سازمان برنامه و بودجه

زلزله ۴ مارس ۱۹۷۷ کشور رومانی

از

علی اکبر معین فر

دفتر تحقیقات استانداردهای فنی

نشریه شماره ۷۷

دیماه ۲۵۳۶

مقدمه

در ساعت ۹ و ۲۲ دقیقه بعدازظهر (بوقت محلی) روز جمعه چهارم ماه مارس ۱۹۷۷ زلزله شدیدی خاک کشور رومانی و قسمتی از اروپای شرقی را به لرزه درآورد وخسارات و تلفات زیادی به شهر بوخارست و شهرهای زیمنی چیا (Zimnicea) و کرایوآ (Craiova) و الکساندریا (Alexandria) و پاره ای دیگراز نقاط کشور رومانی و شهر اسویس لیف (Svisliov) در کشور بلغارستان وارد آورد . برطبق آمار رسمی جمعا" 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 شهر بوخارست حوالی روستاهای (Brisest) و (Noruja) در نزدیکی شهر فوکشان (Focsani) قرار داشته است که در منطقه ورنچیا (Vrancea) و درجنوب 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 وحدود ۳۰۰ کیلومتر میباشد تا سواحل رودخانه دانوب ادامه داشته و قسمتی از خاک بلغارستان را نیز در برمیگیرد ،شهریک میلیون وهفتصد هزارنفری بوخارست تقریبا" در نیمه راه بین دانوب و کوههای کارپاتیان است .

شدت زلزله بحدی بوده است که از رم تا مسکو احساس گردید و در استانبول وبلگرادموجب وحشت اهالی شد . بیشتر خسارات این زلزله به شهر بوخارست وارد شد ، دراین شهر تعدادی ساختمان و چند مرکز عمومی که در موقع وقوع زلزله دارای جمعیت بودند (رستورانها)خراب گردید و بطور کلی ۸۵ درصد ازتلفات 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 ازسال 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 زیمنی چیا در کشور رومانی آسیب فراوان رسید و ساختمانهای این شهر که نوعا" 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 جمعا" ۱۰۸ نفر کشته شدندوسه ساختمان بلند با پرید طبیعی بیش از ۰/۸ 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 رومانـــی
اطلاعات کلی درمورد منطقه

کشور رومانی با وسعت معادل ۲۰۰۷۴۴ کیلومتر مربع در جنوب شرقی اروپا واقع شده است و جمعیت‌آن حدود ۲۲ میلیون نفر میباشد ، کوههای کارپاتیان (Carpathian) که در امتداد سلسله جبال آلپ است دراین کشور قرار دارد ، این کوهها با حداکثر ارتفاع ۲۵۳۷ متر از شمال کشور بطرف جنوب ادامه داشته و با انحنـاء در نواحی مرکزی کشور بطرف جنوب غربی ادامه مییابد و در نتیجه دشت های واقع در شرق و جنوب‌رومانـــی را از دشت شمال غربی آن کشور جدا میسازد . شهر بوخارست با جمعیت حدود ۱۷۰۰۰۰۰ نفردر دشت جنـوب قرار گرفته است و ارتفاع این شهر ازسطح دریابین ۵۳ و۹۶ متراست ، 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 اسـت ، شهر کوچک زیمنی چیا (Zimnicea) با جمعیت حدود ۱۶۰۰۰ نفر در مجاورت رودخانه دانوب‌وبفاصله‌حـدود ۱۱۰ کیلومتر در جنوب غربی بوخارست وشهر آلکساندیا (Alexandria) با جمعیت حدود ۳۶۰۰۰ نفـــر بفاصله حدود ۳۵ کیلومتر در شمال زیمنی چیا است ، شهر کرایوآ (Craiova) با جمعیت حـــدود ۱۸۵۰۰۰ نفر در ۱۸۰ کیلومتری غرب بوخارست قرار گرفته است . نواحی نفتی و تاسیسات پتروشیمی کشور رومانی‌درمنطقه پلیوشت (Ploiesti) است که در فاصله ۶۰ کیلومتری شمال بوخارست میباشد . شهر فوکشان (Focsani) که مرکز زلزله اخیر نزدیک به‌آن 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 رومانی‌نیزعموما " دراین منطقه بوده است .

مختصات مرکز ، ساعت وقوع ، بزرگی وشدت زلزلـه

زلزله در ساعت ۱۹ و ۲۱ دقیقه و ۵۶/۲ ثانیه (بوقت گرینویچ) در روز ۴ مارس ۱۹۷۷ روی داد و در ناحیـــه وسیعی احساس شد بطوریکه مثلا" 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 گزارشهـــای U.S.G.S مختصات جغرافیائی آن ۴۵/۸۴ درجه عرض شمالی و ۲۶/۷۳ درجه طول شرقی است ، برطبـــق 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 کـــه 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 برطبق گزارش برکلی در عمق ۶± ۱۱۰ 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 دراروپا اتفاق میافتد . شدت (Intensity) زلزله در شهر بوخارست که فاصله آن تامرکز زلزله به حدود ۱۶۰ کیلومتر بالغ میگردد در حدود ۸ (با مقیاس اصلاحی مرکالی) ودر سایر نقاط بشرح زیر تخمین زده میشود .

در زیمنی چیا (Zimnicea) بفاصله حدود ۳۰۰ کیلومتری جنوب غرب مرکز زلزله حدود ۷ یا ۸

در کرایوآ (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

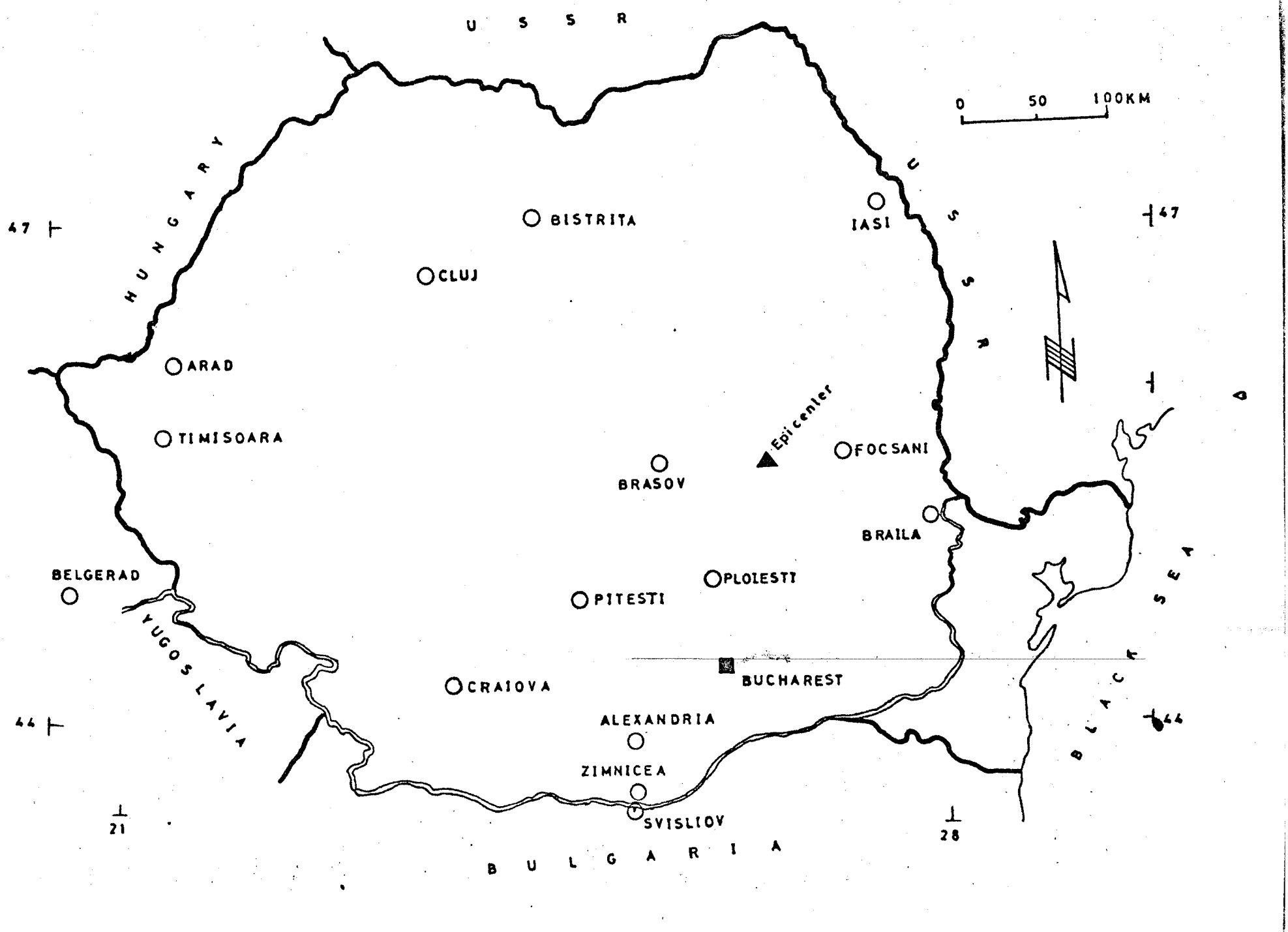
در شرق کشور یوگسلاوی حدود ۴

در قسمتهای مرکزی کشور یوگسلاوی حدود ۵

طوریکه ملاحظه میشود حداکثر مقدار شدت در بوخارست و زیمنی چیا یعنی نواحی دور ازمرکز زلزله اتفاق افتاده است و این نکته قابل توجه است که درحوالی مرکز زلزله شدت چندان زیاد نبوده است مثلا" در ورنچی اویا (حدود ۲ کیلومتری مرکز زلزله) اثر زلزله خیلی کم و در حدود ایجاد شکاف در دیوارهای گلی بوده است ویا در فوکشان (Focsani) که در نزدیکی مرکز زلزله بوده و در بوزااو (Buzau) که بین مرکز زلزله و شهر بوخارست قرار دارد شدت زلزله بمراتب کمتر از شدت در بوخارست بوده وتنها دیوارهای غیر مسلح با مصالح بنائی در ساختمانهای کوتاه بطور جزئی و یا بعضا" کلی خراب شده اند .

گرچه ناهم آهنگ بودن شدت زلزله را در زلزله رومانی میتوان بعلت عوامل مربوط به نوع زمین وتشدید ناشی از نوع خاص خاک (Soil Amplificatian) توجیه نمود ولی با توجه به اینکه در شهربوخارست بیشتر خسارات در ساختمانهای بلند بوده و ساختمانهای کوتاه کمتر آسیب دیده اند شاید بتوان گفت که برآوردی که معمولا" بعنوان شدت (Intensity) زلزله انجام میگیرد در اینجا صادق نباشد زیرا انواعی ازساختمانهای بنائی در این زلزله در شهر بوخارست ازآسیب محفوظ ماندند و یاخسارت زیادی ندیدند که علی القاعده در اثر زلزله با شدت ۸ باید خراب میشدند بنابراین کاربرد شدت مرکالی که خود اساسا" 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


U S S R
0 50 100KM
HUNGARY
47
BISTRITA
IASI
CLUJ
ARAD
TIMISOARA
Epicenter
FOCSANI
BRASOV
BRAILA
BELGERAD
PLOIESTI
PITESTI
YUGOSLAVIA
BUCHAREST
CRAIOVA
ALEXANDRIA
44
ZIMNICEA
SVISLIOV
21
28
B U L G A R I A
BLACK SEA

بفاصله بیش از ۱۶۰ کیلومتر از مرکز زلزله قرارداشتند 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 نمیگردید ، در مقام تذکر میتوان یادآوری کرد که در زلزله دهم شهریورماه ۱۳۴۱ بوئین زهرا که در ۱۲۰ 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 وبا 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 ورنچیا روی داده است . مختصات جغرافیائی مرکز زلزله مزبور ۲۵/۸ درجه عرض شمالی و ۲۶/۵ درجه طول شرقی بوده است که تقریبا " 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 عموما " با بزرگی کم میباشند و بالاترین بزرگی که برای پس لرزه ها ثبت شده است در همان روزهای اول بعد از وقوع زلزله وبا بزرگی ۴/۳ بوده است .

آثار روی زمین

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

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

سوابق زلزله خیزی منطقـه

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

تاریخ	مرکز وقوع	عمق (کیلومتر)	بزرگی
۶ اکتبر ۱۹۰۸	45.5 N - 26.5 E	۱۲۵	۶/۸
۲۵ مه ۱۹۱۲	45.7 N - 27.2 E	۹۰	۶/۴
۲۵ مه ۱۹۱۲	45.7 N - 27.2 E	۱۰۰	۵/۸
۱۹ آوریل ۱۹۱۹	47.7 N - 27.2 E	۱۰۰	۵/۷
۹ اوت ۱۹۱۹	45.7 N - 26.6 E	۱۲۰	۵/۶
۳۰ مارس ۱۹۲۸	45.9 N - 26.5 E	۱۲۰	۵/۶
۲۰ مه ۱۹۲۹	45.8 N - 26.5 E	۱۰۰	۵/۶
۱ نوامبر ۱۹۲۹	45.9 N - 26.5 E	۱۶۰	۶/۶
۲۹ مارس ۱۹۳۴	45.8 N - 26.5 E	۹۰	۶/۹
۵ سپتامبر ۱۹۳۹	45.9 N - 26.7 E	۱۲۰	۶/۱
۲۲ اکتبر ۱۹۴۰	45.9 N - 26.9 E	۱۲۵	۶/۲
۱۰ نوامبر ۱۹۴۰	45.9 N - 26.7 E	۱۳۵	۷/۴
۱۲ مارس ۱۹۴۵	45.6 N - 26.4 E	۱۲۵	۵/۸
۷ سپتامبر ۱۹۴۵	45.9 N - 26.5 E	۸۰	۶/۵
۹ دسامبر ۱۹۴۵	45.7 N - 26.8 E	۸۰	۶/۲
۲۹ مه ۱۹۴۸	45.8 N - 26.5 E	۱۳۰	۶
۱ اکتبر ۱۹۷۶	45.8 N - 26.5 E	۱۴۰	۵/۵
۴ مارس ۱۹۷۷	45.8 N - 26.7 E	۹۱	۷/۲

بطوریکه ملاحظه میشود کلیه این زلزله ها در یک منطقه خاص بوقوع پیوسته است و عمق کانون آنها نیز عموما" 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 ودر نتیجه آن ساختمانها با زلزله اخیر ویران شد .

زلزله دهم نوامبر ۱۹۴۰ گرچه تقریبا" 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 ۱۰۰۰ 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 ساختمانهای عمومی و ساختمانهای چند طبقه بتن آرمه (۵ تا ۹ طبقه) تعمیر گردیدلیکن 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 ساختمانهای آنهامربوط به قبل از سال ۱۹۴۰ بود که اساسا" موضوع محاسبه در برابر زلزله در آنها رعایت نگردیده بود دارای نقاط ضعفی نیز بود که زلزله قبلی وجنگ جهانی ایجاد کرده بود .

نمودارهای دستگاههای اندازه گیری حرکت شدید

درهنگام وقوع زلزله درتمام کشور رومانی جمعا " نه دستگاه شتاب نگار (Strong Motion acceleregraph) و دو دستگاه سیسمسکوپ (Seismoscope) نصب شده بود که از پاره ای از آنها نمودارهائی بدست آمـــد . نوع شتاب نگارهای کشور رومانی MO-2 (ساخت کشور زلاندنـــو) ، SMAC(ساخت کشور ژاپون) و بالاخـره RMT-280 (ساخت کشور آمریکا) و نوع دستگاههای سیسمسکوپ ، ویلموت (ساخت کشور آمریکا) میباشـد . همچنین در موقع وقوع زلزله دو دستگاه شتاب نگار از نوع SMA -1 (ساخت کشور آمریکا) مربوط به پـــروژه یونسکو در کشورهای بالکان در کشور رومانی موجود بود که نصب نشده بود ، و نیز بلافاصله پس از وقوع زلزلـــه چند دستگاه شتاب نگار SMA-1 به کشور رومانی وارد و برای ثبت نمودارهای احتمالی مربوط به پس لرزه هـــا (After Shocks) در چند محل نصب گردید . جدول زیر محل قرار گرفتن دستگاههای شتاب نگار رومانـــی 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
ویرنچی اویا	روی زمین	۲	MO — ۲	دستگاه چرخش فیلم گیرکرده ونمودار کامل نیست
فوکشان	روی زمین	۴۰	MO — ۲	نمودار در موقع ظاهر کردن فیلم از بین رفتـه
باکو	روی زمین	۷۸	MO — ۲	دستگاه بکارنیافتاده است
گارلاتی	روی زمین	۱۱۰	MO — ۲	دستگاه معیوب بوده است
گارلاتی	بام ساختمان ۱۲ طبقـه	۱۱۰	MO — ۲	دستگاه معیوب بوده است
بوخارست	روی زمین	۱۶۰	MO — ۲	دستگاه معیوب بوده است
بوخارست	بام ساختمان ۱۱ طبقـه	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 نمودارهائی 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 مترخاک رس میباشد که بر روی قشر ضخیمی از لایه های رسوبی قرار گرفته است و 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 ثقل زمین میباشد همچنین یک دستگاه سیسمسکوپ که با پرید نوسان ۰/۷۵ ثانیه و میرائی (Damping) ۱۰ درصد در همین ساختمان قرار داشته است در یک جهت میزان حداکثر سرعت ۴۲ سانتیمتر بر ثانیه ودر جهت دیگر ۳۳ سانتیمتر بر ثانیه ثبت نموده است .

متاسفانه دستگاه شتاب نگار واقع درویرنچی اویا که در نزدیکی مرکز زلزله بوده است بعلت اینکه دستگاه چرخش فیلم گیر کرده است نتوانسته است نمودار کامل بدست دهد و 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 دربوخارست نشان میدهد و بیانگر این حقیقت است که مقدار شتاب حداکثر در فرکانس های کم (پریدهای بالا) میباشدوطبیعی استکه این زلزله برروی ساختمانهای دارای پرید زیاد اثربیشتری داشته باشداین نکته رامیتوان از روی طیف های شتاب و همچنین ترانسفورم فوریه مربوط به این مولفه ها دریافت ، منحنی ترانسفورم فوریه برای مولفه شمالی جنوبی نشان میدهد که در نقاط $T = 2/41$ ثانیه و $T = 1/71$ ثانیه و $T = 1/24$ 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 میرائی 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 میرائیهای صفر و ۵ درصد منحنی طیف دارای اوج میباشد بهمین ترتیب ملاحظه میشود که طیف شتاب مولفه شرقی غربی برای میرائی 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 تقریبا " بعنوان طیف استاندارد مورد کاربرد عده زیادی قرار گرفته است با طیف های زلزله رومانی مقایسه گرددتفاوت 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 بدون‌توجه 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 = ۱/۷۰ ثانیه بدست میدهد حدود ۶/۵ برابر کمتر از عددی است که از نمودار مولفه شمال وجنوب زلزله رومانی در بوخارست بدست میآید در حالیکه برای همین میرائی ولی برای پرید حدود T = ۰/۲۰ ثانیه عددی که طیف زلزله ال سنترو میدهد ۳/۸ برابر بیش از عددی است که از زلزله رومانی نتیجه میگردد (این مطالعات توسط آقای تزجان (۱) و همکارانشان انجام شده و نمودارها دراین نشریه ترسیم گردیده است) .

