ارزیابی عملکرد ساختمانها در زلزله ۱۷ اوت ۱۹۹۹ ایزمیت ترکیه

فخرالدین دانش، عضو هیأت علمی دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی

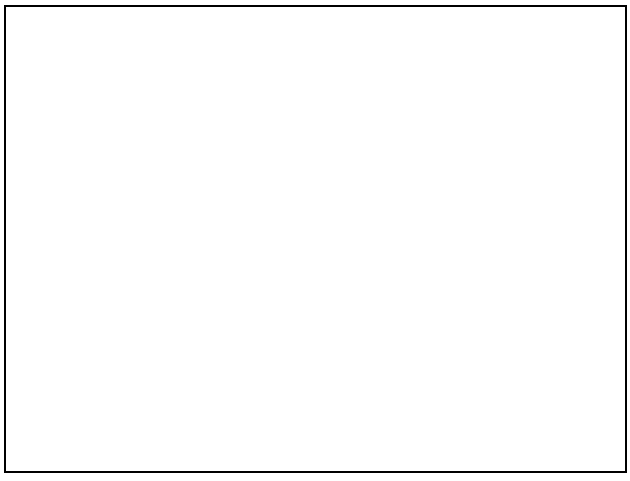
۱- مقدمه

در منطقه ایزمیت، ساختمانهای مسکونی را از نظر تعداد طبقات و با توجه به میزان آسیب دیدگی به سه گروه دو طبقه و کمتر، ساختمانهای سه تا ده طبقه و ساختمانهای بلند و از نظر نوع سازه می توان به سازه های چوبی، آجر بنایی، پیش ساخته بتنی و سازه های بتنی تقسیم نمود. در منطقه مورد بازدید سازه های اسکلت فلزی بسیار کم و محدود به سوله های اسکلت فلزی و برخی از تأسیسات صنعتی مانند منابع آب بود.

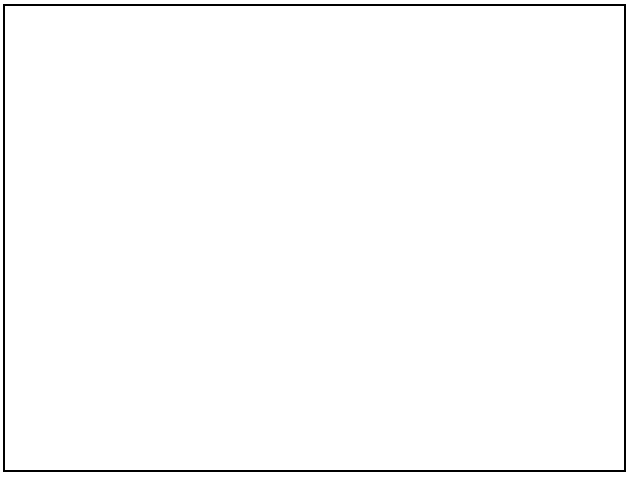
۲- رفتار ساختمانهای چوبی

این نوع سازه ها رفتار نسبتاً خوبی در این زلزله از خود نشان دادند. تصویرهای (۱ و ۲) نحوه ساخت این نوع سازه ها را نشان- می دهند. وجود بادبندهای چوبی بویژه در کنار بازشوها و ابعاد قابل قبول بازشوها باعث گردیده است که حتی دیوارهای این نوع ساختمانها کمتر خراب شود.

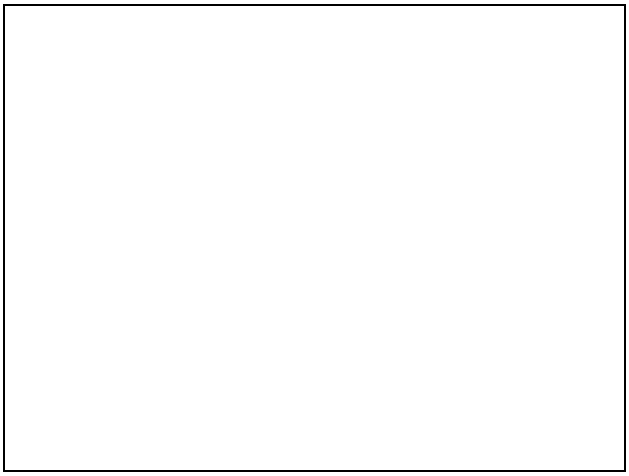
تصویرهای (۳ و ٤) نشان می دهند که ساختمانها کاملاً سالم مانده اند و حتی با وجود تغییرمکان طبقه همکف اجزای غیرسازه ای آسیب ندیده اند



تصویر(۱): نحوه ساخت سازه های چوبی



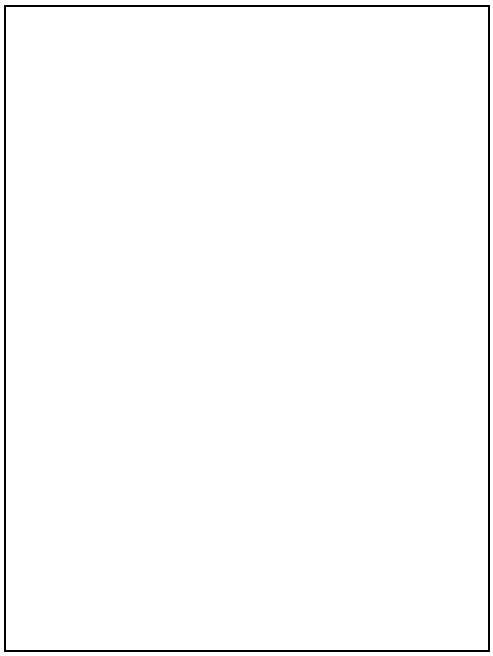
تصویر(۲): نحوه قرار گرفتن بادبندها



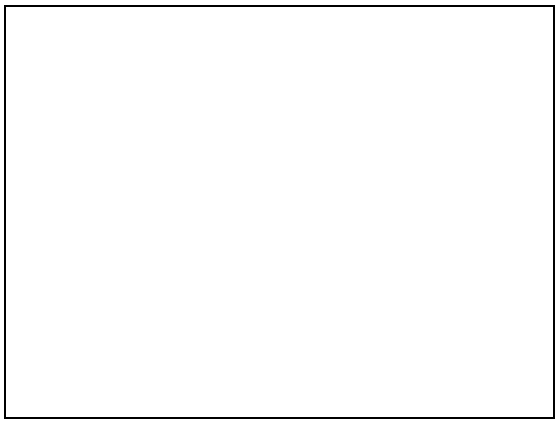
تصویر(۳): تغییرمکان طبقه همکف

(تصویر ۳). تأثیر مهاربندهای چوبی کنار پنجره ها در سالم ماندن دیوارها و پنجره ها در تصویر (٤) مشهود است.

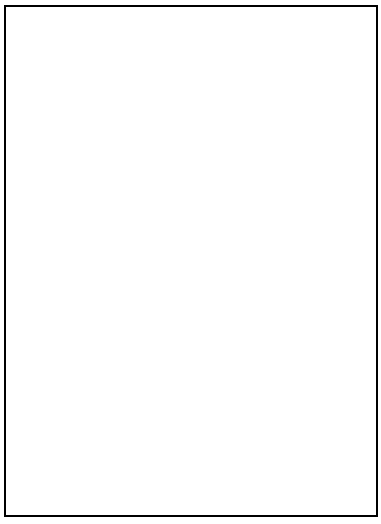
حرکت ساختمان چوبی روی شالوده ساختمان دیگر در تصویر (۵) مشاهده- می شود. این تصویر نشان می دهد که با وجود حرکت ساختمان، دیوار و پنجره سالم مانده است. تصویر (٦) نیز عملکرد بادبندهای چوبی را نشان می دهد.



