

اثر مقاومت لغزشی فیوز بر ظرفیت نهایی میانقاب مهندسی دارای فیوز لغزان با استفاده از تحلیل اجزاء محدود

مجید محمدی^{۱*}؛ کامیاررضا ریاضی^۲

چکیده

میانقابها از المان‌های موثر بر رفتار سازه هستند که بر اساس آیین‌نامه‌ها یا باید ضمن تامین مقاومت کافی عرضی به صورت موثر از قاب جدا شوند یا اثر سازه‌ای آنها در تحلیل و طراحی در نظر گرفته شود. بر خلاف این موضوع در بیشتر حالات از اثر میانقاب در سازه صرفنظر می‌شود که دلیل اصلی آن نبود خواص مهندسی و به خصوص شکل-پذیری است. در سال‌های اخیر میانقابی پیشنهاد شده است که در ارتفاع میانی خود دارای فیوز لغزان اصطکاکی با مقاومت لغزشی قابل تنظیم است. مطالعه آزمایشگاهی این نوع میانقاب روی تعداد محدودی نمونه، حکایت از رفتار شکل‌پذیر این نوع میانقاب دارد؛ ضمن اینکه مقاومت نهایی آن را نیز می‌توان با تنظیم فیوز، به مقدار دلخواه درآورد. با توجه به کم بودن اطلاعات بدست آمده از آزمایش برای بررسی رفتار این میانقاب، در این تحقیق تلاش شده رفتار اینگونه میانقاب‌ها با استفاده از روش تحلیل اجزاء محدود، بررسی و ارتباط میان مقاومت لغزشی فیوز با مقاومت نهایی چنین میانقابی مورد بررسی قرار گیرد. در این راستا از نرم‌افزار آباکس^۱ که توانایی خوبی در طراحی رفتار غیرخطی و مسائل تماسی دارد استفاده شده است. بدین جهت، ابتدا درستی نتایج تحلیل، با داده‌های آزمایشگاهی بررسی شد و پس از اطمینان از درستی طراحی و نتایج تحلیلی، اثر مقاومت‌های متفاوت فیوز بر مقاومت میانقاب مطالعه شد. در پایان، نتایج تحلیل‌های انجام شده نشان می‌دهد که افزایش مقاومت لغزشی فیوز باعث افزایش مقاومت قاب مرکب دارای فیوز شده ولی از حدی خاص به بعد مقاومت نهایی قاب میانبر ثابت باقی خواهد ماند؛ همچنین استفاده از این نوع میانقاب در قاب مرکب باعث می‌شود که قاب و میانقاب بصورت بهینه از ظرفیت خود استفاده نمایند.

کلمات کلیدی

میانقاب مهندسی، فیوز لغزان، مقاومت نهایی، تحلیل اجزاء محدود

Influence of the Fuse Sliding Strength on the Ultimate Capacity of the Engineered Fused Infills By Finite Element Method

M.Mohammadi and K.R.Riazi

ABSTRACT

Infills have considerable effects on seismic behavior of buildings and should be considered in the analysis or be isolated from the containing frames. Despite, most types of infills cannot be regarded as engineered elements, specially for the lack of sufficient ductility and normally ignored in the analysis phase. Recently a new type of infill is proposed, that has a frictional fuse at the mid-height. High ductility of such infill has been

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۰/۱۰/۱۴

تاریخ اصلاحات مقاله: ۱۳۹۱/۲/۹

*^۱ نویسنده مسئول و استادیار، پژوهشکده مهندسی سازه، پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله
m.mohammadigh@iiees.ac.ir

^۲ دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم تحقیقات تهران: Kamy_272@yahoo.com

confirmed through experimental studies. In this paper finite element analysis results of the fused infills are presented to study the relation between their ultimate capacities and the fuse sliding strengths. For this ABAQUS 6.8-1 was applied after being confirmed by the experimental results. The obtained results show that the infill ultimate strength rises by increasing the fuse sliding strength, however will remains constant after a certain amount, depending on the infill propertie. Moreover, infills and frames will behave in their optimum capacities when such infills are applied in the frame.

KEYWORD

Engineered infill, sliding fuse, ultimate strength, finite element

۱- مقدمه

با توجه به اثر زیاد میانقاب در افزایش سختی، مقاومت نهایی و میرایی سازه، نباید از اثر این المان در سازه صرفنظر نمود. از طرفی متاسفانه میانقاب‌های رایج و معمولی بدون شکل‌پذیری لازم برای تحمل نیروهای ناشی از زلزله هستند. بنابراین تحقیقات وسیعی در دنیا برای یافتن میانقاب‌های با شکل‌پذیری بالا که میانقاب مهندسی نامیده می‌شوند آغاز شده است.

در روش‌های مقاوم‌سازی ساختمان‌ها که در آن توجه خاصی به اثر میانقاب‌ها می‌شود نیز توجه خاصی به دستیابی به میانقاب شکل‌پذیر شده است. در این راستا برخی محققین به استفاده از مصالح خاص در دیوار، روی آورده‌اند که در این بین برخی برای ساخت دیوار از مصالح غیر متداول استفاده نموده‌اند که نمونه‌ای از آن که از شبکه کامپوزیت پلیمری ساخته شده در شکل (۱) نشان داده شده است [۶] و برخی دیگر مصالح نوین و از جمله مصالح الیافی پلیمر را برای دیوار به کار برده‌اند [۷].

بیشتر از نمونه مشابه بدون فیوز است.

