جمهوری اسلامی ایران

سازمان برنامه و بودجه کشور

معرفی سیستم سازه‌ای

مهار–درز

نشریه شماره ۸۴۶

معاونت فنی، امور زیربنایی و تولیدی

امور نظام فنی اجرایی، مشاورین و پیمانکاران

Nezamfanni.ir

۱۴۰۰

shaghool.ir

shaghool.ir

اصلاح مدارک فنی

خواننده گرامی:

امور نظام فنی و اجرایی، مشاورین و پیمانکاران معاونت فنی، امور زیربنایی و تولیدی سازمان برنامه و بودجه کشور، با استفاده از نظر کارشناسان برجسته مبادرت به تهیه این ضابطه کرده و آن را برای استفاده به جامعه‌ی مهندسی کشور عرضه نموده است. با وجود تلاش فراوان، این اثر مصون از ایرادهایی نظیر غلط‌های مفهومی، فنی، ابهام، ایهام و اشکالات موضوعی نیست.

از این‌رو، از شما خواننده گرامی صمیمانه تقاضا دارد در صورت مشاهده هرگونه ایراد و اشکال فنی مراتب را به صورت زیر گزارش فرمایید:

۱- در سامانه مدیریت دانش اسناد فنی و اجرایی (سما) ثبت نام فرمایید: sama.nezamfanni.ir

۲- پس از ورود به سامانه سما و برای تماس احتمالی، نشانی خود را در بخش پروفایل کاربری تکمیل فرمایید.

۳- به بخش نظرخواهی این ضابطه مراجعه فرمایید.

۴- شماره بند و صفحه موضوع مورد نظر را مشخص کنید.

۵- ایراد مورد نظر را به صورت خلاصه بیان دارید.

۶- در صورت امکان متن اصلاح شده را برای جایگزینی ارسال نمایید.

کارشناسان این امور نظرهای دریافتی را به دقت مطالعه نموده و اقدام مقتضی را معمول خواهند داشت.

پیشاپیش از همکاری و دقت نظر جنابعالی قدردانی می‌شود.

نشانی برای مکاتبه: تهران، میدان بهارستان، خیابان صفی علی‌شاه – مرکز تلفن ۳۳۲۷۱

سازمان برنامه و بودجه کشور، امور نظام فنی و اجرایی، مشاورین و پیمانکاران

Email: nezamfanni@mporg.ir **web: nezamfanni.ir**

shaghool.ir

باسمه تعالی

پیشگفتار

ایران یکی از زلزله‌خیزترین نقاط دنیا است که در چند سال اخیر تلفات جانی و خسارات مالی بسیاری را متحمل شده‌است. در دهه اخیر، حدود ۹۵۰ زمین‌لرزه در ایران رخ داده که سبب خسارات فراوانی شده‌است. زلزله سال ۱۳۹۷ استان کرمانشاه نشان داد که ساختمان‌های طراحی شده با آیین‌نامه‌های موجود اگر چه ایمنی جانی را تا حد نسبتاً قابل قبولی تامین می‌کنند، اما همچنان با رویداد زلزله، خسارات مالی قابل توجهی به جا می‌ماند. هرچند استفاده از سیستم‌های پیشرفته نظیر جداسازهای لرزه‌ای، باعث کاهش خسارات می‌شود اما بکارگیری آنها نیازمند صرف هزینه زیاد و بهره‌گیری از تکنولوژی پیشرفته‌ای است که استفاده از آنها را محدود می‌کند. در این راستا، روش نوین و مقرون به صرفه سیستم سازه‌ای مهار-درز یا gapped-inclined brace (GIB)، تنها در طبقه همکف ساختمان‌ها نصب می‌شود و سبب می‌گردد که انرژی حاصل از زلزله تنها در طبقه همکف مستهلک شود و سایر طبقات بدون خسارت باقی مانده و پس از زلزله قابل استفاده باشند.

با توجه به مطالب فوق و تایید این روش توسط مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی در قالب نظریه فنی، نشریه شماره ۸۴۶ با عنوان «معرفی سیستم سازه‌ای مهار-درز» توسط آقای دکتر حسین آقابیگی و با هماهنگی امور نظام فنی اجرایی، مشاورین و پیمانکاران سازمان برنامه و بودجه کشور تهیه شده‌است. این نشریه به منظور بهره‌برداری جامعه فنی مهندسی کشور، تا پایان مدت اعتبار نظریه فنی، در دسترس عموم قرار گرفته‌است.

علیرغم تلاش، دقت و وقت زیادی که برای تهیه این مجموعه صرف گردید، این مجموعه مصون از وجود اشکال و ابهام در مطالب آن نیست. لذا در راستای تکمیل و پربار شدن این ضابطه از کارشناسان محترم درخواست می‌شود موارد اصلاحی را به امور نظام فنی اجرایی، مشاورین و پیمانکاران سازمان برنامه و بودجه کشور ارسال کنند. کارشناسان سازمان پیشنهادهای دریافت شده را بررسی کرده و در صورت نیاز به اصلاح در متن ضابطه، با همفکری نمایندگان جامعه فنی کشور و کارشناسان مجرب این حوزه، نسبت به تهیه متن اصلاحی، اقدام و از طریق پایگاه اطلاع‌رسانی نظام فنی و اجرایی کشور برای بهره‌برداری عموم، اعلام خواهند کرد. به همین منظور و برای تسهیل در پیدا کردن آخرین ضوابط ابلاغی معتبر، در بالای صفحات، تاریخ تدوین مطالب آن صفحه درج شده است که در صورت هرگونه تغییر در مطالب هر یک از صفحات، تاریخ آن نیز اصلاح خواهد شد. از اینرو همواره مطالب صفحات دارای تاریخ جدیدتر معتبر خواهد بود.

امور نظام فنی اجرایی، مشاورین و پیمانکاران

پاییز ۱۴۰۰

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
فصل ۱- کلیات	**۱**
۱-۱- هدف	۳
۱-۲- گستره	۳
۱-۳- مبانی طراحی	۳
۱-۴- ساختار نشریه	۳
۱-۵- سیستم آحاد	۴
۱-۶- علائم و اختصارات	۴
فصل ۲- ویژگی‌های فنی سیستم مهار-درز	**۵**
۲-۱- کلیات	۷
۲-۲- معرفی سیستم مهار-درز	۷
۲-۲-۱- تعاریف	۹
۲-۳- مشخصات مصالح	۹
۲-۴- صحت‌سنجی و مطالعات انجام شده	۱۰
۲-۵- بررسی کفایت عملکرد	۱۰
۲-۵-۱- محدودیت‌های مقاومت و سختی	۱۰
فصل ۳- بارگذاری	**۱۱**
۳-۱- ملاحظات کلی	۱۳
۳-۲- ترکیب بار	۱۳
۳-۲-۱- ترکیب‌های بارگذاری در روش تنش مجاز	۱۳
۳-۲-۲- ترکیب‌های بارگذاری ضریب‌دار در روش مقاومت (حدی نهایی)	۱۴
۳-۲-۳- اثر رو به بالای زلزله در طره‌های افقی	۱۵
فصل ۴- ملزومات طراحی	**۱۷**
۴-۱- ملاحظات کلی	۱۹
۴-۲- ملاحظات کلی طراحی	۱۹

۴-۳- اعمال نیروی زلزله ۱۹
۴-۴- موقعیت تراز پایه ۲۰
۴-۵- ضوابط طراحی برای بهسازی لرزه‌ای ۲۱
۴-۶- ضوابط طراحی برای طراحی سازه جدید ۲۲
۴-۷- ضوابط کنترلی تکمیلی ۲۳
۴-۸- مدل‌سازی سیستم مهار-درز ۲۳
۴-۹- اتصالات و ضوابط اجرایی ۲۴

مراجع ۲۷

پیوست ۱- نتایج تحلیل و آزمایشات ۲۹

پیوست ۲- نمونه طراحی و اجرا و مزایای سیستم مهار- درز ۳۳

پیوست ۳- نظریه فنی مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی ۳۷

فصل ۱

کلیات

۱-۱- هدف

هدف از این نشریه، معرفی و ارائه‌ی حداقل ضوابط برای طراحی، ساخت و بهسازی سازه‌ها با سیستم مقرون به صرفه سازه‌ای مهار-درز یا gapped-inclined brace (GIB) است به نحوی که با رعایت آن احتمال اختلال در کارایی و بهره‌برداری سازه در زلزله‌های خفیف و متوسط و احتمال خسارات گسترده در زلزله‌های قوی به حداقل برسد.

با رعایت ضوابط این نشریه انتظار می‌رود رفتار سازه در زلزله‌های خفیف و متوسط به گونه‌ای باشد که عضو GIB به همراه روسازه در محدوده‌ی خطی باقی مانده و در زلزله‌های شدید میزان خسارت وارده در روسازه محدود گردد. همچنین اعم اجزای غیرسازه‌ای در زلزله‌های خفیف، متوسط و شدید قابلیت خدمت‌رسانی را داشته باشد.

۱-۲- گستره

گستره‌ی ضوابط این نشریه مشتمل بر طراحی سازه‌های جدید و بهسازی سازه‌های موجود با استفاده از سیستم سازه‌ای مهار-درز می‌باشد. سازه‌های مورد استفاده اعم از ساختمان‌های مسکونی، اداری، آموزشی، تجاری، بیمارستان‌ها و مانند آن می‌باشد. ویژگی اجزای تشکیل دهنده سیستم مهار-درز برای تمامی موارد فوق مشابه بوده که درفصول ۲ و ۳ ذکر شده است. محدودیت‌ها و الزامات طراحی سیستم در فصل ۴ ارائه شده است. این مجموعه برای ارزیابی لرزه‌ای سازه‌های موجود تدوین نشده است. در این خصوص می‌توان به نشریه‌ی شماره‌ی ۳۶۰ سازمان برنامه و بودجه کشور مراجعه نمود.

