

به نام خدا

مقاوم سازی لرزه ای سازه ها
راهکار ها و نمونه های اجرایی از کشور سوئیس

دکتر ساسان محاسب
smteam@gmx.ch

مقدمه:

با توجه به شرایط لرزه خیزی کشور ایران ارتقا دانش و تجربیات علمی و اجرایی در زمینه بهسازی لرزه ای سازه ها و ساختمان ها از اهمیت زیادی برخوردار است. اکثر منابع موجود بر مبنای محاسبات و روش های تحلیلی در طراحی هستند اما آگاهی از تجربیات اجرایی که در شرایط مختلف اجرایی و اقتصادی هستند بسیار مفید است زیرا بعد محاسبات در یک طرف قرار دارد و اجرا در طرف دیگر مساله .

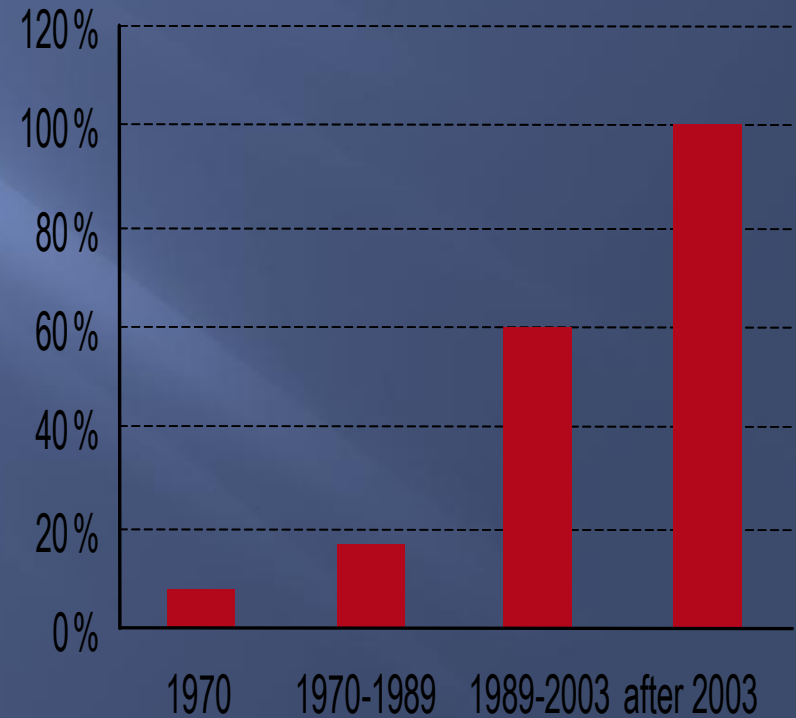
در اینجا به معرفی چند پروژه از کشور سوئیس می پردازیم که نتیجه یک دهه تجربه عملی و محاسباتی توام است.

در این کشور تا سال ۲۰۰۴ معیار و سابقه اجرایی برای ارزیابی لرزه ای ساختمان ها وجود نداشت اما اکنون تعداد بسیار کمی از استانها و بخشها هستند که قوانین را در طراحی مقاوم لرزه ای در اجرای ساختمان های شخصی رعایت نمی کنند.

مطالب این فایل همگی از کتاب مقاوم سازی لرزه ای سازه ها گرفته شده است که به طور جامع به این مسایل پرداخته است. در اینجا ما به معرفی چند پروژه مقاوم سازی اجرا شده از کشور سوئیس بسنده می کنیم که در آنها به ضعف سازه ای و طرح مقاوم سازی پرداخته شده است.

