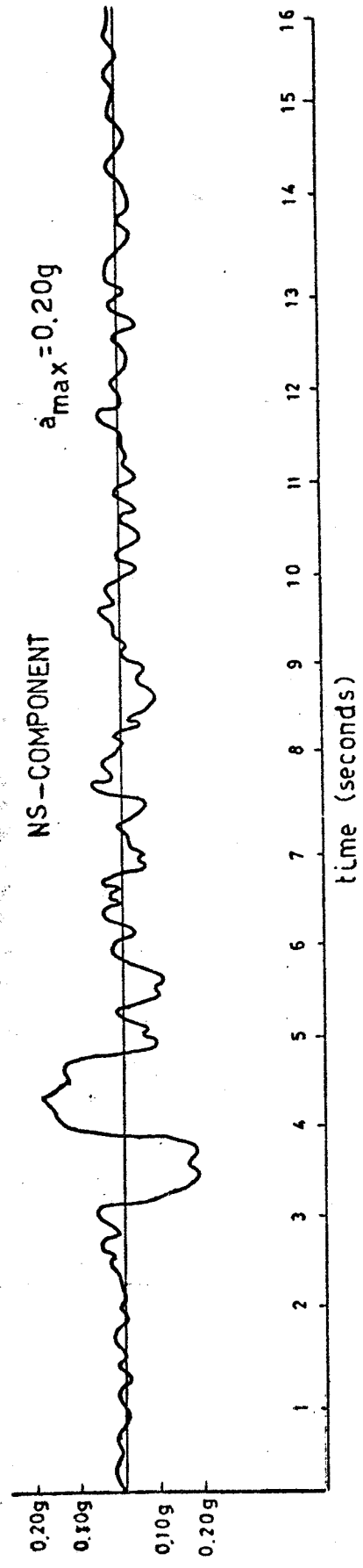
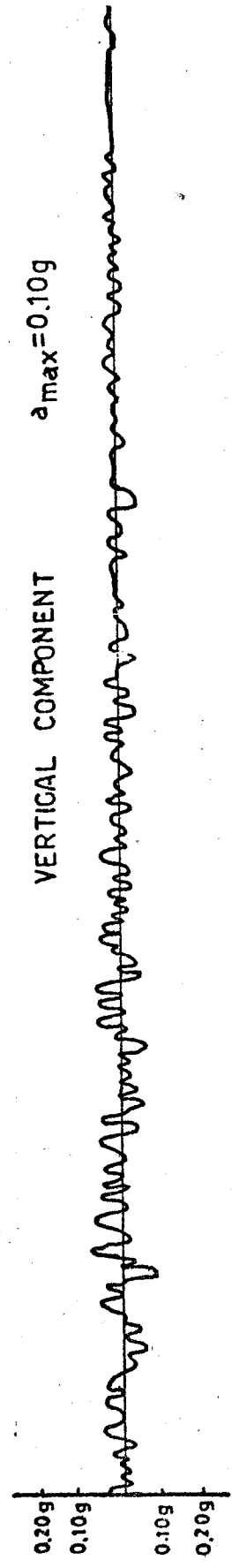
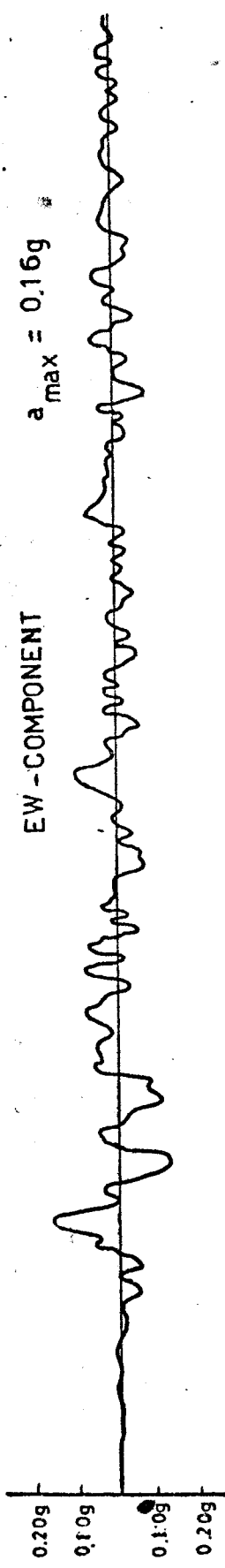
حد کاربرد نتایج یک زلزله که از یک نقطه جهان بدست آمده برای نقطه دیگر جهان بدون توجه بویژگیهای آن نقطه گمراه کننده است بطور مثال عددی که زلزله ال سنترو (پس از نرمالیزه شدن برای مقایسه با زلزله رومانی) برای میرائی صفر در پرید $T = 1/70$ ثانیه بدست میدهد حدود $6/5$ برابر کمتر از عددی است که از نمودار مولفه شمال و جنوب زلزله رومانی در بوخارست بدست میآید در حالیکه برای همین میرائی ولی برای پرید حدود $T = 0/20$ ثانیه عددی که طیف زلزله ال سنترو میدهد $3/8$ برابر بیش از عددی است که از زلزله رومانی نتیجه میگردد (این مطالعات توسط آقای تزجان (۱) و همکارانشان انجام شده و نمودارها در این نشریه ترسیم گردیده است) .

علاوه بر نموداری که از زلزله رومانی در بوخارست بدست آمد در شهرنیش Nis در کشور یوگسلاوی نیز نموداری از یک دستگاه شتاب نگار SMA-1 و سه نمودار از سه دستگاه سیسمسکوپ ویلموت بدست آمده است که از طرف انستیتوی مهندسی زلزله اسکوپیه این نمودارها آنالیز گردیده است . موقعیت جغرافیائی محل دستگاه شتاب نگار ویکی^۱ دستگاههای سیسمسکوپ کشور یوگسلاوی $43/3$ درجه عرض شمالی و $21/9$ درجه طول شرقی بوده است که ب مرکز زلزله رومانی حدود 460 کیلومتر فاصله دارد حداکثر مقدار شتاب نمودارهای دستگاه شتاب نگار یوگسلاوی در امتداد شرقی غربی $4/2$ درصد و در امتداد شمال و جنوب $3/8$ درصد و در امتداد قائم 2 درصد شتاب ثقل زمین میباشد .

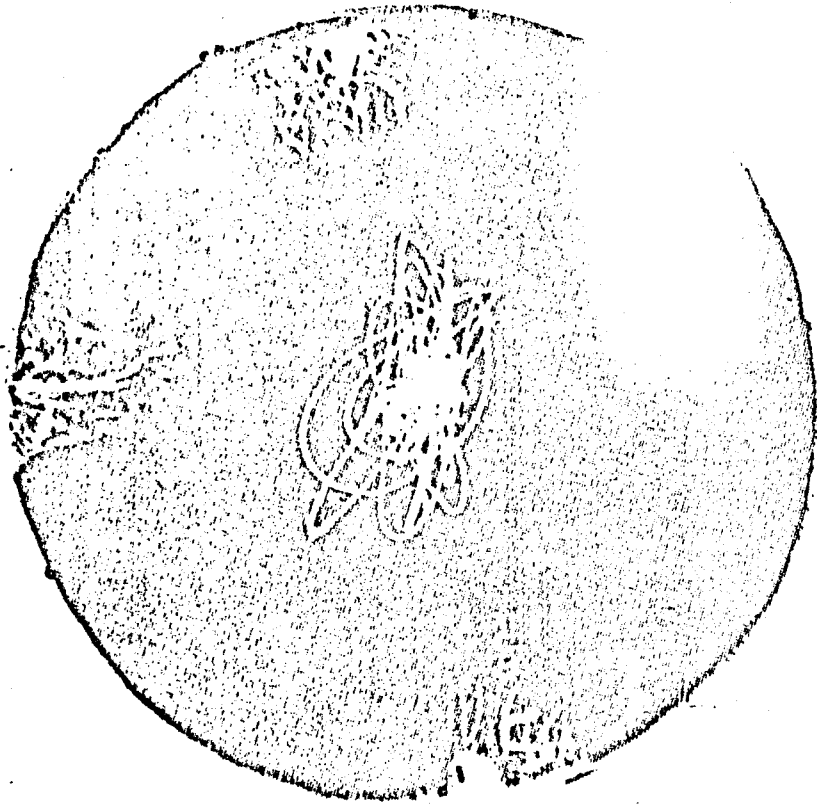
در نمودار سیسمسکوپ واقع در نیش (Nis) در همان محلی که دستگاه شتاب نگار قرار داشته است حداکثر مقدار دامنه منفرد (Single Amplitude Peak) که برابر نصف دو حد نهائی نمودار در امتداد مورد نظراختیار شده است در امتداد شمال و جنوب برابر $0/195$ سانتیمتر و در امتداد شرقی غربی $0/180$ سانتیمتر میباشد که با توجه به اینکه پرید پاندول برابر $0/71$ ثانیه و مقدار میرائی (damping) آن برابر 14 درصد بوده است برای طیف تغییر مکان مقادیر $0/59$ و $0/55$ سانتیمتر و برای طیف سرعت مقادیر $5/3$ و $4/9$ سانتیمتر برثانیسه به ترتیب برای مولفه شمالی جنوبی و مولفه شرقی غربی در میرائی ده درصد محاسبه شده است .

بطور کلی با در نظر گرفتن اینکه دستگاه سیسمسکوپ و دستگاه شتاب نگار شهر نیش هر دو در یک محل قرارداشتهاند مقایسه نتایج آنها میتواند جالب باشد و با محاسباتی که از طرف موسسه مهندسی زلزله اسکوپیه انجام گرفته است نشان داده میشود که نتایج حاصله فقط حدود ده درصد اختلاف دارند که با این ترتیب ارزش اندازه گیری زلزله را با دستگاه سیسمسکوپ نشان میدهد .

(۱) - Professor Semih.S Tezcan etal Bogazici university Istanbul

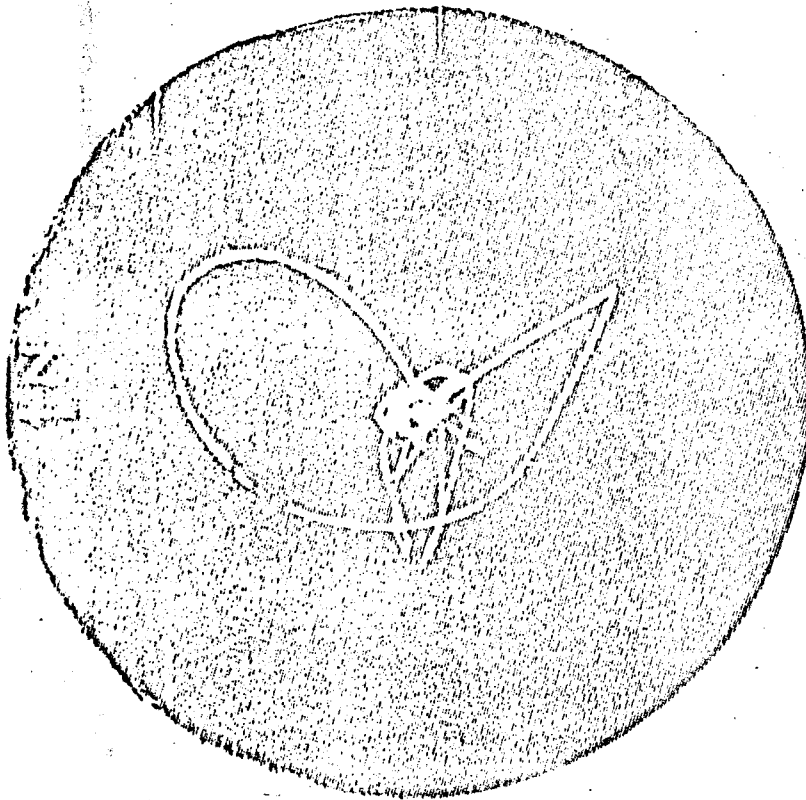


نمودار دستگیر شده در INCERC بوخارست



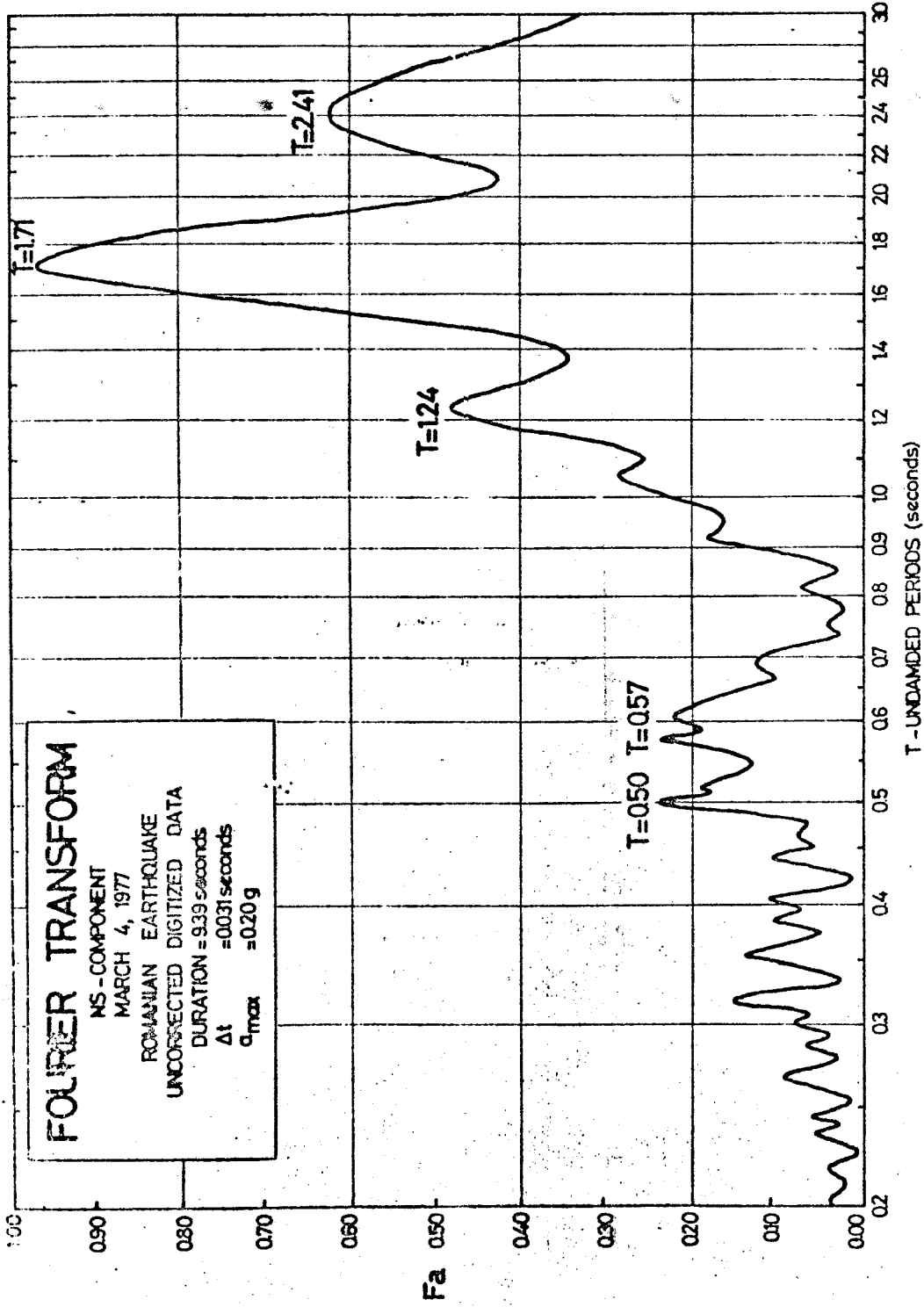
Galati

2 cm



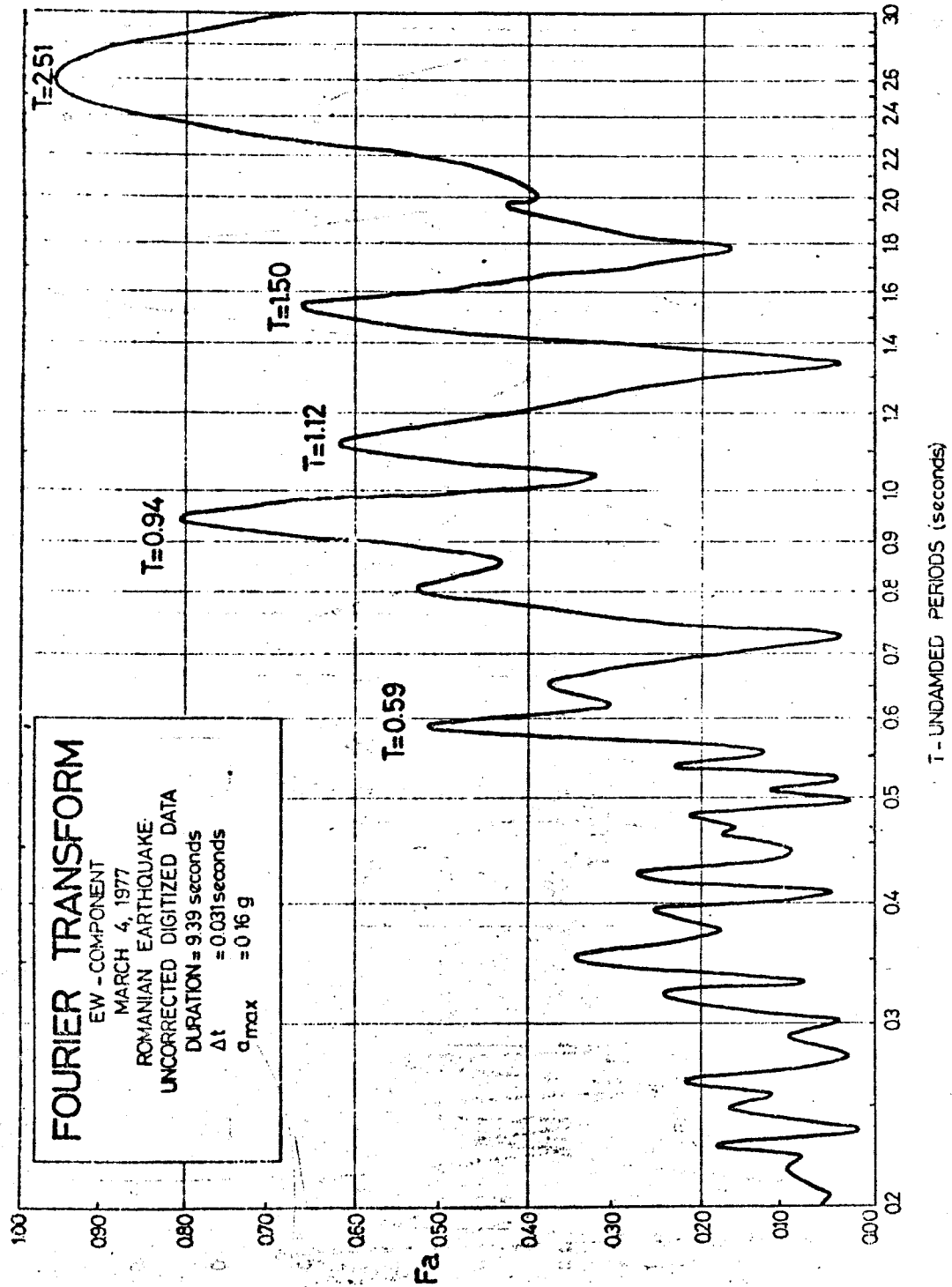
Bucuresti

نمودارهای سیمسکوپ ویلموت در کالاتی (حدود ۱۰ کیلومتری مرکز زلزله) و در بوخارست (حدود ۶۰ کیلومتری مرکز زلزله)