۱-۳- مبانی طراحی

ضوابط طراحی لرزه‌ای این نشریه بر پایه روش‌های طراحی غیر خطی از جمله روش دینامیکی غیر خطی یا روش مستقیم براساس تغییر مکان[1] می‌باشد. در صورت استفاده از مراجع معتبر دیگر، رعایت ضوابط این مجموعه نیز الزامی است.

۱-۴- ساختار نشریه

این نشریه در چهار فصل و دو پیوست تنظیم شده است. فصل دوم تا چهارم ضوابط عمومی طراحی را در بر می‌گیرد و شامل: کلیات، ویژگی‌های فنی سیستم، بارگذاری، ضوابط طراحی و روش‌های تحلیل می‌باشد. پیوست ۱ شامل نتایج تحلیل‌های عددی و آزمایشات سیستم مهار-درز می‌باشد که در سال‌های اخیر انجام گرفته است. پیوست ۲ سایر مدارک تکمیلی را دربر می‌گیرد که شامل مراحل اجرایی، نمونه طراحی شده و پیوست ۳ نظریه فنی سیستم مهار-درز توسط مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی می‌باشد. ضوابط طراحی لرزه‌ای اجزای غیرسازه‌ای شامل اجزای معماری و تجهیزات مکانیکی و برقی مطابق ضوابط ارائه شده در سایر ضوابط مرتبط ازجمله استاندارد ۲۸۰۰ می‌باشد. در صورت به‌کارگیری جداسازهای لرزه‌ای و میراگرها علاوه بر سیستم مهار-درز، باید از ضوابط موجود در استانداردهای معتبر در این زمینه استفاده گردد.

---

[1] Direct displacement-based design (DDBD)

۱-۵- سیستم آحاد

اگر چه در این نشریه سعی شده است روابط بدون بعد بوده و با هرگونه سیستم آحاد معتبر سازگار باشند، در مواردی که به دلیل بی‌بعد نبودن ضرایب، استفاده از سیستم آحاد مناسب لازم است، دستگاه SI و آحاد مرتبط با آن مورد استفاده قرار گرفته و ذکر شده‌اند.

۱-۶- علائم و اختصارات

علائم و اختصارات مورد استفاده در این مجموعه به‌طور کلی سازگار با مراجع معتبر بین‌المللی و داخلی تعیین شده‌اند. در ادامه علائم مورد استفاده در روابط و بندهای این راهنما ارائه شده است. همچنین توجه به این نکته ضروری است که ممکن است از یک پارامتر برای بیان تعریف‌های متعدد استفاده شده باشد.

D اثر بار مرده

L اثر بار زنده‌ی کاهش یافته

L_r اثر بار زنده‌ی بام

E اثر بار زلزله

S اثر بار برف

W اثر بار ناشی از فشار باد

F اثر بار جانبی ناشی از فشار مایعات در حالت حداکثر ارتفاع

$F_{y,col}$ ظرفیت جاری شدن ستون های موجود

$F_{u,col}$ ظرفیت نهایی ستون های موجود

H اثر بار جانبی ناشی از فشار خاک، آب زیرزمینی و یا توده‌ی مصالح و مواد

H_c ارتفاع ستون

P_0 نیروی فشاری ستون در حالت سکون

P_u نیروی فشاری ستون در حالت نهایی

Δ_{GIB} فاصله پای مهاربند از پای ستون

Δ_{vy} تغییر مکان عمودی مهاربند در هنگام جاری شدن

Δ_{cr} تغییر مکان جانبی بحرانی ستون

θ_{gc} نسبت تغییرمکان جانبی طبقه در هنگام بسته شدن درز و فعال شدن مهاربند

θ_{GIB} زاویه اولیه مهاربند GIB

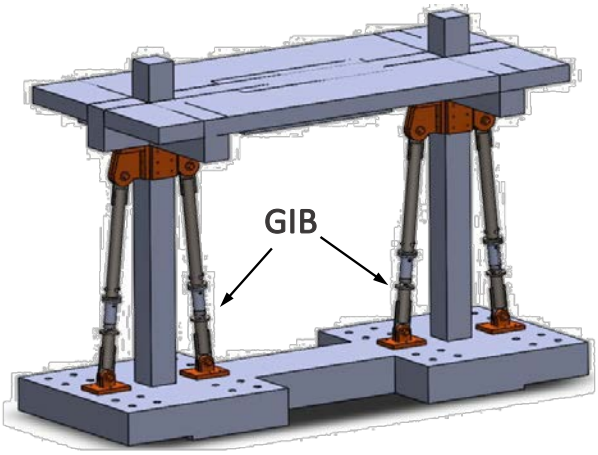
θ_u زاویه مهاربند در تغییر مکان نهایی

فصل ۲

ویژگی‌های فنی سیستم مهار-درز

۲-۱- کلیات

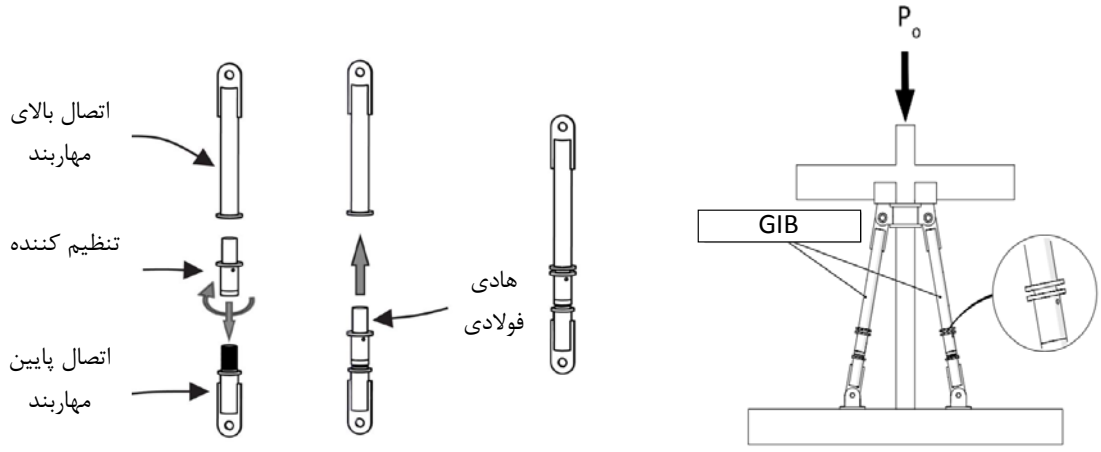
سیستم سازه ای مهار-درز یا gapped-inclined brace (GIB) نوع جدیدی از سیستم های سازه‌ای به شمار می رود که با هدف بهبود تاب‌آوری سازه‌ها در برابر زلزله و سیل استفاده می‌گردد.



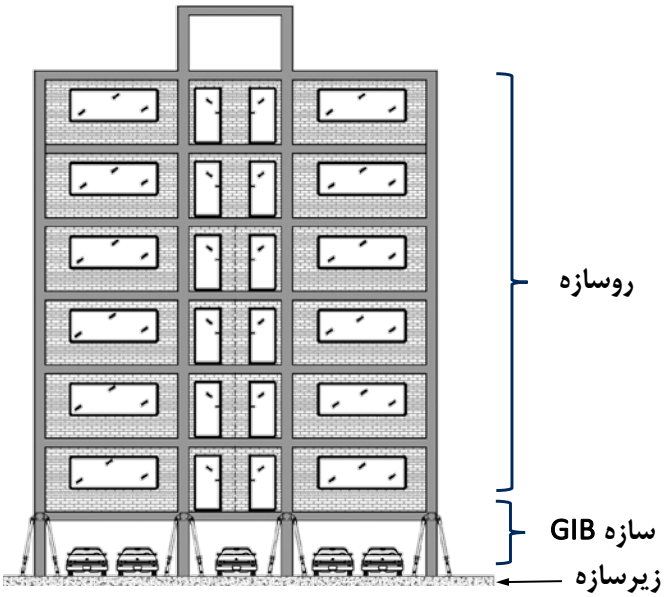
شکل ۲-۱ سیستم سازه ای مهار-درز (GIB)

۲-۲- معرفی سیستم مهار-درز

سیستم مهار-درز به عنوان یک سیستم سازه‌ای مقرون به صرفه برای طراحی، ساخت و بهسازی لرزه‌ای سازه‌های جدید و موجود به کار گرفته می‌شود. سیستم مهار-درز شامل یک مهاربند فلزی و یک درز تعبیه شده در داخل آن می‌باشد که با زاویه اندکی نسبت به امتداد قائم در سازه موجود نصب می‌شود (شکل ۲-۲) و (شکل ۲-۳). مهاربند فلزی شامل اتصال بالایی و پایینی می‌باشد که فاصله مابین آن‌ها توسط درز تعبیه شده در مهاربند تنظیم می‌گردد (شکل ۲-۲). به واسطه هادی فولادی فقط تغییر مکان محوری در مهاربند ممکن است و از تغییر مکان‌های برشی جلوگیری می‌گردد.