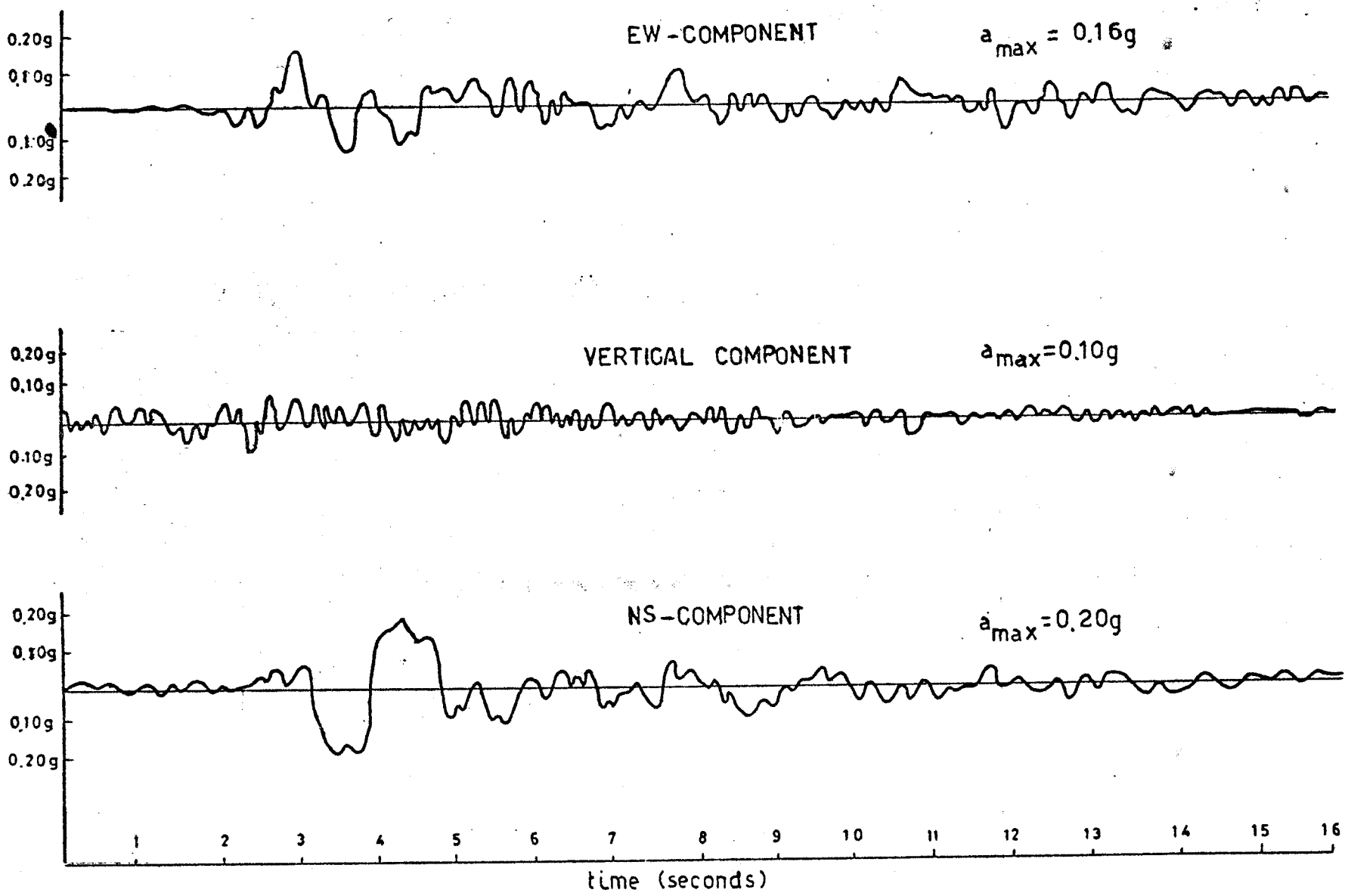
علاوه بر نموداری که از زلزله رومانی در بوخارست بدست آمد در شهرنیش Nis در کشور یوگسلاوی نیز نموداری از یک دستگاه شتاب نگار SMA-1 و سه نمودار از سه دستگاه سیسمسکوپ ویلموت بدست آمده است که از طرف انستیتوی مهندسی زلزله اسکوپیه این نمودارها آنالیز گردیده است .موقعیت جغرافیائی محل دستگاه شتاب نگار ویکی از دستگاههای سیسمسکوپ کشور یوگسلاوی ۴۳/۳ درجه عرض شمالی و ۲۱/۹ درجه طول شرقی بوده است که با مرکز زلزله رومانی حدود ۴۶۰ کیلومتر فاصله دارد حداکثر مقدار شتاب نمودارهای دستگاه شتاب‌نگار یوگسلاوی در امتداد شرقی غربی ۴/۲ درصد و در امتداد شمال و جنوب ۳/۸ درصد و در امتداد قائم ۲ درصد شتاب ثقل زمین میباشد .

در نمودار سیسمسکوپ واقع در نیش (Nis) در همان محلی که دستگاه شتاب نگار قرار داشته است حداکثرمقدار دامنه منفرد (Single Amplitude Peak) که برابر نصف دو حد نهائی نمودار در امتداد مورد نظراختیار شده است در امتداد شمال و جنوب برابر ۰/۱۹۵ سانتیمتر و در امتداد شرقی غربی ۰/۱۸۰ سانتیمتر میباشد که با توجه به اینکه پرید پاندول برابر ۰/۷۱ ثانیه و مقدار میرائی (damping) آن برابر ۱۴ درصد بوده است برای طیف تغییر مکان مقادیر ۰/۵۹ و ۰/۵۵ سانتیمتر و برای طیف سرعت مقادیر ۵/۳ و ۴/۹ سانتیمتر برثانیه به ترتیب برای مولفه شمالی جنوبی و مولفه شرقی غربی در میرائی ده درصد محاسبه شده است .

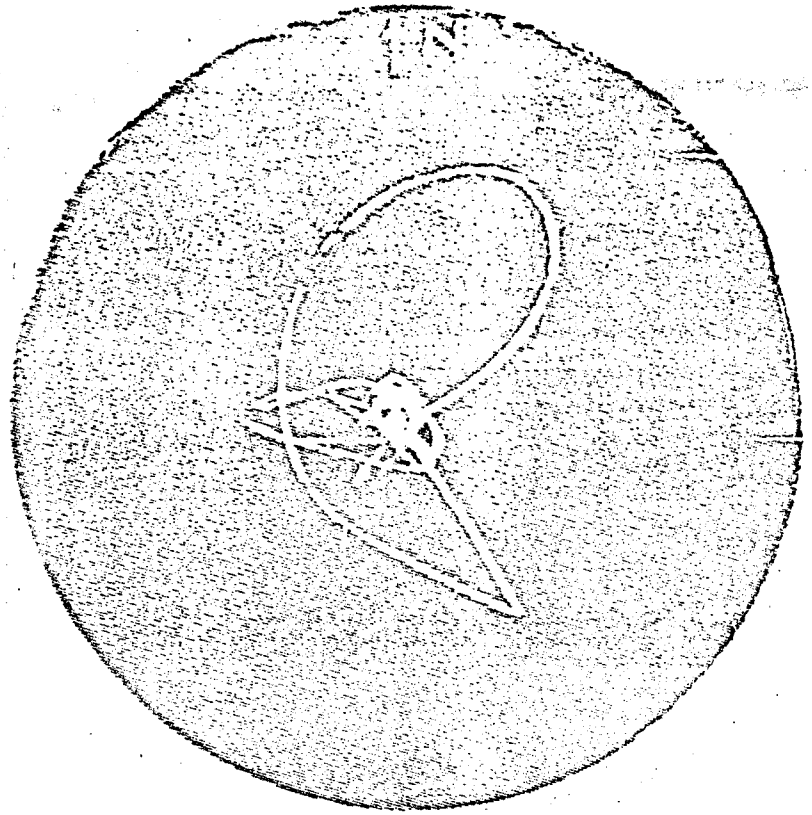
بطور کلی با در نظر گرفتن اینکه دستگاه سیسمسکوپ و دستگاه شتاب نگار شهر نیش هر دو در یک محل قرارداشته‌اند مقایسه نتایج آنها میتواند جالب باشد و با محاسباتی که از طرف موسسه مهندسی زلزله اسکوپیه انجام گرفته است نشان داده میشود که نتایج حاصله فقط حدود ده درصد اختلاف دارند که با این ترتیب ارزش اندازه گیری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

---

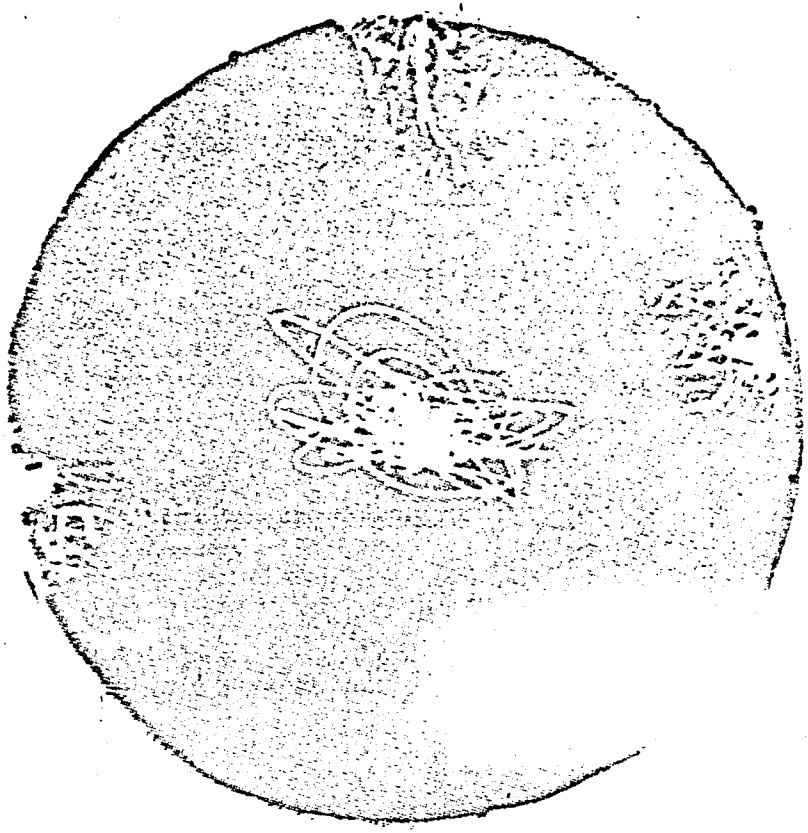
(۱) – Professor Semih.S Tezcan etal Bogazici university Istanbul



نمودار دستگاه S M A C نصب شده در I N C E R C بوخارست



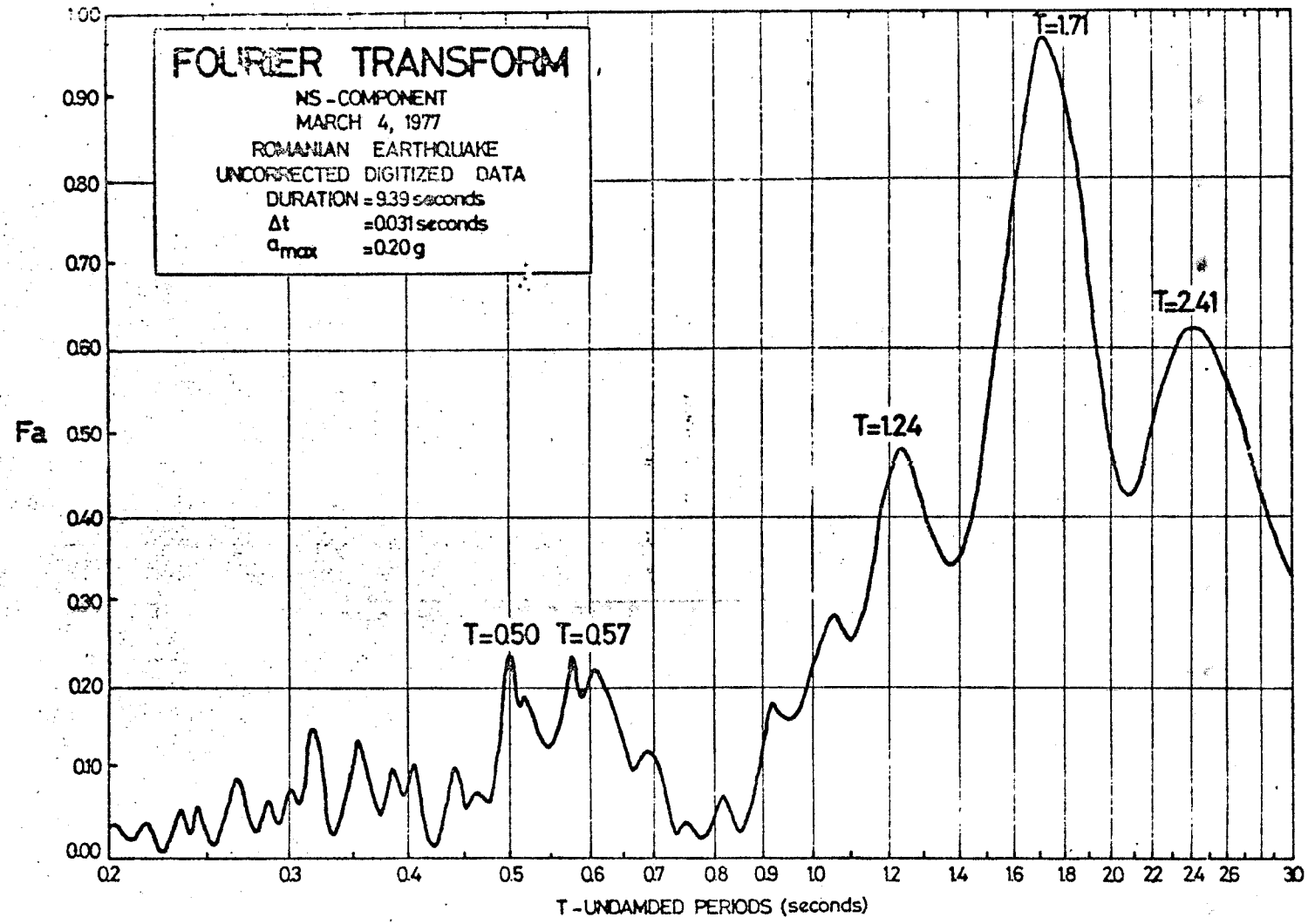
2 cm



Bucureşti

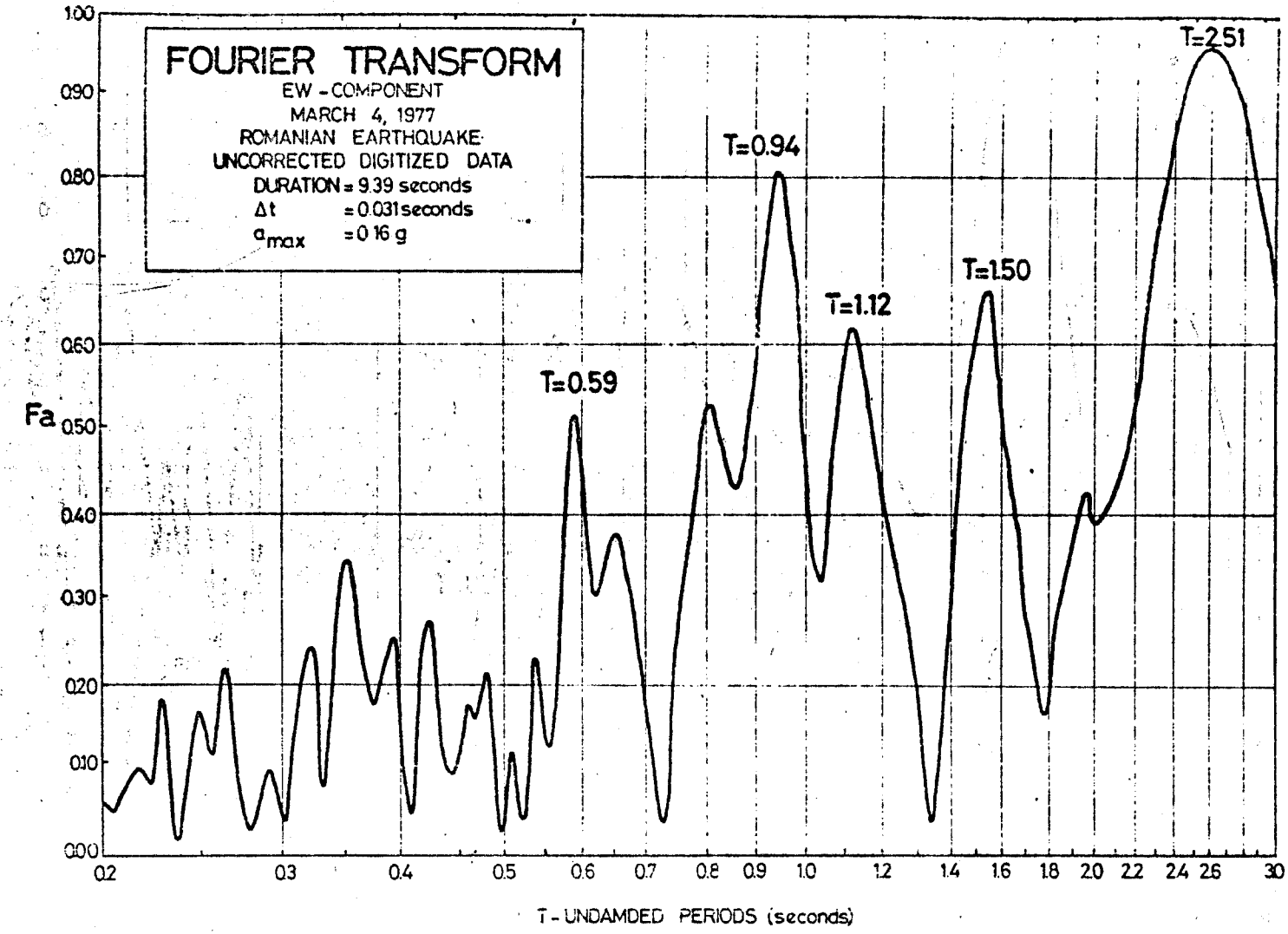
Galaţi

نمودارهای سیسمسکوپ ویلموت درگالاتی (حدود ۱۱۰ کیلومتری
مرکززلزله)ودربوخارست (حدود ۱۶۰ کیلومتری مرکز زلزلـــه)



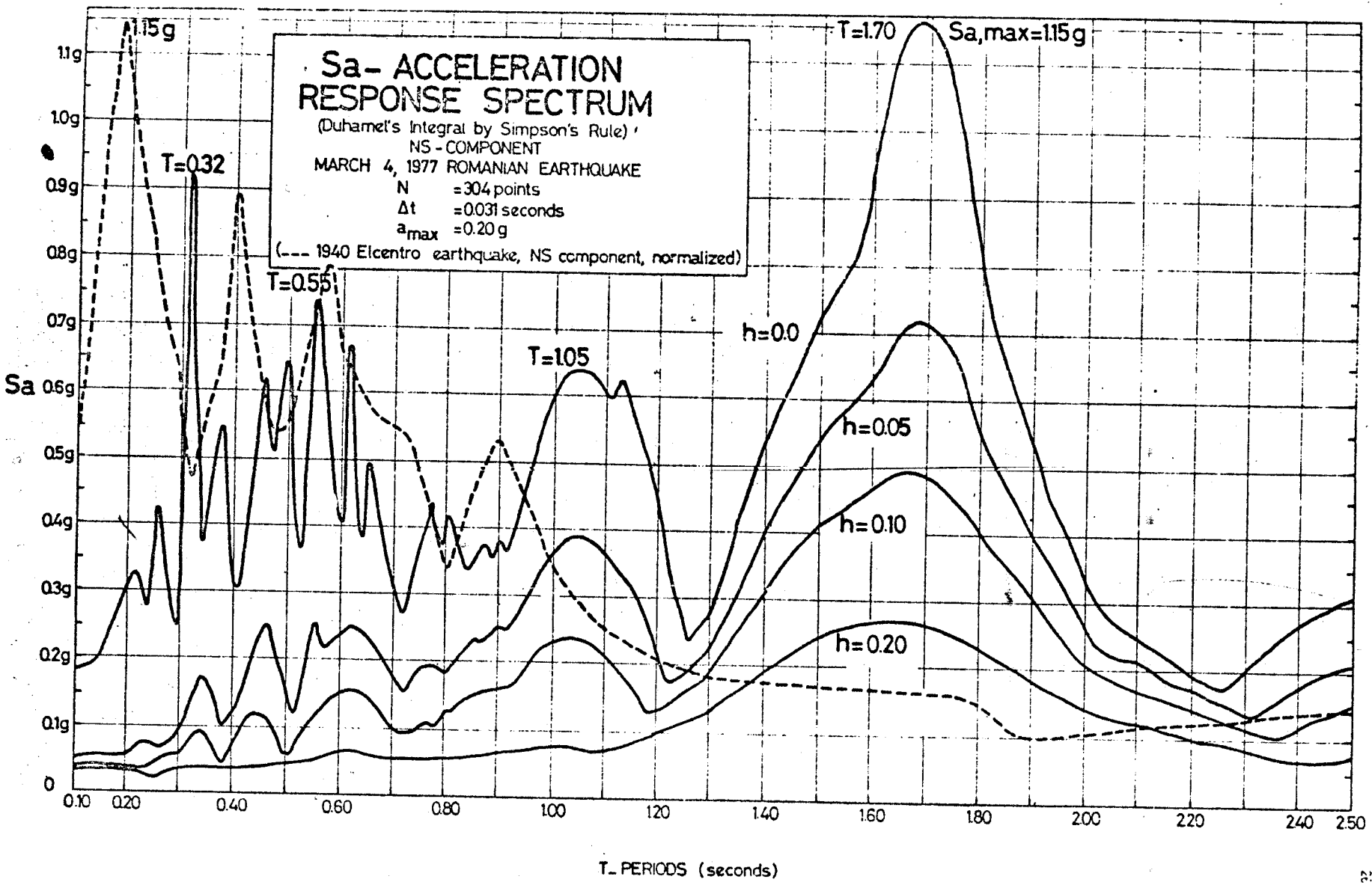
ترانسفورم فوریه برای مولفه شمالی جنوبی نمود اربوخارست

(Prof S.Tezcan et al)

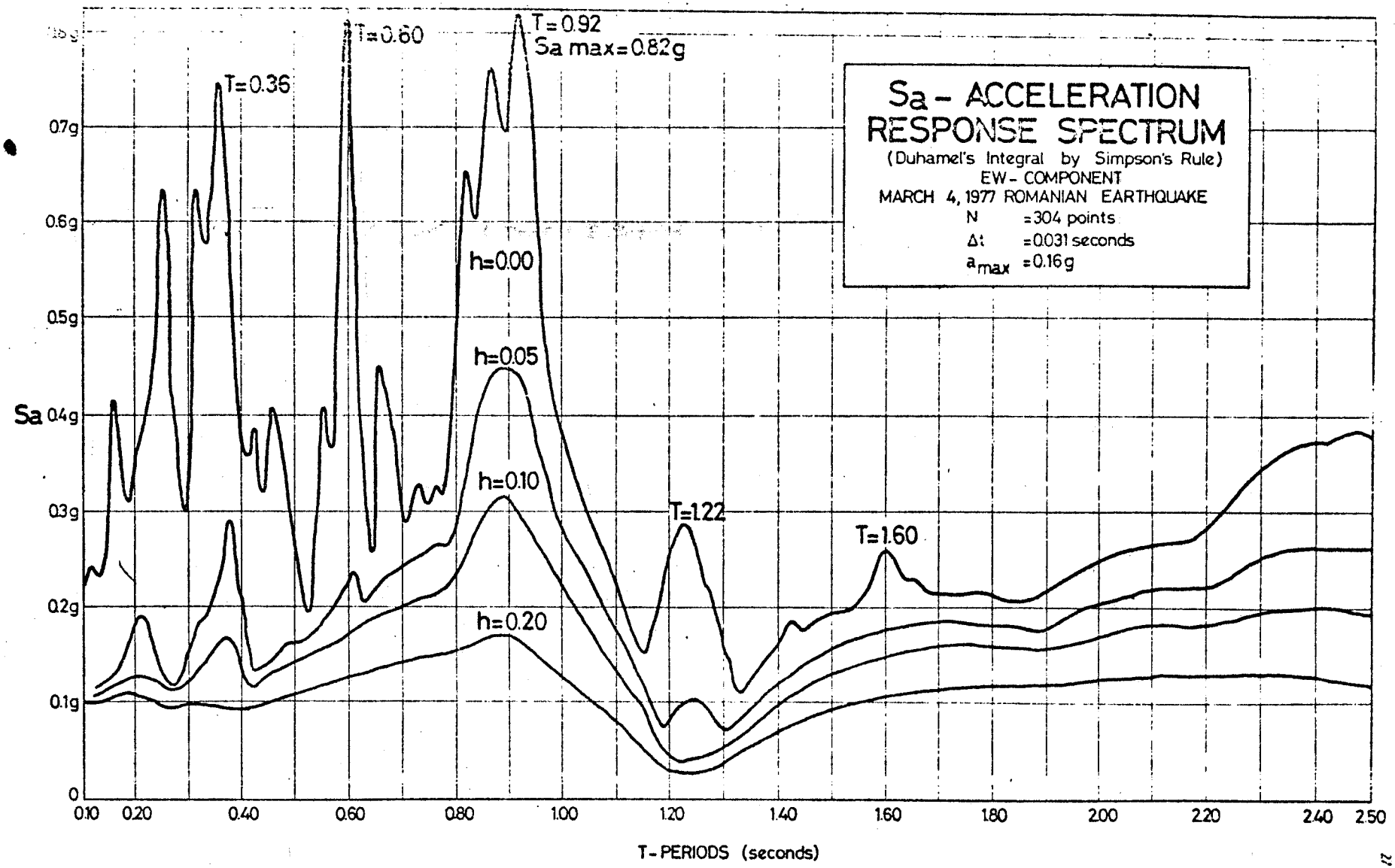


ترانسفورم فوریه برای مولفه شرقی غربی نمود اربوخارست

(Prof. S.Tezcan et al)



طیف شتاب برای مولفه شمالی جنوبی نمودار نوخارست وبرای میرائی های مختلف
(Prof S.Tezcan et al) در این صفحه همچنین طیف شتاب زلزله سال
۱۹٤۰ ال سنتروبا میرائی صفربرای مقایسه نقاط اوج رسم شده است.