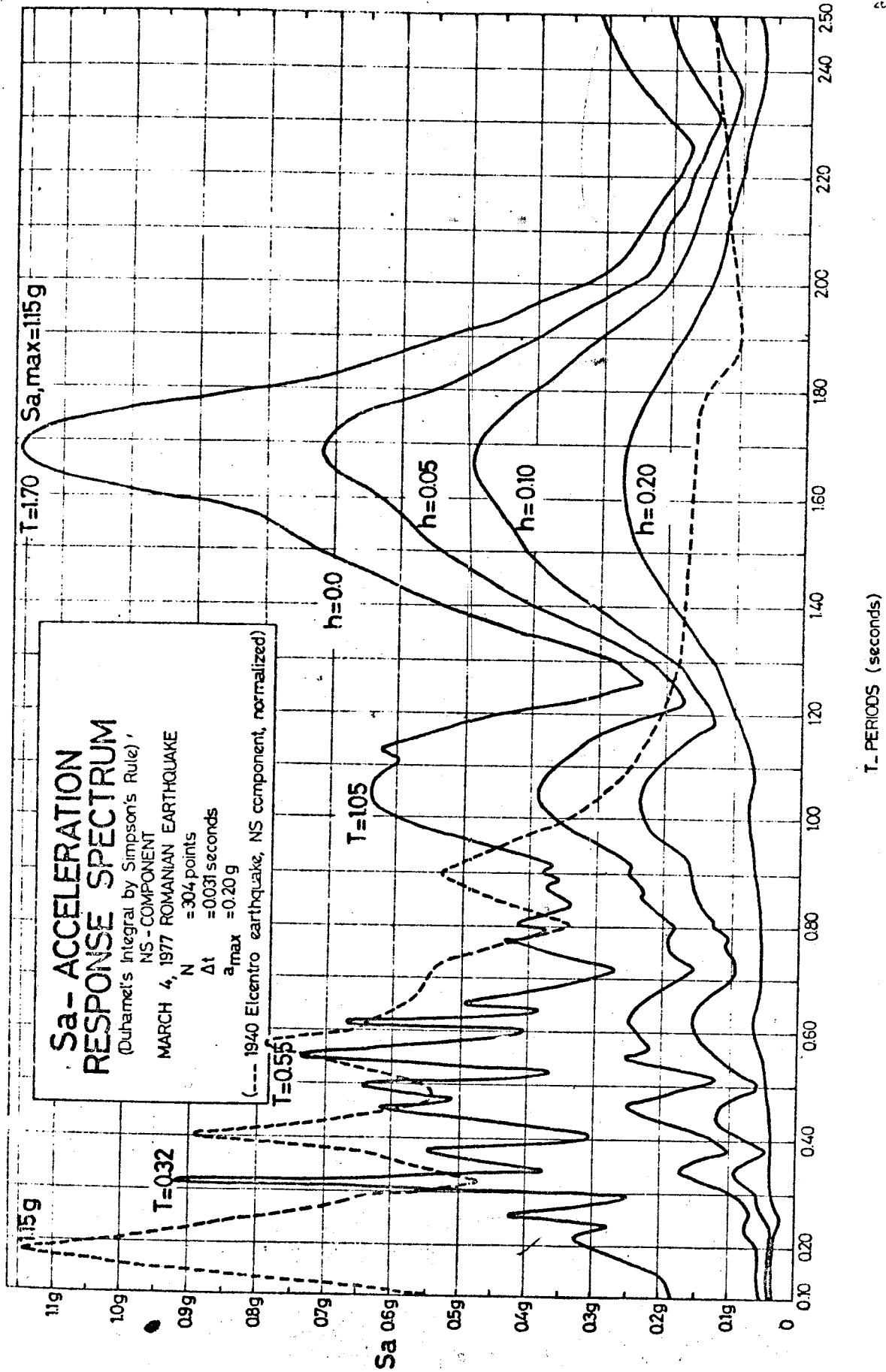


تراנסفورم فوریه برای مولفه شمالی جنوبی نمودار بوخارست

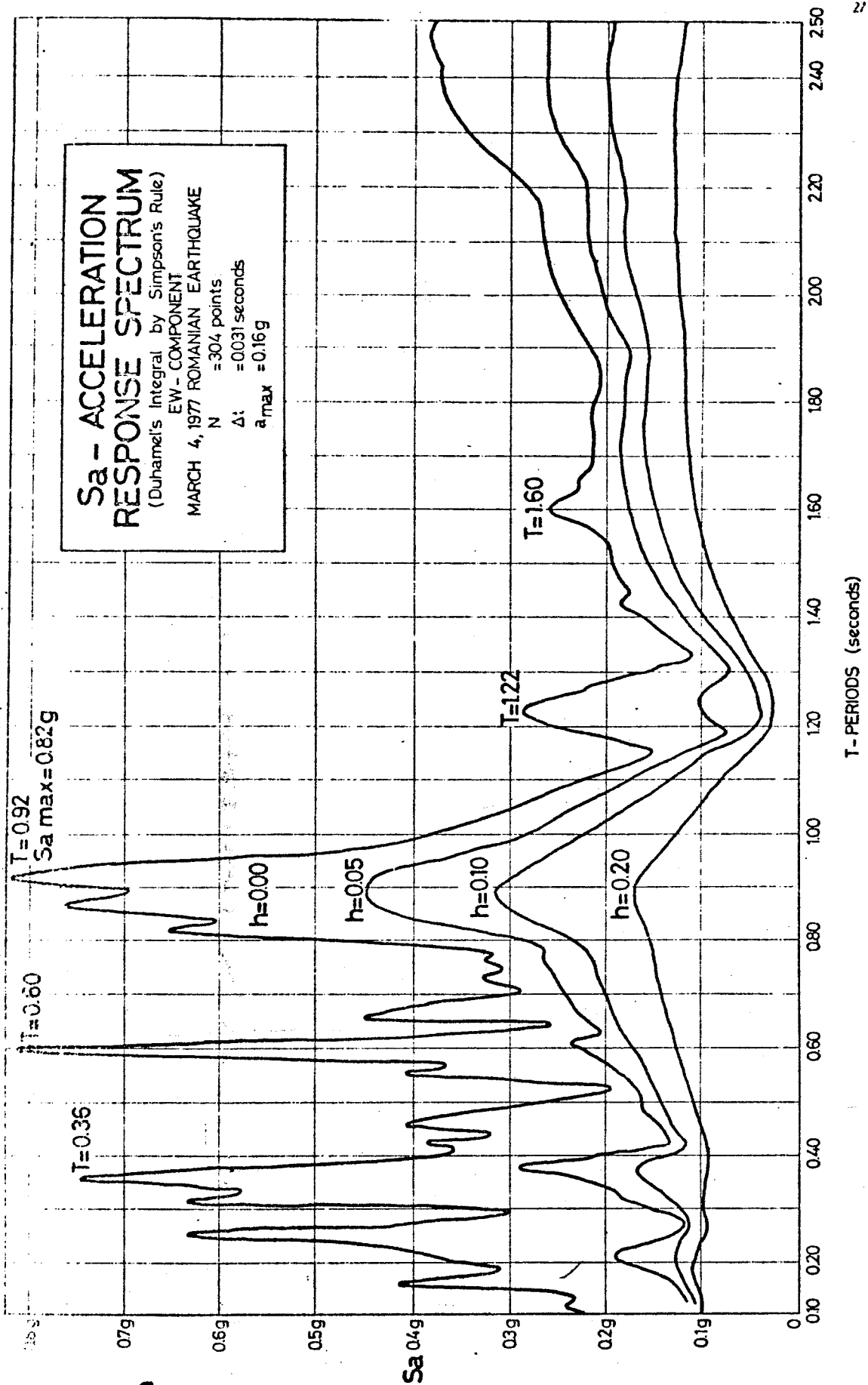
(Prof S.Tezcan et al)



ترانسفورم فوریه برای مولفه شرقی نمودار ریخارست
 (Prof. S. Tezcan et al)



طيف شتاب برای مولفه شمالی زمین‌نمود ازبوخارست و برای میراثی های مختلف
 د رایس صفحه انجمن طیف شتاب زلزله سال (Prof S.Tezcan et al)
 ال سنتر ویا میراثی صفر برای مقایسه نقاط اوج رسم شد ۱۹۶۰ است



طیف شتاب مولفه شرقی غربی نمودار بوخارست برای
 میراثی های مختلف (Prof. S.Tezcan et al)

اثر زلزله بر ساختمانها

همانطوریکه قبلا" بیان شد قسمت اعظم خسارات به ساختمانهای شهر بزرگ بوخارست وارد شد ولی خوشبختانه تعداد تلفات کمتر از میزانی است که از چنین زلزله ای انتظار می رود، فاصله نسبتا" دور مرکز زلزله (epicenter) از شهر بوخارست موجب گردید که این شهر در حدود ۲۰ ثانیه اول وقوع زلزله تنها با موج P و با انرژی کم بلرزه درآید و این مدت تا ورود ضربات موج S فرصتی بود که عده ای از ساکنین ساختمانها فرار کرده و جان خود را نجات دهند بطور مثال میتوان گفت که با وجودیکه ساختمان مرکز کامپیوتر در بوخارست در اثر زلزله کاملا" خراب گردید موجب مرگ کسی نشد .

زلزله رومانی بیشتر در ساختمانهای بلند و یا پرید زیاد اثر داشت و بطور کلی مطالعه اثر این زلزله در ساختمانهای با پرید زیاد میتواند آموزنده باشد . به انواع دیگر از ساختمانها چه در شهر بوخارست و چه در سایر نقاط رومانی نیز آسیب هائی رسید و همچنین تعداد زیادی ساختمان اعم از ساختمان بلند و یا ساختمانهای کوتاه و قدیمی از آسیب محفوظ ماند .

در این بخش به تعدادی از ساختمانها از انواع مختلف که در آزمایش زلزله رومانی آسیب دیده و یا از آسیب محفوظ مانده اند اشاره خواهد شد .

خسارت وارده به ساختمانهای بلند بیشتر در دیوارهای غیربار میباشد که نتوانسته اند با اسکلت ساختمان حرکت نمایند همچنین گاه پاره ای از جزئیات ضعیف اجرائی از قبیل فاصله زیاد بین تنگ ها در ستونها موجب صدمه زیادی به ساختمان گردیده است در موردی دیده شده که در محلی که یکی از تیرها را برای عبور لوله سسوراخ کرده اند خسارت زیادی بآن قسمت وارده شده است .

از موارد خسارت قابل توجهی که در اغلب ساختمانها بخصوص ساختمانهای مرتفع دیده شد ریختن سنگ ها و یا سرامیک روی نمای ساختمانها میباشد ، این قبیل خسارات میتواند گاهی موجب مرگ عده ای گردد .

ساختمانهای پیش ساخته شده بتن آرمه

زلزله رومانی از نظر آزمایش ساختمانهای بتنی پیش ساخته مفید بود و بطور کلی خسارت وارده در ساختمانهای یا پانل های بزرگ بتن پیش ساخته بسیار اندک بود ، علت این امر ممکن است به سبب توجه دقیقی باشد که کشور رومانی به نوع اتصالات این قبیل ساختمانها و نوع ساخت و نصب قطعات آن دارد .

در رومانی هیچ ساختمان پیش ساخته قبل از آنکه مدل آنها ساخته و در روی میز لرزان لرزانده و یا به وسائیل دیگر آزمایش و خصوصا" اتصالات آن امتحان شود در مقیاس عملی اجرا نمیکردند . نوع اتصالات این پانلهای

عموماً "بوسیله جوش میباید و اگر این مراقبت قبلی در مورد ساختمانهای پیش ساخته شده بتنی نبود این نوع ساختمانها محتملاً" در این زلزله مسئول تلفات و خساراتی میبودند. آنچه در این مورد میتوان با قاطعیت اظهار کرد مقایسه وضع ساختمانهای پیش ساخته بتنی کشور رومانی و ساختمانهای پیش ساخته ای است که اخیراً" در کشور ایران رایج شده است که تفاوت به میزانی است که احتمال وقوع یک زلزله مخرب میتواند نگرانی شدیدی را در مورد عملکرد این نوع ساختمانها در ایران برانگیزاند.

حدود ۳۰ درصد از ساختمانی مسکونی در کشور رومانی ساختمان پیش ساخته شده پانلی بتن آرمه است و مجموعاً ۳۰۰۰۰۰ ساختمان پانلی در تمام کشور رومانی موجود است خسارتی که در این نوع ساختمانها دیده شد ترک قائم در طول دو دیوار عمود برهم و یا ترکهای افقی در تراز کفها است.

تعداد طبقات ساختمانهای پانلی با احتساب طبقه هم کف عموماً ۵ طبقه است ولی در شهر بوخارست ساختمانهای ۸ و ۹ طبقه پانلی نیز ساخته شده است پاره ای از این ساختمانهای ۸ طبقه در حدود ۱۶ سال قبل ساخته شده است ولی بهر حال در هر مورد مدل این ساختمانها قبلاً" با مقیاس $\frac{1}{4}$ و اتصالات آنها با مقیاس کامل ($\frac{1}{1}$) ساخته و مورد آزمایش قرار گرفته اند و بطور کلی همانطوریکه قبلاً" بیان شد به هیچ ساختمان پیش ساخته شده ای بدون آزمایش قبلی مدل آن اجازه اجرا داده نمیشود.

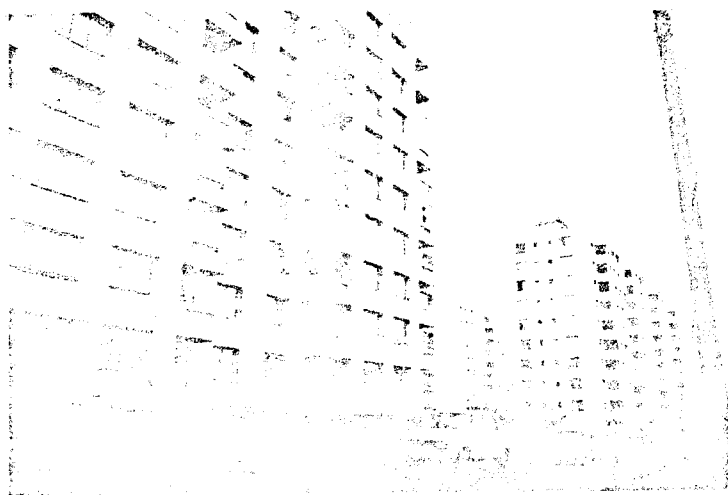
ضخامت پانلهای معمولاً" برای دیوارهای حمال ساختمانهای ۵ طبقه ۱۴ سانتیمتر و برای دیوارهای داخلی ۷ سانتیمتر است. برای ساختمانهای ۸ طبقه ضخامت دیوار حمال ۱۶ سانتیمتر میباشد. ارتفاع پانلهای ۲/۷۵ متر است (با احتساب ضخامت سقف) در کنار درها و پنجره ها آهن طولی ممتد در پانلهای پیش بینی و اجرا میگردد مقایسه بین ساختمانهای بتن آرمه که در جا ریخته شده اند با ساختمانهای پیش ساخته پانلی نشان میدهد که وضع ساختمانهای بتنی در جا ریخته شده بعلت آنکه دقت در ساخت و در کنترل کیفیت کار آنها موجود نبوده به مراتب بدتر بوده است.

ناگفته نماند که ساختمانهای پیش ساخته ای که ذکر میشود عموماً" در بوخارست و یا نقاطی دیگر دور از مرکز زلزله بوده اند و در حوالی مرکز زلزله از این نوع ساختمانها ساخته نشده است.

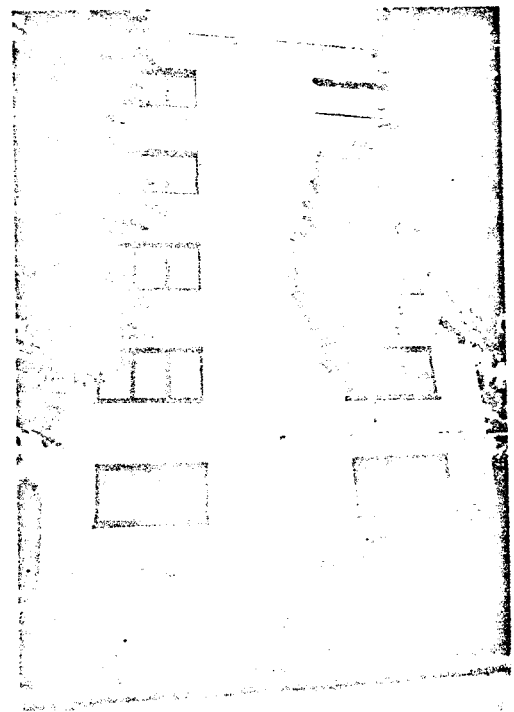
پرید طبیعی نوسان ساختمانهای پیش ساخته شده با پانل بزرگ کشور رومانی با توجه بمیزان دیوارهای زیادی که در این ساختمانها هست بین $0.03N$ تا $0.05N$ میباشد (N تعداد طبقات است) و با این ترتیب پرید این ساختمانها از حوالی پرید مسلط زلزله (پرید تعیین کننده بزرگترین شتاب) در شهر بوخارست بمقدار زیادی کمتر بوده است و اینک این سؤال باقی میماند که آیا واقعاً" ساختمانهای پیش ساخته از این نوع در برابر آزمایش نهائی خود در زلزله قرار گرفته اند؟ زیرا زلزله رومانی بیشتر برای ساختمانهای با پرید زیاد قابل امتحان بود در حالیکه ساختمانهای پیش ساخته آن کشور دارای پرید طبیعی نوسان کمی بودند. بهر حال احتمالاً" ممکن است نتیجه ای که در زلزله اخیر رومانی بر روی این ساختمانها گرفته شد برای سازندگان ایرانی

گمراه کننده باشد (هم از نظر مواجه شدن با زلزله ای که ماکزیم اثر را در حدود پیرید این قبیل ساختمانها ممکن است ایجاد کند و هم از نظر آنکه نحوه ساخت و اتصالات ساختمانهای رومانی قابل قیاس با آنچه بطور مثال در کشور ایران رواج دارد نیست) .

بطور خلاصه ساختمانهای پیش ساخته شده با پانل بزرگ، در زلزله اخیر رومانی صدمه ای ندیدند .
 نوع دیگر ساختمانهای بتن آرمه پیش ساخته شده که در کشور رومانی متداول میباشد ساختمانهای حعبه مانند است (Box System) مقصود از ساختن اینها پیش ساخته، قوطی مانند در اینجا ساختمانهایی است که یک اطاق کامل شامل چهار دیوار و سقف و کف بصورت یک مکعب مستطیل کامل در کارخانه ساخته میشود و بمحل حمل میشود و این قوطی ها در محل کنار هم و روی هم چیده میشوند و با این ترتیب دیوارها و کت ها همه دو جداره خواهند بود ، اتصال این قوطی ها با قرار دادن کابل قائم و کشیدن آن انجام میگردد ، این نوع ساختمانها نیز در زلزله رومانی آسیبی ندید حتی یکی از ساختمانها که در موقع زلزله نصب واحدهای آن انجام شده ولی هنوز اتصال کابل آن اجرا نشده بود هیچگونه خسارتی از زلزله ندید و همین موضوع این فکر را برای عده ای پیش آورده است که در آتیه از قرار دادن کابل برای اتصال واحدهای این ساختمانها خودداری گردد در حالیکه چنین نتیجه گیری با توجه به پیرید طبیعی این قبیل ساختمانها که عملاً " دو معرض امتحان نهائی قرار نگرفته اند دور از احتیاط میباشد .



ساختمانهای مرتفع پیش ساخته شده
بتن آرمه با پانلهای بزرگ

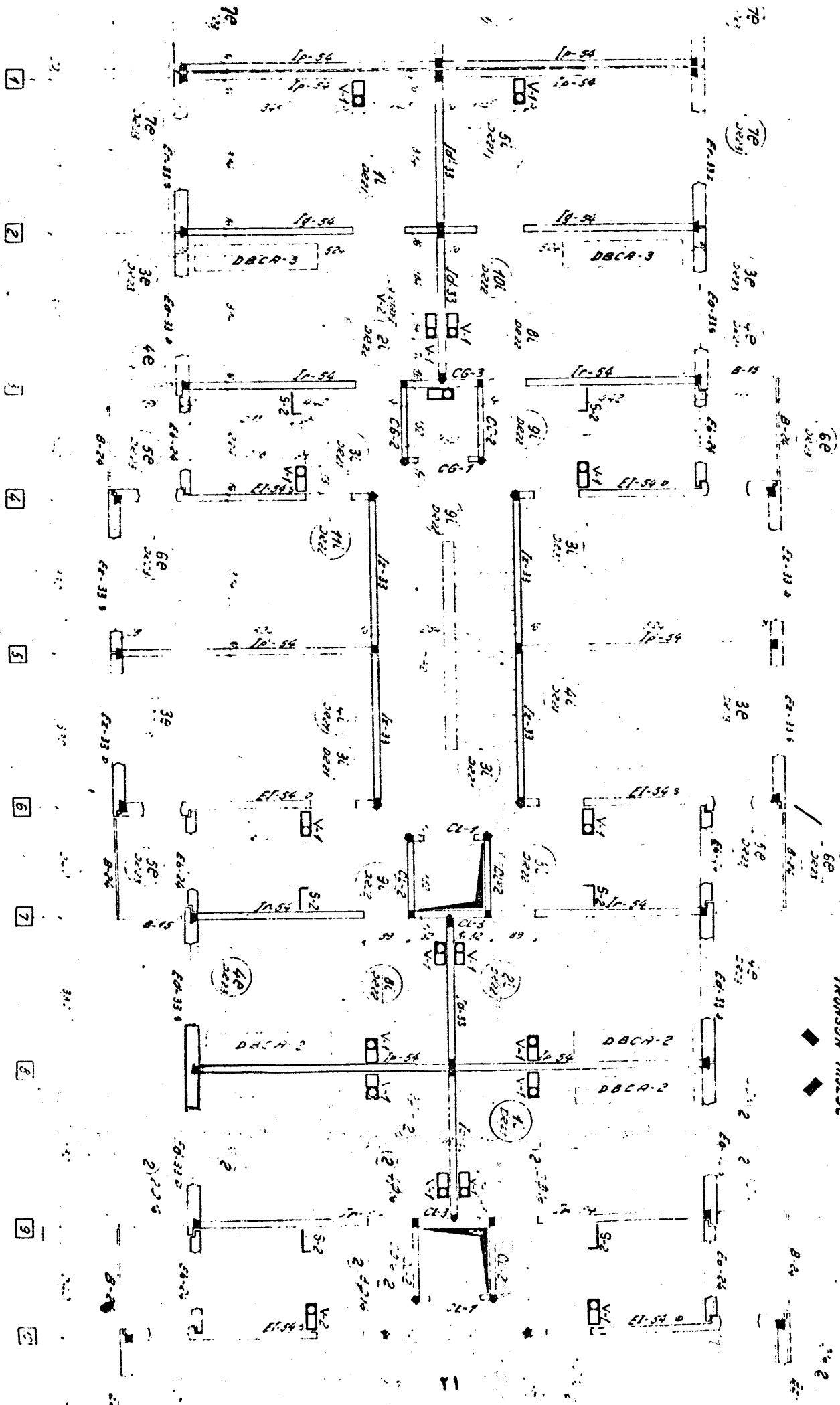


ترک های افقی و قائم در ساختمان
۵ طبقه پیش ساخته شده بتنی بسا
پانل بزرگ در شهر کرایوا

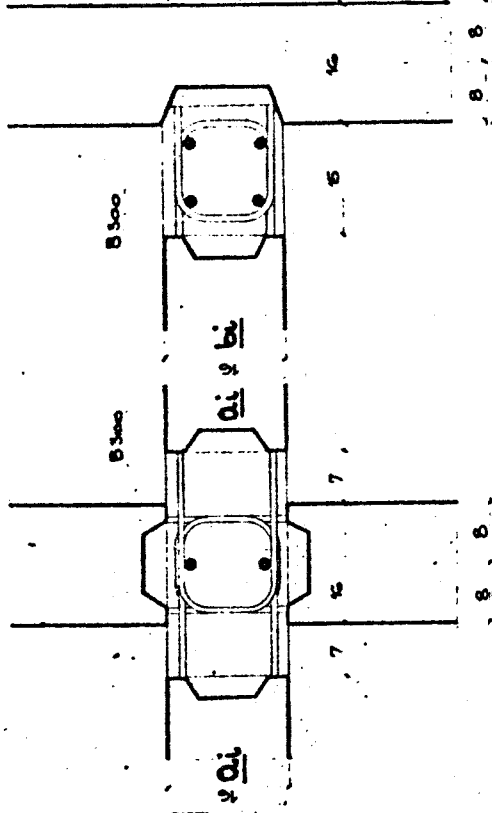
(Craiova)