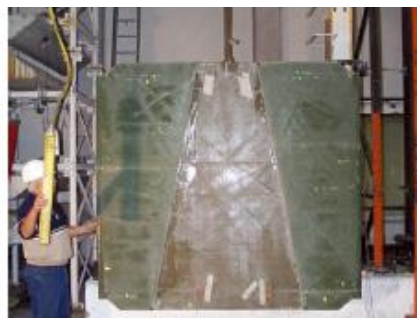
با توجه به محدودیت‌های موجود در کارهای آزمایشگاهی، فقط تعداد بسیار محدودی از میانقاب دارای فیوز لغزان، آزمایش شد [۴]. با توجه به نوپا بودن این نوع میانقاب و کمیود مطالعات تحلیلی و آزمایشگاهی برای بررسی رفتار آن، در این تحقیق سعی شد با استفاده از تحلیل المان محدود غیر خطی و با استفاده از نرم‌افزار آباکس که توانایی خوبی در طراحی مسائل شامل سطوح تماس دارد؛ رفتار چنین میانقاب‌هایی مورد مطالعه قرار گیرد. به این ترتیب که پس از کالیبره نمودن نمونه‌های طراحی شده با نمونه‌های آزمایش شده و حصول اطمینان از درستی تحلیل‌ها، اثر مقاومت‌های لغزشی مختلف فیوز بر رفتار و به خصوص مقاومت نهایی چنین میانقاب‌هایی مورد بررسی قرار گرفت تا در صورت نیاز بتوان با تنظیم مقاومت لغزشی فیوز، مقاومت نهایی میانقاب مهندسی را به اندازه دلخواه تنظیم نمود.

۲- معرفی قاب مرکب با میانقاب دارای فیوز

برشی لغزان (نمونه آزمایشگاهی)

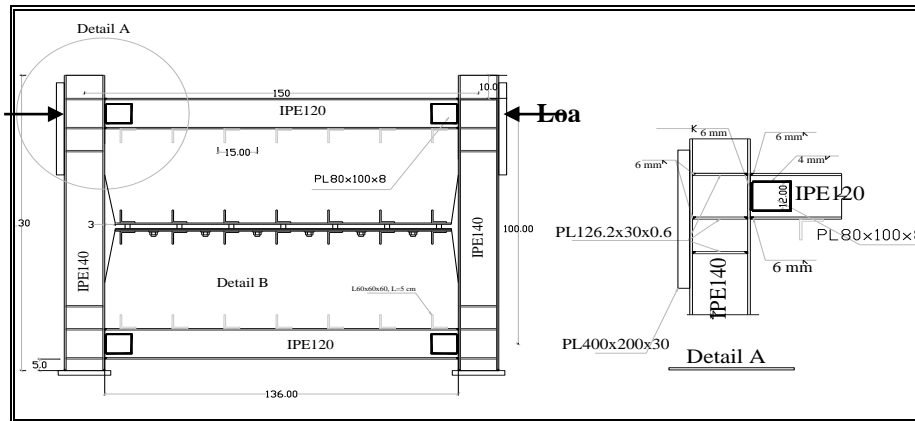
این نوع قاب به‌گونه‌ای است که میانقاب آن دارای عملکرد برشی بوده و از دو قسمت بالایی و پایینی تشکیل شده است که در ارتفاع میانی خود دارای فیوز برشی لغزان است. فیوز دارای دو صفحه فلزی است که روی همدیگر قرار گرفته و از اصطکاک موجود بین آنها در هنگام لغزش برای کنترل رفتار سازه استفاده می‌شود. ضمناً اتصال دیوار با تیرهای بالایی و پایینی به‌وسیله تعدادی برشگیر تامین می‌شود.

در چنین میانقابی با ایجاد لغزش در فیوزهای برشی، دو قسمت بالایی و پایینی میانقاب دارای حرکت نسبی در راستای همدیگر و در راستای بارگذاری خواهند بود و این حرکت باعث می‌شود که دیوار در محل استقرار فیوز با ستون تماس یافته و برش به نسبت زیادی در ستون بوجود آید که ممکن است منجر به شکست ستون شود؛ بنابراین برای مقابله با این مشکل، ناحیه میانی میانقاب بصورت پخ خورده با فاصله مناسب از ستون (۳ سانتی‌متر از طرفین فیوز) اجرا شد. جزئیات این نوع قاب میانپر



شکل (۱): میانقاب دارای شبکه کامپوزیت پلیمری [۶]

یکی از میانقاب‌های مهندسی که مورد بحث این مقاله است، میانقابی از جنس بتن الیافی بوده که در ارتفاع میانی خود دارای یک فیوز لغزان با مقاومت لغزشی قابل تنظیم است. نتایج آزمایشگاهی [۴] نشان داد که با تنظیم فیوز، می‌توان مقاومت نهایی این نوع میانقاب را بهبود بخشید. بر اساس این نتایج، این نوع میانقاب علاوه بر اینکه از شکل‌پذیری قابل توجهی برخوردار است دارای میرایی زیادی است؛ ضمن اینکه مقاومت آن به مراتب



شکل (۲): جزئیات قاب مرکب با میانقاب دارای فیوز لغزان، طراحی شده در آزمایشگاه و تحلیل [۴]

شکل (۳): نمودار هیستریزیس نمونه‌های آزمایشگاهی قاب مرکب با میانقاب دارای فیوز لغزان [۴]

در این زمینه در مرجع [۴]، دو نمونه میانقاب مهندسی آزمایش شده بود که به ترتیب $EIF0.35$ و $EIF0.5$ نامیده شده که دارای نیروی آستانه لغزش $50/85 \text{ KN}$ و $72/64 \text{ KN}$ بودند. نتایج به دست آمده از آزمایش این دو نمونه در شکل (۳) نشان داده شده است. همانگونه که دیده می‌شود با افزایش مقاومت لغزشی فیوز از $EIF0.35$ به $EIF0.5$ مقاومت نهایی آنها نیز به مقدار محسوسی افزایش یافته و از ۲۶۷ به ۳۱۵ کیلونیوتن رسیده است. در این مقاله تلاش شده رابطه بین مقاومت لغزشی فیوز و ظرفیت نهایی میانقاب با فیوز توسط روش‌های تحلیلی مشخص شود.