تصویر(٤): سالم ماندن دیوارها و پنجره ها



تصویر(٥): حرکت ساختمان چوبی روی فونداسیون ساختمان کناری

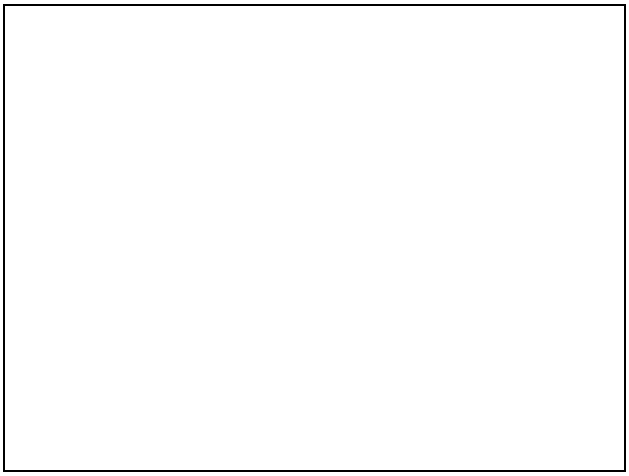


تصویر(٦): عملکرد بادبندهای چوبی

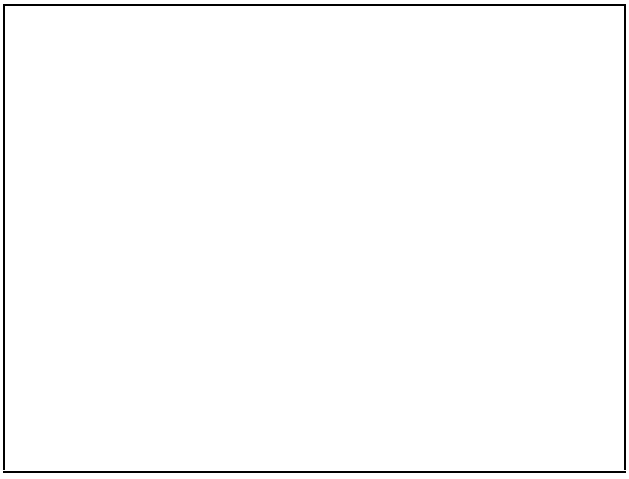
۳- ساختمانهای آجر بنایی

ساختمانهای آجر بنایی نیز همانند ساختمانهای چوبی به دلیل تعداد طبقات کم، خسارت جزئی دیده اند. البته در این نوع سازه‌ها برخی از دیوارها تخریب شده و در اکثر دیوارها ترکهای ٤٥ درجه دیده می‌شود.

در کنار سازه های تخریب شدهٔ بتنی در نزدیکی گسل و با فاصله بسیار کم تا مرکز زلزله (منطقه گولجوک) ساختمان دو طبقه آجر بنایی در تصویر (۷) کاملاً سالم مانده است. خراب شدن دیوارها و ایجاد ترکهای مایل در آنها در تصویر (۸) دیده می‌شود.

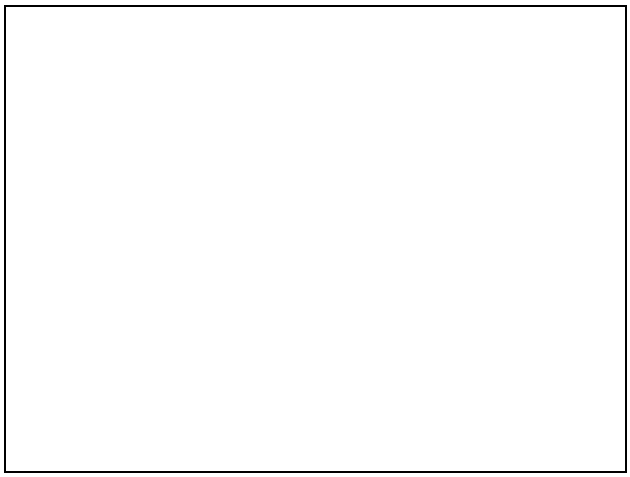


تصویر(۷): ساختمان دو طبقه آجر بنایی

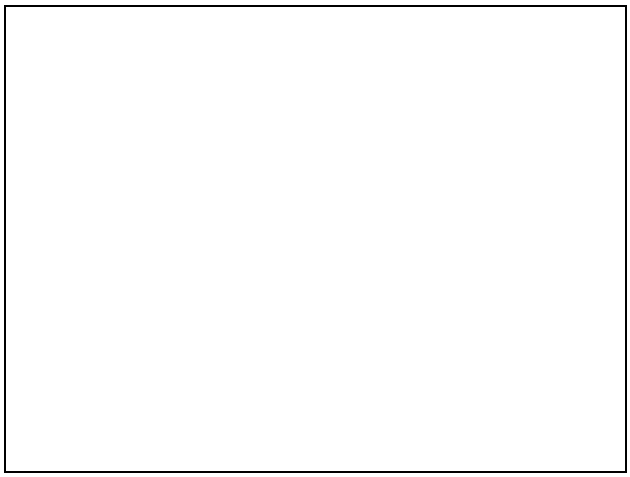


تصویر(۸): خراب شدن دیوارها

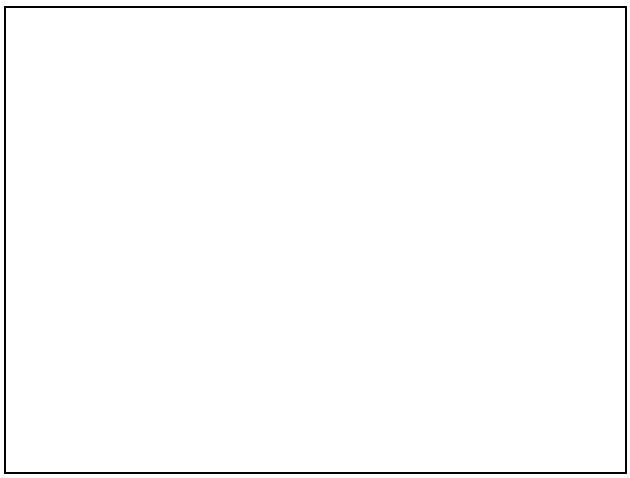
تصویر (۹) ساختمان آجر بنایی را نشان می دهد که با وجود اینکه گسل، از نزدیک ساختمان عبور کرده است؛ ساختمان کاملاً سالم باقی مانده است. تصویر (۱۰) ساختمان دو طبقه ای را نشان می دهد که در نزدیکی گسل قرار گرفته و خسارت جزئی به دیوارهای آن وارد شده است.