نمونه ای از پلان ساختمانهای پیش ساخته آرمه با پائل بزرگ در کشور رومانی

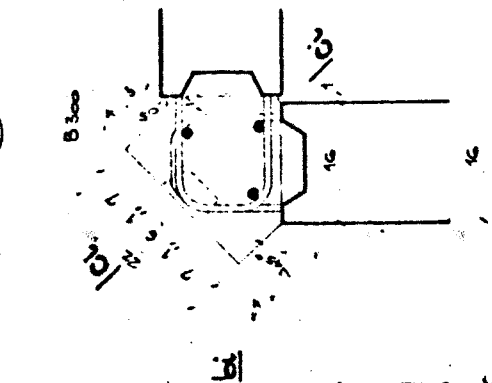
TRONSON NIPLOJC



1i

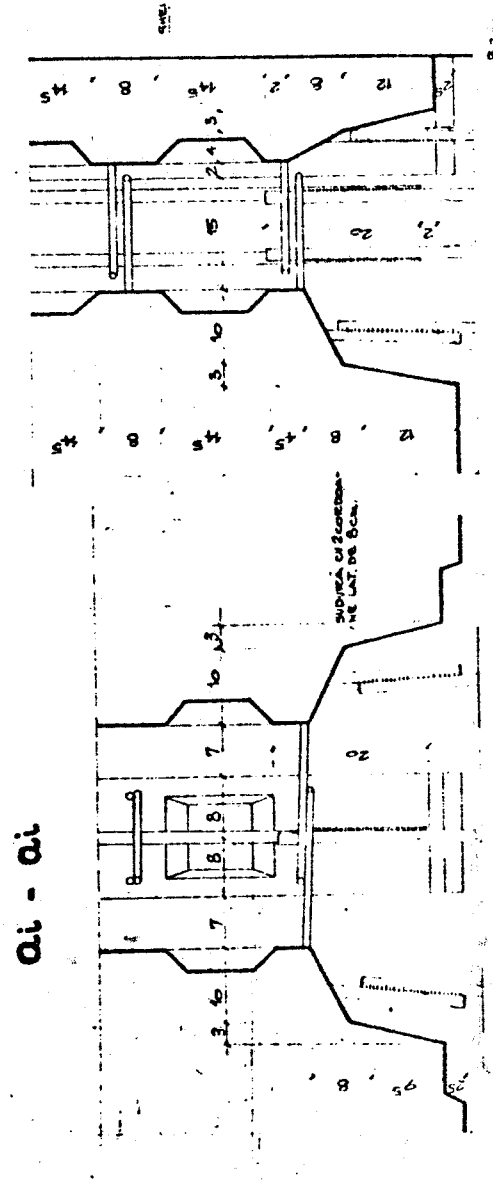


2i



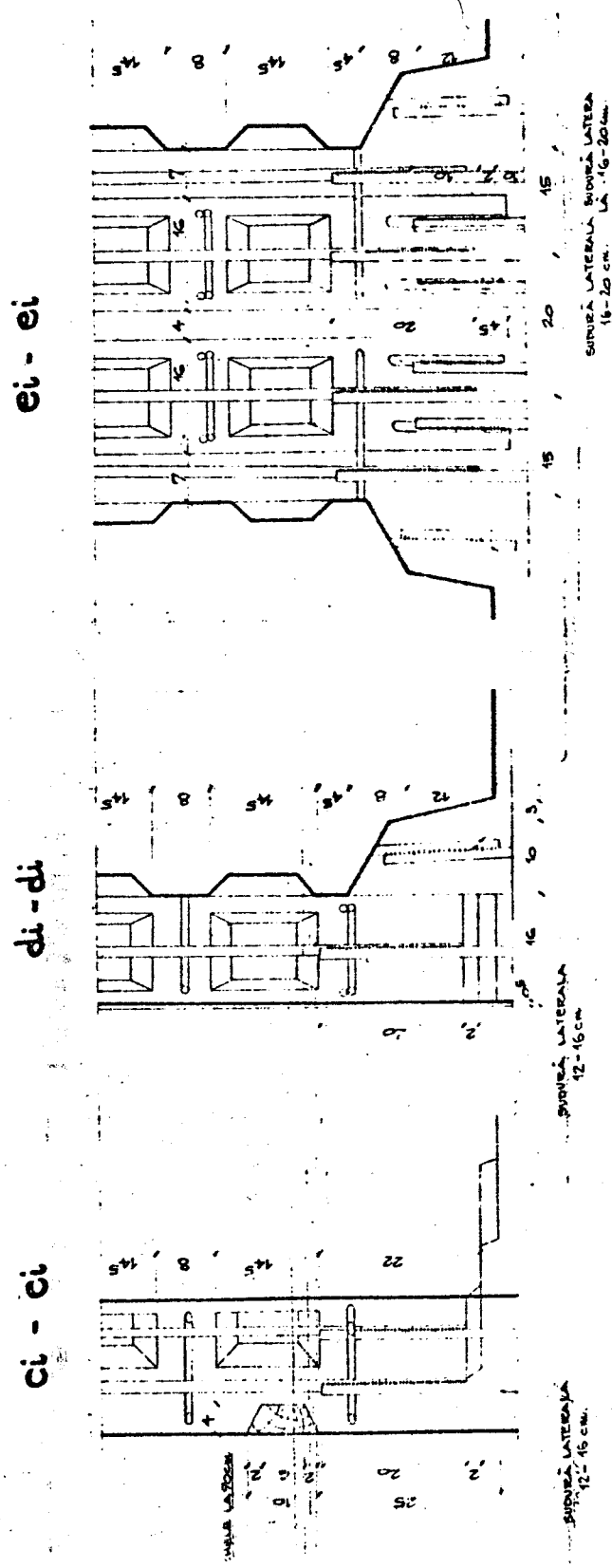
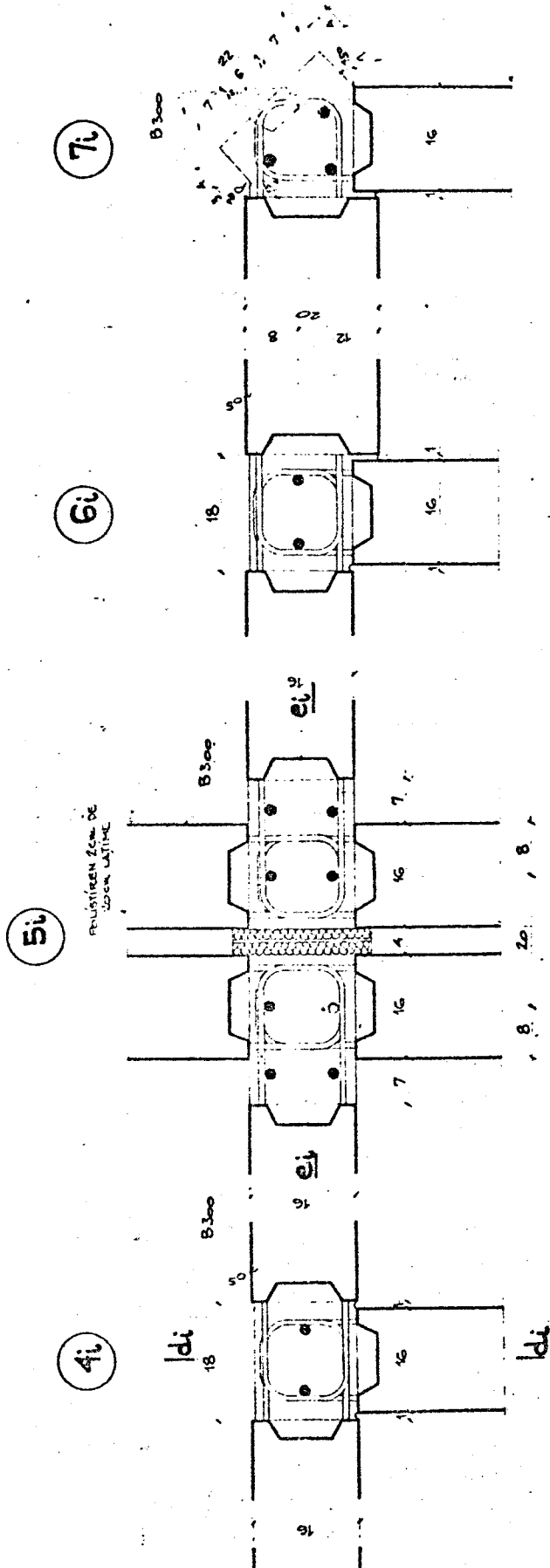
3i

bi - bi



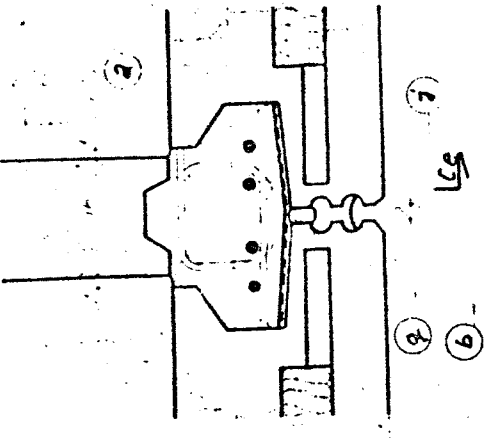
oi - oi

قسمتی از جزئیات مربوط به اتصال پانل های بزرگ در محل تلاقی دیوارها (علائم 1_i و 2_i و غیره جزئیات محل هائی است که در نقشه پلان با همین علائم مشخص شده است) .

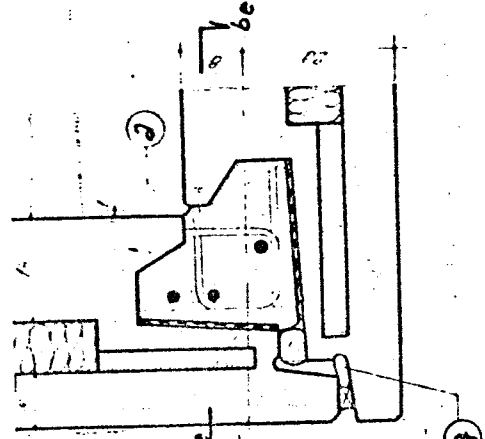


قسمتی از جزئیات مربوط به اتصال پانل های بزرگ در محل تلاقی دیوارها

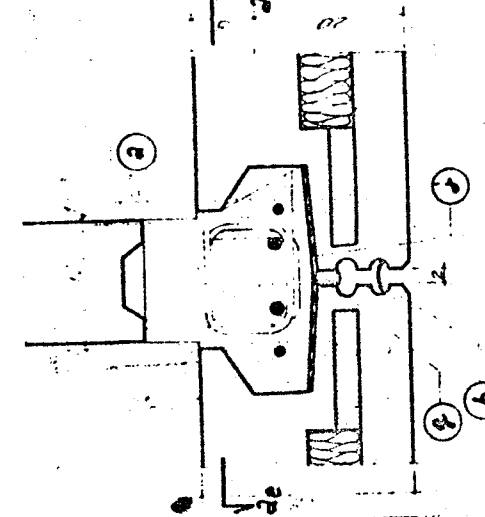
3e



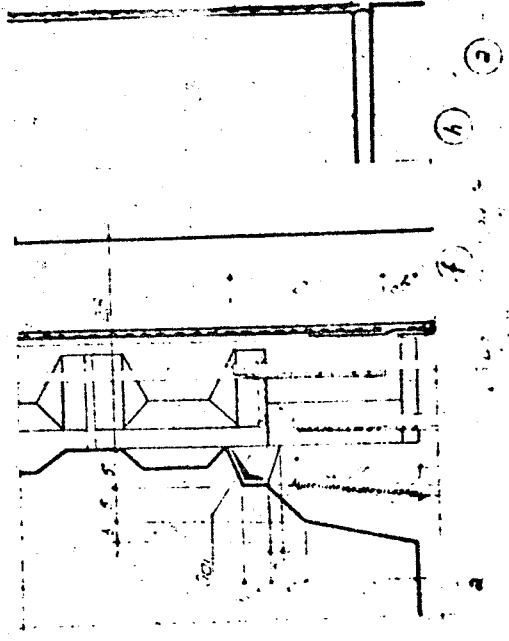
2e



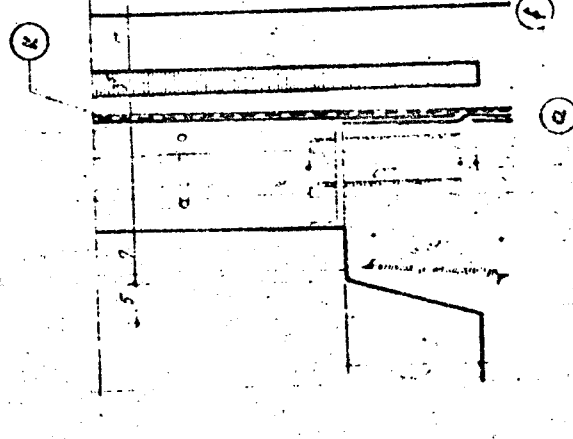
1e



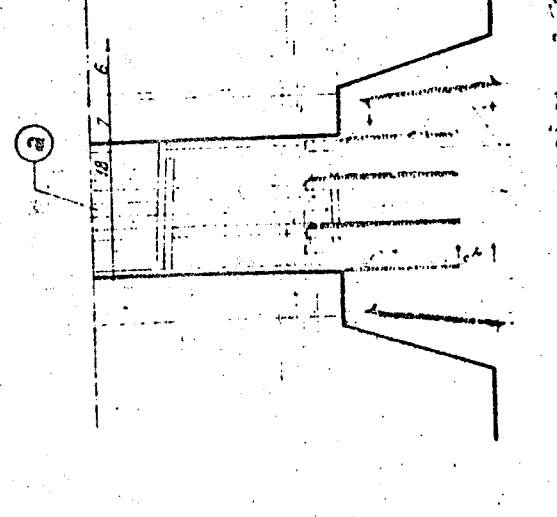
3e - 3e



2e - 2e

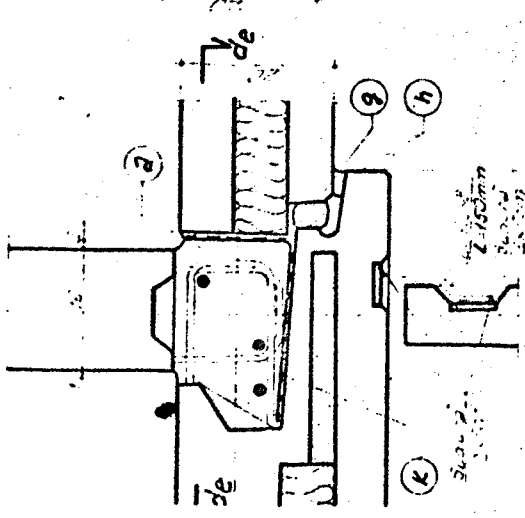


2e - 2e

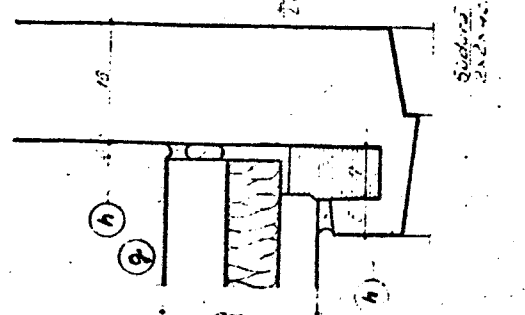


قسمتی از جزئیات اتصال پانل های بزرگ در محل تلاقی سقف و دیوار

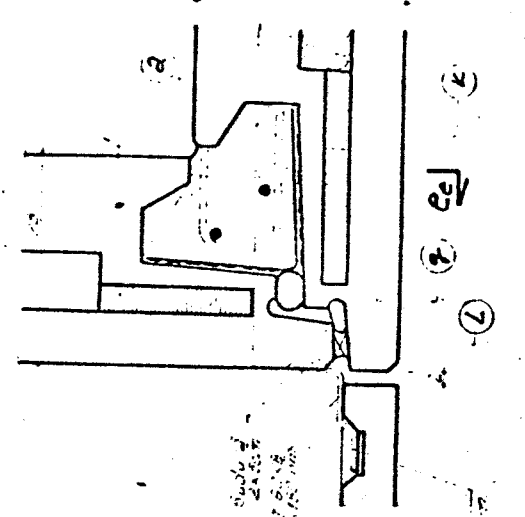
4e



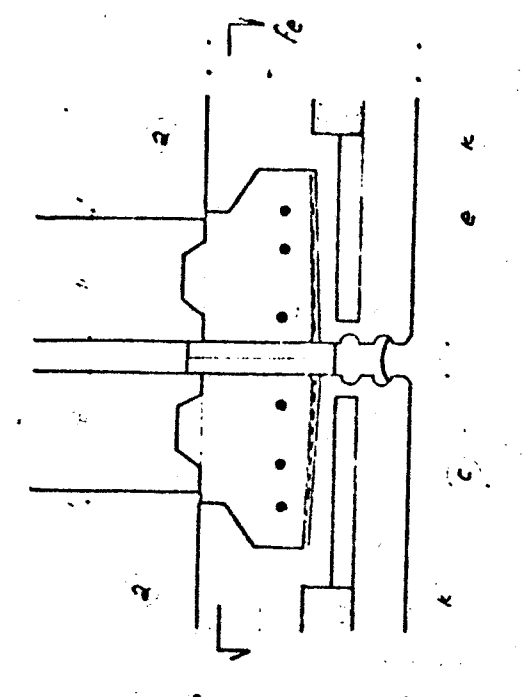
5e



6e



7e



de - de

(k)

ee - ee

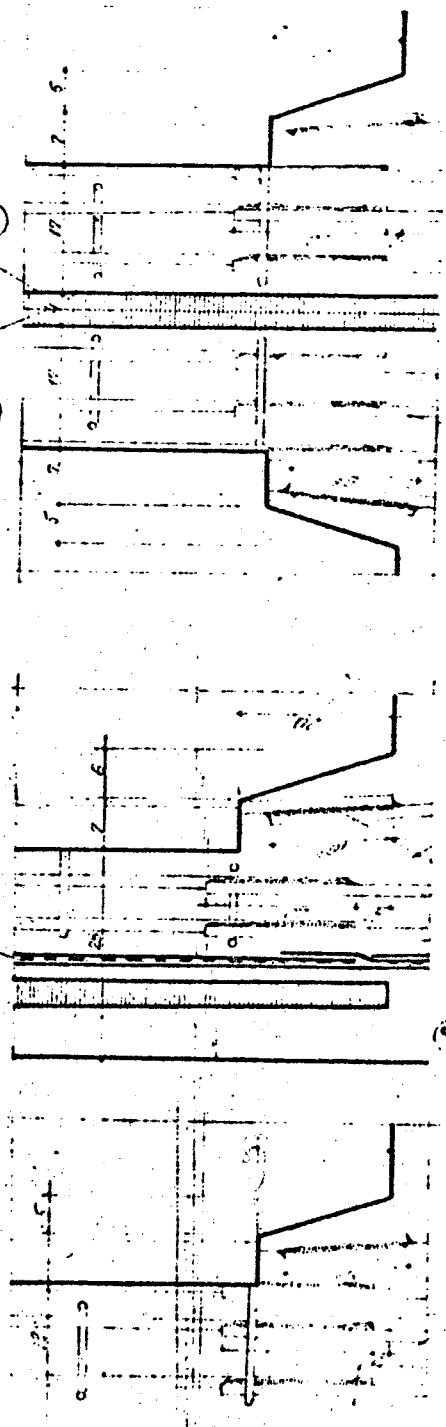
(k)

fe - fe

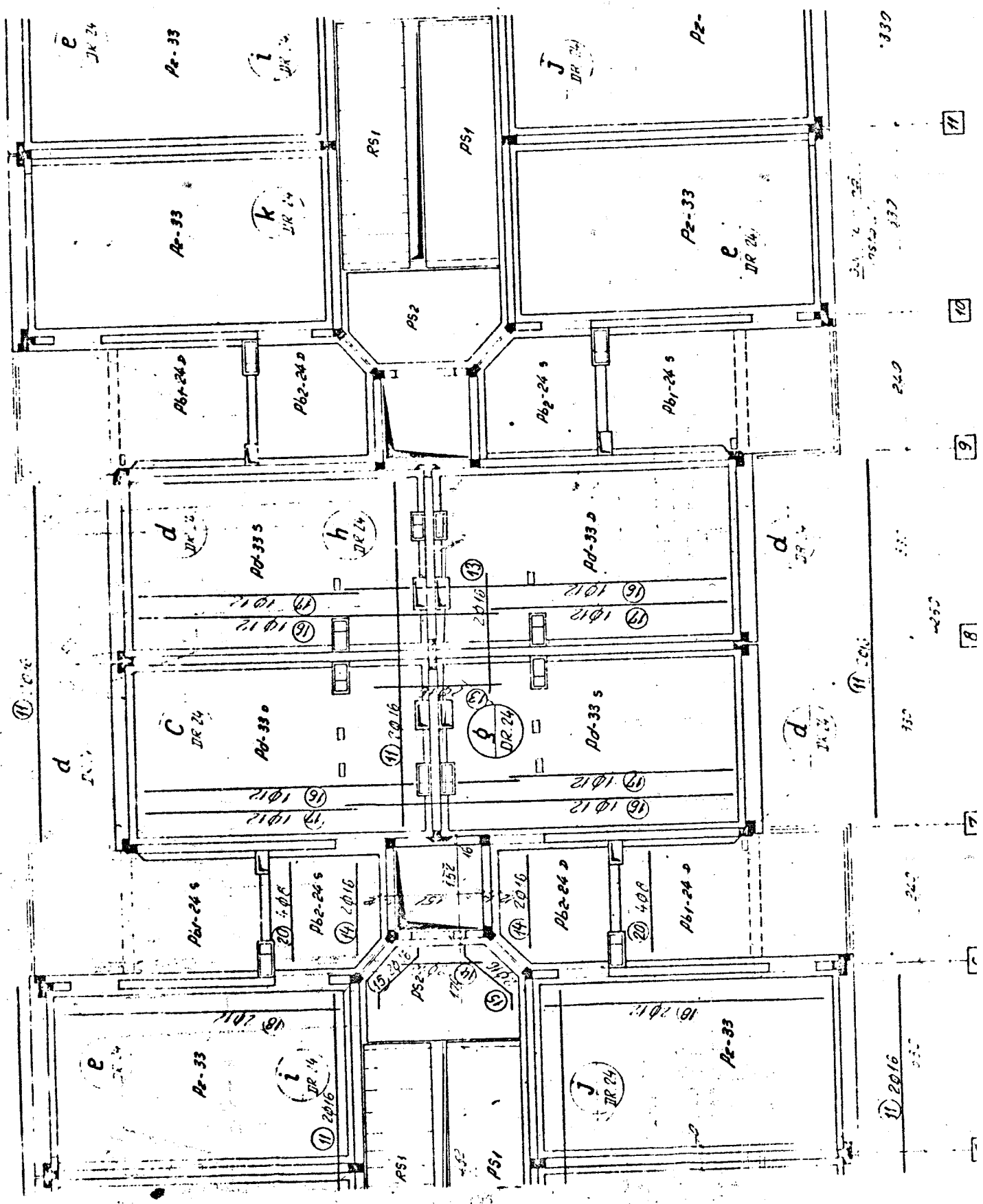
(e)

(k)

(a) (b) (c) (d) (e) (f) (g) (h) (i) (j) (k)



قسمتی از جزئیات اتصال پانل های بزرگ در محل تلاقی سقف و دیوار



پلان ساختمان پیش ساخته جعبه مانند (Box system) کشور رومانی

ساختمانهای بتن آرمه ریخته شده در محل

این نوع ساختمان که متداولترین نوع ساختمان در بوخارست و منطقه زلزله زده است در گروههای مختلف از ۴ تا ۸ طبقه که قبل از سال ۱۹۴۰ ساخته شده اند تا ساختمانهای مرتفع و مدرن (نظیر هتل اینترکننتینانتال و هتل دوروبانتی که در سالهای اخیر ساخته شده اند) میباشد که در شهر بوخارست به تعداد زیادی موجودند. ساختمانهای بتن آرمه که قبل از سال ۱۹۴۰ ساخته شده اند عموماً "تا ۸ طبقه میباشد و عموماً" از اسکلت بتن آرمه نسبتاً "سبک با دیوارهای آجری میباشد، این ساختمانها که فقط برای تحمل بار قائم طرح شده اند بیش از هر ساختمان دیگر در زلزله اخیر صدمه دیدند و تعداد ۳۲ ساختمان بتن آرمه از این نوع در شهر بوخارست کاملاً "خراب گردید و موجب تلفات بسیاری شد. تمام این ساختمانها ساختمانهائی بودند که در زلزله دهم نوامبر ۱۹۴۰ از خرابی کامل رهائی یافته و احتمالاً "خساراتی در آن زلزله دیده بودند که از نحوه تقویت بعدی آن ها اطلاعی در دست نیست، نوع بتن این قبیل ساختمان ها اغلب ضعیف بوده و آهن گذاری آنها خصوصاً "در مورد تنگها رضایت بخش نبوده است، طرز قرار گرفتن ستونهای بتن آرمه نیز در خیلی از موارد بنحوی نیست که در دو امتداد ساختمان تشکیل قابهای مقاومی را بدهند و بسته به نحوه استفاده از ساختمانها ستونها قرار داده شده است بدون آنکه ردیفهای منظمی برای آنها اختیار شده باشد و خصوصاً "در تغییرات بعدی که به این ساختمانها داده شده است اغلب جهت آماده کردن طبقه هم کف برای ایجاد مغازه و محلهای وسیعتر نسبت به خراب کردن دیوارهای موجود نیز اقدام کرده اند.