طیف شتاب مولفه شرقی غربی نمـود ار بوخارست بـرای
میرائی های مختلف (Prof. S.Tezcan et al)

همانطوریکه قبلا" بیان شد قسمت اعظم خسارات به ساختمانهای شهر بزرگ بوخارست‌واردشد ولی‌خوشبختانه تعدادتلفات‌کمتر ازمیزانی‌است که ازچنین زلزله ای انتظار میرود ،فاصله‌نسبتا "دور مرکز زلزله (epicenter) از شهر بوخارست موجب گردید که این شهر در حدود ۲۰ ثانیه اول وقوع زلزله تنها با موج P وبا انرژی کم‌بلرزه درآید و این مدت تا ورود ضربات‌موج S فرصتی بود که عده ای از ساکنین ساختمانها فرار کرده وجان خـــود را نجات دهند بطور مثال میتوان گفت که باوجودیکه ساختمان مرکز کامپیوتر در بوخارست در اثر زلزله کامـــلا" خراب گردید موجب مرگ کسی نشد .

زلزله رومانی بیشتر در ساختمانهای بلند ویا پرید زیاداثر داشت وبطور کلی مطالعه اثراین زلزله درساختمانهای با پرید زیاد میتواند آموزنده باشد . به انواع دیگرازساختمانها 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 قدیمـی از آسیب محفوظ ماند .

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

خسارت وارده به ساختمانهای بلند بیشتر در دیوارهای غیربار میباشد که نتوانسته اند با اسکلت ساختمـــان حرکت نمایندهمچنین گاه پاره ای ازجزئیات ضعیف اجرائی‌از قبیل فاصله زیادبین تنگ هادرستونها موجب صدمه زیادی به ساختمان گردیده است در موردی دیده شده که در محلی که یکی از تیرها را برای عبور لوله ســـوراخ کرده اند خسارت زیادی بآن قسمت وارده شده است .

از موارد خسارت قابل توجهی که در اغلب ساختمانها بخصوص ساختمانهای مرتفع دیده شدریختن سنگ ها ویـا 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 مفیدبود وبطورکلی‌خسارت وارده درساختمانهای با 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 ویا به وسائـــل دیگر آزمایش و خصوصا" اتصالات آن امتحان شود در مقیاس عملی اجرا نمیگردد . نوع اتصالات این پانلهـــا

عموما" بوسیله جوش میباشد و اگر این مراقبت قبلی در مورد ساختمانهای پیش ساخته شده بتنی نبود این نوع ساختمانها محتملا" در این زلزله مسئول تلفات و خساراتی میبودنند . آنچه در این مورد میتوان با قاطعیت اظهار کرد مقایسه وضع ساختمانهای پیش ساخته بتنی کشور رومانی وساختمانهای پیش ساخته ایاست کهاخیرا" در کشور ایران رایج شده است که تفاوت به میزانی است که احتمال وقوع یک زلزله مخرب میتواندنگرانیشدیدی 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 استومجموعا" ۳۰۰۰۰۰ ساختمان پانلی در تمام کشور رومانی موجود است خسارتی که در این نوع ساختمانهادیده شد تـــرک قائم در طول دو دیوار عمود برهم ویا ترکهای افقی در تراز کفها است .

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

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

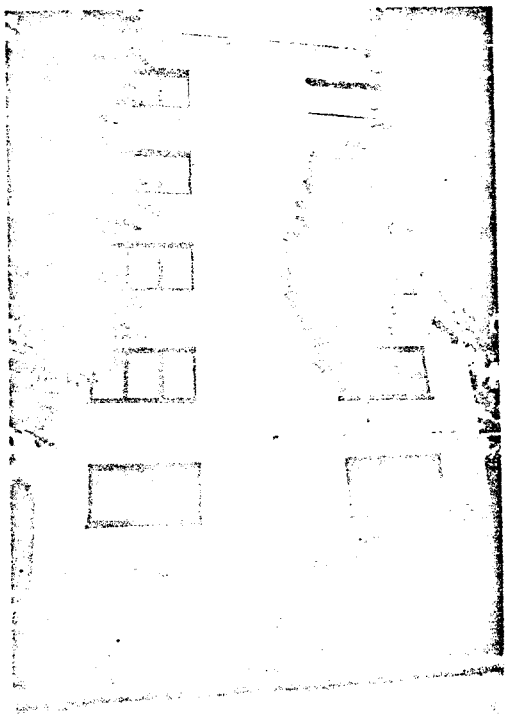
ناگفته نماند که ساختمانهای پیش ساخته ای که ذکر میشود عموما" در بوخارست ویا نقاطی دیگر دور از مرکـــز زلزله بوده اند ودرحوالی مرکز زلزله از این نوع ساختمانها ساخته نشده است .

پرید طبیعی نوسان ساختمانهای پیش ساخته شده با پانل بزرگ کشور رومانی با توجه بمیزان دیوارهای زیادی که در این ساختمانها هست بین $0/03\ N$ تا $0/05\ N$ میباشد (N تعداد طبقات است) وبا این ترتیب پریـــــد این ساختمانها از حوالی پرید مسلط زلزله (پریدتعیین کننده بزرگترین شتاب) درشهربوخارست بمقدار زیادی کمتر بوده است و اینک این سئوال باقی میماند که آیا واقعا" ساختمانهای پیش ساخته از این نوع دربرابـــــر آزمایش نهائی خود در زلزله قرار گرفته اند ؟ زیرا زلزله رومانی بیشتر برای ساختمانهای با پرید زیاد قابـــل امتحان بود در حالیکه ساختمانهای پیش ساخته آن کشور دارای پرید طبیعی نوسان کمی بودند .بهر حـــــال احتمالا" ممکن است نتیجه ای که در زلزله اخیر رومانی بر روی این ساختمانها گرفته شد برای سازندگان ایرانی

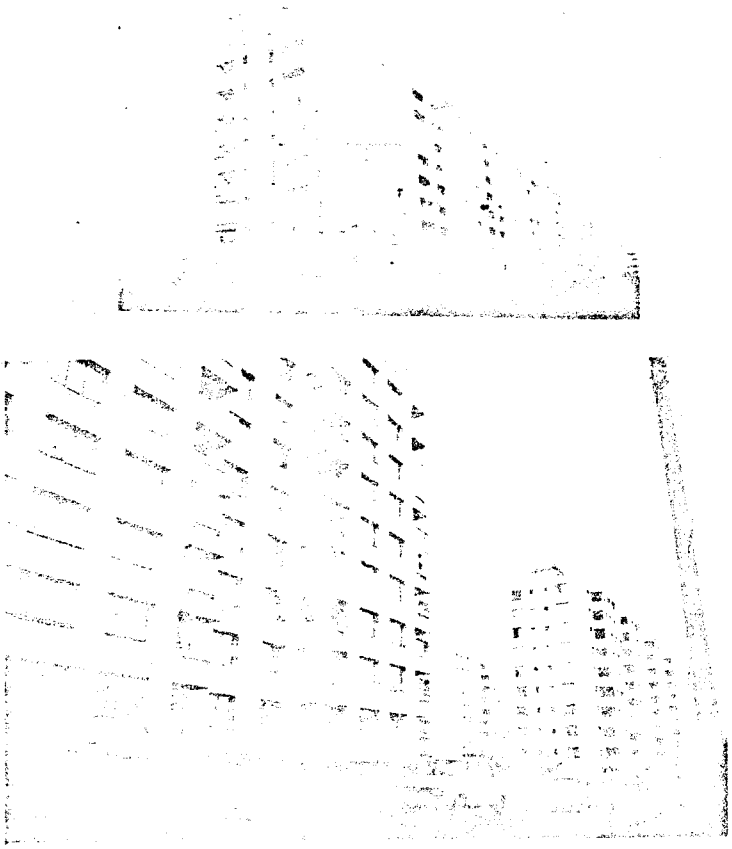
گمراه کننده باشد (هم از نظر مواجه شدن با زلزله ای که ماکزیمم اثر را در حدود پرید این قبیل ساختمانها ممکن است ایجاد کند و هم از نظر آنکه نحوه ساخت و اتصالات ساختمانهای رومانی قابل قیاس با آنچه بطور مثال در کشور ایران رواج دارد نیست) .

بطور خلاصه ساختمانهای پیش ساخته شده با پانل بزرگ در زلزله اخیر رومانی صدمه ای ندیدند .

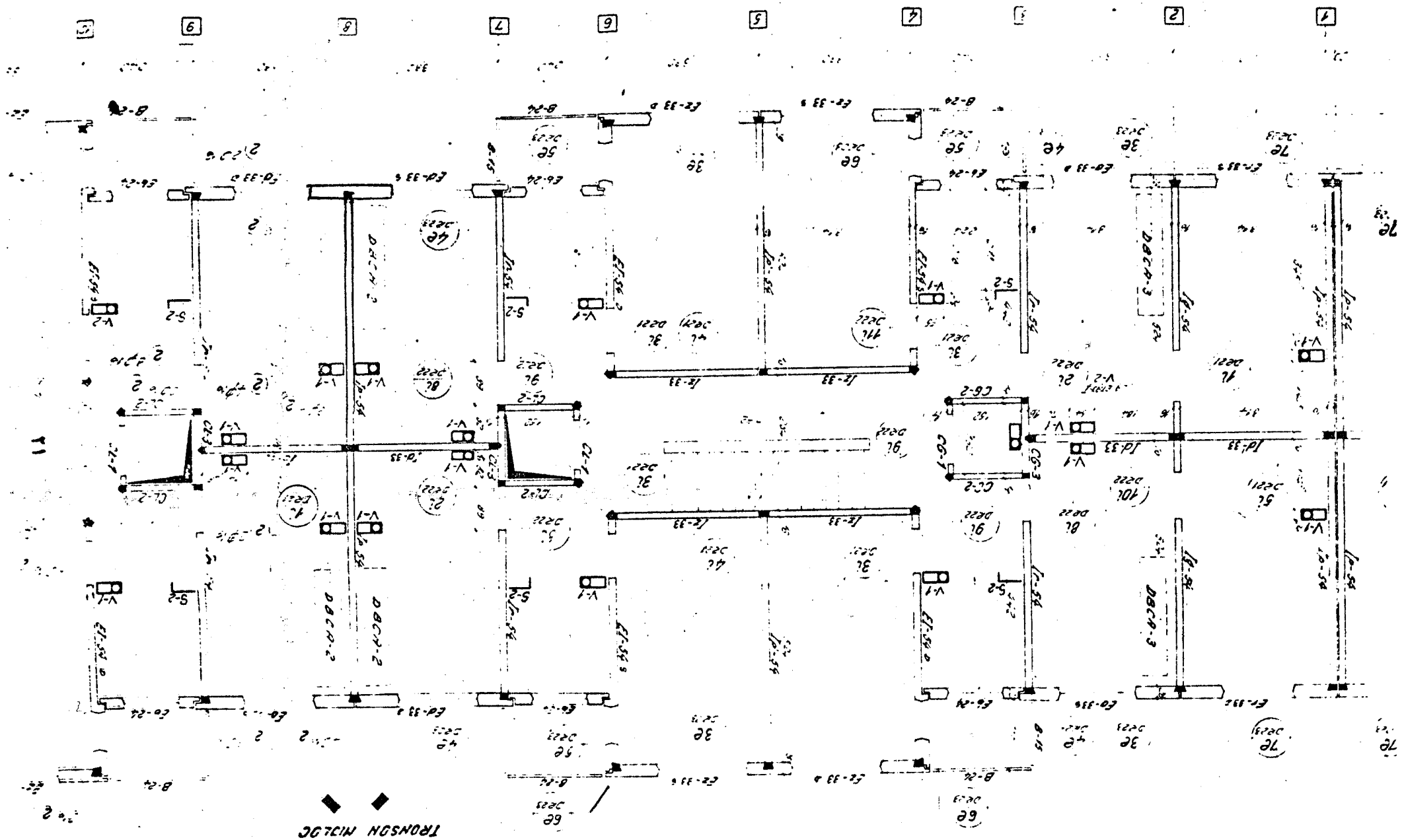
نوع دیگر ساختمانهای بتن آرمه پیش ساخته شده که درکشور رومانی متداول میباشد ساختمانهای جعبه مانند است (Box System) مقصود از ساختمانهای پیش ساخته قوطی مانند در اینجا ساختمانهائی است که یک اطاق کامل شامل چهار دیوار و سقف و کف بصورت یک مکعب مستطیل کامل در کارخانه ساخته میشود و بمحل حمل میشود واین قوطی ها در محل کنار هم و روی هم چیده میشوند وبا این ترتیب دیوارها و کف ها همه دو جداره خواهندبود ، اتصال این قوطی ها با قرار دادن کابل قائم و کشیدن آن انجام میگیرد ، این نوع ساختمانهانیز در زلزله رومانی آسیبی ندید حتی یکی از ساختمانها که در موقع زلزله نصب واحدهای آن انجام شده ولی هنوز اتصال کابل آن اجرانشده بود هیچگونه خسارتی از زلزله ندید وهمین موضوع این فکر رابرای عده ای پیش آورده است که در آتیه از قرار دادن کابل برای اتصال واحدهای این ساختمانها خودداری گردد درحالیکه چنین نتیجه گیری با توجه به پرید طبیعی این قبیل ساختمانها که عملا " در معرض امتحان نهائی قرارنگرفته اند دور از احتیاط میباشد .



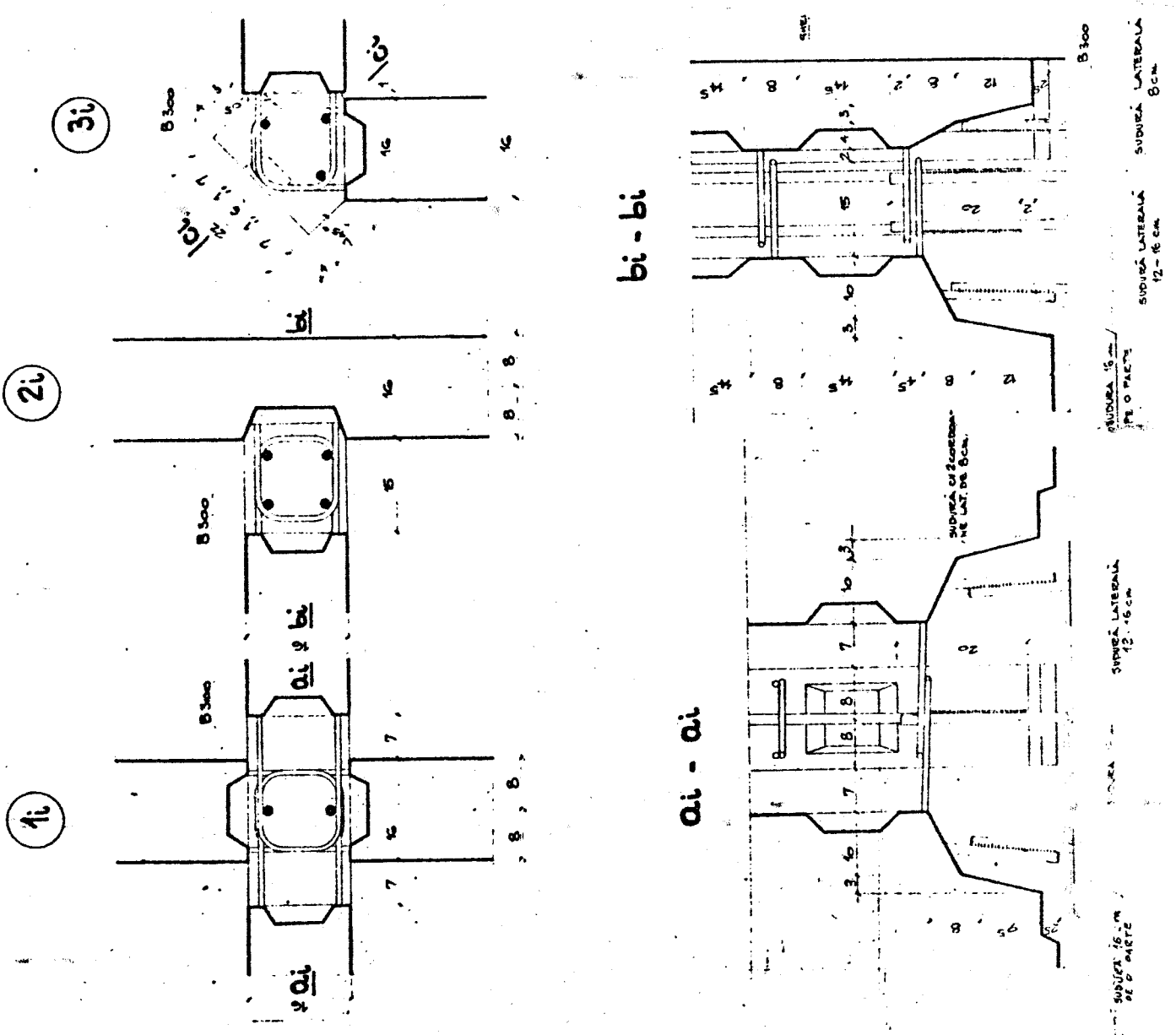
ترک های افقی وقائم در ساختمان ۵ طبقه پیش ساخته شده بتنی با پانل بزرگ درشهر کرایوا (Craiova)