تصویر(۹): سالم ماندن ساختمان در روی گسل



تصویر(۱۰): سالم ماندن ساختمان در نزدیکی گسل

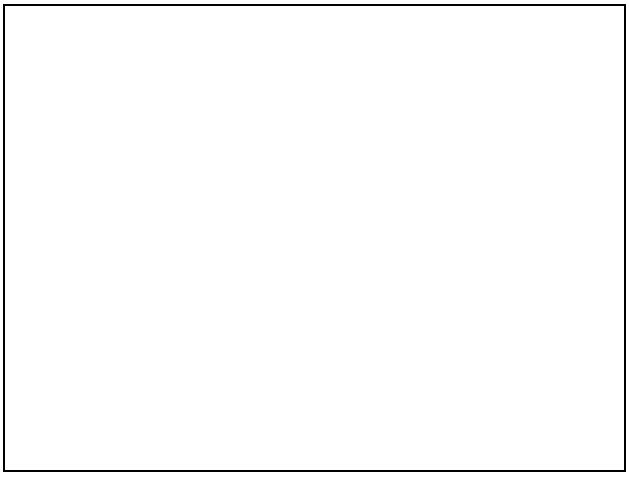


تصویر(۱۱): ساختمان پیش ساخته بتنی

٤- ساختمانهای پیش ساخته بتنی

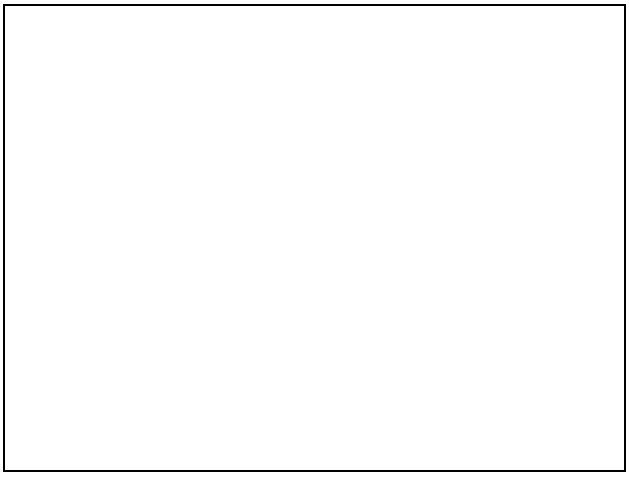
تعداد این سازه ها در مقایسه با سازه های بتنی بسیار کم بود. این نوع سازه ها رفتار خوبی از خود نشان داده اند. شاید کنترل و نظارت بیشتر در ساخت و اجرای اعضای سازه ای در این نوع ساختمانها باعث مقاومت نسبتاً خوب آنها نشان شده است.

تصویر (۱۱) ساختمان هفت طبقه پیش ساخته در منطقه سی مَن نزدیک شهر ایزمیت را نشان می دهد. در کنار این ساختمان سازه های بتنی خسارت شدید دیده اند (تصویر ۱۲).



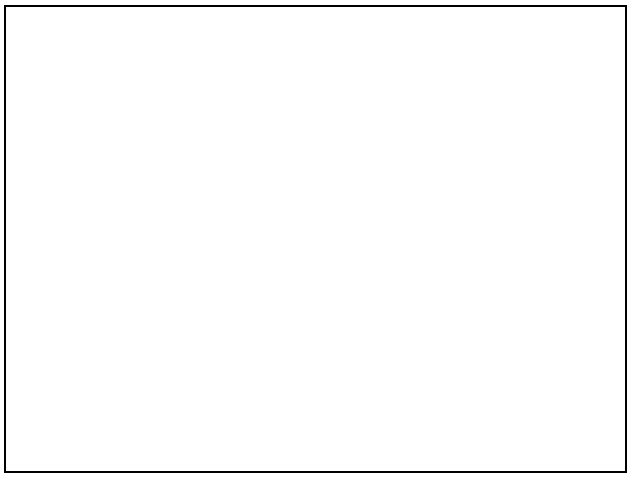
تصویر(۱۲): ساختمان بتنی آسیب دیده

در بازدید از کارخانه فورد که دقیقاً در روی گسل ساخته شده است در سالن اصلی به دلیل حرکت زمین در این محل بیش از ۵۰ ستون انحراف پیدا کرده اند و بعضی از اعضای غیرسازه ای صدمه دیده اند (تصویر ۱۳).

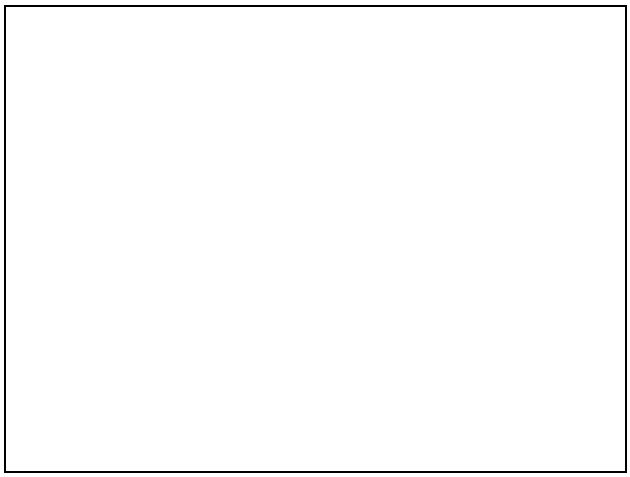


تصویر(۱۳): ساختمان کارخانه فورد

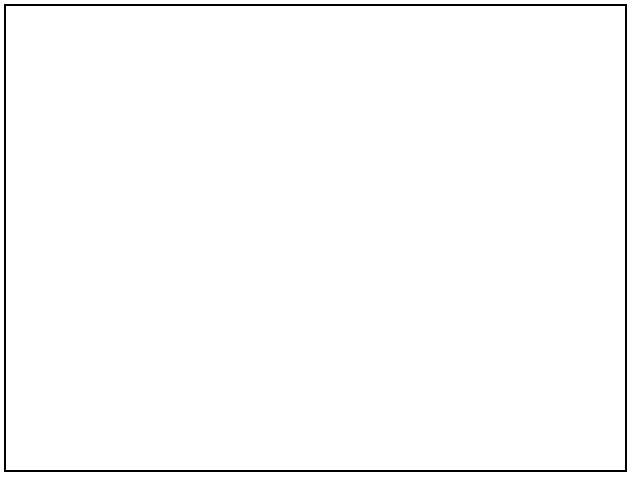
تصویر (١٤) نشان می دهد که ستونها از حالت قائم خارج گشته و به ورقهای داخلی قابهای دیوارها صدمه وارد شده است. در بررسی به عمل آمده در محل، علت انحراف ستونها حرکت زمین و ایجاد شکاف در کف بوده که باعث نیروی برشی زیاد در پای ستون گردیده و به ایجاد



تصویر(۱٤): تغییرمکان ستونها



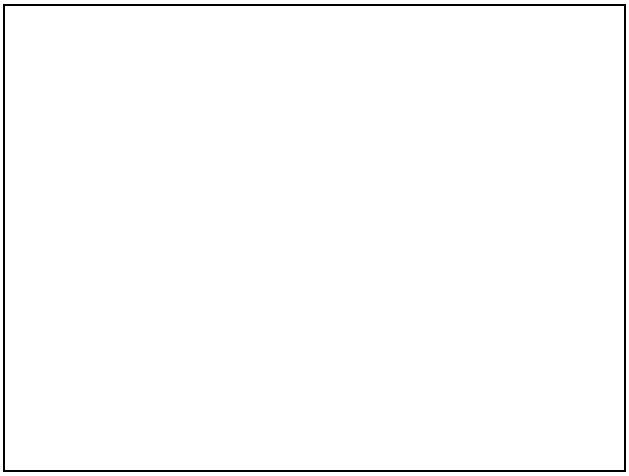
تصویر(۱۵): ایجاد شکاف در کف



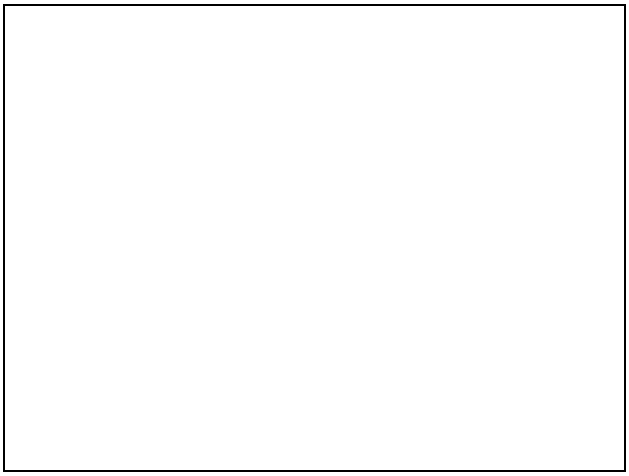
تصویر(۱٦): ایجاد ترک برشی در ستون

ترکهای برشی در آن محلها منجر شده است (تصاویر ۱۵ و ۱٦).