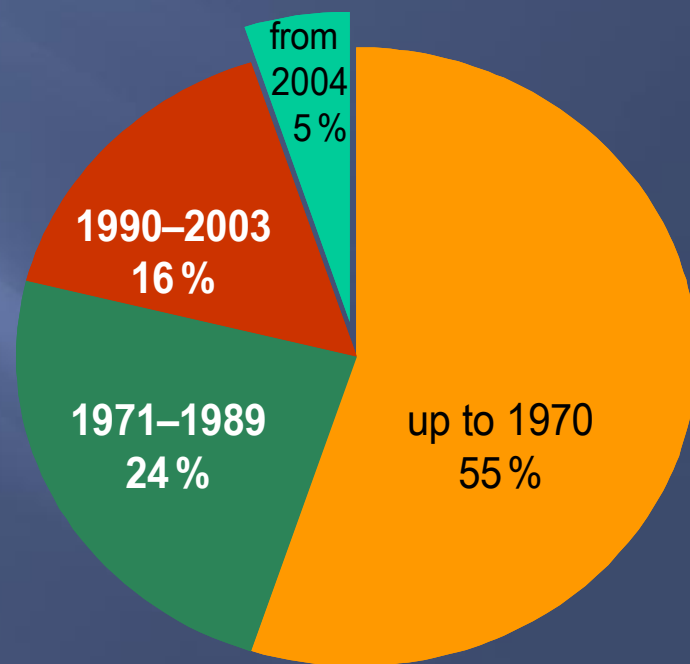
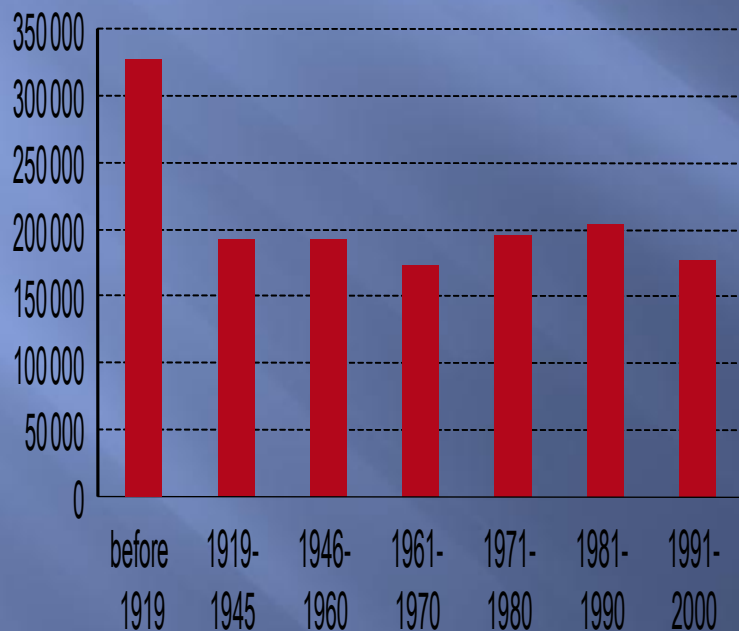
ارزیابی لرزه ای ساختمان های موجود در سوئیس:

شکل زیر نمونه ای از افزایش نیروی جانبی محاسباتی ناشی از عملکرد زلزله و باد را از سال ۱۹۷۰ برای یک ساختمان مسکونی با مصالح بنایی نشان می دهد تا سال ۲۰۰۴.



۵۵ درصد کل ساختمان ها قبل از ارائه اولین دستور العمل - ۲۴ درصد حد فاصل سالهای ۱۹۷۱ تا ۱۹۸۹ - ۱۶ درصد ساختمان ها از سال ۱۹۹۰ به بعد بر اساس استاندارد های جدید لرزه ای و فقط ۵ درصد کل ساختمان ها بر اساس استاندارد های لرزه ای سال ۲۰۰۳ طراحی و اجرا شدند .

number of buildings



توزیع تعداد ساختمان ها در سوئیس در سالهای مختلف

ضعف ها و ایرادات سازه ای که منجر به رفتار نامناسب لرزه ای می گردد:

۱- طبقه نرم:

عموما بادیتهای قوی و دیوارهای مقاوم در برابر بارهای جانبی در طبقات پایین ساختمان حذف شده اند. در این حالت ستونهای باقیمانده قادر به تحمل اثرات زلزله نمی باشند.



ساختمان با طبقه همکف نرم (ساختمان مسکونی و فروشگاه در شهر سیون)

۲- بادبندی نامتقارن :

آرایش نامتقارن سیستم بادبندی در پلان ساختمان باعث ایجاد پیچش اضافه ای در هنگام وقوع زلزله میگردد. این عامل باعث گسیختگی زود هنگام ساختمان خواهد شد.



ساختمان با بادبندی نامتقارن (سالن درس در ETH زوریخ)

۳- اجرا ساختمان بنایی بدون دیوار های کلاف:

استفاده از مصالح بنایی در اجرای ساختمان های مسکونی به دلیل سهولت استفاده و مشخصات فیزیکی مطلوب بسیار متداول است اما به دلیل ضعف مقاومت کششی و ترد بودن رفتار آجر ها کاربرد مصالح بنایی غیر مسلح در مناطق زلزله خیز بدون استفاده از ستون و دیوار کلاف بندی مناسب نیست.



ساختمان از نوع بنایی غیر مسلح (مدرسه ای در شهر مونتی)

طبقه بندی کاربری و سازه ای ساختمان :

بر پایه ضوابط استاندارد SIA با عنوان نیروی وارد بر سازه ها ساختمان ها به ۳ رده اهمیت تقسیم می شوند درجه حفاظت ساختمان و ایمنی لرزه ای مورد نیاز متناسب با این تقسیم بندی تعیین می گردد.