ساختمانهای مرتفع پیش ساخته شده بتن آرمه با پانلهای بزرگ

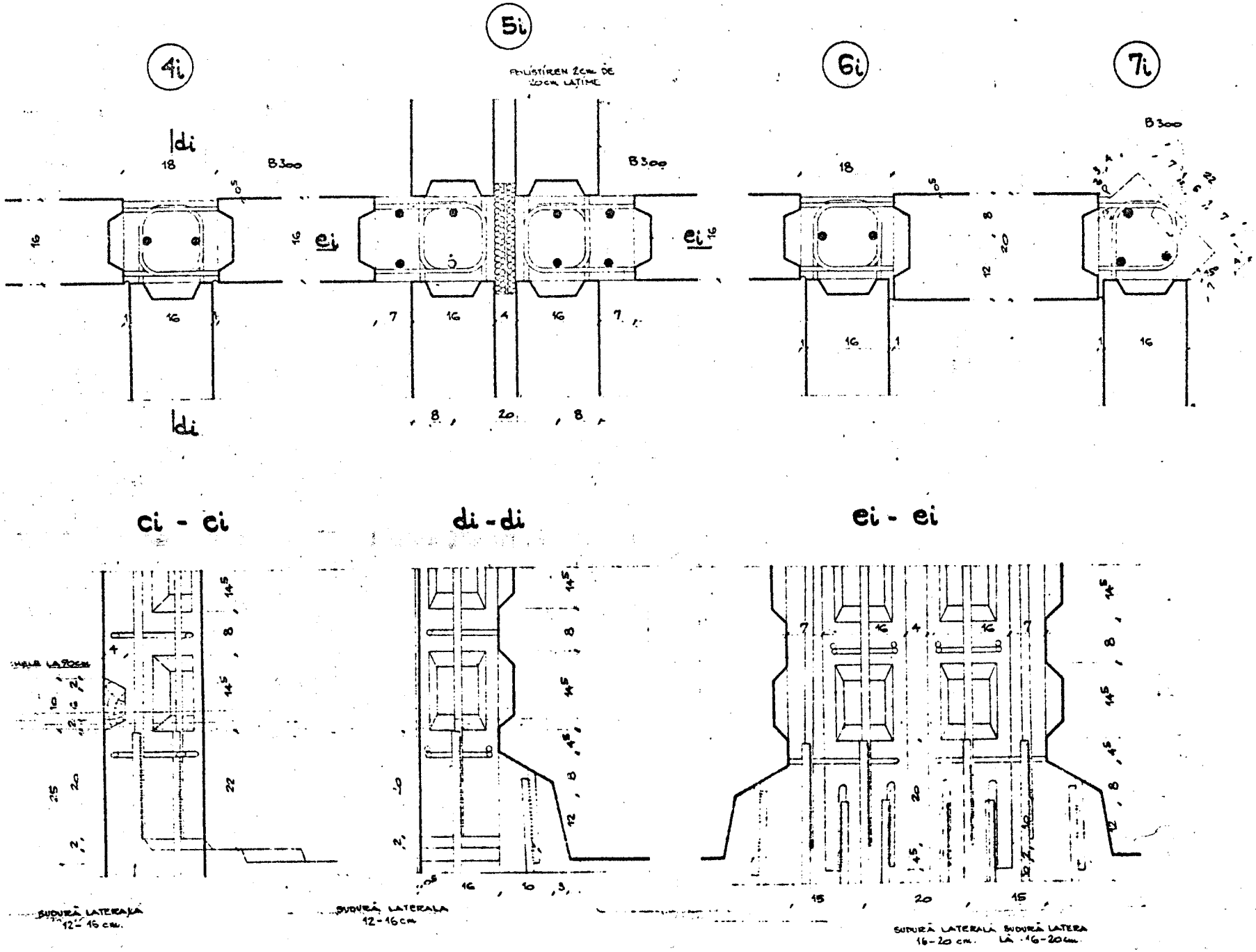


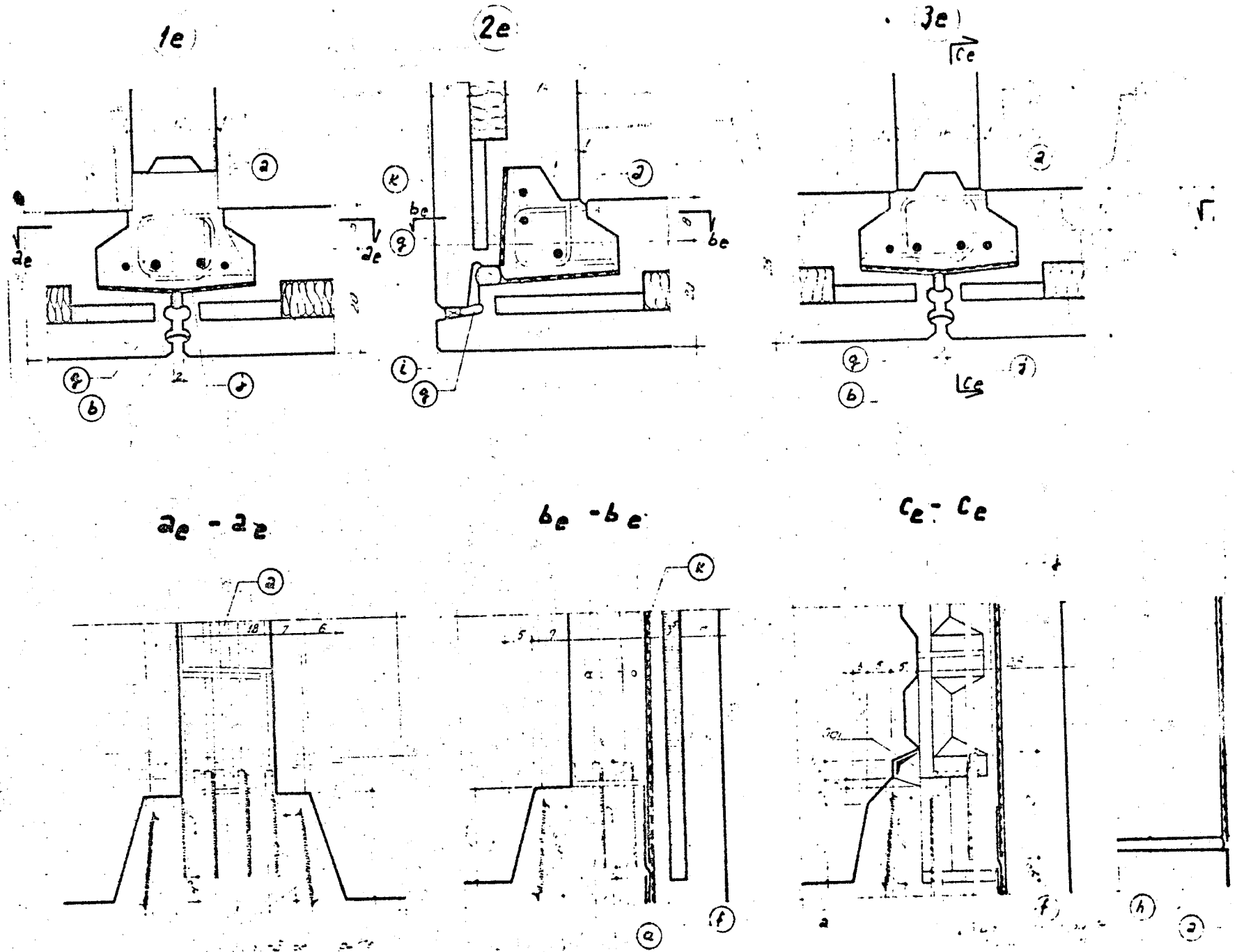
نمونه ای از پلان ساختمانهای پیش ساخته بتن آرمه با پانل بزرگ در کشور رومانی



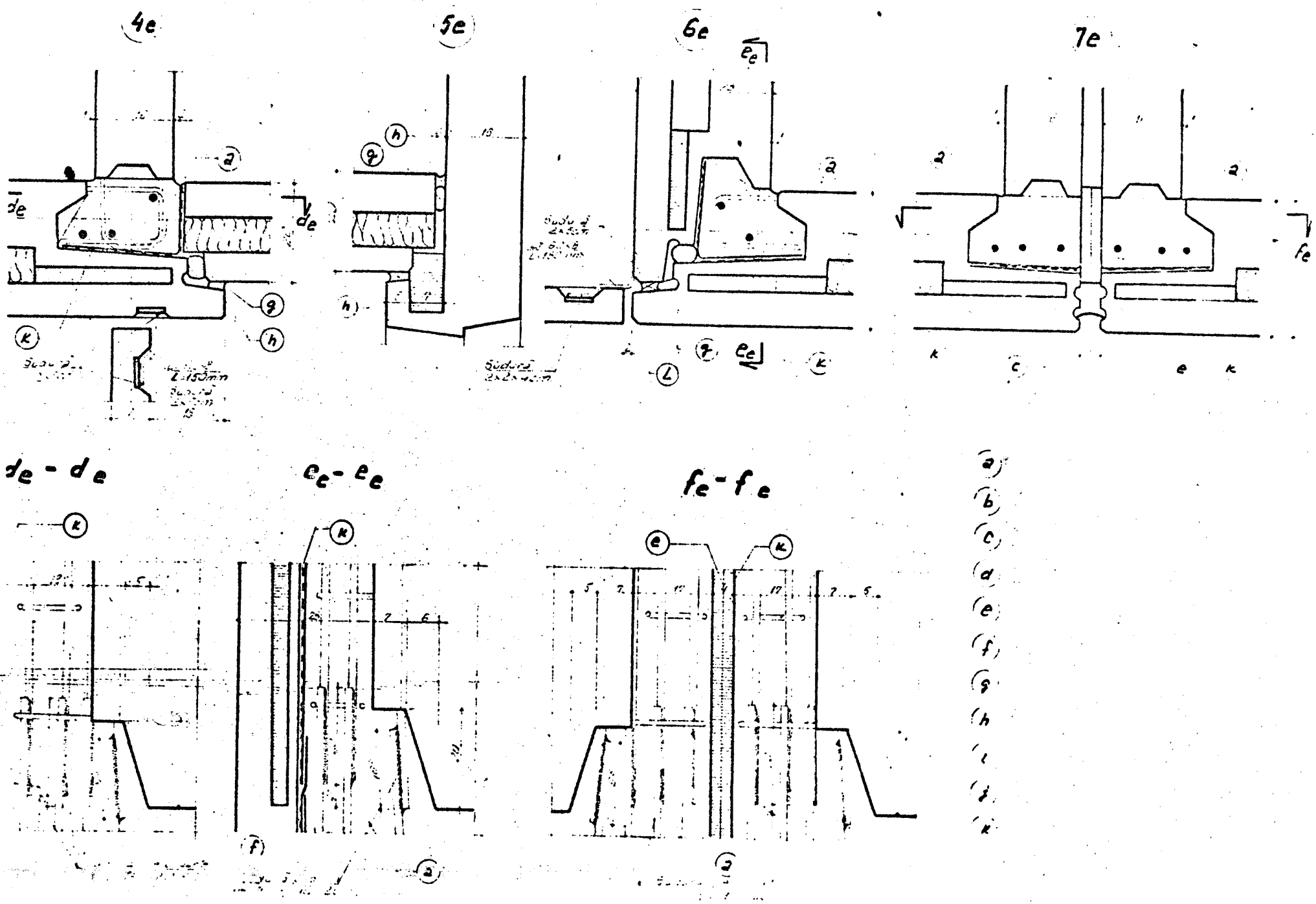
قسمتی از جزئیات مربوط به اتصال پانل های بزرگ در محل تلاقی دیوارها (علائم 1_i و 2_i و غیره جزئیات محل هائی است که درنقشه پلان باهمین علائم مشخص شده است) .

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

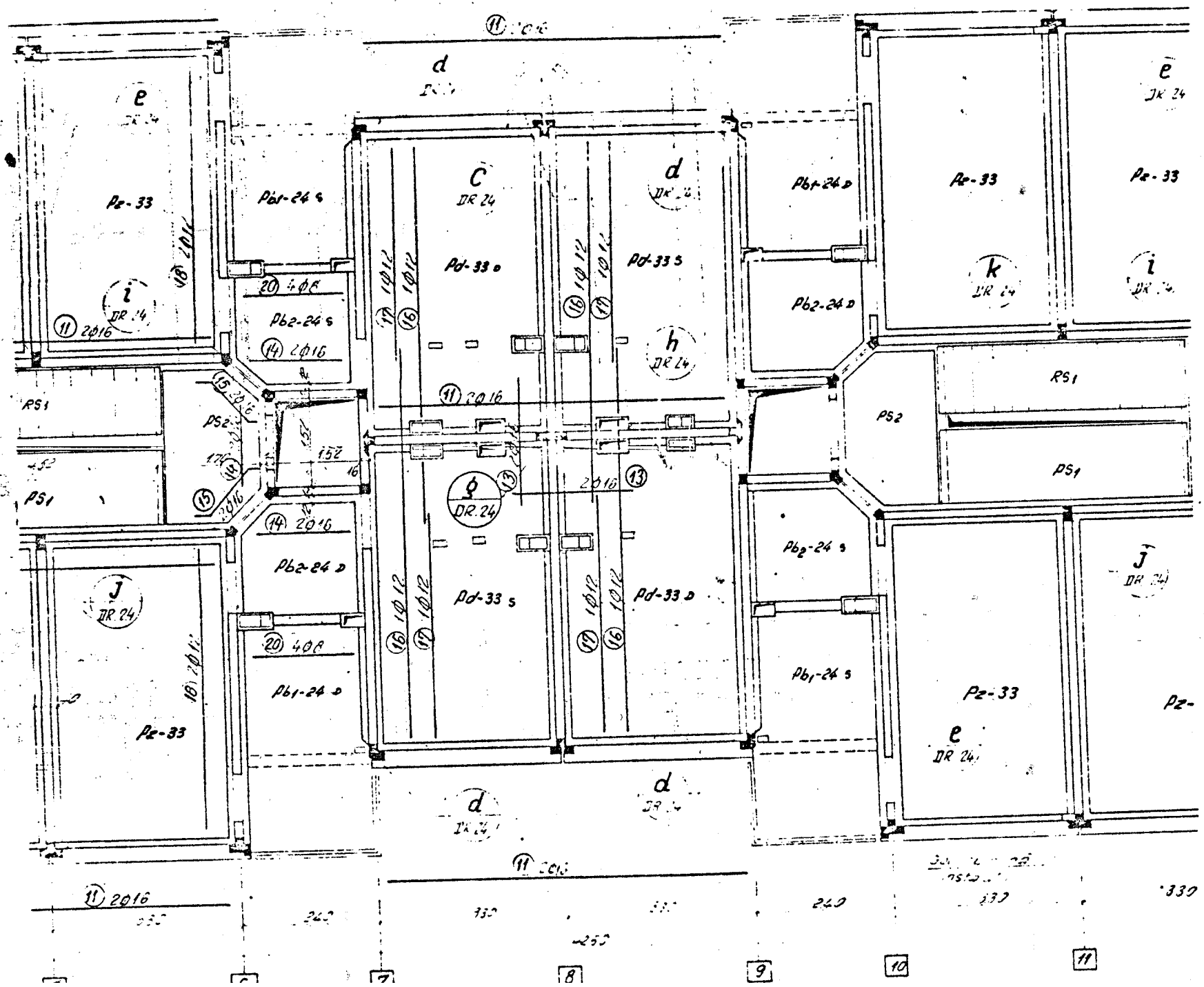




قسمتی از جزئیات اتصال پانل های بزرگ در محل تلاقی سقف و دیوار



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



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

۲۲۶

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 اینترکنتینانتال و هتل دوروبانتی که در سالهای اخیرساخته شده اند) میباشند که در شهر بوخارست به تعداد زیادی موجودند .
ساختمانهای بتن آرمه که قبل از سال ۱۹۴۰ ساخته شده اند عموما " تا ۸ طبقه میباشند و عموما " از اسکلت بتن آرمه نسبتا " سبک با دیوارهای آجری میباشند ، این ساختمانها که فقط برای تحمل بارقائم طرح شده اند بیش از هر ساختمان دیگر در زلزله اخیر صدمه دیدند وتعداد ۳۲ ساختمان بتن آرمه ازاین نوع درشهربوخارست کاملا " خراب گردید وموجب تلفات بسیاری شد . تمام این ساختمانها ساختمانهائی بودندکه در زلزله دهم نوامبر ۱۹۴۰ از خرابی کامل رهائی یافته و احتمالا " خساراتی درآن زلزله دیده بودند که از نحوه تقویت بعدی آن ها اطلاعی در دست نیست ، نوع بتن این قبیل ساختمان ها اغلب ضعیف بوده وآهن گذاری آنها خصوصا " درمورد 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 وخصوصا " 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 تاثر 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 خصوصا " 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 آنهائیکه در اجرای آنها از قالب لغزنده استفاده شده ویا بطور معمولی ریخته شده اند) و تعدادی مرکب میباشند . در این نوع ساختمانها که اغلب بین ۷ تا ۱۴ طبقه میباشند عموما " ستونها بصورت سیمتریک با فاصله ۶ متر در هردوجهت میباشند که بیشتر برای بازشوی طبقه هم کف (از نظر فروشگاه و مغازه) پیش بینی شده اند و در پاره ای از مواردکه این محدودیت نیست چشمه های ساختمان ۵/۴۰×۳/۶۰ متر است . دیوارهای این ساختمانها آجری ودر 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 وستون وارد

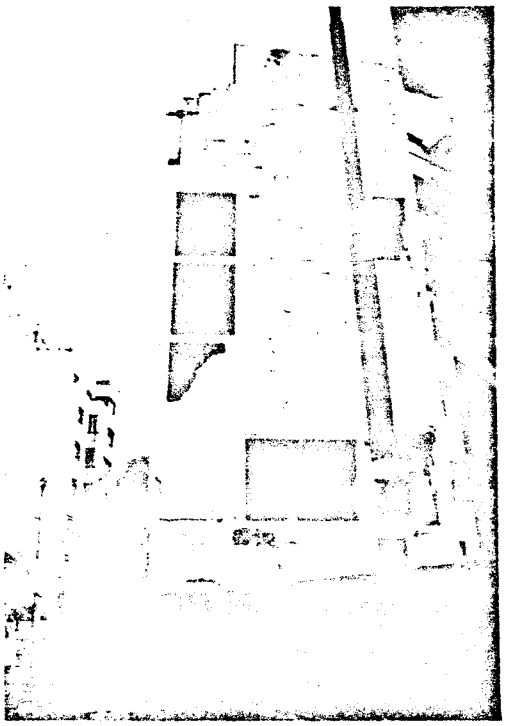
گردیده است ولی قسمت اعظم خسارات در دیوارهای پر کننده بین ستونهاست ، ازآنجا که این دیوارها امکان تبعیت از تغییر شکل بین دو ستون طرفین خود را نداشته اندشکاف خورده اند. این گونه موارد خصوصا "موقعی بیشتر پیش آمده است که درطبقه پائین دیوار کم بوده است و طبقات بالا دارای دیوار زیادتری بوده اند .

دو ساختمان بلند از این نوع بطور کامل خراب گردیدند که یکی از آن ها ساختمان یازده طبقه آپارتمانی بود که در کارتیه 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 درطبقه 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 دیگرکه‌بطور کامل خراب گردید ساختمان آپارتمانی ده طبقه ای است که طبقات روی طبقه هم کف با دیوارهای بتن آرمه ساخته شده وبار ساختمان در طبقه هم کف توسط ستونهای نسبتا " بلندی تحمل میشده است . نوع سقف این ساختمانها ، بتن آرمه پیش ساخته شده پانلی وهر دو ساختمان در طرفین خود دارای دیوار برشی‌بتن آرمه در تمام ارتفاع بوده اند ودرحقیقت 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 بتن‌آرمه طرفین ساختمان است . بطور کلی در این قبیل ساختمانهای بتن آرمه بیشتر در ناحیه دیوار برشی‌ترک هائی ایجاد شده و بیشتر خسارات در اطراف قفسه پله بوده است همچنین در اطراف نعل درگاهها نیزخساراتی‌حاصل شده است .در سایر ساختمانها از این نوع کم وبیش 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 ازنظرفاصله بین‌تنگها که‌درپاره ای‌از آثارساختمانهای خسارت دیده ملاحظه شدچندان رضایت‌بخش نمیباشد . بطور کلی خسارات وارد به این نوع ساختمان را میتوان با دلائل زیر توجیه نمود :

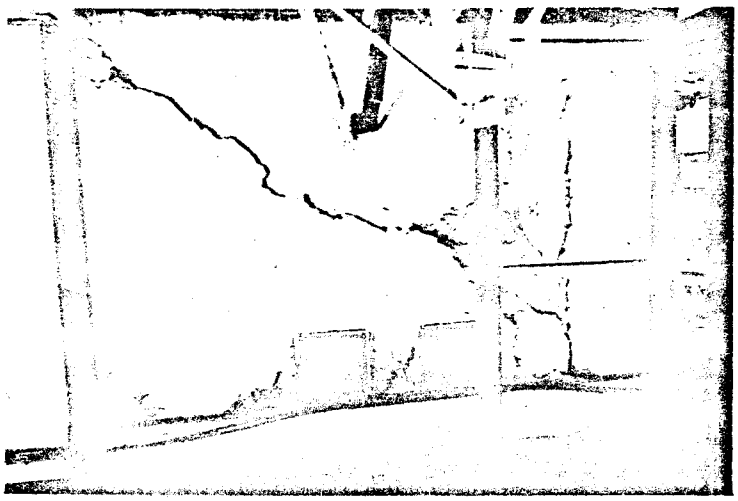
- مناسب نبودن وضع ساختمان از نظر کیفیت بتن و نحوه آهن گذاریها
- نزدیک بودن فرکانس طبیعی ساختمانها بافرکانسهائی از زلزله که نمودار مربوط به طیف شتاب زلزله دراین فرکانسها دارای نقطه اوج میباشد .
- تغییر شدید بین سختی طبقات فوقانی نسبت به طبقه هم کف به جهت آنکه طبقه هم کف معمولا " فاقد دیوار و طبقات فوقانی دارای دیوارهای زیادی است .