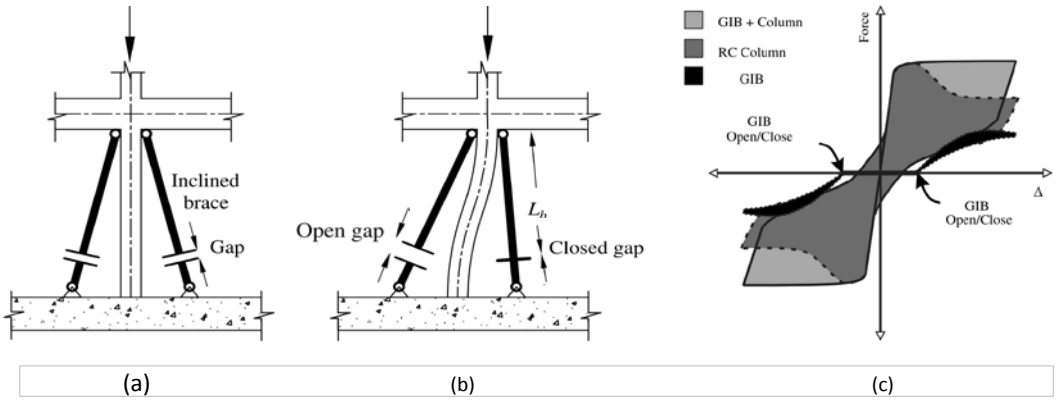
شکل ۲-۲ سیستم سازه ای مهار-درز و اجزای تشکیل دهنده آن



شکل ۲-۳ سیستم سازه ای مهار-درز در ساختمان های چند طبقه

در هنگام حرکت جانبی سازه، با افزایش تغییرمکان سازه تا حد تغییرمکان بحرانی Δ_{cr}، درز تعبیه شده داخل سیستم مهاربند بسته شده و این عضو از این لحظه مانند مهاربند معمولی عمل کرده و در تحمل بار قائم و جانبی با ستون‌ها مشارکت می‌نماید. همانطور که تغییرمکان جانبی افزایش می‌یابد، بار محوری در ستون‌های طبقه اول به طور فزاینده‌ای به دلیل مشارکت سیستم مهاربند کاهش می‌یابد. بنابراین سیستم مهار-درز هم با اثرات P-Δ مقابله نموده و هم ظرفیت تغییرشکل جانبی ستون‌ها را افزایش می دهد، در حالی که سبب افزایش قابل توجه مقاومت یا سختی جانبی کل سازه نمی‌گردد (شکل ۲-۴). این موضوع سبب کاهش خرابی کلی در سازه از طریق استفاده از نرمی طبقه تحتانی نسبت به سازه قرار گرفته در بالای آن می‌گردد.

در ساختمان های چند طبقه، سیستم مهار-درز در طبقات تحتانی ساختمان مانند پارکینگ یا پیلوت نصب می‌گردد. این امر سبب می‌گردد که خسارات لرزه‌ای در این طبقات متمرکز شده و خسارت در طبقات فوقانی ساختمان که عموماً ارزش بیشتری دارند بسیار کاهش یافته و این طبقات محفوظ بمانند.



شکل ۲-۴ رفتار لرزه ای سیستم مهار-درز: a) وضعیت اولیه؛ b) وضعیت بسته شدن درز مهاربند، c) رفتار هیسترزیس کل سازه

۲-۲-۱- تعاریف

جزء مهار-درز: شامل جزء مهاربند فلزی و المان درز که با زاویه نسبتا قائم به روسازه و تکیه‌گاه زیرین متصل می‌گردد.

سازه مهاردرز (سازه GIB): قسمتی از سازه که در آن سیستم مهار-درز نصب می‌گردد. سازه مهاردرز در ساختمان‌های چند طبقه ناحیه بین روسازه و زیرسازه می باشد (شکل ۲-۳).

روسازه: در ساختمان‌های چند طبقه قسمت بالای سازه مهاردرز که تغییر مکان‌های جانبی طبقات به شدت کاهش یافته است (شکل ۲-۳).

زیرسازه: در ساختمان‌های چندطبقه قسمت پایین سازه مهاردرز که همگام با زمین در زلزله حرکت می‌کند (شکل ۲-۳). در صورتی که سیستم مهاردرز برروی پی ساختمان نصب گردد، پی ساختمان به عنوان زیرسازه تلقی می‌گردد.

سیستم مهار-درز (سیستم GIB): شامل ستون در سازه مهار-درز و جزء (یا اجزای) مهار-درز به همراه اتصالات آنها به روسازه و تکیه‌گاه زیرین، دال صلب توزیع‌کننده‌ی نیرو، اجزای تامین‌کننده‌ی مقاومت در برابر باد، میراگرها در صورت وجود و سیستم محدودکننده‌ی جابجایی می‌باشد.

تغییرمکان طرح: عبارت است از تغییرمکان جانبی در زلزله طرح بدون در نظر گرفتن آثار پیچش تصادفی و پیچش واقعی. از این مقدار در طراحی جزء مهار-درز استفاده می‌شود.

تغییرمکان طرح کل: عبارت است از تغییر مکان جانبی در زلزله طرح با در نظر گرفتن آثار پیچش تصادفی و پیچش واقعی. از این مقدار در طراحی جزء مهار-درز و یا اجزای متصل به آنها استفاده می‌شود.

تغییرمکان بیشینه: عبارت است از تغییر مکان جانبی در زلزله نادر (MCE) بدون در نظر گرفتن آثار پیچش تصادفی و پیچش واقعی.

تغییرمکان بیشینه‌ی کل: عبارت است از تغییرمکان جانبی در زلزله‌ی نادر (MCE) با در نظر گرفتن آثار پیچش تصادفی و پیچش واقعی. از این کمیت برای کنترل پایداری سیستم مهار-درز و اجزای آن و کنترل درز انقطاع و آزمایش جزء مهار-درز تحت بار قائم همزمان استفاده می‌شود.

تغییر مکان بحرانی: برابراست با تغییر مکان جانبی ستون در هنگام جاری شدن Δ_y . این تغییر مکان متناظر با تغییر مکان جانبی در هنگام بسته شده درز مهار-درز θ_{gc} می‌باشد.

میرایی موثر: برابر است با میرایی ویسکوز متناظر با انرژی مستهلک شده در طول پاسخ چرخه‌ای سیستم مهار-درز.

سختی موثر: برابر است با حاصل تقسیم نیروی برش پایه بر تغییر مکان سازه مهار-درز .

۲-۳- مشخصات مصالح

سیستم مهار-درز شامل یک مهاربند فلزی و یک درز تعبیه شده در داخل آن می‌باشد که با زاویه اندک نسبت به امتداد قائم در کنار ستون‌ها نصب می‌شود. مصالح مورد استفاده در این سیستم تنها فولاد می‌باشد و مصالح غیر متعارف با ویژگی‌های خاص در آن استفاده نشده است.

فولاد به کار رفته در مهاربندها از نوع ST 37 و ST 52 و CSA grade H می‌باشد. کاربرد سایر فولادهای ساختمانی در صورت اخذ استانداردهای لازم مجاز می‌باشد.

المان "درز" در سیستم مهار-درز باید به دقت انتخاب و طراحی گردد. المان "درز" دارای فضای خالی بوده و این فضا نباید با شیئ یا ماده پرکننده‌ای پر شود.

۲-۴- صحت‌سنجی و مطالعات انجام شده

مطالعات عددی و آزمایشگاهی متعددی بر روی عملکرد سازه‌ای سیستم مهار-درز انجام شده است. این سیستم توسط روش‌های متعدد پیشرفته شامل تحلیل اجزاء محدود مدل‌سازی شده و پاسخ سازه توسط تحلیل‌های دینامیکی غیر خطی IDA با استفاده از شتابنگاشتهای متعدد زلزله و شدت‌های مختلف صحت سنجی شده است. همچنین صحت سنجی رفتار سیستم مهار-درز توسط آزمایش‌های شبه استاتیک و دینامیکی با مقیاس کامل نیز بر اساس استاندارد AISC-341-2016 انجام شده است. قاب بتنی با مقیاس کامل تحت بارگذاری چرخه‌ای و آزمایش شده است (پیوست ۱ و۲).

نتایج آزمایش حاکی از آن است که سیستم مهار-درز جذب انرژی زلزله را تا ۵ برابر بیشتر می‌نماید بدون اینکه سختی و مقاومت قابل توجهی به سازه اعمال نماید. این مشخصه باعث می‌گردد که خسارت لرزه‌ای در کل سازه بسیار کاهش یابد. ظرفیت تغییر مکانی سازه با سیستم مهار-درز تا بیش از ۷ درصد و افزایش مقاومت و سختی آن حداکثر ۲۰٪ می‌باشد.

۲-۵- بررسی کفایت عملکرد

۲-۵-۱- محدودیت‌های مقاومت و سختی

سیستم مهار-درز باید به صورتی طراحی و اجرا گردد که اثرات P-Δ در سازه به نحو قابل ملاحظه‌ای کاهش یابد. همچنین به جهت کاهش خسارت کلی در سازه، سیستم مهار-درز نباید نیروی جانبی قابل توجهی به سازه اعمال نماید. این افزایش مقاومت جانبی کمتر از ۲۰ درصد پیشنهاد می‌گردد.

ظرفیت تغییر مکان جانبی نسبی طبقه‌ای که سیستم مهار-درز در آن نصب شده، در زلزله طرح (DBE) حداقل ۴ درصد و در زلزله نادر (MCE) حداقل ۶ درصد در نظر گرفته شود. افزایش مقاومت و سختی این طبقه در هر صورت باید به ۲۰٪ محدود گردد.