۳- معرفی روش تحلیل و نرم‌افزار بکار رفته

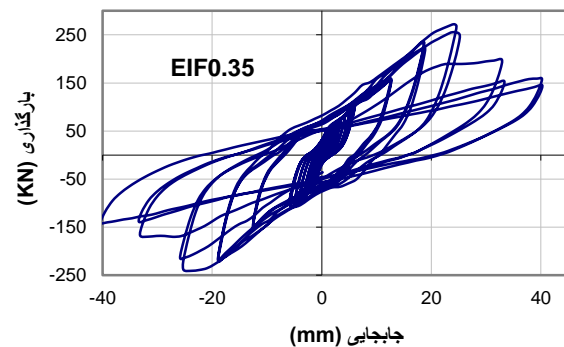
در این تحقیق برای انجام تحلیل‌ها، از روش المان محدود توسط نرم‌افزار آباکس استفاده شد. مهم‌ترین علت استفاده از این نرم‌افزار، توانایی و قدرت مناسب آن در تحلیل همزمان مسائل پلاستیسیته و تماسی است که در این تحقیق نیز با مسایل مرتبط با سطوح تماسی که اساس کار فیوز های لغزشی است درگیر می‌باشد.

در این نرم‌افزار از تحلیل عمومی استاتیکی^۲ استفاده شده که مخصوص تحلیل مسائل استاتیکی بصورت خطی و غیر خطی است و با توجه به اینکه این تحلیل از نوع کنترل تغییر مکان^۳ است، نتایج حاصل از تحلیل هر نمونه بصورت نمودار نیروی اعمالی-جابجایی ارائه می‌شود.

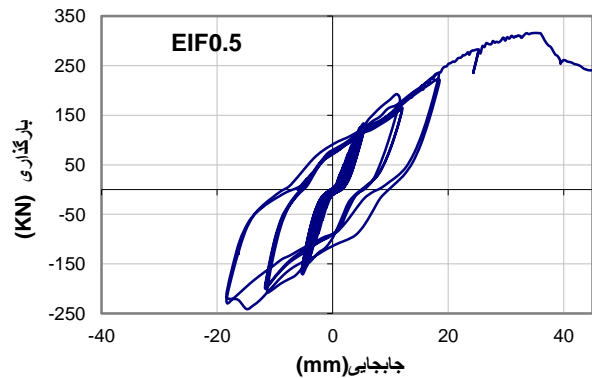
۴- جزئیات طراحی میانقاب در نرم‌افزار آباکس

گفتنی است که بر اساس مرجع [۴]، قاب مرکب دارای میانقاب

همانگونه که در شکل (۲) مشاهده می‌شود، فیوز برشی لغزان به صورت افقی و در ارتفاع میانی میانقاب مهندسی بکار برده می‌شود. مقاومت لغزشی فیوز توسط چند پیچ پیش‌کشیده تامین می‌شود که چنانچه نیروی برشی وارد به فیوز از این مقاومت بیشتر رود فیوز دچار لغزش شده و با این عملکرد از تخریب دیوار جلوگیری می‌شود.

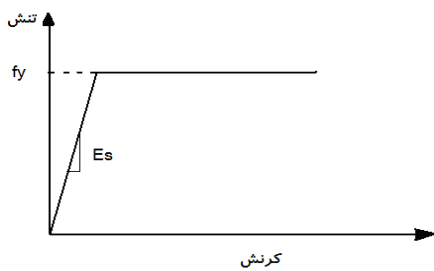


الف: نمونه $EIF0.35$

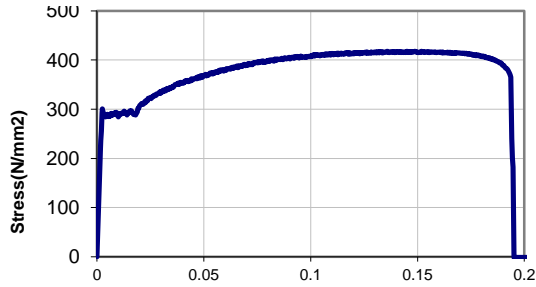


ب: نمونه $EIF0.50$

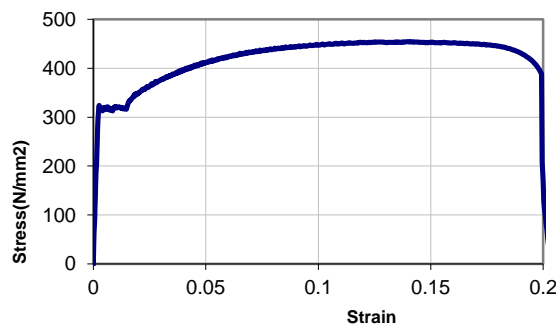
آن به صورت خطی است، ۲- شکست بتن و از دست دادن کامل مقاومت آن در کرنش حدود ۰/۰۰۳ رخ می‌دهد.



شکل (۴): منحنی دو خطی ساده‌سازی شده تنش-کرنش فولاد [۱]

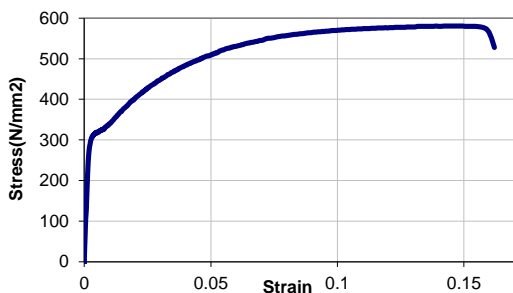


الف: IPE120



ب: IPE140

شکل (۵): نمودار تنش-کرنش IPE140 و IPE120 حاصل از نتایج آزمایش‌ها [۴]



شکل (۶): نمودار تنش-کرنش آرماتور Φ8 حاصل از نتایج آزمایش‌ها [۴]

مهندسی که مورد آزمایش قرار گرفت یک دهانه مقیاس شده (باضریب مقیاس ۱:۳) از یک ساختمان واقعی بود. با توجه به اینکه اولین مرحله انجام تحلیل بررسی درستی نتایج تحلیلی با آزمایشگاهی بود بنابراین ابتدا قاب نشان داده شده در شکل (۲) در نرم‌افزار آباکس به شرح ذیل طراحی شد.