در ساختمان پیش ساخته نیمه تمام کارخانه دیگر در نزدیکی شهر ایزمیت اکثر ستونها تخریب گردیده و تمامی تیرها فرو ریخته اند. ممکن است علت تخریب این سازه ضعف طراحی و اجرای ستونها باشد (تصاویر ۱۷ و ۱۸). تصویر (۱۸) نشان می دهد که آرماتورها به دلیل ناکافی بودن فاصله خاموتها کمانش کرده و باعث تخریب بتن گشته است.



تصویر(۱۷): تخریب ستونها و تیرها

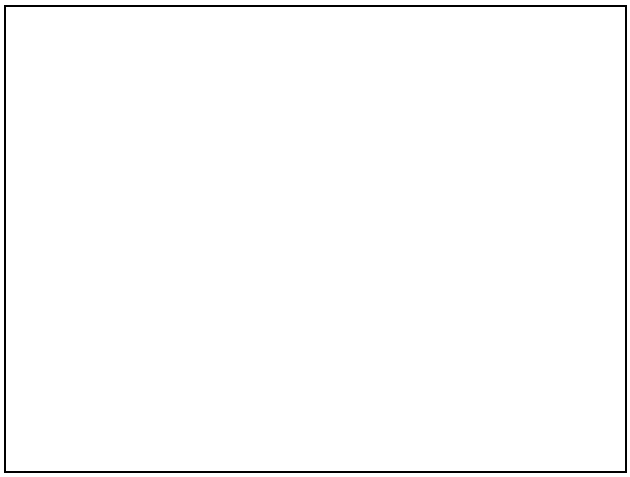


تصویر(۱۸): تخریب پای ستون

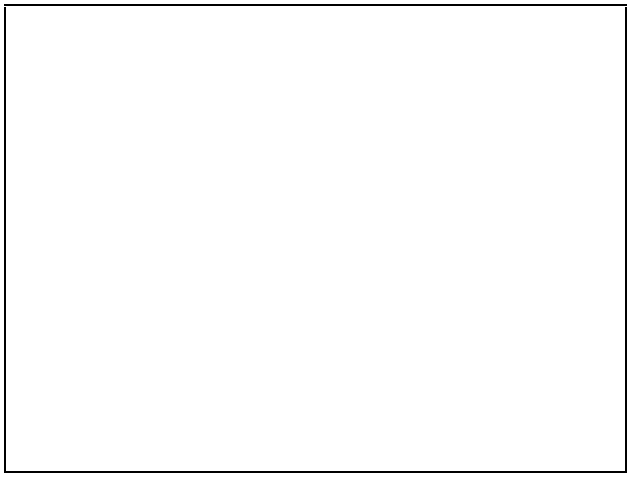
در شهر آداپازاری در منطقه ای که تقریباً اکثر ساختمانها خراب شده اند سازه دو طبقه پیش ساخته دیده می شود که سالم باقی مانده و فقط اتصال تیر به ستون خراب شده است (تصاویر ۱۹ و ۲۰). شاید علت جدا شدن تیر از ستون استفاده از آرماتور ساده و عدم رعایت خمهای استاندارد در محل اتصال باشد.

۵- رفتار ساختمانهای بتنی

سازه های بتنی بیشترین خسارت را در زلزله ایزمیت دیده اند. بیش از ۹۵٪ از ساختمانهای مسکونی منطقه زلزله زده را ساختمانهای اسکلت بتنی تشکیل می دهند. در این نوع سازه ها نیروی زلزله توسط قابها تحمل می شوند و دیوار برشی در آنها به کار گرفته نشده است. از



تصویر(۱۹): ساختمان دو طبقه پیش ساخته

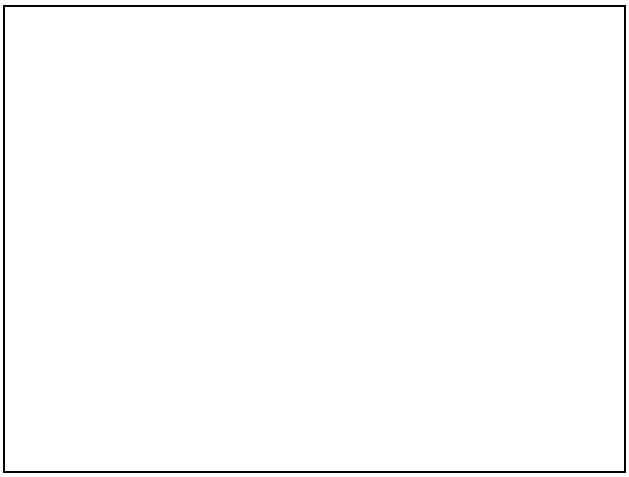


تصویر(۲۰): خرابی اتصال تیر به ستون

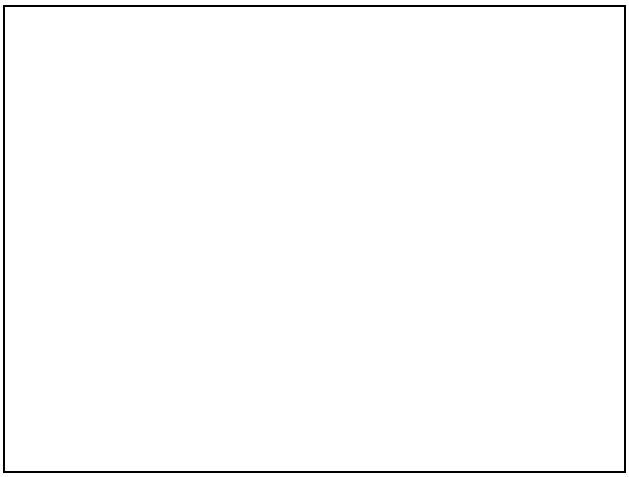
نظر تعداد طبقات نیز اکثر ساختمانها بین پنج تا هفت طبقه و بعضاً ۱۰ طبقه ساخته شده اند. علت عمده خراییها عبارتند از:

- عدم رعایت جزئیات اتصالات از جمله خمهای آرماتورها در این محلها؛
- رعایت نکردن فاصله خاموتها در نزدیکی اتصال تیر و ستون و نحوه خم کردن و قلاب کردن آنها؛
- کیفیت نامناسب بتن مصرفی؛
- به وجود آمدن تغییرمکانهای زیاد در طبقات؛
- عدم رعایت اصل ستون قوی- تیر ضعیف به طوری که اکثر ستونهای طبقات، از نظر ابعاد و آرماتورهای مصرفی متناسب با نوع سازه و تعداد طبقات نبوده و با توجه به عدم وجود دیوار برشی ضعف ستونها علت عمده خراییها و باعث فرو ریختن طبقات بر روی هم گردیده است؛
- در نظر نگرفتن شرایط زمین و نوع لایه های خاک، ساخت سازه های سنگین بر روی خاکهای ضعیف بدون طراحی مناسب و بالا بودن سطح آب زیرزمینی در منطقه؛
- نزدیک بودن پریود طبیعی سازه ها با پریود زلزله.

تصویرهای (۲۱ و ۲۲) ساختمان دو طبقه بتنی را نشان می دهد که گسل از زیر قسمت جلو ساختمان عبور کرده، یکی از ستونهای ساختمان را از پی درآورده و باعث خرابی اتصال گردیده است. با وجود این پدیده، سازه تقریباً سالم باقی مانده و در قسمت جلو دیوارها ریزش داشته است.