نمونه های تاثیر آور خرابی در این قبیل ساختمانها خراب شدن چندین رستوران و محل عمومی نظیر کافتریای کاستادادربلوارماگرو و کافتریای آتنه پالاس در خیابان ویکتوری و رستوران دوناریا در بولوار بالسکو و خصوصاً "کافتریای اسکالا در بولوار بالسکو میباشد که قسمت اعظم تلفات زلزله رومانی مربوط به این ساختمانها بوده است.

در طرح ساختمانهای بتن آرمه ای که پس از سال ۱۹۴۰ ساخته شده اند موضوع مقاومت در برابر نیروی زلزله بیش و کم رعایت شده است، اکثر این ساختمانها که بعضی ساختمانهای بتن آرمه با قابهای مقاوم و پاره ای ساختمانهای با دیوارهای بتن آرمه (اعم از آنهاستیکه در اجرای آنها از قالب لغزنده استفاده شده و یا بطور معمولی ریخته شده اند) و تعدادی مرکب میباشد. در این نوع ساختمانها که اغلب بین ۷ تا ۱۴ طبقه میباشد عموماً "ستونها بصورت سیمتیک با فاصله ۶ متر در هر دو جهت میباشد که بیشتر برای بازسوی طبقه هم کف (از نظر فروشگاه و مغازه) پیش بینی شده اند و در پاره ای از موارد که این محدودیت نیست چشمه های ساختمان ۵/۴۰x۳/۶۰ متر است. دیوارهای این ساختمانها آجری و در پاره ای از موارد بلوک بتنی سبک میباشد. در زلزله اخیر کشور رومانی به این نوع ساختمانها کم و بیش خساراتی در محل تلاقی تیر و ستون وارد

گردیده است ولی قسمت اعظم خسارات در دیوارهای پرکننده بین ستونهاست ، از آنجا که این دیوارها امکان تبعیت از تغییر شکل بین دو ستون طرفین خود را نداشته اند شکاف خورده اند . این گونه موارد خصوصا "موقعی بیشتر پیش آمده است که در طبقه پائین دیوار کم بوده است و طبقات بالا دارای دیوار زیادتری بوده اند .

دو ساختمان بلند از این نوع بطور کامل خراب گردیدند که یکی از آن ها ساختمان یازده طبقه آپارتمانی بود که در کارتیبه میلیتاری (Cartier Militari) قرار داشت ، این ساختمان با ابعاد ۱۴/۴۰ متر در ۲۵/۲۰ متر که با اسکلت بتن آرمه نسبتا "ضعیفی ساخته شده بود ، ستونهای جلوی ساختمان در طبقه هم کف کلا " خراب و موجب خراب شدن کلی ساختمان گردیده اند . با ملاحظه ساختمان با نقشه مشابهی که در مجاورت همین ساختمان قرار دارد و خرد شدن بتن ستونهای طبقه زیرین آن بنظر میرسد که خراب شدن ساختمان ناشی از خرد شدن بتن ستون در اثر تنش ناشی از لنگر واژگونی (Over-turning) میباشد که با توجه به اینکه کیفیت بتن چندان خوب نبوده است موجب خرابی کامل گردیده است . ساختمان دیگر که بطور کامل خراب گردید ساختمان آپارتمانی ده طبقه ای است که طبقات روی طبقه هم کف با دیوارهای بتن آرمه ساخته شده و بار ساختمان در طبقه هم کف توسط ستونهای نسبتا " بلندی تحمل میشده است . نوع سقف این ساختمانها ، بتن آرمه پیش ساخته شده پانلی و هر دو ساختمان در طرفین خود دارای دیوار برشی بتن آرمه در تمام ارتفاع بوده اند و در حقیقت این ساختمانها مخلوطی از ستون و دیوارهای بتن آرمه بوده اند .

نقطه ضعف بزرگ این ساختمانها عدم اتصال محکم پانل های پیش ساخته شده سقف با دیوارهای بتن آرمه طرفین ساختمان است . بطور کلی در این قبیل ساختمانهای بتن آرمه بیشتر در ناحیه دیوار برشی ترک هائی ایجاد شده و بیشتر خسارات در اطراف قفسه پله بوده است همچنین در اطراف نعل درگاهها نیز خساراتی حاصل شده است . در سایر ساختمانها از این نوع کم و بیش خسارات به عناصر باربر ویا عموما " خسارت به دیوارها وارد شده است ، بررسی وضع بتن این نوع ساختمانها کیفیت خوبی را نشان نمیدهد همچنین جزئیات آرماتورگذاری از نظر فاصله بین تنگها که در پاره ای از آثار ساختمانهای خسارت دیده ملاحظه شد چندان رضایت بخش نمیباشد . بطور کلی خسارات وارد به این نوع ساختمان را میتوان با دلائل زیر توجیه نمود .

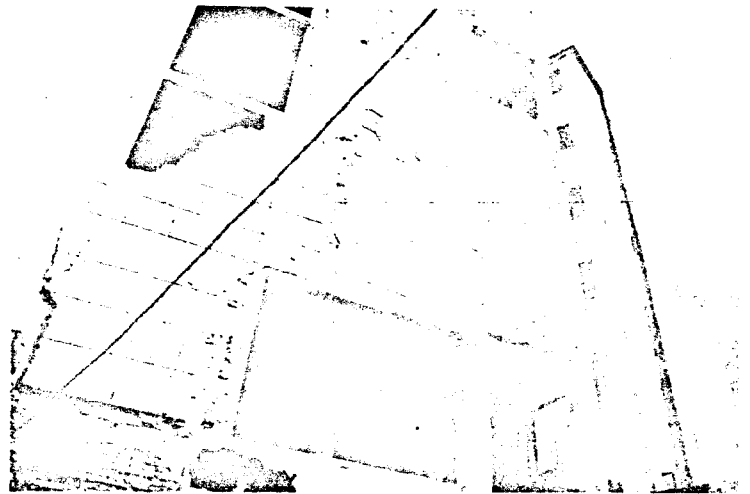
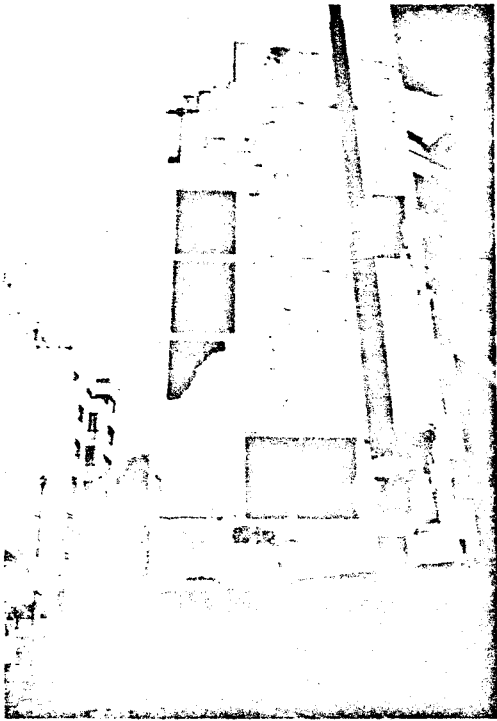
— مناب نبودن وضع ساختمان از نظر کیفیت بتن و نحوه آهن گذاریها

— نزدیک بودن فرکانس طبیعی ساختمانها با فرکانسهائی از زلزله که نمودار مربوط به طیف شتاب زلزله در این فرکانسها دارای نقطه اوج میباشد .

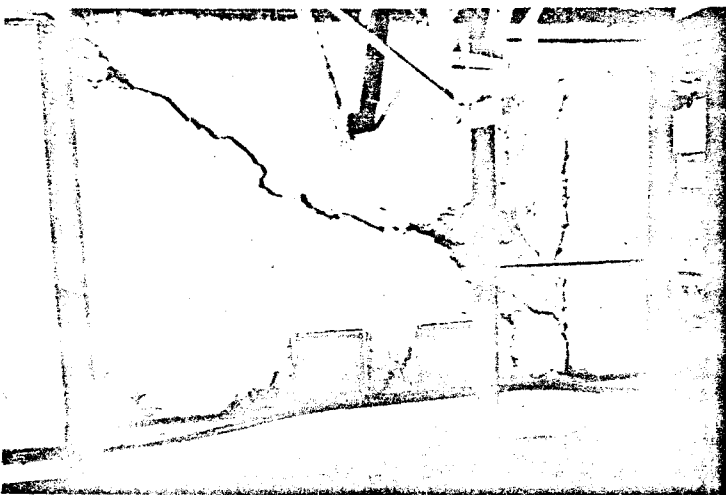
— تغییر شدید بین سختی طبقات فوقانی نسبت به طبقه هم کف به جهت آنکه طبقه هم کف معمولا " فاقد دیوار و طبقات فوقانی دارای دیوارهای زیادی است .

بین ساختمانهای مدرن بتن آرمه که در زلزله اخیر خراب گردید میتوان ساختمان مرکز کامپیوتر را نام برد که در شهر بوخارست ساخته شده بود ، قسمت مرکزی این ساختمان که ساختمان سه طبقه بتن آرمه بوده است بکلی

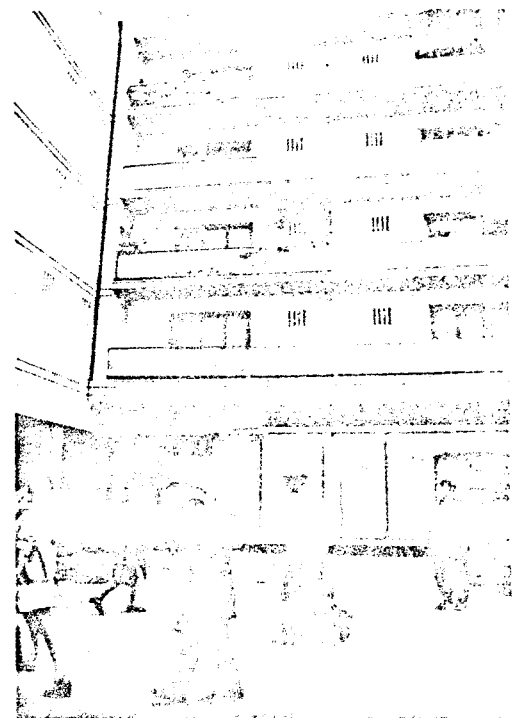
خراب گردید . به سایر ساختمانهای مهم شهر بوخارست چندان خسارتی وارد نگردید و بیشتر خسارات در عناصر غیر باربر و یا خساراتی بعلت پدیده تنه زدن (Pounding) بین دو ساختمان مرتفع بوده است که در جنب هم قرار داشته اند .

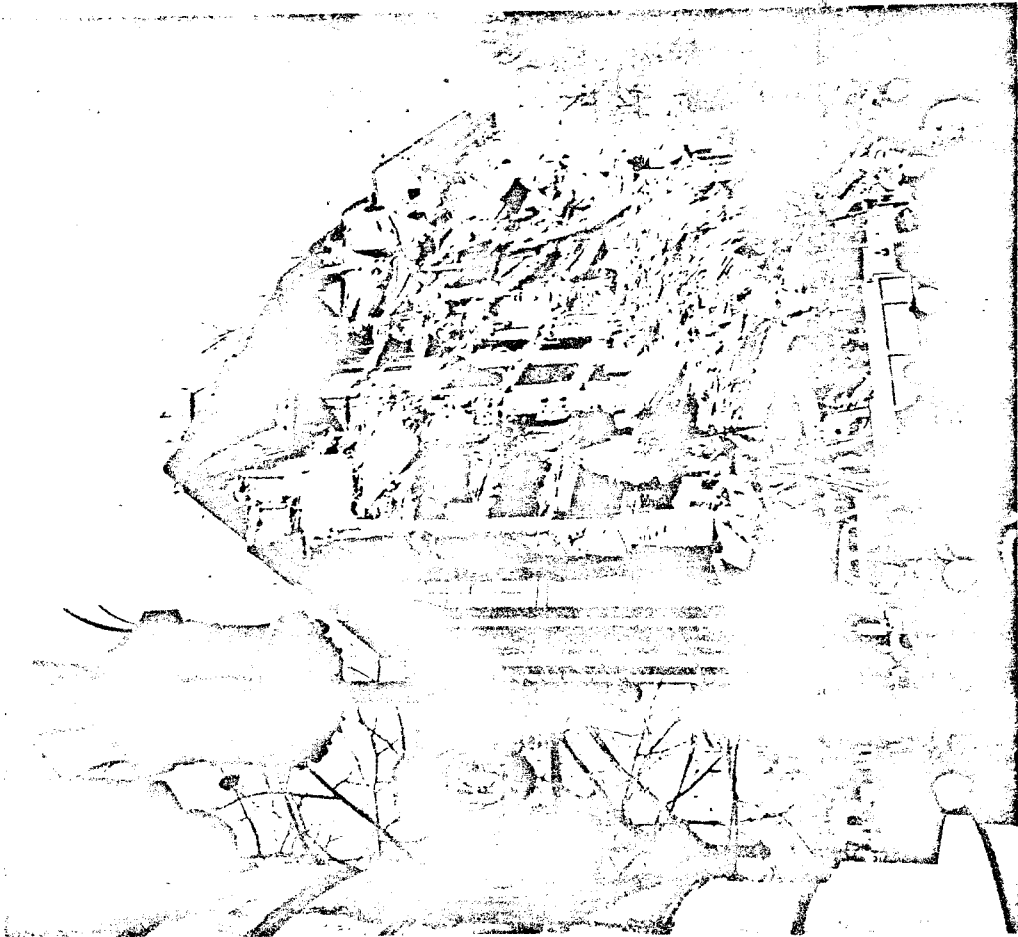


خراب شدن دیوارهای پرکننده بین ستونها
در ساختمانهای بتن آرمه بوخارست



ساختمان ۵ طبقه بتن آرمه در پلیوشت (PLOIESTI)
ترک مورب در دیوار آجری که به ستون کناری نیزسرایت
کرده است (همچنین فاصله بین دو پنجره بصورت
ضربدری ترک خورده است) .



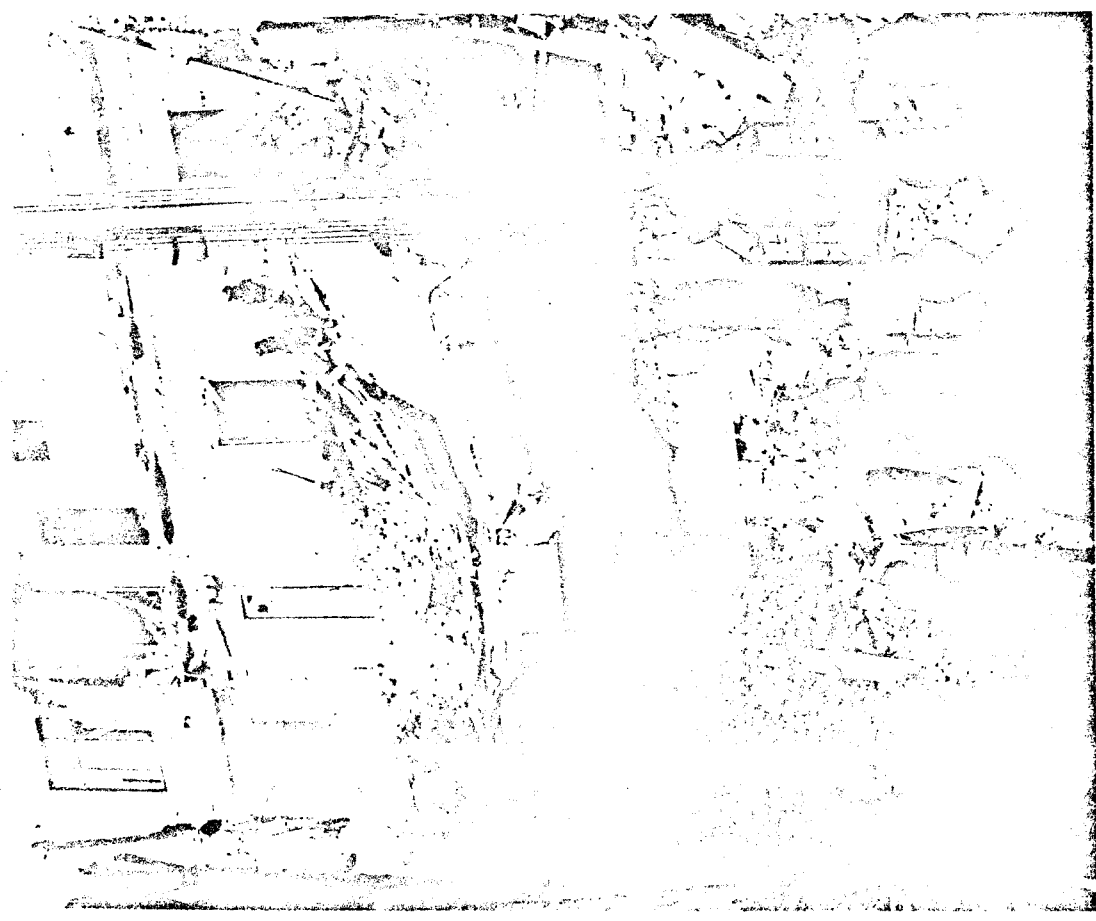


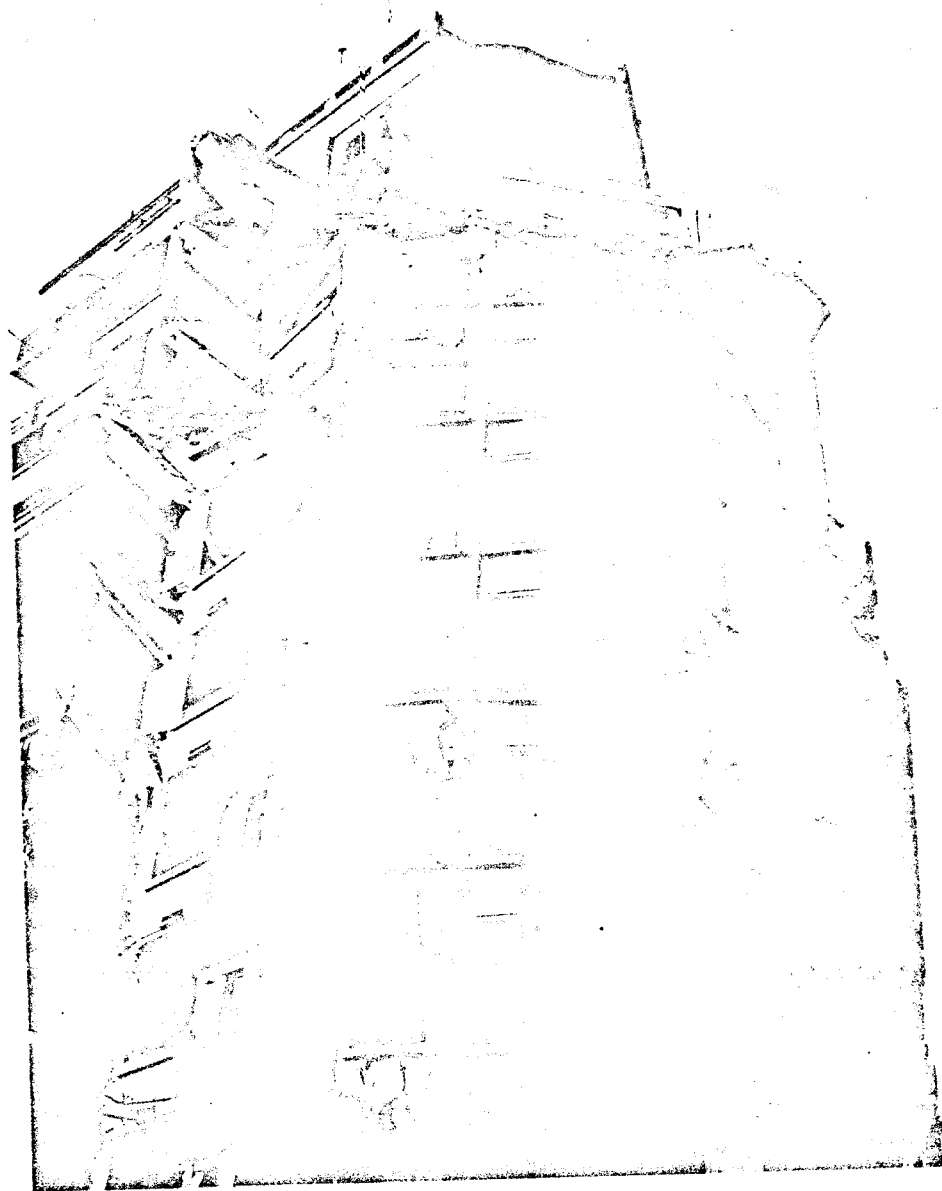
نمونه ای از خرابی در ساختمانهای بلند بتن آرمه شهر بوخارست (عکس با لطف آقای (P.Vermescu