۴-۱- معرفی مصالح بکار رفته در تحلیل

با توجه به اینکه تعریف دقیق خصوصیات مصالح برای نرم‌افزارها بسیار مشکل و گاهی غیر ممکن است، در بسیاری موارد الزاما باید ساده‌سازی‌هایی برای تعریف آنها انجام شود. بنابراین در این تحقیق، کلیه مصالح بکار رفته از جنس مواد ایزوتروپیک بوده و ضریب پواسون مصالح فلزی ۰/۳ در نظر گرفته شده است. مشخصات مکانیکی مصالح مصرفی برای طراحی‌های لازم به شرح جدول (۱) بوده که البته همه این فرضیات بر پایه نتایج حاصل از انجام آزمایش بر روی مصالح مصرفی در مطالعه آزمایشگاهی است [۴]. گفتنی است که مشخصات فولاد مصرفی برای سایر اقلام فولادی از قبیل نبشی-ها و ورق‌ها، با توجه به اثر اندک مشخصاتشان در نتایج آزمایشگاهی به صورت دو خطی و با مشخصات فولاد متداول در نظر گرفته شد که در شکل (۴) دیده می‌شود و مشخصات مفروض برای آنها در جدول (۱) آمده است. نمودار تنش کرنش مصالح اعضای قاب و همچنین نمودار مشابه برای آرماتورهای Φ8 که در دیوار به کار رفته‌اند در شکل‌های (۵) و (۶) نشان داده شده‌اند. اطلاعات بیشتر در مورد نمونه‌های آزمایشگاهی در مرجع [۴] موجود است.

برای معرفی مشخصات مکانیکی بتن الیافی میانقاب، از آنجا که فقط آزمایش انجام شده بر روی بتن، آزمایش مقاومت فشاری بوده (نتایج حاصل از دو نمونه آزمایشگاهی مرجع [۴])، سایر مشخصات بتن به کمک روابط آیین‌نامه ACI [۸] و روابط پلاستیسیته [۱] بدست آمد که البته گفتنی است فقط معرفی بتن الیافدار، از روابط مرجع [۱۰] که در جدول زیر آمده است استفاده شده است. مشخصات این نوع بتن در نمونه‌های آزمایشگاهی با استفاده از روابط جدول (۲) محاسبه و برای طراحی بکار گرفته شد.

برای حصول نمودار رفتار فشاری بتن الیافی، از فرضیات آیین‌نامه ACI که برای به‌دست آوردن منحنی تنش-کرنش بتن معمولی در حالت فشار (بر اساس مرجع [۲، ۷]) به‌کار می‌رود استفاده شد که عبارتند از: ۱- رفتار بتن تا ۴۵٪ مقاومت نهایی

جدول (۱): مشخصات مصالح فلزی بر اساس آزمایش‌ها [۴]

نام	محل استفاده	مدول الاستیسیته Kg/cm^2	مقاومت تسلیم شدگی Kg/cm^2	مقاومت نهایی Kg/cm^2	کرنش تسلیم شدگی
-----	-------------	---------------------------	-----------------------------	------------------------	-----------------

۰/۰۰۲۰۶۷	۴۲۴۴	۳۰۵۴	۱۹۱۱۸۱۱	تیر های قاب	IPE120
۰/۰۰۲۰۴۷	۴۵۸۳	۳۲۸۳	۲۰۱۷۶۰۰	ستونهای قاب	IPE140
-	۵۹۱۸	۳۲۰۰	۱/۷۵×۱۰ ^۶	میلگرد میانقاب	میلگرد ϕ8
-	-	۲۴۰۰	۲/۱×۱۰ ^۶	اقلام متفرقه	نیشی و ورقها

(۱)

که در آن f_c مقاومت مشخصه بتن و ε کرنش در هر لحظه و ε_0 کرنش متناظر مقاومت نهایی (جدول ۲) هستند. در پایان، نمودارهای نشان داده شده در شکل (۷) در تحلیل به کار گرفته

شد:

ضمناً برای معرفی بتن در نرم افزار آباکس از گزینه خرابی پلاستیسیته بتن^۴ استفاده شد. جزئیات نمودار تنش-کرنش رفتار فشاری بتن نمونه‌های مورد بحث بر اساس رابطه (۱) از مرجع [۱] محاسبه شده و به نرم افزار معرفی شدند:

$$\sigma_c = \frac{1.8 \times f'_c \times (\varepsilon / \varepsilon_0)}{1 + (\varepsilon / \varepsilon_0)^2}$$

جدول ۲: مشخصات مکانیکی بتن الیافی بکار رفته در نمونه‌ها در این تحقیق [۱۰]