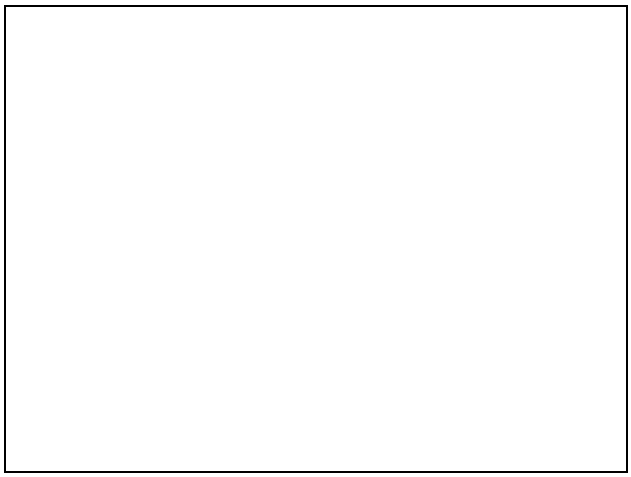
تصویر(۲۱): ساختمان دو طبقه بتنی



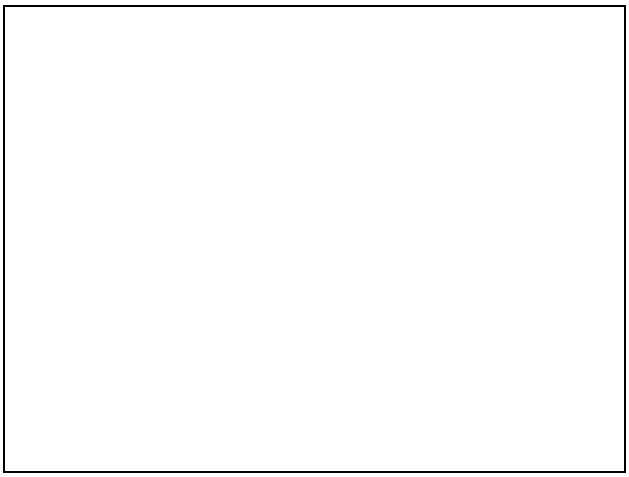
تصویر(۲۲): خرابی دیوارها

تصویر (۲۳) نشان می دهد که پنج طبقه ساختمان بعد از ساخت دو طبقه اضافه شده است و بر اثر زلزله همان پنج طبقه فرو ریخته است. تصویر (۲٤) نشان می دهد که به علت ضعف ستونها در طبقه همکف و خراب شدن آنها، طبقات بالاتر در قسمت جلو فرو ریخته است.

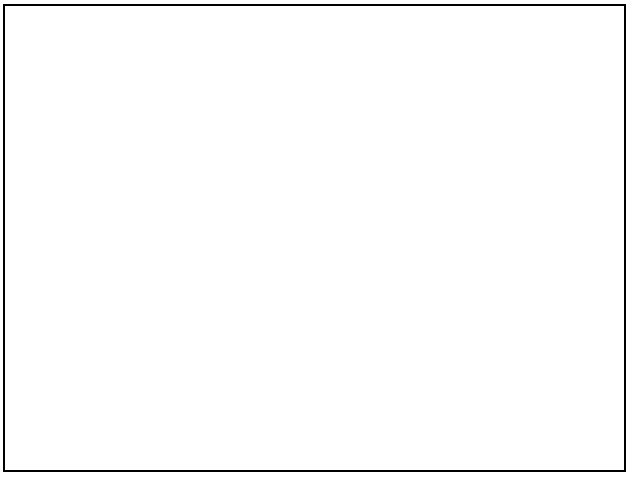
تصویر (۲۵) نشان می دهد که ضعف ستونها باعث خرابی سازه



تصویر(۲۳): فرو ریختن پنج طبقه ساختمان



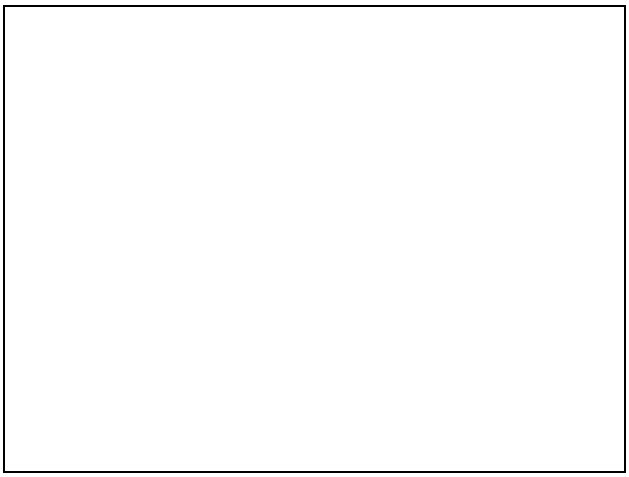
تصویر(۲٤): خرابی ستونها در طبقه همکف



تصویر(۲۵): پدیده طبقه نرم در سازه

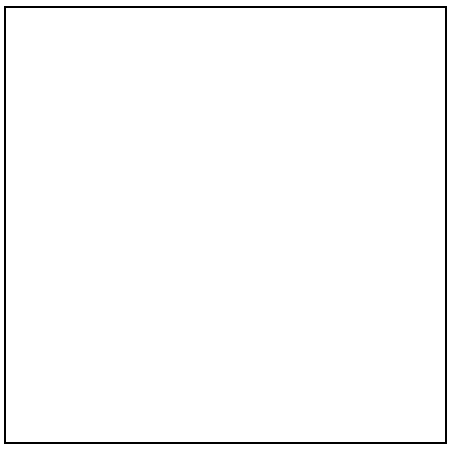
گردیده و پدیده مکانیسم شدن طبقه نرم را به وجود آورده است. همین موضوع باعث فرو ریختن پنج طبقه ساختمان گردیده است (تصویر ۲٦).

به نظر می رسد علاوه بر ضعف لایه های خاک، پدیده روانگرایی،



تصویر(۲٦): فرو ریختن پنج طبقه ساختمان

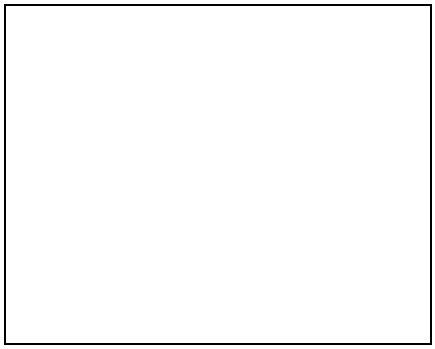
رعایت نکردن ضوابط آیین نامه، ضعف طراحی نیز در این ساختمانها وجود دارد. تصاویر ارائه شده نشان می دهند که ضعف ستونها و موضوع به وجود آمدن مکانیسم طبقه نرم مهمترین عامل صدمه دیدن ساختمانهای بتنی می باشد. بر اساس اصل ظرفیت طراحی *(Capacity Design)* در سازه ای که نیروی زلزله توسط قابها تحمل- می گردند باید تیر و ستون به طریقی محاسبه گردند که ابتدا مفصلهای پلاستیک در تیرها ایجاد شوند و ستونها در حالت الاستیک باقی بمانند. به عبارت دیگر، تیرها به عنوان عضوهای اتلاف انرژی عمل نمایند و ستونها و اتصالات به عنوان اعضای غیر تلف کننده طراحی شوند. شکل (۱) محلهای ایجاد مفصلهای پلاستیک را در یک سازه نشان می دهد. در چنین حالتی، اصل ستون قوی- تیر ضعیف رعایت می گردد و باعث تخریب ستونها و ریزش سقفهای سازه روی یکدیگر نمی شود. تصویر (۲۷) نمونه چنین رفتاری را که ستونها سالم مانده اند نشان می دهد.