(عکس با لطف آقای P.Vermescu)



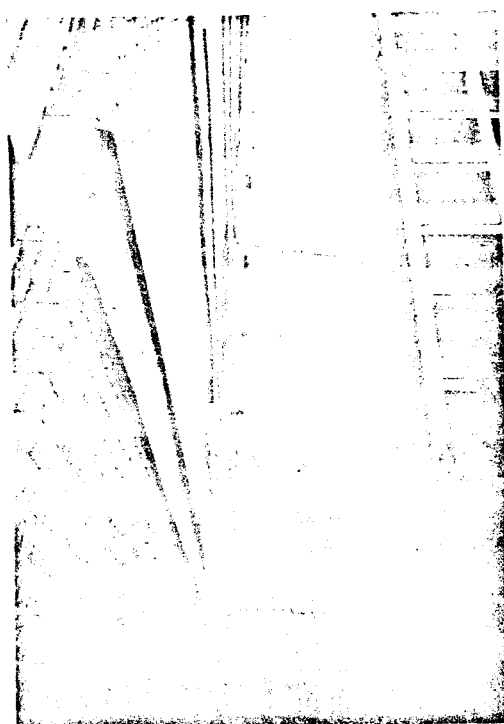
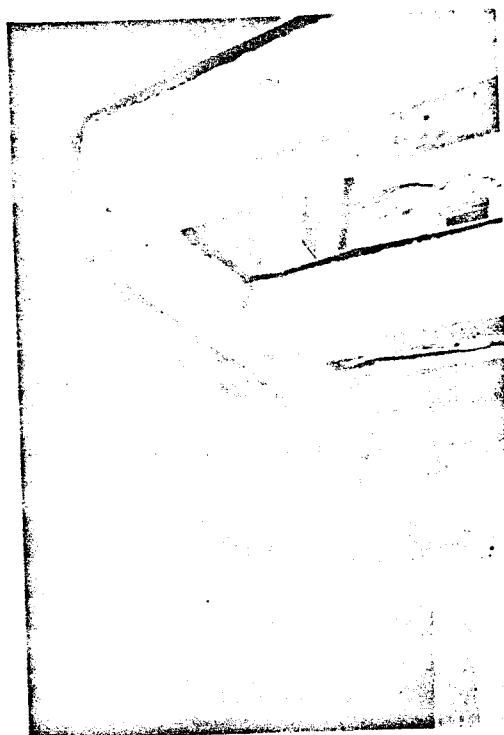
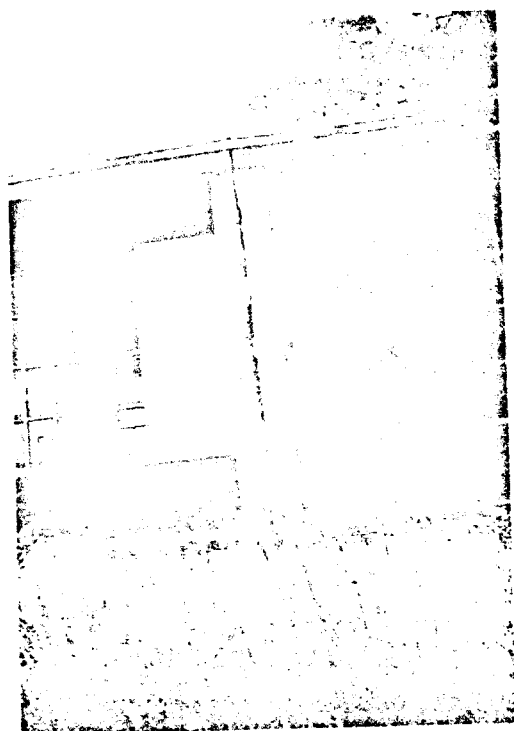
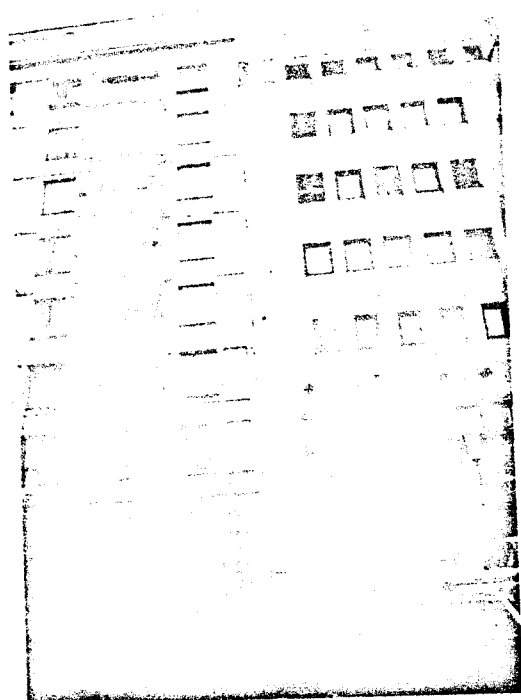
(عکس با لطف آقای P.Vermescu)



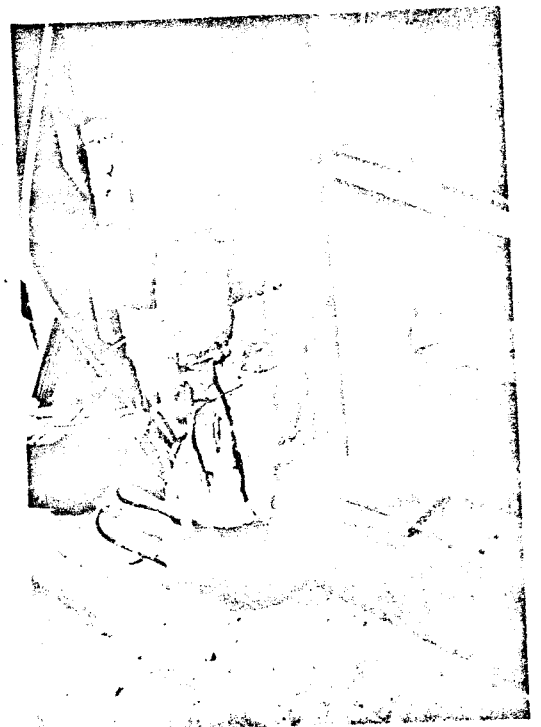
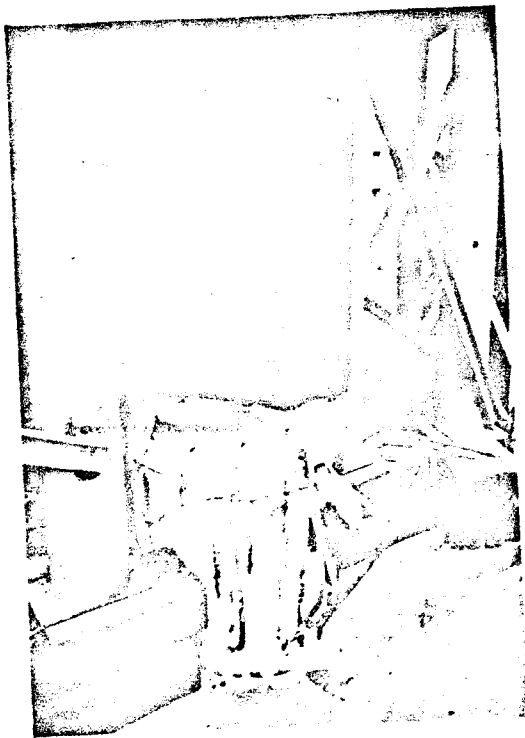
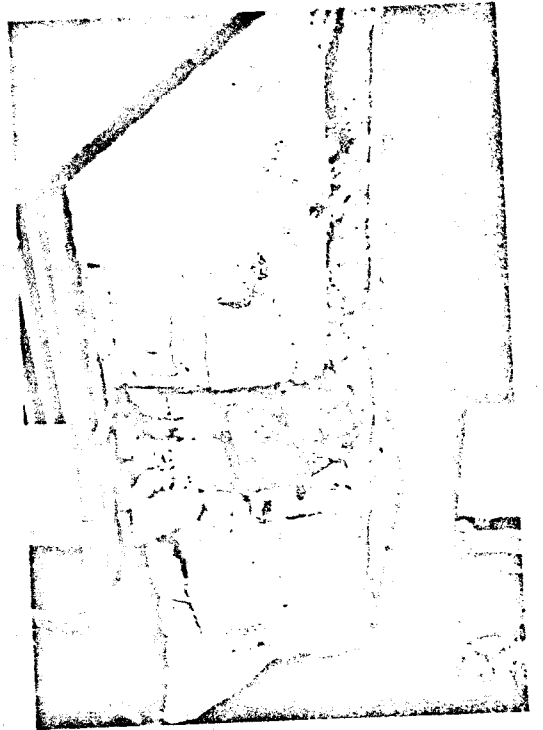
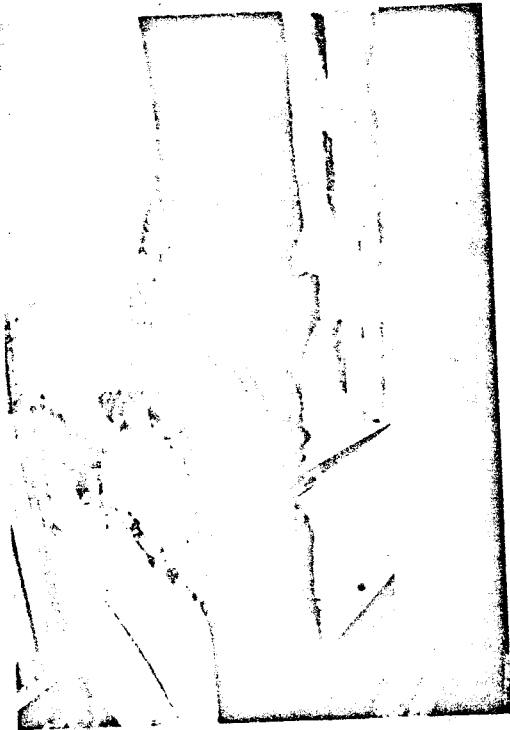


(عکس با لطف آقای P.Vermescu)

خرابی طبقات زیرین که منجر به نشست ساختمان گردیده
وبالکن ها را از حالت افقی بصورت مایل درآورده است
قابل توجه است .



اثر تنه زدن (Pounding) در ساختمانهای بتن آرمه بوخارست



(بوخارست) کمانش آرماتورها در ستونهای بتن آرمه (درپاره ای از موارد فاصله تنگ ها از یکدیگر بیش از ۵۰ سانتیمتر میباشد) .

ساختمان مرکز کامپیوتر

این ساختمان از ساختمانهای مهم شهر بوخارست است که بر مبنای آئین نامه زلزله کشور رومانی و با منظر نمودن شش درصد ضریب زلزله ساخته شده است. ساختمان از یک قسمت مرکزی ۳۰ متر در ۳۰ متر و دو برج سرویس جدای از آن (در دو طرف قسمت مرکزی) ساخته شده است. قسمت مرکزی ساختمان سه طبقه بتن آرمه ای بوده است که بر روی ۹ ستون که فاصله محور تا محور ستونها در هر دو جهت ۱۲ متر بوده قرار گرفته و ۳ متر در هر چهار طرف ساختمان بخارج ستونها بصورت طره ساخته شده است.

در اثر زلزله قسمت مرکزی این مرکز (ساختمان سه طبقه ۳۰ متر در ۳۰ متر) بکلی خراب گردید و دو برج طرفین از آسیب محفوظ ماند.

ساختمان قسمت مرکزی، بتن آرمه ریخته شده در محل است که مقطع ستونهای طبقه تحتانی آن بشکل کثیرالاضلاع منتظم مقعر ۱۲ ضلعی است که هسته مرکزی آن ۵۰ سانتیمتر در ۵۰ سانتیمتر بوده و پره های کثیرالاضلاع بصورت مورب کوچک شده تا زیر سقف طبقه هم کف ادامه مییابد و در آنجا مقطع ستون بطور کامل به مربع ۵۰ سانتیمتر در ۵۰ سانتیمتر تبدیل میگردد. در طبقه وسط ابعاد مقطع ستونها ۵۰ سانتیمتر در ۵۰ سانتیمتر و در طبقه آخر ۴۰ سانتیمتر در ۴۰ سانتیمتر است.

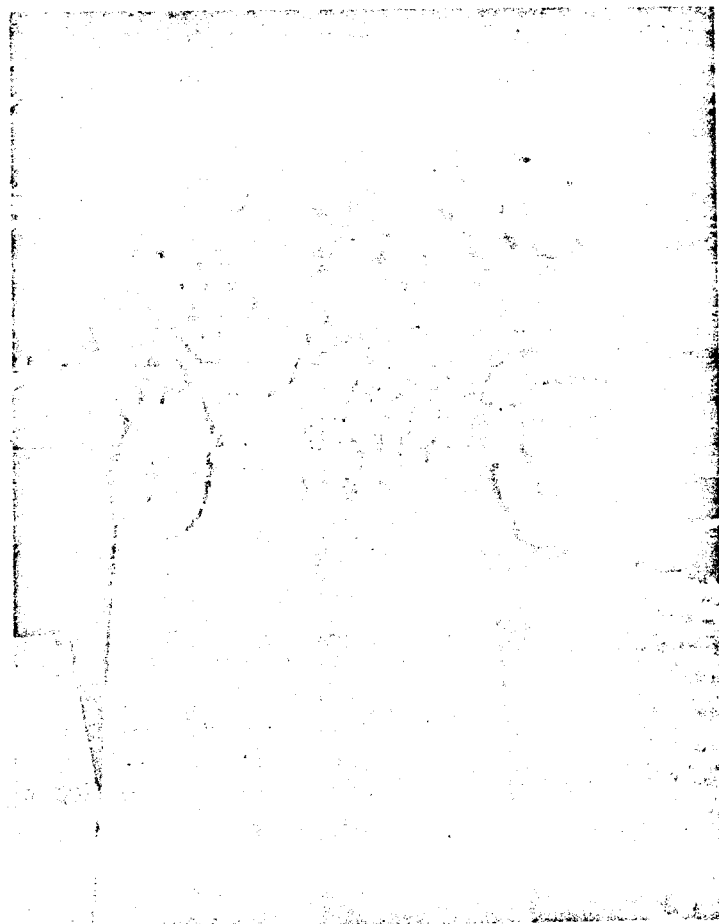
بطور کلی در همه طبقات ستونها در فاصله ۴۰ سانتیمتر زیر سقف بصورت سر ستون وسیع و در چهار طرف گسترده شده اند.

در ستونهای طبقه هم کف ۱۲ عدد آهن گرد ۲۵ میلیمتری و ۱۲ عدد آهن گرد ۲۰ میلیمتری قرار داده شده که آهنهای ۲۵ میلیمتری در تمام ارتفاع ستون و آهنهای گرد ۲۰ میلیمتری تا $\frac{2}{3}$ ارتفاع طبقه میباشند، چهار عدد از آهنهای گرد یکسره در تمام ارتفاع ستون با تنگهای مربع بسته شده و بقیه آهنها در خارج این تنگها قرار دارند و فقط در نزدیکی سقف در داخل تنگها قرار گرفته اند. آهنهای گرد دیگر که بصورت مورب میباشند به وسیله رگابیها بسته شده اند. قطر تنگها و رگابیها ۸ میلیمتر میباشند که با فاصله ۱۵ سانتیمتر تا محل تمام شدن آهنهای گرد ۲۰ میلیمتری و با فاصله ۲۰ سانتیمتر از این نقطه به بالا قرار گرفته اند.

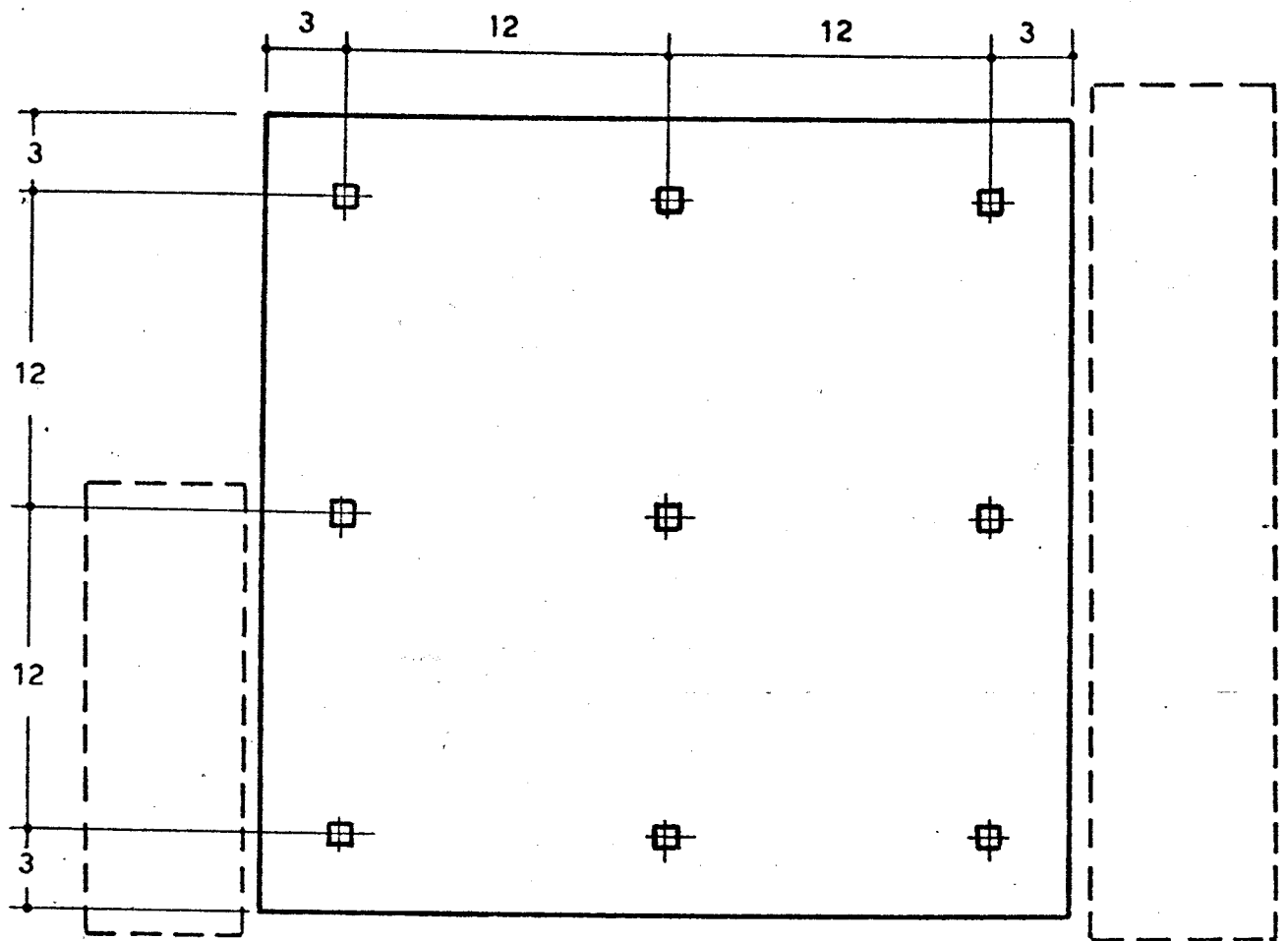
سقف های طبقات و همچنین بام فاقد تیر اصلی میباشند و بصورت دال قارچی توخالی ساخته شده اند که ضخامت آن در طبقه بام ۴۵ سانتیمتر و در طبقات دیگر ۵۵ سانتیمتر است. این کفها با تیرهای بعرض ۲۰ سانتیمتر بصورت شطرنجی و دو دال بتن آرمه زیر و رو هر کدام ب ضخامت ۶ سانتیمتر ساخته شده اند، فاصله محور تا محور تیرها در هر دو امتداد ۱/۲۰ متر میباشند.

دیوارهای خارجی ساختمان از طبقه روی طبقه هم کف به بالا از پانلهای بتن پیش ساخته شده است و این پانلها اتصالی با ستونهای ساختمان ندارند ، بطور کلی هیچگونه دیوار برشی در این ساختمان بکار نرفته و ساختمان فاقد مقاومت جانبی از این نظر میباشد و دیوارها کاملا " مستقل از ستونها عمل مینمایند با این ترتیب پریود اصلی نوسان ساختمان بالا میباشد .

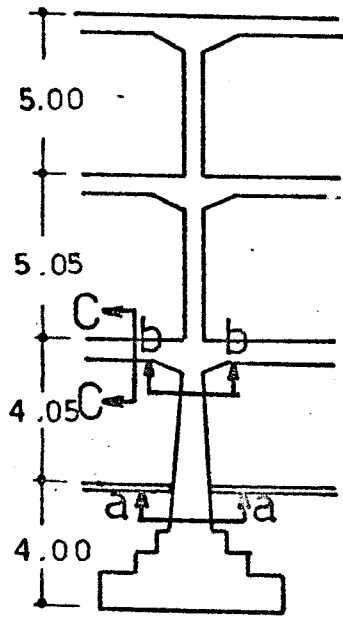
شالوده های این ساختمان بصورت منفرد و با ابعاد $5/6 \times 5/6$ متر میباشد . در اثر زلزله این ساختمان بکلی فرود آمد و خصوصا " تمام ستونهای طبقه هم کف شکسته شده اند محل خرابی در همه ستونها در قسمت فوقانی ستون میباشد ، در قسمت فوقانی ستونها آهنپای گرد کمانه کرده اند ، پاره ای از این آهنپای گرد در خارج از تنگیای مربع ستون میباشد . ستونهای مربع در طبقات بالا نیز همه در محل فوقانی خرد شده اند ، ممکنست ساختمان ابتدا بعلت خرد شدن ستونهای طبقه هم کف خراب شده باشد و خرابی ستونهای فوقانی ناشی از ریختن ساختمان باشد . بطور کلی خرابی این ساختمان ناشی از خرد شدن ستونها است که خصوصا " عدم تکاپوی تنگها عامل موثری بوده است .



