اصول اساسی دیزاین ساختمان های مقاوم زلزله

Basic design principles of earthquake resistant buildings

انجنیر نادر پیشتاز

Nadir Peshtaz

November 10, 2020

حق نشرو Copyright محفوظ است.

این کتاب را به انجنیران ساختمانی وطن عزیزم که درشرایط خیلی دشوارعلم ستیزی و نا امنی، مسئولانه درجهت آبادانی آن تلاش می کنند تقدیم میدارم.

ن. پیشتاز

پیشگفتار

هدف اصلی تألیف این کتاب، انتشاراطلاعات اختصاری درمورد آخرین مفاهیم، تکنیک ها و داده های دیزاین وطراحی برای انجنیران ساختمانی است که دردیزاین ساختمان های مقاوم دربرابرزلزله فعالیت می کنند. همچنان، آرزومندم این مجموعه، یک اندوخته دیگری درجمع غنایم علمی یکی از زبان های رسمی کشور؛ یعنی زبان پارسی خطهٔ سرزمین ما و ماورای آن بوده باشد.

آرزومندم، این رساله بتواند، مورد نگرش انجنیران با استعداد میهن، که درداخل کشورویا درکشور های بیرونی، با استندردها ویا زبان های مختلف اهم ازآسیایی واروپایی به تحصیل این مسلک مقدس ساختارهای تاسسیات راه و ساختمان پرداخته اند، به حیث مرجع مشترک زبانی قرارگیرد. یقین دارم همه دراین تلاش هستند تا دانش انجنیری کشوررا با افاده زبان مشترک شان به منظورفهم درست علمی وتکنیکی توسعه داده وازمعادل سازی واژه ها واصطلاحات غنای فرهنگی زبانی خود زمینه ساز بیان وتفهیم مشترک شوند. درواقع انگیزهٔ این تألیف درراستای تحقق این آرمان وسهم گیری در غنای زبان،علم وفرهنگ است.

به منظوروضاحت بیشتردرموضوعات انجنیری ساختمان، همواره کوشیده ام تا درتألیفات خود هر بخشی ازمسایل انجنیری را بصورت موجز، موجه و جداگانه مورد برسی قراردهم . لهذا دراین بخش تنها بحث از قوه های موثرهٔ زلزله بالای ساختمان ها است و شامل بارهای ستاتیکی و بارباد نمی باشد.

همه میدانیم که دیزاین ساختمان ها تحت عمل بارهای ستاتیکی یک پرکتس صد ساله یا بیشترازآن است ولی عامل زلزله وتا ثیرات آن بالای ساختمان ها، دانش نسبتاً جدیدی است که بصورت جدی بعد از سال 1970 درنگرش تحلیلی وارزیابی های انجنیری ساختمانی تغییراتی درآن رونما گردیده وهنوزه هم درحال توسعه می باشد. بنا براین، بربنیاد فهم وارزیابی های بیشتراثرات زلزله های اخیرقرن بیست، یک سلسله روش ها ومتود های تعدیل شده برای طراحی، مقاوم سازی و ایمنی ساختمان ها ارائه گردیده است. علاوه برآن به تاسی ازتئوری های اخیرعوامل زلزله و تجارب علمی وعملی از شدید ترین حادثات این پدیدهٔ طبیعی دردههٔ اخیرقرن بیست، بخش مباحث زلزله حاوی متودهای تحلیلی، ارزیابی قوه ها، طرح ودیزاین ساختمان ها درکُد های ساختمانی تغییرکرده که دررأس آن ها تعدیل کُد متحد ساختمان (UBC-1997) قراردارد.

دراین کتاب، ازبخش دیزاین زلزلهٔ کُد متحد ساختمان (Uniform Building Code-UBC) که برای آخرین باردرسال 1997 درایالات متحده امریکا تعدیل گردید وبعد درسال 2000 بنام کُد بین المللی ساختمان (International Building Code-IBC) تغییرنام داده شد، بالخصوص ازروی نسخه تجدید شدهٔ سال IBC-2003 استفاده گردیده است.

باید اذغان کرد که، باوجود تلاش های متواتر، متاسفانه بنا برعدم دسترسی به مراجع علمی و جیولوجیکی افغانستان، نتوانستم ازمعلومات های منابع داخلی درنوشتن این کتاب به ارتباط مسایل ساختارهای طبیعی جیولوجیکی افغانستان که مسئول فعالیت های زلزلوی و زمین لرزه ها در جغرافیای افغانستان اند استفاده نمایم. بنا براین، مطالب این رساله درمورد ساختار (Geo seismic) ، زمین لرزه ها و زون بندی زلزلوی افغانستان بربنیاد تحقیقات و یافته های اداره سروی جیلوجیکی ایالات متحده امریکا (USGS) استواراست که به کمک اداره انکشاف بین المللی امریکا (USAID) چندین مطالعه تحلیلی را به ارتباط احتمال خطرات زمین لرزه ها برای افغانستان انجام داده اند.

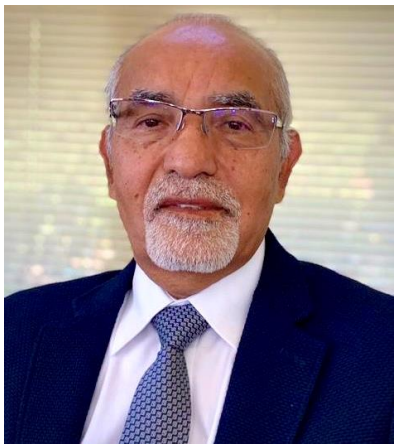
دراین رساله سعی شده است تا به منظورسهولت درطراحی و دیزاین ساختمان های مقاوم زلزله تقریباً تمام بحث های تئوریک بصورت خیلی مختصر وجدول های بخش زلزلهٔ کُد بین المللی ساختمان بصورت کامل توضیح داده شده است. درانتهای کتاب دومثال ازمحاسبات دریافت قوه های زلزله درهردوسیستم متریک و امپریال کنجانیده شده است: 1- برای تعمیرهفت طبقه ای چوکات کانکریتی و 2- برای تعمیر12 طبقه ای چوکات فلزی .

باورم این است؛ که درنهایت باهم کوشی وهمکاری یکدیگر بتوانیم رسالت خویش را درجهت بلند بردن توانگری های ذخایرعلمی وتکنیکی کشورانجام دهیم، تا بربنیاد آن توانسته باشیم سازندگی را به جای ویرانی، بی تفاوتی ومحل نگذاشتن تلاشها را اگرچه کوچک هم باشند به همکاری ودستگیری مبدل سازیم. لهذا، ازاستادان، دانشمندان، وانجنیران محترم خواهشمندم نظریات خویش را به ایمیل: modeer1@hotmail.com ارسال فرمایند تا پیشنهاد های مطرح شده درزمان نسخه چاپی این کتاب انعکاس داده شود. افتخارخواهم داشت تا نام وپیشنهادات تان زینت بخش این تالیف گردد.

سپاسگزاری:

جای آن دارد، که ازدوست دیرینم انجنیرصاحب جیلانی غیاثی که تجربهٔ عملی سالیان درازی را در این مسلک دارا می باشند، بابت کمک های بی دریغ شان که درتهیه بخشی از رسم ها واشکال این کتاب مرا یاری نموده اند صمیمانه تشکرو سپاسگزاری نمایم.

انجنیرنادر پیشتاز - سیاتل واشنگتن - دهم نوامبر سال 2020



فهرست مطالب: **صفحه**

خلاصهٔ ازچکیده های تئوریک	1
مقیاس گاسپر مرکالی (Giuseppe Mercalli Scale)	2
مقیاس ریکتر یا ریشتر(Richter Scale)	3
جدول تکان ها وصدمات - مقایسه مقیاس های مرکالی وریکتر	6
موقعیت افغانستان درصفحات تکتونیکی	8
انجینیری زلزله (زمین لرزه)	13
فلسفه دیزاین و اجراء	14
رفتار(عمل یا عکس العمل) ساختمان (Building Behavior)	17
تا ثیر خاک (Influence of Soil)	19
دمپنگ (Damping) (فرایند خاموشی حرکت نوسانی)	19
تکان و انحراف ساختمان	20
رانش یا کجی ساختمان	20
پاسخ یا عکس العمل ساختاری	21
مسیر بارزلزله	22
انتظارحرکات لرزه ای	22
پاسخ عناصراتصالی به ساختمان	23
تعمیرات مجاور	23
انتخاب سیستم های مقاومت قوه های جانبی	23
دایافرام ها	24
دکتایلتی	24
ویژه گی های کنترول آسیب	24
ردندنسی (Redundancy)	24
تحلیل دینامیکی	25
مقررات کُد (UBC) - (IBC) برای دیزاین مقاومت ساختمان ها در برابر زلزله	25

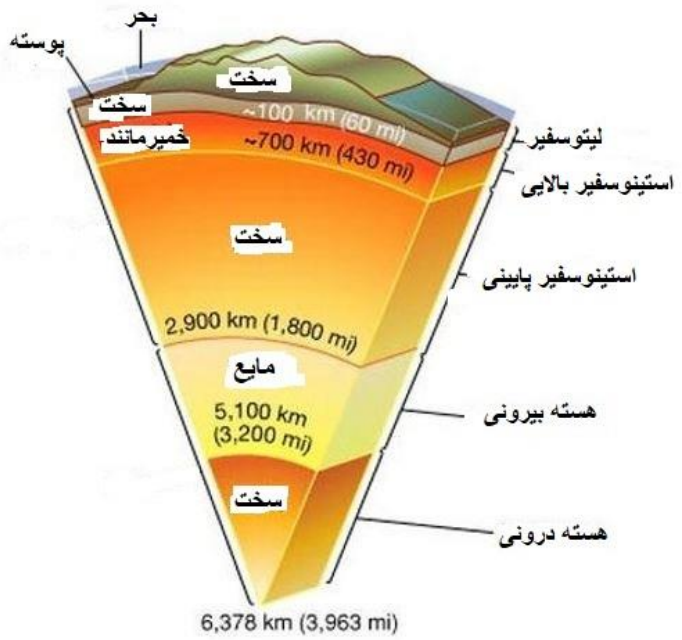
انتخاب پیکربندی ساختمان	26
انتخاب زون زلزلوی	30
انتخاب نوع مقطع خاکی	30
انتخاب اهمیت جایدهی یا اسکان ساختمان	33
انتخاب سیستم چوکات ساختمانی	33
ترکیب بار ها	37
روش قوه های جانبی ستاتیکی	39
روش قوه های جانبی دینامیکی	39
دیزاین برشی اساس یا قاعده (Design Base Shear)	40
توزیع قوه برشی اساس به امتداد ارتفاع ساختمان	43
مومنت چرخش افقی	45
مومنت چپه کننده	46
رانش (تغییر مکان یا تغییرموقعیت افقی) و میلان	47
عامل $P\Delta$	47
استثنأی ساده سازی دیزاین قوه برشی زلزله	48
مثال اول	49
مثال دوم	58
مأخذ ومنابع	66
ضمیمه	67

خلاصهٔ از چکیده های تئوریک

پوستهٔ کرهٔ زمین که بنام لیتوسفیر (lithosphere) یاد میشود ازدو نوع صفحات عظیم تکتونیکی قاره ای وصفحات تکتونیکی اقیانوسی تشکیل گردیده است. حرکت این صفحات تقریباً 3 تا 3.5 بلیون سال قبل آغازیافته ودرنهایت سبب تشکیل قاره ها وفاصله یا جدایی بین آنها وپدیده های دیگرگردیده است.

این نظریه به اساس رانش یا دورشدن قاره ای در دههٔ اول قرن بیست مطرح شد و پس از اثبات مفهوم گسترش بسترابحار بین سال های 1950 تا 1960 توسط زمین شناسان پذیرفته شد. به اساس این نظریه پوستهٔ کره زمین از صفحات تکتونیکی شامل 7 صفحه اصلی بزرگ و 8 یا 9 صفحهٔ فرعی کوچک تشکیل گردیده است. این صفحات که به ضخامت از 100 تا 200 کیلومترمی باشند روی ساخت خیلی ضخیم آستینوسفیر(asthenosphere) یا قسمت حد فا صل بین پوسته وهستهٔ کرهٔ زمین قرار داشته و به صورت مداوم در حال حرکت هستند که بر اثر برخورد آنها پدیده های همچون زلزله، گسل ها یا شکستگی ها، تشکیل کوهها، تشکیل گودالهای درازو حتی چین خوردگی های دیگر پدیدار میشوند. میزان حرکت صفحات تکتونیکی از کمترین حد از صفر تا بیشترین حد 100 ملی متر درسال می رسد، و بسته به نوع ، جایگاه و شرایط آن ها تخمین زده میشود.

استینوسفیر دارای ضخامت 2900 کیلومتربین پلیت های تکتونیکی و هسته زمین قرارداشته و مواد سازنده آن: سیلسیم ، اکسیجن ، آهن ، مگنیزیم وکلسیم می باشد که بشکل توده داغ و صعود کننده موجوداست. همچنان استینوسفیر دارای قشری (استینوسفیربالایی) به عمق تقریبی 700 کیلومتراست که حالت نیمه جامد یا خمیرمانند را دارا بوده و درآن مگما تولید میشود.



شکل 1: مقطع زمین

جان توزوویلسن John Tuzo Wilson زمین شناس کانادایی اولین کسی بود که درخصوص مطالعه گسل های زمین، پژوهش های را انجام داد وبرای نخستین بارنظریه وجود صفحات تشکیل دهندهٔ

لیتوسفیرزمین ومرزهای آنها را عنوان کرد. او درباره این نظریه فعالیت های خستگی ناپذیری را درجهت اقناع دانشمندان انجام داد وازدید علمی مورد تحسین جهانیان قرارگرفت.

آندریا موهوروویچیچ (Andrija Mohorovicic) را که اهل کشورکروشیا بود می توان ازبنیان گذاران دانش مدرن لرزه شناسی زمین یا زلزله نامید. او بعد ازیک زمین لرزه ایکه درسال 1909 در منطقهٔ به 39 کیلومتری جنوب شرق شهرزگراب کروشیا روی داد آغاز به پژوهش پیرامون علت تفاوت دو موج متفاوت از مرکز زلزله گردید ودریافت که سرعت امواجی که ازمرکز زلزله بوجود می آیند متناسب به تراکم موادی است که موج ازآن ها عبورمی کند و درنتیجه موفق به نظریهٔ گردید که به اساس آن بین پوستهٔ کره زمین یا لیتوسفر واستینوسفیر یک قشری دیگری نا پیوسته وجود دارد. دانشمندان این قشر را نا پیوستگی موهو نامیدند و ضخامت آن 5 تا 10 کیلومتراز فرش ابحار و 20 تا 90 کیلومتراز مرز پایینی صفحات تکتونیکی قاره ای میباشد. پارگی ها یا گسیختگی ها دراین قشر سبب زلزله می گردند.

درزمینهٔ پژوهش مشاهدات امواج زلزله، باید گفت که، جان ملنی (John Milne) درسال 1883 بصورت غافلگیرانه به نتیجهٔ رسید که تکان های یک زلزله بزرگ شاید بتواند امواجی را درتمام جهان بخش نماید. بعداً برمبنای این نظریه، وان ریبر پشوتز(Von Rehbur Paschvitz) درسال 1899 توانست امواج یک زلزله ایرا که در توکیو اتفاق افتاده بود درجرمنی مشاهده و ثبت نماید.

قابل تذکراست که هیری او وود (Harry O Wood) و جان ای اندرسن (John A Anderson) درسال 1920موفق به ساختن سایسموگراف (Seismograph) یا دستگاه لرزه نگارشدند.

مقیاس های که به اساس آن ها بزرگی و شدت زلزله مشخص و ارزیابی می گردند عبارت اند از:

مقیاس گاسپر مرکالی (Giuseppe Mercalli Scale)

چنانچه قبلاً تذکرداده شد، گرچه درآواخرقرن19 قدم های درساحه علم زلزله شناسی (Seismology) برداشته شده بود، ولی اولین بارگاسپرمرکالی جیولوجست ایتالیایی موفق شد که درسال 1902 مقیاسی را بوجود آورد که براساس آن اندازه گیری تاثیرلرزش های زمین که شدت خسارات زلزله را نشان می دهد صورت گیرد، وآن مقیاس شدت مرکالی (Mercalli Intensity Scale) نامیده شد. دراین مقیاس اندازه گیری های شدت زلزله براساس مشاهدات و تجاربی که مردم اززمین لرزه ها تجربه کرده اند شکل گرفته و برای تخمین شدت (قدرت تخریب) زلزله استفاده می شود. به عبارت دیگر این مقیاس برمبنای اثرات ناشی از زلزله و مشاهدات تخریبی آن درجه بندی می شود و میزان ویرانی های بار آمده را بیان کرده و برعکس مقیاس ریکتر(ریشتر) اساس ریاضی یا ساینستفیک ندارد.

قابل تذکر است که درجه شدت مرکالی را بلافاصله بعد از وقوع یک زلزله نمی توان به سرعت مشخص کرد، زیرا مستلزم زمان کافی برای برسی اطلاعات از ایستگاه های مختلف زلزله نگاری واتفاقاتی است که ازاثرزلزله روی داده است. البته، بعد از آنکه تصور دقیقی از میزان خسارات وارده به دست آمد، بعد به طوردقیق اندازه بزرگی زلزله بر حسب ریکتر اعلان می گردد که به اساس آن می توان درجه شدت مرکالی مناسب را با توجه به تغیرات فزیکی که در محدوده حس انسان ها تخمین زد شده، معرفی نمود.

باید علاوه نمود که برخلاف تصورعمومی، شدت زلزله علاوه بر بزرگی آن، به عوامل متعددی دیگری ازجمله عمق کانون زلزله، سنگ بسترزلزله، لایه های زیرین، فاصله از کانون زلزله و... وابسته است که مقیاس مرکالی تعبیری ازآنها ندارد. درنهایت مقیاس مرکالی یک پارامترمهندسی است.

درسال 1931 زلزله شناسان امریکایی همان کسانی که لرزه نگار(زلزله نگار) را ساختند آقایان: هیری وود (Harry Wood) و فرانک نیومن (Frank Neumann) این مقیاس را اصلاح و تعدیل نمودند که بنام مقیاس تعدیل شدهٔ شدت مرکالی (Modified Mercalli Intensity Scale) یاد میشود. درمقیاس تعدیل شدهٔ مرکالی، شدت زلزله به اساس اثرات آن بالای افراد، ساختمان ها و محیط طبیعی دریک منطقه توضیح ، مشخص و اندازه گیری می گردد. به عبارت دیگرمقیاس مرکالی تنها بستگی به اثرات مشاهده دارد یعنی آنچه مردم می بینند و احساس می کنند و همچنین آنچه در ساختمان ها اتفاق می افتد (جدولA-2 دیده شود).

معمولاً بعد از حدوث یک زلزله؛ ادارهٔ سروی جیولوجیکی ایالات متحده امریکا معلومات های لازم را از مردم که درنواحی وقوع زلزله قراردارند وهمچنان از انجنیران ساختمانی بدست آورده و شدت آن رابه اساس مقیاس تعدیل شدهٔ مرکالی برای مناطق مختلف تعیین می کنند. مقیاس شدت مرکالی دارای 12 درجه است و توسط اعداد رومن مشخص شده است که هردرجه را بال می نامند.

توجه شود که دراین مقیاس بزرگی زمین لرزه همیشه با شدت (قدرت تخریب) زمین لرزه رابطه مستقیم ندارد وازتوضیح و بیان مقدارشدت (قدرت تخریب) این مقیاس دردانش انجنیری برای مقاوم سازی ساختمان ها استفاده میشود.

نوت : درزمان حاضر وقتی صحبتی از مقیاس مرکالی به میان می آید، منظورازمقیاس اصلاح شدهٔ مرکالی است.

درجدول (A-2)، توضیح آسیب ها وصدمات ناشی ازشدت زلزله مطابق مقیاس تعدیل شدهٔ مرکالی نشان داده شده است. این توضیحات توسط منابع علمی معتبرجهان بعد از وقوع زلزله های متعدد صورت گرفته واساساً رهنمایی است برای انجنیران ساختمانی، مهندسین وشرکت های بیمه.

شرکت های بیمه درکشورهای غربی معلومات مقایس اصلاح شدهٔ مرکالی را برای ساختن پالیسی های بیمه های ساختمان ها مورد استفاد قرار میدهند.

مقیاس ریکتر یا ریشتر(Richter Scale)

این مقیاس که بنام بزرگای ریکتر (Richterr Magnitude) یاد می شود درسال 1935 توسط زلزله شناس امریکایی چارلزفرانسس ریکتر(Charles Francis Richter) توسعه داده شد و مقیاسی است برای اندازه گیری بزرگی زمین لرزه (بزرگی زلزله)، که میزان انرژی آزاد شده را در کانون یا ایپیی سنتر(Epeicenter) زلزله نشان میدهد. مطابق این مقیاس، زمین لرزه ها براساس اندازه امواج لرزه ای آنها که توسط سایزموگراف یا لرزه نگاراندازه میشود ارزیابی گردیده وازروی دامنه بلندترین موج زمین لرزه، بزرگی زلزله را محاسبه میکنند، بنابرآن دارای اساس ریاضی وساینستیفیک می باشد.

مقیاس بزرگای ریکتردارای 10 درجه است که زلزله ای به مقیاس 1 را هیچ کس احساس نمی کند در حالیکه مقیاس 10 میتواند آن منطقه را نابود کند.

با کارگیری این مقیاس بعدها، حتی توسط خود ریکتر مشخص شد که این مقیاس نواقصی را دارا بود. مثلاً معلوم گردید که این مقیاس علاوه بر میزان انرژی آزاد شده درکانون زلزله یا ایپی سنتر، به میزان انرژی رسیده درهر نقطهٔ ازسطح زمین ومجموعه عواملی دیگری نظیرعمق زمین لرزه (فاصله عمودی کانون تا سطح مرکزی آن درروی زمین)، جنسیت خاک وغیره نیزبستگی دارد. بربنیاد این طرح اولی مقیاس ریکتر، بزرگی زلزله تنها به اساس دامنهٔ بلند ترین موج لرزشی محاسبه می شد وهیچ مشخصهٔ فزیکی اساسی دیگری از امواج برای محاسبه درنظرگرفته نمی شد. درنتیجه مقیاس ریکتر برای توصیف همه جانبه زلزله کافی نبود.

برای حل این مشکل وسنجش دقیق بزرگی زلزله، درسال 1970 سازمان زمین شناسی ایالات متحده امریکا واحد مقیاس بزرگای مومنت (Moment Magnitude Scale) را برمبنای طرح اولی مقیاس ریکترارائه کرد که بنا به نتایج حاصله ازاین مقیاس؛ برای زلزله های متوسط تا بزرگی 5 تقریباً مشابه به مقیا س بزرگای رکتراست، اما برای زلزله های بزرگتر از5 مقیاس بزرگای مومنت بسیار دقیق ترمی باشد. بدین اساس مقیاس بزرگای ریکتربا مقیاس بزرگای مومنت (moment magnitude scale) هیچگاه یکی نبوده و ازهم تفاوت دارند.

نوت : درزمان حاضر وقتی صحبتی ازمقیاس ریکتربه میان می آید، منظورازمقیاس بزرگای مومنت است.

بزرگای مومنت توسط یک سلسله معادلات مغلق لوگارتمیک دریافت میگردد که ساده سازی آن توسط هیرو کانه موری (Hiroo Kanamori) قرار ذیل ارائه شده است:

$$M_w = \frac{2}{3}\, log_{10}\, M_0 - 10.7$$

در اینجا: M_w بزرگای مومنت و M_0 مومنت لرزه ای است.

چنانچه دیده می شود، بزرگای مومنت یک معادله لوگارتمیک به قاعده یا بیس 10 می باشد، یعنی برای هرنمبری که شدت ثبت شدهٔ لرزش زمین بالا برود، مقداربزرگای مومنت، 10 چند بلند می رود. با استفاده ازاین مقیاس، دریافت شده می تواند که زمین لرزه ای به بزرگی 5 مقیاس ریکتر، 10 مراتبه بزرگتراززلزلهٔ به بزرگی 4 می باشد (32 مراتبه انرژی بیشترآزاد می شود). برای اینکه یک تصوری شده بتواند که چه مقدار انرژی دریک انفجارآزاد می شود؟: باید گفت که تنها یک موج لرزوی همان مقدار انرژی آزاد میکند که 6 oz یا 170 gram مادهٔ منفجرکنندهٔ TNT انفجار داده شود. بنا برآن یک زلزلهٔ به بزرگی 8 همان مقدار انرژی را آزاد می کند که 6 ملیون تن TNT انفجارداده شود.

دراین مقیاس، بزرگی انرژي آزاد شده به اساس معادله لوگارتمیک دارای قاعده یا بیس 32 دریافت می گردد. بطورمثال انرژی آزاد شدهٔ یک زلزله به بزرگی 6.0 تقریبا 32 مرا تبه بزرگتر از انرژی آزاد شدهٔ زلزله ای به بزرگی 5.0 می باشد. بدین ترتیب انرژی آزاد شدهٔ زلزله ای به بزرگی 7.0 تقریبا 1024 = 32x32 مرتبه بزرگترازانرژی آزاد شدهٔ زمین لرزه ای به بزرگی 5.0 می باشد. پس، زلزله ای به بزرگی 9.0 که خیلی ندرتاً اتفاق می افتد تقریبا اضافه ترازیک ملیون مرتبه انرژی آزاد شدهٔ زلزله ای به بزرگی 5.0 می باشد.