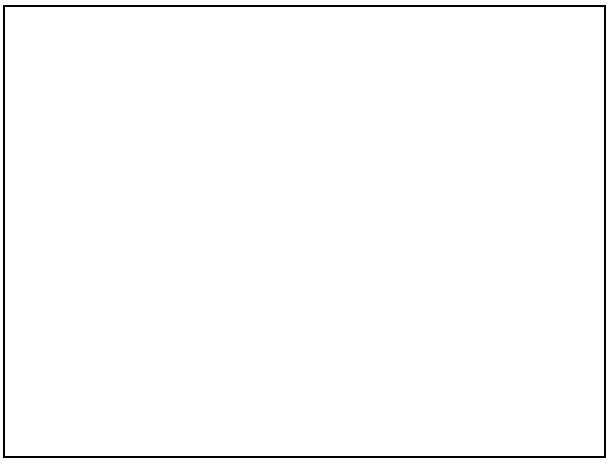
شکل (۱): ایجاد مفاصل پلاستیک در تیرها

تصویر(۲۷): سالم ماندن ستونهای ساختمان پنج طبقه بتنی

با وجود چنین اصلی، بسیاری از ساختمانها هنوز بدین روش محاسبه نمی گردند و بالعکس ستونها ضعیفتر از تیرها طراحی می شوند. در نتیجه، مفصلهای پلاستیک در ستونها شکل گرفته که شکل (۲) نمونه آن را نشان می دهد. رفتار چنین طراحی در ساختمانهای بتنی زلزله ایزمیت فراوان دیده می شود. تصویر (۲۸) نیز نمونه دیگری از رفتار این نوع ساختمانها را نشان می دهد.

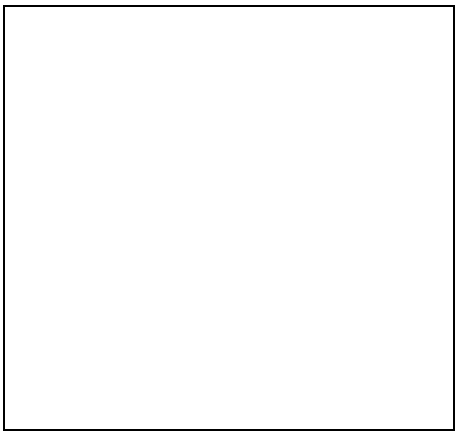


شکل (۲): مکانیسم طبقه نرم

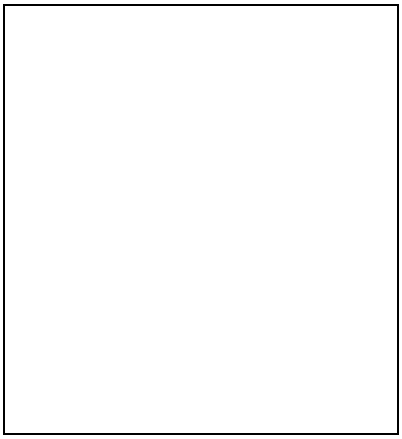


تصویر(۲۸): خرابی طبقه اول به دلیل ضعف ستونها

در این خصوص، آیین نامه های مختلف روشهای متفاوتی را برای اعمال اصل ظرفیت طراحی در نظر گرفته اند که شاید آیین نامه نیوزلند بهترین روش را بیان می نماید. برای اطلاعات بیشتر ضرورت دارد که به این آیین نامه ها مراجعه شود. در اینجا یک قاب سازه با روش آیین نامه ایران (آیین نامه جدید ۲۸۰۰) و آیین نامه نیوزلند طراحی و تحت اثر نگاشت زلزله با بیشینه شتاب *0.30 g* تحلیل دینامیکی غیرخطی گردید. محلهای ایجاد مفصلهای پلاستیک در شکلهای (۳ و ٤) نشان داده شده است.



شکل (۳): قاب طراحی شده (آیین نامه ایران)



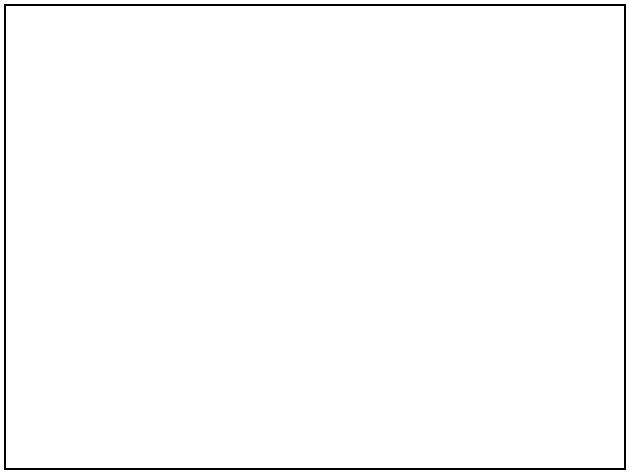
شکل (٤): قاب طراحی شده (آیین نامه نیوزلند)

این شکلها نشان می دهند که تعداد زیادی از ستونهای قاب طراحی شده بر اساس آیین نامه ایران پلاستیک شده اند؛ در حالی که، تیرها هنوز در حالت الاستیک باقی مانده اند. اصولاً این نوع سازه ها ظرفیت بالایی برای جذب انرژی زلزله ندارند. در مقابل همان گونه که در شکل (٤) مشاهده می شود بجز در پای ستونها هیچ ستونی از حالت الاستیک خارج نشده، در عوض تیرها پلاستیک شده و مقادیر قابل ملاحظه ای انرژی جذب می نمایند. جالب توجه است که ضریب

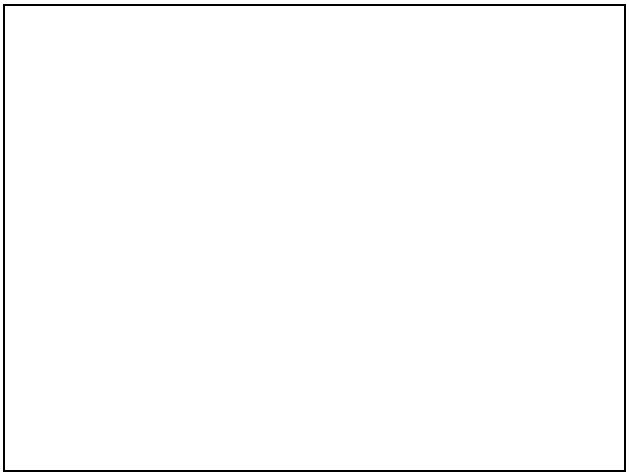
رفتار به دست آمـده از تحلیـل غـیرخطی بـرای ایـن نگاشـت بـرای قـاب شکل (۳) حدود ٤ و برای قاب شکل (٤) حدود ۷/۵ شده است که مبیّن شکل پذیری بالای قاب طراحی شده براساس آیین نامه نیوزلند می باشد.

٦- رفتار ساختمانهای بلند

در منطقه زلزله زده سازه های بلند بندرت دیده می شد. در ارتفاعات شهر ایزمیت تعـدادی سـاختمانهای بلنـد وجـود داشـت کـه در ایـن زلزلـه صدمه ای ندیده بودند. این ساختمانها روی بستر صخره ای بـنا شـده انـد (تصویرهای ۲۹ و ۳۰).



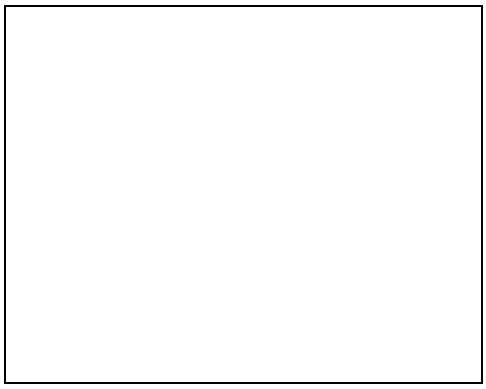
تصویر(۲۹): ساختمانهای بلند



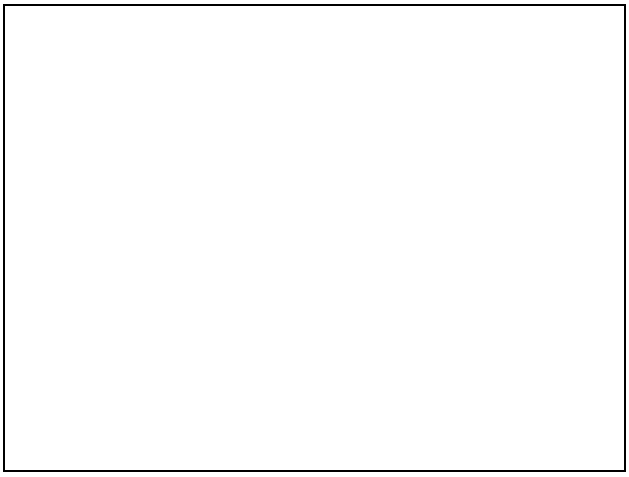
تصویر(۳۰): ساختمانهای مسکونی

۷- رفتار سازه های نامتقارن

در این قسمت رفتار سازه های نامتقارن هم از نظر هندسـی و هـم از نظر سـختی مـورد بررسـی قـرار مـی گیرد. شـکل (۵) پـلان شماتیـک سـاختمان تصویـر (۳۱) را نشـان مـــی دهـــد کـــه در وســـط، ســـتونهای مربع شکل و در کنار، ستونهای باریک مستطیل شکل دیده می شـــود.