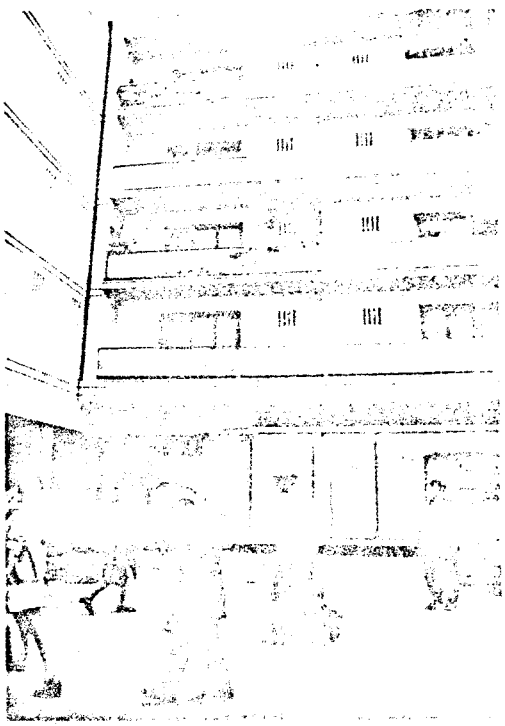
بین ساختمانهای مدرن بتن آرمه که در زلزله اخیر خراب گردید میتوان ساختمان مرکز کامپیوتر را نام برد که در شهر بوخارست ساخته شده بود ، قسمت مرکزی این ساختمان که ساختمان سه طبقه بتن آرمه بوده است‌بکلی

خراب گردید . به سایر ساختمانهای مهم شهر بوخارست چندان خسارتی وارد نگردید وبیشتر خسارات درعناصر غیر باربر ویا خساراتی بعلت پدیده تنه زدن (Pounding) بین دو ساختمان مرتفع بوده است که در جنب‌هم قرار داشته اند .

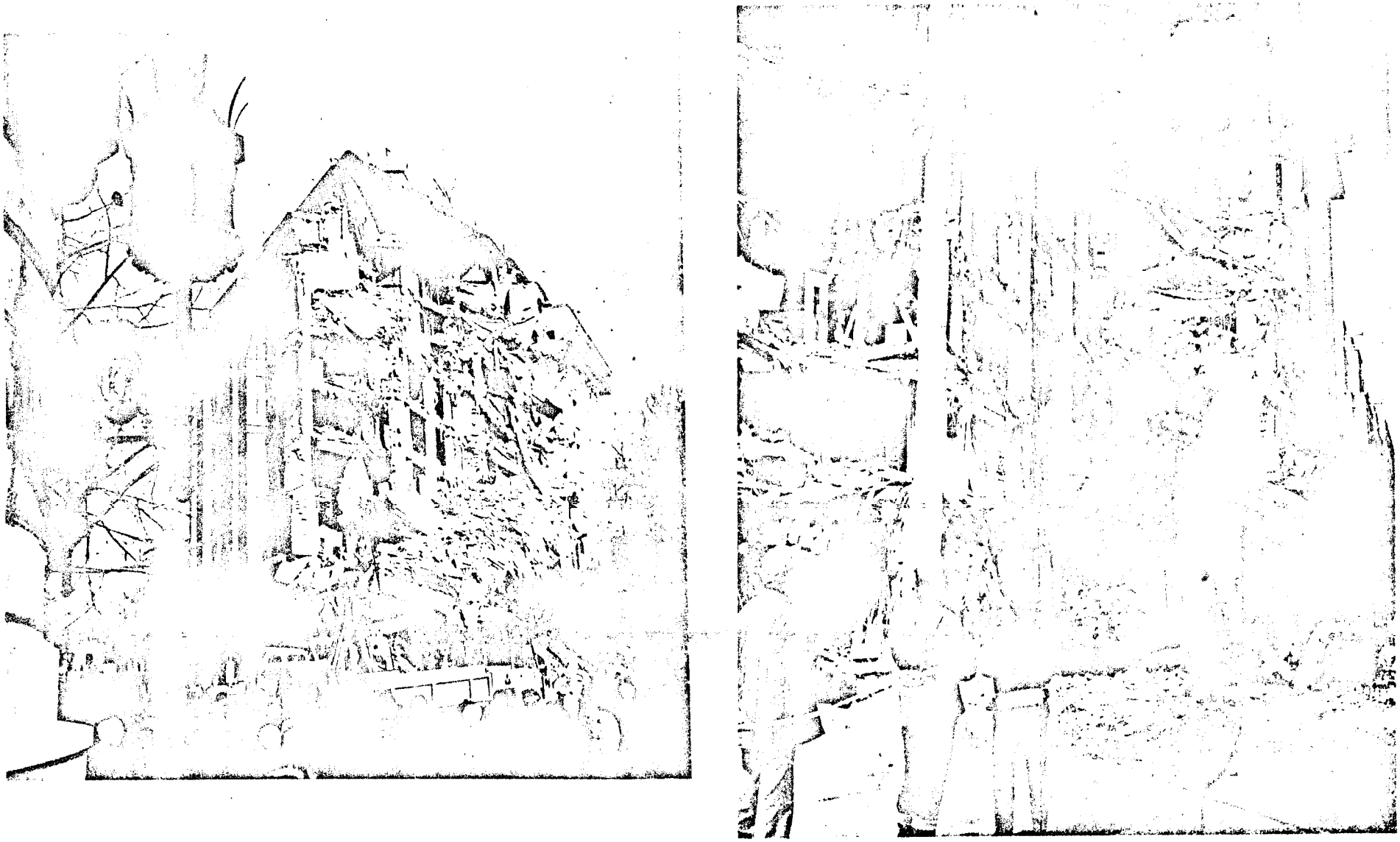


خراب شدن دیوارهای پرکننده بین ستونها درساختمانهای بتن آرمه بوخارست

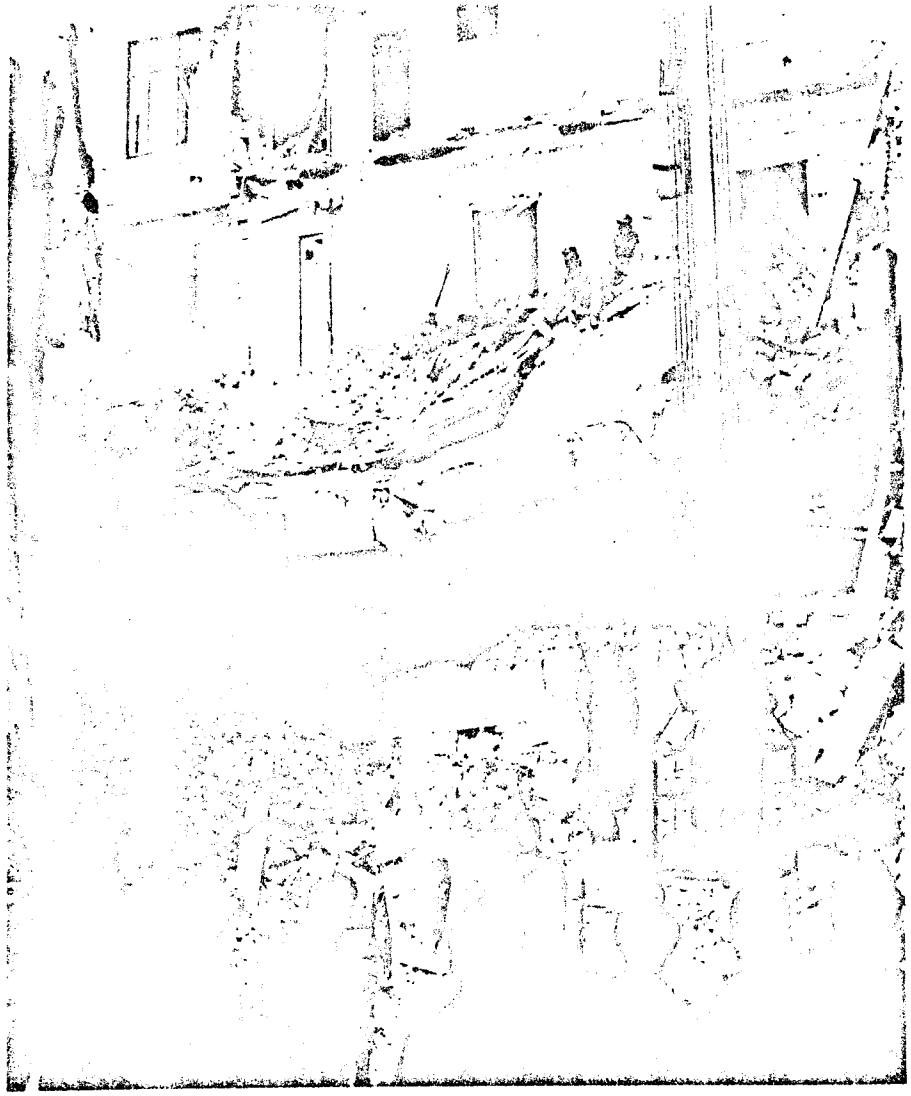




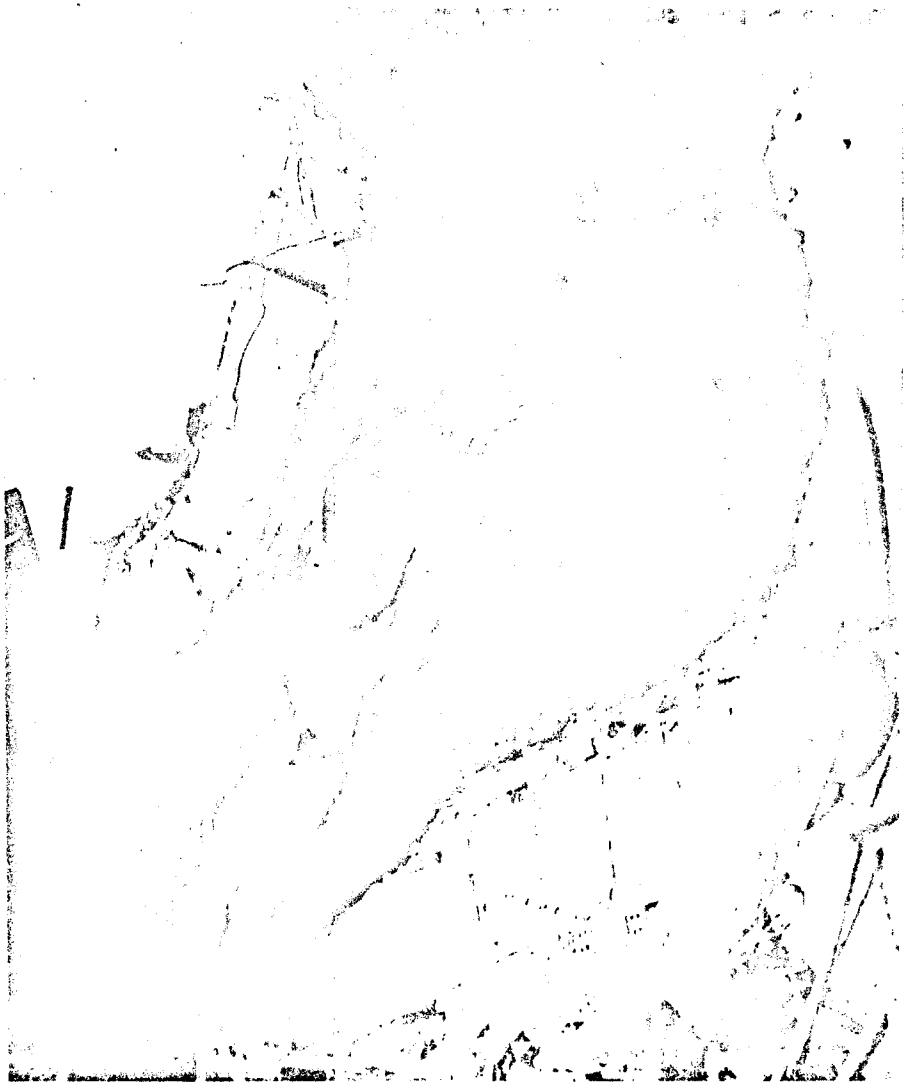
ساختمان۵ طبقه بتن آرمه درپلیوشت (PLOIESTI)
ترک مورب دردیوارآجری که به ستون کناری نیزسرایت کرده است (همچنین فاصله بین دو پنجره بصـــــورت ضربدری ترک خورده است) .



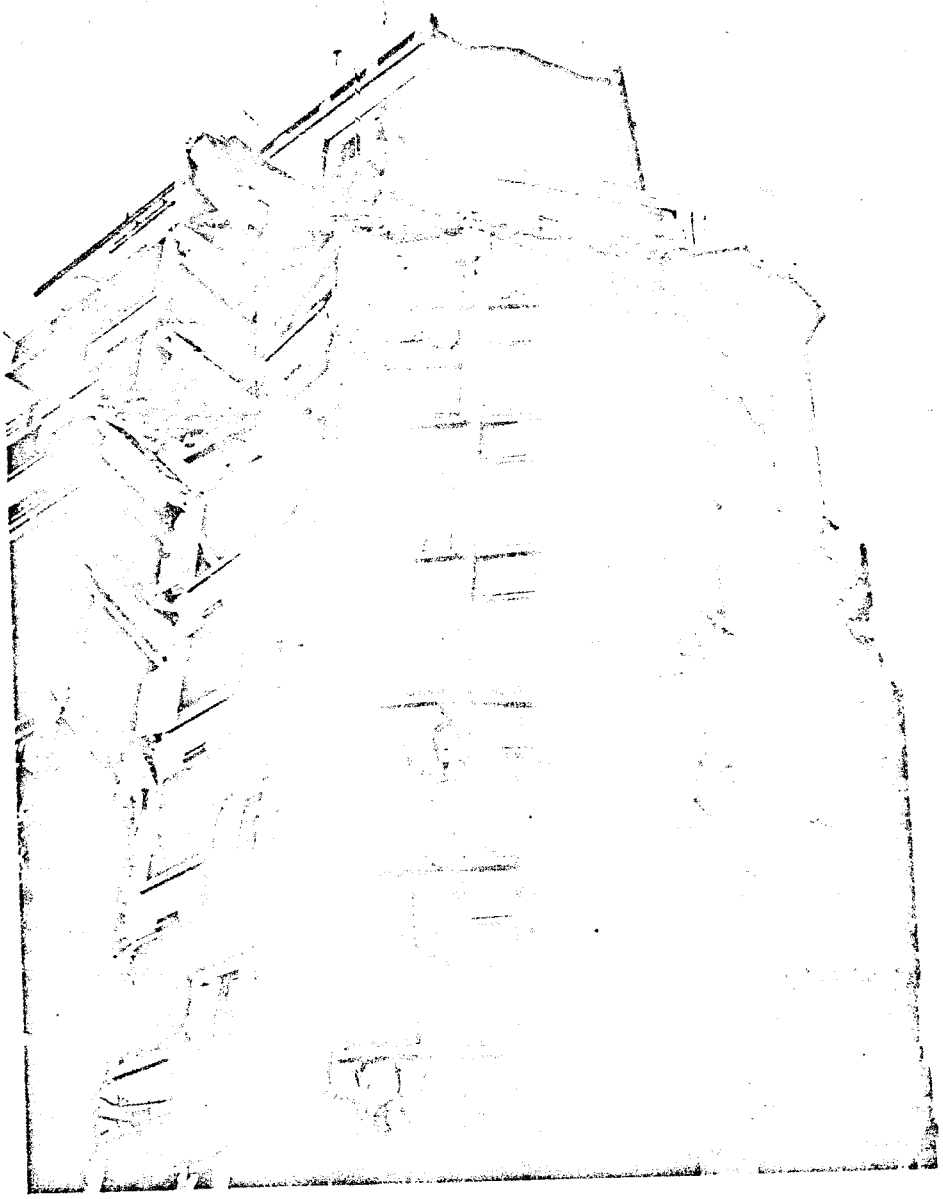
نمونه ائی از خرابی در ساختمانهای بلند بتن آرمه شهر بوخارست (عکس با لطف آقای P.Vermescu)



(عکس با لطف آقای P.Vermescu)

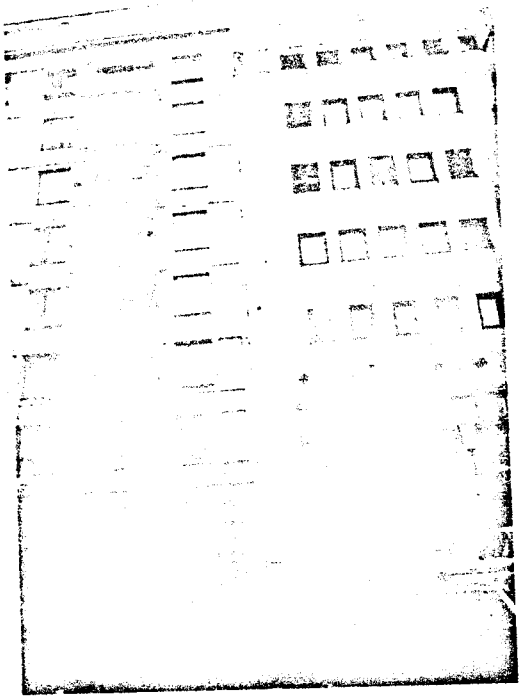


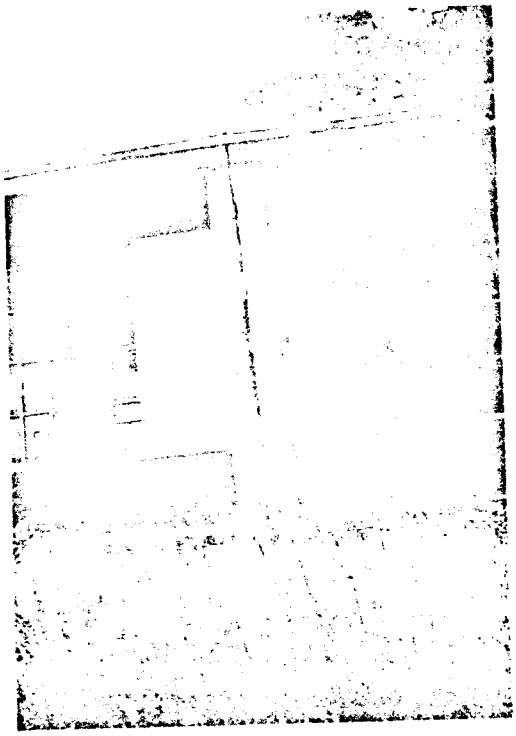
(عکس با لطف آقای P.Vermescu)

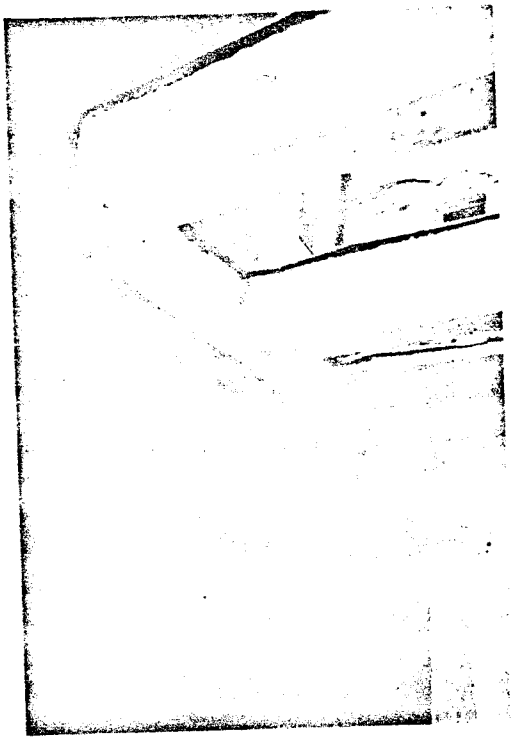


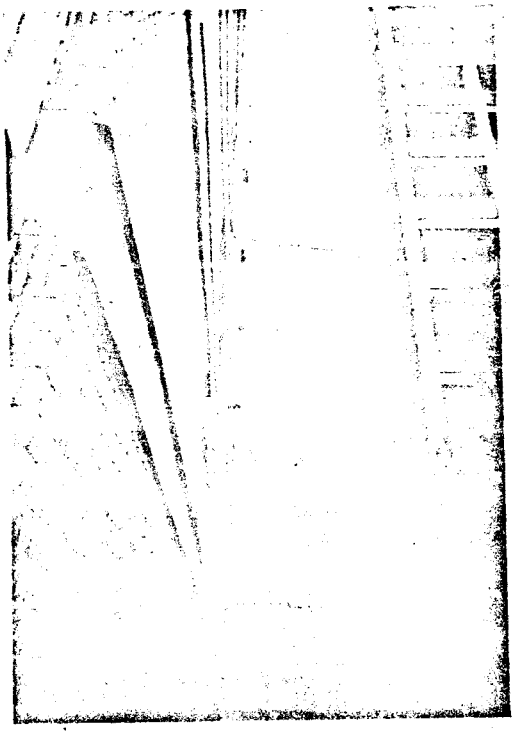
(عکس با لطف آقای P.Vermescu)

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

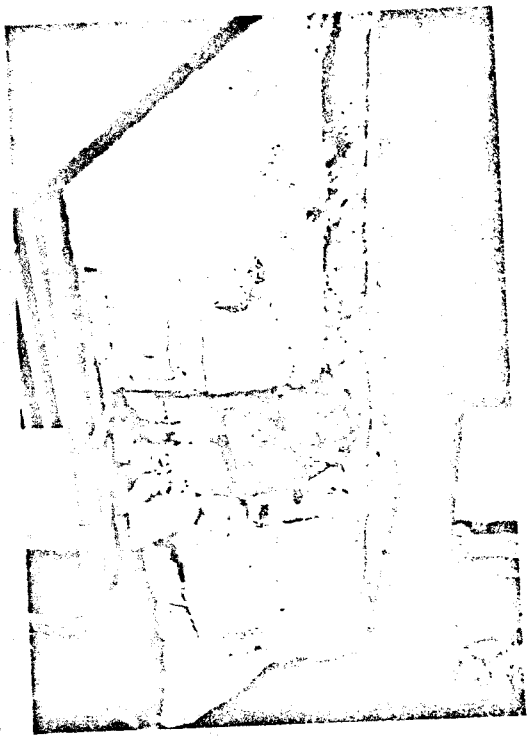


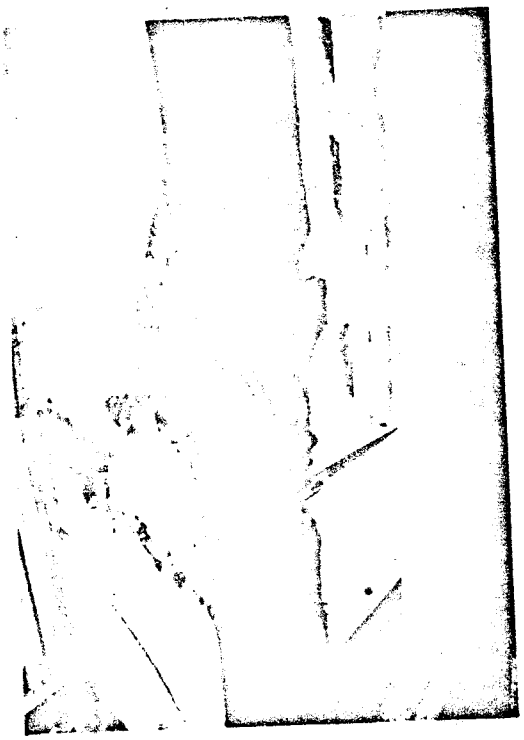


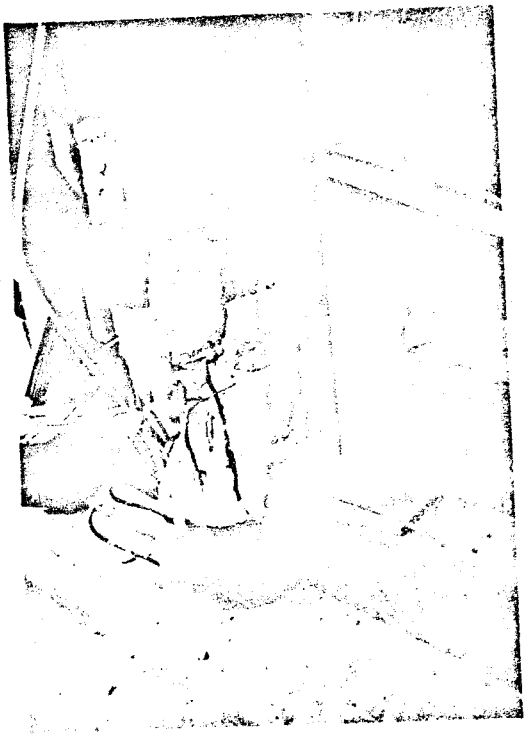




اثر تنه زدن (Pounding) در ساختمانهای بتن آرمه بوخارست







(بوخارست) کمانش آرماتورها درستونهای بتن آرمه (درپاره ای ازموارد فاصله تنگ ها ازیکدیگر 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 بامنظور 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 آرمه‌ای بوده است که بر روی ۹ ستون که فاصله محور تا محور ستونها درهر 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 قسمت‌مرکزی 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 درمحل 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 درآنجا 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 .