- ساختمان های مسکونی منظم و ساختمان های تجاری در رده ۱
- ساختمان ها با تعداد ساکنین بیشتر در رده ۲
- ایستگاه های آتشنشانی - پارکینگ آمبولانس ها - بیمارستان ها در رده ۳

در مقوله مقاوم سازی اولویت با سازه های مهم یعنی رده ۲ و بخصوص رده ۳ می باشد.



رده اهمیت ۳- ایستگاه
آتشنشانی بازل



رده اهمیت ۲ - دبیرستان
استر و موندیگن



رده اهمیت ۱ خانه
مسکونی کریسن

هدف اصلی مقام سازی باید اصلاح ضعف اصلی سازه متناسب با بهبود عملکرد لرزه ای آن باشد. در کنار برقراری اتصال بین اعضای سازه ای جدید و قدیم مهمترین جنبه این عمل (مقام سازی) انتقال مناسب نیروی داخلی اعضا ناشی از عملکرد زلزله به شالوده است.

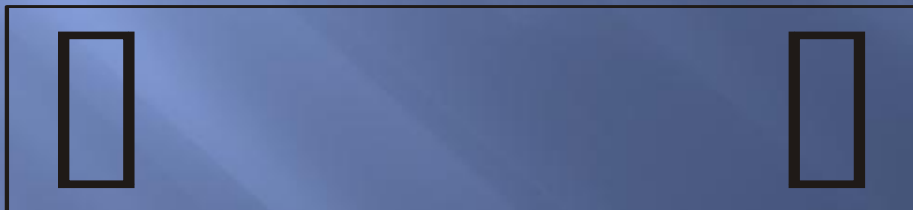
راهکار های توصیه شده در مقام سازی:

۱- بهبود منظمی ساختمان

before

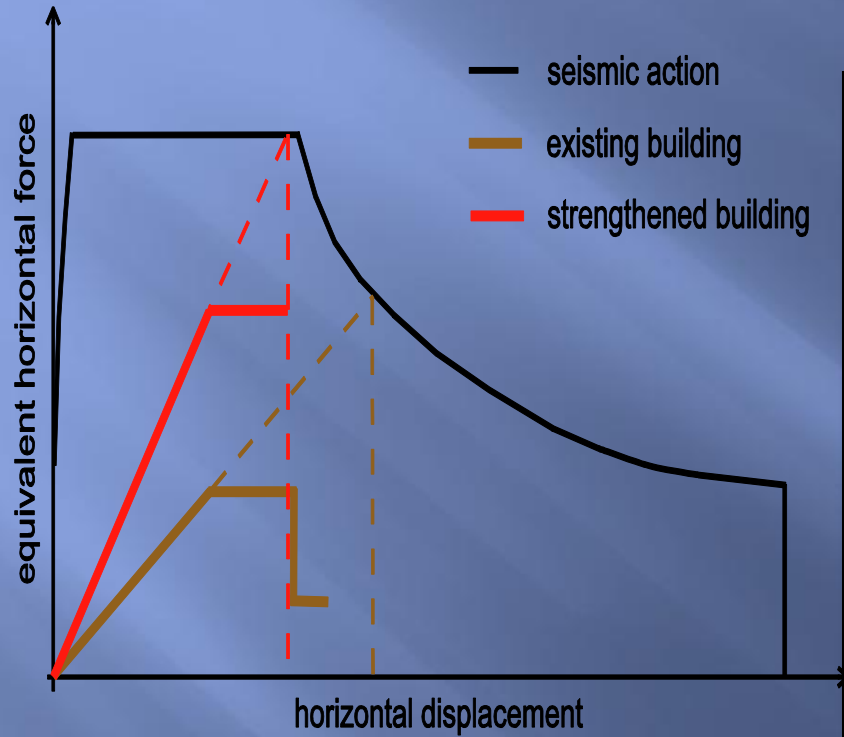


after



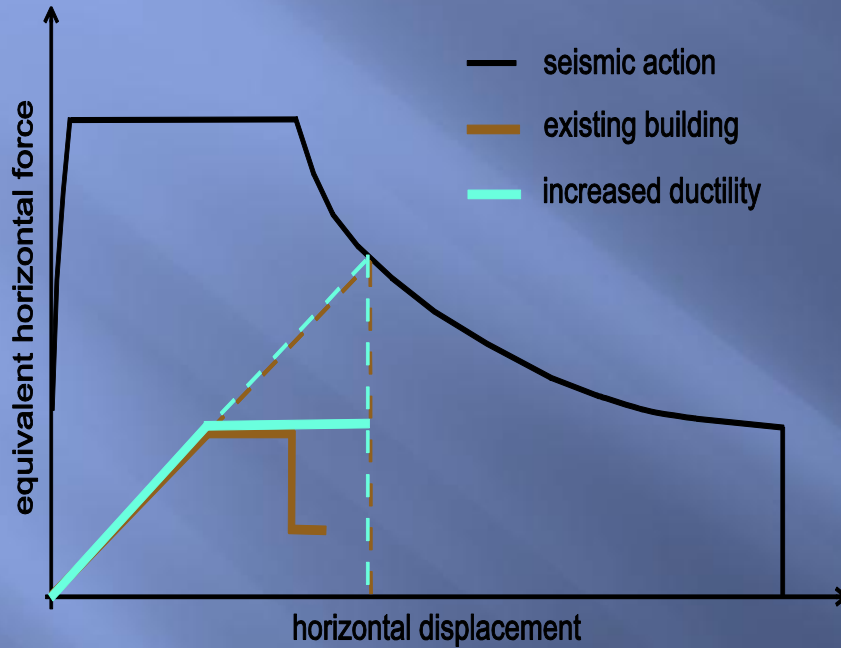
با از بین بردن درز انبساط دو نیمه جداگانه ساختمان با سیستم مهار جانبی نا متقارن (قبل) به سیستم یکپارچه ای با مهار جانبی متقارن تبدیل شده و دو هسته بتنی در دو انتهای پلان قار گرفته اند. (بعد از مقام سازی)

۲- افزایش مقاومت سازه ای:

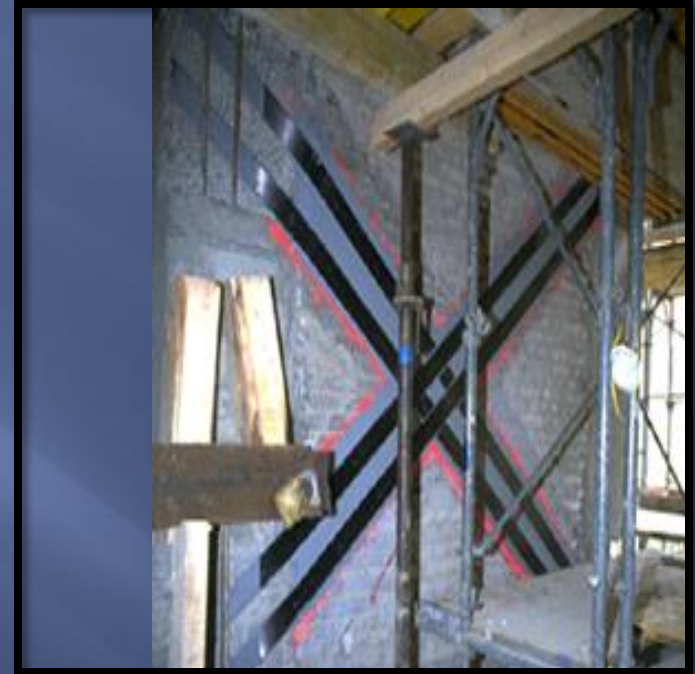


منحنی ظرفیت در روش (تقویت اعضا)

۳- افزایش شکل پذیری:

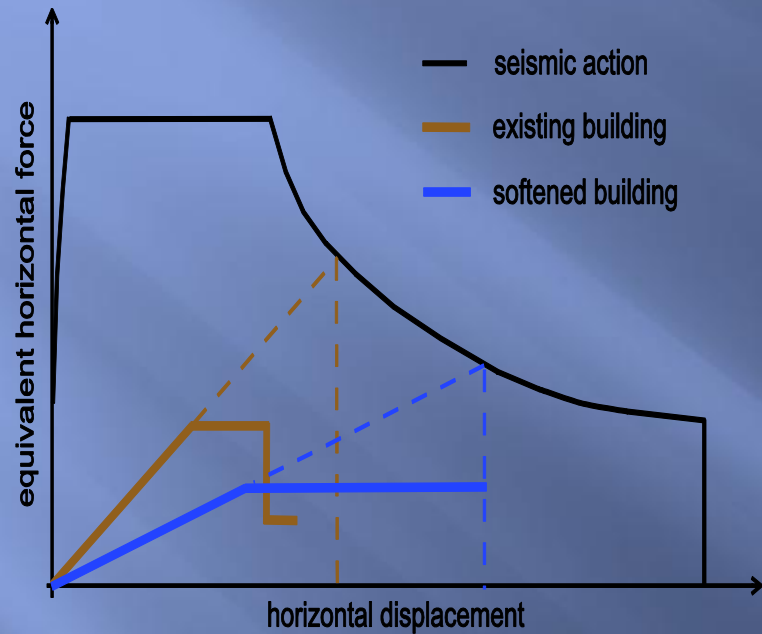


منحنی ظرفیت در روش (افزایش شکل پذیری)



شکل پذیری: ظرفیت تغییر شکل پلاستیک بعد از حد تسلیم یا پس از حد ظرفیت تغییر شکل الاستیک سازه.
شکل پذیری اعضا ترد و شکننده نظیر دیوار بنایی با اضافه نمودن نوارهای FRP است.