در طبقات بالاتر از طبقه محل نصب سیستم مهار-درز، حداکثر تغییر مکان جانبی نسبی طبقات ۱ درصد می‌باشد. همچنین در سطح عملکرد قابلیت استفاده بی وقفه، تغییر مکان نسبی ماندگار در طبقات فوقانی نباید از ۰/۵ درصد فراتر رود. تغییر مکان نسبی ماندگار ترازی که مهار-درز در آن نصب می‌گردد در زلزله طرح باید کمتر از ۱/۵ درصد باشد.

فصل ۳

بارگذاری

۳-۱- ملاحظات کلی

در این راهنما، طراحی سازه مهار-درز و زیر سازه با روش ارائه شده در فصل چهارم صورت می‌گیرد و طراحی روسازه می‌تواند با دو روش تنش مجاز و مقاومت (حدی نهایی) انجام گیرد. ترکیب‌های بارگذاری برای هر دو روش در بند ۳-۲ ارائه شده است. در هر دو روش باید الزامات مبحث ششم مقررات ملی ساختمان نیز رعایت گردد. اعضای این سازه‌ها باید دارای ویژگی لازم در برابر بحرانی‌ترین ترکیب‌های بارگذاری و نیز در صورت لزوم ترکیب بارگذاری شامل ضریب اضافه مقاومت مبحث ششم مقررات ملی ساختمان باشند. در استفاده از ترکیبات بارگذاری ارائه شده، لازم است به سازگاری آن با ضوابط آیین‌نامه‌های طراحی توجه شود. در هر حال بدون توجه به اثر بار غالب، ضوابط طرح‌لرزه‌ای نیز طبق فصول این آیین‌نامه‌ها باید رعایت گردد.

در این راهنما ضوابط بار ناشی از زلزله ارائه شده است. برای تعیین سایر بارها می‌توان از مبحث ششم مقررات ملی ساختمان و اسناد و مشخصات طرح و نصب تجهیزات استفاده کرد. ضوابط سایر بارگذاری‌ها باید طبق مراجع و استانداردهای معتبر سازگار با ترکیبات بارگذاری ارائه شده تعیین شود.

برای بهسازی ساختمان‌های موجود، علاوه بر الزامات ارائه شده، ترکیبات بار مطابق با نشریه ۳۶۰ سازمان برنامه و بودجه کشور می‌باشد.

۳-۲- ترکیب بار

در این راهنم ترکیب بارهای پایه به دو روش تنش مجاز و مقاومت (حدی نهایی) به ترتیب در بندهای ۳-۲-۱ و ۳-۲-۲ ارائه شده است. علاوه بر بارهای یاد شده در این بندها و فصول مربوط در این نشریه، در صورت لزوم برای ترکیب سایر بارها نظیر بارهای عملکردی سازه‌های صنعتی، اثر آتش‌سوزی، انفجار و نظایر آن، می‌توان از سایر مراجع معتبر استفاده نمود.

۳-۲-۱- ترکیب‌های بارگذاری در روش تنش مجاز

۳-۲-۱-۱ ترکیب بارهای پایه

در روش تنش مجاز، مقدار بیشینه‌ی نیرو در اعضا و پی سازه باید با بحرانی‌ترین ترکیب‌های بار تعیین شود. افزایش تنش مجاز در صورت استفاده از ترکیب‌های بارگذاری این راهنما مجاز نمی‌باشد. ترکیب‌های پایه در روش تنش مجاز به شرح زیر می‌باشد:

D	۳-۱
$D+L$	۳-۲
$D+(L_r \text{ یا } S \text{ یا } R)$	۳-۳
$D+0.75L+0.75(L_r \text{ یا } S \text{ یا } R)$	۳-۴
$D+(0.6\times1.4W \text{ یا } 0.7E)$	۳-۵

$$0.6D + 0.6 \times 1.4W$$ ۶-۳

$$0.6D + 0.7E$$ ۷-۳

که در روابط فوق:

D: اثر بار مرده

L: اثر بار زنده‌ی کاهش یافته

L_r: اثر بار زنده‌ی بام

E: اثر بار زلزله

S: اثر بار برف

w: اثر بار ناشی از فشار باد

F: اثر بار جانبی ناشی از فشار مایعات در حالت حداکثر ارتفاع

H : اثر بار جانبی ناشی از فشار خاک، آب زیرزمینی، و یا توده‌ی مصالح و مواد

R: اثر بار باران

تبصره ۱: در صورت وجود بار جانبی ناشی از فشار خاک، آب زیرزمینی و یا توده‌ی مصالح و مواد، H، با اثر افزاینده بر بارهای پایه، اثر آن در تمامی ترکیب بارها با ضریب بار یک اضافه می‌شود. چنانچه بار H اثر مقابله‌کننده با بارهای پایه داشته باشد، در صورت دائمی بودن با ضریب بار ۰٫۶ و در غیر این صورت با ضریب بار صفر منظور می‌گردد.

تبصره ۲: در ترکیب بارهای فوق، از اثر بارهایی که عدم اعمال آنها شرایط بحرانی‌تری را ایجاد می‌کند باید صرفنظر شود.

تبصره ۳: اثر بار زلزله در موارد لزوم باید با استفاده از ترکیبات بار شامل ضریب اضافه مقاومت منظور گردد.

۳-۲-۲- ترکیب‌های بارگذاری ضریب‌دار در روش مقاومت (حدی نهایی)

۳-۲-۲-۱ ترکیب بارهای پایه

سازه، اجزا و شالوده آن باید طوری طراحی شوند که مقاومت طراحی آنها برابر یا بیشتر از اثرات حاصل از ترکیب‌های پایه‌ی بارگذاری ضریب‌دار زیر باشد:

$$1.4D$$ ۸-۳

$$1.2D + 1.6L + (L_r \text{ یا } R \text{ یا } S)$$ ۹-۳

$$1.2D + 1.6\,(L_r \text{ یا } S \text{ یا } R) + [L + 0.5\,W]$$ ۱۰-۳

$$1.2D + 1.4W + L + 0.5(L_r \text{ یا } S \text{ یا } R)$$ ۱۱-۳

$$1.2D + E + L + 0.2S$$ ۱۲-۳

$$0.9D + 1.4W$$ ۱۳-۳

$$0.9D + E$$ ۱۴-۳

چنانچه بار زنده‌ی کاهش‌نیافته کمتر از daN/m^2 ۴۰۰ باشد (به جز پارکینگ و یا محل تجمع)، در ترکیب‌های بار ۳-۱۰ الی ۳-۱۲ می‌توان برای L ضریب بار ۰٫۵ درنظر گرفت.

در صورت وجود بار مایع، F، اثر آن با ضریب بار یکسان با بار مرده در ترکیب بارها اضافه می‌شود.

در صورت وجود بار H با اثر افزاینده با بارهای پایه، اثر آن در تمامی ترکیب‌بارها با ضریب بار ۱٫۶ اضافه می‌شود. چنانچه بار H اثر مقابله‌کننده با بارهای پایه داشته باشد، در صورت دائمی بودن با ضریب بار ۰٫۹، در غیر این‌صورت با ضریب بار صفر منظور می‌گردد.

اثر فقدان یک یا چند بار در ترکیب بارهای پایه باید بررسی شود.

۳-۲-۳- اثر رو به بالای زلزله در طره‌های افقی

طره‌ی افقی باید علاوه بر ترکیب بارهای قبل، برای بار حداقل ۲۰٪ بار مرده رو به بالا طراحی شود.

فصل ۴

ملزومات طراحی

۴-۱- ملاحظات کلی

در این فصل ضوابط تحلیل و طراحی سازه مهار-درز ، اجزا و اعضای روسازه و شالوده آن ارائه شده است. اگرچه سیستم مهار-درز برای ساختمان‌های با طبقه نرم کارایی بیشتری دارد، استفاده از آن در کلیه سازه‌ها مقرون به صرفه بوده و در اغلب موارد باعث بهبود رفتار و کاهش خسارات اجزای غیرسازه‌ای می‌شود.

طراحی سیستم مهار-درز بر این پایه استوار است که ضمن افزایش ظرفیت تغییر مکان جانبی ستون‌ها، خسارات لرزه‌ای در ستون های طبقه پایین متمرکز گردد و افزایش مقاومت و سختی کل سازه به حداقل برسد. بر این اساس، زاویه مهاربند θ_{GIB} ، اندازه درز Δ_{gap} و سایز مهاربند پارامترهای مهم طراحی می‌باشند. بارگذاری و تحلیل لرزه‌ای، باید بر اساس تحلیل دینامیکی غیرخطی تاریخچه زمانی (طبق استاندارد ۲۸۰۰) با رعایت ضوابط مربوط انجام شود.

برای ساختمان‌های چند طبقه، روسازه باید دارای سیستم مقاوم جانبی لرزه‌ای مناسب، افقی و قائم با سختی، مقاومت و ظرفیت شکل‌پذیری کافی باشد، به طوری‌که اعضا و اتصالات آن بتوانند تغییر شکل‌ها در محدوده‌ی مجاز ارتجاعی و غیرارتجاعی این نشریه را تامین کنند. برای طراحی سازه‌ها طبق این نشریه، باید مواردی از قبیل پیکربندی، کاربری، سیستم سازه‌ای و گروه طراحی لرزه‌ای طبق ضوابط این فصل در نظر گرفته شوند. مدل ریاضی سازه باید با خصوصیات ارتجاعی و غیرخطی مصالح و هندسه‌ی سازه سازگار باشد، اما ساده‌سازی‌هایی مانند فرض بستر صلب مجاز است، مگر اینکه در این نشریه فرض خاصی توصیه شده باشد.