دریک مقایسه ای ساده؛ مقیاس بزرگای ریکتر، شدت زلزله را به اساس اندازه امواج لرزه وی که توسط سایزموگراف اندازه می شود سنجش وارائه می کند، درحالیکه مقیاس بزرگای مومنت شدت زلزله را به اساس مقدار مجموعی انرژی آزاد شده تخمین می نماید. درجدول ذیل تفاوت های این دو مقیاس را به ارتباط بزرکترین زلزله های که درقرن 19 و 20 اتفاق افتاده است ملاحظه می نمایید:

جدول (A-1) : مقایسه مقیاس های بزرگای ریکترو بزرگای مومنت

تاریخ اتفاق زلزله	موقعیت	بزرگی یا شدت	
		مقیاس بزرگای ریکتر(ریشتر)	مقیاس بزرگای مومنت
1811-1812	مادرید نو- وسط غربی امریکا	8.7	8.1
1906	سانفرانسسکو- کالیفرنیا	8.3	7.8
1960	آروکو - چلی	8.3	9.5
1964	انکریج - الاسکا	8.4	9.2
1971	سانفرانسسکو- کالیفرنیا	6.4	6.7
1985	شهرمکسیکو - مکسیکو	8.1	8.1
1989	سانفرانسسکو- کالیفرنیا	7.1	6.9
1994	نورت رج - کالیفرنیا	6.4	6.7
1995	کوبی- جاپان	6.8	6.9

بنا برتوضیحات بالا، مقایس های مرکالی و ریکتر به هیچ وجه یک سیستم یا متود محاسبوی پیشنهادی برای دیزاین مقاوم سازی سازه ها دربرابر زلزله نبوده، بلکه این مقایس ها اندازه گیرندهٔ شدت و قدرت تخریبی ناشی اززمین لرزه ها می باشد، که بنا برنتایج تخریبی بارآمدهٔ آنها، انجنیران دیزاین کنندهٔ ساختمانی، متود ها وروش های دیزاین مقاومت ساختمان ها را توسعه داده و محاسباتی را انجام می دهند. به عبارت دیگر هنروتوانایی یک انجنیردیزاین کننده درآن است تا بتواند ساختمانی را دیزاین کند که پاسخ گوی بزرگترین شدت زلزله احتمالی در منطقه مورد نظرباشد. تمام دساتیرومقرارت کُد های ساختمانی برمبنای این اصل استوارمی باشد. هیچ انجنیردیزاین کننده، گرنتی نمی تواند که یک ساختمان صدماتی را درجریان یک زلزلهٔ شدید متقبل نشود ولی میتواند ایمنی های را برای حفظ جان انسان ها بوجود آورد. وقتی یک انجنیر یا مهندس می گوید، این ساختمان در مقابل 10 بال مقایس مرکالی دیزاین شده است، منظوراش شاید ازاعتمادی باشد که براساس تجربیات زلزله های گذشته (جدول A-2)، کاربرد تحلیلی و ارزیابی های دقیقی را برای انتخاب سیستم مقاومتی، پیکر بندی ، دیتایل ها ، جزیات ، دیزاین و شیوه ساختمان را براساس بحث موضوعات بخش «فلسفهٔ دیزاین» و «انجنیری زلزله» این نوشته انجام داده است.

معادل بودن وطبقه بندی مقیاس های مرکالی و ریکتردرجدول (A-2) نشان داده شده است. این جدول حاوی شدت تکانها، توضیح آسیب ها و صدمات ناشی از شدت زلزله درهردو مقیاس و احتمال تکرار وقوع اتفاق آنها در طول زمان می باشد.

جدول (A-2): تکان ها، صدمات ، احتمال تکرارواقعات و مقایسه مقیاس های مرکالی وریکتر

اوسط تکرار وقوع در سطح جهانی	تشریح صدمات یا آسیب ها	تکان ها	مقیاس مرکالی	مقیاس بزرگای ریکتر
پیوسته چندین ملیون در سال	احساس نمی شود یا تحت شرایط خاص به ندرت احساس میشود، توسط (seismographs) سایسموگراف ها ثبت می گردد.	احساس نمی شود	I	از 1.0 تا 1.9
بالاتر از یک ملیون در سال	توسط تعداد محدودی انسان ها درحالت استراحت مخصوصا در طبقات بالای تعمیرات احساس میشود. عاری از صدمات در ساختمان ها است.	ضعیف	I تا II	از 2.0 تا 2.9
بالاتر از 100,000 در سال	بصورت قابل ملاحظه توسط اشخاص داخل ساختمان ها مخصوصاً در طبقات بالایی احساس میشود. به ندرت سبب صدمات میشود. حتی تعداد زیادی آنرا به حیث لزلزله متوجه نمی شوند. موترهای متوقف شده حرکات خفیف اهتزای را مانند عبور یک لاری بزرگ ازکنارآنها احساس می کنند.		III تا IV	از 3.0 تا 3.9
10000 تا 15000 درسال	توسط تعداد زیادی درداخل محوطه ها، خانه ها و آپارتمان ها احساس میشود. درجریان شب بعضی ها بیدار میشوند. موجب سرو صدای اسباب های آشپزخانه، کلکین ها، ودروازه ها می گردد. دیوارها صدای ترک خوردن پیدا کرده و مانند اینکه یک لاری به ساختمان تصادم کند احساس می گردد. موترهای متوقف شده تکان های قابل ملاحظه و لرزش را تجربه می کنند. بصورت عموم صدمات ازصفر تا حد اقل به وجود می آید. افتیدن اشیا ازرفک ها متصور است.	خفیف	IV تا VI	از 4.0 تا 4.9
1000 تا 1500 درسال	تقریبا همه آن را احساس نموده، تعداد زیادی ازخواب بیدارمیشوند، اکثراً میترسند. ظروف آشپزخانه ها ازتاق ها وبلندی ها می افتند، شیشه های کلکین ها می شکنند، اشیای نا پایدارچپه یا واژگون می شوند، آونگ ساعت ها متوقف میشوند. فرنیچر های سنگین حرکت می کنند پسلترهای بعضی قسمت ها جدا شده و صدمات خفیف درآنها عاید می گردد. این تکان ها میتواند سبب صدمات درساختمان های با کیفیت پایین شده و صدماتی خفیفی را در دیگر ساختمان ها بوجود آورد.	متوسط	VI تا VII	از 5.0 تا 5.9

اوسط تکرار وقوع در سطح جهانی	تشریح صدمات یا اسیب ها	تکان ها	مقیاس مرکالی	مقیاس بزرگی ریشتر
1000 تا 1500 درسال	سبب صدمات درتعداد اوسط سازه های خوب اعمار شده درمناطق پرجمعیت می گردد. ساختمان های دیزاین شدهٔ مقاوم زلزله متحمل صدمات خفیف و متوسط می گردند. ساختمان های که ضعیف دیزاین یا طراحی شده اند صدمات متوسط و شدیدی را متحمل میشوند. احتمال جدی شکستن و سقوط دود کش ها، به هم ریختن پایه ها ، دیوارها ، بنا های تاریخی وانبارها یا ذخیره ها وجود دارد. آسیب های خفیف در ساختمان های دارای دیزاین های خاص بوجود می اید. در ساحات وسیع تا 100 ها کیلومتراز ایپی سنتر احساس شده وموجب تکان های قوی و خیلی شدید در منطقهٔ کانون زلزله (ایپی سنتر) می گردد.	قوی	VIII تا IX	از 6.0 تا 6.9
10 تا 20 درسال	سبب صدمات درتمامی ساختمان ها می گردد، بعضی ساختمان ها بصورت کل میتوانند تخریب گردیده یا صدمات شدیدی را متحمل شوند. احتمال صدمات درساختمان های خوب دیزاین شده هم موجود می باشد. چوکات های خوب دیزاین شده از حالت شاقلی بیرون شده وآسیب های بزرگی را درساختمان ها ی استوار و مستحکم با فروپاشی های قسمی متحمل می سازد. ساختمان ها ازتهداب ها تغیر موقعیت داده و بعضی ساختمان ها مستحکم چوبی تخریب می گردند. تقریباً تمام ساختمان های سنگی و خشتی و چوکاتی همرا با تهداب های شان تخریب می گردند. خط های آهن کج و بیجا می گردند. این تکان ها درساحات وسیع احساس می شود که میتواند موجب صدما ت تا فاصله 250 کیلومتری از کانون زلزله گردد.	شدید	X	از 7.0 تا 7.9
یک ، در سال	صدمات بزرگ درسازه ها وساختمان ها تاحد تخریب کامل اتفاق می افتد. صدمات قابل حراس درساختمان های دارای دیزاین های مخصوص(تاسیسات اتمی) ایجاد می گردد. دامنه صدمات درمناطق بزرگ و به فاصله های بسیار بزرگ وسعت می یابد.	بسیار شدید	XI	از 8.0 تا 8.9
یک اتفاق طی 10 تا 50 سال	نزدیک به تخریب کامل - سقوط و ریزش تمام ساختمان ها صورت می گیرد . ادامه خسارات شدید و احساس زمین لرزه تا مکان ها و فاصله های زیاد گسترش می یابد . تغیرات دایمی در توپوگرافی زمین به و جود می اید.	شدید افراطی و تخریب کننده	XII	9.0 وبالا تر

کُد متحد ساختمان (1997-Uniform Building Code-UBC) وبعد ها کُد بین المللی ساختمان (International Building Code-IBC) به اساس مقیاس بزرگای مومنت، انواع منابع زلزلوی را درارتباط به مقدارحد اکثر بزرگای مومنت و برآورد تقریبی حرکت گسل ها به سه گروپ تقسیم نموده ودر جدول (A-3) ارائه کرده است.

دراین جدول طبقه بندی نوع منابع زمین لرزه ها به سه کتگوری A، B وC نشان داده شده است که برای تشخیص و شناسایی پوتنسیال زلزله ها و فعالیت گسل ها درمجاورت نزدیک این ساختارها استفاده می شود.

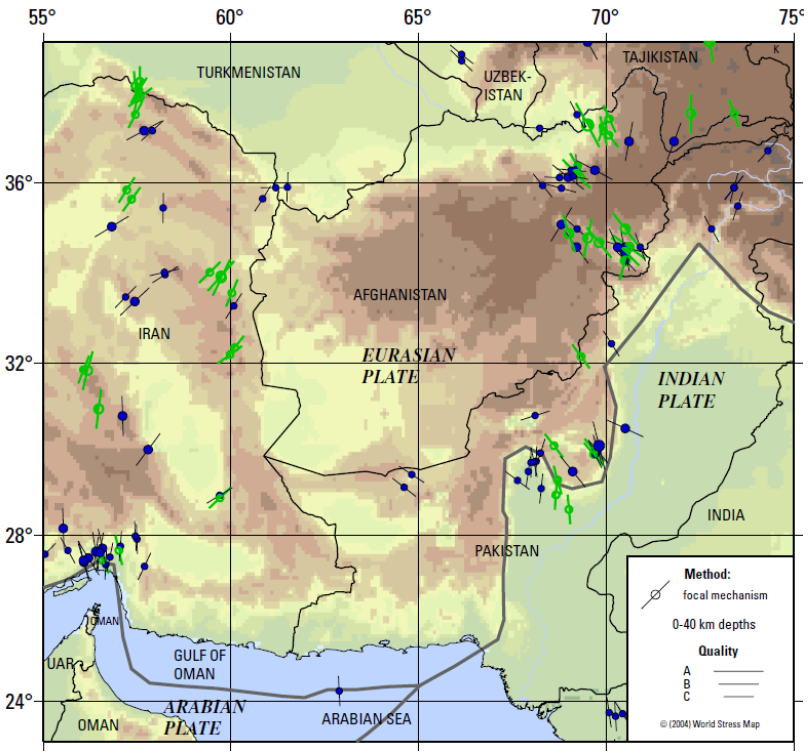
این ساختارها ازلحاظ سرعت لغزش گسل وحداکثربزرگی زمین لرزه که ممکن است درگسل ها بوجود آید تعریف شده اند. چنانچه درجدول دیده می شود؛ زیاد ترین خطرلرزه ای (زلزله) توسط منبع نوع A ایجاد می شود که حداقل بزرگای مومنت 7 یا بیشتر را داشته وسرعت لغزش گسل بالا تریا مساوی به 5 ملی متردرسال می باشد.

جدول (A-3) : نوعیت منابع زمین لرزه

نوعیت منبع زمین لرزه	توضیحات منبع زمین لرزه	شناسایی منبع زمین لرزه	
		حد اکثربزرگای مومنت(M)	نرخ لغزش گسل (SR) به ملی متردرسال (mm/year)
A	شکستگی ها یا (گسل) های که قابلیت بوجود آوردن حادثات بزرگ را دارا بوده وباعث نرخ بلند فعالیت های زمین لرزه ای می شود.	$M \geq 7.0$	$SR \geq 5$
B	تمام شکستگی های دیگر که شامل نوع زمین لرزه A و C نمی شود.	$M \geq 7.0$ $M < 7.0$ $M \geq 6.5$	$SR < 5$ $SR > 2$ $SR < 2$
C	شکستگی ها یا (گسل) های که قابلیت بوجود آوردن حادثات بزرگ را دارا نبوده وباعث نرخ پایین فعالیت های زمین لرزه ای می شود.	$M < 6.5$	$SR \leq 2$

موقعیت افغانستان درصفحات تکتونیکی

افغانستان اساساً بالای صفحه بزرگ تکتونیکی یورایشن (Eurasian) درمرزهای تصادم ان با صفحات تکتونیکی هند (India) وعربی (Arabian) درادامه کمربند کوه پایه های فعال همالیه که درنتیجه تصادم این صفحات تکتونیکی عرض وجود نموده است موقعیت دارد. بنا برآن افغانستان دریک منطقه فعال زلزلوی شدید قرارگرفته است.



نقشه 1 : موقعیت افغانستان روی صفحه تکتونیک یورایشن

با مراجعه به نقشهٔ فوق، دیده می شود که مرزهای فعال تصادم صفحات تکتونیکی هند، ایروایشین وعربی درخارج از جغرافیای افغانستان درشرق، جنوب و جنوب غرب درهمجواری آن در کشور های پاکستان و ایران قرارداشته و افغانستان را احاطه نموده اند. همچنان طوریکه دیده می شود در جنوب غرب پاکستان و جنوب شرق ایران یک منطقه فرو رانش یا جداشدهٔ که خط مشترک تصادم گسل دوصفحه تکتونیکی هند وعربی را نشان می دهد وجود دارد که بنام Makran subduction zone یاد میشود.

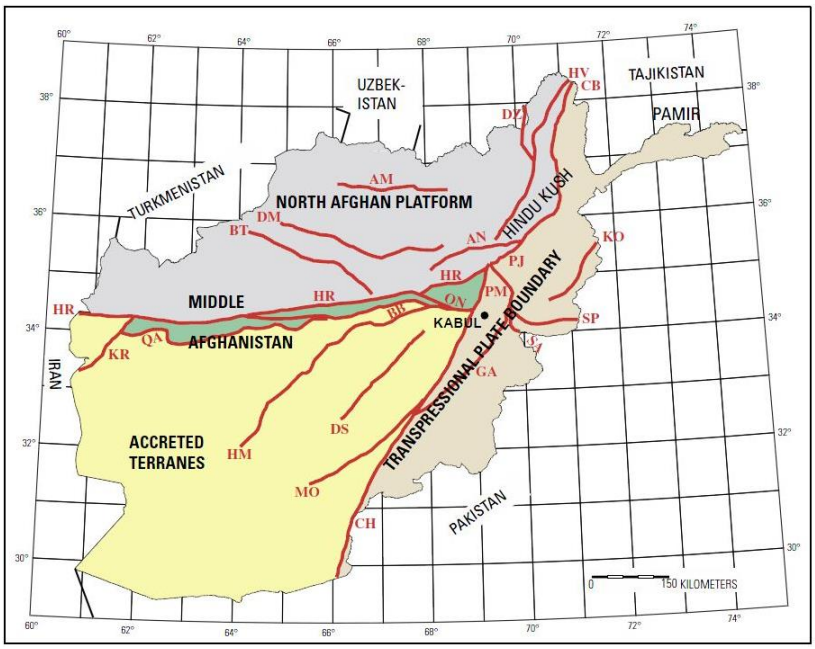
یک نوع ریخت مهم دیگرتکتونیکی دراین بخش جغرافیایی عبارت ازشکستگی طولانی بین دوسطح متفاوت، گسل چمن است که درنتیجه تصادم صفحات هند ویورایشین شکل گرفته است. این شکستگی یک سیستم لغزش عرضانی را درامتداد 1000 کیلومتردر پاکستان درجنوب شرق افغانستان بوجود آورده است که بیشترین حرکات متفاوت را بین صفحات هند وایروایشن بوجود می آورد. گسل چمن معروف است که حد اقل دومراتبه پارگی های را درطول تاریخ سبب گردیده است، اول در سال 1505 و بعد در سال 1892 میلادی. گسل چمن یک منبع مهم زلزلوی بوده ورانش آن بین 19 تا 24 ملی متردرسال می رسد که عامل تهدیدات مستقیم درصدمات ساختارهای مدنی و حیاتی افغانستان شده و درگذشته صدمات بزرگی را درمنطقه تحمیل نموده است.

درمورد آسیب پذیری افغانستان ناشی از زمین لرزه ها، اداره سروی جیلوجیکی ایالات متحده امریکا (USGS) به کمک اداره انکشاف بین المللی امریکا (USAID) چندین مطالعه تحلیلی را به ارتباط احتمال خطرات زمین لرزه ها برای افغانستان انجام داده اند. این مطالعات فقط به اساس دریافت مقادیراوج شتاب زمین (Peak ground acceleration –PGA) درمنطقه صورت گرفته که طیف

مقادیراوج شتاب زمین را با طیف زمانی 0.2 تا 1 ثانیه برای دوران بازگشت 475 سال، 975 سال و 2475 سال ارائه می دارد.

نوت: اوج شتاب زمین عبارت از شتاب اعظمی است که درجریان تکان های زلزله دریک منطقه اتفاق می افتد وبه حیث مقداراعظمی مطلق دروسایل شتاب نگارثبت می گردد. این شتاب بصورت مصنوعی (از روش ترکیبی اتصال شبکه های عصبی مصنوعی) برای تثبیت زون های زلزلوی شبیه سازی شده و نقشه های زون بندی زلزلوی به اساس آن ترتیب می گردد.

در نتیجهٔ این مطالعات، چنانچه در نقشه آتی نشان داده شده است، چهارصفحه به ترتیب ذیل درجغرافیای افغانستان مشخص شده است: تخت یا پلاتفورم (Platform) شمال افغانستان به رنگ فولادی، صفحه باریک و طویل وسط افغانستان به رنگ سبز؛ ساختارمخصوص اراضی که به پلاتفورم شمال پیوست گردیده است به رنگ زرد؛ و مرزانتقال صفحات هند و یورایشین به رنگ نخودی نشان داده شده است. علاوتاً گسل های فرعی داخلی افغانستان به رنگ سرخ (قرمز) مشخص گردیده اند:

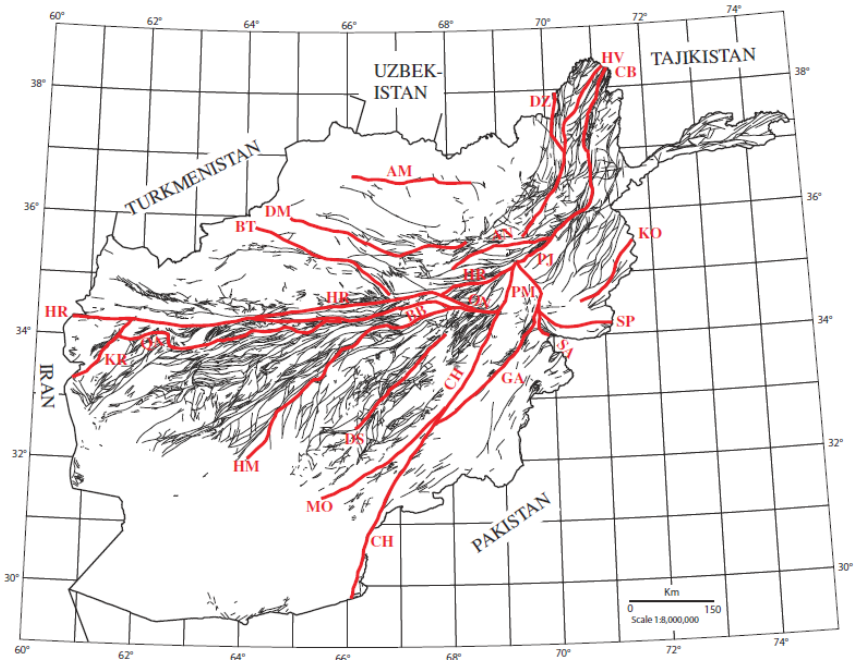


نقشه 2 : صفحات وگسل های داخل جغرافیای افغانستان

در نقشه بالا گسل های داخلی به ترتیب ذیل نام گذاری شده اند: AM - مارمول البرز، AN- اندراب، BB – بند بایان، BT – بند ترکستان، CH – چمن، CB – مرکزبدخشان، DS – درافشان، DZ – درواز، DM – دوسی میرزولان، GA – گردیز، HR –هریرود، HM – هلمند، HV – هنجوان، KR – کج رود، KO – کنر، MO – مقر، ON - ونی، PM – پغمان، PJ – پینجشیر، QA – فرغانا، SA – سروبی، SP – سپین غر.

بدین اساس طوریکه دیده می شود، درشمال شرق افغانستان درامتداد کوه های هندوکش و پامیرمنابع فعالیت های شدید وفعال زلزلوی قرار دارد. دراین مناطق زمین لرزه ها در کانون (ایپی سنتر) های عمیق و متوسط، بسیار زیاد اتفاق می افتد تا جاییکه حتی درسرزمین های همسایگان افغانستان نیز احساس می گردد. این ساحه یکی ازمناطقی زلزله خیزفعال جهان به حساب می رود.

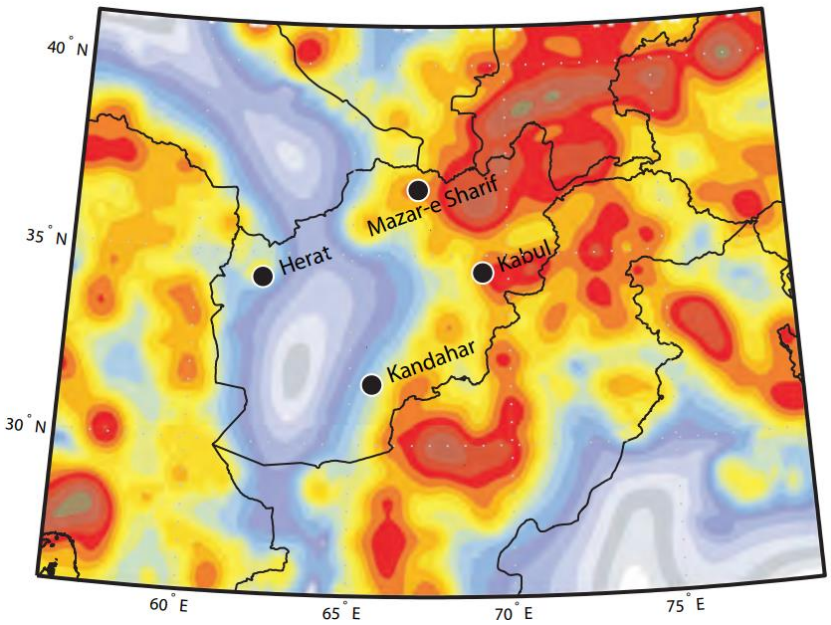
موجودیت چنین منابع فعال زلزلوی، خطرات ناشی ازحرکات زمین لرزه را درافغانستان خیلی بلند می برد، چنانچه آخرین زلزله ای که دربدخشان درسال 2017 اتفاق افتاد دارای بزرگی 7.6 مقیاس بزرگای ریکتر(M_W) moment magnitude با عمق کانونی 212.5 کیلومتر بود که سبب تلفات 399 نفر وزخمی شدن 2342 نفر وخسارات دیگرگردید.



نقشه 3 : موقعیت کوها و گسل های افغانستان

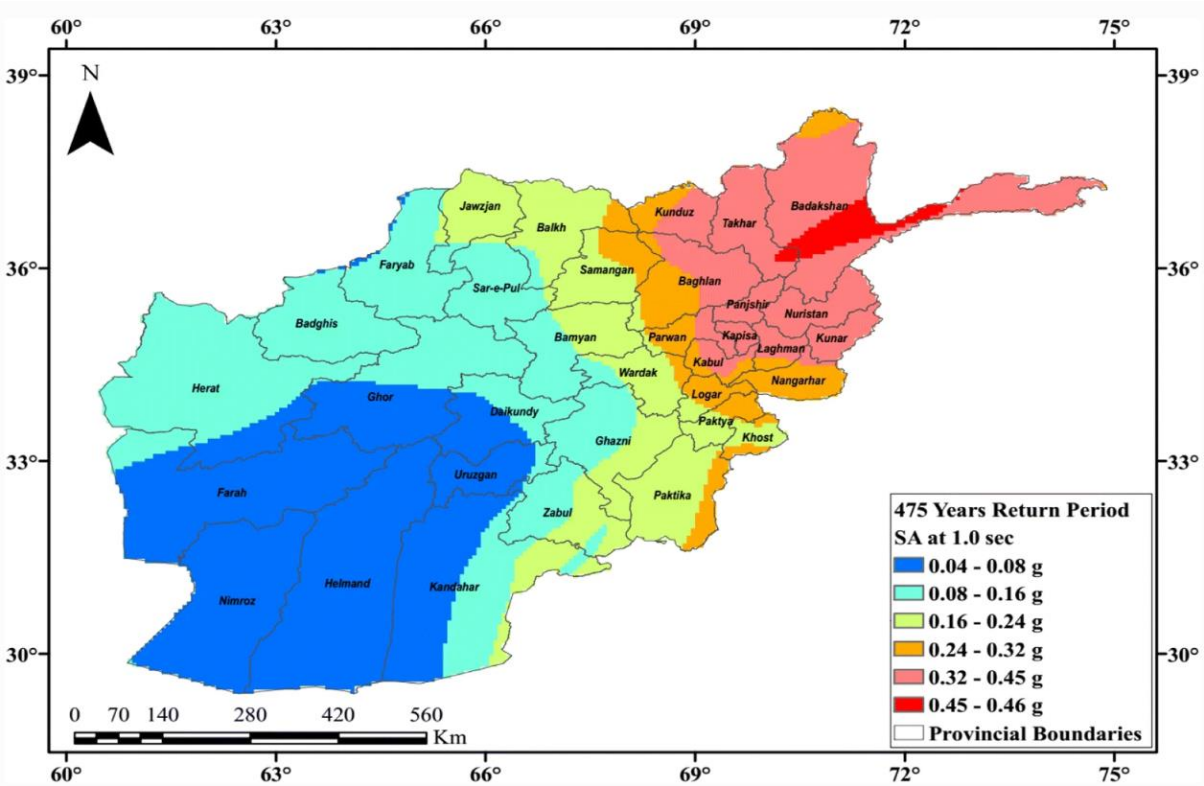
نوت : با وجود این همه خطرات زلزله، مطمین نیستم که مراجع علمی وجیولوجیکی افغانستان مطالعات خطرات زلزله را بیشترازاین انجام داده باشند. من متاسفانه بنا برعدم دسترسی به مراجع علمی و جیولوجیک افغانستان موفق نگردیدم تا مطالبی را ازداخل کشورکه اگر بیشترازاین باشد درزمینه ارائه دارم. احتمال زیاد موجود است که در زمان اشغال افغانستان توسط اتحاد جماهر شوروی سابق مطالعات و تحقیقاتی نیزانجام یافته باشد که نتوانستم به آنها دست رسی حاصل نمایم. باید ازغان کرد که درنوشتن این رساله هیچ یافته ای از منابع علمی و جیولوجیکی افغانستان استفاده نگردیده و صرف ازمنابع موسسات بین المللی غربی و بالخصوص سازمان سروی جیولوجیکی ایالات متحده امریکا استفاده گردیده است.