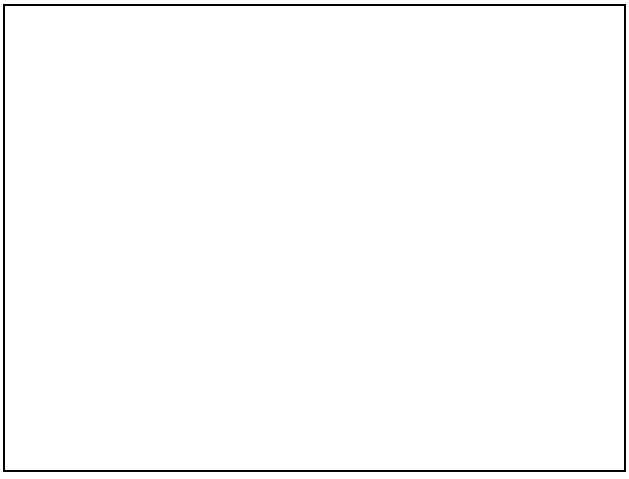
شکل (۵): پلان شماتیک ساختمان تصویر ۳۱



تصویر(۳۱): ساختمان مرکز تجاری فرش

عـلاوه بر این، در گوشه سمت راست ساختمان پله های طبقـات قـرار گرفتـه که باعث سختی نامتقارن در سازه ساختمان گردیده است.

عدم تقارن در موارد ذکر شده به صدمه در ستونهای کناری سـاختمان و آسیب شدید در پله هـای آن منجـر گـردیده اسـت (تصویـر ۳۲). تصویـر (۳۳) سالن نمایش فـرش مربوط به این ساختمان را نشان می دهد که به



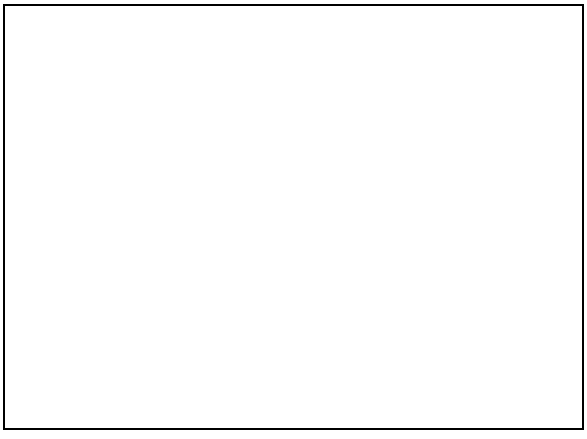
تصویر(۳۲): خرابی ستونهای کناری

تصویر(۳۳): خرابی سالن نمایشگاه

دلیل ضعف ستونها کاملاً سقف سالن پایین آمده است.

تصاویر (۳٤ و ۳۵) طبقات همکف و اول ساختمان دیگری را در شهر استانبول نشان می دهد. در این ساختمان طبقه همکف با کاربری نمایشگاه دارای ستونهای بلند و بالعکس در طبقه اول دارای ستونهای کوتاه می باشد که دارای پلان نامتقارن در ارتفاع می باشد.

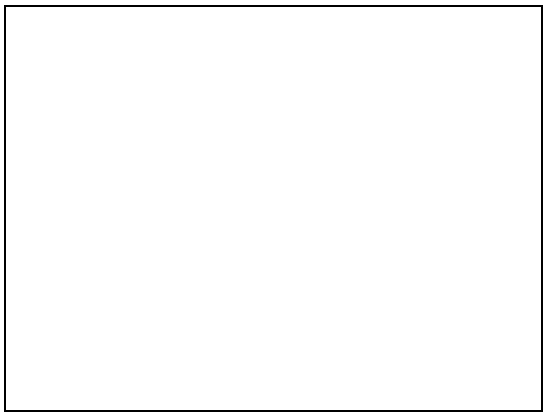
تصویر(۳٤): خرابی ستونهای بلند



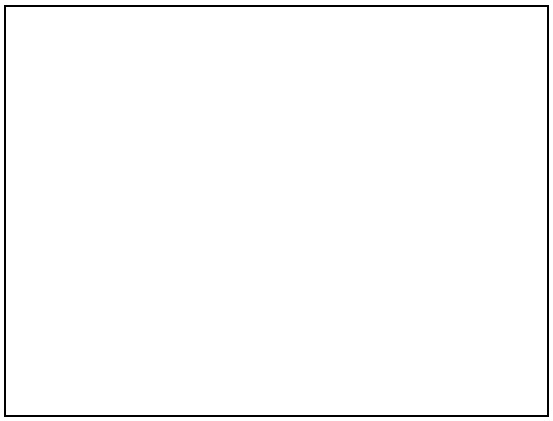
تصویر(۳۵): خرابی ستونهای کوتاه

خرابی ستونها از محل اتصال به دلیل نرمی طبقه همکف در تصویر (۳٤) دیده می شود. این خرابی در طبقه اول به دلیل ستونهای کوتاه به وجود آمده است (تصویر ۳۵). فاصله زیاد خاموتها در نزدیکی اتصال نیز به خرابی ستونها در این طبقه منجر گردیده است.

تصویر (۳٦ و ۳۷) ساختمان مربوط به ساختمان کالجی می باشد که به دلیل عدم تقارن در پلان معماری و جدا نکردن سازه ساختمان در محل تغییر پلان معماری صدمه دیده است. در این ساختمان به علت تفاوت در تغییرمکانهای به وجود آمده در دو جهت در محل تغییرپلان، باعث ضربه زدن یک قسمت سازه بر قسمت دیگر شده است.



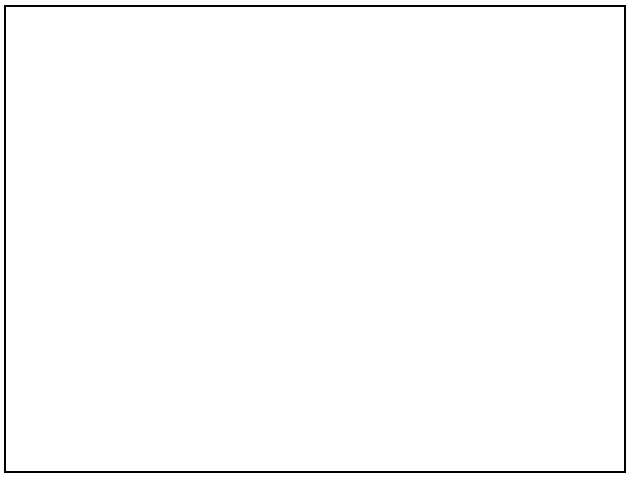
تصویر(۳٦): سازه نامتقارن در پلان معماری



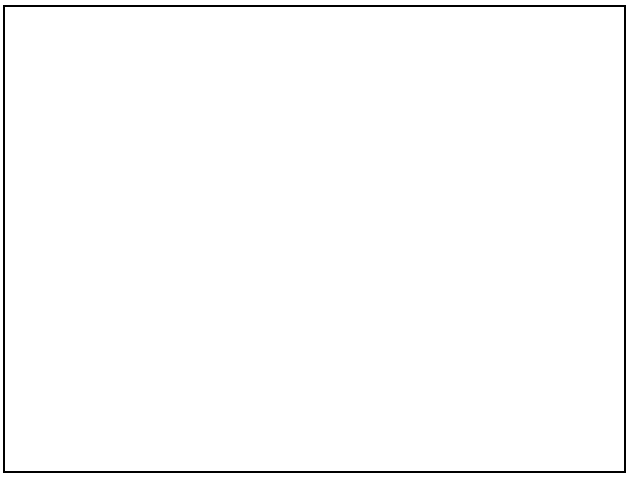
تصویر(۳۷): خرابی ساختمان در محل تقاطع دو قسمت