ردیف	مشخصات مورد نیاز بتن الیافی	رابطه پیشنهادی بر اساس مرجع ۱۰	EIF0.50	EIF0.35
۱	مقاومت فشاری نمونه استوانه ای f'_c	$f'_{cF} = 0.84f'_{cu} + 0.046f'_{cu} RI + 1.02RI$ (MPa)	۱۵۷/۲ Kg/cm^2	۱۷۲/۶ Kg/cm^2
۲	مقاومت کششی ترک خوردگی f_t	$f_{spcF} = 0.63(f'_{cu})^{0.5} + 0.288(f'_{cu})^{0.5} RI + 0.052RI$ (MPa)	۳/۲۹ MPa	۳/۴۶ MPa
۳	ضریب پواسون ν	$\nu_{cF} = 0.01(f'_{cu})^{0.167} + 0.0001f'_{cu} RI + 0.012RI$	۰/۲۳۶۲	۰/۲۳۹۸
۴	مدول الاستیسیته	$E_{cF} = 4.58(f'_{cu})^{0.5} + 0.42(f'_{cu}) RI + 0.39RI$ (GPa)	۲۳۱۶۱۶ MPa	۲۴۵۰۶۳ MPa
۵	کرنش متناظر با مقاومت نهایی ε_0	$\varepsilon_{0cF} = [493.4(f'_a)^{0.3943} + 3.5788f'_{cu} RI + 484.95RI] \times 10^{-6}$	۰/۰۰۱۸۱۴	۰/۰۰۱۸۷۷

$$G_F = 2.5 \times \alpha \left(\frac{f'_c}{0.051} \right)^{0.46} \left(1 + \frac{d_a}{11.27} \right)^{0.22} \left(\frac{w}{c} \right)^{-0.3} \quad (۲)$$

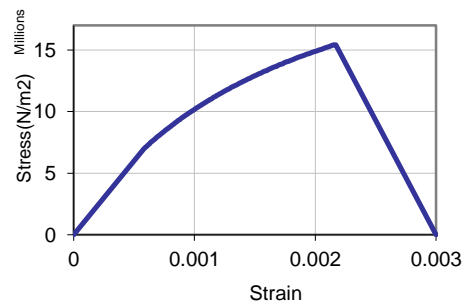
$$\Rightarrow \begin{cases} \text{for EIF0.50} = 66.78 \text{ N/m} \\ \text{for EIF0.35} = 69.72 \text{ N/m} \end{cases}$$

که در آن f'_c مقاومت مشخصه بتن (MPa) و $\frac{w}{c}$ نسبت آب به سیمان، d_a بزرگترین اندازه سنگدانه و α_0 ضریبی است که در صورت استفاده از مصالح شکسته برابر ۱/۴۴ خواهد بود. بر اساس فرضیات مرجع [۴]، $\frac{w}{c} = ۰/۷$ و $d_a = ۱۵ \text{ mm}$ است.

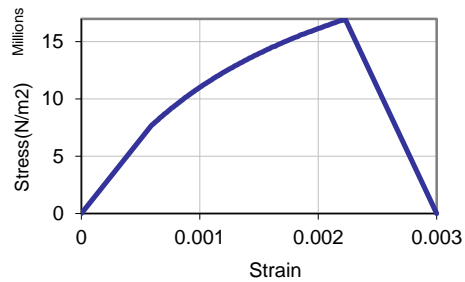
هرچند که این رابطه متعلق به بتن معمولی بوده ولی به دلیل کمبود مطالعات در این زمینه بتن الیافدار و همچنین اثر اندک آن در نتایج نهایی، با تقریب اندکی برای بتن الیافی نیز بکار گرفته شد.

۴-۲- طراحی قطعات بکار رفته در نرم افزار آباکس برای اجرای تحلیل المان محدود

-فیوز لغزان: مهم‌ترین طراحی این تحقیق، طراحی فیوز برشی لغزان بود زیرا حساسیت ویژه‌ای برخوردار بود (شکل ۸-الف). در آزمایش‌های مرجع [۴] پیچ‌های تنظیمی به تعداد ۶ عدد در فضای بین برشگیرها و به فاصله ۱۸ سانتی‌متر از یکدیگر قرار گرفته بودند که با شل و سفت نمودن و پیش کشیده کردن



الف: $f'_c = ۱۵۷/۲ \text{ Kg/cm}^2$



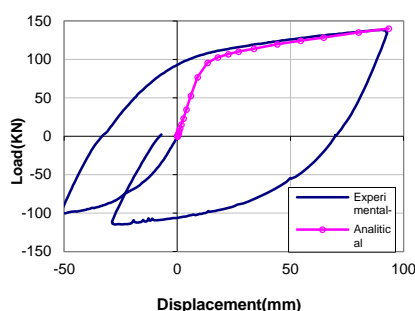
ب: $f'_c = ۱۷۲/۶ \text{ Kg/cm}^2$

شکل (۷): نمودار تنش-کرنش بتن الیافی حاصل از نتایج آزمایشگاه و تئوری‌های پلاستیسیته [۳]

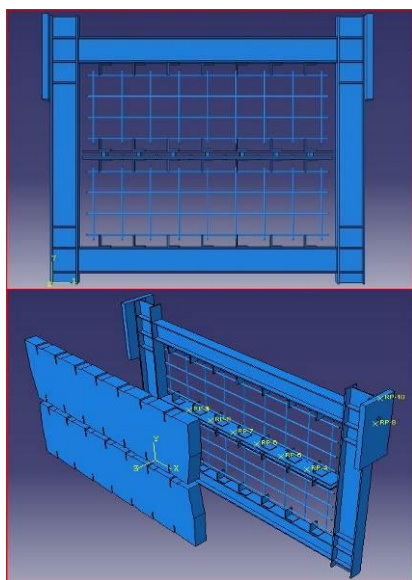
برای معرفی رفتار کششی بتن الیافی، مقاومت کششی f_t و انرژی کششی نهایی G_F (نیاز است که f_t در جدول (۲) محاسبه شود) بر اساس مرجع [۱] از رابطه ۲ بدست خواهد آمد:

عمودی ۱۰ سانتی متر بوده است که در شکل (۱۱) دیده می شود. در این طراحی برای در نظر گرفتن اثر آج و خم انتهایی میلگردها، از قیدی میان بتن و میلگرد استفاده شد که در طول میلگرد بطور پیوسته با هم درگیر باشند.