با مراجعه به نقشهٔ آتی که اداره سروی جیولوجیکی ایالات متحده امریکا موقعیت افغانستان را درجغرافیای منطقه نشان داده است، دیده می شود که بصورت کل، زون های زلزلوی تدریجی از شدید، قوی، متوسط، خفیف و ناچیز بوسیلهٔ تغییررنگ های سرخ تیره (قرمزتیره)، سرخ روشن، نارنجی ، زرد، فولادی وفولادی خفیف مشخص ساخته شده است.



نقشه 4 : موقعیت افغانستان درجغرافیای شدت زمین لرزه ها

بعد از تحلیل و ارزیابی های که (USGS-اداره سروی جیلوجیکی ایالات متحده امریکا) برای دریافت (Peak ground acceleration -PGA) یا مقادیراوج شتاب زمین لرزه با طیف زمانی 1.0 ثانیه را برای دوران بازگشت 475 سال انجام داده است، نقشه ذیل را که مشخص کننده درجات شتاب زمین لرزه دربخش های مختلف افغانستان است ارائه نموده است .



نقشه 5 : نقشه زون بندی زلزله افغانستان ارائه شده توسط اداره سروی جیولوجی امریکا

یافته های اداره سروی جیولوجیکی ایالات متحده امریکا را از نقشه فوق با زون بندی های استندرد زلزلوی که درکدُ ساختمان بین المللی (جدول A-4) مشخص شده است مقایسه نموده درمی یابیم که مناطق رنگ آبی شامل زون 1، رنگ فیروزه ای شامل زون 2A، رنگ پسته ای شامل زون 2B، رنگ نارنجی شامل زون 3 و رنگ شیرچایی شامل زون 4 زلزلوی می باشند (به جدول A-4 مراجعه شود). پس شهرکابل در زون زلزلوی 4 قراردارد و این مطابقت می کند به تقسیم زون بند ی شهرهای عمده جهان، که زون زلزلوی کابل را 4 مشخص نموده است.

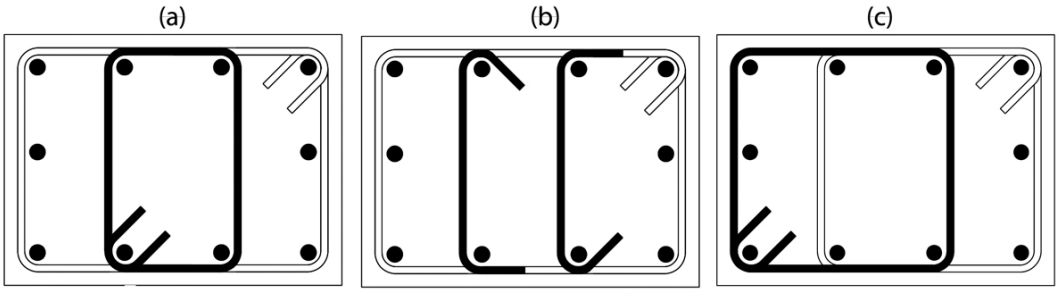
World Seismic Zones

Country/City	Seismic Zone
Afghanistan - Kabul	4
Albania - Tirana	3

درارزیابی های اوج شتاب برای بازگشت 475 سال (به نقشه 5 مراجعه شود) رنگ قرمزدریک ساحه محدود درشمال شرق-غرب پامیر نشان داده شده است که دراین زون نباید سختمان صورت گیرد ویا آن منطقه را باید بصورت خیلی محافظه کارانه زون 4 درنظرگرفت. این ساحه درارزیابی های که اوج شتاب برای بازگشت 975 سال صورت گرفته به حیث زون 4 مشخص شده است.

جدول (A-4): مقایسه زون بندی نقشه اداره جیلوجیکی امریکا با زون بندی کُد بین المللی ساختمان

زون بندی های استندرد زلزلوی به اساس کُد بین المللی ساختمان (IBC)		مقادیراوج شتاب درمناطق مختلف افغانستان به اساس USGS	
زون	مقدارشتاب	مناطق	اوج شتاب زمین
Zone 0	0.0g		
Zone 1	0.075g		از 0.04g تا 0.08g
Zone 2A	0.15g		از 0.08g تا 0.16g
Zone 2B	0.20g		از 0.16g تا 0.24g
Zone 3	0.30g		از 0.24g تا 0.32g
Zone 4	0.40g		از 0.32g تا 0.45g
			از 0. 45g تا 0.46g



در زون 4 زلزلوی، ترجیح داده شود تا سیخ بندی عرضانی دارای خم 135 درجه باشد.

انجنیری زلزله (زمین لرزه)

انجنیری زمین لرزه مجموعهٔ ازدانش ها و فنون گوناگونی است که حول اهداف حیاتی مربوط به مطالعه، دیزاین، اجراء ، کنترول و نگهداری انواع ساختمان ها و سازه های عمرانی مقابل تاثیرات قوه های ناشی ازوقوع زلزله های احتمالی چرخیده وبرای حصول اطمینان هرچه بیشترحداقل خسارات وارده، سعی به خرج می دهد. پس باید در نظر داشت که:

1- قوه های ناشی اززلزله به صُورمختلف اززمین وارد ساختمان میشوند، در حالیکه بارهای معمولی قابل انتظارساختمانی درطول عمریک ساختمان، اغلباً به صورت قایم یا عمودی عمل نموده و توسط عناصرعمودی به تهداب انتقال ووارد زمین می گردند.
2- بارهای مورد انتظارمربوط به خدمات هرروزه وعادی یک ساختمان، تقریباً همیشه و درتمامی مدت عمر آن عامل می باشند، درحالیکه بارزلزله درطول عمرهمان سازه ممکن است درآن منطقه حتی برای یک بارهم رخ ندهد.

فلسفهٔ دیزاین و اجراء

بنا برخصوصیات و ویژگی های بالا؛ چنانچه تصمیم بگیریم که ساختمان ها را کاملاً مقاوم و پاسخگو در مقابل زلزله های مهیب طراحی واعمارنمائیم، مقادیرهنگفت مصالح ساختمانی، امکانات فنی و مالی اضافی مصرف خواهد گردید که شاید درغیرآن درعمل هرگزمورد نیاز نباشد. بنا براین فلسفه، باوجودیکه درطراحی، دیزاین واجرای اغلب ساختمان ها تحمل خرابی ها و آسیب های احتمالی را از اثرزمین لرزه ها، خیلی کم مورد تجویز قرارمی دهیم، ولی بازهم همواره درپی آموختن وبه کارگرفتن شیوه ها و تکنیک های می باشیم که ازفروریختن کامل ساختمان ها حتی در شرایط نسبتاً خیلی بحرانی جلوگیری بعمل آید.

از لحاظ انجنیری، دردیزاین یا طراحی یک تعمیریا یک سازهٔ ساختمانی برای تحمل بارهای زلزلوی، درقدم اول نگرانی های ایمنی درجریان یک زلزله بزرگ مطرح می باشد. درقدم های بعدی دوام قابلیت اجرائی هدف ساختمان (سرویس دهی آن) و قابلیت استفاده ونهایتاً پوتنسیل ازدست دادن ارزش اقتصادی آن درجامعه درنظرگرفته می شود.

برای دیزاین یک ساختمان که تحمل بار زلزله را کرده بتواند، به فهمی ضرورت است که آن ساختمان باید با انعطاف نا پذیری بزرگ، دوران تغییرشکل را تحمل کرده بتواند.عمل یک ساختمان تحت تاثیر قوه های زلزله کاملاً متفاوت ازعمل آن تحت تاثیر قوه های باد و وزن عمودی خود ساختمان می باشد. بنا برآن ضرورت است تا به تحلیل های اضافی درجزیات وبکاربردن ارزیابی های سختگیرانه پرداخته شود تا اطمینان حاصل شود که تحمل ساختمان خارج ازحدود ارتجاعیت آن تضمین گردد.

اذغان باید کرد که، زمانیکه یک ساختمان حرکات وتکان های ناشی از زمین لرزه را تجربه می نماید، یک مقدار صدمات هم قابل انتظار می باشد و بدین اساس است که تقریباً تمام کُد ها تاثیرعمل انرژی انعطاف ناپذیررا به صورت پراگنده در سیستم های ساختمانی اجازه می دهند. به عبارت دیگر تمام کُدها زمینه ای برطرف سازی انرژی غیرالاستیکی سیستم های ساختمانی را توصیه و فراهم می کنند. بصورت سنتی تحلیل های زلزلوی ودیزاین ساختمان ها توجه خاصی رادرجهت تقلیل خطرات ازدست دادن حیات درجریان وقوع یک زلزله شدید معطوف می دارند. به منظوربدست آوردن این هدف، بنیاد

توسعه کُدهای ساختمانی، براساس تجارب تاریخی عمل کرد ساختمان ها، کمبودها یا نواقص آنها در جریان وقوع زلزله وبعد آن استوارمی باشد، تا برپایه هدف تضمین حفاظت حیات، ازسقوط ساختمان ها تحت اثرات شدید زلزله های که درساحه مورد نظرانتظارمی رود، با درنظرداشت دوام عمر ساختمان ها جلوگیری بعمل آمده بتواند. این مقررات کُد ها، بربنیاد مفکورۀ اجرای موفقیت آمیزعمل یک ساختمان دریک ساحه زلزله خیز مربوط می شود به: ترکیب یا تلفیق مقاومت ساختمان، ایجاد دکتایلیتی ساختمان، وبوجود آوردن تعادل دراتصالات عناصر داخلی مقاومت کننده قوه های جانبی.

قابل تذکر است که درساحات زلزله خیز خفیف، ضرورت دکتایلیتی ساختمان ها میتواند به اندازۀ قابل ملاحظۀ تقلیل یابد. درچنین ساحات دربعضی موارد مقاومت ساختمان جاگزین دکتایلیتی می گردد، طوری که سیستم مقاومت کننده عرضانی ساختمان حتی به اندازه خیلی کوچک میتواند بصورت عالی کاردهد درصورتیکه هیچگاه بالاترازتحمل مقاومت ارتجاعی آن نباشد.

تقریباً تمام کُد های ساختمانی حدود یا سه هدف ذیل را برای دیزاین ساختمان های جدید تحت عمل زمین لرزه ها مشخص می سازند:

1- کاهش جدی خطرازدست دادن حیات در تمام ساختمان ها.
2- ازدیاد ایفای نقش قابلیت سرویس دهی قابل انتظارساختمان های که احتمال خطرات برای عامه متصوراست مانند تعمیرات رهایشی و دیگر ساختمان های مورد استفادۀ روزانۀ عامه.
3- توسعه توانایی ها و امکانات ضروری قابلیت سرویس دهی یک ساختمان بعد ازوقوع زلزله.

دراکثرساختمان های که تحت اثرزمین لرزه های متوسط تا شدید قرارمی گیرند، بصورت اقتصادی تامین مقاومت زلزله طوری اجرا می گردد که قابلیت انعطاف پذیری بعضی عناصردرآن ها اجازه داده شود. درمجموع غیرقابل عملی وغیراقتصادی است که یک ساختمان طوری دیزاین گردد تا جواب گوی قوه های اعظمی زلزله در حد الاستکیت قابل انتظارباشد.

بنابرآن، دردیزاین زلزله، انعطاف پذیری دربعضی عناصرمشخص شده، ویا درموقعیت های مشخص ساختمان اجازه داده می شود، البته این همراه با مجوزه ای است که بعد از یک زلزلۀ قوی توانایی عناصر تحمل کننده قوه های عمودی آن پا برجا مانده بتوانند. اما درحالات دیگربرای ساختمانی های مخصوص مانند تاسیسات اتمی (نیوکلیر) انعطاف پذیری نمی تواند به هیچ صورت اجازه داده شود و چنین ساختمان ها باید الستکیت داشته باشد.

ساختمان های دارای اهمیت اشد ضرورت (بحرانی) مانند شفاخانه ها، استیشن های آتشفشانی، تاسسیات انرژی و برق وتاسیسات مخابراتی و امثال آنها باید نتنها بدون تخریب یا سقوط پابرجا بمانند بلکه استفاده و سرویس دهی آنها درجریان زلزله نیزادامه داشته باشد. به عبارت دیگر، این ساختمان ها علاوه ازقابلیت ایمنی حیات، قابلیت کنترول تخریب را در جریان زلزله وبعد از آن نیزداشته باشند.

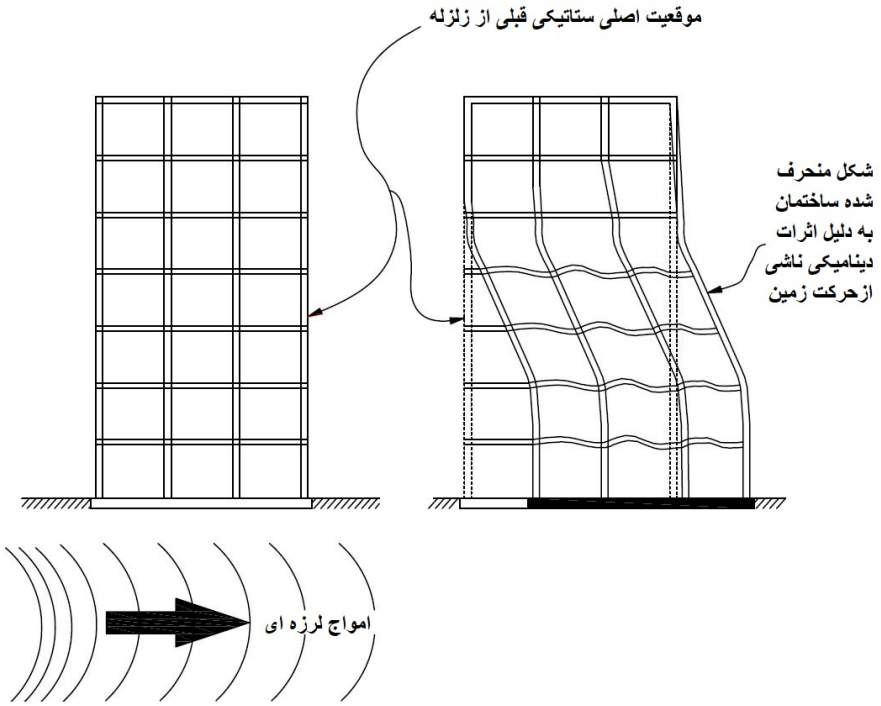
بصورت عموم تقریبا تمام کُد های ساختمانی تاکید ومقررمی دارند که تمام ساختمان ها توانایی های مقاومتی ذیل را دارا باشند:

1- بدون صدمه دربرابرزلزله های خفیف پا برجا باقی بمانند.
2- صدمات ساختمانی وغیرساختمانی نا چیزی دربرابر زلزله های متوسط داشته باشند.

3- دربرابرزلزله های شدید با برخی ازصدمات ساختمانی وغیرساختمانی بدون سقوط پا برجا مانده وتوقع برآن باشد که بعضی عناصرساختمانی آن تحت شرایط تغییرشکل پذیری یا انعطاف پذیری نسبتا بزرگ قرارخواهند گرفت.

دردیزاین یا طرح یک ساختمان دربرابرزلزله بسیارمهم است که بین قوه های عامل بالای ساختمان ازاثر باد و زلزله تفکیک به وجود آید. قوه های زلزله مستقیما سبب کجی، تغیرشکل وانحراف ساختمان در طبقات آن ازاثرحرکات زمینی که ساختمان بالای آن قرار گرفته است می شوند. بنا برآن مقدارو تقسیم قوه ها، وتغییرموقعیت یا حرکت ساختمان ازاثرحرکت زمین لرزه تحت تاثیردارای های ساختمان، تهداب وهمچنان کرکترحرکت زمین لرزه قرارمی گیرند.

برای اینکه تصوری بوجود آید، که یک ساختمان درجریان زمین لرزه چه تجربه ای را می گذراند به شکل ذیل مراجعه نمایید.



شکل 2 : رفتار(عمل یا عکس العمل) یک تعمیردراثنای زلزله

درجریان زلزله، زمینی که ساختمان بالای آن قراردارد، شروع به لرزش وحرکت نموده و قاعدهٔ ساختمان نیزمطابق به جهت آن حرکت می کند ولی قسمت بالائی قاعدهٔ ساختمان بی میل، نمی خواهد حرکتی را انجام دهد، زیرا انرشیای وزن یا کتله ساختمان، آن حرکت را مقاومت نموده ومانع می شود، که درنتیجه سبب می شود تا ساختمان کج گردد. سپس، این موج کج کننده به امتداد ارتفاع ساختمان حرکت کرده وادامه تکان های قاعده سبب می شود که تعمیرتحت تاثیریک سلسله نوسانات مغلق قرارگیرد.

باوجودیکه قوه های باد و زلزله بصورت بنیادی و اساسی قوه های دینامیکی اند، ولی تفاوت های عمده درعمل آنها بالای ساختمان وجود دارد. قوه های باد به حیث قوه های خارجی واز لحاظ خصوصیت متناسب به سطح خارجی ساختمان عمل می کنند، در حالیکه قوه های زلزله در پرنسیپ قوه های داخلی اند که از نتیجه کج شدن و مقاومت توسط قوه های انرشیای ساختمان درجریان زمین

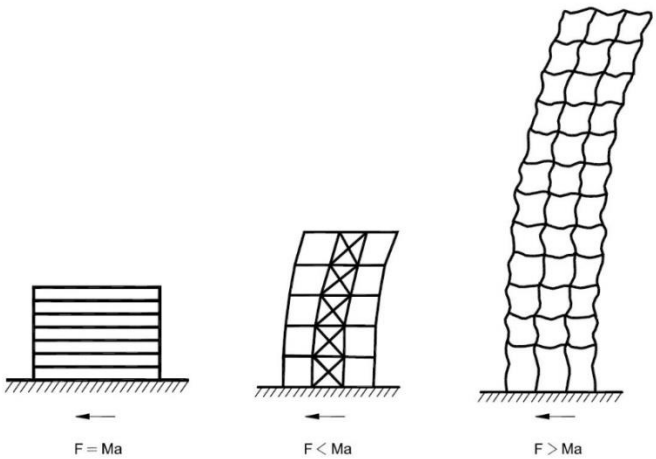
لرزه بوجود می آیند. پس مقدارقوه های زلزله عبارت عمل کتله ساختمان است عوض آنکه عمل سطح خارجی آن باشد. دردیزان یک ساختمان، دربرابرقوه های باد هدف بزرگ تامین ایمنی ساختمان بواسطه ایجاد بخش های سنگین تا مین می گردد، درحالیکه دردیزاین زلزله ضرورنیست که این کاربرد ساختمانی، ایمنیی را ایجاد نماید. بنا برآن برای طراحی و دیزاین یک ساختمان در مقابل قوه های زلزله مراتب ذیل باید مطرح باشد :

رفتار(عمل یا عکس العمل) ساختمان (Building Behavior)

رفتاریک ساختمان درهنگام وقوع زلزله پرابلم تکان ها می باشد. درحقیقت، حرکت لرزه وی زمین مانند پرتاب یا اصابت یک توپ، یا فشارمنظم شدید خارجی چون باد سبب صدمات ساختمان نگردیده، بلکه قوه های انرشیای تولید شدهٔ داخلی که ازنتیجه اهتزازات کتلهٔ ساختمان به وجود می آید سبب صدمات می گردد. باید متذکرشد که ازدیاد کتلهٔ یک ساختمان دواثرغیرخواستنی را دردیزاین آن دربرابر زلزله بوجود می آورد:

درقدم اول تزیید قوه های ستاتیکی را بارآورده، ودرقدم دوم میتواند سبب کمان شدن (buckling)، یا تخریب پایه ها و دیوارها طوری گردد که با آمدن فشارکتله ازبالا به پایین، اجزای عناصرعمودی خمش شکل کمان را پیدا نموده وتحت تاثیر قوه های جانبی انحنا نموده و ازحالت شاقلی (عمودی) بیرون گردند. این تاثیر بنام اثر یا عامل $p\Delta$ (بعداً توضیح گردیده) نامیده میشود. بنا برآن هر قدر که حرکت یک ساختمان به دلیل $p\Delta$ بیشترشود همواره قوای عمودی سبب فروپاشی آن تحت تاثیر زلزله می گردد. باید گفت که به ندرت یک ساختمان فرومی پاشد، ولی درعوض می افتد. بنا برآن توزیع تغییرشکل دینامیکی که ازاثرحرکت زمین لرزه ودوام آن به وجود می آید موجب نگرانی عمده در دیزاین زلزله می با شد.

بصورت عموم، ساختمان های بلند منزل عکس العمل مغلق تری را درمقابل زلزله نسبت به ساختمان های کم ارتفاع یا کم منزل نشان میدهند. میزان قوه های انرشیا که توسط یک ساختمان درجریان زلزله تحمل می شود مربوط است به: کتله ساختمان، تعجیل یا شتاب زمین، طبیعت ساختمان تهداب و خاصیت دینامکی خود ساختمان.



شکل 3: نمایش نموداری یا ترسیمی قوه های زلزله

به اشکال بالا مراجعه شود :

1 - اگریک ساختمان و تهداب آن بی نهایت سخت و سفت باشد(شکل چپ). دراین صورت قوه انرشیای ساختمان مساوی به حاصل کتله وشتاب می باشد. قوۀ انرشیای F برای شتاب a میتواند توسط معادله قانون دوم نیوتن $F = Ma$ محاسبه شود که در اینجا M عبارت از کتله تعمیرمی باشد.

2 - برای ساختمان های که اندکی انحنا یا تغییرشکل می دهند (شکل وسط) درحقیقت این ساختمان یک مقدارانرژی را جذب نموده وقوۀ F تمایل می داشته باشد که کمترازحاصل کتله و شتاب باشد.

3 - تعمیرات بلند که دارای انحنا یا تغییرپذیری زیاد می باشند (شکل راست) بصورت عموم مقدار کمترشتاب را نسبت به تعمیرات کم ارتفاع تجربه می نمایند و قابلیت انحنا پذیری آن ها تحت تا ثیر حرکت زمین، دوام دارترشده می رود و درنتیجه میتوانند قوه های بزرگتری را نسبت به دوران طبیعی ارتعاش (Natural Period) تجربه کنند. بنا برآن تنها مقدارقوه جانبی عامل ازدیاد شتا ب زمین نبوده بلکه به مقدار زیاد تحت تاثیرنوعیت عکس العمل خود ساختمان ، تهداب و دیوارهای آن قرار می گیرد. این ارتباط متقابل رفتار ساختمان و حرکت زمین لرزه نیزبستگی دارد به دوران ارتعاش یا اهتزاز که درطیف پاسخ ساختمان فرمول بندی شده و بعداً بحث خواهد شد.

برای وضاحت موضوع به حیث یک مثال، رفتار یا عمل یک ساختمان 30 طبقه ای را در جریان یک زلزله درنظر می گیریم. با وجودیکه حرکت لرزوی زمین نا منظم و سه جهته می باشد، اما مرکبه های افقی ان دردو جهت قایم به یکدیگرمهمترین آنها اند.

دوران اساسی ارتعاشی (اهتزاز) (Fundamental Period) یک بلند منزل یعنی قیمت T_1 عبارت ازعمل سختی، کتله (وزن) وخصوصیت دمپنگ آن می باشد (به توضیح دمپنگ مراجعه شود)، که این دوران میتواند با دامنه های مختلف و متفاوت از 0.05 تا 0.30 ضرب تعداد طبقات آن باشد. علاوتاً مربوط است به مواد ساختمانی وانتخاب سیستم دیزاین ساختمان. به حیث تقریب اولیه؛ دوران ارتعاش یک ساختمان با چوکات فلزی، تقریبا مساوی به 0.15N است. که در اینجا N تعداد طبقات میباشد. پس بدین اساس برای یک ساختمان 30 طبقه ای دوران اساسی اهتزاز 4.5 ثانیه توام با دو دوران بلند بعدی دیگر T_2 وT_3 میباشد. قیمت های T_2 وT_3 بصورت تقریبی 1/3 و 1/5 قیمت T_1 بوده میتوانند. بدین ترتیب حالات دوم و سوم ارتعاش ساختمان 30 طبقه ای 1.5 و 0.9 ثانیه خواهد بود. خیلی مهم است که دانسته شود که درجریان چند ثانیه اولیۀ زلزله؛ شتاب زمین لرزه به حد اعظمی خودمی رسد، و بصورت نسبی همراه است با دوران های کوتاهی از 0 تا 0.5 ثانیه که اینها تاثیر کمی درعکس العمل ساختمان می داشته باشند. اما ادامه دوران طویلتری که درانجام زمین لرزه اتفاق می افتد ، همراه است با دورانی که نزدیک تربه دوران اساسی بوده وتاثیرعمیقی را درعکس العمل و رفتار ساختمان بوجود می آورد.

با درنظر داشت این اصل ، شدت یک زمین لرزه با فاصله ازکانون یا ایپی سنترآن کاهش می یابد که این تقلیل بنام کاهش تضعیفی یاد می شود ولی طوری اتفاق می افتد که اول زمین لرزه به میزان سریع با فریکونسی بلند (دوران کوتاه) وبعد با میزان فریکونسی پایین (دوران طویل) عمل می کند. تا حال دلیل این ترتیب اتفاق میزان تظعیفی دانسته نشده اما وقوع آن حتمی می باشد. این یک فکتور خیلی مهم در دیزاین تعمیرات بلند منزل نسبت به تعمیرات کم منزله است زیرا تعمیرات بلند منزل با وجودیکه

شاید در فاصله های دورتر قرارداشته باشند ممکن است بارهای لرزه ای بیشتری را به دلیلی که مرکبه دوران طویل به سرعت مرکبه دوران کوتاه تضعیف نمی گردد تجربه کنند.

علاوه ازملاحظات بالا باید عوامل دیگری را که درجریان وقوع زلزله بالای تعمیرات تاثیرگذارمی باشند درطراحی ودیزاین تعمیرات موردنظروارزیابی قرارداد.

تا ثیر خاک (Infuence of Soil)

زمانیکه حرکت لرزه ای زمین به سطح زمینی که یک ساختمان بالای آن اعمار گردیده می رسد، تحت تاثیر شرایط ترکیب و ساختمان خاک آن محل قرارمی گیرد. لایه های زیرسطحی خاک بستر تهداب یک تعمیرمیتواند پاسخ آن ساختمان را درمقابل حرکت منتشرشده زمین لرزه دربستر تقویت کند. امکان دارد که تعداد لایه های خاک دارای عین دامنه اهتزازات خود ساختمان باشد.

ساختمان های دارای ارتفاع متوسط و پایین دارای حدود دوران اهتزاز بین 0.10 تا 1.0 ثانیه اند، درحالیکه ساختمان های بلند وزیادترانعطاف پذیر، دارای دوران اهتزاز بین 1.0 تا 5.0 ثانیه یا بالاتر از آن بوده می توانند. خاک های سخت وسنگی بصورت موثراهتزازات دوران کوتاه را انتقال داده وهمزمان اهتزازات دوران طویل را فلترمی نمایند. خاک نرم، لرزش دوران طولانی تری را انتقال داده و میتواند اهتزازات را خیلی به خوبی به خاک های نرم ترانتقال دهد.