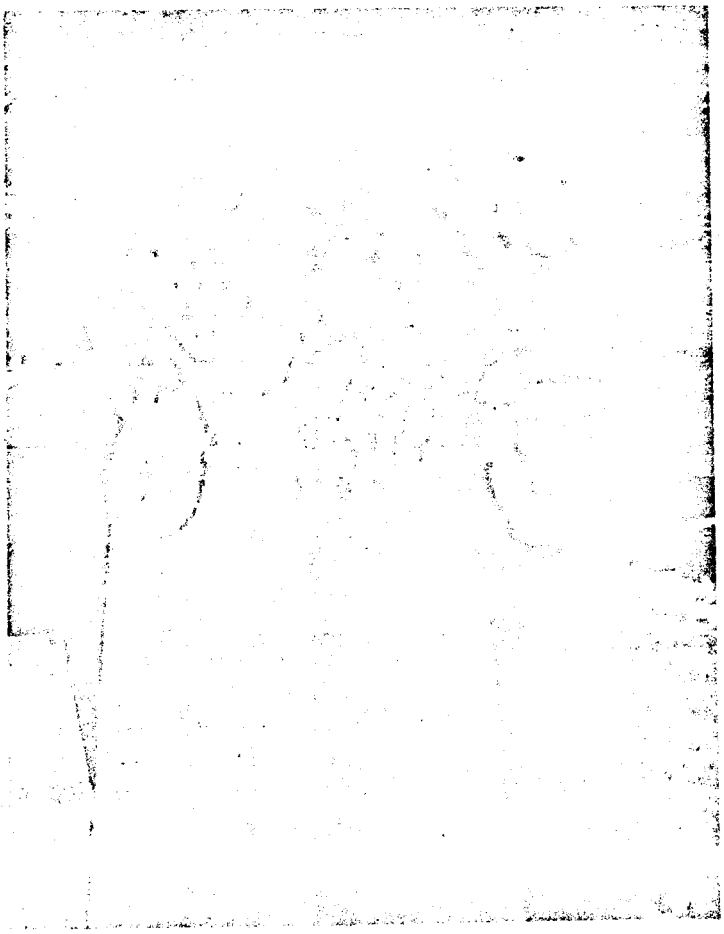
بطور کلی در همه طبقات ستونها در فاصله ۴۰ سانتیمتر زیرسقف بصورت سر ستون وسیع ودر چهار طرف گسترده شده اند .

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 میباشد ، 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 میباشد به وسیله رکابیها بسته شده اند . قطر تنگها و رکابیها ۸ میلیمتر میباشد 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 .

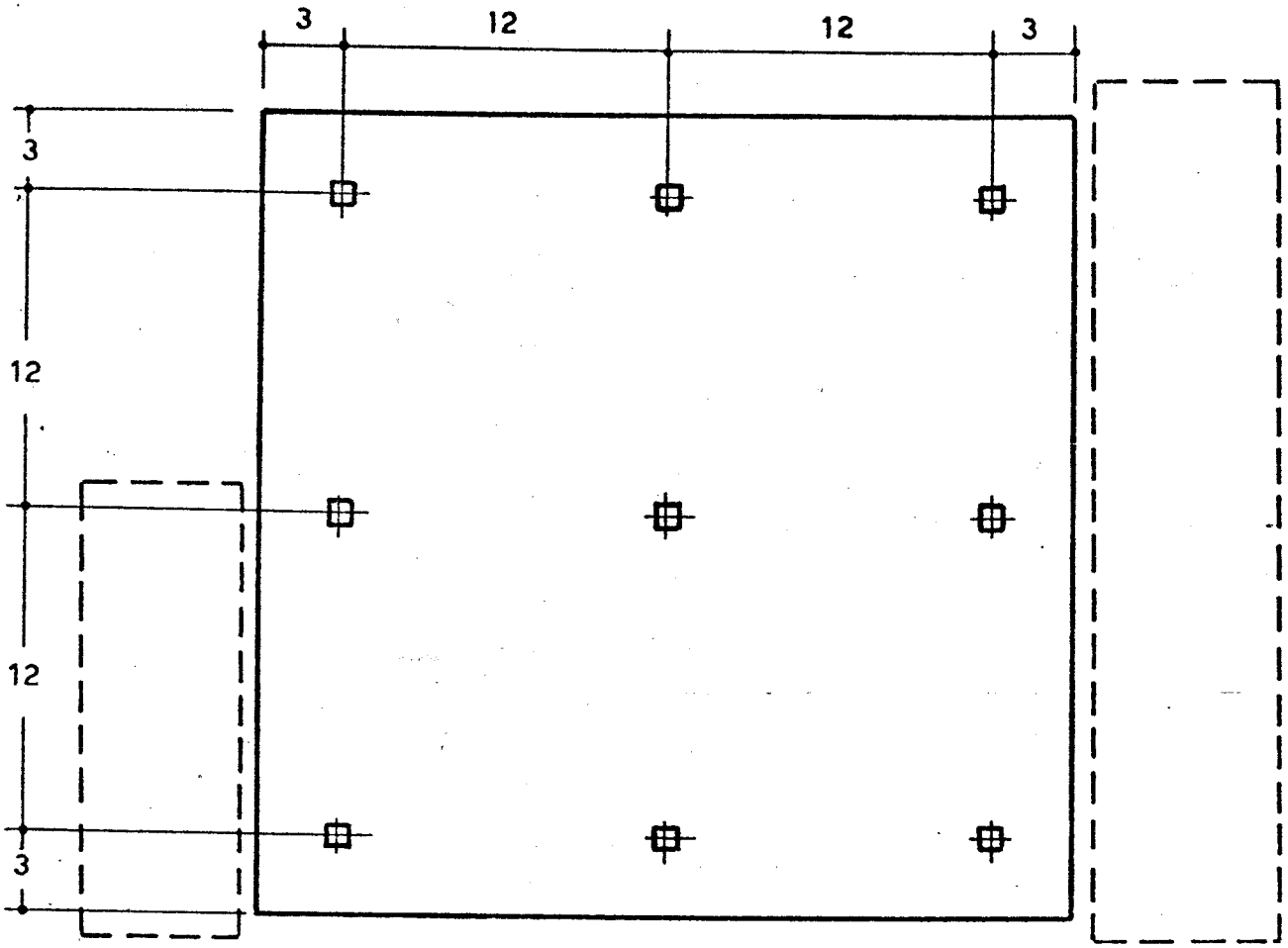
سقف های طبقات و همچنین بام فاقد تیر اصلی میباشند و بصورت دال قارچی توخالی ساخته شده اند که ضخامت آن در طبقه بام ۴۵ سانتیمتر ودر طبقات دیگر ۵۵ سانتیمتر است . این کفها با تیرهای بعرض ۲۰ سانتیمتر بصورت شطرنجی و دو دال بتن آرمه زیر و رو هر کدام بضخامت ۶ سانتیمتر ساخته شده اند ، فاصله محور تا محور تیرها در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

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

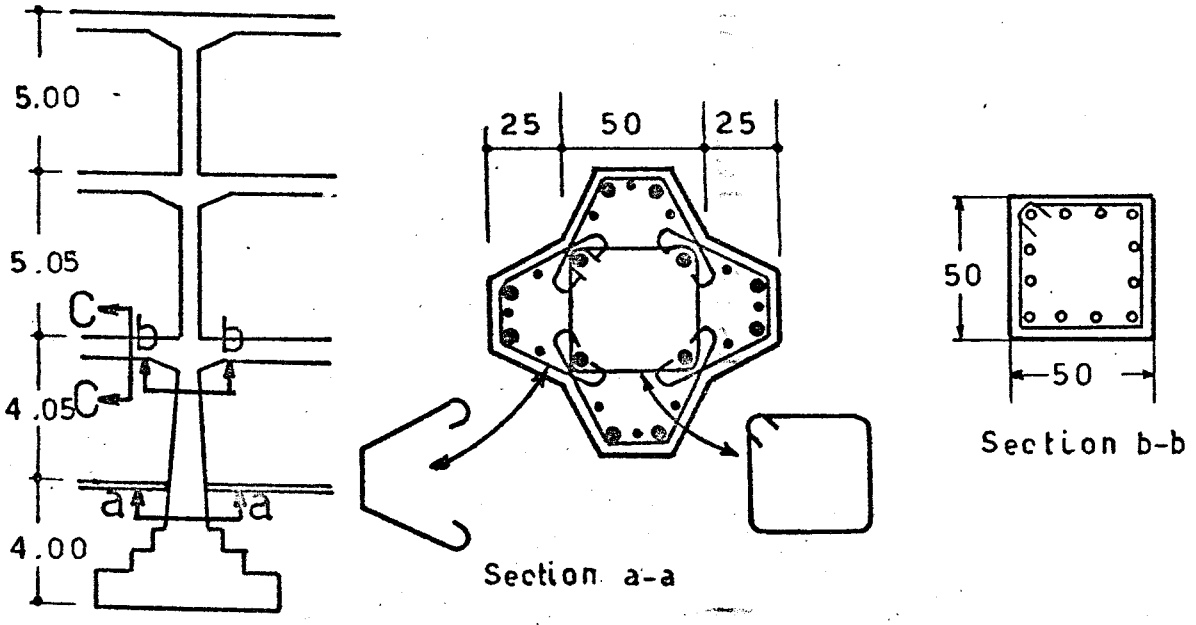
شالوده های این ساختمان بصورت منفرد وبا ابعاد ۵/۶ × ۵/۶ متر میباشند . در اثر زلزله این ساختمان بکلی فرود آمد و خصوصا " تمام ستونهای طبقه هم کف شکسته شده اند محل خرابی در همه ستونها درقسمت فوقانی ستون میباشد ، در قسمت فوقانی ستونها آهنهای گرد کمانه کرده اند ، پاره ای از این آهنهای گرد درخارج از تنگهای مربع ستون میباشند . ستونهای مربع در طبقات بالا نیز همه در محل فوقانی‌خرد شده اند ،ممکنست ساختمان ابتدا بعلت خرد شدن ستونهای طبقه هم کف خراب شده باشدوخرابی‌ستونهای‌فوقانی‌ناشی ازریختن 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



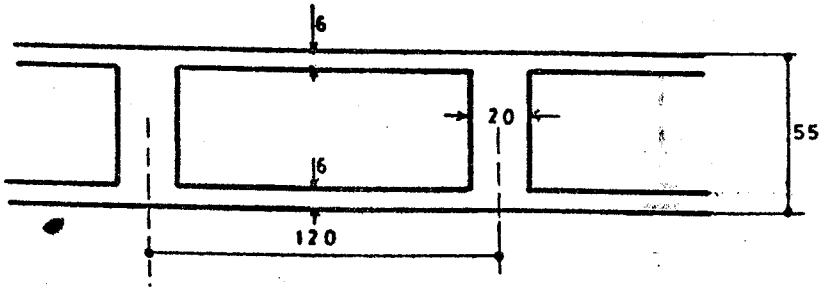
پلان ساختمان مرکز کامپیوتر



Typical column and slabs

Section a-a

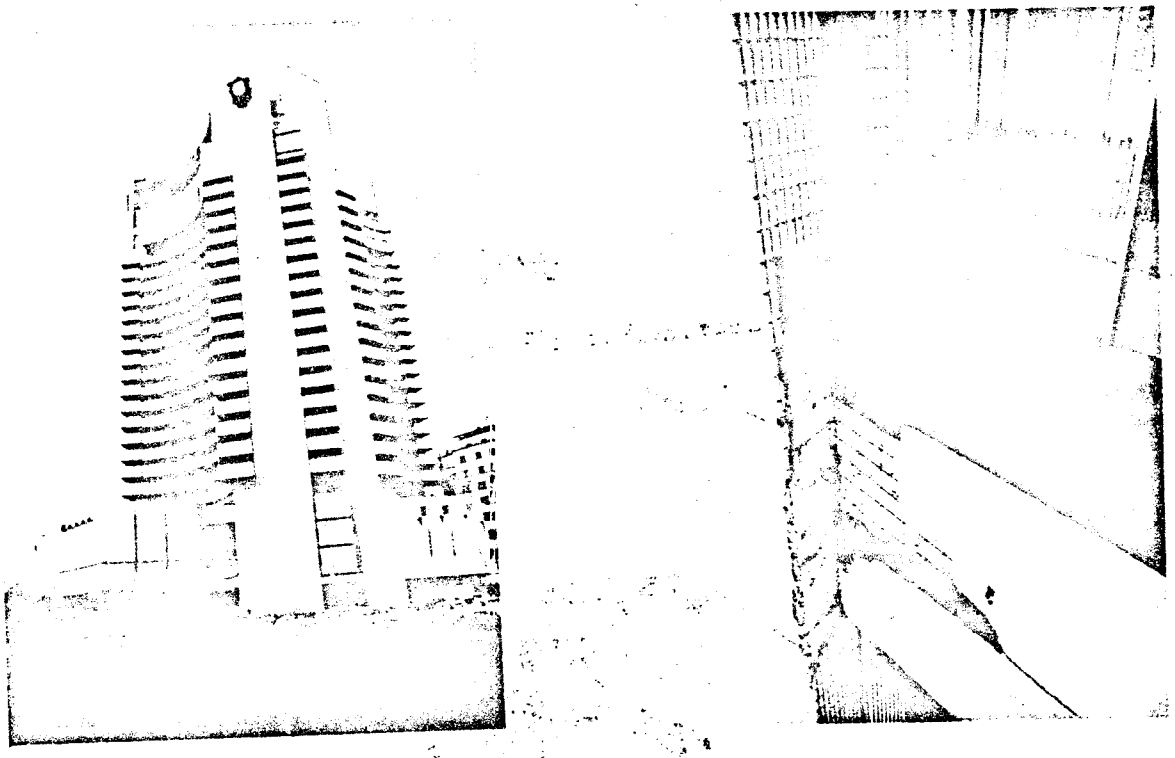
Section b-b



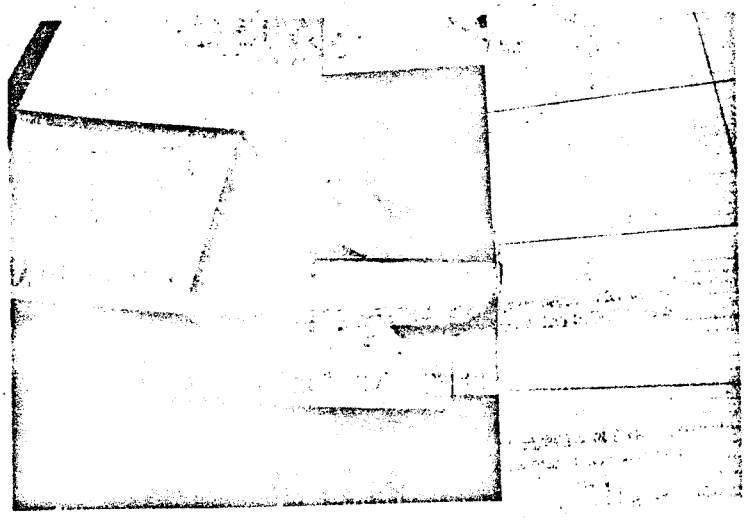
Section c-c

هتل اینترکنتینانتال (Intercontinental Hotel)

ساختمان جالب ۲۴ طبقه بتن آرمه ای است که درمرکز شهربوخارست واقع شده است ،پرید اصلی نوسان این ساختمان که قبل از وقوع زلزله اخیر اندازه گیری شده بود ، معادل ۱/۱۵ ثانیه بوده است . در اثر زلزلـــه بقسمت های باربر این ساختمان هیچ خسارت عمده ای وارد نشد و تنها اثری که در این ساختمان دیده شـــد خسارات جزئی بود که در محل درز انقطاع بین ساختمان اصلی وقسمت کوتاه ورودی ساختمان ایجاد شده بـود که باعث ریختن روکاریهای ساختمان در این قسمت شده است این نوع خسارات که ناشی‌ازتنه زدن دوساختمان (Pounding) مجاور بیکدیگراست درتعداد زیادی از ساختمانهای شهر بوخارست دیده شد . سایر خسارات وارده به این ساختمان غیرقابل‌توجه و بیشتروجود ترک دردیوارهای جداکننده واندودهای روی‌دیوارهامیباشد .