- اتصالات قاب: برای طراحی اتصالات صلب در نرم افزار، قطعات با استفاده از گزینه ترکیب قطعات بصورت یکپارچه در آمده که در اینصورت بال تیرها کاملاً به ستون متصل شده و بنابراین می توان اتصال تیر به ستون را مطابق آنچه در آزمایش بود به صورت گیردار فرض نمود. ضمن اینکه تحلیل قاب خالی و مقایسه با نتایج آزمایشگاهی یک قاب خالی، درستی این طراحی را تایید می نماید که مقایسه نتایج تحلیل و آزمایشگاهی در شکل (۱۰) آمده است.



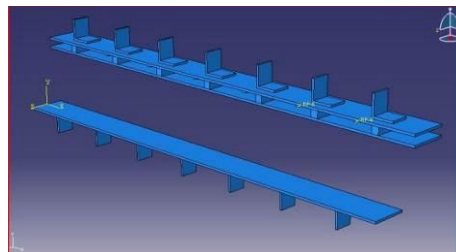
شکل (۱۰): نمودار جابجایی-نیرو برای مقایسه نتایج تحلیلی و آزمایشگاهی در قاب خالی بدون هر گونه میانقابی [۳]



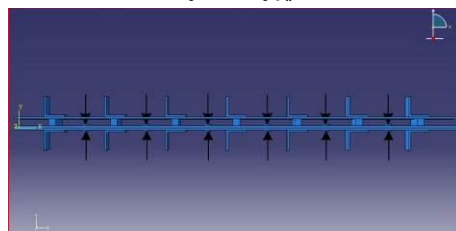
شکل (۱۱): قاب مرکب طراحی شده در نرم افزار آباکس [۳]

۳-۴- معرفی المانهای مورد استفاده در طراحی

آنها مقدار مقاومت لغزشی فیوز تنظیم می شود. در این تحقیق برای طراحی راحت تر، به جای پیچ، جفت نیروهایی برابر با مقدار نیروی پیش کشیدگی پیچها قرار داده شدند (شکل ۸-ب). با زیاد و کم نمودن این نیروها در عمل کار سفت و شل نمودن پیچها و در نتیجه کنترل نیروی آستانه لغزش فیوز انجام می شود. مقدار این نیروها در نمونه EIF0.50 برابر با $38/41 KN$ و در نمونه EIF0.35 برابر با $26/76 KN$ بود.



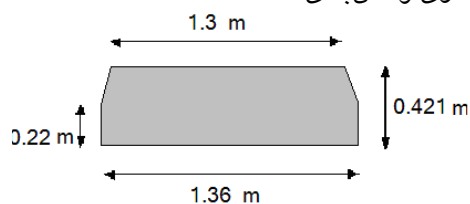
الف: فیوز مدلسازی شده



ب: بارهای اعمال شده به فیوز جهت مدلسازی عملکرد نیروی پیچها

شکل (۸): فیوز برشی لغزان طراحی شده در نرم افزار آباکس [۳] ساختار فیوز به گونه ای است که فقط در جهت طولی امکان لغزش داشته و صفحات نمی توانند در جهت عرضی نسبت به یکدیگر بلغزند. بنابراین در طراحی، فقط امکان لغزش طولی به صفحات داده شد.

- میانقاب: دیوار نمونه آزمایشگاهی از دو قطعه تشکیل شده بود که قسمت زیرین آن در شکل (۹) دیده می شود و در طراحی نیز این دو قسمت مانند نمونه آزمایشگاهی با ضخامت ۷۴ میلی-متر مدلسازی و مش بندی شد.



شکل (۹): شکل نمایی میانقاب طراحی شده [۴]

- آرماتورگذاری: برای طراحی هندسی شبکه آرماتورگذاری، از ۴ قطعه استوانه ای به قطر ۸ میلی متر و طول های ۱/۲۷ متر (برای آرماتورهای افقی) و ۹ عدد به طول ۰/۴ متر برای آرماتورهای قائم استفاده شد. فواصل این شبکه فولادی مانند نمونه آزمایشگاهی [۴]، در جهت افقی ۱۵ سانتی متر و در جهت

قطعات مختلف در نرم‌افزار آباکس

در راستای هر سه محور صفر در نظر گرفته شد. با توجه به اینکه این تحلیل از نوع کنترل جابجایی بوده و جابجایی قاب مرکب در محور خود قاب مد نظر است (محور x که در شکل (۱۱) نشان داده شده‌اند)، در اینجا، بجای اعمال بار جانبی، جابجایی در راستای محور x- بصورت بارگذاری یک جهته تا رسیدن به مقاومت نهایی سازه اعمال شد.

۵- بررسی درستی نتایج آزمایشگاهی و تحلیلی

پس از طراحی نمونه آزمایش شده در نرم‌افزار و اجرای تحلیل، نتایج تحلیلی و آزمایشگاهی در جدول (۳) با هم مقایسه شدند:

از جدول (۳) دیده می‌شود که در نمونه‌های مورد تحلیل، برابری بسیار خوبی بین نتایج آزمایشگاهی و تحلیلی به خصوص در مقاومت نهایی وجود دارد و درصد خطای بوجود آمده نیز احتمالاً به این دلیل است که بتن میانقاب این نمونه در آزمایشگاه در اثر بروز پدیده آبرفتگی به طور کامل به قاب نجسبیده و درزی بین میانقاب و قاب ایجاد شده که این مسئله باعث افزایش اندکی در جابجایی نهایی و کاهش در سختی اولیه نمونه آزمایشگاهی شده است. گفتنی است از آنجا که هدف اصلی این تحقیق برآورد رابطه بین مقاومت لغزشی فیوز و ظرفیت نهایی میانقاب مهندسی است دقت موجود در مقاومت نهایی‌های برآورد شده کفایت لازم را دارند. بر اساس این نتایج، هر چه نیروی آستانه لغزش افزایش می‌یابد، مقاومت نهایی نیز افزایش ولی جابجایی متناظر با آن (شکل پذیری) کاهش می‌یابد (شکل ۱۳).