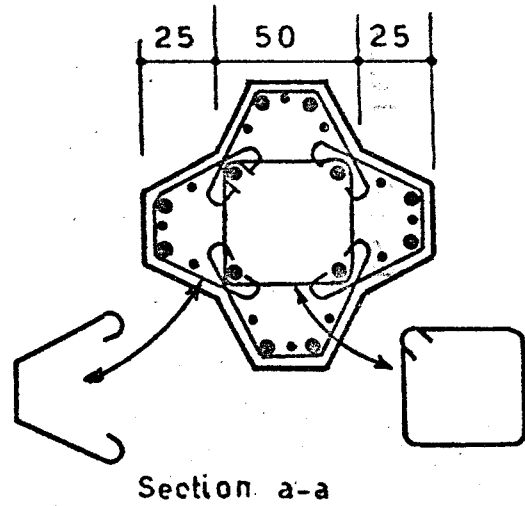
قسمت فوقانی ستونهای طبقه هم کف ساختمان مرکز کامپیوتر پس از زلزله



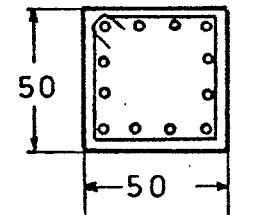
پلان ساختمان مرکز کامپیوتر



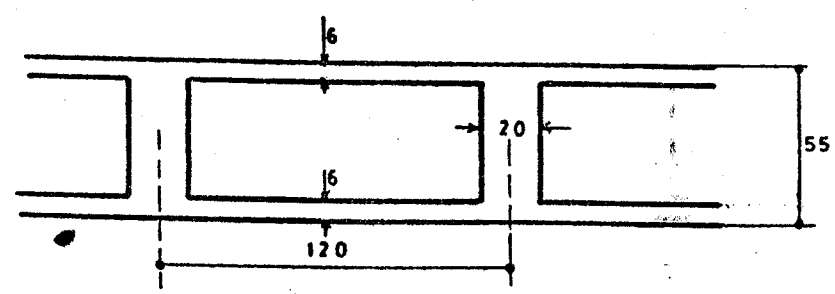
Typical column and slabs



Section a-a



Section b-b

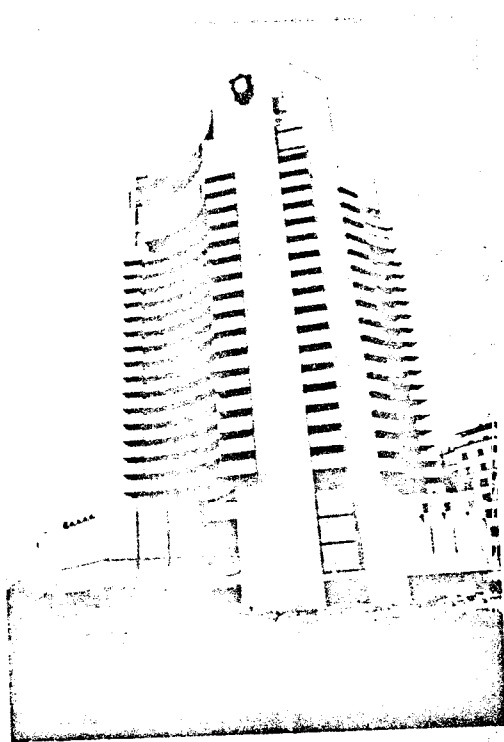


Section c-c

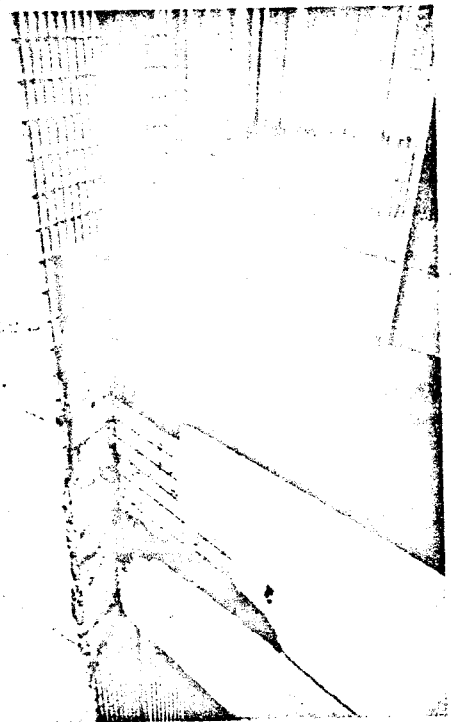
۲۷

هتل اینترکنتینانتال (Intercontinental Hotel)

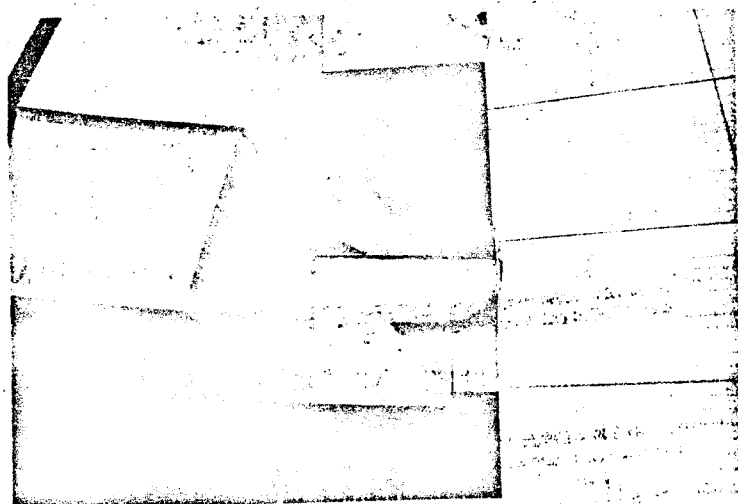
ساختمان جالب ۲۴ طبقه بتن آرمه ای است که در مرکز شیربوخارست واقع شده است، پیرید اصلی نوسان این ساختمان که قبل از وقوع زلزله اخیر اندازه گیری شده بود، معادل $1/15$ ثانیه بوده است. در اثر زلزله قسمت های باربر این ساختمان هیچ خسارت عمده ای وارد نشد و تنها اثری که در این ساختمان دیده شد خسارات جزئی بود که در محل درز انقطاع بین ساختمان اصلی و قسمت کوتاه ورودی ساختمان ایجاد شده بود که باعث ریختن روکارهای ساختمانی در این قسمت شده است. این نوع خسارات که ناشی از تهنه زدن دو ساختمان (Pounding) مجاور بیکدیگر است در تعداد زیادی از ساختمانهای شهر بوخارست دیده شد. سایر خسارات وارده به این ساختمان غیر قابل توجه و بیشتر وجود ترک در دیوارهای جداکننده و اندوهای روی دیوارها میباشد.



ساختمان هتل اینترکنتینانتال

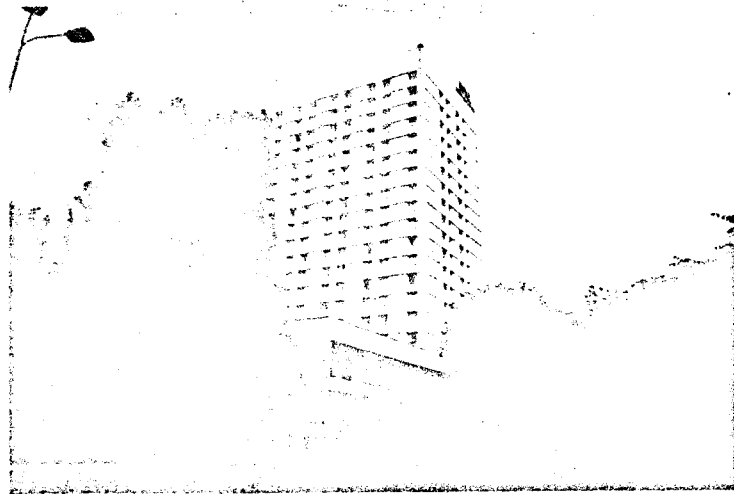


خسارت در محل درز انقطاع ساختمان هتل اینترکنتینانتال

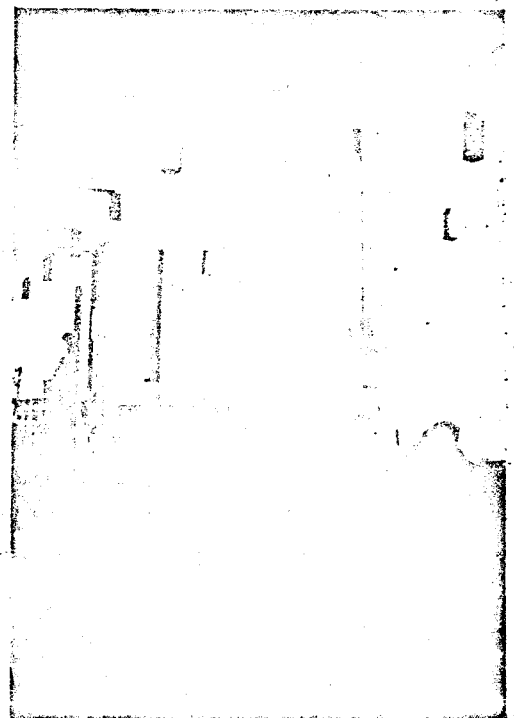
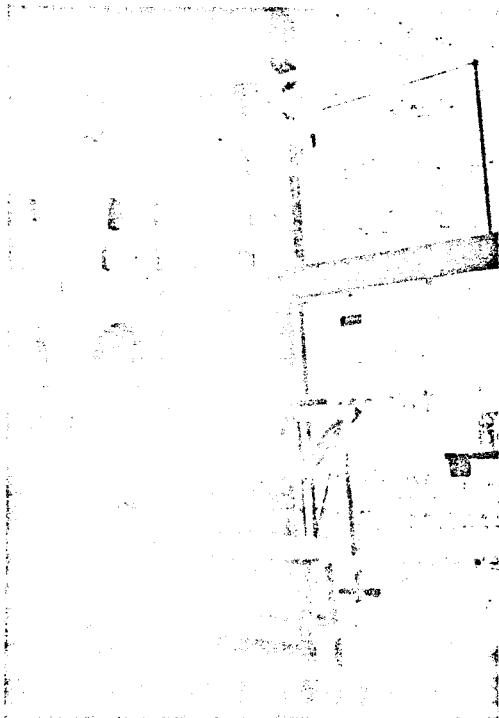


خسارت به روکاری ساختمان در هتل اینترکنتینانتال

ساختمان ۲۰ طبقه بتن آرمه نوسازی است که آسیبی به قسمت های باربر آن وارد نشده است ، ابعاد ستونهای این ساختمان خیلی بزرگ و رویهمرفته ساختمان با قاب بتن آرمه قوی میباشد ، تنها خسارتی که در این ساختمان دیده شد مربوط به ریزش سنگ های پوشش روی ستونها در محل درز انبساط ساختمان است که در اینجا نیز پدیده تنه زدن (Pounding) موثر بوده است .



ساختمان هتل دوربانتی در شهر بوخارست



خسارت به پلاک های سنگی در محل درز انبساط در ساختمان هتل دوربانتی

این ساختمان گرد با پوشش بزرگ گنبدی (تراس فلزی سه بعدی) که بر روی ستونهای بتن آرمه بالتسبه لاغری قرار گرفته است در شهر بوخارست ساخته شده است . بین ستونها ، دیوارهای شیشه ای قرار دارد ، این ساختمان نمونه جالبی از یک پاندول با پرید زیاد که دارای یک توده متمرکز است میباشد ، در اثر زلزله علاوه بر آنکه تعداد زیادی از شیشه های ساختمان خرد شدند تقریباً " در کلیه ستونهای پیرامون ساختمان ترک های برششی نیز ایجاد گردیده است (۱) .

بیمارستان اورژانس

به این بیمارستان که در سال ۱۹۷۰ در شهر بوخارست با قاب بتن آرمه نسبتاً " انعطاف پذیری ساخته شده است در اثر زلزله خساراتی وارد شد و ستونهای آن صدمه دید ، علاوه بر آن یک دیوار غیر باربر خارجی در طبقات فوقانی بطرف خارج خراب گردید . در اثر زلزله به تجهیزات پزشکی بیمارستان نیز صدمه رسید ، آسانسورها از کار افتاد آب و برق قطع گردید (البته برق اضطراری بیمارستان بلافاصله بکار افتاد) . بلافاصله پس از زلزله علاوه بر تعداد ۶۳۵ بیماری که در آنوقت در بیمارستان بستری بودند تعداد ۶۰۰ بیمار مجروح نیز پذیرفته گردید لیکن در ساعت ۴ صبح (حدود ۷ ساعت پس از وقوع زلزله) دستور داده شد که بیمارستان کلاً " تخلیه و بیماران به جای دیگر منتقل گردند عملیات تخلیه بیماران ظرف ۳ ساعت انجام شد (۲) نکته ای که تذکر آن در اینجا مفید است آنست که در مورد بیمارستانها تنها کافی نیست که بیمارستان از نظر اعضای مقاوم ساختمانی خسارتی نبیند بلکه آماده بکار بودن این نوع ابنیه در این قبیل موارد دارای اهمیت زیادی است به عبارت دیگر در مواقع بروز زلزله بیش از هر موقع دیگر به بیمارستان نیاز میباشد و باید وضع ساختمان بیمارستان طوری باشد که در اثر زلزله خسارتی که کوچکترین لطمه ای به این بهره برداری بزند بآن وارد نشود ، بطور کلی خسارت در بیمارستانهای بوخارست موجب گردید که برای مقامات بهداشتی مشکلاتی بوجود آید و گرچه در هیچ بیمارستانی کسی در اثر زلزله کشته نشد ولی تجهیزات پاره ای بیمارستانها صدمه دید و ناگزیر به تخلیه این بیمارستانها شدند ، جمعاً " ۹ بیمارستان از ۳۵ بیمارستان شهر بوخارست که در اثر زلزله صدمه دیدند تخلیه گردید (۲) .

Fundeni بیمارستان

این بیمارستان ۱۶۰۰ تختخوابی شامل دو ساختمان جدا از هم میباشد که ساختمان اول در سال ۱۹۵۸ ساخته

۱ - Professor Semih.S Tezcan etal
Bogazci University Istanbul

۲ - Professor G.V. Berg
University of Michigan

شده و بعداً " بان یک ساختمان ده طبقه بدون در نظر گرفتن فاصله لازم برای درز انبساط اضافه شده است و ساختمان دوم در سال ۱۹۷۴ ساخته شد ، این بیمارستان از مجهزترین بیمارستانهای اروپای شرقی است . واحد اول در اثر زلزله خسارات زیادی دیده است که بیشتر ناشی از تهنه زدن (Pounding) دو ساختمان قدیم و جدید به یکدیگر میباشد و بهمین علت این ساختمان بلافاصله پس از وقوع زلزله تخلیه گردید و واحد دوم نیز صدماتی از قبیل کمانش آرماتور در پاره ای ستونها و ترک های خمشی در تیرها و مقداری خسارت به اعضا غیرباربر دیده است که ناگزیر طبقات اول و دوم ساختمان را تخلیه کرده اند بطوریکه پس از زلزله از ظرفیت کامل بیمارستان استفاده نشد و فقط ۲۵۰ تختخواب بیمارستان قابل بهره برداری بوده است (۱) .

ساختمانهای فلزی

بطور کلی در رومانی ساختمان فلزی بندرت ساخته شده است و بنابراین تاثیر زلزله در ساختمانهای قاب فلزی در زلزله رومانی چندان قابل مطالعه نیست . ساختمان مرکز تلفنی بوخارست یک ساختمان بزرگ فلزی که با قاب فلزی است . این ساختمان در اوایل سال ۱۹۳۰ توسط یک شرکت آمریکائی در این شهر ساخته شده است . این ساختمان که خیلی انعطاف پذیر است بطور خاص برای مقابله با زلزله محاسبه نشده است . خسارتی که در این ساختمان گزارش شده است کمانشی که در بال تیر آهن یک ستون خارجی ایجاد شده و ترک هایی که در دیوارهای پرکننده بین ستونها حاصل شده است (۲) .

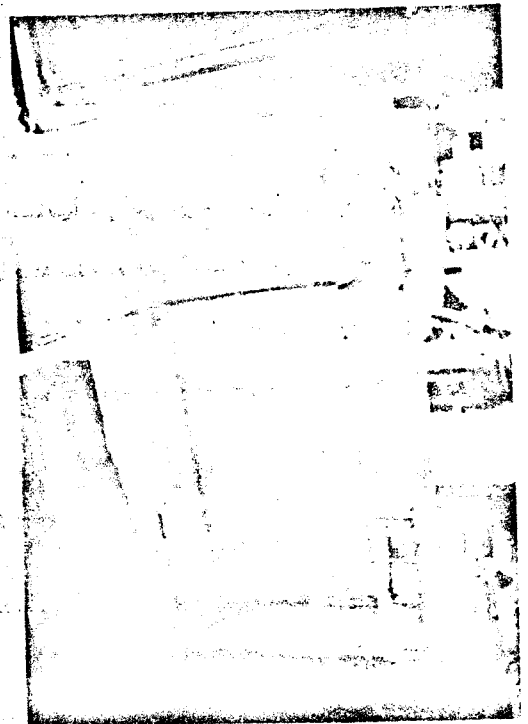
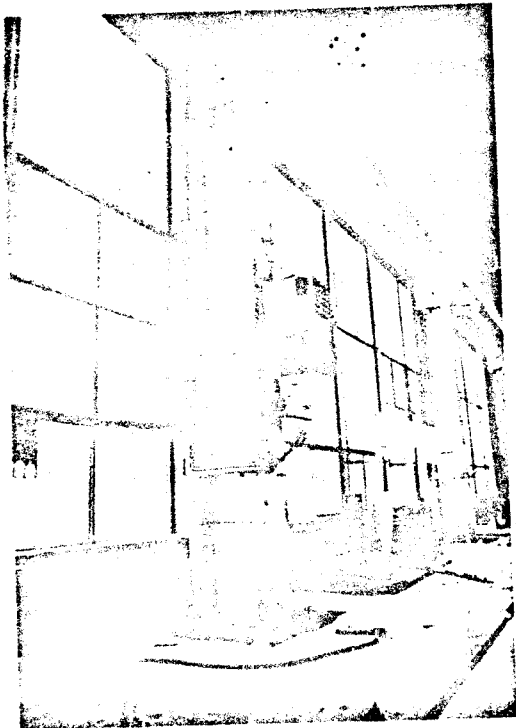
ساختمانهای صنعتی

ساختمانهای صنعتی در رومانی اغلب از نوع بتن پیش ساخته شده میباشد و تنوع زیادی دارند و ساختمانهای هستند که سقف آنها بیشتر بصورت خراباهای بتن آرمه پیش ساخته شده با اشکال مختلف و یا قوسی است ، ستونها نیز عموماً " از عناصر بتن آرمه پیش ساخته شده میباشد این ساختمانها در اثر زلزله خسارت زیادی ندیدند و تنها خسارتی که در پاره ای از خراباهای پیش ساخته شده ملاحظه شده خرابی است که در کنار تکیه گاهها در عضو زیرین خرپا (که میزان تنش مربوط به بار قائم آن صفر است) ایجاد شده ، همچنین در این قبیل ساختمانها با توجه به اینکه ارتفاع سالن ها زیاد است و ستونها بصورت طره ای کار میکنند کم و بیش خساراتی در محل تکیه گاههای تحتانی ستونها وارد شده است .

نکته ای که در مورد این قبیل ساختمانها که خیلی انعطاف پذیر بوده و تغییر شکل آنها در موقع زلزله زیاد است قابل ذکر میباشد نحوه قرار گرفتن دیوارهای بین ستونها میباشد که چنانچه بشکلی باشند که مانع حرکت

۱ - Professor G.V. Berg university of Michigan

آزادانه ستونها شوند بار افقی زیادی را به ستونها تحمیل سینماید بنابراین یا باید حتی الامکان این دیوارها خارج از امتداد ستونها قرار گیرند و یا اگر در همان امتداد ستونها ساخته میشوند باید اتصال بین دیوار و ستون بصورت سخت نباشد که مانع از حرکت آزادانه ستونها شود ، در زلزله رومانی در پاره ای از موارد که این اصل رعایت نشده است ترک هایی در ستونها دیده شد . همچنین دیوارهای داخلی باید بنحوی قرار گیرند که فاصله ای بین خرابها و دیوار بوجود آید که تاثیر آن در حرکت آزاد سقف و ستون نداشته باشند . بطور کلی خساراتی که در ساختمانهای صنعتی ملاحظه شده است مختصر و بیشتر در پائین و بالای ستونها و در محل قرار گرفتن جرنقیل ها بوده است .



خسارت در محل تکیه گاه ستون پیش ساخته ساختمان صنعتی واقع در INCERC بوخارست

ساختمانهای با مصالح بنائیی

این نوع ساختمانها شامل تعداد زیادی ساختمانهای تاریخی مربوط به قرنهای ۱۸ و ۱۹ از قبیل قصور و کلیساها و غیره که معمولا " دو یا سه طبقه هستند ویا ساختمانهای مسکونی چند طبقه در نقاط مختلف منطقه زلزله زده میباشند ، بطور کلی در اثر زلزله به این ساختمانها خساراتی وارد گردید و این خسارات بیشتر به صورت ترک های ضربدری بین پنجره ها بوده است ، ترک ها در طبقه هم کف بیشتر و در طبقات بالاتر بتدریج کمتر میشود .