۴- نرم سازی یا کاهش سختی:



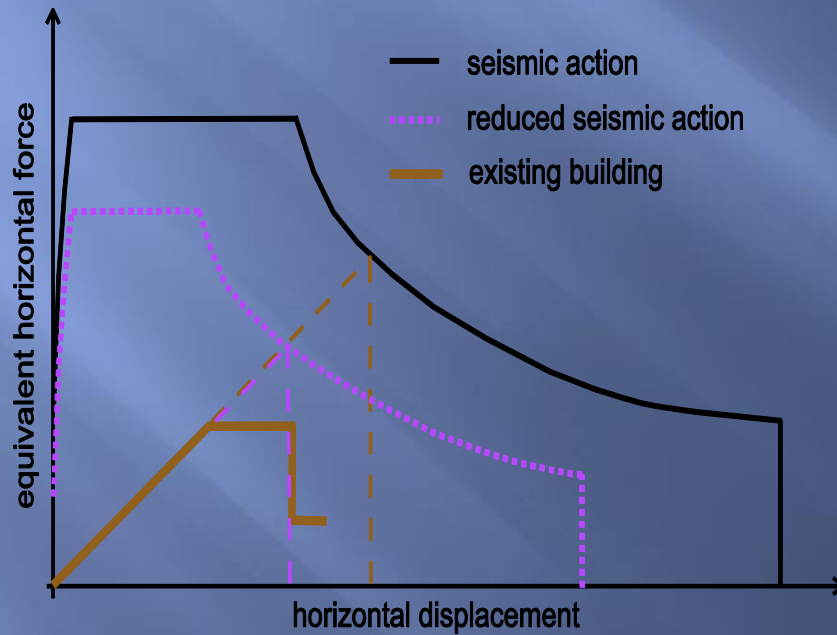
منحنی ظرفیت در روش (نرم سازی)

نرم سازی سیستم سازه ای از طریق کاهش سختی است که باعث کاهش هم زمان نیروها و افزایش تغییر مکان ناشی از زلزله می گردد.

جدا سازی لرزه ای با استفاده از بالشتک های افقی نرم با میرایی بالا و از جنس لایه های پلاستیک مسلح نمونه ای از کاربرد روش نرم سازی است

۴- کاهش اثر زلزله با میرایی

این امر از طریق نصب میراگر های اضافه در سازه عملی می شود.



منحنی ظرفیت در روش (افزایش میرایی)

۵- کاهش جرم:

با کاهش جرم - نیروی اینرسی کوچک میشود در نتیجه نیروهای داخلی و تنش کمتری در هنگام وقوع زلزله در اعضا ایجاد می شود.

۶- تغییر کاربری:

این امر از تغییر کاربری و نوع بهره برداری نظیر کاهش رده اهمیت ساختمان ممکن است مثلا بیمارستان های مهم با درجه اهمیت ۳ به یک مرکز درمانی ساده با درجه اهمیت ۲ یا به یک ساختمان مسکونی با درجه اهمیت ۱ تبدیل شود.

اداره پلیس در شهر سیون:

وضعیت موجود:

- ۱- این ساختمان در شهر سیون است.
- ۲- یک ساختمان بتن مسلح ۱۰ طبقه است.
- ۳- در سال ۱۹۶۲ اجرا شده است.
- ۴- این ساختمان در رده اهمیت ۳ است.



۴ پنجره آخر در منتهی الیه سمت چپ در هر تراز بخش توسعه را نشان می دهد.

ضعف سازه:

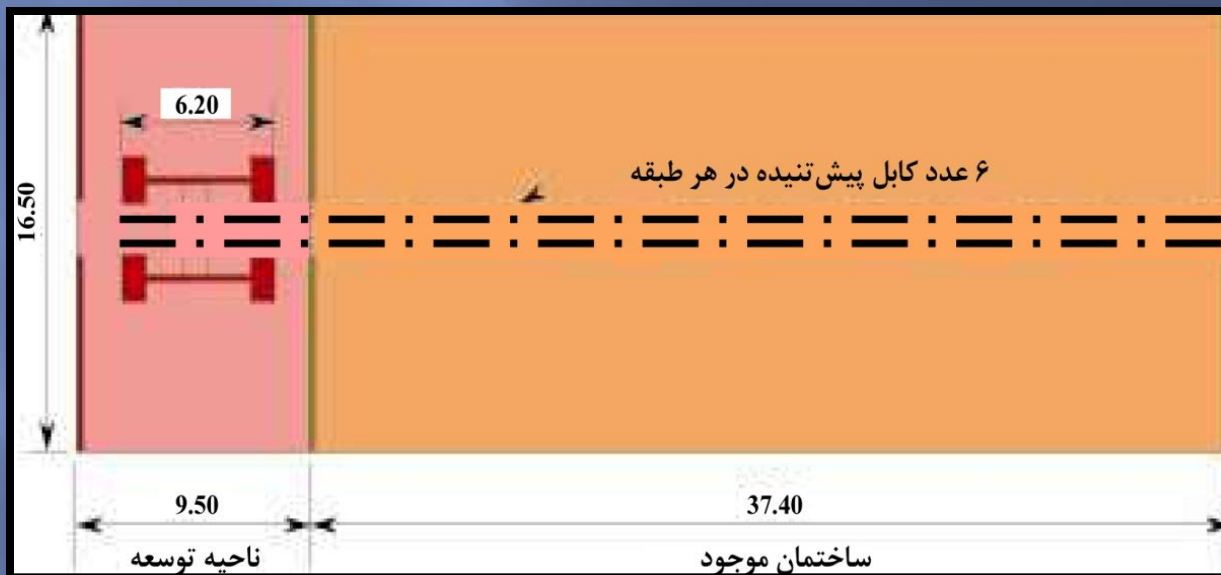
- ۱- این ساختمان در دوره ای احداث شده که توجه به اثرات زلزله نبوده.
- ۲- در امتداد طولی ساختمان با استفاده از هسته بتن مسلح پلکانوآسانسور مهار جانبی شده نا کافی است.

اداره پلیس در شهر سیون:

طرح مقاوم سازی:

راهکار مقاوم سازی: (افزایش مقاومت و شکل پذیری)

- ۱- ضعف ساختمان با اجرای ناحیه توسعه که در آن مهار های جانبی لازم برای مقابله با آثار زلزله پیش بینی شده است جبران شده است.
- ۲- بخش توسعه با نصب کابل های پیش تنیده در تراز دال هر طبقه در امتداد طولی به بخش قدیم متصل شده است و...



وضعیت موجود (راست) و بخش توسعه جدید (چپ)

ایستگاه آتشنشانی شهر بازل



وضعیت موجود:

- ۱- این ساختمان در سال ۱۹۴۲ احداث شده است.
- ۲- ساختمان اصلی از بتن مسلح است.
- ۳- این ساختمان در رده اهمیت ۳ می باشد.

ضعف سازه ای:

- ۱- ستون های نسبتا لاغر در طبقه زیر زمین منجر به ایجاد طبقه نرم شده است.
- ۲- همچنین دیوار ها و کف ها در طبقه فوقانی ساختمان تحمل نیروی ناشی از زلزله را ندارد.

طرح مقام سازی :

راهکار مقاوم سازی: (کاهش صلبیت - کاهش آثار زلزله توسط میرایی)
مقاوم سازی ساختمان با استفاده از جداسازی لرزه ای انجام شده است.

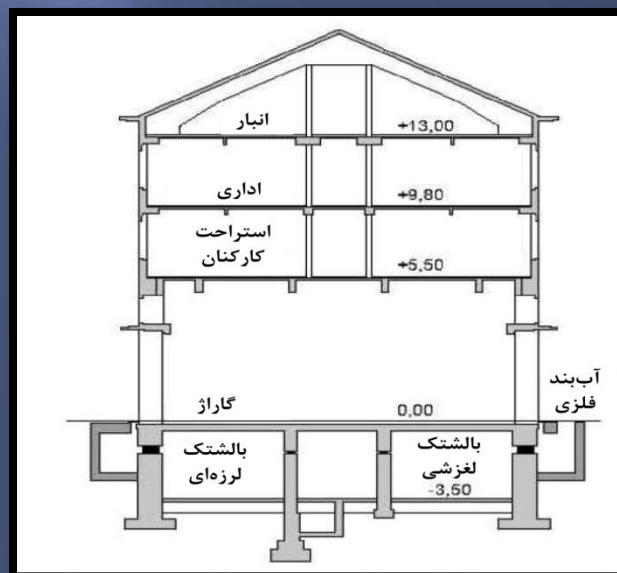


نصب بالشتک لرزه ای در زیر ستون در
وجه بیرونی دیوار زیر زمین



تعبیه درز انبساط در اطراف ساختمان حرکت افقی بالشتک های
لرزه ای جدید را ممکن می سازد.