دوران طبیعی اهتزازت خاک ها بین 0.5 تا 1.0 ثانیه می باشد، بنابرآن خیلی امکان دارد که زمین و ساختمان دارای عین دوران طبیعی اهتزاز باشند، و این مطابقت می کند با نتایجی که در سال 1985 درمورد اکثرساختمان های 5 تا 10 طبقه ای حاصل گردیده است. بهترین استراتیژی آنست که یقین حاصل شود تا دردیزاین، دوران اساسی خاک و ساختمان متفاوت فرض گردند.

دمپنگ (Damping) (فرایند خاموشی حرکت نوسانی)

Damping - خاصیتی است که سبب کاهش دامنهٔ نوسان می شود. به عباره دیگر پدیده ای است که باعث می شود دامنهٔ حرکات ارتعاشی یا اهتزازی یک جسم در سیستم های مکانیکی به تدریج کاهش یافته و محو شوند.

میزان دمپنگ یک ساختمان مربوط است به مواد ساختمانی، نوع اتصالات ، نقش و خاصیت عناصرغیرساختمانی درسختی آن. اندازه گیری دمپنگ به اساس مقدار فیصدی دمپنگ بحرانی صورت می گیرد.
دمپنگ ساختمان ها تحت تاثیرتعدادی ازعوامل خارجی و داخلی قرار می گیرد به شمول:
دمپنگ چسپناکی خارجی که توسط هوای اطراف ساختمان سبب می شود. ازآنجایکه چسپناکی هوا خیلی پایین است از تاثیر آن صرف نظر می شود.
دمپنگ چسپناکی داخلی که وابسته به چسپناکی مواد ساختمانی می شود ومتناسب به سرعت وتزیید تناسب فریکانس دوران طبیعی ساختمان افزایش می یابد.
دمپنگ اصطکاکی که در اتصالات و نقاط اتکایی عناصریک ساختمان صورت می گیرد. این دمپنگ صرف نظراز سرعت یا مقدار تغییر موقعیت (تغییرمکان) ثابت است.

دمپنگ آشفته (Hysteretic) که به بخش عمده ای انرژی جذب شده درساختارهای دکتایلتی تعلق می گیرد.
خصوصیات دمپنگ دریک ساختمان الگوی مشترک برای چگونگی فرایند خاموشی حرکت نوسانی درهنگام انعطاف پذیری آن بوده و بستگی به فریکانس ارتعاشی دارد.

دمپنگی که درعمل استفاده میشود بین 1% تا 10% حالت بحرانی آن است که حد پایین آن برای عامل باد وحد بالایی آن برای عامل زلزله بکاربرده می شود.

تکان و انحراف ساختمان

حرکات یا تکان های ناشی از زمین لرزه ها همواره خشن ترو حراس انگیز تراز حرکاتی است که از طوفان های بادی بالای یک ساختمان تحمیل می گردد. طوفان های باد قبلا پیش بینی شده ومیتواند موجب ناراحتی انسان ها گردد، ولی حرکات زلزلوی غیر قابل پیش بینی بوده وکاملاً واکنش متفاوت انسانها را برانگیخته می سازند زیرا: اول اینکه زلزله نسبت به طوفان بادی کمتر اتفاق می افتد. ودوم اینکه زلزله ناگهانی و بصورت عموم خیلی کوتاه اتفاق افتیده واهتزازات یا حرکاتی را به وجودمی آورد که سبب ترس و درنهایت صدمات ایمنی انسانها می گردد. افرادی که زلزله را تجربه می کنند، سپاسگذارآن می باشند که ازاین آسیب جان سالم به در برده اند و تمایل بیشتری به انتقاد ازحرکت یا لرزش ساختمان ندارند. بنا برآن حرکت وانحراف یک ساختمان ناشی اززمین لرزه ایمنی است نه یک پدیده ناراحت کننده انسان ها.

انحراف جانبی که دریک ساختمان درهنگام زلزله رخ می دهد باید برای جلوگیری ازایجاد تشنج درعناصر ساختمانی و اجزای مهندسی آن محدود بماند، به عبارت دیگر قمست های غیربار بردار، دیوارهای خارجی ، کلکین های شیشه ای باید با جوف های حرکتی کافی و اتکا های قابل انعطاف دیزاین شوند که مطابقت با حرکات وانحرافات احتمالی ساختمان داشته باشند.

رانش یا کجی ساختمان

رانش یا (لغزش) یک ساختمان عبارت ازتغیرموقیعت یک طبقه نسبت به طبقه پاینترآنست. کنترول رانش دریک ساختمان یک امرضروری است تا صدمات احتمالی را به پارتیشن های داخلی، محدوده ها (هسته) های زینه ها و لفت ها وهچنان سیستم روکش ها ی داخلی یا خارجی محدود ساخته و کمترین سازد.

مجموع رانش یک تعمیرعبارت ازتغییرمطلقهٔ موقعیت یک نقطه آن درارتفاع نظربه قاعدهٔ آن می باشد. تعمیرات مجاوروسکشن های مجاورنباید در احتمال تصادم با یکدیگر قرار گیرند. فاصله تعمیرات و درزها طوری ایجاد گردند که ساختمان ها را اجازه دهند بصورت منفردانه درجریان حرکت های ناشی اززلزله عمل نمایند.

مفهوم دیزاین زلزله

دیزاین موثریک ساختمان دربرابرزلزله به طورکلی شامل قدم ها، مراحل و ارزیابی های ذیل می باشد:

پاسخ یا عکس العمل ساختاری:

قبلاً درمورد رفتاریا عکس العمل یک ساختمان درمقابل قوه های زلزله صحبت شد.
دریک رویداد زمین لرزه، زمانیکه اساس یا قاعدهٔ یک ساختمان بصورت آنی حرکت کند، قسمت بالاییی آن فوراً عکس العمل نشان نداده و به دلیل مقاومت انرشیایی و انعطاف ساختمان تاخیرمی کند.
دراین لحظات تنشها وانحرافات ایجاد شده درساختمان به همان مقدارطوری باقی می مانند که گویا اساس یا قاعده تعمیرثابت درجای خود قرار دارد، ولی با تغییرسریع زمان قوه های افقی به قسمت های بالایی ساختمان وارد می شوند.
این قوه ها بنام قوه های انرشیایی نامیده شده و مساویست به حاصل ضرب کتله ساختمان و شتاب زمین لرزه :

$$F = M\,a$$

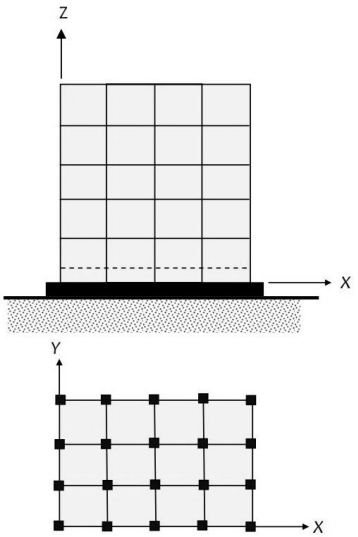
دراینجا:
F - قوه انرشیا یا قوه پیامد زلزله .
M - کتله یا وزن ساختمان.

$$M = \frac{W}{g}$$

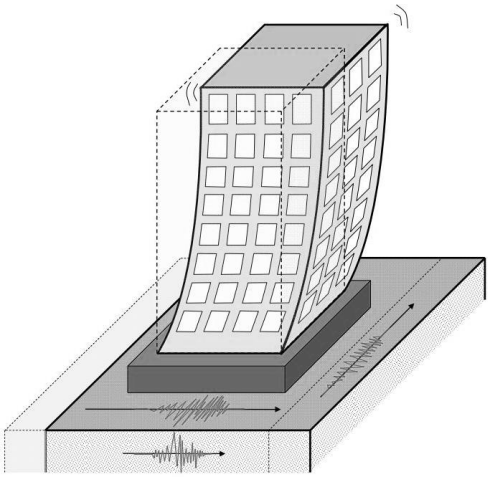
a - شتاب زمین لرزه.
بعد ازوضع قمیت M ، درمعادله فوق آنرا میتوان چنین نوشت:

$$F = W\left[\frac{a}{g}\right]$$

حرکت زمین لرزه سه جهته می باشد یکی به امتداد عمودی یا ارتفاع ساختمان (Z) و دوی دیگردر جهات افقی (X) و(Y). بنا برآن درجریان وقوع زلزله، یک ساختمان در سه جهت تغیر شکل می نماید، ولی ازآنجایکه، مقاومت کافی دربرابر قوه های عمودی معمولاً توسط ظرفیت های عناصرتحت بارهای عمودی تامین می گردد، درروش تعادل ستاتیکی، حرکات افقی زمین لرزه درنظر گرفته شده و از تاثیرات حرکات عمودی چشم پوشی می گردد.



شکل 4 : جهات مرکبه های قوه های زلزله



شکل 5 : تغییرشکل ساختمان درجریان اهتزازت لرزوی

لازم به تذکراست که پیکربندی یا طرزقرارگیری قسمت ها مختلف ساختمان ها بایست جداً درنظر گرفته شود وتفکیک غیرمنظم بودن آنها براساس رهنمایی های جدول های A-5a و A-5b صورت گیرد.

مسیر بارزلزله:

در دیزاین زلزله باید مسیربارهای زلزله فهمیده شود. میدانیم که تعمیرات متشکل ازعناصرعمودی و افقی می باشند.

عناصرعمودی که انتقال دهندهٔ قوه های جانبی زلزله به زمین می باشند عبارت اند از: دیوارهای برشی، چوکات های مهاربند شده (Braced Frames) ، و چوکات های مقاومت مومنتی.

عناصر افقی، تقسیم کننده قوه های جانبی بالای عناصرعمودی اند که شامل: دایافرام ها از قبیل سلب های بین طبقات و پوشش، مهاربند های افقی و انتقال دهنده های قوه های برشی بزرگ به عناصر عمودی درشرایطی که دیوارها یا مهاربند ها ادامه نداشته باشند.

قوه های لرزه وی یا زلزله متناسب به کتله عناصر یک ساختمان درمراکزثقل کتلهٔ آنها عمل می کنند. بدین ترتیب تمام قوه های انرشیا که از اثر اوزان بوجود می آیند بایست بالای عناصرمقاومت کنندهٔ قوه های جانبی وبعد به اساس یا تهداب ونهایتاً به زمین انتقال داده شوند. خوب ترین راهی که مارا دراین راستا کمک می کند این است که ازخود پرسید که قوه های انرشیا که دراینجا بوجود می آیند درکدام نقطه ایجاد گردیده و در کجا انتقال می یابند (درنقطه برشی اساس یا قاعده معمولاً بالای سطح تهداب).

انتظارحرکات لرزه ای:

قوه های زلزله مستقیما ازانحرافات (یا کجی) ساختمان درنتیجه حرکت زمین ازحالت آرامش به بوجود می آید. حرکت اساس یا قاعده یک ساختمان بواسطه تغییرموقعیت، سرعت و شتاب مشخص می شود که ازلحاظ جهت ، اندازه ، مدت و ادامه نا منظم می باشند. قبلاً تذکرداده شد که بارهای زلزله عبارت از قوه های انرشیایی است که مربوط است به کتله، سختی ، و جذب انرژی (دمپنگ و دکتالیتی). دریک زون فعال زلزلوی درطول عمر یک ساختمان، انتظارمی رود که خیلی زلزله های

کوچک، بعضاً زلزله های متوسط ، و یا یک یا چند مراتبه زلزله های بزرگ و شاید هم یک زلزله خیلی شدید اتفاق بیفتد. بنا برآن غیراقتصادی خواهد بود تا ساختمان درحد الاستیکیت آن دیزاین شود. تحت اثرزلزله های شدید، اکثراً تعمیرات قسمی دیزاین می شوند که حد اقل، برخی ازاعضا یا عناصر آن انعطاف پذیری راتجربه کرده وصدمات محدود درآنها بوجودآید. لهذا به منظورجلوگیری ازهزینه های بی مورد تعیین زون فعال زلزلوی وانتخاب دیتیل های انعطاف پذیرباید بدقت صورت گیرد .

پاسخ عناصراتصالی به ساختمان:

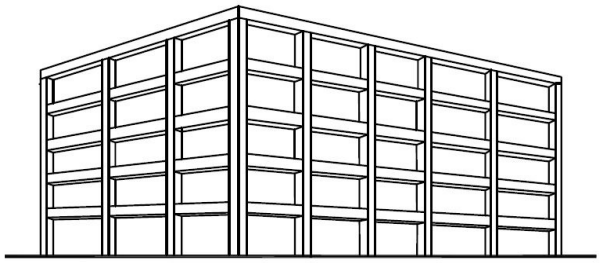
عناصری که به ساختمان اتصال داده می شوند مانند تجهیزات میکانیکی، تزئینات داخلی، نل دوانی ها و سنج های غیرساختمانی باید باعناصراصلی ساختمانی طوری اتصال داده شوند که دراثنای زلزله موجب صدمات جانبی به عناصردیگرساختمانی نشوند . اینها میتوانند دارای دونوع اتصالات باشند؛ یا بصورت rigid محکم (سخت) یا انعطاف پذیر که درهر صورت ارزیابی انجنیری آن ها باید با دقت صورت گیرد.

تعمیرات مجاور:

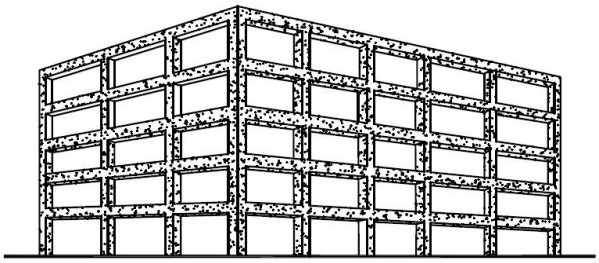
با استفاده موثراز ساحه، مخصوصاً درانتخاب موقعیت تعمیرات بلند منزل، ساختمان ها درفاصله های قرارداده شوند که درجریان نوسان ازبهم خوردن آنها وهمچنان درصورت افتیدن ازایجاد قوه های تخریبی و جانبی به دیگرساختمان ها جلوگیری شده بتواند.

انتخاب سیستم های مقاومت قوه های جانبی:

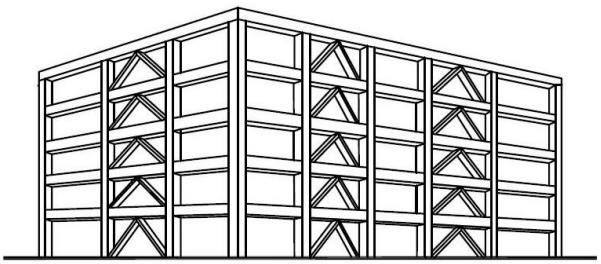
سیستم های وجود دارد که میتواند بصورت موثردرجهت بوجود آوردن یک سیستم مقاومتی دربرابر قوه های جانبی استفاده شوند. موثرترین آنها در جدول A-13a و A-13b و اشکال ذیل نشان داده شده است.



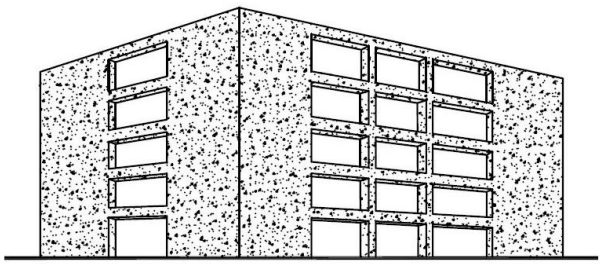
A - چوکات فلزی مقاومت مومنتی



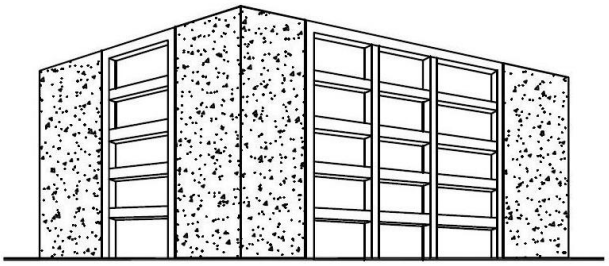
B - چوکات آهن کانکریتی مقاومت مومنتی



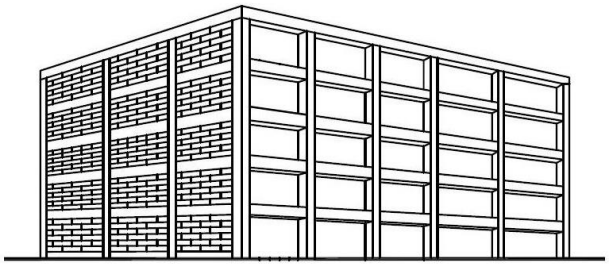
C - چوکات فلزی مهارشده (braced frame)



D - چوکات آهن کانکریتی با دیوارهای برشی آهن کانکریتی



E - چوکات فلزی با دیوارهای برشی یک ریخت



F - چوکات فلزی همرا با دیوارهای خشتی داخلی وخارجی

شکل 6: سیستم های مقاومت جانبی

دایافرام ها:

بارهای زلزله درهرمنزل یک ساختمان از طریق طبقات و پوشش به حیث دایافرام ها به عناصر عمودی ساختمان تقسیم می گردند. سلب های طبقات و پوشش مانند یک بیم دارای عمق عمیق افقی دربرابر قوه های جانبی زلزله عمل میکنند. خالیگاه های بزرک در موقعیت های نامناسب (موقعیت زینه ها یا لفت ها) سبب ایجاد پرابلم ها شده و توانایی دایافرام ها را درجهت انتقال قوه ها جانبی به عناصر عمودی کاهش می دهد.

دکتایلتی :

دکتایلتی -Ductility عبارت از توانایی مواد ساختمانی، سیستم ساختمانی ویا یک سیستم ساختاری برای جذب انرژی درمحدوده تغییرشکل غیرالاستیکیت است. به تفسیر دیگرعبارت از ظرفیت یک ساختمان برای جذب انرژی است که با حدود تغییرشکل قابل قبول، بدون تخریب پا برجا باقی می ماند. برجسته ترین مثال آن یک لوله میان خالی فلزی است که درصورت حد مجاز انحنای آن تخریب نشده بلکه قات می شود. این یک انتخاب ومشخصه خواستنی و بسیارمطلوب برای دیزاین هرساختمان مقاوم در برابر زلزله است (مانند چوکات مقاومت مومنتی وهسته مرکزی).

ویژه گی های کنترول آسیب:

بوجود آوردن دیتیل های لازم و کاری که حرکات را بدون صدمه اجازه دهد، حرکاتی که میتواند سبب صدمات به نل دوانی ها، شیشه های کلکین ها، پلسترها، لایه ها تزینی، پارتیشن ها، و شکستن کلکین ها منتج گردند.

ردندنسی (Redundancy):

ردندنسی یا ایجاد فکتوراطمینان یکی از خصوصیات اساسی کارآیی خوب ساختمان دراثنای زلزله میباشد. این اصل تمایل به کاهش تا ثیرات زیاد اعمال شده ناشی از زلزله را برعمل کرد اعضای ساختمان بوجود می آورد، و یک تمرین یا پرکتس خوبی است تا بتواند خصوصیات یا شرایط ساختمانی را در یک سازه طوری تامین نماید که تخریب یک عضو، یا اتصال یک عضو یا عنصر باعث از دست دادن ثبات عناصر دیگر در ساختمان نشده ودرنتیجه تمام عناصریا اعضای دیگرغیر قابل نفوذ باقی بمانند.

تحلیل دینامیکی:

معمولاً این کار درمراحل اولی دیزاین همراه با مهندس صورت می گیرد و عبارت از تامین امکانات ساختاری وبوجود آوردن قسمت ها وسختی ها ی متناظریا تقارنی دریک ساختمان توام با عمل متحد الشکل قوه ها درجهت پیش بینی شدهٔ شیوه تخریب آنها است. دراین مرحله تلاش درجهت حد اکثر جلوگیری ازغیر متناظر وغیرمنظم بودن ساختمان ها وایجاد ساحات فرعی یا جداگانه در پلان و ارتفاع صورت می گیرد. ایجاد نمودن کنج ها و گوشه های L ، T و H مانند به مثابه گزینه های خوب مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفته و محاسباتی انجام می شود. ادامه این بحث را بنا به حجم زیاد و مغلق بودن آن به آینده موکول میدارم.

مقررات کُد متحد ساختمان (UBC) - کُد بین المللی ساختمان (IBC) برای دیزاین مقاومت ساختمان ها در برابر زلزله

بخش دیزاین زلزله درکُد متحد ساختمان (Uniform Building Code-UBC) برای آخرین باردرسال 1997 درایالات متحده امریکا تعدیل گردید. این کُد بعد ها درسال 2000 بنام کُد بین المللی ساختمان (International Building Code-IBC) تغییرنام داده شد.

تعدیل کُد متحد ساختمان بعد اززلزلهٔ شدیدی که درمنطقه نورت رج (Northridge) ایالت کالیفرونیای امریکا درسال 1994 و زلزلهٔ که سال 1995 درکوبی (Kobe) جاپان اتفاق افتاد صورت گرفت.

در17 جنوری سال 1994، زلزلهٔ به مقیاس بزرگای مومنت $M_w = 6.7$ معادل 6.4 مقیاس ریکتر درساحهٔ سان فرنندوی شهرلاس انجلس ایالت کلیفرونیای ایالات متحده امریکا اتفاق افتاد که مدت 10 تا 20 ثانیه دوام کرد و شتاب این زمین لرزه $17.8 \frac{m}{sec^2}$ وکانون یا ایپی سنترآن به عمق 11.4 کیلومتر ثبت گردیده است. این طویلترین، بلند ترین یا شدید ترین زمین لرزه ای بود که در تاریخ امریکا از زمان بوجود آمدن تجهیزات ثبت کنندهٔ زمین لرزه، ثبت گردیده است. شدت لرزش این زمین لرزه تا فاصله 350 کیلومترازایپی سنتررسیده بود و اوج سرعت اهتزازآن 6.6 کیلومتردرساعت بود که تا حال درتاریخ زلزله شناسی ثبت گردیده است. دو لرزش بعدی آن اول به شدت $M_w = 6.0$ درحدود یک دقیقه بعد و دومی آن بعد از 11 ساعت اتفاق افتاد که تلفات جانی ناشی ازاین زلزله 57 مرده، 8,700 زخمی وخسارات مالی از 22 تا 86 بلیون دالر تخمین شده بود. این بلندترین حادثه طبیعی تلفات بار تاریخ امریکا بود که طی ان بیش از40,000 ساختمان آسیب دید و رانش های شدیدزمین درقسمت های مختلف صورت گرفت ودرنتیجه اثرات روانی زیادی را درمردم بوجود آورد.

تقریباً یک سال بعد ازاین حادثه، در17 جنوری سال 1995 زلزلهٔ دیگری در کوبی جاپان اتفاق افتاد که 20 ثانیه دوام کرد و شدت آن به مقیاس بزرگای مومنت $M_w = 6.9$ معادل 6.8 مقیاس ریکترثبت گردیده است که این هم بزرگترین حادثه طبیعی درجاپان بود و خسارات خیلی شدیدی را بارآورد. کانون یا ایپی سنتر این زلزله درفاصله 20 کیلومتری از سواحل جزیره اوجی ساحل شهرکوبی در عمق 16 کیلومتری از سطح زمین قرار داشت. در نتیجه این زلزله 6,300 نفرکشته، بیش از

43,000 نفرزخمی ، 250,000 ساختمان و تاسیسات تخریب و بیش از 300,000 نفر بی خانه شدند. برای جبران خسارات این حادثه درحدود 16 ملیارد دالر حزینه شد.

به تاسی ازعواقب این دو زلزلهٔ ویرانگر، موازی به تعدیلات موضوعات و پرنسیپ های دیگر، درکد UBC متود محاسبات مقاومت ساختمان ها دربرابر زلزله به اساس دیزاین مقاومت بارهای فکتورشده یا (Load Factor Resistance Design- LFRD) که استفاده ضریب تقلیلی را برای مقاومت نهای توصیه می کند صورت می گیرد. بعضا این متود را، متود (Strength-Level) یا درجه مقاومت ساختمان می نامند. قبل ازآن محاسبات به اساس (Allowable Stress Design) یا دیزاین تشنج مجاز که بعضاً آنرا درجه تحمل ساختمان (service-level) ویا working stress level می نامیدند صورت می گرفت.

جهت تسهیل دردیزاین مقاومت زلزله به اساس کُد UBC-1997 وکُد IBC-2000 ، اکنون لازم دانسته می شود، تا تسلسل رهنمایی ها وجدول های را که موضعات مهم را برای دیزاین مقاومت تعمیرات دربرابرزلزله دربرمیگیرند درذیل ارائه نمود.

انتخاب پیکربندی ساختمان:

ازلحاظ پیکربندی، ساختمان ها بصورت عموم به دودسته تقسیم شده اند؛ ساختمان های منظم و ساختمان های غیرمنظم:

A - **ساختمان های منظم**:

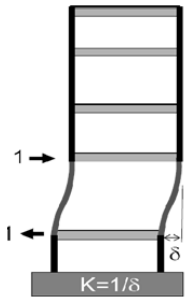
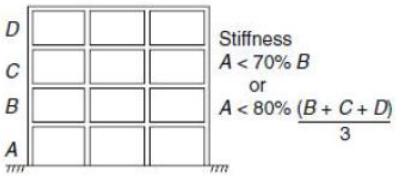
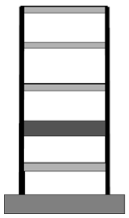
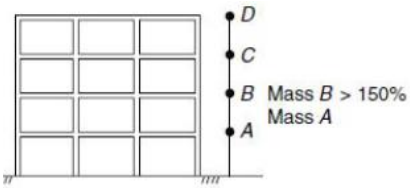
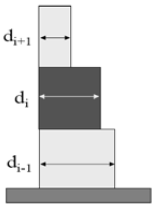
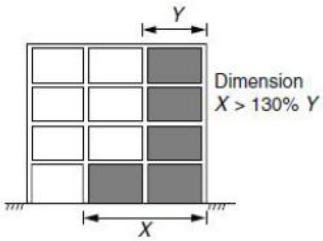
ساختمان های اند که دارای پیوستگی های عمدهٔ فزیکی یا شکل گیری منظم درپلان، ارتفاع ویا سیستم مقاومتی قوه های جانبی باشند.