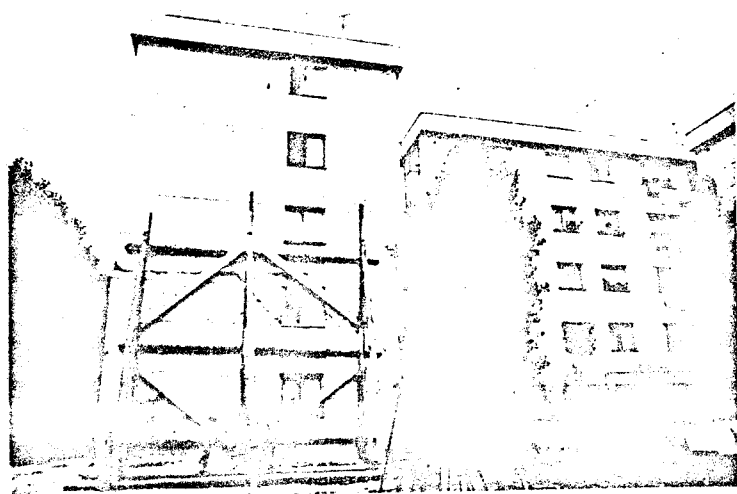
مصالح این ساختمانها نوعا " آجر یا سنگ میباشد .

ساختمانهای معمولی با مصالح بنائی عموما " یک طبقه ویا دو طبقه بوده و سقف های آنها معمولا " از چوب و الوار میباشد این نوع ساختمانها در اثر زلزله به درجات متفاوت صدمه دیده اند و خسارات وارده به آنها از خسارات موضعی شروع تا خرابی کامل گسترش دارد .

در کرایوا (حدود ۳۰۰ کیلومتری جنوب غرب مرکز زلزله) تعدادی ساختمان آجری پنج طبقه با سقف های بتن آرمه موجود بوده است که در اثر زلزله ترک هایی در دیوارهای آنها ایجاد شده است ، این ساختمانها عموما " دارای کلاف قائم بتن آرمه نیز میباشند . در این شهر همچنین در روی ساختمان کلیسا برحک آجری به اندازه ۸ سانتیمتر چرخش ایجاد شده است .

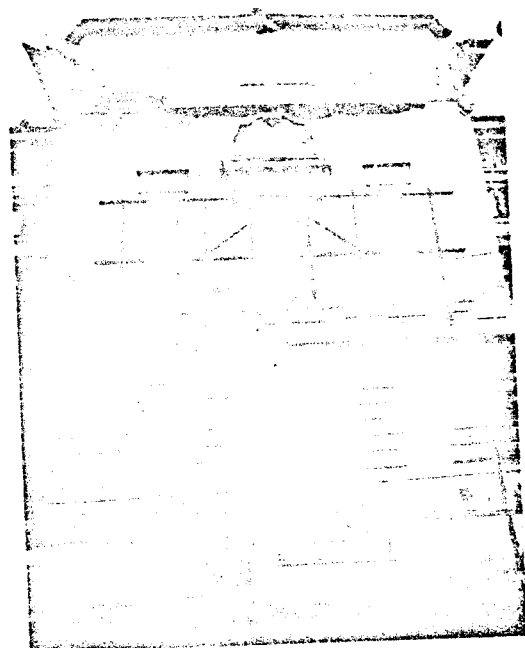
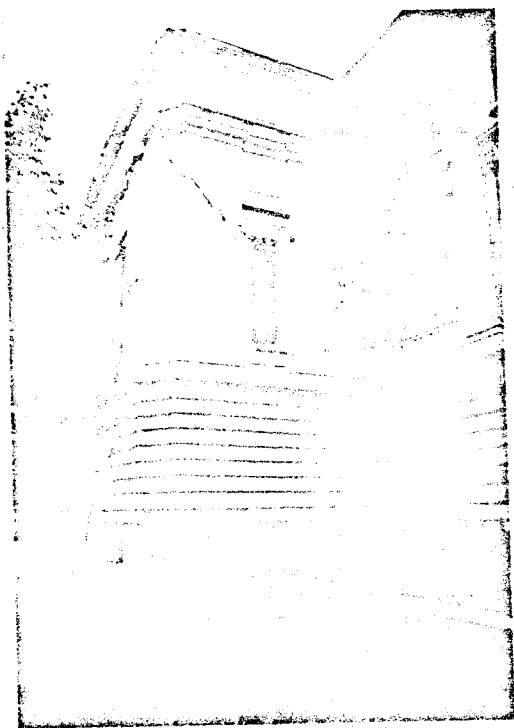
در پلیوشت (حدود ۱۳۰ کیلومتری جنوب غربی مرکز زلزله) ساختمان قدیمی دو طبقه مرکب از آجر و سنگ که قبلا " کاخ دادگستری بوده و اینک خانه فرهنگ میباشد شدیداً " خسارت دیده است ، دیوارهای این ساختمان بسیار ضخیم میباشد و بیشتر خسارات در گوشه های ساختمان پدید آمده است . بیشتر خسارات به ساختمانهای با مصالح بنائی در شهر زمینی چیا (با حدود ۳۰۰ کیلومتر فاصله از مرکز زلزله) بوجود آمد نوع سقف این ساختمانها عموما " خریا و سفال میباشد و ملات آجر چینی دیوارها آهکی است .

در اغلب موارد به دیوار آجری مثلثی شکل انتهایی ساختمان (Gable Wall) در مواردیکه سقف بصورت خریا بوده است خسارت وارده و این دیوارها فرو ریخته اند :

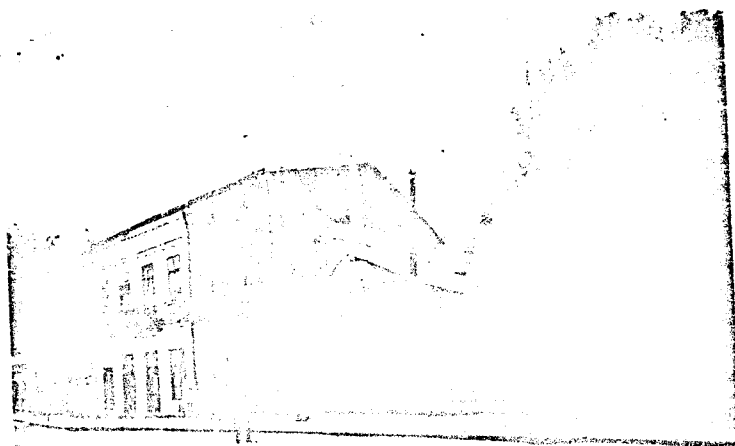


ترک ضربدری و افقی در ساختمان ۵ طبقه آجری در (Craioua) (این ساختمانها

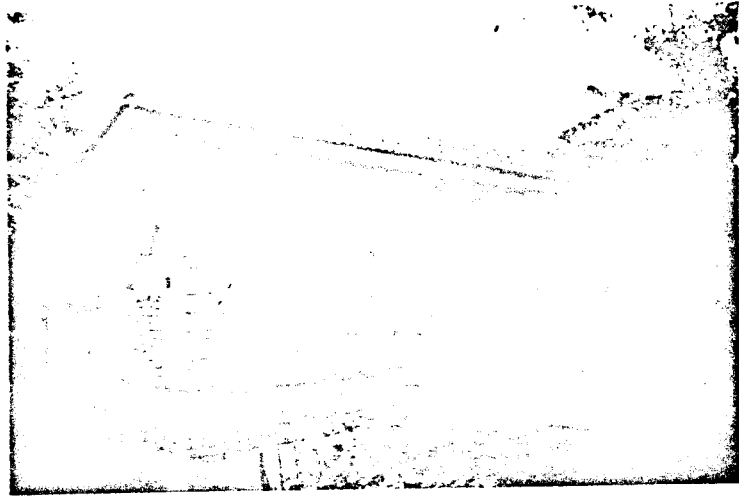
دارای کلافهای بتن آرمه قائم میباشند و سقف آنها نیز بتن آرمه است) .



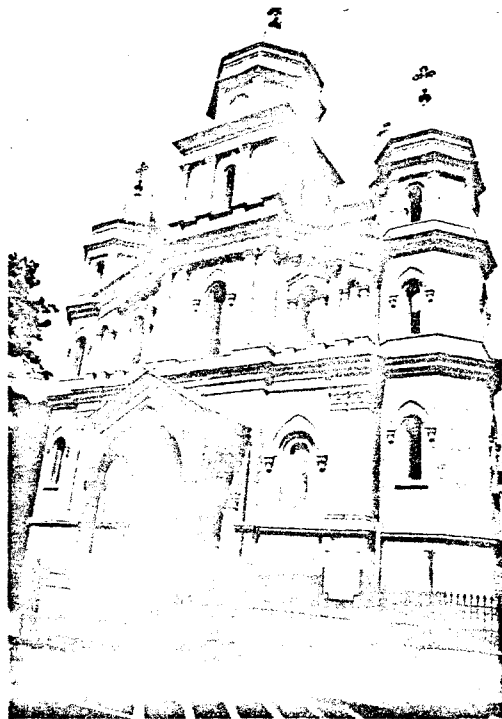
ساختمان خانه فرهنگ پلیوشت (Ploiesti) مرکب از آجر و سنگ
 (ترک های مورب در دیوارها و خراب شدن جان پناه بام)



خراب شدن دیوار انتهائی (Gable wall) در سقف باخربا



خسارت به ساختمانهای آجری در کرایوا (Craiova)



چرخش بر جک آجری بالای ساختمان کلیسا در کرایوا (Craiova)

ساختمانهای سنتی روستائی

نوع ساختمانهای سنتی روستائی که خصوصاً " در زمینی چیا بشدت خسارت دیده ساختمانهایی است که دیوارهای آن گلی و سقف از خربا و سفال میباشد دیوارها بصورت چینه ای است که نحوه ساختمان آنها با این ترتیب است که با قرار دادن قالب در دو طرف دیوار و ریختن گل ورز داده در داخل آن به قشرهای ده سانتیمتر و کوبیدن آن دیوار ضخیمی را بوجود میآورند این نوع ساختمانها عموماً " خراب گردیده اند . در پاره ای از موارد این نوع ساختمانها مخلوط از آجر و گل میباشد . خرابی که در این نوع ساختمانها ایجاد شده ابتدا از خراب شدن گوشه ساختمان شروع شده است .

این نوع ساختمانهای گلی در بعضی از جاها به طرق خاص محلی تقویت شده است و همین تقویت های مختصر ، ساختمان را از خرابی در امان داشته است مثلاً " در بعضی از ساختمانها مقداری چوب که در اصطلاح محلی به رکینا (Rachita) معروف است در گوشه ساختمان در دو دیوار متعامد در هر ۵۰ سانتیمتر به ۵۰ سانتیمتر ارتفاع و بطول حدود ۱/۵ متر در داخل هر یک از دو دیوار قرار میدهند و همین عنصر انعطاف پذیر در گوشه دیوار باعث گردیده است که ساختمان خراب نشود نمونه هایی از این نوع ساختمان در زمینی چیا دیده شد که با وجودیکه ساختمانهای اطراف خراب شده بود این ساختمانها از آسیب محفوظ مانده اند .

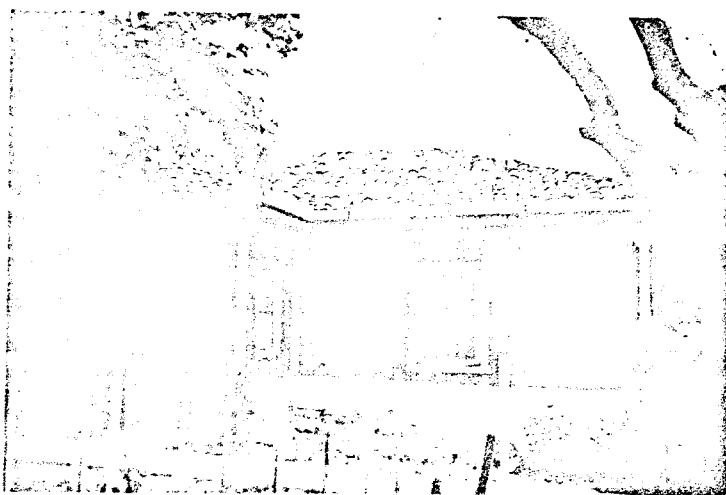


طریقه محلی برای قفل و بست دو دیوار متعامد بوسیله قرار دادن

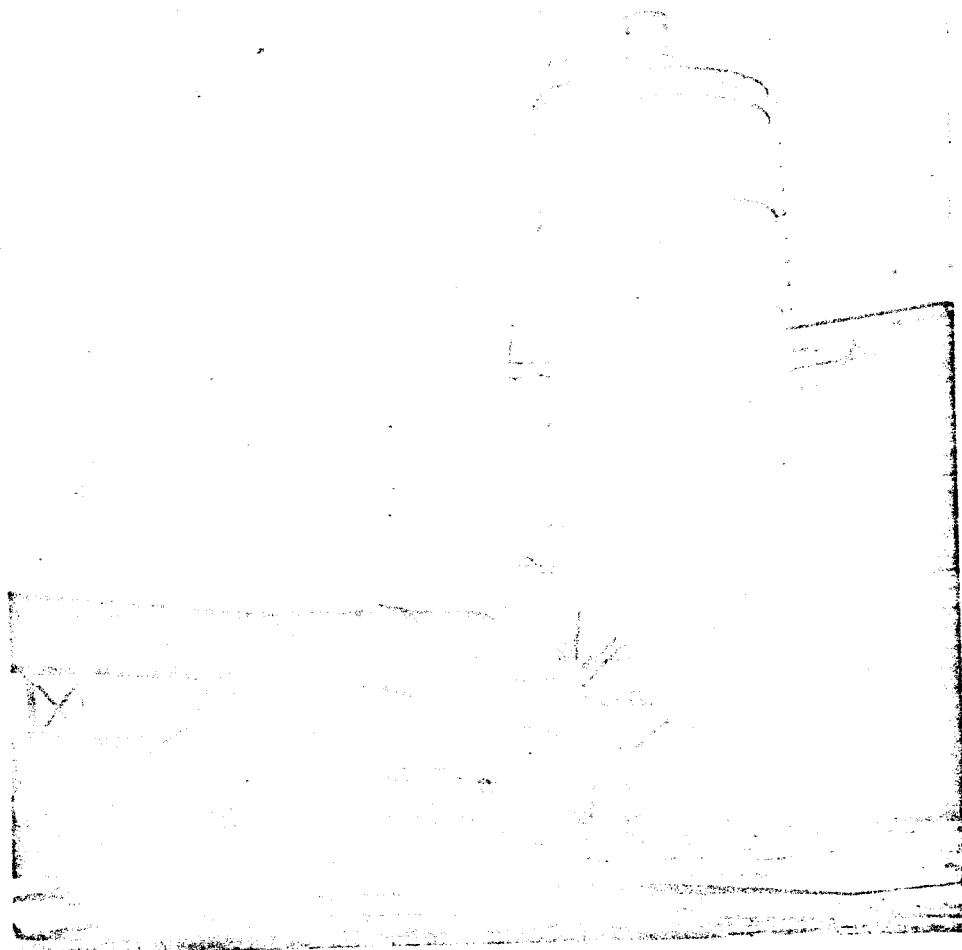
چوب در گوشه ساختمان (در زمینی چیا Zimnicea) .



نمونه ای از خرابی در ساختمانهای سنتی روستائی زمینی چیا (Zimnicea)



ساختمان سنتی روستائی در زمینی چیا (Zimnicea) که با استفاده از قرار دادن چوب در گوشه های ساختمان تقویت شده و در زلزله خسارتی ندیده است .



خرابی سیلوی فلزی (این عکس با لطف آقای

F. Vermescu مدیر موسسه IPCT بدست آمد)

برجهای آب و منابع و سیلوها

برجهای آب موجود در رومانی عموماً " بتن آرمه و مرکب از یک شافت مرکزی و برج مخروطی میباشند ، از مجموع ۲۰۰ برج بزرگ ۱۵ تا ۴۵ متر ارتفاع و ۲۵۰ تا ۵۰۰ مترمکعب که در منطقه قرار داشت دو برج در بوخارست و یک برج در ۶۰ کیلومتری غرب و برج دیگری ۲۰ کیلومتری جنوب غربی بوخارست قرار داشت شکست خورده است ، این منابع در موقع بروز زلزله همه پر بوده اند (۱) محل شکستگی عموماً " درمحل تقاطع شافت با مخروط منبع و یا در ثلث فوقانی شافت بوده است . خسارت به تانکهای آب زیرزمینی و همچنین سیلوهایی غله خیلی اندک بوده است ، یک سیلو در ۱۰۰ کیلومتری جنوب مرکز زلزله در قسمت غیر باربر فوقانی خود خسارت دید و به شالوده یک سیلو در بندر زمینی چیا صدمه وارد آمد و شالوده آن شکسته است .

۱ - Professor N . N Ambraseys

Imperial College of Science and Technology, London

خطوط انتقال نیرو و بست های ترانسفورماتور

زلزله در یک پست ترانسفورماتور موجب واژگونی ترانسفورماتور و خسارت بآن شد و در نتیجه آتش سوزی مختصری ایجاد کرد .
در چند مورد به خطوط انتقال نیرو بعلت محکم نبودن پایه ها خساراتی وارد شده است و در نتیجه چند عدد از برجهای انتقال واژگون شد (۱) .

اثر زلزله بر سدها

زلزله رومانی خسارتی به سدهای آن کشور وارد نساخت ، جمعا " ۴ سد بزرگ در شعاع ۲۵۰ کیلومتری از مرکز زلزله قرار دارند و هیچکدام از این سدها خسارتی ندیدند ، نزدیک ترین سد به مرکز زلزله سد بتنی بشت بند (Concrete buttress dam) به ارتفاع ۱۲۰ متر بنام سد (Poiana Vguli) است که در فاصله ۶۰ کیلومتری شمال غربی مرکز زلزله واقع است و کوچکترین خسارتی ندیده است ، شدت زلزله در این نقطه در حدود شدت هفت اصلاحی مرکالی بوده است (۲) فاصله سدهای دیگر و نوع و ارتفاع سدها به شرح زیر میباشد :

- سد وزنی بیجاز (Bicag) با ارتفاع ۱۲۰ متر در ۱۲۵ کیلومتری مرکز زلزله
- سد قوسی آرگس (Arges) با ارتفاع ۱۷۰ متر در ۱۷۵ کیلومتری مرکز زلزله
- سد خاکی ویدرا (Vidra) با ارتفاع ۱۲۰ متر در ۲۴۰ کیلومتری مرکز زلزله

۱ - Professor N.N Ambraseys
Imperial College of Science and
Technology, London

۲ - Professor G.V Berg
university of Michigan

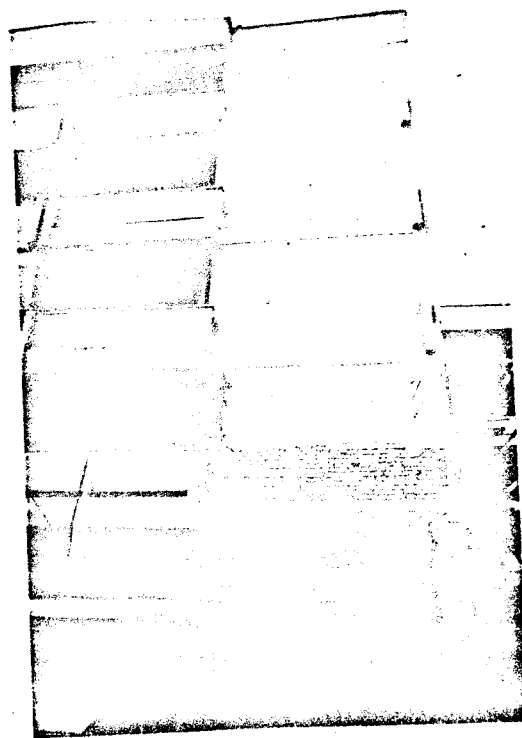
انجام کار تعمیر و تقویت ساختمانهای آسیب دیده از زلزله معمولا " یک مساله حساس میباشد و گاه مشکلات مربوط به تقویت یک ساختمان و هزینه ای که انجام این تقویت ها در بر خواهد داشت و خصوصا " عدم اطلاع دقیق از نقاط ضعفی که در ساختمان ایجاد شده و قابل رویت نیست و احتمالا " در زلزله های بعدی اثر خود را ظاهر خواهد ساخت ، تصمیم گیرنده را وادار میسازد که تخریب ساختمان آسیب دیده را بر ترمیم و تقویت آن ترجیح دهد .

پس از زلزله اخیر کشور رومانی از طرف دولت تعداد زیادی از ساختمانها که غیر مطمئن تشخیص داده شده بود بکلی خراب و برجیده شد و تعمیر و تقویت تعداد بسیار زیادی از ساختمانهای آسیب دیده نیز در برنامه کار کلی گنجانده شده است که بتدریج نسبت به تقویت این ساختمانها اقدام گردد .

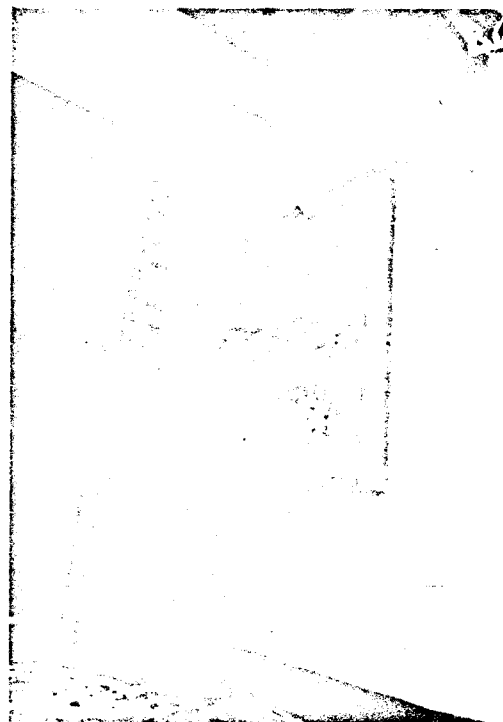
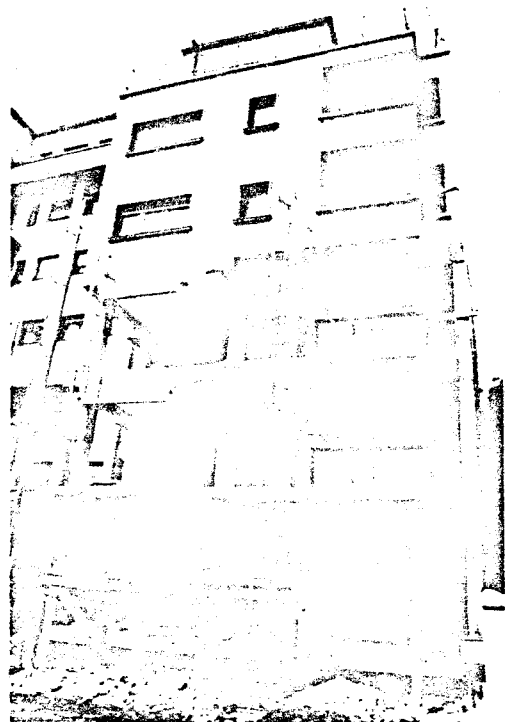
از جمله ساختمانهایی که برنامه تقویت آنها در دست اقدام میباشد ساختمانهای پنج طبقه آجری در شهر کرایواست که خصوصا " در طبقات پائین شکاف های ضربدری در دیوارهای آجری این ساختمانها ایجاد شده است ، نحوه تقویت این ساختمانها باین ترتیب است که شبکه آهن گرد بر روی دیوار در هر دو روی آن قرار داده و قشر ضخیمی از ملات سیمان در روی آن قرار داده میشود و با این ترتیب دو دیوار نازک بتن آرمه در دو طرف دیوار آجری برای کمک به دیوار آجری جهت مقابله با نیروهای جانبی احتمالی بعدی ساخته میشود بدیهی است کلیه شکافهای ناشی از زلزله که در دیوار آجری قرار دارد قبلا " با تزریق ملات سیمانی پر میگردد .