۸- رفتار عضوهای غیرسازه ای و تجهیزات داخل ساختمان

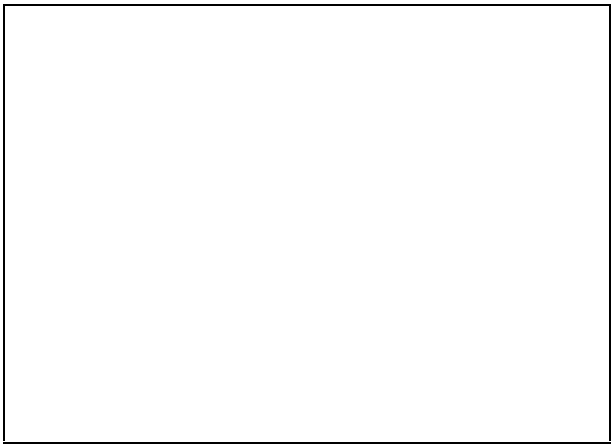
در اکثر ساختمانها، دیوارهای پرکننده قابها تخریب گشته یا صدمات کلی دیده اند. عدم درگیری کامل این دیوارها باعث تخریب آنها و تلفات جانی زیادی شده است. علاوه بر دیوارها، به علت تغییرمکانهای زیاد خصوصاً در طبقات بالاتر لوازم داخل آپارتمانهای مسکونی واژگون شده اند (تصاویر ۳۸ تا ٤۱).



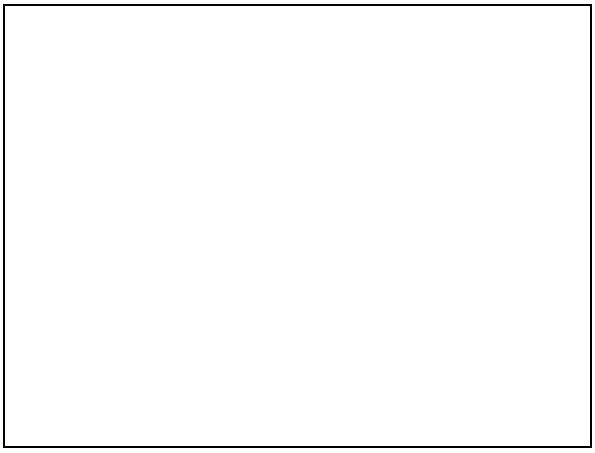
تصویر(۳۸): صدمه دیدن دیوارها و شیشه ها



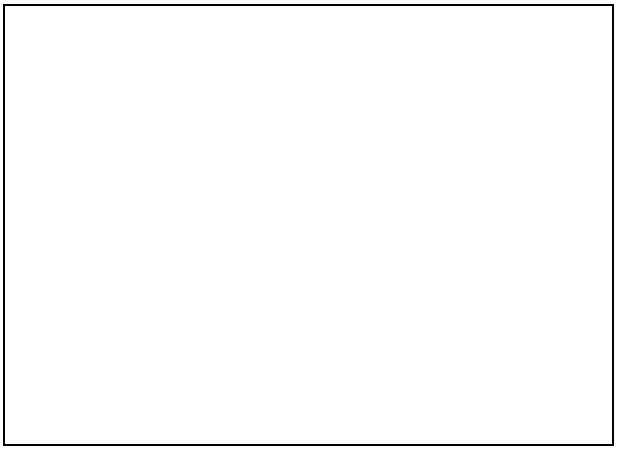
تصویر(٤١): برگشتن کمد روی تخت



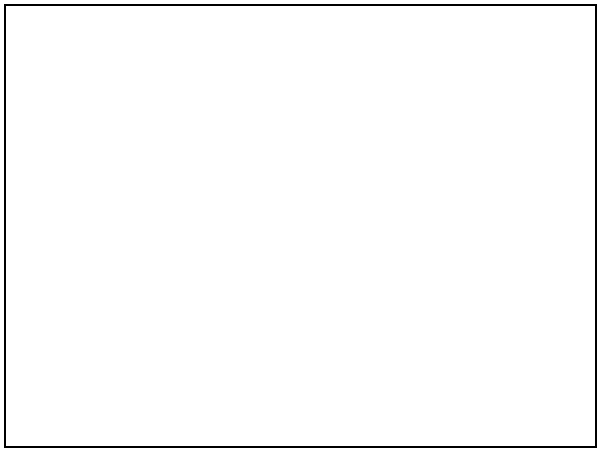
تصویر(۳۹): خرابی پنجره ها و وسایل



تصویر(٤٢): جدا شدن کانالها



تصویر(٤٠): واژگونی وسایل منزل



تصویر(٤٣): جدا شدن لوله ها از محل اصلی

تصویر (٤٢) سالن کارخانه فورد را نشان می‌دهد که به علت تغییرمکان سقف، کانالهای عبوری از محل اتصال جدا شده اند. همچنین در نمای بیرونی این سالن نیز لوله ها از محل اصلی خود جدا-گشته‌اند (تصویر ٤٣).

در بسیاری از ساختمانها در پشت بامها، دودکشها به‌دلیل رعایت-نکردن ضوابط آیین نامه و نداشتن اتصال مناسب اکثراً خراب شده‌اند. در تصویر (٤٤) دودکش موتورخانه که از زیر زمین به پشت بام کشیده شده است به دلیل عدم اتصال مناسب خراب گشته است. تصویر (٤٥) نیز جدا شدن ورقهای موجدار از دیوار سالن کارخانه فورد را نشان می‌دهد.

۹- نتیجه گیری

در این زلزله ساختمانهای آجر بنایی و چوبی به دلیل تعداد طبقات کم و سبک بودن سازه رفتار نسبتاً خوبی از خود نشان داده اند. همچنین ساختمانهای پیش ساخته بتنی نیز تا حدودی رفتار خوبی داشته اند که می‌توان علت آن را کنترل بیشتر در ساخت و استفاده از مصالح مناسب دانست.

ساختمانهای بتنی بیشترین صدمه را دیده اند که علت آن به طور کامل در بخش چهارم عنوان گردید. با توجه به توضیحات ارائه شده در بخش مذکور توجه بیشتر به رعایت ستون قوی- تیر ضعیف در طراحی این نوع سازه ها ضروری می‌باشد. لازم به ذکر است که انتظار ضریب رفتار بالا مرهون اعمال اصل ظرفیت طراحی در این نوع سازه ها می‌باشد.

نکته دیگر اینکه توجه به اعضای غیرسازه ای در ساختمانها، در نظر گرفتن گیرداری آنها و جلوگیری از فرو ریختن و یا خرد شدن آنها باعث کاهش تلفات جانی و خسارات مالی می‌گردد. رفتار خوب دیوارها در سازه های چوبی و نحوه گیرداری آنها با استفاده از اعضای چوبی در اطراف بازشوها و محلهای دیگر می‌تواند الگوی مناسبی برای استفاده در ساختمانها باشد. ◄

تصویر(٤٤): خرابی دودکش ساختمان

تصویر(٤٥): جدا شدن ورقهای موجدار