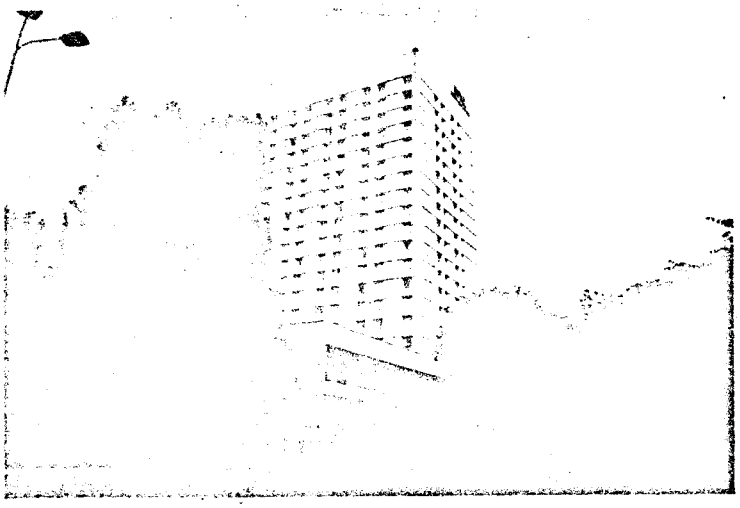
خسارت در محل درز انقطاع ساختمان هتل اینترکنتینانتال ،ساختمان هتل اینترکنتینانتال



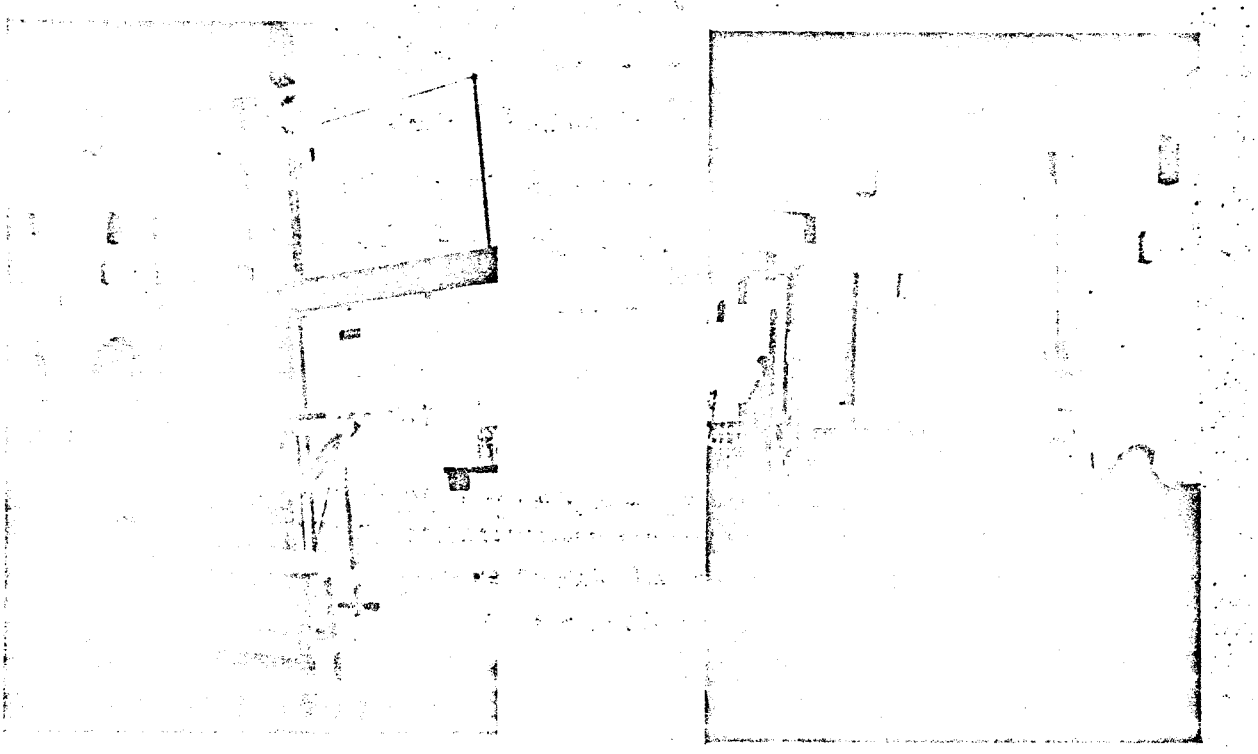
خسارت به روکاری ساختمان در هتل اینترکنتینانتال

هتل دوربانتي (Durobanti Hotel)

ساختمان ۲۰ طبقه بتن آرمه نوسازی است که آسیبی به قسمت های باربر آن واردنشده است ،ابعاد ستونهای این ساختمان خیلی بزرگ و رویهمرفته ساختمان با قاب بتن آرمه قوی میباشد ،تنها خسارتی که در ایـــــن ساختمان دیده شد مربوط به ریزش سنگ های پوشش روی ستونها در محل درز انبساط ساختمان استکـــــــه 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

ساختمان پاوویون مرکزی نمایشگاه اقتصاد

این ساختمان گرد با پوشش بزرگ گنبدی (تراس فلزی‌سه بعدی) که برروی ستونهای بتن آرمه بالتسبه لاغری قرار گرفته است درشهر بوخارست ساخته شده است . بین ستونها ، دیوارهای شیشه ای‌قراردارد ، این‌ساختمان نمونه جالبی از یک پاندول با پرید زیاد که دارای یک‌توده متمرکز است میباشد ، در اثر زلزله علاوه بر آنکه تعداد زیادی از شیشه های ساختمان خرد شدند تقریبا " در کلیه ستونهای پیرامون ساختمان ترک های برشی نیز ایجاد گردیده است (۱) .

بیمارستان اورژانس

به این بیمارستان که در سال ۱۹۷۰ در شهر بوخارست با قاب بتن آرمه نسبتا " انعطاف پذیری‌ساخته 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 آنموقع 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 شدکه بیمارستان کلا " تخلیه و بیماران به جای دیگر منتقل گردند عملیات تخلیه بیماران‌ظرف۳ ساعت انجام شد (۲)
نکته ای که تذکرآن 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 بیمارستانهاصدمه دید و ناگزیر به تخلیه این بیمارستانها شدند ، جمعا " ۹ بیمارستان از ۳۵ بیمارستان شهر بوخارست که دراثر زلزله صدمه دیدند تخلیه گردید (۲) .

بیمارستان Fundeni

این بیمارستان ۱۶۰۰ تختخوابی شامل دو ساختمان جدا از هم میباشد که ساختمان اول درسال۱۹۵۸ ساخته

---

۱ — Professor Semih.S Tezcan etal
Bogazci University Istanbul

۲ — Professor G.V. Berg
University of Michigan

شده و بعدا" بآن 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 ازمجهزترین بیمارستانهای اروپای شرقی است . واحد اول دراثر زلزله خسارات زیادی دیده است که بیشترناشی ازتنه زدن (Pounding) دوساختمان قدیم وجدید به یکدیگرمیباشد وبهمین علت این ساختمان بلافاصله پس ازوقوع 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 اعضاء 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 با 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 پذیراست بطور خاص برای مقابله با زلزله محاسبه نشده است . خسارتی که در این ساختمان گزارش شده است کمانشی که دربال تیرآهن یک ستون خارجی ایجاد شده و ترک هائی که در دیوارهای پر کننده بین ستونها حاصل شده است (۲) .

ساختمانهای صنعتی

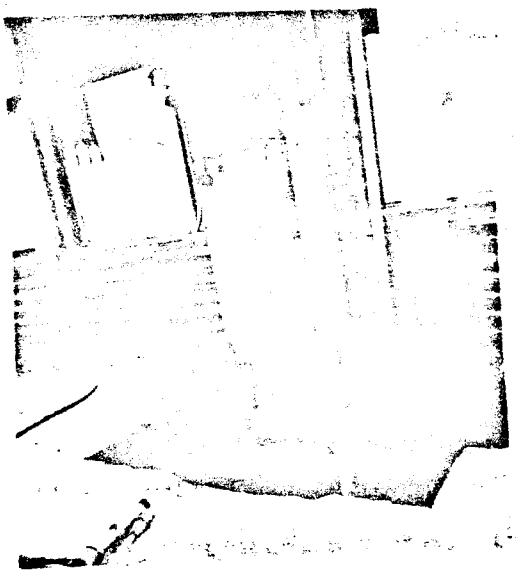
ساختمانهای صنعتی در رومانی اغلب ازنوع بتن پیش ساخته شده میباشندوتنوع زیادی دارند وساختمانهائی هستند که سقف آنها بیشتر بصورت خرپاهای بتن آرمه پیش ساخته شده با اشکال مختلف ویا قوسی است ، ستونها نیز عموما" از عناصر بتن آرمه پیش ساخته شده میباشند این ساختمانها در اثر زلزله خسارت زیادی ندیدند و تنها خسارتی که در پاره ائی از خرپاهای 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 .

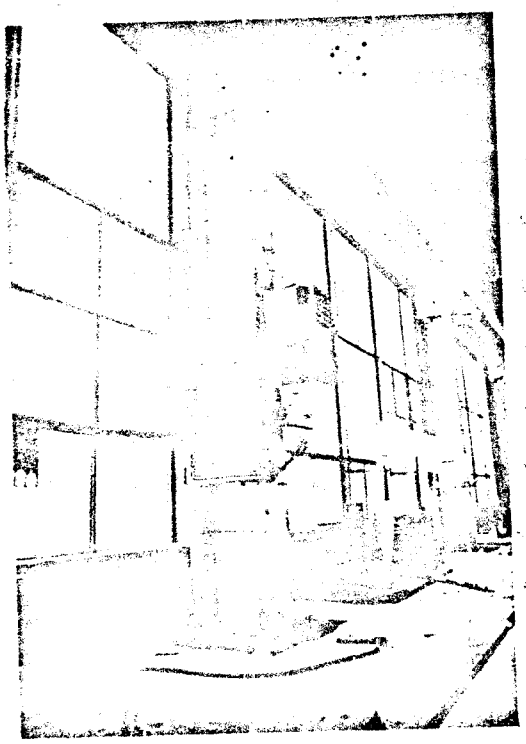
نکته ای که در مورد این قبیل ساختمانها که خیلی انعطاف پذیر بوده و تغییر شکل آنها در موقع زلزله زیاد است قابل ذکر میباشد نحوه قرار گرفتن دیوارهای بین ستونها میباشد که چنانچه بشکلی باشند که مانع حرکت

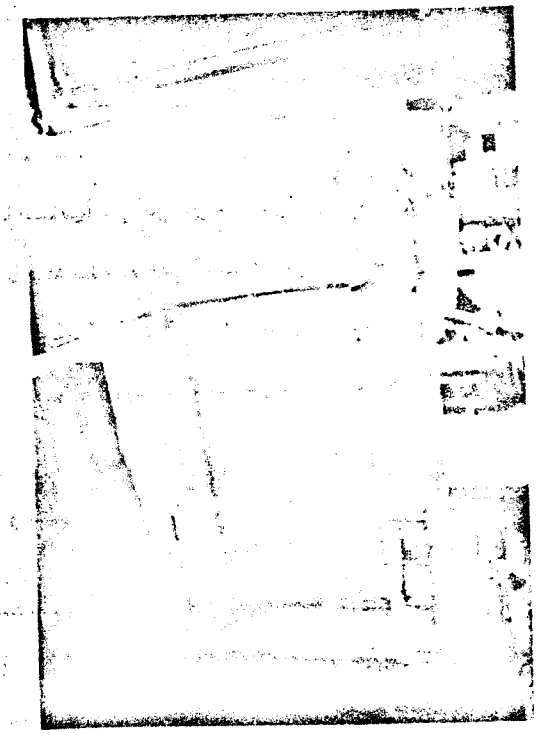
۱—Professor G.V. Berg university of Michigan

آزادانه ستونها شوند بار افقی زیادی را به ستونها تحمیل مینماید بنابراین یا باید حتی الامکان این دیوارها خارج از امتداد ستونها قرار گیرند ویا اگر در همان امتداد ستونها ساخته میشوند باید اتصال بین دیـوار و ستون بصورت سخت نباشد که مانع از حرکت آزادانه ستونها شود ، در زلزله رومانی در پاره ای از مواردکـه این اصل رعایت نشده است ترک هائی در ستونها دیده شد . همچنین دیوارهای داخلی باید بنحوی قـرار گیرند که فاصله ای بین خرپاها و دیوار بوجود آید که تاثیری در حرکت آزاد سقف وستون نداشته باشند .

بطور کلی خساراتی که در ساختمانهای صنعتی ملاحظه شده است مختصر و بیشتر در پائین و بالای ستونهـا و در محل قرار گرفتن جرثقیل ها بوده است .







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

ساختمانهای با مصالح بنائـــــــی

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

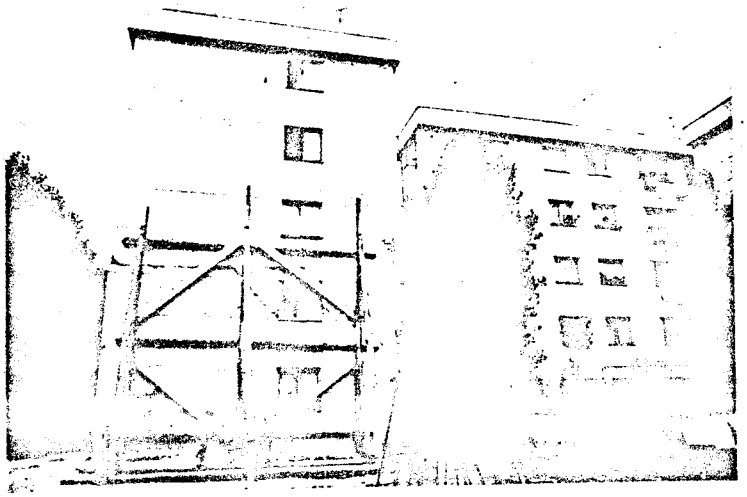
مصالح این ساختمانها نوعا" آجر یا سنگ میباشد .

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

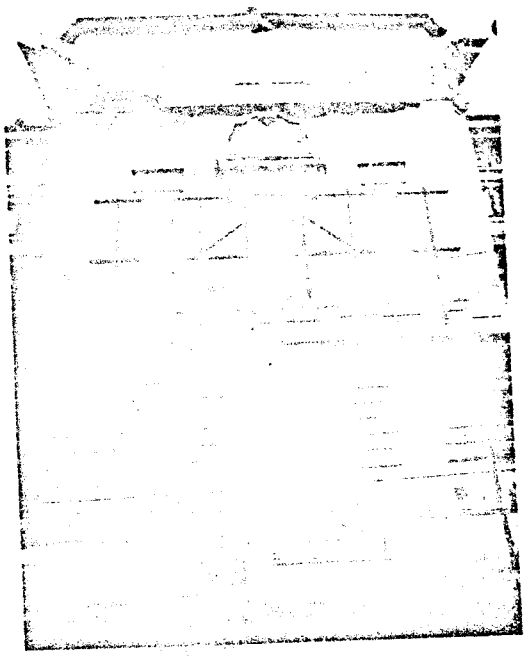
در کرایوا (حدود ۳۰۰ کیلومتری جنوب غرب مرکز زلزله) تعدادی ساختمان آجری پنج طبقه با سقف هـــای بتن آرمه موجود بوده است که در اثر زلزله ترک هائی در دیوارهای آنها ایجاد شده است ، این ساختمانهـــا عموما" دارای کلاف قائم بتن آرمه نیز میباشند . در این شهر همچنین در روی ساختمان کلیسا برجک آجـری به اندازه ۸ سانتیمتر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

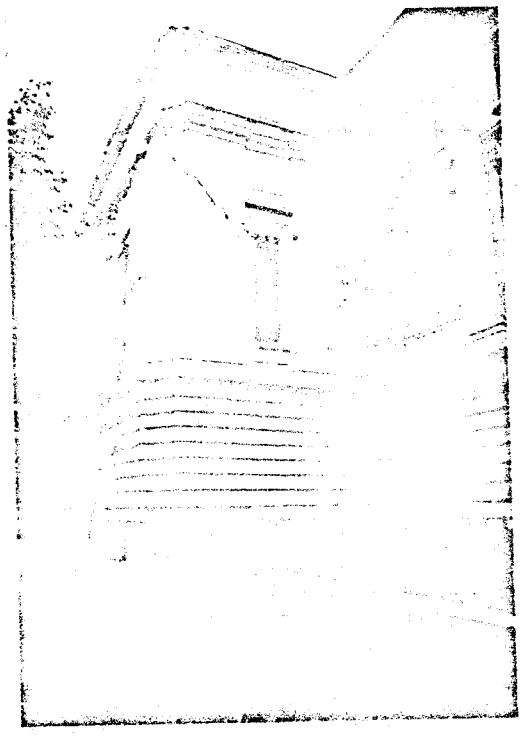
در پلیوشت (حدود ۱۳۰ کیلومتری جنوب غربی مرکز زلزله) ساختمان قدیمی دو طبقه مرکب از آجر و سنـگ که قبلا" کاخ دادگستری بوده و اینک خانه فرهنگ میباشد شدیدا"خسارت دیده است ،دیوارهای این ساختمان بسیار ضخیم میباشد و بیشتر خسارات در گوشه های ساختمان پدید آمده است .بیشترخسارات به ساختمانهای با مصالح بنائی در شهر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

در اغلب موارد به دیوار آجری مثلثی شکل انتهای ساختمان (Gable Wall) درمواردیکه سقف‌بصـــورت خرپا بوده است خسارت وارده و این دیوارها فرو ریخته اند .

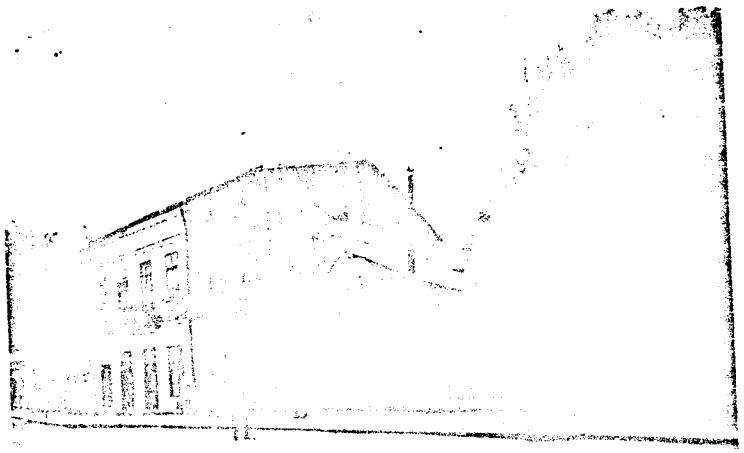


ترک ضربدری وافقی درساختمان۵ طبقه آجری در (Craioua) (این ساختمانها دارای کلافهای بتن آرمه قائم میباشند و سقف آنها نیز بتن آرمه است) .

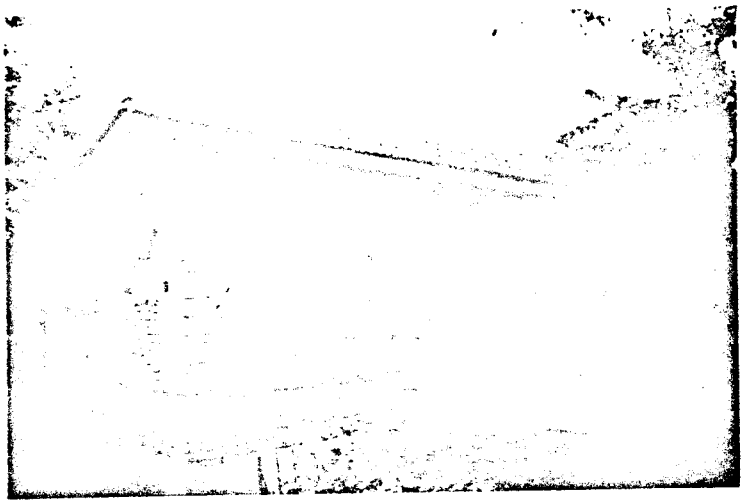




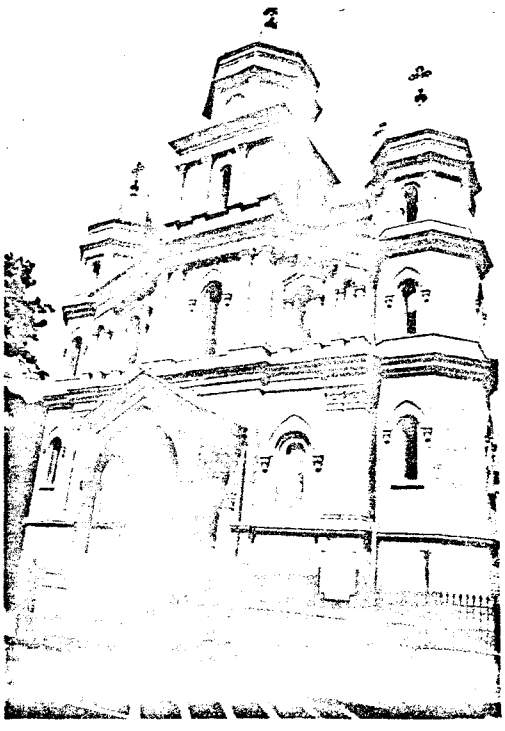
ساختمان خانه فرهنگ پلیوشت (Ploiesti) مرکب از آجر وسنگ
(ترک های‌مورب دردیوارهاوخراب شدن جان پناه بام)



خراب شدن‌دیوار انتهائی (Gable wall) درسقف باخرپا



خسارت به ساختمانهای آجری در کرایوا (Craiova)

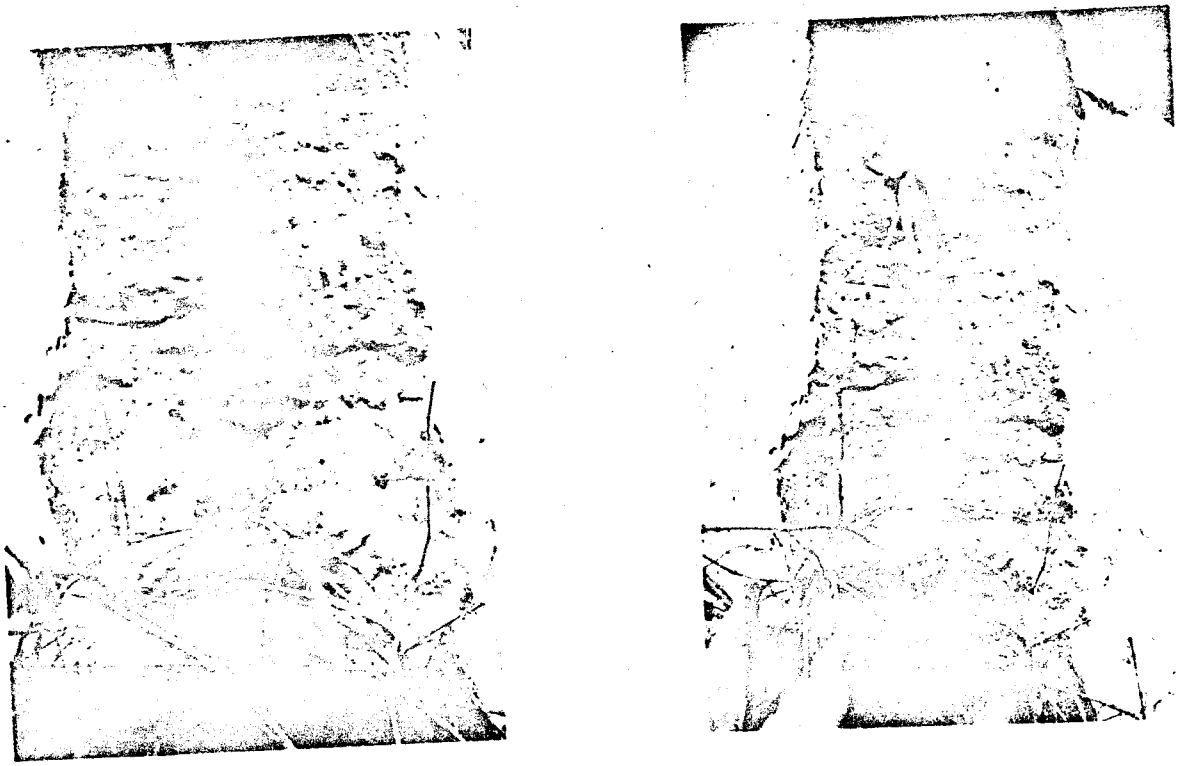


چرخش بر جک آجری بالای ساختمان کلیسا در کرایوا (Craiova)

ساختمانهای سنتی روستائی

نوع ساختمانهای سنتی روستائی که خصوصا" در زیمنی چیا بشدت خسارت دیده ساختمانهائی است که دیوارهای آن گلی و سقف از خرپا و سفال میباشد دیوارها بصورت چینه ای است که نحوه ساختمان آنها باین 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 عموما" خراب گردیده اند . در پاره ای از موارد این نوع ساختمانها مخلوط از آجر و گل میباشند . خرابی که در این نوع ساختمانها ایجاد شده ابتدا از خراب شدن گوشه ساختمان شروع شده است .