مقطع عرضی ساختمان به همراه بالشتک های لرزه
ای در زیر زمین



مدرسه ای در شهر مونتی :



وضعیت موجود:

- ۱- این ساختمان در سال ۱۹۷۱ و با مصالح فولادی احداث شده است.
- ۲- سیستم کف طبقات از نوع دال بتن مسلح پیش ساخته که متکی بر تیرچه فولادی است.
- ۳- دارای ۴ طبقه استواریست سازه ای ساختمان از نوع قاب فولادی در هر دو جهت است.
- ۴- در رده اهمیت ۲ است.

ضعف سازه ای :

- ۱- سیستم اجرایی اتصال اعضای قاب فولادی فقط با استفاده از عدد پیچ که جان تیر را به ستون متصل می کند که قادر به تحمل نیروی ناشی از زلزله نیست.
- ۲- عمکرد دیافراگم (کف صلب) دال پیش ساخته ساختمان بارهای جانبی نا کافی است.

طرح مقاوم سازی :

راهکار مقاوم سازی: (تقویت سازه ای _ افزایش شکل پذیری)

طر مقام سازی دو بخش است:

۱- دو عدد راه پله از جنس بتن مسلح در تمام طبقات به عنوان عضو الحاقی و با عملکرد مهار بندی به ساختمان اضافه شده است.

۲- اضافه نمودن خرپا های افقی جدید تقویت شده در کف طبقات



نمای برج پلکان جدید در وجه شمالی ساختمان

برج پلکان جدید و طبقه جدید ساختمان در حال اجرا

ساختمان مسکونی و مرکز خرید در فریبورگ:

وضعیت موجود:

- ۱- این ساختمان در سال ۱۹۷۰ احداث شده است.
- ۲- این مجتمع دارای ۳ ساختمان ۸ طبقه است که یک مرکز تجاری در طبقه همکف هر ساختمان است.
- ۳- سیستم ساختمانی از نوع دیوار های بنایی غیر مسلح در طبقات فوقانی است که بر روی ستون های بتن مسلح طبقه همکف متکی هستند.
- ۴- کف های ساختمان تز نوع بتن مسلح است.
- ۵- این ساختمان در رده اهمیت ۲ می باشد.

ضعف سازه ای :

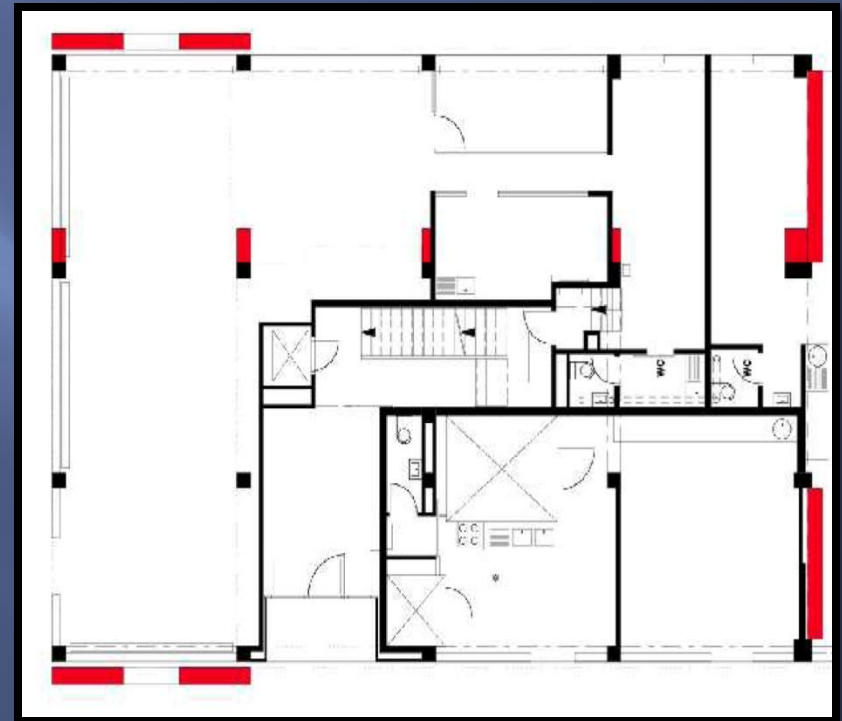
- ۱- ساختمان دارای طبقه نرم در تراز همکف
- ۲- تعدادی از دیوار های بنایی نیز فاقد ظرفیت سازه ای کافی بودند.
- ۳- عملکرد لرزه ای ستون های طبقه همکف
- ۴- عدم کفایت آرماتور ها در اتصال تیر به ستون



طرح مقاوم سازی:

راهکار مقاوم سازی (تقویت و بهبود عملکرد سازه ای)

این امر از اجرای دو دیوار برشی بتن مسلح لاغر که در همه طبقات ادامه یافته احراز گردیده است. دیوار های جدید بر روی تعدادی ریز شمع در تراز شالوده مهر شده اند.