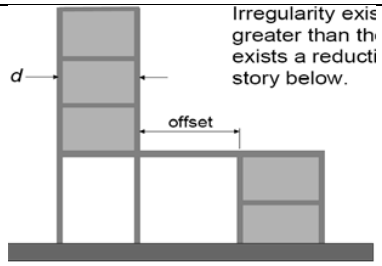
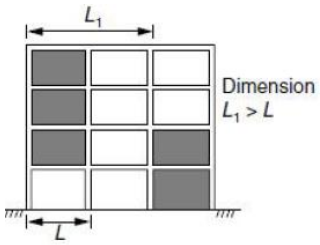
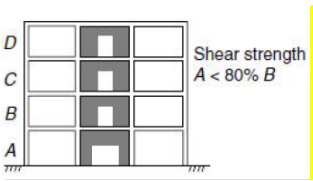
B - ساختمان های غیر منظم:

همان ساختمان های اند که درشکل گیری پلان، ارتفاع ویا قسمت های مقاومت کننده قوهٔ های جانبی نا پیوستگی ها یا گسستگی های عمدهٔ فزیکی داشته باشند.

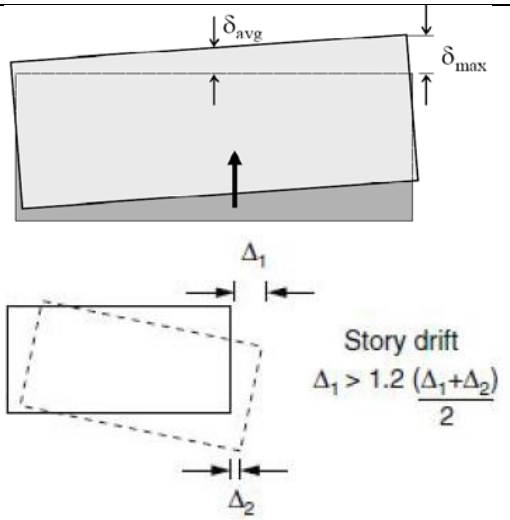
خصوصیات غیرمنظم بودن ساختمان ها به اساس رهنمایی های کُد UBC-1997 ، FEMA 350 و FEMA 356 درجدول های (A-5a) و (A-5b) خلاصه و توضیح گردیده اند:

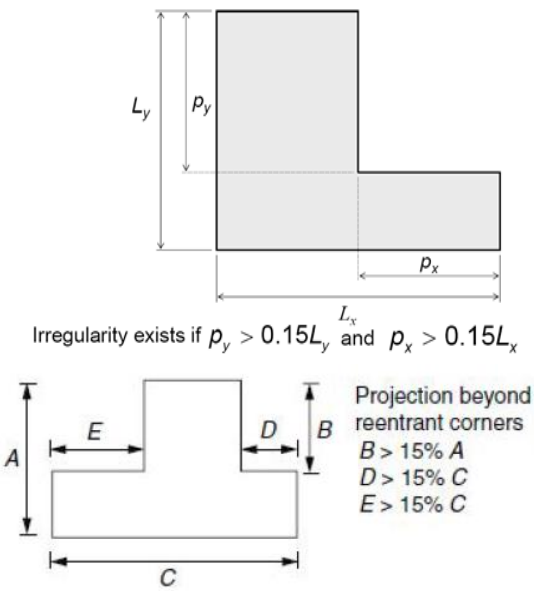
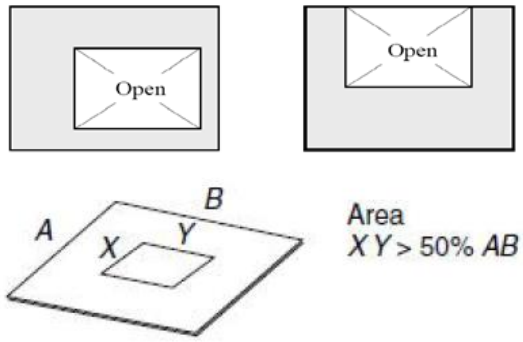
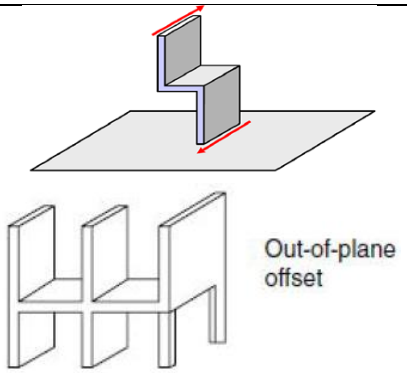
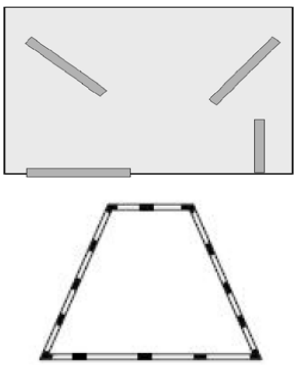
جدول A-5a تشخیص غیرمنظم بودن عمودی ساختمان ها:

نوعیت و تعریف غیرعادی بودن عمودی	
1- سختی نا منظم - که بنام طبقات نرم یاد می شود: ساختمانی است که سختی عرضانی هرکدام ازطبقات آن کمتراز 70 فیصد طبقه بالائي ویاکمتر از 80 درصد اوسط سختی سه طبقه بالایی باشد. حالت شدید غیر عادی بودن حالتی است که سختی هرکدام ازطبقات ان کمتر از 60 درصد طبقه بالای و یا کمتر از 70 درصد اوسط سختی سه طبقه بالایی باشد و این حالت مجاز نمی باشد. **استثنا:** غیرعادی بودن زمانی وجود نمی داشته باشد که ضریب رانش هیچ طبقهٔ ساختمان بالا تر از 1.3 رانش طبقه بالائی باشد.	 
2- غیر منظم بودن وزن : این حالت وقتی موجود بوده میتواند که وزن موثرهٔ هریک طبقه 150 درصد اضافه تراز وزن موثره طبقهٔ مجاور باشد. پوشش یا بامی که سبک تراز طبقهٔ پائین تر باشد شامل این حالت نمی باشد (یا قابل مد نظرگرفتن نیست) **استثنا:** غیرعادی بودن زمانی وجود نمی داشته باشد که ضریب رانش هیچ طبقه بالا تر از 1.3 رانش طبقه بالائی باشد.	 
3- غیر منظم بودن هندسی ارتفاع : این حالت وقتی در نظر گرفته می شود که هرگاه اندازه قسمت مقاومت کننده قوه جانبی هریک طبقه اضافه تراز 130 درصد مقاومت طبقه مجاورباشد.	 

4- گسستگی غیرمنظم پلان وتاثیرآن درعناصرعمودی مقاومت کننده جانبی: این حالت وقتی درنظرگرفته می شود که هرگاه خلای پوشیده بین دو قسمت عادی ساختمان طوری قرار گیرد که اندازه عرضانی آن اضافه تر از عرض بخش اصلی ساختمان بوده و یا تقلیل سختی در طبقه پائینی بوجود آید.	 
5- گسستگی درظرفیت یکی ازطبقات: حالتی است که مقاومت عرضانی هریک طبقه کمتراز 80 درصد مقاومت عرضانی طبقهٔ بالای باشد. مقاومت یک طبقه عبارت از مجموع تمام قوه های مقاومتی زلزلوی است که قوه های برشی همان طبقه را در جهت مورد نظردربرمی گیرد. حالت شدید غیر عادی بودن وقتی به وجود می آید که مقاومت جانبی هرکدام ازطبقات کمتر از 65 درصد مقاومت طبقه بالای باشد.	

جدول (A-5b) تشخیص غیرمنظم افقی ساختمان ها:

نوع و تعریف غیرمنظم بودن:	
1- غیرعادی بودن چرخشی: این حالت وقتی در نظر گرفته می شود که محاسبه حرکت یا رانش افقی یک طبقهٔ ساختمان به شمول چرخش اتفاقی آن از یک انجام تا انجام دیگر نباید بلند تر از 1.2 قیمت اوسط رانش طبقات باشد. ساختمان وقتی غیر معین می شود که این قیمت بین 1.2 تا 1.4 باشد. هرگاه بالاتر از 1.4 باشد حالت بحرانی و شدید است. $\delta_{max} < 1.2\delta_{avg}$ No irregularity $1.2\delta_{avg} \le \delta_{max} \le 1.4\delta_{avg}$ Irregularity $\delta_{max} > 1.4\delta_{avg}$ Extreme irregularity Irregularity 1b is NOT PERMITTED in SDC E or F.	

2- غیرعادی بودن ساختمان بنا به داشتن کنج داخلی: این حالت وقتی بوجود می اید که مساحت ساحه خالی بالاتر از 50 درصد مساحت عمومی ساختمان باشد ویا تغیربالا تراز 50 درصد درسختی موثره دایافرام از یک منزل تا منزل دیگر رونما گردد. $P_y > 0.15\ L_y$ و $P_x > 0.15\ L_x$	
3- غیرعادی بودن نسبت موجویت نامناسب خالیگاه ها: این حالت زمانی بوجود می آید که مساحت خالیگاه درپلان یک ساختمان زیاتراز50 درصد مساحت کلی همان طبقه باشد و یا سختی موثرۀ دایافرام اضافه تر از50 درصد ازسختی موثره یک منزل تا منزل دیگرباشد.	
4- گسستگی قسمی به امتداد ارتفاع ساختمان: گسستگی در مسیرقوه های جانبی ازجمله تغییر درموقعیت افقی عناصرنا معین عمودی.	
5- سیستم عناصرغیرموازی: حالتی است که عناصر عمودی مقاومت کننده قوای جانبی موازی و متناظر به محورسیستم مقاومت جانبی ساختمان نباشد.	

انتخاب زون زلزلوی:

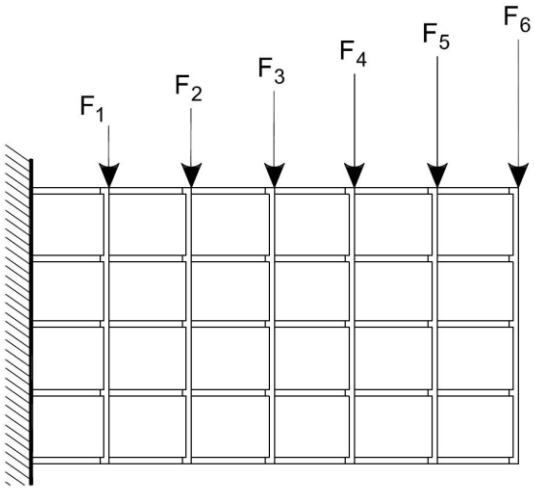
درگد IBC، 5 زون زلزلوی مشخص شده است که در جدول (A-6) نشان داده شده اند.

موقعیت زون ها ازروی نقشه های زون بندی زلزلوی که برای مناطق مختلف وکشورها در جهان ترتیب گردیده است دریافت می گردد. این نقشه ها برای حساب دهی موقعیت های متفاوت جغرافیایی با میزان شدت مورد انتظارزمین لرزه ها (زلزله ها) براساس انتقال اوج شتاب امواج افقی ازبین صخره ها وخاک ها با احتمال تزیید 10% احتمال طی یک دورهٔ 50 ساله تخمین و تدوین گردیده است ومطابق به آن قمیت ضرایب Z برآورد گردیده است.

جدول (A-6): فکتوریا ضریب (Z) برای زون های مختلف زلزلوی:

زون زلزله	1	2A	2B	3	4
قیمت ضریب Z	0.075	0.15	0.20	0.30	0.40
نوت: برای دریافت موقعیت زون ها باید به نقشهٔ تقسیم بندی زون ها مراجعه شود.					

قیمت ضرایب زلزلوی Z عبارت از فیصدی اوج شتاب یا تعجیل جاذبه زمین دریک منطقه جغرافیایی است. بطورمثال Z = 4 نشان دهنده آنست که اوج یا بلندترین شتاب یا تعجیل مساوی به 0.4g یا 40% جاذبه زمین می باشد. درجهٔ شتاب یک زمین لرزه به اندازه 0.1g کافی است که صدمات خفیفی را درساختمان ها بوجود آورد. اما شتاب 1.0g یا 100% قوه جاذبه بصورت تحلیلی مساوی است به حالت یا درک استاتیکی که یک تعمیرازحالت عمودی به حالت افقی مانند کانتلیورازتهداب خود قرا ر گیرد.



$F_1 + F_2 + F_3 + F_4 + F_5 + F_6 = W =$ وزن ساختمان

شکل7: مفهوم 1.0g = 100%g که یک ساختمان را تحت تاثیرشتاب 1.0g ازحالت عمودی به حالت افقی قرارمیدهد.

انتخاب نوع مقطع خاکی:

به اساس ثبت زلزله های قبلی، درگد1997- UBC (IBC-2000)، 6 مقطع خاکی مشخص شده است که نمایانگر تاثیر شرایط خاک برحرکت لرزه وی زمین می باشند. حرکت زمین لرزه را میتوان توسط

جیولوجی منطقه و ویژگی های خاک تعریف کرد. مقدار Z که در جدول(A-6) زون های زلزلوی داده شده است برای خاک سنگی نرم نوع S_B می باشد. بنا برآن به استثنای خاک نوع S_A (سنگ سخت) ، مقدارZ برای خاک انواع S_C ، S_D، S_E و S_F افزایش می یابد. اگردارایی های خاک معلوم نباشد باید خاک نوع S_D مورد استفاده قرار گیرد.

این مقطع های خاکی براساس خصوصیات ترکیب خاک ها برای عمق 30 مترازسطح زمین در نظر گرفته شده اند . تشخیص مقطع های خاکی نظر به سرعت امواج عرضانی زلزله و ارزیابی معیاری عمق نفوذ درخاک ومقاومت عرضانی یا برشی خاک نا خشکیده (خاک تر) صورت گرفته است که درجدول (**A-7**) اُز S_A تا S_F درجه بندی و خلاصه شده اند.

جدول (A-7) انواع مقطع های خاکی:

نوع مقطع خاکی	نام مقطع خاکی و شرح نوعیت آن	اوسط خصوصیات مقطع خاکی برای عمق 30 متری از سطح زمین		
		سرعت موج عرضانی (V_S) به مترفی ثانیه (m/s)	آزمایش یا تست ستندرد نفوذ درخاک (**N**) به ضربه در فی فت (blows/foot)	مقاومت برشی خاک غیر مشبوع (خاک تر،خشک ناشده) (Su) به کیلوپاسکال (Kpa)
S_A	Hard Rock یا سنگ سخت	> 1,500	---	---
S_B	Soft Rock یا سنگ نرم	760 to 1,500	---	---
S_C	Very Dense Soil and Soft Rock خاک خیلی متراکم شده و سنگ نرم	360 to 760	> 50	> 100
S_D	Stiff Soil خاک سخت و خشک	180 to 360	15 to 50	50 to 100
S_E	Soft Soil خاک نرم	< 180	< 15	< 50
S_F	خاکی که به ارزیابی خاص نیاز داشته باشد.			

درارتباط به زون های زلزلوی برای انواع مقطع های خاکی شامل جدول (A-7) ضریب های C_a و C_v داده شده است. اینها ضرایبی اند که مقدار عکس العمل دینامیکی و وابستگی ساحه یا منطقه را، درپاسخ گویی که چگونه یک ساختمان و خاک دربرابرشدت وسرعت زمین لرزه مقاومت کنند، درکل طیف حالات ساختمانی خاک تعریف کرده ومعیارهای شتاب را دریک ساحه یا بخش مورد نظر نشان می دهند. این ضریب ها درزون 4 زلزلوی مربوط می شوند به ضریب های فاصلهٔ منطقه از نزدیکترین منبع زلزله یعنی N_a و N_v .

جدول (A-8) **ضریب شتاب زلزلوی** C_a

نوع مقطع خاکی	زون های زلزلوی و فکتور یا ضریب **Z**				
	Z= 0.075	Z= 0.15	Z= 0.2	Z= 0.3	Z= 0.4
	ضریب زلزلوی C_a				
SA	0.06	0.12	0.16	0.24	0.32 *Na*
SB	0.08	0.15	0.20	0.30	0.40*Na*
SC	0.09	0.18	0.24	0.33	0.40 *Na*
SD	0.12	0.22	0.28	0.36	0.44 *Na*
SE	0.19	0.30	0.34	0.36	0.36 *Na*
SF	برای دریافت ضریب زلزلوی C_a در این نوع خاک با ید تحقیقات جیوتکنیکی مشخص و تحلیل خاصیت عمل داینامیکی خاک صورت گیرد				

برای دریافت قیمت N_a به جدول **(A-10)** مراجعه شود.

جدول (A-9) **ضریب سرعت زلزلوی** C_v

نوع مقطع خاکی	ضریب یا فکتور **Z** برای زون های زلزلوی				
	Z =0.075	**Z = 0.15**	**Z = 0.2**	**Z = 0.3**	**Z = 0.4**
S_A	0.06	0.12	0.16	0.24	$0.32\,N_v$
S_B	0.08	0.15	0.20	0.30	$0.40\,N_v$
S_C	0.13	0.25	0.33	0.45	$0.56\,N_v$
S_D	0.18	0.32	0.40	0.54	$0.64\,N_v$
S_E	0.26	0.50	0.64	0.84	$0.96\,N_v$
S_F	برای دریافت ضریب زلزلوی C_v در این نوع خاک با ید تحقیقات جیوتکنیکی مشخص وتحلیل خاصیت عمل داینامیکی خاک صورت گیرد.				

برای دریافت قیمت N_v به جدول **(A-11)** مراجعه شود.

جدول (A-10) **فکتور نزدیکترین منبع شتاب زلزله** N_a

نوع منبع زلزله	نزدیکترین فاصله فهمیده شده از منبع زلزله		
	≤ 2 km	**5 km**	**≥ 10 km**
A	1.5	1.2	1.0
B	1.3	1.0	1.0
C	1.0	1.0	1.0

جدول (A-11) فکتور نزدیکترین منبع سرعت زلزله N_V

نوع منبع زلزله	نزدیکترین فاصله فهمیده شده از منبع زلزله			
	≤ 2 km	**5 km**	**10 km**	**≥ 15 km**
A	2.0	1.6	1.2	1.0
B	1.6	1.2	1.0	1.0
C	1.0	1.0	1.0	1.0

انتخاب اهمیت جایدهی یا اسکان ساختمان:

دردیزاین زلزله مطابق کد IBC برای افزایش مرزایمنی یک ساختمان دربرابرسقوط با درنظرداشت جایدهی یا اسکان آن، ضریب I ارائه گردیده است.

جدول (A-12): فکتوریا ضریب (I) برای اهمیت جاگیری یا اسکان:

فکتوراهمیت زلزلوی (**I**)	گروپ های جاگیری یا اسکان ساختمان ها
1.25	1- ساختمان های ضروری: ازقبیل ساحات جراحی وتداوی های عاجل، گراج ها برای امبولانس و طیارات امورعاجل، تانک های آب اشامیدنی، برج های کنترول هوایی، تاسیسات مخابراتی دولتی، محافظه های جنریترهای برق.
1.25	2- ساختمان های خطرناک: ساختمان های که برای تولید، ذخیره، آزمایش یاتحقیقات مواد خطرناک مورد استفاده قرارمی گیرند.
1.00	3- ساختمان های جاگیری یا اسکان مخصوص برای کنجایش بالاتر 300 نفر
1.00	4- ساختمان ها ی دارای اسکان یا جاگیری معمولی و ستندرد.
1.00	5- ساختمان های متنوع دیگر

انتخاب سیستم چوکات ساختمانی:

شش سیستم چوکاتی درکد UBC-1997 طبقه بندی و مشخص شده است که عبارت اند از:

1- سیستم دیوارهای وزن بردار.
2- ساختمان چوکاتی.

3- چوکات های مقاومت مومنتی.
4- مختلط.
5- سیستم پایه های تیرداریا پایه های کنتیلیوردار.
6- سیستم چوکاتی دیوارهای برشی (هستوی) یا میان کش.

این سیستم های درجدول های (A-13a) و(A-13b) توسط ضریب های R و Ω_0 مشخص شده اند که:

R ضریب عددی است که نماینده گی از شکل پذیری ظرفیت مقاومت سرتاسری دکتایلتی سیستم مقاومت قوه های جانبی می کند و اساس آن بربنیادعملکرد سیستم های مشابه درزلزله های گذشته استواراست. مقدار بلند R موجب کاهش برش قاعده می شود. بطورمثال اگراین فکتور برای سیستم چوکات مخصوص مقاومت مومنتی دارای قیمت 8.5 است، برای یک چوکات عادی مقاومت مومنتی دارای قیمت 4.5 می باشد. این بدان معنی است که سیستم چوکات مخصوص مقاومت مومنتی قابلت اجرایی بهتر را درجریان زلزله دارا می باشد، یعنی چوکات مخصوص مقاومت مومنتی دارای خاصیت دکتایلتی بلند می باشد.

نوت: درکُد UBC-1994 قمیت R عین مقداراست به استثنای آنکه تقسیم فکتور 1.4 برای حساب دهی درجه مقاومت، درمحاسبات دیزاین حد مقاومت گریده است. بطورمثال قیمت R برای سیستم چوکات مخصوص مقاومت مومنتی درکُد 94 ، $Rw = 12,$ است که هر گاه تقسیم 1.4 گردد، مقدار 8.57 بدست می آید.

Ω_0 - ضریب تزئیدی قوه های لرزه وی است که جهت بلند بردن حد مقاومت ساختمان استفاد میشود. درجدول های (A-13a) و(A-13b) :

SMRF – چوکات مخصوص مقاومت مومنتی (Special Moment Resisting Frame)
IMRF - چوکات وسطی مقاومت مومنتی (Intermediate Moment Resisting Frame)
OMRF - چوکات عادی مقاومت مومنتی (Ordinary Moment Resisting Frame)
EBF – چوکات مهاربند غیرمرکزی (Eccentrically Braced Frame)
MMRWF - چوکات دیواری مقاومت مومنتی خشتی یا سنگی

(A-13a) جدول اختصاری سیستم های ساختاری تعمیرات:

سیستم های اساسی ساختاری	توضیح سیستم های مقاومت جانبی	R	Ω_0	حد ارتفاع ساختمان در زون 3 و 4 به متر (Meters)
دیواروزن بردار (Bearing Wall)	دیوارهای برشی کانکریتی	4.5	2.8	48
ساختارچوکاتی (Building Frame)	دیوارهای برشی کانکریتی	5.5	2.8	73
ساختارمقاومت مومنتی (Moment Resisting Frame)	SMRF IMRF OMRF	8.5 5.5 3.5	2.8 2.8 2.8	محدویت ندارد ---- ----
ساختارمختلط چوکاتی ومقاومت مومنتی (Dual)	دیواربرشی + SMRF دیواربرشی + IMRF	8.5 6.5	2.8 2.8	محدویت ندارد 48
ساختار پایه تیرکش یا پایه کنتلیوردار (Cantilevered Column Building)	عناصرپایه های کنتلیوردار	2.2	2.0	10
چوکات دیواربرشی انفعالی (هسته ای) (Shear-Wall Frame Interaction)		5.5	2.8	48

(A-13b) جدول تفصیلی سیستم های ساختاری تعمیرات:

سیستم های اساسی ساختاری	توضیح سیستم های مقاومت جانبی	R	Ω_0	حد ارتفاع ساختمان در زون 3 و 4 به (Meters) متر
ساختار دیوارهای وزن بردار (Bearing Wall)	1 – چوکات های سبک دیواری با پنل (Panel) های برشی:	5.5	2.8	20
	a- دیوارهای پنل چوبی برای ساختمان های پائین تراز 3 طبقه.	4.5	2.8	20
	b- تمام چوکات های سبک دیواری دیگر	4.5	2.8	48
	2 – دیوارهای برشی	4.5	2.8	48
	a – کانکریتی	2.8	2.2	20
	b – خشتی وسنگی			
	3 – دیوارهای وزن بردار سبک فلزی با مهار کننده های کششی (Tension bracing).	4.4	2.2	48
	4 – چوکات های مهارکننده که مهارکننده ها سبب انتقال وزن عمودی گردند.	2.8	2.2	---
	a – فلزی	2.8	2.2	20
	b – کانکریتی			
	c – چوبی سنگین			
ساختارهای چوکاتی	**1** – چوکات های مهاربند غیرمرکزی (Eccentrically Braced Frame – EBF)	7.0	2.8	73
	2 –فریم های سبک دیواری با پنل های برشی			
	a – دیوارهای پنل چوبی برای ساختمان های پائین تراز 3 طبقه.	6.5	2.8	20
	b – تمام چوکات های سبک دیواری دیگر	5.0	2.8	20
	3 – دیوارهای برشی			
	a – کانکریتی	5.5	2.8	73
	b – خشتی یا سنگی	5.5	2.8	48
	4 – چوکات های مهار شده عادی			
	a – فلزی	5.6	2.2	48
	b – کانکریتی	5.6	2.2	---
	c – چوبی سنگین	5.6	2.2	20
	5 – چوکات های مخصوص مهاربند مرکزی			
	a – فلزی	6.4	2.2	73
ساختارهای مقاومت مومنتی	**1** – چوکات های مخصوص مقاومت مومنتی(SMRF)			
	a – فلزی	8.5	2.8	محدویت ندارد
	b – کانکریتی	8.5	2.8	محدویت ندارد
	2 –چوکات دیواری مقاومت مومنتی خشتی یا سنگی (MMRWF)	6.5	2.8	48
	3 – چوکات وسطی مقاومت مومنتی -کانکریتی (IMRF)	5.5	2.8	---
	4 – چوکات عادی مقاومت مومنتی OMRF			
	a – فلزی	4.5	2.8	48
	b – کانکریتی	3.5	2.8	---
	5 – چوکات های مخصوص ترس Truss فلزی مقاومت مومنتی (STMF)	6.5	2.8	73

	1 –دیوار های برشی **a** – کانکریتی همراه با چوکات مخصوص مقاومت مومنتیSMRF **b** – کانکریتی همراه با چوکات عادی مقاومت مومنتی - فلزیOMRF **c** – کانکریتی همراه با چوکات وسطی مقاومت مومنتی - کانکریتیIMRF **d** – خشتی یا سنگی همراه با چوکات مخصوص مقاومت مومنتی SMRF **e** – خشتی یا سنگی همراه با چوکات عادی مقاومت مومنتی-فلزی OMRF **f** – خشتی یا سنگی همراه با چوکات وسطی مقاومت مومنتی - کانکریتی IMRF **g** – خشتی یاسنگی همراه با چوکات مقاومت مومنتی دیواری-خشتی یا سنگی(MMRWF) **2** – دیواربرشی همرا باچوکات مهاربندغیرمرکزی (EBF)- فلزی **a** – دیواربرشی همراه با چوکات مخصوص مقاومت مومنتی SMRF **b** – فلزی همراه با چوکات مقاومت مومنتی عادی OMRF **3** – چوکات های مهارشده عادی **a** – فلزی همراه با چوکات های مخصوص مقاومت مومنتی - فلزیSMRF **b** – فلزی همراه با چوکات های عادی مقاومت مومنتی OMRF **c** – کانکریتی همراه با چوکات مخصوص مقاومت مومنتی - کانکریتی SMRF **d** – کانکریتی همراه با چوکات وسطی مقاومت مومنتی - کانکریتی IMRF 4 – چوکات های مخصوص تقویه شده مرکزی **a** – فلزی همراه با چوکات های مخصوص فلزی مقاومت مومنتی- SMRF **b** – فلزی همراه با چوکات عادی فلزی مقاومت مومنتی OMRF	8.5 4.2 6.5 5.5 4.2 4.2 6.0 8.5 4.2 6.5 4.2 6.5 4.2 7.5 4.2	2.8 2.8 2.8 2.8 2.8 2.8 2.8 2.8 2.8 2.8 2.8 2.8 2.8 2.8 2.8	محدویت ندارد 48 48 48 48 --- 48 محدویت ندارد 48 محدویت ندارد 48 --- --- محدویت ندارد 48	ساختار های مختلط چوکاتی ومقاومت مومنتی
10	عناصرپایه های کنتلیوردار	2.2	2.0	ساختار پایه های تیرکش یا پایه های کنتلیوردار
48	کانکرتی	5.5	2.8	ساختارچوکات دیواربرشی انفعالی (هسته ای)

ترکیب بار ها

مطابق بخش 1612 کُد متحد ساختمان (1997 – UBC) برای زلزله، مقاومت ساختمان ها باید تحت اثربحرانی ترکیبی از بارهای فکتورشدهٔ ذیل که بنام (LFRD) یا Strength Design یاد می شود ارزیابی و دیزاین گردند:

A - برای تمام مواد دیگر غیر از کانکریت:

$$U = 1.4D \quad (1)$$

$$U = 1.2D + 1.6L + 0.5(Lr \text{ or } S) \quad (2)$$

$$U = 1.2D + 1.6(Lr \text{ or } S) + (f_1 L \text{ or } 0.8W) \quad (3)$$

$$U = 1.2D + 1.3W + f_1 L + 0.5 (Lr \text{ or } S) \quad (4)$$

$$U = 1.2D + 1.0E + (f_1 L + f_2 S) \quad (5)$$

$$U = 0.9D \pm (\rho E \text{ or } 1.3W) \quad (6)$$

B - برای کانکریت :

$$U = 1.4D + 1.7L \quad (7)$$

$$U = 0.75 (1.4D + 1.7L + 1.7W) \quad (8)$$

$$U = 0.9D + 1.3W \quad (9)$$

$$U = 1.32D + 1.1 f_1 L + 1.1E \quad (10)$$

$$U = 0.99D + 1.1 E \quad (11)$$

در معادلات فوق:

U - Ultimat load یا بارنهائی.