برای تقویت ستونهای بتن آرمه نیز با قرار دادن نبشی فلزی در چهار گوشه ستون و جوش نمودن تسمه های افقی بر روی این نبشی ها ستونها را تقویت مینماید و بهمین ترتیب در مواردیکه شکافهایی در محل تقاطع تیر و ستون ایجاد شده این شکافها با عناصر فولادی ترمیم و تقویت میگردد .

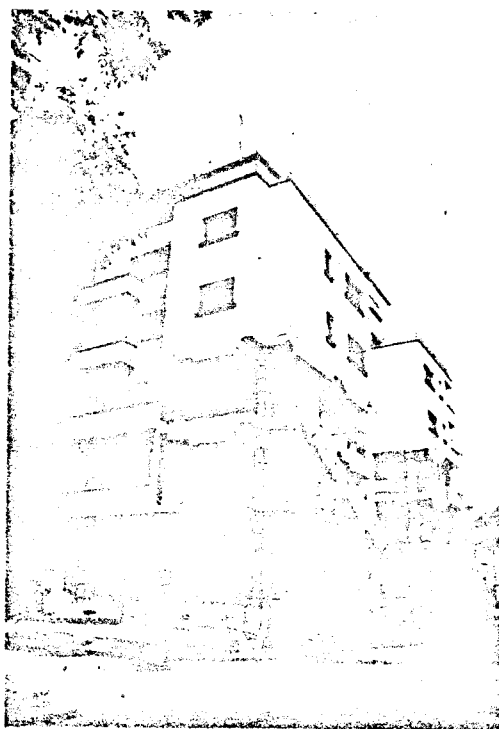
تعمیر و تقویت عناصر غیر باربر از قبیل پوشش سنگی و سرامیک روی دیوار نیز در دست اجرا میباشد .



مرمت و تقویت دیوارهای آجری بوسیله قرار دادن شبکه آهن گرد در دو طرف دیوار و اندود ضخیم سیمانی روی آن



مرمت و تقویت ستونهای بتن آرمه



ساختمان ۶ طبقه (بازیرزمین) بتن آرمه در بوخارست که ستونهای آن با قرار دادن نبشی و تسمه
 و همچنین آرماتورهای طولی تقویت میگردد (طره های طبقات بوسیله قرار دادن تیر آهن به خارج
 ستون تقویت میشود) .

اثر زلزله رومانی در کشور بلغارستان

مماظوریکه گفته شد در اثر زلزله رومانی به کشور بلغارستان نیز خساراتی وارد آمد ، و تعداد ۱۰۸ نفر در این کشور کشته شدند . در شهر اسویس لیف (Svisliov) که شهر ساحلی رودخانه دانوب و تقریباً " در مقابل شهر زمینی چیا (Zimnicea) قرار گرفته است به تعدادی از ساختمانها خسارت وارد آمد و سه ساختمان بتن آرمه ۹ ، ۶ و ۵ طبقه که پرید اصلی نوسان آنها به ترتیب $T = 1/2$ ثانیه و $T = 0/9$ ثانیه و $T = 0/8$ ثانیه بوده است و همچنین یک سیلو غله بکلی خراب شد ، نکته جالب در مورد ساختمان بتن آرمه ۹ طبقه این است که طبقه هم کف این ساختمان دارای مغازه و فروشگاه بوده است و بهمین علت در این طبقه تعداد دیوار کم و در نتیجه پرید اصلی نوسان ساختمان بالا بوده است که با پرید حاکم زلزله مطابقت داشته است ، در همین محل ساختمان ۹ طبقه دیگری با همان طرح و نقشه و با تفاوت اینکه در آن مغازه قرار نداشته و طبقه هم کف دارای دیوار بیشتری بوده موجود بوده است که زلزله آسیبی به آن نرسانده است .

نیروگاه برق اتمی کشور بلغارستان در ساحل دانوب و تقریباً " در مقابل شهر کرایوا (Craiova) قرار گرفته است و زلزله آسیبی به ساختمان اصلی نیروگاه نرسانده است لکن خسارتی به ساختمانهای اداری آن وارد کرده است ، ساختمان اصلی نیروگاه دارای ستونهای قوی است که برای تحمل بار ۲۰۰ تن جراثقالها حساب شده است و در موقع بروز زلزله عملاً " این بار بر روی ستونها وجود نداشته است . البته بطوریکه شنیده شد در اثر زلزله اختلالاتی در پاره ای از تجهیزات داخلی این نیروگاه که بصورت معلق بودند ایجاد شد و موجب گردید که برای مدت کوتاهی از نیروگاه استفاده نشود ولی بطور کلی به این نیروگاه آسیبی وارد نیامده است .

خلاصه و نتیجه

زلزله چهارم مارس ۱۹۷۷ کشور رومانی با بزرگی (Magnitude) $7/2$ و با فاصله حدود ۱۶۰ کیلومتر از شهر بوخارست خسارت زیادی به شهر بوخارست و چندین شهر دیگر رومانی و حتی به شهر اسویس لیسف در کشور بلغارستان وارد ساخت ، این زلزله فرصت بی نظیری را برای مطالعه اثر زلزله های راه دور در ساختمانهای با پرید زیاد فراهم ساخت . در اثر این زلزله به تعداد زیادی ساختمانهای مرتفع شهر بوخارست آسیب وارد آمد و بیش از ۳۵ ساختمان حدود ده طبقه در شهر بوخارست بکلی خراب شد ، نموداری که از شتاب حرکت زمین در شهر بوخارست بدست آمد شتاب هائی در حدود ۲۰ درصد شتاب ثقل زمین را نشان میدهد و جالب ترین قسمت این نمودارها نقاط اوج نمودار است که در فرکانس های کم (پرید نوسان زیاد) حاصل شده و علاوه بر آنکه مساحت زیر منحنی را به میزان زیادی بالا میبرد یعنی حاکی از مقدار سرعت قابل توجهی میباشد روشن میسازد که این زلزله باید در ساختمانهای با پرید زیاد دارای اثر بیشتری باشد .

اثر زلزله در ساختمانهای شهر بوخارست لزوم توجه بیشتر به جزئیات اجرائی از قبیل نحوه آهن گذاری و فواصل تنگ ها و رکابها را یاد آور میسازد .

در این زلزله گرچه به ساختمانهای پیش ساخته شده بتن آرمه آسیبی نرسید لکن این موضوع را نباید ناشی از آسیب ناپذیر بودن این ساختمانها دانست بلکه مزاحمت شدید کشور رومانی به نوع اتصالات این قیبل ساختمانها و نحوه آزمایش قطعات و مدل های ساختمان را باید عامل اصلی مقاومت این ساختمانها در زلزله رومانی دانست و از آن گذشته باید توجه داشت که پرید این ساختمانها حدود $0/5$ ثانیه بوده است و با پرید حاکم در این زلزله به میزان زیادی فاصله داشته و با این توضیح و با توجه به اینکه در حوالی مرکز زلزله (epicenter) از این نوع ساختمانها وجود نداشته است نتیجه ای که از زلزله رومانی بر ساختمانهای پیش ساخته شده بدست آمده است نباید گمراه کننده باشد و بعنوان مهترتصویب بر انواع ساختمانهای پیش ساخته بتنی در کشور ایران که متاسفانه بدون هیچگونه ضابطه و بدون مراعات اصول لازم برای مقابله در برابر زلزله مرتبا " در تزیید هستند تلقی گردد .

نکته مهم دیگر لزوم تقویت کامل ساختمانهایی است که پس از زلزله خسارت مختصری دیده اند و معمولا " بدون توجه به این خسارت و اغماض از آنچه بر سر ساختمان آمده بلا دفاع در برابر زلزله های بعدی قرار میگیرند ، این درس جالبی است که از زلزله رومانی عاید شد تعداد زیادی از ساختمانهایی که در این زلزله بکلی خراب شدند همانهایی بودند که در زلزله سال ۱۹۴۰ رومانی سلامت جستند و فقط خسارات مختصری دیدند ولی بعدا " تعمیر و تقویت نشده اند ، این درس یادآوری این نکته را ضرور میسازد که در اغلب موارد که ساختمانها مرتبا " در معرض زلزله های کوچک قرار میگیرند و بتدریج نقاط ضعفی در آنها بوجود میآید اگر

این نقاط ضعف بعداً " ترمیم نگردد دام مناسبی برای زلزله بعدی است اگر چه زلزله بعدی از نوع زلزله متوسط باشد .

در شهریور ۱۳۴۱ که بوئین زهرا لرزید تهران با شدتی در حدود ۵ (با مقیاس اصلاحی مرکالی) تکان خورد که این شدت کافی برای خراب کردن ساختمانهای خشت و گلی هم نبود ولی در همین شدت کم در تعداد زیادی از ساختمانهای آن روز تهران ترکهایی در نقاط حساس ایجاد شد که بندرت ممکن است صاحبان یا استفاده کنندگان از این ابنیه متوجه این نقاط ضعف شده و یادرنکر تقویت ساختمان برآمده باشند و رنگ آمیزیهای بعدی نیز آثار این ترک ها را برای ناظران سطحی محو کرده است با این ترتیب این نقاط ضعف هنوز در این قبیل ساختمانها موجود است و اگر این ساختمانها در معرض زلزله نیمه مخربی قرار گیرد سرنوشت این ساختمانها بهتر از سرنوشت ساختمانهای شهر بوخارست که در زلزله سال ۱۹۴۰ سلامت رستند تا زلزله اخیر حساب آنها را رسید نخواهد بود .

بطور خلاصه در زلزله اخیر رومانی بیشتر خسارات زلزله در ساختمانهای انعطاف پذیر که پرید نوسان آنها در حدود یک ثانیه بود وارد شد و این موضوع بعلت طبیعت خاص زلزله و دور بودن این ساختمانها از کانون زلزله بود بطوریکه طیف شتاب زلزله نیز که از محاسبه نموداری که در بوخارست ثبت شده بود بدست آمد حداکثر میزان شتاب را برای پریدهای بالا نشان میداد .

بطور کلی علت خرابی در ساختمانهای شهر بوخارست را صرفنظر از تطابق پرید اصلی نوسان آنها با پرید حاکم زلزله باید ناشی از جزئیات بد اجرائی و کیفیت مصالح دانست و در تعداد زیادی از ساختمانها که بخوبی طرح و اجرا شده بودند با وجود نزدیک بودن پرید اصلی نوسان به پرید حاکم زلزله بندرت خسارتی دیده شد .

مقداری از خسارات وارده بر ساختمانهای شهر بوخارست ناشی از عدم رعایت فاصله دو ساختمان مجاور از یکدیگر بوده است بطوریکه این دو ساختمان در موقع بروز زلزله با ضرباتی که به یکدیگر وارد آورده اند موجب خساراتی شده اند بطوریکه پدیده تنه زدن (Pounding) در تعداد زیادی از ساختمانهای شهر بوخارست قابل رویت میباشد و این نکته درسی برای ساختمانهای متداول در کشور ایران میباشد . چه بسا ساختمانی بتواند در موقع بروز زلزله بخوبی در مقابل نیروی جانبی ناشی از زلزله بر ساختمان پایداری کند لکن ضربات جانبی که پتک وار از جانب ساختمان همسایه بر آن وارد میگردد، موجب بروز خسارت و یا احتمالاً " خرابی در این ساختمان گردد .

نکته ای که در این جا باید با تاکید بیشتری از آن یاد شود خطرات ناشی از خراب شدن پوشش های نما بویژه پوشش های پلاک سنگی در هنگام بروز زلزله است و این درس خصوصاً " برای کشور ایران بسیار آموزنده است ، پوشش های سنگی روی نمای ساختمانها که معمولاً " در ایران متداول است بدون پیوستگی کافی با دیوار است و

ارتباط این پلاکها با دیوار تنها بوسیله چسبندگی ملات سیمانی که گاه هم دارای خلل و فرج زیادی است تامین میشود و تکان زلزله به سهولت این پلاکها را از دیوار جدا ساخته و بر سرعابرین و مردم وحشت زده از زلزله که در موقع بروز زلزله کنترل خود را از دست داده و به معابر و فضای آزاد ریخته اند خواهد ریخت .

این عیب خصوصا " در ساختمانهای مرتفع متداول در کشور ایران بچشم میخورد که در حقیقت وزن پلاک های سنگی موجود در ارتفاع ساختمان به سنگ های زیرین تحمیل میشود و سنگ های زیر که خود در مواقع عادی در معرض خارج شدن از وضع ساکن هستند در موقع حرکت زلزله به سهولت کنده و به خارج پرت خواهند شد ، حتی اسکوپ های متداول در پاره ای از ساختمانها که پیوستگی سنگ ها را به یکدیگر و چسبندگی بیشتر آنها را با ملات پشت سنگ و با دیوار تامین میکند نمیتواند راه حل نهائی برای فرار از این خطر باشد و باید کلیه سنگها بخوبی با پیچ و یا وسائل دیگر به دیوار تثبیت گردند تا حتی المقدور از بروز این حادثه ها جلوگیری شود .

References

- N. N. Ambraseys(1977)
The Romanian Earthquake of 4th March 1977 (Preliminary report of UNESCO Earthquake Reconnaissance Mission)
- G. V. Berg(1977)
Earthquake in Romania March 4, 1977 (A Preliminary report to Earthquake Engineering Research Institute)
- S. Tezcan, V. Verbici and H. Durgunoglu(1977)
Romanian Earthquake of March 4, 1977

The writer was assisted by many organizations, experts and Romanian colleagues in the field and wish to thank all of them for all they did for the success of the mission.

The writer is especially grateful to Building Research Institute (INCERC) and other Romanian Institutes such as IPCT, ICH, IFA and CNST for providing valuable data and information. Finally I wish to express my sincerest thanks to:

- Ing P. Vermescu, Ing I Pestsamu, Ing M. Doliya and Ing V. Teleamu of IPCT
- Dr. R. Constantinescu, Dr. I. Stefanscu Dr. G. Serbanescu, Ing Rodelscu and Mrs A. Mihalus of INCERC
- Dr. D. Cornea, Dr. Iosif and Dr. Lascu of IFA

For their kind cooperations during my visit in Romania.

Some of these buildings had been damaged by past earthquakes and were not repaired and strengthened properly, so they were collapsed by this earthquake. This shows the importance and the necessity of strengthening existing buildings which have survived an earthquake with minor damages which have caused a weakening of the structure.

The large panel prefabricated reinforced concrete buildings of five and nine storeys, behaved very well in the Romanian earthquake due to the fact that the fundamental period of vibration of these buildings was far less than the predominant period of this particular earthquake, and good design and execution of these buildings in Romania.

Damages due to pounding in adjacent buildings as well as in the expansion joints of certain buildings were very frequent and proved the necessity of taking into account the sway of buildings due to earthquake motion at the time of designing such structures.

One of the most common damages in the Romanian earthquake was the serious damage to infilled walls in high-rise buildings. The damages to non structural elements such as fallen parapets or fallen ceramic and stone sheets from the facial of the buildings is very important and consideration should be paid for the proper fixing of such elements.

Acknowledgement

The visit to Romania was financed by the Plan and Budget Organization of Iran and facilitated by the Romanian authorities for which the writer is thankful.

due to fallen ceramic or facial stones from the exterior walls of the buildings as well as interior walls.

Damages to stone or brick masonry buildings varied from minor cracks in the walls to total collapse of the buildings. The cracks in the walls were typical and mostly X type. In Craiova, 300 Km away from the epicenter a series of five storeys brick buildings with reinforced concrete slab floors was damaged despite the fact that these buildings were strengthened against earthquakes by reinforced concrete vertical elements inside the walls. In Ploiesti, sixty Km north of Bucharest, the old masonry building of the Cultural House was seriously damaged. Many deep cracks occurred in the thick external walls of this building, and part of the parapet of the roof had also fallen.

The adobe buildings in Zimnicea were heavily damaged by the earthquake and many houses of this type of construction were collapsed in this small town. In some parts of this region the adobe buildings were reinforced by providing some horizontal wooden elements locally called "Rachita" inside of the two perpendicular walls at the corner of the buildings. The distances between the two wooden elements were about 50 centimeters. Generally the adobe buildings in which the "Rachita" were provided behaved well in this earthquake.

Conclusion

In general the lessons gained by the recent Romanian earthquake are invaluable. The earthquake affected a large area and the damages were severe, specially for monolithic reinforced concrete buildings having a fundamental period of vibration of about one sec or more.

The damages to some of the monolithic reinforced concrete buildings were considerable. More than thirty high-rise reinforced concrete buildings were collapsed due to the earthquake. There were a lot of damages to infilled walls in these type of buildings, and also considerable damages due to pounding were observed.

The most important reinforced concrete building which collapsed in Bucharest was the building of the computer center. When the author visited the area this building had already been removed, but what he learned from others showed that this was the most instructive case of collapse of buildings in the Romania earthquake.

The structure was a three storeys flat slab floor building thirty meters by thirty meters in plan supported by nine columns spaced twelve meters center to center in both directions, and cantilevered three meters on all sides. There were no shear walls in this building and the building was very flexible. The Dimension of typical columns in the bottom storey was fifty centimeters by fifty centimeters and tapered from fifty centimeters square at the top to a one meter by one meter fluted shape at floor level. Generally the lateral columns reinforcement was insufficient and as the result of the earthquake the ground storey columns failed at the top part and the longitudinal bars were buckled and caused the collapse of the building.

The two modern and attractive buildings, the twenty-four storeys Intercontinental Hotel and the twenty storeys Durobanti Hotel, with a large period of Vibration suffered very little from the earthquake. The damages were due to the pounding in expansion joint and to the facial

From what has been explained about the predominant period of the Romanian earthquake, one should expect that the damage should be concentrated especially for the flexible buildings having fundamental period of vibration of about 1 sec or more.

One of the most common types of buildings in Bucharest is the large-panel prefabricated reinforced concrete building. This type of building which is constructed mostly in five and nine storeys all over Romania was not damaged badly by the earthquake. One of the main reasons for the good behaviour of the large panel prefabricated reinforced concrete buildings in the Romanian earthquake was good design and well execution of this type of building, especially the careful attention that was paid to the detail of the joints and connections of panels to each others:

As it was understood, no prefabricated reinforced concrete buildings can be executed in Romania unless a $\frac{1}{4}$ scale model of the building and a full scale sample of the joints is tested before hand.

Although the large-panel buildings have performed very well in the Romanian earthquake, it should be noted that the fundamental period of these buildings is between $0.03N$ to $0.05N$ (N is the number of storeys). The period of vibration of these buildings was less than the predominant period of the earthquake, therefore the buildings did not show a real test of earthquake resistance in this earthquake.

the epicenter. The town is in the southern part of the country near the Dunube river. On the other side of Zimnicea in Bulgarian territory in the town of Svisliov three reinforced concrete buildings which were nine, six and five storeys tall were totally collapsed. The earthquake affected also the city of Craiova, some 300 Km away from the epicenter as well as some other Romanian cities and towns.

At the time of the earthquake, a SMAC-B type strong motion accelerograph was located at the Building Research Institute in the northeastern part of Bucharest. This instrument registered an interesting record from the main shock. The peak acceleration value in the horizontal direction was about 0.20g and in the vertical direction about 0.10g. A glance at the record shows that the long period components were predominant. The pseudo acceleration response spectra of the records which have been carried out by professor Tezcan and others for the different critical damping values show that the peak acceleration for the various components of the records is in the period of 1 sec and more. The Fourier transform curves were also in good agreement with this statement.

For the purpose of comparison between the acceleration response spectra of the Romanian record with what was obtained by the 1940 El Centro earthquake, professor Tezcan has normalized the El Centro record to the same peak magnitude and plotted the El Centro spectra on the same diagram of acceleration response spectra of the Romanian record, and noted that the shape of the spectral accelerations of these two earthquakes are very much different from each other.

The Romania Earthquake of March 1977

Summary of the Persian text

On March 4, 1977 at about 21 hours, 22 minutes local time (19. 22 G. M. T) a strong earthquake with a Magnitude of 7.2 occurred in Romania. The shock was felt in many cities of Europe. The epicenter of the earthquake was in the Vrancea region of the Carpathian mountain about 160 Km northeast of Bucharest. The focal depth of this earthquake was about 91 Km according to the U. S. G. S report. The epicenter of the earthquake was somewhat in the same epicentral location as the November 10, 1940 earthquake which affected a large area in Romania. The past earthquake of November 10, 1940 had a magnitude of 7.4 and caused extensive damages in Bucharest and surrounding areas.

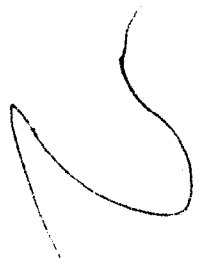
In May 1977 nearly two months, after the earthquake the author had the opportunity to visit the damaged area. Although most of the seriously damaged and collapsed buildings in Bucharest and elsewhere were removed, still there were a lot of instructive examples which were good enough for investigation.

The earthquake caused damages and collapsed more than thirty reinforced concrete skeleton buildings of more than ten stories in height in Bucharest. Most of these buildings were those which were damaged in the 1940 earthquake and had not been repaired properly. Apart from Bucharest, the most seriously damaged area was the small town of Zimnicea which is located about 300 Km away from

The Romania Earthquake of March 1977

By: A. A. Moinfar

Publication No. 77, January 1978
Technical Research & Standard Bureau
Plan and Budget Organization-IRAN

A handwritten mark or signature, possibly the initials 'S' or 'N', located in the bottom right corner of the page.