پلان طبقه همکف به همراه موقعیت دیوار های بتن مسلح جدید

دیوار پیرامونی جدید بتن مسلح که در جلوی دیوار موجود بتن ریزی و اجرا میگردد.

ساختمان اداره دولتی برن:

وضعیت موجود:

- ۱-سازه این ساختمان ۶ طبقه از نوع دیوار های سنگ طبیعی و کف های متکی بر الوار های چوبی است .
- ۲-سال احداث ۱۸۵۷ است.
- ۳-در رده اهمیت ۲ است.

ضعف سازه ای:

انقال بار های جانبی زلزله از تیر های چوبی کف به دیوار های سنگی به طور کامل انجام نمی شود.



طرح مقام سازی:

راهکار مقام سازی: (تقویت سازه ای)

- ۱- در باله شرقی ساختمان کف های چوبی با کف های دال بتنی جایگزین شده اند.
- ۲- پلکان های جدید خارج از محدوده کف های بتن مسلح در کلیه طبقات احداث شده است.



مهار آرماتورهای کف جدید در دیوار های
بنایی



جایگزینی کف های بتن مسلح با کف های تیر چوبی
در باله شرقی ساختمان

ایستگاه رادیویی شهر زوریخ:

وضعیت موجود:

- ۱- این ساختمان دارای ۸ طبقه است.
- ۲- در رده اهمیت ۲ قرار دارد.
- ۳- دارای اسکلت بتن پیش ساخته که به شفت های بتنی آسانسور و پلکان هایی که در دو انتهای پلان قرار دارند متصل می شوند.

ضعف سازه ای:

در امتداد طولی عدم کفایت مهار بندی جانبی



طرح مقاوم سازی:

راهکار مقاوم سازی: (مقاوم سازی - افزایش شکل پذیری)
دو عدد قاب فولادی جدید با مهار بند واگرا به هدف تامین مهار بندی



پنهان شدن قاب های فولادی جدید واگرا در تزیینات داخلی ساختمان



قاب های فولادی جدید واگرا که بین دو ستون بتن مسلح اجرا شده اند.

ساختمان مسکونی و مرکز خرید در وینرتور



وضعیت موجود:

- ۱- این ساختمان ۴ طبقه است .
- ۲- ترکیبی از عناصر بنایی و بتن مسلح است .
- ۳- یک فروشگاه در طبقه همکف است و بقیه طبقات مسکونی است .
- ۴- کف طبقات و زیر زمین بتن مسلح است .
- ۵- این ساختمان در رده اهمیت ۲ است .

ضعف سازه ای :

- ۱- ساختمان دارای طبقه نرم در همکف است .
- ۲- درز انبساط در وسط دهانه طولی اثر معکوس دارد .
- ۳- سیستم مهار بندی جانبی مطلوب نیست .

طرح مقاوم سازی :

راهکار مقاوم سازی (مقاوم سازی - ارتقای منظمی ساختمان)
۴ خرپای فولادی جدید در طبقه همکف و در هر امتداد ۲ عدد ساخته و نصب شده است.



عضوی از خرپای فولادی در اتاق اداری طبقه همکف



خرپای فو لادی در طبقه همکف



اتصال خرپای فو لادی به دال کف طبقه نرم

هتل شهر بوسنی:



وضعیت موجود:

یک ساختمان ۳ طبقه است و دارای درجه اهمیت ۱ است.

ضعف سازه ای:

۱- به غیر از طبقه همکف ساختمان دارای فضای خمشی و حرکتی به ارتفاع حدود ۱ متر است که به لوله های تاسیساتی و مجرا ها آسیب زده است.

۲- ساختمان فاقد سیستم مهار بندی طولی در قبال بار های زلزله و باد است.

۳- درز انبساط باعث تقسیم ساختمان به ۴ بخش مجزا شده که منجر به رفتار نا مناسب لرزه ای شده است و...

طرح مقاوم سازی:

راهکار مقاوم سازی (مقاوم سازی-بهبود شکل پذیری)

- ۱- تقویت در وجه جنوبی ساختمان با دو پشت بند بتن مسلح مثلثی .
- ۲- تقویت در وجه شمالی با پلکان بتن مسلح جدید.



نمای شمالی با پلکان جدید بتن مسلح



نمای جنوبی با پشت بند های بتن مسلح جدید مثلثی



عملیات جدید (۲ پشت بند بتن مسلح مثلثی در نمای جنوبی)



عناصر فولادی برای مهار دیوارهای بتن مسلح جدید در کف های موجود