D - باردایم یا مرده.

L - با رزنده.

L_r – بارزندهٔ پوشش (Roof Live Load).

S - بار برف.

W - بار ازاثرفشارباد.

E - بارزلزله که ازنتیجه عمل قوه عرضانی E_h و قوه عمودی E_v ازفورمول ذیل بدست می آید.

$$E = \rho E_h + E_v \quad (12)$$

E_h - عبارت از قوه برشی V در قاعده.

Ev - تا ثیرقوه زلزله که ازنتیجه تاثیرمرکبه عمودی ارتعاشا ت زمین بوجودمی آید ومساوی است به:

$E_v = 0.5\ C_a\ I\ D$

$E_m = \Omega_0\ E_h$ (13)

$f_1 = 1.0$ برای سطح منازلی که برای تجمع عامه با بارزنده اضافه تراز500 کیلوگرام برمترمربع و همچنان بارهای زنده گاراج ها استفاده می شود.
$f_1 = 0.5$ برای بارهای زندهٔ دیگر.
$f_2 = 0.7$ برای پوشش های که برف بالای آنها نمی لغزد.
$f_2 = 0.2$ برای پوشش های دیگر.
E_m - تخمین قوه حداقل زلزله که بالای یک ساختمان عمل می کند.
C_a ، I و Ω_0 قبلاً تعریف شده.
ρ - (ضریب اطمینان) یا فکتورتزئیدی، توسط فورمول ذیل داده شده:
برای سیستم متریک:

$$1 \leq \rho = 2 - \frac{6.10}{r_{max}\sqrt{A_B}} \leq 1.5 \qquad (14)$$

برای سیستم امپریال یا US Customery :

$$1 \leq \rho = 2 - \frac{20}{r_{max}\sqrt{A_B}} \leq 1.5 \qquad (15)$$

ρ نمیتواند کمتر از 1 و اضافه تر از 1.5 باشد.

نوت : قوه برشی زلزلوی قاعده با ید ضرب ضریب اطمینان ρ گردد.

درفورمول های بالا:
A_B = مساحت منزل اول به مترمربع یا به فت مربع.
r_{max} = حد اکثر نسبت قوه های برشی عناصر طبقه.
r_{max} تعریف بلند ترین عامل نسبت قوه برشی است.

نسبت قوه برشی طبقه (r_i) دریک منزل مشخص، عبارت از نسبت قوه برشی سنگین ترین عضوآن طبقه برمجموع قوه های برشی طبقه می باشد، به عبارت دیگر r_i ازنسبت قوه برشی عنصری که زیادترین بار بالای آن عمل کند تقسیم مجموع قوه های برشی منزل بدست می آید.

قیمت حد اکثر نسبت r_{max} عبارت از بلند ترین کمیت r_i دردوسوم 2/3 قسمت پایینی تعمیرمی باشد. هر گا ه ρ بلندتر از 1.25 باشد پس باید یک بخش یا قسمت هم مانند دیگر درساختمان اضافه شود.

هرگاه میلان ساختمان محاسبه شود ویا ساختمان درساحه زلزلوی زون 0، 1، یا 2 قرار داشته باشد $\rho = 1$ است.

- برای چوکات های مقاومت مومنتی، r_i ازحاصل تقسیم مجموع قمیت اعظمی قوه های برشی هریک ازدو پایهٔ مجاورومتناظردریک ردیف سیستم پایه های چوکاتی وقوه برشی منزل مورد نظربدست می آید.
- برای دیوارهای برشی، r_i ازحاصل ضرب قیمت اعظمی قوه برشی دیوارو $3.05/l_w$، تقسیم بر مجموع قوه های برشی آن منزل بدست می آید. دراینجا l_w طول دیواربه متر میباشد.
- برای سیستم مختلط چوکات مقاومت مومنتی و دیوارهای برشی زمانی که $\rho \leq 80\ \%$ باشد، قیمت های فوق برای مقاومت مومنتی و دیوارهای برشی جداگانه محاسبه می شوند.

دو روش یا متود در دیزاین مقاومت ساختمان ها در برابر قوه های زلزله بکارمی رود:

روش قوه های جانبی ستاتیکی

روش محاسبه قوه های جانبی ستاتیکی باید برای ساختمانی های ذیل مورد استفاده قرارگیرد:

A. تمام ساختمان ها، شامل ساختمان های منظم وغیرمنظم (جدول های A-5a و A-5b) درزون زلزلوی نمبر1، وساختمان های دارای اسکان یا جاگیری کتگوری های 4 و5 درزون زلزلوی نمبر2 .
B. ساختمان های منظم، دارای ارتفاع کمتراز73 متربا داشتن سیستم های مقاومتی قوه های جانبی که درجدول ها (A-13b, A-13a) داده شده است به استثنای آن ساختمان های که بالای مقطع خاکی نوع S_F قرارداشته ودارای دوران اساسی ارتعاش بیشتراز0.7 ثانیه باشد.
C. ساختمان های غیرمنظم که اضافه تر از 5 منزل وبلندی 20 متر نبا شند.
D. ساختمان های که طبقه بالایی انعطاف پذیرآنها توسط طبقه پایینی غیرقابل انعطاف(سخت ومحکم) برداشته شود، دراینصورت هردو قسمت ساختمان بصورت ساختمان های جداگانه معمولی طبقه بندی شده واوسط سختی منازل قسمت پایئنی آنها باید حداقل 10 مرتبه بلند ترنسبت به اوسط سختی منازل بالای آن بوده ودوران اساسی اهتزاز کلی ساختمان نباید اضافه تر از 1.10 مرتبه بلند تراز دوران اهتزاز طبقه بالائی باشد.

شرایط کُد متحد ساختمان سعی داشته تا روابط مغلق دینامیکی را که در نتیجه حرکت لرزای زمین بالای یک ساختمان تاثیر میگذارد، کا هش به حالت بارگذاری دهد که نتیجه آن عمل تعادل قوه های جانبی استاتیکی باشد.

روش قوه های جانبی دینامیکی

روش محاسبه قوه های جانبی دینامیکی باید برای تمام ساختمان های دیگری که درمحاسبات ستاتیکی از آنها تذکرنرفته به شمول ساختمان های ذیل صورت گیرد:

1- ساختمان های بلندتر از73 متر، مگرآنکه توسط بخش A روش ستاتیکی مجاز باشد.
2- ساختمان های که دارای حالات غیرمنظم در سختی، وزن ، شکل هندسی ارتفاعات نوع 1 ،2 و یا 3 جدول های (A-5a) و (A-5b) بوده و یا دارای نا منظمی های دیگری باشد که ازآنها در جدول های (A-5a) و (A-5b) تذکر نرفته باشد، مگرآنکه قیمت استفاده شده R دردیزاین برای هرطبقه کمتر یا مساوی به قیمت R طبقه بالایی درعین جهت باشد.

3- ساختمان های که بیشتر از5 منزل یا 20 متر ارتفاع باشند و در زون های 3 و 4 قرارداشته و دارای عین سیستم ساختاری درامتداد ارتفاع نباشند، مگرآنکه قیمت استفاده شده R دردیزاین برای هر طبقه کمتر یا مساوی به قیمت R طبقه بالایی درعین جهت باشد.
4- ساختمان های منظم و غیرمنظم که بالای مقطع خاکی نوع S_F قرار داشته و دوران ارتعاش یا اهتزازآن بالاتر از0.7 ثانیه باشد.

نوت : دیزاین یک ساختمان باید طوری صورت گیرد که عکس العمل ساختمان را درمقابل قوه های جانبی درهردوجهت که درنتیجه حرکت زمین بالای ساختمان تحمیل می گردد محاسبه کرد. وبرای این منظورازمعادلات (1) تا (12) در ترکیب بارها به اساس رهنمایی های داده شده استفاده شود.

دیزاین برش اساس یا قاعده (Design Base Shear)

مجموع قوه های برشی دیزاین درقاعدهٔ یا اساس ساختمان دریک جهت معین ازفورمول ذیل دریافت می گردد:

$$V = \frac{Cv\, I\, W}{R\, T} \qquad \text{(A-1)}$$

قوه برشی دریافت شده از معادله (A-1) نباید اضافه تر ازقیمت فورمول ذیل باشد:

$$V = \frac{2.5\, Ca\, I\, W}{R} \qquad \text{(A-2)}$$

همچنان قوه برشی معادله (A-1) نباید کمتراز قیمت فورمول آتی باشد:

$$V = 0.11\, Ca\, I\, W \qquad \text{(A-3)}$$

علاه براین، در زون زلزلوی 4 مجموع قوه های معادله (A-1) نباید کمتراز قیمت فورمول (A-4) باشد:

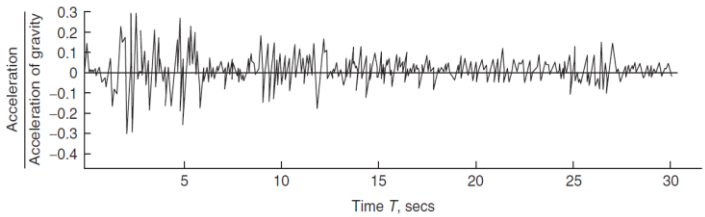
$$V = \frac{0.8\, Z\, Nv\, Iw}{R} \qquad \text{(A-4)}$$

درفورمول های فوق:
V - مجموع قوهٔ برشی قاعده یا اساس دریک جهت معین.
Ca –ضریب شتاب زلزلوی که مربوط به نوعیت خاک وزون زلزلوی بوده واز جدول A-8 گرفته میشود.
Cv - ضریب سرعت زلزلوی درخاک ساحه مورد نظرو مربوط است به زون زلزلوی و نوع مقطع خاکی که از جدول A-9 گرفته میشود.
I - فکتوراهمیت اسکان یا جایگیری ساختمان که از جدول A-6 دریافت میشود.
W – بارمجموعی دایمی یا مرده.

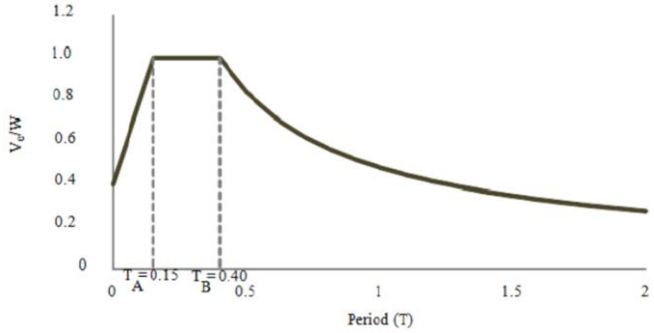
نوت : اگر تعمیر؛ ذخیره خانه، انبار، ویا Warehouse باشد؛ 25% بارزنده نیز بالای بارمرده علاوه می گردد. همچنان وزن پارتیشن ها نباید کمتراز $50\ Kg/m^2$ مد نظر گرفته شود. علاوه ازاینها وزن تمام تجهیزات دایمی نیزباید شامل وزن محاسبوی زلزلوی گردد.

R - ضریب شکل پذیری دکتالیتی و ازدیاد مقاومت سیستم ساختمانی است که از جدول (A-13a) و (A-13b) دریافت میگردد.

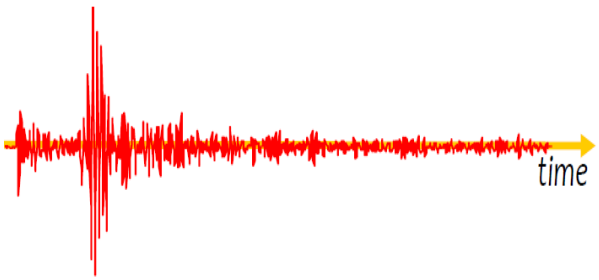
T - دوران اساسی ارتعاش یا اهتزاز الاستیکی (پلاستیکی) است که یک ساختمان درجهت مورد نظردیزاین متحمل می گردد (به ثانیه).



شکل 8: ثبت اهتزازت ازیک زمین لرزه: محور عمودی شتاب و محور افقی زمان را نشان میدهد.



شکل 9: دوران اساسی اهتزازت الاستیکی : تحت شتاب 1g ودوران 0.15 تا 0.4 ثانیه



شکل 10: دوران اساسی اهتزازات الاستیکی معمولاً درزمان کوتاه اتفاق می افتد.

Z - ضریب زون زلزلوی که در جدول (A-4) داده شده.

N_a - ضریب یا فکتور منبع نزدیک که جهت دریافت ضریب Ca برای زون زلزلوی 4 استفاده میشود و در جدول A-10 داده شده.

N_v - ضریب یا فکتور منبع نزدیک که برای دریافت ضریب C_v برای زون زلزلوی 4 استفاده میشود و در جدول A-11 داده شده.

برای دریافت دوران اساسی ارتعاش (اهتزاز) الاستیکی (T) ازدومتود استفاده می شود:

متود A: معادلهٔ ذیل بکاربرده می شود:

$$T = C_t\, h_n^{3/4} \qquad \text{(A-5)}$$

باید متذکر شد که دوران اساسی اهتزازبعضاً به T_A نیزمشخص می شود، وهرگاه این قیمت بصورت تحلیلی از محاسبات کمپیوتری دریافت گردد به T_B نشان داده می شود. درزون 4 زلزلوی، T_B نمی تواند بلند تر از 30% قمیت T_A که ازفورمول فوق دریافت می گردد باشد. همچنان درزون های زلزلوی 1، 2A ، 2B و3 نمی تواند بالاتر از 40% قمیت T_A باشد.

درفورمول (A-5) :

h_n- ارتفاع مجموعی ساختمان به متراست.

C_t - ضریبی است که به اساس رهنمایی ها کُد بین المللی قیمت های ذیل را دارا می باشد. قیمت های داخل قوس برای سیستم متریک است.

$C_t = 0.035(0.0853)$ برای چوکات های فلزی مقاومت مومنتی.

$C_t = 0.030(0.0731)$ برای چوکات های آهن کانکریتی مقاومت مومنتی.

$C_t = 0.030(0.0731)$ برای چوکات های دارای عن المرکزیت.

$C_t = 0.020(0.0488)$ برای تمام ساختمان های دیگر.

$C_t = 0.0743/\sqrt{A_c}$ برای ساختمان های دیوار های برشی.

بعد از وضع ضریب های C_t ، فورمول های ذیل را برای سیستم های مختلف ساختاری درمحاسبات سیستم متریک بدست می آوریم:

A- برای چوکات های فلزی مقاومت مومنتی:

$$T = 0.0853\ (h_n)^{3/4} \qquad \text{(A-6)}$$

B- برای چوکات های آهن کانکریتی مقاومت مومنتی:

$$T = 0.073\ (h_n)^{3/4} \qquad \text{(A-7)}$$

C- برای تمام ساختمان های دیگر:

$$T = 0.0488\ (h_n)^{3/4} \qquad \text{(A-8)}$$

D- برای ساختمان های دیوار های برشی:

$$T = \frac{0.073\ (h_n)^{3/4}}{\sqrt{A_c}} \qquad \text{(A-9)}$$

Ac – مساحت مجموعی موثرۀ دیوارهای برشی منزل اول ساختمان (به مترمربع) که توسط معادله ذیل دریافت میشود:

$$A_c = \sum_i^n A_i \left[0.2 + \left(\frac{D_e}{h_n}\right)^2\right], \qquad \frac{D_e}{h_n} \leq 0.9 \qquad \text{(A-10)}$$

De – طول هریک دیواربرشی درمنزل اول ساختمان درجهت موازی به قوه های تاثیر کننده (متر).
Ai – مسحات مقطع هریک ازدیوارهای برشی در جهت قوه های عامل به مترمربع.

متود B: دوران اساسی اهتزازات با استفاده از دارایی ها و خصوصیات تغییرمکان سیستم مقاومتی عناصرآن نیز توسط فورمول ذیل محاسبه شده میتواند:

$$T = 2\pi\sqrt{\left(\sum_{i=1}^n w_i \delta_i^2\right) / \left(g \sum_{i=1}^n F_i\, \delta_i\right)} \qquad \text{(A-11)}$$

درمعادله فوق:

w_i - وزن سایسمیکی (زلزلوی) طبقه i.
g - شتاب جاذبه زمین.
F_i - قوه جانبی زلزله درطبقه i .
δ_i - تغیرمکان یا تغییرموقعیت افقی طبقه i ناشی از قوه زلزله .
i=1 برای طبقه اول بالاترازاساس یا قاعده که برای محاسبات برشی اساس درنظر گرفته می شود.

هرگاه ضرورت باشد که تغیرمکان افقی با درنظر داشت دوران اساسی اهتزازمحاسبه گردد، پس آنرا از معادله (A-11) میتوان چنین بدست آورد:

$$\delta_i = \frac{g}{4\pi^2}\left(\frac{T^2 F_i}{W_i}\right) = 0.248\,(T^2)\,\left(\frac{F_i}{W_i}\right)$$

$$\delta_i = 0.248\,(T^2)\,\left(\frac{F_i}{W_i}\right) \qquad \text{(A-12)}$$

برای غیرعادی بودن پارامتر δ به جدول (A-5a) مراجعه شود.

توزیع قوه برشی اساس به امتداد ارتفاع ساختمان:

مجموع قوه برشی اساس (V) که با استفاده از معادلات (A-1) تا (A-4) دریافت می گردد به امتداد ارتفا ع ساختمان توسط معادلات ذیل توزیع می گردد:

$$V = F_t + \sum_{i=x}^n F_i \qquad \text{(A-13)}$$

$$F_x = (v - F_t)\frac{W_x h_x}{\sum_{i=1}^n W_i\, h_i} \qquad \text{(A-14)}$$

دراین معادلات:

F_t - قوه اضافی ایست که برای حساب دهی بیشتر پاسخ ساختمان درشرایط بلند ترین دوران اساسی اهتزازدرنظرگرفته می شود. این قوه برشی اضافی که بخشی از مجموع قوه برشی اساس است متمرکزدرقسمت بالایی ساختمان بنام قوه شلاقی یا بلنداثرزلزله یاد می شود و درکُد بین المللی حدود آن به ترتیب ذیل مشخص گردیده است:

برای دوران اساسی اهتزاز که کمتر از 0.7 ثانیه باشد ($T \leq 0.7$ sec):

$$F_t = 0 \qquad \text{(A-15)}$$

برای دوران اساسی اهتزاز که بلند تراز 0.7 ثانیه باشد ($T > 0.7$ sec) :

$$F_t = 0.07T\,V \leq 0.25\,V \qquad \text{(A-16)}$$

نوت : F_t نباید اضافه تر از 0.25V باشد

F_i - قوهٔ جانبی توزیع شده درطبقه i . لازم به توضیح است که توجه شود درمعادله (A-13) نمبر طبقات به i = x نشان داده شده است.

بعد ازدرنظرگرفتن یک بخش مجموع قوه برشی اساس به حیث قوه شلاقی، باقی مانده آن به اساس معادله (A-14) به امتداد ارتفاع ساختمان به شمول سطح n توزیع می شود.

به اساس معادله (A-13) ، قوه برشی V_x درطبقهٔ مورد نظرx عبارت ازحاصل جمع قوه F_t و مجموع قوه های برشی طبقات بالاترجمع قوه برشی طبقه مورد نظرمی باشد. بنا برآن معادله (A-13) را میتوان چنین نوشت:

$$V_x = F_t + \sum_{i=x}^{n} F_i \qquad \text{(A-17)}$$

قوهٔ برشی دیزاین در جهت مورد نظربرای هرطبقه عبارت ازحاصل جمع قوه های F_x طبقات بالایی است که متناسب به درجه سختی سیستم عناصر مختلف مقاومت کنندهٔ عمودی آن طبقه تقسیم می گردد که آن راسختی دایافرامی می نامند.

درمعادله (A-14) :

F_x – قوه جانبی توزیع شده درطبقهٔ x

w_x – وزن زلزلوی طبقهٔ x

h_x – ارتفاع طبقهٔ x

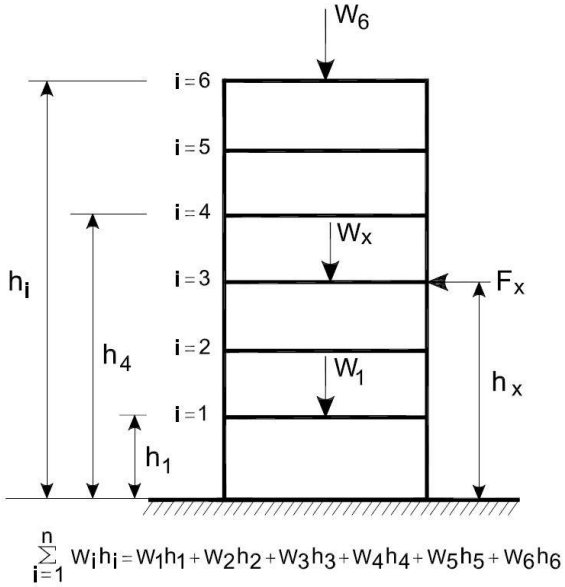
w_i – وزن زلزلوی تا طبقهٔ i

h_i – ارتفاع تا طبقهٔ i

n – نمبر طبقات بالاترازاساس.

به ارتباط معادله (A-14) برای یک تعمیر6 طبقه ای $\sum_{i=1}^{n} W_i\, h_i$ طورذیل محاسبه می شود:

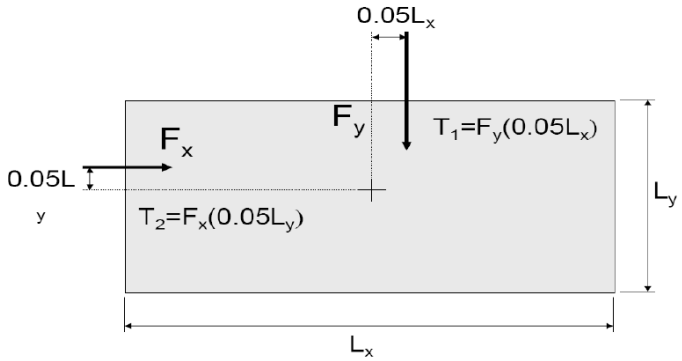
$$\sum_{i=1}^{6} W_i\, h_i = W_1\, h_1 + W_2\, h_2 + W_3\, h_3 + W_4\, h_4 + W_5\, h_5 + W_6\, h_6$$



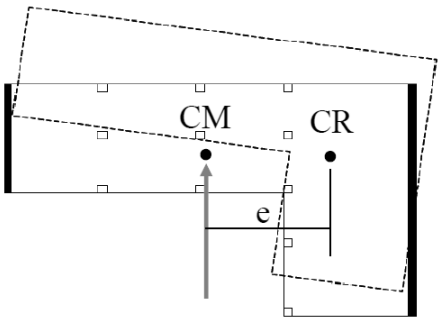
شکل 11 : توزیع عمودی قوه ها

مومنت چرخش افقی:

برای حساب دهی غیرمعین بودن موقعیت قوه ها ، فرض می گردد که وزن هرطبقه درهردوجهت x و y به فاصله مساوی 5% بُعد تعمیرازمرکزثقل وزن محاسبوی آن طبقه عمود به جهت قوه مورد نظرتغییرموقعیت دهد. این مقدار به حیث چرخش اتفاقی درنظر گرفته می شود. علاوه از چرخش اتفاقی، مومنت چرخشی دیزاین دریک طبقه مورد نظر، ازحاصل جمع مومنت عن المرکزیت قوه های عامل جانبی دیزاین وقوه های که ازمرکزثقل طبقات بالایی ومرکزسختی عناصرعمودی آن طبقه عبورمی نماید دریافت می گردد. به اشکال ذیل مراجعه شود:



شکل 12 : چرخش اتفاقی



شکل 13 : چرخش ناشی از عن المرکزیت

دراشکال بالا:
T_1 و T_2 - مومنت های چرخشی اتفاقی.
CM - مرکزثقل قوه های تولید شده انرشیا ناشی اززلزله است.
CR - مرکز ثقل سختی ساختمان. اگرساختمان منظم یا یکنواخت نباشد، CM و مرکزسختی CR با هم منطبق نیستند و مومنت چرخشی تولید می گردد.

درحالاتی که غیرمنظم بودن چرخشی به اساس جدول (A-13b) موجود باشد. پس بایست اثرمومنت چرخشی با ازدیاد چرخش تصادفی برای هرمنزل حساب شود.