۴-۲- ملاحظات کلی طراحی

عملکرد اجزای سیستم مهار-درز باید بر اساس تحلیل و درصورت نیاز آزمایش طبق این فصل برای آثار تغییرمکان کل کنترل شود. تحلیل و طراحی لرزه‌ای روسازه بر اساس مقررات ملی ساختمان و استاندارد ۲۸۰۰ انجام می‌گیرد. همچنین برای روسازه به استثنای مواردی که در این فصل آمده است، ضریب اهمیت، ضریب اضافه مقاومت سیستم، ضریب بزرگنمایی تغییرمکان جانبی، محدودیت ارتفاع سازه و همچنین نوع سیستم لرزه‌بر، مشابه سازه‌ی بدون مهار-درز و مطابق با استاندارد ۲۸۰۰ تعیین می‌شود. ضریب رفتار روسازه نیز باید برابر با ۱ در نظرگرفته شود.

مراحل طراحی و پارامترهای مربوطه برای بهسازی سازه‌های موجود و طراحی سازه های جدید به ترتیب در بند ۴-۵ و ۴-۶ ارائه شده‌اند.

۴-۳- اعمال نیروی زلزله

راستای اعمال نیروی زلزله در طراحی سازه باید به نحوی باشد که بیشترین تاثیر را بر اعضای سازه داشته باشد. دو مولفه‌ی افقی متعامد شتابنگاشت زلزله باید به طور همزمان به هر دو جهت متعامد سازه اعمال شود.

انتخاب شتابنگاشت برای تحلیل تاریخچه زمانی با توجه به ضوابط استاندارد ۲۸۰۰ با در نظر گرفتن محدوده‌ی زمان تناوب $0.2T$ تا $1.5T$ انجام می‌شود. روش دینامیکی غیرخطی باید برای مجموعه‌ای از زوج شتاب نگاشت‌ها که برای هر سطح خطر

مطابق با استاندارد ۲۸۰۰ انتخاب و اصلاح شده‌اند انجام شود. سازه باید تحت جنبش زلزله به صورت شتابنگاشت جنبش زمین قرار گیرد و نیروها و جابجایی‌ها برای آن محاسبه شود. بار زلزله باید با تاریخچه رکورد شتاب طراحی زمین طبق استاندارد ۲۸۰۰ مشخص شود. در این تحلیل باید از تاریخچه جنبش قوی افقی طراحی استفاده شود و پارامترهای پاسخ باید برای هر رکورد زلزله طراحی محاسبه شوند. روش محاسبه نتایج و نحوه در نظر گرفتن اثرات همزمان مولفه ها باید مطابق استاندارد ۲۸۰۰ در نظر گرفته شود.

۴-۴- موقعیت تراز پایه

تراز پایه، ترازی است که سیستم مهار-درز بر روی آن نصب می‌گردد و انتقال حرکت لرزه‌ای افقی زمین به سازه در آن تراز لحاظ می‌شود. به طور کلی در تعیین تراز پایه رعایت نکات زیر الزامی است:

الف- در ساختمان‌های واقع بر زمین مسطح و فاقد زیرزمین که اعضای باربر قائم در ترازهای متفاوت بر روی شالوده، سرشمع و یا دیوار شالوده‌ای محیطی قرار می‌گیرند، تراز پایه روی پایین‌ترین تراز در بین اجزای نگهدارنده اعضای قائم باربر لرزه‌ای در نظر گرفته می‌شود.

ب- در ساختمان‌های دارای زیرزمین اگر سازه و دیوار حایل مستقل و بدون اتصال به یکدیگر باشند، تراز پایه بر روی شالوده درنظر گرفته می‌شود.

در ساختمانی که دیوار حائل جزء سیستم سازه‌ای باربر جانبی باشد و بر روی زمین هموار واقع شده باشد، می‌توان تراز پایه را مشروط به رعایت موارد زیر، روی اولین سقف پایین‌تر یا هم تراز از سطح زمین درنظر گرفت:

الف- سقف هیچ یک از طبقات زیرزمین، دیافراگم نرم نباشد.

ب- از وجود خاک مناسب در کل ارتفاع دیوار حائل اطمینان حاصل گردد. منظور از خاک مناسب، خاکی است که سخت باشد (از نوع IV براساس استاندارد ۲۸۰۰ نباشد و عدد ضربه استاندارد در آزمایش SPT لایه‌های آن کمتر از ۲۰ نباشد)، تحت زلزله‌ی نادر (MCE) قابلیت روانگرایی نداشته باشد، از جنس رس سریع[1] یا به شدت حساس نباشد و دارای چسبندگی کافی باشد.

در چنین ساختمانی مشروط به رعایت موارد اضافی زیر، تراز پایه را می‌توان روی اولین سقف بالاتر از سطح زمین درنظر گرفت:

الف- ارتفاع تراز پایه از سطح زمین نباید از نصف ارتفاع طبقه‌ی زیر آن سقف بیشتر باشد.

ب- دیوارهای سازه‌ای در تمام پیرامون ساختمان از پی تا تراز پایه ادامه داشته باشد.

[1] Quick Clay

۴-۵- ضوابط طراحی برای بهسازی لرزه‌ای

مراحل طراحی سازه مهار-درز برای بهسازی سازه‌های موجود به صورت زیر می‌باشد:

الف- ارزیابی اولیه سازه موجود بر اساس نشریه ۳۶۰ سازمان برنامه و بوجه و اطمینان از تمرکز مفاصل پلاستیک در ستون‌ها بر اساس رابطه ۴-۷. در غیر این صورت باید توسط تمهیدات لازم مانند تقویت تیرها واتصالات آن و ضعیف نمودن ستون‌ها و اتصالات آن از تمرکز مفاصل پلاستیک در ستون‌ها اطمینان حاصل گردد.

ب- رسم منحنی نیروی جانبی- تغییر مکان ستون‌های موجود و محاسبه ظرفیت جاری شدن ستون‌های موجود $F_{y,col}$ و ظرفیت نهایی ستون‌های موجود $F_{u,col}$ (مطابق با پیوست ۱ این نشریه).

ج- محاسبه ظرفیت تغییرمکان نهایی ستون‌ها θ_u تحت بار محوری فشاری P_u.

د- محاسبه زاویه مهاربند θ_{GIB} و فاصله پای مهاربند از پای ستون Δ_{GIB} که بر اساس روابط ۴-۱ و ۴-۲ بدست می‌آید.

$$\theta_{GIB} = \tan^{-1}\frac{F_{y,col} - F_{u,col}}{P_0 - P_u} + \theta_u \qquad ۱-۴$$

$$\Delta_{GIB} = H_c tan(\theta_{GIB}) \qquad ۲-۴$$

ه- محاسبه اندازه درز مهاربند Δ_{gap} بر اساس رابطه ۴-۳:

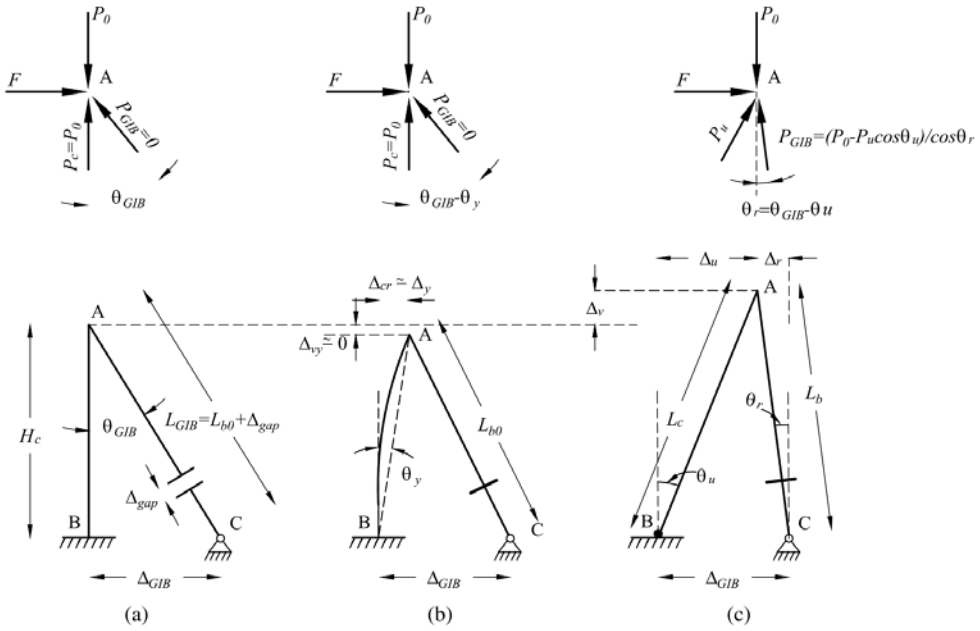
$$\Delta_{\text{gap}} = \frac{H_c}{\cos(\theta_{GIB})} - \frac{H_c + \Delta_{vy}}{\cos(\theta_{GIB} - \theta_{gc})} \qquad ۳-۴$$

و- صحت سنجی سازه بهسازی شده توسط تحلیل سازه مطابق با بند ۴-۷ و اصلاح پارامترهای طراحی فوق در صورت لزوم.