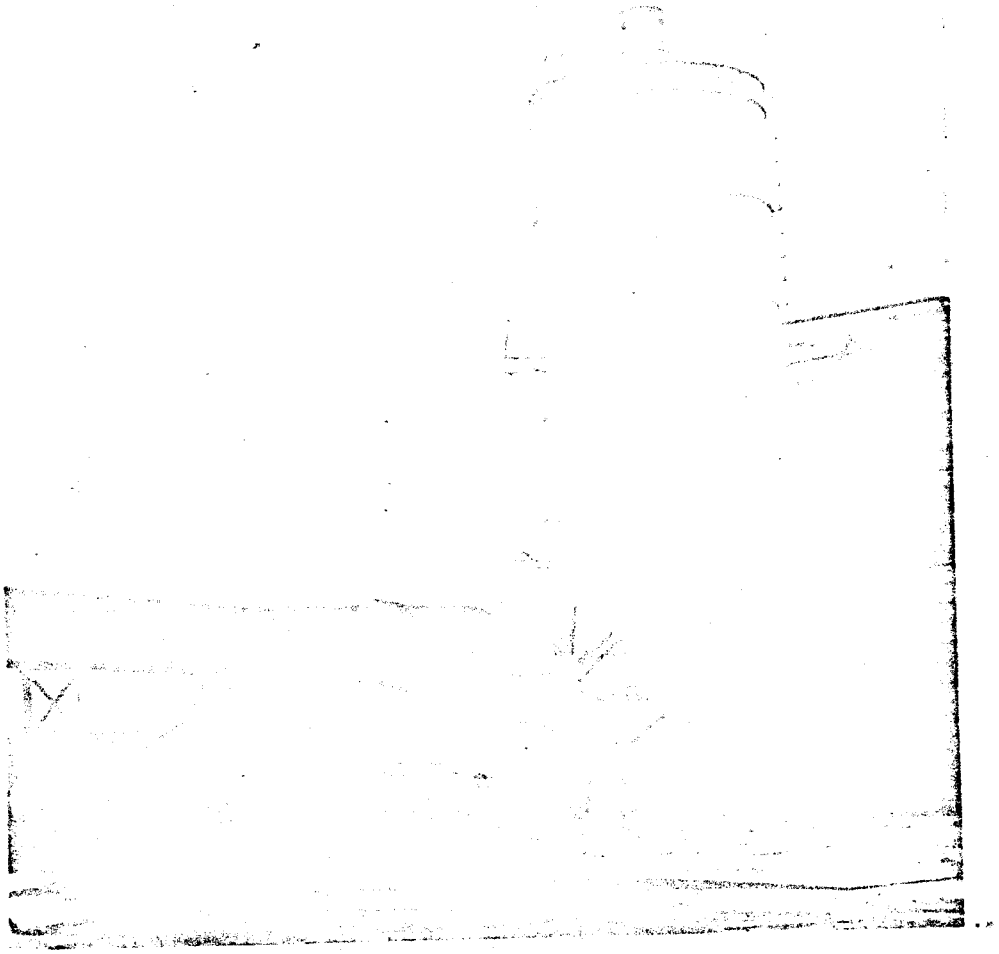
این نوع ساختمانهای گلی در بعضی از جاها به طرق خاص محلی تقویت شده است و همین تقویت های مختصر ، ساختمان را از خرابی در امان داشته است مثلا" در بعضی از ساختمانها مقداری چوب که در اصطلاح محلی به رکیتا (Rachita) معروف است در گوشه ساختمان در دو دیوار متعامد در هر ۵۰ سانتیمتر به ۵۰ سانتیمتر ارتفاع و بطول حدود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



طریقه محلی برای قفل وبست دو دیوار متعامد بوسیله قرار دادن چوب در گوشه ساختمان (در زیمنی چیا Zimnicea) .

نمونه ای از خرابی درساختمانهای سنتی روستائی زیمنی چیا (Zimnicea)

ساختمان سنتی روستائی در زیمنی‌چیا (Zimnicea) که با استفاده از
قرار دادن چوب در گوشه های ساختمان تقویت‌شده‌ودرزلزله‌خسارتی‌ندیده است .



خرابی سیلوی فلزی (این عکس با لطف آقای

P.Vermescu مدیر موسسه IPCT بدست‌آمد)

برجهای آب و منابع و سیلوها

برجهای آب موجود در رومانی عموما " 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 قرارداشت شکست خورده است ، این منابع در موقع بروز زلزله همه پر بوده اند (۱) محل شکستگی عموما " درمحل تقاطع شافت با مخروط منبع و یا در ثلث فوقانی شافت بوده است . خسارت به تانکهای آب زیرزمینی وهمچنین سیلوهای 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 زیبنی چیا صدمه وارد آمد وشالوده 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 ودر 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 ازمرکز زلزله قرار دارند و هیچکدام از این سدها خسارتی ندیدند ، نزدیک ترین سد به مرکز زلزله سد بتنی با پشت بند (Cancrete bultress dam) به ارتفاع ۱۲۰ متر بنام سد (Poiana Vguli) است که در فاصله ۶۰ کیلومتری شمال غربی مرکز زلزله واقع است وکوچکترین خسارتی ندیده است ، شدت زلزله در این نقطه درحدود شدت هفت اصلاحی مرکالی بوده است (۲) فاصله سددیگرو نوع وارتفاع 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
Iniperial Callege of Science and Technology, Landon

۲ — Professor G.V Berg
university of Michigan

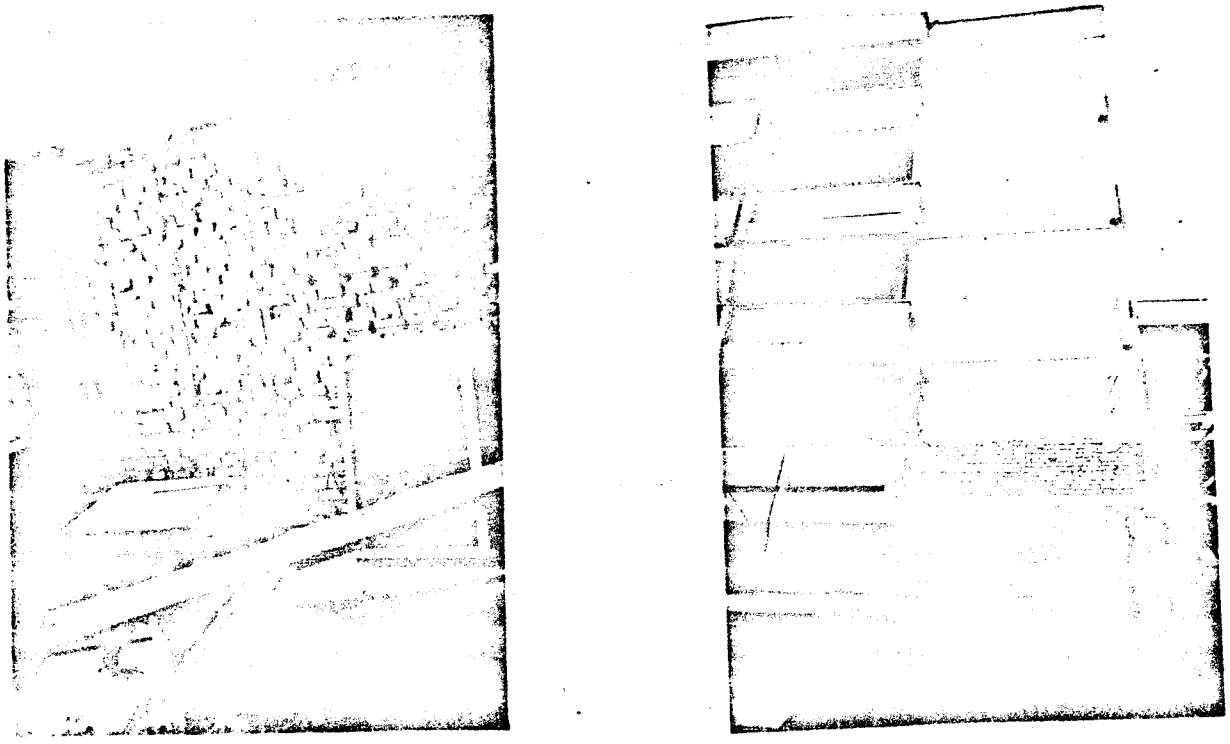
انجام کار تعمیر و تقویت ساختمانهای آسیب دیده از زلزله معمولا " یک مساله حساس میباشد و گاه مشکلات مربوط به تقویت یک ساختمان و هزینه ایکه انجام این تقویت ها در بر خواهد داشت و خصوصا " عدم اطلاع دقیق از نقاط ضعفی که در ساختمان ایجادشده و قابل رویت نیست و احتمالا " در زلزله های بعدی اثرخود را ظاهر خواهد 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 برچیده شد و تعمیر و تقویت تعداد بسیار زیادی از ساختمانهای آسیب دیده نیز دربرنامه کار کلی گنجانده شده است که بتدریج نسبت به تقویت این ساختمانها اقدام گردد .

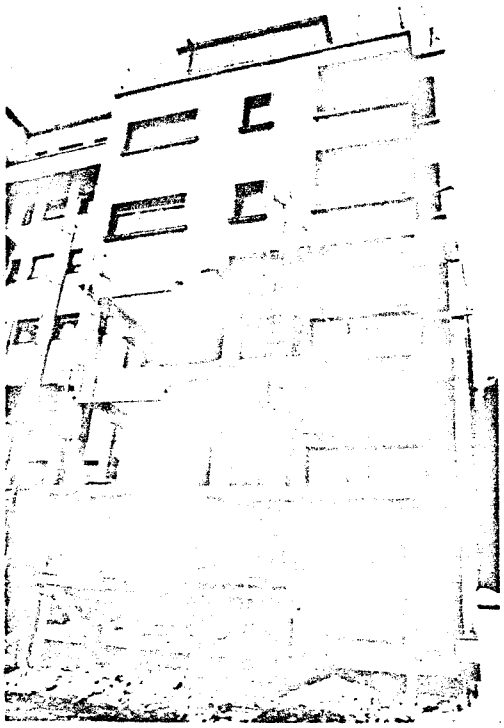
از جمله ساختمانهائی که برنامه تقویت آنها در دست اقدام میباشد ساختمانهای پنج طبقه آجری در شهر کرایوآ است که خصوصا " در طبقات پائین شکاف های ضربدری در دیوارهای آجری این ساختمانها ایجاد شده است ، نحوه تقویت این ساختمانها باین ترتیب است که شبکه آهن گرد بر روی دیوار در هر دو روی آن قرار داده وقشرضخیمی ازملات سیمان در روی آن قرارداده میشودوبا این ترتیب دو دیوارنازک بتن آرمه دردو 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 .

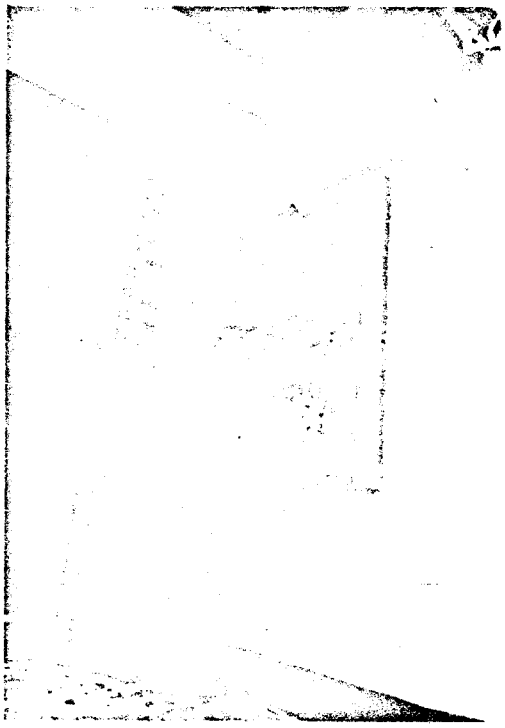
برای تقویت ستونهای بتن آرمه نیز با قرار دادن نبشی فلزی در چهار گوشه ستون و جوش نمودن تسمه های افقی بر روی این نبشی ها ستونها را تقویت مینماید و بهمین ترتیب در مواردیکه شکافهائی در محل تقاطع تیر و ستون ایجاد شده این شکافها با عناصر فولادی ترمیم و تقویت میگردد .

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

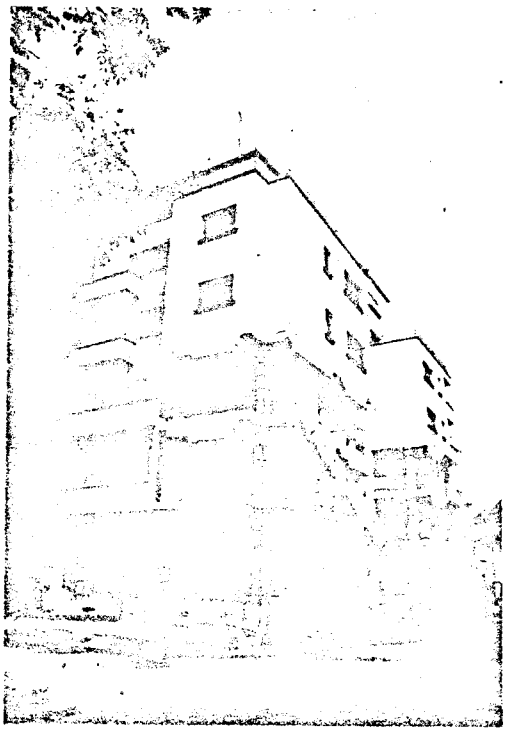


مرمت وتقویت دیوارهای آجری بوسیله قرار دادن شبکه آهن گرد دردوطرف دیوار و و اندود ضخیم سیمانی روی آن





مرمت و تقویت ستونهای بتن آرمه



ساختمان ۶ طبقه (بازیرزمین) بتن آرمه دربوخارست که ستونهای آن با قرار دادن نبشی و تسمه وهمچنین آرماتورهای طولی تقویت میگردد (طره های طبقات بوسیله قرار دادن تیرآهن به خارج ستون تقویت میشود) .

اثر زلزله رومانی در کشور بلغارستان

همانطوریکه 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 تقریبا " در مقابل شهر زیمنی چیا (Zimnicea) قرار گرفته است به تعدادی از ساختمانها خسارت وارد آمد وسه ساختمان بتن آرمه ۹ ، ۶ و ۵ طبقه که پرید اصلی نوسان آنها به ترتیب T = ۱/۲ ثانیه و T = ۰/۹ ثانیه و T = ۰/۸ ثانیه بوده است و همچنین یک سیلو غله بکلی خراب شد ،نکته جالب درمورد 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 ونقشه و با تفاوت اینکه در آن مغازه قرارنداشته 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 تقریبا " در مقابل شهر کرایوآ (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 عملا " 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 وموجب گردید که برای مدت کوتاهی از نیروگاه استفاده نشود ولی بطور کلی به این نیروگاه آسیبی وارد نیآمده است .

خلاصه و نتیجـــــه

زلزله چهارم مارس ۱۹۷۷ کشور رومانی با بزرگی (Magnitude) ۷/۲ و با فاصله حدود ۱۶۰ کیلومتـــر از شهر بوخارست خسارت زیادی به شهر بوخارست و چندین شهر دیگر رومانی و حتی به شهر اسویس لیـــف درکشوربلغارستان واردساخت ،این زلزله فرصت‌بی نظیری را برای مطالعه اثر زلزله های راه دوردرساختمانهای با پرید زیاد فراهم ساخت .دراثر این زلزله به تعدادزیادی‌ساختمانهای‌مرتفع شهربوخارست‌آسیب وارد آمـــد و بیش از ۳۵ ساختمان حدود ده طبقه در شهر بوخارست بکلی خراب شد ، نموداری که از شتاب حرکت زمیـــن در شهر بوخارست بدست آمد شتاب هائی در حدود ۲۰ درصد شتاب ثقل زمین را نشان میدهد و جالب ترین قسمت این نمودارها نقاط‌اوج نمودار است که در فرکانس های کم (پرید نوسان زیاد) حاصل شده و عـــلاوه بر آنکه مساحت زیر منحنی را به میزان زیادی بالا میبرد یعنی حاکی از مقدار سرعت قابل توجهی میباشـــد روشن میسازد که این زلزله باید درساختمانهای باپریدزیاد دارای اثربیشتری باشد .

اثر زلزله درساختمانهای شهر بوخارست لزوم توجه بیشتر به جزئیات اجرائی از قبیل نحوه آهن گذاری‌وفواصل تنگ ها و رکابیها را یاد آور میسازد .

در این زلزله گرچه به ساختمانهای پیش ساخته شده بتن آرمه آسیبی نرسید لکن این موضوع را نباید ناشـــی از آسیب ناپذیر بودن این ساختمانها دانست بلکه مراقبت شدید کشور رومانی به نوع اتصالات این قبیـــل ساختمانها و نحوه آزمایش قطعات و مدل های ساختمان را باید عامل اصلی مقاومت این ساختمانها درزلزلـــه رومانی دانست و از آن گذشته باید توجه داشت که پرید این ساختمانها حدود ۰/۵ ثانیه بوده است و با پرید حاکم در این زلزله به میزان زیادی فاصله داشته و با این توضیح و باتوجه به اینکه در حوالی مرکز زلزلـــه (epicenter) از این نوع ساختمانها وجود نداشته است نتیجه ای که از زلزله رومانی بر ساختمانهـــای پیش ساخته شده بدست‌آمده است نبایدگمراه کننده باشدو بعنوان مهرتصویب برانواع ساختمانهای پیش ساخته بتنی در کشور ایران که متاسفانه بدون هیچگونه ضابطه و بدون مراعات اصول لازم برای مقابله در برابر زلزلـــه مرتبا" در تزاید هستند تلقی گردد .

نکته مهم دیگر لزوم تقویت کامل ساختمانهائی است که پس از زلزله خسارت مختصری دیده اند و معمـــولا" بدون توجه به این خسارت و اغماض از آنچه بر سر ساختمان آمده بلادفاع در برابر زلزله های بعدی قـــرار میگیرند ، این درس جالبی است که از زلزله رومانی عاید شد تعداد زیادی از ساختمانهائی که در این زلزلـــه بکلی خراب شدند همانهائی بودند که در زلزله سال ۱۹۴۰ رومانی بسلامت جستند و فقط خسارات مختصـــری دیدند ولی بعدا" تعمیر و تقویت نشده اند ، این درس یادآوری این نکته را ضرور میسازد که دراغلب مـــوارد که ساختمانهامرتبا" درمعرض زلزله های کوچک قرارمیگیرند و بتدریج نقاط ضعفی درآنها بوجود میآید اگـــر

این نقاط ضعف بعدا" 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 درتعداد زیادی از ساختمانهای آن روز تهران ترکهائی در نقاط حساس ایجاد شد که بندرت ممکن است صاحبان یا استفاده کنندگان ازاین ابنیه متوجه این نقاط ضعف شده ویادرفکر تقویت ساختمان برآمده باشند ورنگ 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 موجوداست واگراین ساختمانهادرمعرض زلزله نیمه مخربی قرار گیرد سرنوشت این ساختمانها بهتر از سرنوشت ساختمانهای شهر بوخارست که در زلزله سال ۱۹۴۰ بسلامت رستند تا زلزله اخیرحساب 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 واین 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 اندموجب 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 بساساختمانی بتواند در موقع بروز زلزله بخوبی در مقابل نیروی جانبی ناشی از زلزله بر ساختمان پایداری کند لکن ضربا جانبی که پتک وار از جانب ساختمان همسایه برآن وارد میگردد، موجب بروز خسارت و یا احتمالا" خرابی در این ساختمان گردد .

نکته ایکه 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 خصوصا" برای کشور ایران بسیار آموزنده است ، پوشش های سنگی روی نمای ساختمانها که معمولا" 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 بایدکلیه 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 calegues in the field and wish to thanks all of them for all they did for the sucsess of the [redacted] mision.

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 cooprations 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 prodominant 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 fininced 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 strenghtened against earthquakes by reinforced concrete vertical elements inside the walls. In Ploiesti, sixty Km north of Bucharest, the old masonry building of the Cutural 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 perpandicular 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 Dimention of typical columns in the bottom storey was fifty centimeters by fifty centimeters and tapered from fity 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 foundamental 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 foundamental period of these buildings is between 0.03 N 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 pscudo 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 ploted 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 skeletan 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