مومنت چرخشی T_x دریک سطح افقی طبقه x باید توسط فورمول ذیل محاسبه شود:

$$T_x = F_x\,(1.0e \pm A_x\, 0.05D_{nx}) \qquad \text{(A-18)}$$

دراینجا:

D_{nx} - بُعد ساختمان عمود برجهت قوه های عامل.
$0.05\ D_{nx}$ - عن المرکزیت چرخش تصادفی است.
A_x – ضریب تقویت چرخشی درطبقه x که برای دریافت آن ازفورمول ذیل استفاده میشود و نباید اضافه تر از 3 باشد:

$$A_x = \left[\frac{\delta_{max}}{1.2\delta_{avg}}\right]^2 \leq 3 \qquad \text{(A-19)}$$

δ_{avg} - اوسط تغییرمکان یا موقعیت افقی درنقاط بحرانی ساختمان درطبقهٔ x .
δ_{max} - تغییرموقعیت اعظمی افقی در طبقهٔ x .

مومنت چپه کننده:

هرساختمان باید طوری دیزاین گردد که دارای مقاومت در برابر چپه شدن ناشی ازقوه های زلزله باشد. مقاومت مومنت چپه کنندهٔ هرطبقه باید با استفاده از قوه های زلزلوی F_t و F_x که بالای طبقه بالاترازطبقه مورد نظرعمل می کنند تعیین گردد.
مومنت های چپه کنندهٔ هرطبقه بایست بطورجداگانه دریافت گردند. مومنت چپه کننده M_x درطبقه x توسط معادله ذیل دریافت می شود.

$$M_x = F_t\,(h_n - h_x) + \sum_{i=x=1}^{n} F_i\,(h_i - h_x) \qquad \text{(A-20)}$$

پس ازآنکه قیمت های مومنت های چپه کننده دریافت گردید، آن قمیت ها باید متانسب به سختی سیستم عناصرعمودی مختلف آن طبقه که قوای جانبی را تحمل می کنند توزیع گردد.

رانش (تغییر مکان یا تغییرموقعیت افقی) و میلان:

رانش عبارت ازتغییرموقعیت افقی یک طبقه نظر به طبقه پائینی تحت عمل قوه های جانبی زلزلوی می باشد. چنانچه قبلاً تذکر داده شده بود یکی ازطریقه ها دریافت آن به اساس کُد (UBC-1994) معادله (A-12) است:

$$\delta_i = 0.248\,(T^2)\,(\frac{F_i}{W_i})$$

تغییرموقعیت افقی همواره توام با میلان یا انحراف عمودی ساختمان همراه می باشد. بنا برآن میلان که عبارت ازانحراف الاستیکی ساختمان تحت تاثیر قوه های زلزله است بنام پاسخ تغییرمکان ساختمان نیزیاد شده و به اساس روش دیزاین متود درجهٔ مقاومت (Strength –Level Design- LRFD) این پاسخ به (Δs) نشان داده شده ومیلان محاسبوی دیزاین نامیده میشود. برای دریافت میلان ساختمان پروسس های مختلف محاسبوی بکارمی رود ولی ساده ترین آن برای طبقهٔ i معادله ذیل میباشد:

$$\Delta_i = \delta_i - \delta_{i-1} \qquad \text{(A-21)}$$

$$\Delta_i \leq 0.004h_n \leq \frac{0.03h_n}{R} \qquad \text{(A-22)}$$

قیمت های دریافت شده Δs یا Δ_i بایست محدویت های ذیل را مطابقت نمایند:

برای ساختمان های که دوران اساسی اهتزازآنها کمتراز 0.70 ثانیه $(T \leq 07\ second)$ باشد:

$$\Delta_s \leq 0.025\ h \qquad \text{(A- 23)}$$

و برای ساختمان های که دوران اساسی اهترازآنها اضافه تراز0.70 ثانیه $(T \geq 07\ second)$ باشد:

$$\Delta_s \leq 0.020h \qquad \text{(A-24)}$$

در اینجا h- ارتفاع طبقه است.

مقداراعظمی میلان محاسبوی شامل هردوانحراف الاستیکی وغیرالاستیکی (غیرارتجاعی) ساختمان به Δ_m نشان داده میشود که توسط معادله ذیل محاسبه می گردد:

$$\Delta_m = 0.7\ R\ \Delta_s \qquad \text{(A-25)}$$

Δs - قبلاً تعریف گردیده.

R - ازجدول های (A-13a) و (A-13b) گرفته می شود.

عامل $P\Delta$:

قمیت های حاصل شدهٔ قوه ها ، مومنت ها و میلان طبقات در یک افاده ای مشترک بنام عامل $P\Delta$ گنجانیده شده که بطور کلی برای ارزیابی سیستم چوکات ساختمانی استفاده می شود، و قبلاً به آن اشاره گردیده است. این عامل عبارت از نسبت مومنت ها است که درذیل مشخص شده است.

$$\frac{M_{secondary}}{M_{primary}} = \frac{P_x \Delta}{V_x h_{sx}} \qquad \text{(A-26)}$$

دراین معادله:

P_x - وزن زلزلوی (غیرفکتورشده) درطبقه x و بالاتر.

Δ - میلان طبقه x (میلان دیزاین Δ_s).

V_x- قوه برشی بین طبقه x و x-1 .

h_{sx}– ارتفاع طبقه پایین ترازسطح x .

هرگاه $P\Delta \leq 0.1$ باشد ازآن صرف نظرمی شود.

درزون های زلزلوی 3 و4، $P\Delta$ درنظر گرفته نمی شود درصوت که:

$$\Delta_s \leq 0.02 \frac{hsx}{R} \qquad \text{(A-27)}$$

ضرب ارتفاع طبقه.

دیزاین دایا فرام:

قوه های مقاومت کنندۀ دیزاین برای دایافرام های فرش و پوشش ازفورمول ذیل دریافت می گردد:

$$F_{px} = \left[\frac{F_t + \sum_{i=x}^{n} F_i}{\sum_{i=x}^{n} W_i}\right] W_{px} \qquad \text{(A-28)}$$

دراینجا:

F_{px} – قوه عرضانی یا جانبی دیزاین دیافرام در طبقۀ x .

W_{px} – وزن دیافرام در طبقۀ x .

F_t ، F_i ، n و W_i قبلا تعریف گردیده است.

دردیزاین دایافرام شرایط ذیل باید موجود باشد:

$$0.35Z\,IW_{px} \leq F_{px} \leq 0.75Z\,IW_{px}$$

به عبارت دیگرضروراست که: $\mathbf{F_{px}}$ از $0.75Z\,IW_{px}$ تجاوزنکرده وکمتراز $0.35Z\,IW_{px}$ نباشد.

دیزاین کانتیلور:

کانتیلیورهای افقی باید تحت عمل قوۀ روبه بالا $0.2W_p$ دیزاین شوند که دراینجا W_p وزن زلزلوی کانتیلیوراست.

استثنأی ساده سازی دیزاین قوه برشی زلزله

کاربرد یا قابلیت اجرایی متودساده سازی قوه های برشی زلزله درشرایط ذیل قابل قبول است:

1 - برای هرنوع ساختمان های مسکونی وتعمیراتی که دارای جاگیری یا اسکان ستندرد بوده، بلند تر از سه طبقه به استثنای زیرزمینی ازسطح زمین نباشند.
2 - برای تمام ساختمان های دیگری که بلند ترازدوطبقه به استثنای زیرزمینی نباشند.

دراینصورت مجموع قوه برشی در جهت موردنظر توسط فورمل آتی محاسبه میگردد:

$$V = \frac{3.0\ Ca\ W}{R} \qquad \text{(A-29)}$$

درمتود ساده سازی شرایط ذیل باید درنظر گرفته شود:

A - هرگاه خصوصیات خاک درزون های 3 و4 بصورت دقیق معلوم نباشد، باید خاک نوع S_D درنظر گرفته شود.

B - هرگاه در زون های 1 ، 2A و 2B خصوصیات دقیق خاک معلوم نباشد، خاک نوع S_E استفاده گردد.

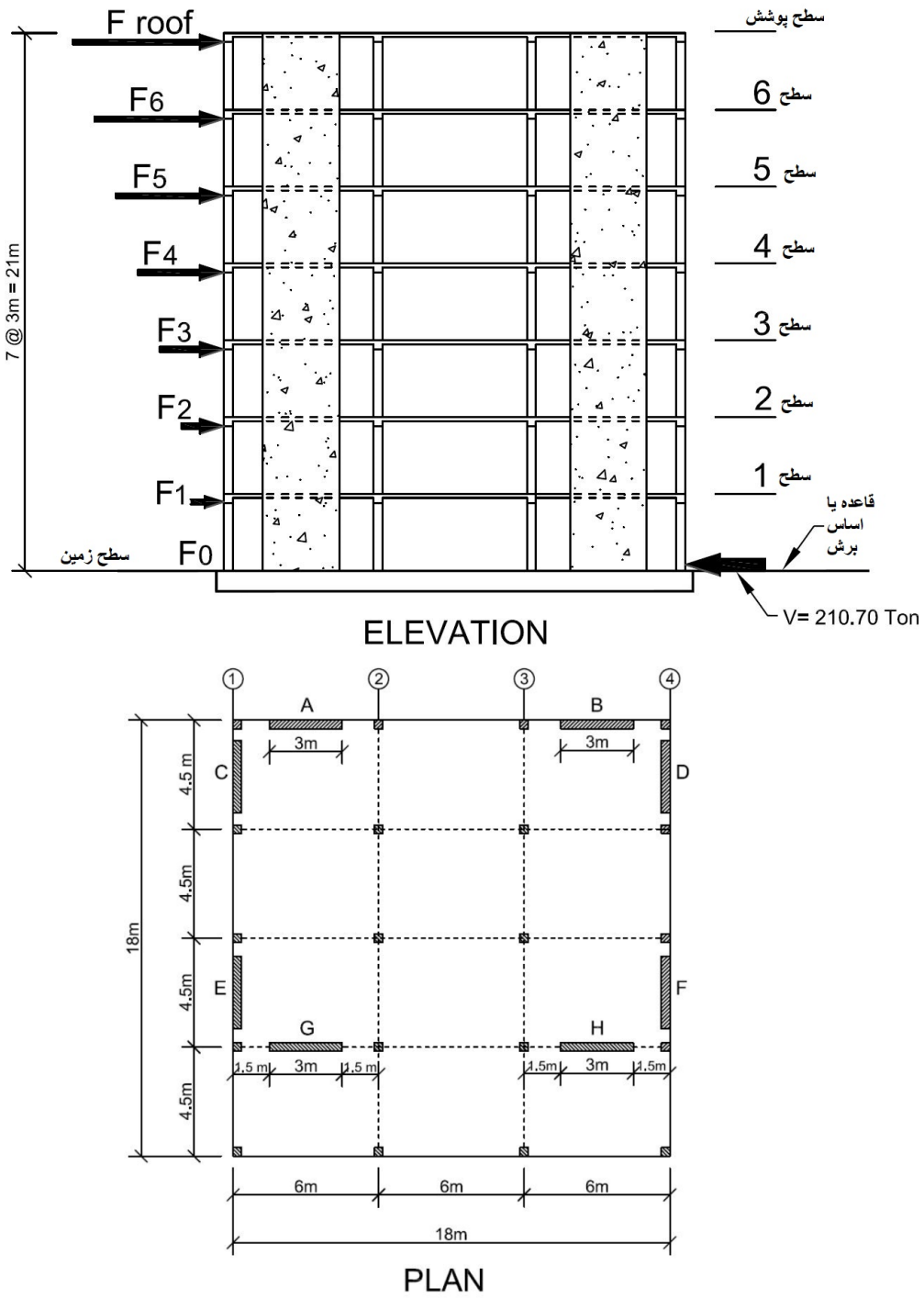
توزیع قوه ها درامتداد ارتفاع تعمیر برای هر طبقه به اساس فورمول ذیل محاسبه گردد:

$$Fx = \frac{3.0\ Ca\ Wi}{R} \qquad \text{(A-30)}$$

حالا کاربرد دساتیر و فورمول های داده شده ای کُد متحد ساختمان (کُد بین الملی ساختمان) را برای محاسبه قوه های زلزله درمثال های مختصردرهردو سیستم: امپریال و متریک انجام می دهم.

مثال اول:

یک ساختمان 7 طبقهٔ با سیستم چوکات عادی آهن کانکریتی و دیوارهای برشی که موقعیت آنها در پلان نشان داده شده است برای اسکان استندرد درنظرگرفته شده است. بار مجموعی دایمی (مرده) هرطبقه این ساختمان $800\ kg/m^2$ محاسبه گردیده است. این ساختمان در زون 4 زلزلوی قرارداشته و بالای مقطع خاکی نوع S_D اعمار می گردد. به حیث سیستم مقاومتی قوه های جانبی آن، 4 دیواردرجهت x هرکدام با ابعاد 3m طول و ضخامت 20 cm و4 دیواردرجهت y هرکدام با طول 3m و ضخامت 20 cm درنظر گرفته شده است. قوه های زلزله برای این ساختمان درهر طبقه درجهت عمود به محورهای 1-1 ، 2-2 ، 3-3 و 4-4 (یعنی درجهت x) دریافت گردد.



شکل 14

انتخاب ضریب ها:

از جدول (A-4)	$Z = 0.4$
از جدول (A-12)	$I = 1$
از جدول (A-7)	نوعیت مقطع خاکی S_D
از جدول (A-13)	$R = 5.5$
از جدول (A-8)	$C_a = 0.44\ N_a$
از جدول (A-9)	$C_v = 0.64\ N_v$
از جدول (A-10)	$N_a = 1$
از جدول (A-11)	$N_v = 1$

$C_a = 0.44\ N_a = 0.44 \times 1 = 0.44$
$C_v = 0.64\ N_v = 0.64 \times 1 = 0.64$

بمنظورجلوگیری ازطویل شدن پروسه محاسبات، وزن طبقات این ساختمان بصورت متحد الشکل $800\ kg/m^2 = 0.8\ ton/m^2$ برای هرطبقه قبول شده است.

وزن هرطبقه : $W = 0.8\ (3x6)(4x4.5) = 259.2\ tons$

وزن مجموعی زلزلوی ساختمان : $\underline{Ws} = 259.2 \times 7 = \underline{1814.4}\ tons$

برای ساختمان های دارای دیوارهای برشی، دوران اساسی اهتزاز(T) از فورمول A-9 دریافت می شود.

$$T = \frac{0.073\ (h_n)^{3/4}}{\sqrt{A_c}}$$

A_c را با استفاده از معادله (A-10) دریافت می کنیم. به شکل 10 مراجعه شود؛ 4 دیواربرشی موازی در جهت قوه برشی زلزلوی قراردارند(دیوارهای A، B، G و H).

$$A_c = \sum_{i}^{n} A_i \left[0.2 + \left(\frac{D_e}{h_n}\right)^2\right]$$

$$\frac{D_e}{h_n} \leq 0.9$$

$$A_c = \sum_{i=1}^{4} (3)(0.2)\left[0.2 + \left(\frac{3}{21}\right)^2\right] = 0.529\ m^2$$

$$\frac{D_e}{h_n} = \frac{3}{21} = 0.142 \leq 0.9 \text{ ok.}$$

پس دوران اساسی اهتزاز:

$$T = \frac{0.073\ (21)^{3/4}}{\sqrt{0.529}} = 1.002\ sec$$

مجموع قوه های برشی اساس:

$$V = \frac{C_v\ I\ W}{R\ T} = \frac{0.64 \times 1 \times 1814.14}{5.5 \times 1.002} = 210.68\ \text{tons} \qquad (1)$$

قیمت دریافت شده (1) نباید ازقیمت دریافت شده ذیل تجاوزکند:

$$V = \frac{2.5\ Ca\ I\ W}{R} = \frac{2.5 \times 0.44 \times 1\ x\ \ 1814.14}{5.5} = 362.83 > 210.68\ \ ok$$

همچنان قیمت (1) نباید کمتر از قیمت آتی باشد:

$$V = 0.11\ Ca\ I\ W = 0.11 \times 0.44 \times 1 \times 1814.14 = 87.80\ \text{tons}$$

$$V = 87.80\ \text{tons} < 210.68\ \text{tons}, \qquad ok$$

درزون زلزلوی 4 قیمت (1) نباید <u>کمتراز</u> قیمت زیرباشد:

$$V = \frac{0.8\ Z\ Nv\ Iw}{R} = \frac{0.8\ x\ 0.4\ x\ 1\ x\ 1\ x\ 1814.14}{5.5} = 105.55 < 210.68\ \text{tons}$$

ok

بنا برارزیابی های بالا قوه دیزاین برشی اساس:

V = 210.68 tons ~ 210.70 tons

می باشد. چون دراین دیزاین دوران اساسی اهتزاز 1.002 sec $(T > 0.7\ \text{sec})$ است . پس قوه اضافی شلاقی F_t مساویست به:

$$F_t = 0.07\ T\ V = 0.07\ (1)(210.68) = 14.75 < 0.25\ (210.68)$$
$$= 52.67\ \ ok$$

برای ادامه محاسبات فورمول های ذیل را بکار می بریم:

برای توزیع قوه های عمودی فورمول (A-14):

$$F_x = (v - F_t)\frac{W_x h_x}{\sum_{i=1}^{n} w_i\ h_i}$$

برای توزیع قوه های برشی فورمول (A-17):

$$V_x = F_t + \sum_{i=x}^{n} F_i$$

برای مومنت چپه کننده فورمول (A-20):

$$M_x = F_t\ (h_n - h_x) + \sum_{i=x+1}^{n} F_i\ (h_i - h_x)$$

برای رانش یا تغییرموقعیت عرضانی فورمول (A-12):

$$\delta_i = \frac{g}{4\pi^2}\left(\frac{T^2 F_i}{W_i}\right) = \frac{9.81}{4\pi^2}\,(1^2)\frac{F_i}{W_i} = 0.248\,(\frac{F_i}{W_i})$$

برای میلان طبقه:

$$\Delta_i = \delta_i - \delta_{i-1}$$

قیمت های دریافت شدهٔ معادلات فوق را درجدول ذیل خلاصه می نماییم:

نوت : قبلاً تذکرداده شد که جهت ساده سازی، قوه ها را تنها در جهت X محاسبه می کنیم. دراین صورت تعداد ستون های جدول را به11 خلاصه می نماییم:

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
سطح	**وزن طبقه w_i (Ton)**	**ارتفاع هر طبقه از اساس h_x (m)**	**حاصل ضرب وزن طبقه وارتفاع از اساس $W_i h_x$**	**توزیع قوه های عمودی F_x**	**قوه های برشی V_x**	**مومنت چپه کننده M_x**	**تغییرموقعیت عرضانی δ_i (mm)**	**میلان عمودی Δ_i (mm)**	**مجموع وزن از بالا به پایین $\sum P_x$**	**قیمت $\frac{P_x \Delta_i}{V_x h_x}$**
Roof	259.2	21	5443.2	63.73	63.73	0	60.98	20.80	259.2	0.028
6	259.2	18	4665.6	41.99	105.72	191.20	40.18	6.70	518.4	0.011
5	259.2	15	3888	34.99	140.71	508.37	33.48	6.70	777.6	0.012
4	259.2	12	3110.4	27.99	168.71	930.51	26.78	6.70	1036.8	0.014
3	259.2	9	2332.8	21.00	189.70	1436.64	20.09	6.70	1296	0.015
2	259.2	6	1555.2	14.00	203.70	2005.75	13.39	6.70	1555.2	0.017
1	259.2	3	777.6	7.00	210.70	2616.85	6.70	6.70	1814.4	0.019
0		0			210.70	3248.95	0			
$\sum_{i=1}^{7} =$			21,772.8							

قبلاً قوه برشی را درقاعده تعمیر 210.68Ton وقوه اضافی شلاق زنی را 14.75 Ton دریافت نموده بودیم. پس میتوان قوه ها را به امتداد ارتفاع ساختمان با استفاده ازفورمول ذیل توزیع نمود:

$$F_x = (v - F_t)\frac{W_x h_x}{\sum_{i=1}^{n} w_i\, h_i}$$

با وضع قیمت ها درفورمول فوق آنرا چنین خلاصه می نماییم:

$$F_x = (210.68 - 14.75)\,\frac{W_x h_x}{21{,}772.8} = (0.009)\,W_x h_x$$

قوه F_x برای طبقه x مساویست :

$$F_x = (0.009)\,W_x h_x$$

در پوشش (Roof) قوه $F_t = 14.75$ جمع قوه F_x می گردد.

$$F_{x-Roof} = (0.009)\, W_x h_x = 0.009\ x\ 5443.2 = 48.98\ \text{ton}$$

پس

$$F_{Roof} = F_t + F_{x-Roof} = 14.75 + 48.9825 = 63.73\ \text{ton}$$

برای طبقات پایین تر از پوشش:

طبقهٔ 6:

$$F_6 = (0.009)\, W_x h_x = 0.009\ x\ 4665.6 = 41.99\ \text{ton}$$

به همین ترتیب قوه های طبقات دیگررا مانند F_1 تا F_5 دریافت نموده و درستون 5 جدول درج می کنیم وبالاخره F_1 :

$$F_1 = (0.009)777.6 = 6.998 = 7\ Ton$$

از فورمول ذیل قوه های برشی زلزلوی را درطبقات 1 تا 6 دریافت می کنیم:

$$V_x = F_t + \sum_{i=x}^{n} F_i$$

برای پوشش:

$$V_{Roof} = F_{Roof} = 63.73\ \text{Ton}$$

برای طبقات 6 و5 به ترتیب:

$$V_6 = \sum_{i=6}^{7}(63.73 + 41.99) = 105.72\ _{Ton}$$

$$V_5 = \sum_{i=5}^{7}(63.73 + 41.99 + 34.99) = 140.71\ _{Ton}$$

به همین ترتیب قیمت های قوه برشی را برای طبقات دیگراز4 تا 1 دریافت نموده و درستون 6 جدول درج می کنیم. باید توجه کرد که هرگاه قیمت قوه برشی در اساس غیر از V = 210.70 دریافت گردد، حتماً در محاسبات اشتباه صورت گرفته است.

دریافت مومنت های چپه کنندهٔ طبقات:

$$M_x = F_t\ (h_n - h_x) + \sum_{i=x+1}^{n} F_i\ (h_i - h_x)$$

برای پوشش (طبقه هفتم) : چون حاصل: $h_n - h_x$ و $h_i - h_x$ مساوی به صفر است ، پس مومنت چپه شدن در پوشش یا طبقه هفت وجود ندارد.

$$M_{roof} = F_t\ (h_n - h_x) + F_i\ (h_i - h_x)$$

$$M_{roof} = F_t\ (21 - 21) + F_i\ (21 - 21) = 0$$

برای سطح طبقه شش ازجنس F_x:

$$M_6 = M_{roof} + F_{x-roof}\ (h_n - h_x)$$

$$M_6 = 0 + 63.73\ (21 - 18) = 191.2 \text{ ton-m}$$

مومنت چپه کننده را از جنس قوه برشی طبقه نیز دریافت کرده می توانیم . بطول مثال:

ازجنس V_x:

$$M_6 = M_{roof} + V_{roof}\ x\ h_{roof} = 0 + 63.73\ x\ 3 = 191.2$$

برای سطح طبقهٔ پنجم :

ازجنس F_x :

$$M_5 = F_{x-roof}\ (h_n - h_{x5}) + F_{x6}\ (h_{n6} - h_5)$$

$$M_5 = 63.73\ (21 - 15) + 41.99\ (18 - 15) = 508.36 \text{ ton-m}$$

ازجنس V_x:

$$M_5 = M_6 + V_6 x\ h_6 = 191.20 + 105.72\ x\ 3 = 508.36$$

پس ساده ترین راه دریافت مومنت های چپه کننده با استفاده از قیمت های برشی می باشد.

برای سطح طبقهٔ چهارم:

$$M_4 = M_5 + V_5 x\ h_5 = 508.36 + 140.71\ x\ 3 = 930.49$$

برای سطح طبقهٔ سوم:

$$M_3 = M_4 + V_4 x\ h_4 = 930.49 + 168.71\ x\ 3 = 1436.62$$

برای سطح طبقهٔ دوم:

$$M_2 = M_3 + V_3 x\ h_3 = 1436.62 + 189.70\ x\ 3 = 2005.72$$

برای سطح طبقهٔ اول:

$$M_1 = M_2 + V_2 x\ h_2 = 2005.72 + 203.70\ x\ 3 = 2616.82$$

برای سطح قاعده یا اساس:

$$M_0 = M_1 + V_1 x\ h_1 = 2616.82 + 210.70\ x\ 3 = 3248.92$$

قابل یاد آوری است که مومنت چپه کننده در سطح پوشش صفر و دراساس بلند ترین می باشد.

قبلاً فورمول رانش طبقه i را برای دوران اساسی اهتزازاین مثال که T= 1sec است طورذیل استخراج نموده بودیم:

$$\delta_i = 0.248\,(\frac{F_i}{W_i})$$

برای این مثال رانش طبقات را به mm (ملی متر) چنین خلاصه می کنیم:

$$\delta_i = 0.248\left(\frac{F_i}{W_i}\right) = \frac{0.248}{259.2}\,(1000)x\,F_i = 0.9568F_i$$

برای طبقهٔ هفتم:

$$\delta_7 = 0.9568F_7 = 0.9568\,x\,63.7325 = 60.98\ mm$$

برای طبقهٔ ششم:

$$\delta_6 = 0.9568F_6 = 0.9568\,x\,41.9904 = 40.18\ mm$$

برای طبقه پینجم :

$$\delta_6 = 0.9568F_6 = 0.9568\,x\,34.9920 = 33.48\ mm$$

به همین ترتیب قیمت هاتغییر مکان یا رانش را برای طبقات دیگردریافت نموده و درجدول درج می کنیم. هرگاه تغییر مکان درسطح صفری غیر از صفرباشد اشتباه در محاسبات صورت گرفته.

بعدازدریافت تغییر مکان طبقات، میلان عمودی را با استفاده ازمعادله (A-21)محاسبه می کنیم:

$$\Delta_i = \delta_i - \delta_{i-1}$$

میلان عمودی طبقهٔ هفتم:

$$\Delta_7 = \delta_7 - \delta_6 = 60.98 - 40.18 = 20.80\ mm$$

میلان عمودی طبقهٔ ششم:

$$\Delta_6 = \delta_6 - \delta_5 = 40.18 - 33.48 = 6.70\ mm$$

میلان عمودی طبقهٔ پنجم:

$$\Delta_5 = \delta_5 - \delta_4 = 40.18 - 26.78 = 6.70\ mm$$

به همین ترتیب قیمت های Δ_i را برای تمام طبقات دیگردریافت نموده و درج جدول می کنیم.

میلان های دریافت شده باید محدودیت های کُد را مطابقت کند.