در روابط فوق، $F_{y,col} - F_{u,col}$ اختلاف ظرفیت نیروی جانبی ستون‌ها مابین حالت جاری شدن و حالت نهایی می‌باشد. P_0 و P_u به ترتیب نیروی فشاری ستون در حالت سکون (قبل از اعمال زلزله) و در حالت نهایی می‌باشد. H_c برابر با ارتفاع ستون و θ_{gc} نسبت تغییرمکان جانبی طبقه در هنگام بسته شدن درز و فعال شدن مهاربند است که از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$\theta_{gc} = 2\theta_u - \theta_{GIB} \qquad ۴-۴$$

مقدار Δ_{vy} نیز برابر با تغییر مکان عمودی مهاربند در هنگام جاری شدن ستون می‌باشد. پارامترهای طراحی در شکل ۴-۱ نشان داده شده‌است.



شکل ۴-۱ مکانیزم سیستم GIB: a) حالت سکون، b) حالت جاری شدن ستون، c) حالت نهایی ستون

در شکل فوق حالت جاری شدن ستون به معنای آغاز پلاستیک شدن ستون و حالت نهایی به معنای حد نهایی ظرفیت باربری جانبی ستون می‌باشد.

۴-۶- ضوابط طراحی برای طراحی سازه جدید

مراحل طراحی سیستم مهار-درز برای طراحی سازه‌های جدید به صورت زیر می‌باشد:

الف- محاسبه برش پایه طراحی براساس رفتار طبقه نرم و ضعیف توسط روش‌های موجود از جمله روش‌های غیر خطی یا روش طراحی مستقیم براساس تغییر مکان.

ب- طراحی اولیه روسازه بر اساس برش پایه به دست آمده در بند الف و طبق مقررات ملی ساختمان یا سایر ضوابط مربوط، همچنین طراحی ستون‌های سازه مهار-درز و اطمینان از تمرکز مفاصل پلاستیک در این ستون‌ها طبق رابطه ۴-۷.

ج- رسم منحنی نیرو- تغییر مکان ستون‌های طراحی شده و محاسبه ظرفیت جاری شدن $F_{y,col}$ و ظرفیت نهایی ستون‌ها $F_{u,col}$ همچنین محاسبه ظرفیت تغییرمکان نهایی ستون‌ها θ_u تحت بار محوری فشاری P_u (مطابق با پیوست ۱ این نشریه).

د- تعیین بار نهایی محوری مهاربند P_u که متناظر با حداکثر ظرفیت تغییر مکان جانبی ستون‌های موجود می‌باشد.

ه- محاسبه زاویه مهاربند θ_{GIB} و فاصله مهاربند Δ_{GIB} بر اساس ضوابط بخش "ج" تا "د" ارائه شده در بند ۴-۵.

و- تحلیل سازه طراحی شده بر اساس بند ۴-۵ و اصلاح پارامترهای طراحی در صورت لزوم.

۴-۷- ضوابط کنترلی تکمیلی

اندازه درز نباید به حدی بزرگ باشد که ستون های مجاور از محدوده جاری شدن فراتر روند. همچنین اندازه درز نباید به قدری کوچک باشد که مقاومت جانبی سیستم بیش از ۲۰ درصد افزایش یابد. پارامترهای طراحی باید توسط تحلیل‌های غیرخطی استاتیکی یا دینامیکی کنترل و در صورت لزوم اصلاح شوند.

به دلیل وجود درز در داخل جزء مهار-درز، این مهاربند تنها برای فشار و مطابق با الزامات مبحث دهم مقررات ملی ایران یا سایر استانداردهای معتبر مرتبط طراحی می‌گردد. نیروی طراحی بدون ضریب مهاربند فولادی باید مطابق رابطه زیر محاسبه شود:

$$P_b = \frac{P_0 - P_u}{cos(\theta_{GIB} - \theta_u)} \qquad ۵\text{-}۴$$

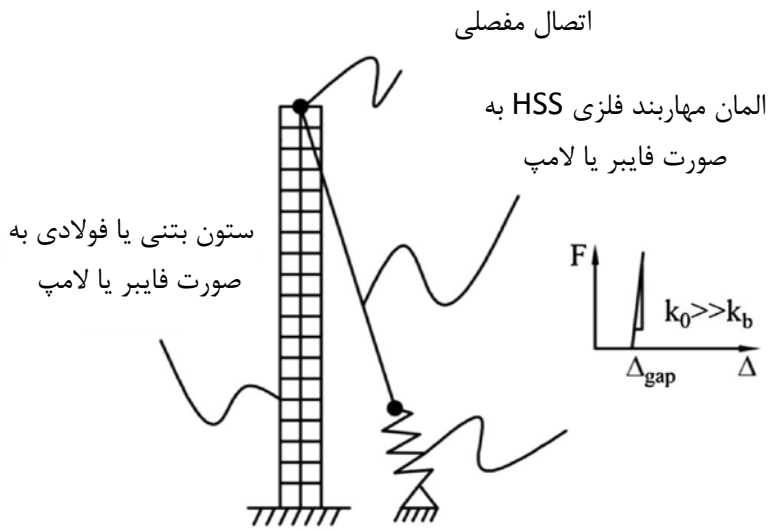
طراحی جزء مهار-درز به صورت خطی و الاستیک بوده و از کمانش مهاربند تحت بارهای فشاری وارده باید جلوگیری گردد. مودهای شکست مهاربند شامل کمانش کلی مهاربند، کمانش موضعی مقطع مهاربند، کمانش پیچشی ورقهای اتصال و شکست جوشهای اتصال باید مطابق با ضوابط مبحث دهم مقررات ملی ایران و سایر استانداردهای معتبرکنترل گردند.

در طراحی سازه‌های جدید، مهاربندها باید تحمل بار ثقلی قبل از وقوع زلزله را نیز داشته باشند. در صورت استفاده از سیستم مهار-درز برای بهسازی سازه‌های موجود، سیستم مهار-درز پس از وقوع زلزله فعال می‌گردد و سهم اعظم بار ثقلی را هنگام و پس از وقوع زلزله تحمل می‌نماید. مهاربندها نباید در تحمل بار ثقلی قبل از وقوع زلزله سهمی داشته باشد.

برای بهسازی سازه‌های موجود، تنها روش تحلیل دینامیکی غیر خطی مطابق با الزامات استاندارد ۲۸۰۰ برای سیستم سازه‌ای مهار-درز مجاز می‌باشد. سازه‌های مجهز به سیستم مهار-درز باید با درنظر گرفتن ویژگی‌های غیرخطی سازه مهار-درز و روسازه مدلسازی شوند، مگر اینکه روسازه اساساً رفتار ارتجاعی خطی داشته باشد. مدل ریاضی هر عضو باید شامل مشخصات نیرو- تغییرشکل غیرخطی باشد. روش دینامیکی غیرخطی باید براساس توضیحات مندرج در بند ۴-۳ انجام گردد.

۴-۸- مدل‌سازی سیستم مهار-درز

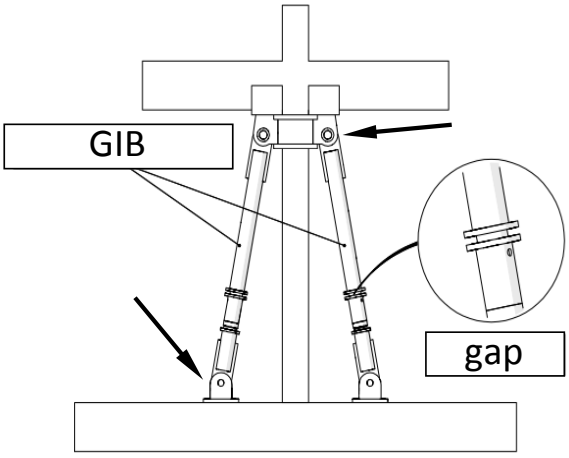
نحوه مدل‌سازی سیستم مهار-درز در نرم افزارهای متداول مانند SAP و ETABS و سایر نرم‌افزارهای پیشرفته المان محدود مانند OpenSEES به صورت شکل ۴ می‌باشد. در ساختمان‌های چند طبقه، مدل‌سازی تیرها و ستون‌های طبقه همکف باید به صورت غیر خطی باشد. جزء مهار-درز در دو انتها باید به صورت مفصلی مدل گردد. همچنین مدل‌سازی درز تعبیه شده توسط المان غیر خطی gap می‌باشد که تنها در حالت فشار فعال می‌گردد.



شکل ۴-۲ مدل سازی سیستم GIB

۴-۹- اتصالات و ضوابط اجرایی

اتصال جزء مهار-درز به پی و قاب به صورت کاملا مفصلی می‌باشد و هیچگونه لنگر خمشی نباید از مهاربند به سازه و پی انتقال یابد. شکل ۴-۳ اتصال مفصلی به قاب و پی را نشان می‌دهد.



شکل ۴-۳ اتصال مفصلی به قاب و پی سازه

اتصال جزء مهار-درز به قاب باید به گونه‌ای صورت گیرد که سبب تضعیف اتصال تیر به ستون نگردد. در زلزله طرح، خسارات لرزه‌ای باید در دو انتهای ستونها متمرکز گردد و مفصل پلاستیک در تیرها تشکیل نگردد. این امر به دلیل دشواری و هزینه بالای تعمیر تیرهای آسیب دیده می‌باشد. سیستم مهار-درز و اتصال تیر به ستون باید به گونه‌ای باشد که ظرفیت خمشی تیرها حداقل ۱/۲ برابر ظرفیت خمشی ستون‌ها باشد (رابطه ۴-۶).

$$\frac{\sum M_b}{\sum M_c} \geq 1.2$$ ۶-۴

که $\sum M_b$ ظرفیت خمشی تیرها و $\sum M_c$ ظرفیت خمشی ستون‌ها می‌باشد.