برای مقایسه بهتر نتایج آزمایشگاهی و تحلیلی که در جدول (۳) دیده شد، شکل (۱۳) نمودار نیرو-جابجایی مربوطه را نشان می‌دهد. در این نمودار، منحنی‌های پر رنگ‌تر نتایج تحلیلی و نمودار خط چین نتایج آزمایشگاهی را نشان می‌دهد.

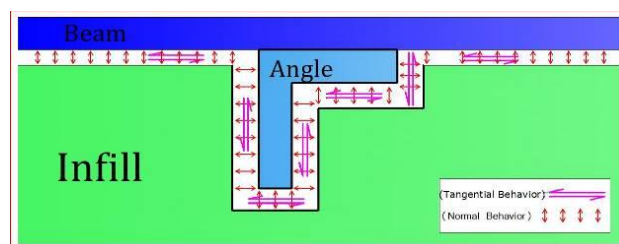
در این تحقیق از حالت سه بعدی برای طراحی استفاده شده و همه‌ی قطعات از نوع توپر^۱ و از نظر تغییر شکل‌پذیری، به حالت تغییر شکل پذیر هستند. همه المان‌های این قطعات از نوع المان حجمی استاندارد بوده و برای مش‌بندی قطعات از المان‌های محیط پیوسته استفاده شده است. در المان‌بندی مذکور که در عمل نقش تقسیم‌بندی قطعات به المان‌های کوچکتر را دارد، در همه قطعات، از مش‌بندی آزاد و با استفاده از المان چهار وجهی استفاده شده زیرا این نوع مش‌بندی برای قطعاتی با اشکال متفاوت و نامنظم بسیار مناسب بوده و استثناً در این مورد، مش-بندی میلگردها بوده که از مش‌بندی توسط نقطه مرجع^۲ استفاده شده است.

۴-۴- طراحی بر هم کنش‌ها

پر کاربردترین نوع بر هم کنش در این تحقیق، تماس سطح به سطح^۳ است که برای معرفی تماس بین سطوح مختلف معرفی شده است و موارد کاربرد آن، تماس و برهم کنش بین دو صفحه فیوز لغزان، ستون و میانقاب، تیر و میانقاب، صفحات فیوز و میانقاب و نبشی‌ها و میانقاب است. در معرفی خواص این بر هم کنش‌ها، برای بیان رفتار تماس در جهت مماس بر سطوح^۴، اصطکاک با ضریب اصطکاک $0.3/4$ [۴] استفاده شده است. طراحی عمود بر سطح^۱ نیز بصورتی انجام شده که دو جسم تماس یافته پس از برخورد، در هم نفوذ ننموده و پس از اتمام برخورد، از هم جدا می‌شوند. در شکل (۱۲) تماس بین نبشی و میانقاب به صورت نمایی نشان داده شده است.

۴-۵- معرفی شرایط مرزی و بارهای وارد با قاب میانبر

تکیه‌گاه ستون‌ها به زمین طبق با آزمایش‌های مرجع [۴]، بصورت گیردار طراحی شده و درجات آزادی جابجایی و دورانی



شکل (۱۲): نمایش اندرکنش در تماس بین نبشی و میانقاب [۳]

جدول ۳: نتایج حاصل از آزمایش و تحلیل المان محدود در میانقاب مهندسی دارای فیوز لغزان [۳]

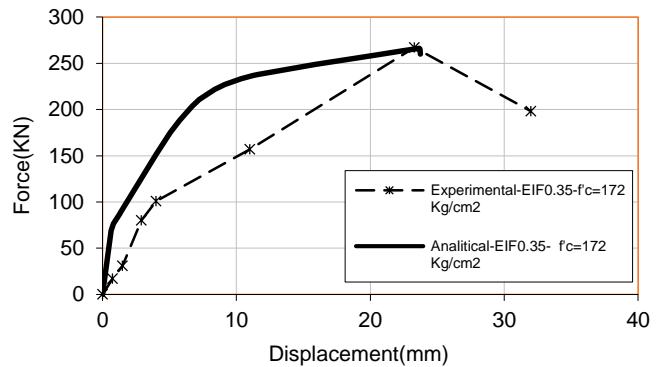
مقاومت	نیروی آستانه	مقاومت نهایی حاصل از آزمایشگاه	مقاومت نهایی حاصل از تحلیل	درصد خطا
--------	--------------	--------------------------------	----------------------------	----------

نام نمونه	مشخصه بتن (Kg/cm^2)	لغزش فیوز (KN)	آبکس		مقاومت نهایی (KN)	مقاومت نهایی (KN)
			جابجایی (mm)	مقاومت نهایی (KN)		
EIF0.35	۱۷۲/۶	۵۰/۸۵	۲۳/۳۰	۲۶۶/۲۳۵	۲۳/۶۷	۰/۲۸۶
EIF0.50	۱۵۷/۲	۷۲/۶۴	۳۴	۲۷۹/۴۳۱	۱۹/۹۳۷	۰/۱۱/۴۷

مرکب با میانقاب مهندسی دارای این نوع فیوز، ضمن ثابت نگهداشتن تمامی عوامل و فقط با تغییر نیروهای پیشکشیدگی پیچ‌های فیوز و سپس تحلیل قاب میانپیر، نمودارهای جابجایی-نیروی حاصل از این تحلیل‌ها، به صورت نشان داده شده در شکل (۱۴) بدست می‌آید. در این شکل تغییرات نیروی اعمال شده به تراز تیر بالایی قاب میانپیر در مقابل تغییر مکان نقطه اعمال بار نشان داده شده است.