اول :باید شرط افاده (A-22) تامین گردد:

$$\Delta_i \leq 0.004h_n \leq \frac{0.03h_n}{R}$$

$$\Delta_i = 6.7\ mm \leq 0.004h_n = 0.004\ x\ 3000 = 12\ mm \qquad ok$$

$$\Delta_i = 6.7\ mm \leq \frac{0.03h_n}{R} = \frac{0.03x3000}{5.5} = 16.36\ mm \qquad \text{ok}$$

دوم : برای ساختمان های دوران اساسی اهتراز اضافه تراز0.70 ثانیه $(T \geq 07\ second)$ باید شرط افاده (A-24) نیز برآورده شود:

$$\Delta_s \leq 0.020h$$

$$\Delta_i = 6.7\ mm \leq 0.020\ x\ 3000 = 60\ mm$$

سوم : نباید از قیمت اعظمی میلان الاستیکی و غیر الاستیکی که توسط معادله (A-25) داده شده تجاوز کند.

$$\Delta_m = 0.7\ R\ \Delta_s$$

$$\Delta_m = 20.80 < 0.7 \text{ x } 5.5 \text{ x } 6.7 = 25.8 \text{ mm}$$

دراین بخش محاسبات، عامل $P\Delta$ را نیز با استفاده از معادله (A-26) محاسبه می کنیم:

$$\frac{M_{secondary}}{M_{primary}} = \frac{P_x\ \Delta}{V_x h_{sx}}$$

هر گاه عامل $P\Delta$ کمتر از0.1 با شد $(P\Delta \leq 0.1)$ ازارزیابی ها وتغییرات صرف نظرمی شود.

برای طبقهٔ هفتم:

$$\frac{P_7\ \Delta_7}{V_7 h_7} = \frac{259.2\ x\ 20.80}{63.70\ x\ 3x1000} \cong 0.028$$

برای طبقهٔ ششم:

$$\frac{P_6\ \Delta_6}{V_6 h_6} = \frac{518.4\ x\ 6.70}{105.72\ x\ 3x1000} = 0.011$$

برای طبقهٔ پنجم:

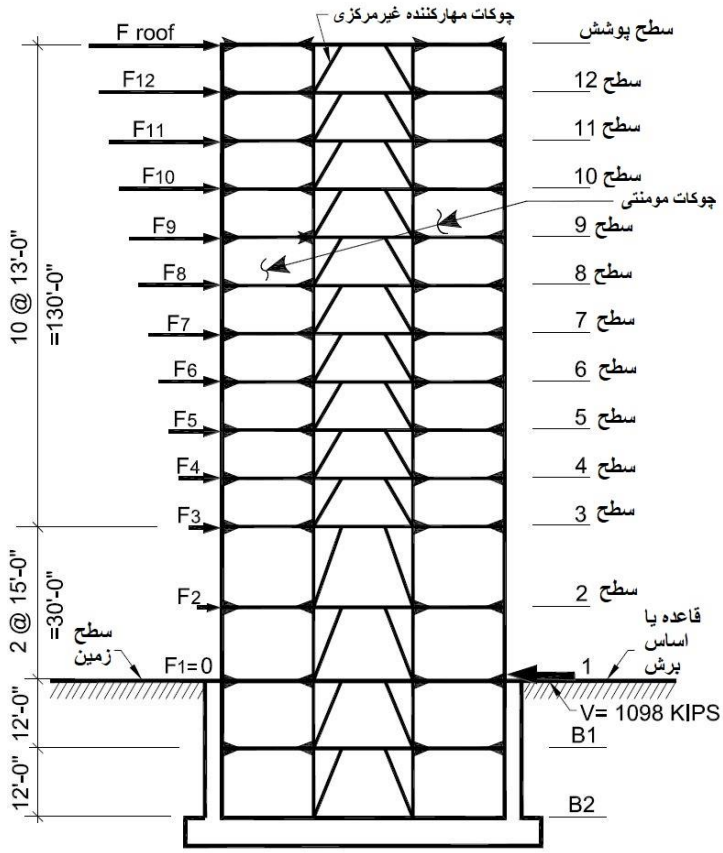
$$\frac{P_5\ \Delta_5}{V_5 h_5} = \frac{777.6\ x\ 6.70}{140.71\ x\ 3x1000} = 0.012$$

برای طبقات دیگر به جدول مراجعه شود.

مثال دوم :

داده ها: یک تعمیر 12 منزلهٔ چوکات فلزی در زون 4 زلزلوی قرار دارد. سیستم مقاومتی قوه های جانبی آن چوکات مخصوص مقاومت مومنتی (SMRF) است که با یک سیستم مهاربند (تحکیم شده) فلزی غیرمرکزی (eccentric braced frame- ECB,s) مختلط شده چنانچه درشکل (15) نشان داده شده است. دراین ساختمان ، اتصال انجام های بیم ها با (ECB) و پایه ها بصورت مومنتی است. این تعمیر دارای 2 طبقه زیرزمین هریک به ارتفاع 12 فت ، دو طبقه اول و دوم دارای ارتفاع 15 فت و باقی طبقات آن تا پوشش هرکدام دارای 12 فت ارتفاع می باشد. دراین مثال قوه برشی اساس درسطح زمین است. به شکل ذیل مراجعه شود.

نوت : سیستم فلزی مهاربند غیرمرکزی(Eccentric Braced Frame- ECB,s) عبارت از یک سیستم ساختمانی منحصر به فرداست که بصورت مشترک با سیستم چوکاتی سبب تقویه مزید مقاومت و سختی شده و انرژی غیرانعطافی سیستم چوکات مومنتی را برطرف می سازد .



شکل (15) سیستم مختط مهاربند غیرمرکزی همراه با چوکات مخصوص مقاومت مومنتی.

مشخصات دیگراین ساختمان به ترتیب ذیل داده شده است:

ارتفاع تعمیرازسطح زمین: $h_n = 2 \times 15 \text{ ft} + 10 \times 13 \text{ ft} = 160 \text{ ft}$

ابعاد تعمیردر پلان: L = 90 feet x B = 210 feet:

دوران اساسی اهتزاز بنا بر تحلیل کامپیوتری:	$T_B = 2$ second
از جدول (A-6) برای زون زلزلوی 4 :	$Z = 0.4$
از جدول (A-10) ضریب شتاب نزدیکی محل :	$N_a = 1.0$
از جدول (A-11) ضریب سرعت نزدیکی محل :	$N_v = 1.0$
از جدول (A-12) ضریب اهمیت اسکان:	$I = 1.0$
نوعیت خاک :	S_D
ضریب اطمینان :	$\rho = 1$

دراین مثال با استفاده ازکُد UBC-1997 و کُد بین المللی ساختمان(IBC) لازم است تا قوه های ذیل دریافت گردند:

- قوه برشی اساس V .
- قوه های زلزلوی شامل قوه های امتداد عمودی (F_x) و قوه های برشی (V_x).
- مومنت های چپه کننده.
- قوه های دیزاین برای دایافرام.
- حد اکثر پاسخ غیرارتجاعی مجازمیلان(تغییرمکان) Δm .

درنبود جزیات و دیتیل های که معمولاً روی نقشه های نشان داده می شود، برای حل این مثال فرضیه های را بوجود می آوریم به ترتیب ذیل:

درقدم اول باید وزن یا کتله ساختمان را که بنام وزن لرزوی یاد می شود دریافت کنیم.
وزن لرزوی یا (Seismic Weight) تعمیررا که به W نشان داده می شود معمولاً ازنقشه ها ودیتیل ها محاسبه شده می تواند. وزن زلزلوی عبارت ازتمام بارهای مرده شامل: وزن سلب ها ، سیستم فرش طبقات با درنظرداشت وزن موادی که درتکمیل کاری آنها (finishing) استفاده می شود، سقف های آویزان شدهٔ دیکوری، تجهیزات و سیستم کانال های تسخین وتهویه، وزن: دیوارها، پایه ها و عناصر نصب شده در نما های بیرونی ساختمان می باشد، علاوه برآن، کُد متحد ساختمان وزن پارتیشن ها را به اندازهٔ حد اقل 10 پوند در یک فت مربع تاکید می دارد.
درارتباط به این مثال بصورت تقریب ابتدایی ، وزن ساختمانW را به ترتیب ذیل تخمین می نماییم:
اگرواحد وزن فلزساختمانی برای این تعمیر 12 طبقه ای که شامل فریم های مقاومت جانبی ، پایه ها و بیم ها می باشند، 13 پوند دریک فت مربع ($13\ ^{lb}/_{ft^2}$) و وزن اتصالات آنها را 7.5% فرض کنیم

دراین صورت وزن اتصالات :

$$w_{con} = \frac{7.5}{100}\ x\ 13 = 0.975\ ^{lb}/_{ft^2}$$

خواهد بود که آنرا میتوان 1 قبول کرد. پس وزن واحد فریم فلزی تعمیرهمراه با اتصالات آن ها:

$$W_{st} + W_{con} = 13+1 = 14\ ^{lb}/_{ft^2}$$

می باشد. وزن واحد سلب کانکریتی به ضخامت 3.25 in بالای قالب فلزی دایمی (metal deck) باعمق 3 in به شمول وزن قالب دایمی $50\ ^{lb}/_{ft^2}$ تخمین شده است.

$W_{slab} = 50\ ^{lb}/_{ft^2}$

وزن مجاز برای تکمیل کاری سلب (فرش های سنگی یا مواد دیگر)، پارتیشن وعناصرروکش ها خارجی ساختمان:

$W_{fin} + W_{part} + W_{misc} = 10 + 10 + 10 = 30\ ^{lb}/_{ft^2}$

حاصل جمع وزن های بالا:

$W_s = 14 + 50 + 30 = 94\ ^{lb}/_{ft^2}$

میشود که برای محسابات آنرا $W_s = 100\ ^{lb}/_{ft^2}$ قبول می کنیم.

مساحت مجموعی طبقات بالاتر از سطح زمین به شمول پوشش آخری:

$A = 12 \times 90 \times 210 = 226{,}800\ ft^2$

بنا برآن وزن زلزلوی ساختمان:

$W_{total} = A \times W_s = 226{,}800 \times 100/1000 = 22{,}680\ kips$

برای ساده سازی دراین مثال، فرض می کنیم که وزن تمام طبقات به شمول طبقه پوشش دارای عین وزن باشند. بنا برآن وزن زلزلوی هرطبقه مساوی می شود به :

$W_x = W_{total}/12 = 22{,}680/12 = 1890\ kips$

ارتفاع تعمیرازسطح زمین:

$h_n = 15 + 15 + (10 \times 13) = 160\ ft$

دریافت دوران اساسی اهتزاز T_A با استفاده ازمتود A:

$T_A = C_t\, h_n^{3/4}$

$T_A = 0.035\,(160)^{\frac{3}{4}} = 1.57\ sec$

قبلاً از ارزیابی های کمپیوتری داده شده بود: $T_B = 2\ second$

چنانچه قبلاً تذکر داده شده؛ درزون 4 زلزلوی T_B نمی تواند بلند تراز 30% قمیت T_A باشد، بنابرآن:

$T_B = 1.3\ T_A = 1.3 \times 1.57 = 2.04\ sec > T_B = 2\ secs$ ok.

حالا قیمت های ضریب هارا به ترتیب ذیل بدست می آوریم:

ازجدول (A-6) : $Z= 0.4$

ازجدول (A-12) : $I= 1$

ازجدول (A-13) : $R= 8.5$

ازجدول (A-8) : $C_a= 0.44\ N_a = 0.44 \times 1 = 0.44$

ازجدول (A-9) : $C_v = 0.64\ N_v = 0.64 \times 1 = 0.64$

این ضریب قبلاً داده شده است: $C_t= 0.035$

قوه دیزاین برشی اساس از فورمول (A-1):

$$V = \frac{Cv\ I\ W}{R\ T} = \frac{0.64\ x\ 1\ x\ 22{,}680}{8.5\ x\ 2} = 854\ kips$$

حد اکثر قوه برشی اساس:

$$V = \frac{2.5\ Ca\ I\ W}{R} = \frac{2.5\ x\ 0.44\ x\ 1\ x\ 22{,}680}{8.5} = 2{,}935\ kips$$

حد اقل قوه برشی اساس:

$$V = 0.11\ Ca\ I\ W = 0.11 \times 0.44 \times 1 \times 22{,}680 = 1{,}098\ kips$$

حد اقل قوه برشی اساس در زون 4:

$$V = \frac{0.8\ Z\ Nv\ Iw}{R} = \frac{0.8\ x\ 0.4\ x\ 0.64\ x\ 1\ x\ 22{,}680}{8.5} = 546\ kips$$

حدود قبولی قوه برشی قاعده یا اساس که محاسبات را کنترول کند قبلاً مشخص شده بود که نباید بلندتر ازقوه حد اکثر وکوچکتر از قوه حد اقل برای زون 4 باشد، بنا برآن قوه برشی که محاسبات را کنترول نماید :

$$V = 1{,}098\ kips$$

است واین قیمت به فیصدی 4.84% جاذبهٔ زمین می باشد:

$$\frac{V}{W_{total}} = \frac{1{,}098}{22{,}680}\ x\ 100 = 4.84\%\ of\ g$$

قبل از اینکه به محاسبات ادامه دهیم، توصیه می گردد که برای سهولت و مراجعه سریع به کمیت های دریافت شده، باید یک جدول ترتیب داده شود. در قدم اول لازم است که معلومات های ذیل درج این جدول گردد: بطورمثال، ستون 1: برای نمبرطبقات از بالا به پایین ، ستون 2: وزن هر طبقه، ستون 3 : ارتفاع هر طبقه از قاعده یا اساس، ستون 4: حاصل ضرب وزن هرطبقه وارتفاع از بالا به پائین

یا ازپائین به بالا. به همین ترتیب عنوان و محتوای ستون های متباقی را درستون های 5 تا 11 چنانچه در جدول نشان داده شده است می گنجانیم:

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
طبقه	ارتفاع هرطبقه از اساس h_x (ft)	وزن هرطبقه w_i (kips)	$\sum w$ مجموع وزن ازبالا به پایین (kips)	حاصل $W_i h_x$ ضرب وزن طبقه و ارتفاع از اساس	ضریب توزیع درارتفاع $\frac{wh}{W_i h_x}$	توزیع قوه جانبی درارتفاع F_x (kips)	قوه برش طبقه V_x (kips)	مومنت چپه کننده M_x	ضریب دیزاین برای دایافرام	حد اکثرتغییر مکان مجازغیر انعطافی Δ_i (in)
Roof	160	1890	1890	302,400	0.151	297	297	-	0.156	3.12
12	147	1890	3780	277,830	0.139	131	428	3861	0.113	3.12
11	134	1890	5670	253,260	0.126	119	547	9425	0.096	3.12
10	121	1890	7560	228,690	0.114	108	655	16536	0.086	3.12
9	108	1890	9450	204,120	0.102	96	752	25051	0.079	3.12
8	95	1890	11340	179,550	0.090	85	836	34827	0.074	3.12
7	82	1890	13230	154,980	0.077	73	909	45695	0.068	3.12
6	68	1890	15120	128,520	0.065	61	970	57512	0.064	3.12
5	56	1890	17010	105,840	0.053	50	1020	70122	0060.	3.12
4	43	1890	18900	81,270	0.041	38	1058	83832	0.056	3.12
3	30	1890	20790	56,700	0.028	27	1085	97136	0.052	3.6
2	15	1890	22680	28,350	0.014	13	1098	113411	0.048	3.6
1	0	-	-		-	-	1098	129881	-	-
$\sum_{i=1}^{12} =$				2,001,510	1.00	1098		129905		

طوریکه قبلاً تذگررفته، درطبقه بالایی ساختمان یعنی پوشش علاوه از قوه عرضانی F_x ، قوه افقی اضافی شلاقی F_t نیزعمل می کند که برای آن دراین مثال شرایط ذیل موجود است:

چون دوران اهتزاز اساسی $T = T_B = 2\ sec > 0.7sec$ است .

پس قوه F_t باید شرایط ذیل را دارا باشد :

$$F_t = 0.07TV \leq 0.25V$$

$$F_t = 0.07\ T\ V = 0.07\ x\ 2\ x\ 1{,}098 = 154\ kips < 0.25\ x\ 1{,}098 = 274\ \ kips$$

$$F_t = 154\ kips$$

دریافت قوه لرزوی F_x برای طبقه x توسط معادلهٔ (A-14) داده شده:

$$F_x = (v - F_t)\frac{W_x h_x}{\sum_{i=1}^{n} W_i\ h_i}$$

قمیت های قوه های افقی را دریافت نموده ودرج جدول می سازیم ، بطورمثال در پوشش تعمیرقیمت F_x چنین دریافت می گردد:

$$F_{x-roof} = (1{,}098 - 154)\frac{W_x h_x}{2{,}001{,}510} = (0.000471644)W_x h_x$$

$$F_{x-roof} = 0.000471644x\ 302{,}400 = 143\ kips$$

بعد ازاضافه کردن قیمت F_t = 154 kips به قیمت $F_{x\text{-}roof}$ قمیت قوه F_{roof} چنین بدست می آید:

$$F_{x-roof} = 154 + 143 = 297 \text{ kips}$$

برای طبقات دیگر:

$$F_x = (1{,}098 - 154)\frac{W_x h_x}{2{,}001{,}510} = (0.000471644)W_x h_x$$

بطورمثال برای طبقه 12 :

$$F_{12} = (0.000471644)W_{12}h_{12} = (0.000471644)\ 277{,}830 = 131\ kips$$

قیمت های F_x برای طبقات دیگررا دریافت نموده و درستون (5) درج می کنیم.

برای دریافت قوه های برشی طبقات، معادله (A-17) داده شده:

$$V_x = F_t + \sum_{i=x}^{n} F_i$$

راه سادهٔ محاسبهٔ قوه های برشی حاصل جمع قیمت های ستون 7 از بالا به پایین می باشد.

برای پوشش:

$$V_{Roof} = F_{Roof} = 297 \text{ kips}$$

برای طبقات 12 و11 به ترتیب:

$$V_{12} = V_{Roof} + 131 = (297 + 131) = 428kips$$

$$V_{11} = V_{12} + 119 = (428 + 119) = 547kips$$

به همین ترتیب قیمت های برشی طبقات دیگردریافت شده و درج جدول گردیده است.

دریافت قیمت های مومنت چپه کنند از فورمول (A-20):

$$M_x = F_t\ (h_n - h_x) + \sum_{i=x=1}^{n} F_i\ (h_i - h_x)$$

قبلاً در مثال اول تذکر داده شده بود که چون حاصل: $h_n - h_x$ و $h_i - h_x$ مساوی به صفر است ، پس مومنت چپه کننده در پوشش وجود نداشته و مساوی با صفراست.

$M_{x\text{-}roof} = 0$

برای طبقهٔ 12 :

$M_{x\text{-}12} = M_{x\text{-}roof} + V_{12} \text{ x } h_{12} = 0 + (297 \text{ x } 13) = 3861$

برای طبقهٔ 11

$M_{x\text{-}11} = (M_{x\text{-}12}) + V_{11} \text{ x } h_{11} = 3861 + (428 \text{ x}13) = 9425$

برای طبقهٔ 10

$M_{x\text{-}10} = (M_{x\text{-}11}) + V_{10} \text{ x } h_{10} = 9425 + (547 \text{ x}13) = 16536$

برای طبقهٔ 9

$M_{x\text{-}9} = (M_{x\text{-}10}) + V_9 \text{ x } h_9 = 16536 + (655 \text{ x}13) = 25051$

برای طبقهٔ 8

$M_{x\text{-}8} = (M_{x\text{-}9}) + V_8 \text{x } h_8 = 25051 + (752 \text{ x}13) = 34827$

به همین ترتیب قیمت های مومنت چپه کننده را برای طبقات دیگردریافت نموده و درج جدول می نماییم.

قوه های دیزاین دایافرام را ناشی ازقوه های زلزله در طبقات و پوشش تعمیرتوسط معادله ذیل دریافت گردیده و درج ستون 11 شده است:

$$F_{px} = \frac{F_t + \sum_{i=x}^{n} F_i}{\sum_{i=x}^{n} w_i} w_{px}$$

دراین جا w_{px} وزن دایافرام در طبقه x می باشد.

بطورمثال ، قوه دایافرام در پوشش:

$$F_{pn} = \frac{154 + 143}{1,890} w_{px} = \frac{297}{1890} w_{px} = 0.157\, w_{px}$$

درطبقه 12 :

$$F_{pn} = \frac{297 + 131}{2\ x\ 1,890} w_{px} = \frac{428}{3780} w_{px} = 0.113\, w_{px}$$

درطبقه 11 :

$$F_{pn} = \frac{428 + 119}{3\ x\ 1,890} w_{px} = \frac{547}{5670} w_{px} = 0.0965\, w_{px}$$

دریافت ضریب توزیع برای ستون 7:

$$\frac{wh_{roof}}{\sum wh} = \frac{302400}{2001510} = 0.151$$

$$\frac{wh_{12}}{\sum wh} = \frac{277830}{2001510} = 0.139$$

$$\frac{wh_{11}}{\sum wh} = \frac{253260}{2001510} = 0.127$$

قیمت مجازحد اکثررانش غیرالستیکی Δ_m: چون دوران ارتعاش تعمیر(T) زیاد تر از 0.7 ثانیه است، پس Δ_m بین زمین و طبقه اول محدود می شود به :

$$\Delta_m = 0.020h = 0.02\ x\ 15\ x\ 12 = 3.6\ in$$

برای طبقات دیگر:

$$\Delta_s = 0.020h = 0.02\ x\ 13\ x\ 12 = 3.12\ in$$

پایان

برای تألیف وتدوین این کتاب ازمنابع ذیل استفاده شده:

UBC-1997
IBC- 2003

United State Geological Survey Publications for Earthquake Hazards in Afghanistan.

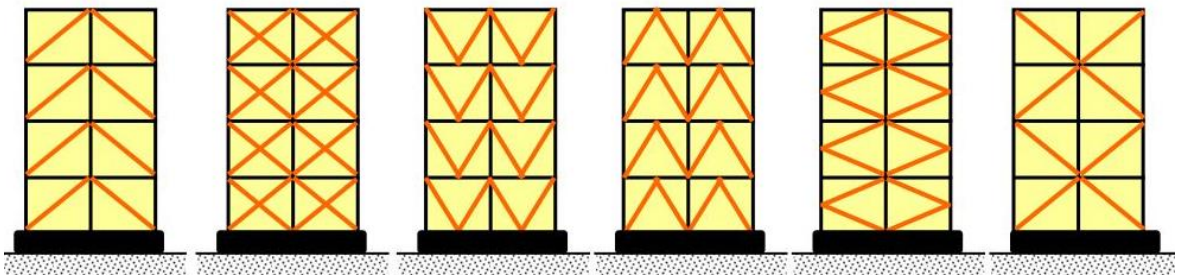
Seismotectonic Map of Afghanistan By: R. L. Wheeler, C. G. Bufe

Seismic Design Requirments of American Society of Civil Engineers -ASCE 7-05 for Building Structures.

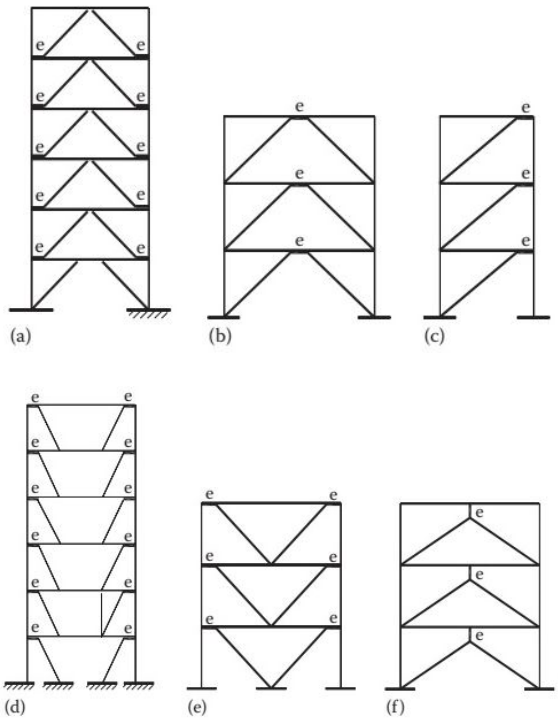
Federal Emergency Management Agency - FEMA 415B , FEMA- 356, and FEMA- 350

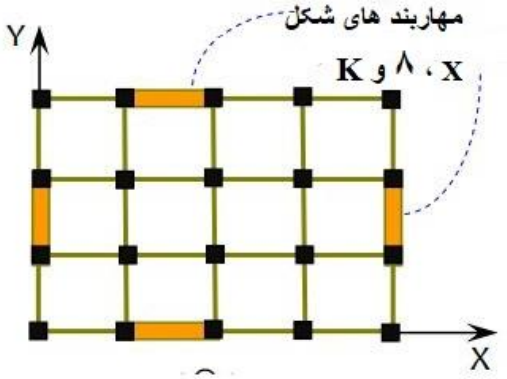
Natoinal Council of Structural Engineers Associations (NCSEA) online publications

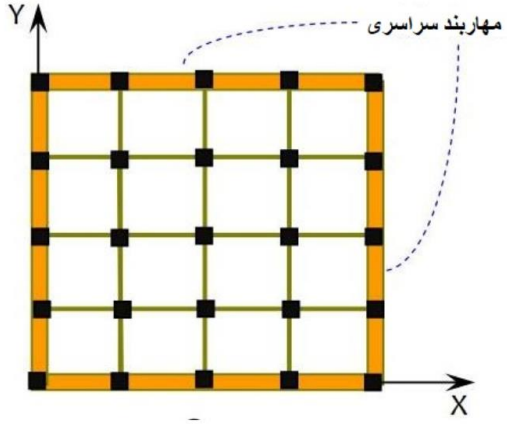
ضمیمه: مثال ها و اشکال مهاربند های غیرمرکزی

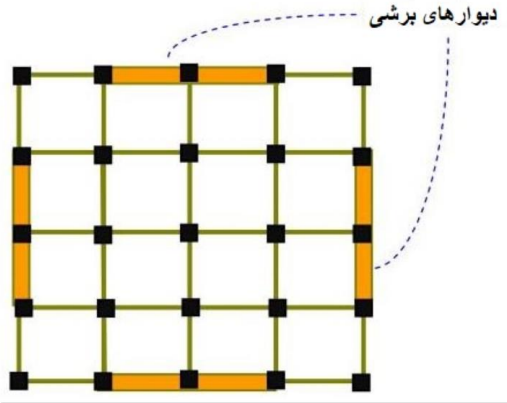


مهاربند سرتاسری مهاربندK مانند مهاربند ۸ مانند مهاربند V مانند مهاربند X مانند مهاربند وتری




مهاربند های شکل
X ، ۸ و K
Y
X


مهاربند سراسری
Y
X


دیوارهای برشی