اتصال عضو مهار–درز به قاب باید قادر به انتقال نیرو از مهاربند به ستون‌ها و تیرها باشد. اتصال به کار گرفته شده باید با استفاده از روش‌های عددی به صورت دقیق مدل‌سازی و تحلیل شود و در صورت لزوم توسط آزمایشات لازم تایید گردد.

اتصال جزء مهار–درز به پی یا سقف طبقه زیرین باید به گونه‌ای باشد که دال یا پی تحمل بارهای فشاری و جانبی ناشی از مهاربند را داشته باشد. صفحه ستون زیر مهاربند باید برای تنش‌های ناشی از نیروهای محوری مهاربند طراحی شود. همچنین دال و پی باید تحمل برش پانچ ناشی از نیروهای محوری را داشته باشند. با توجه به اینکه انتظار می‌رود در حالت نهایی ۹۰ درصد نیروهای محوری ستون به مهاربند انتقال یابد، نیروی طراحی پی و دال نباید از ۰/۹ نیروی محوری طراحی ستون کمتر باشد.

در صورت اتصال جزء مهار–درز به پی سازه، پی موجود باید فضای کافی جهت قرارگیری مهاربندها را داشته باشد. در غیر این صورت عرض پی باید توسط راهکارهای مناسب افزایش یافته تا ظرفیت باربری پی تقویت گردد.

رواداری و خطاهای ساخت در عضو مهار–درز باید در حد مجاز و برابر با استانداردهای موجود باشد. علی رغم وجود درز، مهاربند تحت فشار همچنان باید مانند یک المان فشاری یکپارچه عمل کند و نیروهای فشاری سبب جابجایی‌های عرضی غیر مجاز نگردد. حداکثر خروج از مرکزیت جزء مهار–درز در قسمت درز باید الزامات مبحث دهم مقررات ملی ساختمان یا بند ۱۱/۴ استاندارد ASTM A500 را برآورده سازد.

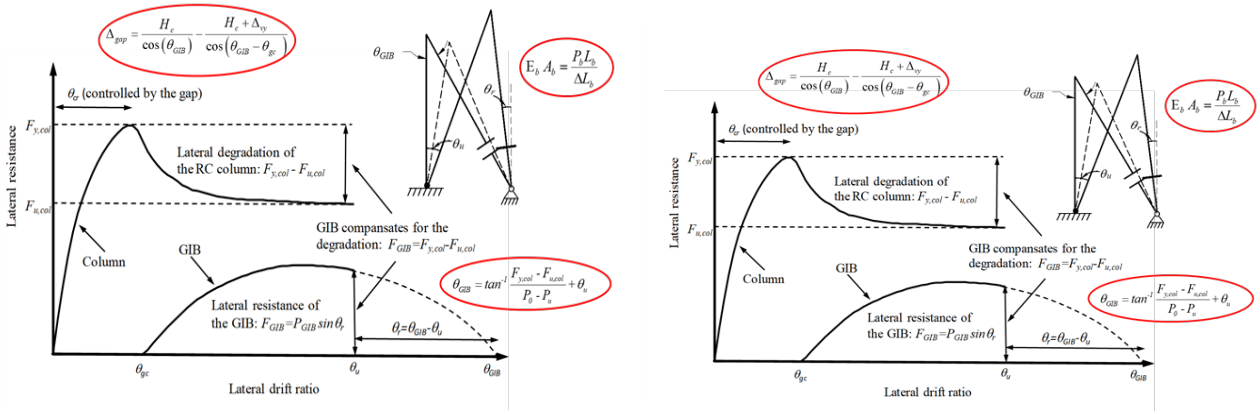
مراجع

1. ACI318 (2014), “Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary”, American Concrete Institute, USA.
2. AISC341 (2010), “Seismic Provisions for Structural Steel Buildings (ANSI/AISC 341-10)”, American Institute of Steel Construction, USA.
3. Agha Beigi، H، Christopoulos، C، Sullivan، T، Calvi، G.M، “Gapped-inclined braces for seismic retrofit of soft-story buildings." Journal of Structural Engineering 140.11 (2014).
4. ASCE (1977), “Dynamics of Structure – Foundation Systems”, Foundation and Geotechnical Engineering Division, American Society of Civil Engineers, USA.
5. ASCE7 (2010), “Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures”, American Society of Civil Engineering, USA.
6. FEMA 356 (2000), “Prestandard and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings”, Federal Emergency Management Agency, USA.
7. FEMA 450 (2003), “NEHRP Recommended Provisions for Seismic Regulations for New Buildings and other Structures”, Federal Emergency Management Agency, USA.
8. FEMA P695 (2009), “Quantification of Building Seismic Performance Factors”, Federal Emergency Management Agency, USA.
9. Salmon J ،Agha Beigi H ،Christopoulos C. (2019), “Full-Scale Tests of Gapped-Inclined Bracing System: Seismic Retrofit for Soft-Story Buildings”. Journal of Structural Engineering 145.10.
10. وزارت راه و شهرسازی (۱۳۹۹)، "سامانه مهاربندی مایل درزدار (مهار-درز) – gapped-inclined brace" گزارش فنی شماره 99-60-ELE20 مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی، تهران.
11. وزارت راه و شهرسازی (۱۳۹۲)، "بارهای وارد بر ساختمان، مبحث ششم مقررات ملی ساختمان"، معاونت مسکن و ساختمان، دفتر امور مقررات ملی ساختمان، تهران.
12. وزارت راه و شهرسازی (۱۳۹۲)، "طرح و اجرای ساختمان‌های فولادی، مبحث دهم مقررات ملی ساختمان"، معاونت مسکن و ساختمان، دفتر امور مقررات ملی ساختمان، تهران.
13. وزارت راه و شهرسازی (۱۳۹۳)، "آیین‌نامه طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله، استاندارد ۲۸۰۰-ویرایش۴"، مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی، تهران.

پیوست ۱

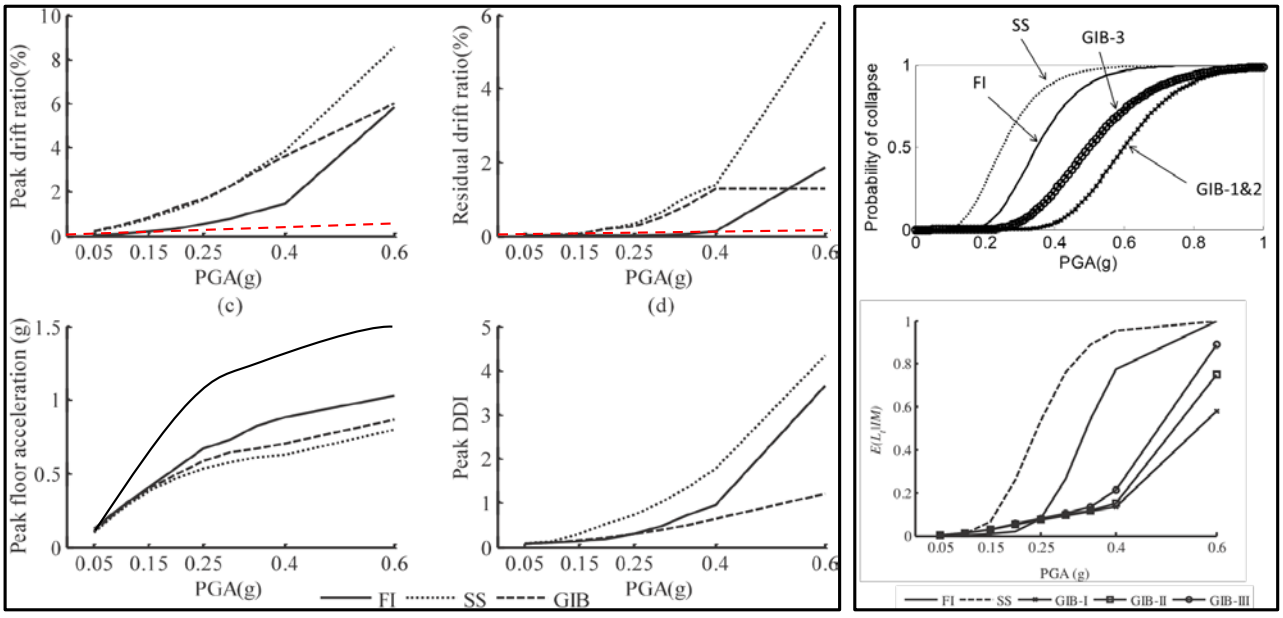
نتایج تحلیل و آزمایشات

طراحی و مدلسازی



رسم منحنی نیروی جانبی- تغییر مکان ستون‌های موجود، محاسبه ظرفیت جاری شدن ستون‌های موجود $F_{y,col}$، ظرفیت نهایی ستون‌های موجود $F_{u,col}$ و روابط مربوط به نحوه طراحی المان مهار-درز مطابق با توضیحات (بند ۴-۵)

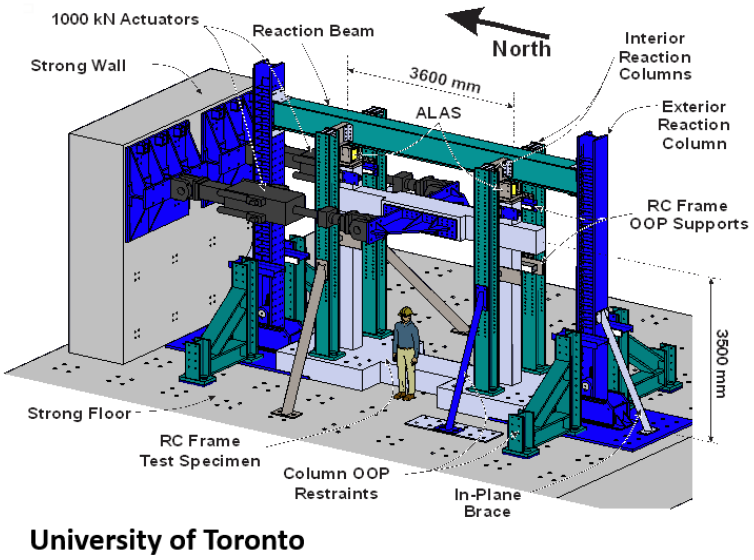
تحلیل های عددی

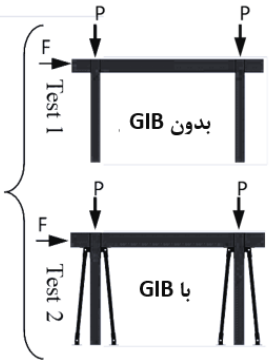


نتایج تحلیل های IDA و منحنی های شکست (Agha Beigi et al, 2016)

آزمایش در آزمایشگاه تورنتو

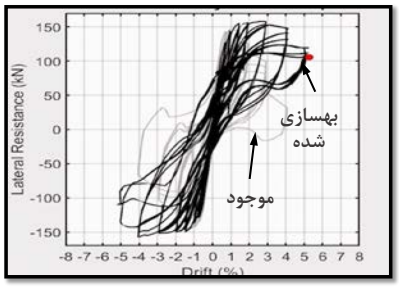
- آزمایش در ابعاد واقعی
- آزمایشگاه سازه دانشگاه تورنتو
- آزمایش در حضور اساتید جهانی





مقایسه نتایج آزمایش

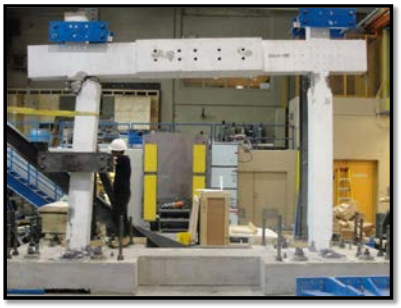
مقایسه رفتار چرخه ای



- ✓ آزمایش بر روی طبقه اول یک ساختمان ۶ طبقه بتنی
- ✓ نصب بسیار آسان و سریع GIB (کمتر از نیم ساعت برای هر ستون)
- ✓ پایداری کامل سازه در تغییر مکان جانبی بیش از ۷ درصد
- ✓ استهلاک قابل توجه انرژی و بهبود رفتار لرزه ای

سازه بتنی بهسازی شده

سازه بتنی موجود



پیوست ۲

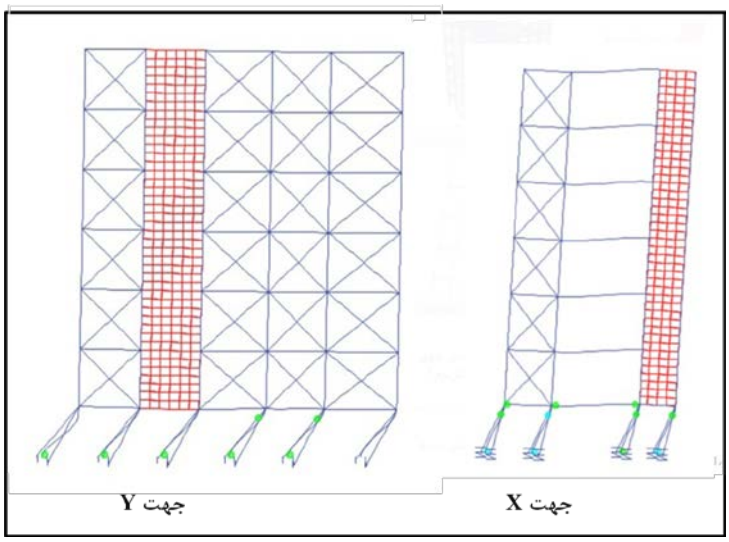
نمونه طراحی و اجرا و مزایای سیستم مهار-درز

نصب سیستم GIB

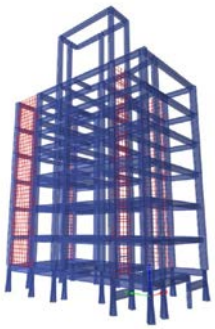
سیستم سازه ای **GIB** به راحتی قابل نصب می باشد:

- نصب سیستم تنها در زیر دال یا تیر طبقه همکف
- عدم اختلال در طبقات حین عملیات
- عدم نیاز به باربرداری حین عملیات بهسازی
- کمتر از ۳۰ دقیقه برای نصب هر ستون

طراحی ساختمان جدید با سیستم GIB



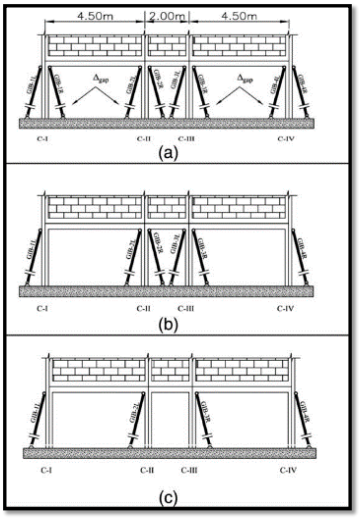
- ✓ مدل سازی میانقاب ها در طبقات فوقانی
- ✓ عدم تغییر در المان سازه ای طبقات فوقانی
- ✓ قطع دیوارها در طبقه پایین
- ✓ طراحی مجدد ستون های طبقه اول
- ✓ تقویت تیرهای طبقه اول
- ✓ کاهش ۳۰٪ در برش پایه



منفعت اقتصادی سیستم GIB

منفعت اقتصادی تا ۷۰ ٪

Var. No.	Variant name	هزینه بهسازی به هزینه نوسازی	هزینه ترمیم به هزینه نوسازی			منفعت اقتصادی		
		RTRC	RRC			RCB		
			0.20 g	0.40 g	0.60 g	0.20 g	0.35 g	0.60 g
1	SS		0.31	0.83	0.99			
2	FI-high cost	0.3	0.05	0.54	0.97	−0.04	−0.01	−0.28
	FI-low cost	0.1				0.16	0.19	−0.08
3	GIB-I	0.10	0.05	0.11	**0.57**	0.16	0.62	**0.32**
4	GIB-II	0.085	0.05	**0.10**	0.74	0.18	**0.64**	0.16
5	GIB-III	**0.065**	0.05	0.21	0.76	**0.19**	0.56	0.16
6	GIB-G-0.5	0.10	0.05	0.20	0.77	0.16	0.53	0.12
7	GIB-G-2	0.10	0.04	0.18	0.79	0.17	0.55	0.10
8	GIB-G-0	0.10	0.04	0.15	0.84	0.17	0.58	0.05
9	DGIB-25	0.15	**0.03**	0.18	0.82	0.13	0.50	0.02
10	DGIB-50	0.15	0.05	0.21	0.77	0.11	0.47	0.07
11	DGIB-150	0.15	0.05	0.20	0.77	0.11	0.48	0.07
12	DGIB-250	0.15	0.05	0.21	0.76	0.11	0.47	0.08
	Max/Min	0.05	0.03	0.10	0.57	0.19	0.65	0.32



پیوست ۳

نظریه فنی مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی

بسمه تعالی

جمهوری اسلامی ایران
وزارت راه و شهرسازی
مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی

شماره: ۹۲۴۹-۳۱-۹۹ تاریخ: ۹۹/۶/۳ پیوست: دارد

جناب آقای حسین آقا بیگی

با سلام و احترام؛

در پاسخ به درخواست ثبت شده در سامانه خدمات الکترونیک این مرکز به شماره پرونده۱۶۹۸۰ پیرامون دریافت نظریه فنی **" سامانه مهاربندی مایل درزدار (مهار- درز) Gapped-Inclined Bracing system (GIB) "** به‌استحضار می‌رساند، سیستم یاد شده به شرط رعایت الزامات مندرج در گزارش فنی شماره99-60-ELE20 پیوست که جزء لاینفک این نظریه فنی است، با دامنه ذکر شده در این گزارش، قابل استفاده می‌باشد.

لازم به ذکر است، این نظریه صرفا در برگیرنده شرایط استفاده از محصول است و بر کیفیت طراحی، تولید و اجرای محصول دلالت ندارد، همچنین اعتبار این نظریه فنی ۱۸ ماه از تاریخ صدور آن می‌باشد

سعید بختیاری
معاون تحقیقات و فناوری

تهران - بزرگراه شیخ فضل ا... نوری، بین شهرک قدس و فرهنگیان صندوق پستی: ۱۶۹۶-۱۳۱۴۵ / تلفن: ۶-۸۸۲۵۵۹۴۲ / نمابر:۸۸۲۵۵۹۴۱
صفحه الکترونیک: www.bhrc.ac.ir / پست الکترونیک: info@bhrc.ac.ir

Islamic Republic of Iran
Plan and Budget Organization

Gapped-Inclined Brace Systems

No. 846

Deputy of Technical, Infrastructure and Production Affairs

Department of Technical and Executive Affairs, Consultants and Contractors

nezamfanni.ir

2021

این نشریه

با عنوان «معرفی سیستم سازه‌ای مهار-درز» در ۴ فصل، ضمن معرفی این روش، راهنمایی‌های عمومی شامل: کلیات، ویژگی‌های فنی سیستم، بارگذاری، روش‌های طراحی و تحلیل را ارائه نموده است.

shaghool.ir