همانگونه که در نمودارهای شکل (۱۴) دیده می‌شود، با افزایش نیروی پیشکشیدگی پیچ‌های فیوز، مقاومت نهایی قاب مرکب گفته شده افزایش یافته ولی از شکل‌پذیری آن کاسته می‌شود. جدول زیر نتایج حاصل از تحلیل است:

بر اساس نتایج تحلیلی برای قاب مرکب با میانقاب مهندسی دارای فیوز بدون لغزش (با نیروی آستانه لغزش بینهایت)، مقاومت نهایی برابر ۲۳۰ کیلونیوتن بدست آمد ولی با استفاده از فیوز لغزان می‌توان این مقدار را تا ۲۷۳/۵ کیلونیوتن افزایش داد. در جدول (۴) دیده می‌شود که با افزایش نیروی پیشکشیدگی پیچ‌های فیوز که افزایش نیروی آستانه لغزش فیوز برشی لغزان را نیز در پی دارد، مقاومت نهایی سازه مورد بررسی افزایش می‌یابد ولی این روند تا نیروی پیشکشیدگی پیچ‌های فیوز به میزان ۱۵۶/۷۶۴ کیلونیوتن (مقاومت نهایی ۳۷۳ کیلو نیوتن) پیش می‌رود و از آن به بعد با افزایش این نیرو، مقاومت نهایی تقریباً ثابت باقی می‌ماند؛ به بیان دیگر افزایش مقاومت لغزشی فیوز تا حد مشخصی می‌تواند باعث افزایش مقاومت نهایی قاب میانپیر دارای فیوز شود ولی بعد از آن،



شکل (۱۳): نمودارهای جابجایی-نیروی برای نمایش مقایسه نتایج حاصل از تحلیل و آزمایشگاه (نمونه EIF0.35) [۳]

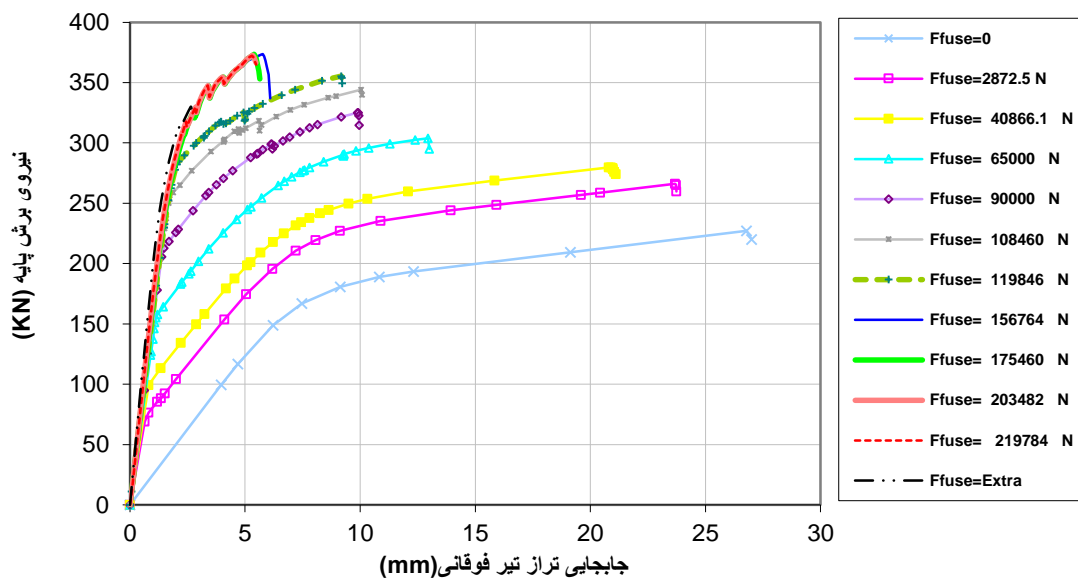
بررسی دیگری که برای کنترل درستی طراحی انجام شده صورت گرفت نمونه بتنی بدون فیوز و برشگیر بود. قبلاً نشان داده شده است که مقاومت نهایی چنین نمونه‌ای را می‌توان با دقت خوبی از فرمول پیشنهادی مینستون که در فیما-۳۵۶ [۹] و نشریه ۳۶۰ [۲] گفته شده است محاسبه نمود. با استفاده از این رابطه، مقاومت نهایی قاب مرکبی با میانقاب بدون آرماتور و برشگیر و فیوز ۱۶۴ کیلونیوتن بدست خواهد آمد، در حالیکه نتایج تحلیل المان محدود چنین قاب میانپیری، مقاومت نهایی ۱۶۱ کیلونیوتن را حاصل می‌نماید که هم‌خوانی بسیار مناسبی با عدد حاصل از فرمول مینستون داشته و دقت لازم را هم از نظر مقاومت نهایی و هم از نظر سختی اولیه دارد.

۶- بررسی اثر نیروی آستانه لغزش فیوز لغزان

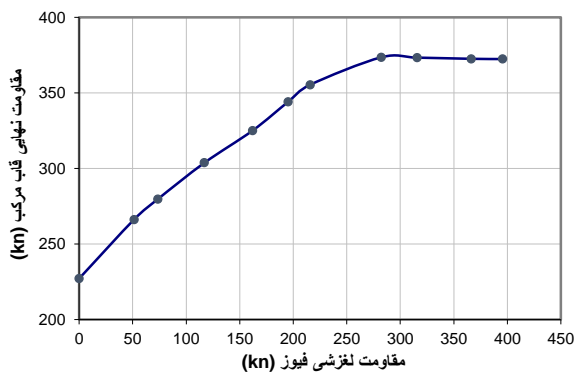
در قاب مرکب با میانقاب مهندسی دارای

این فیوز

برای بررسی اثر نیروهای آستانه لغزش فیوز بر رفتار قاب



شکل (۱۴): نمودار جابجایی-نیروی قاب مرکب با میانقاب مهندسی دارای فیوز لغزان با نیروهای آستانه لغزش مختلف [۳]



شکل (۱۵): اثر تغییرات مقاومت لغزشی فیوز برشی لغزان بر مقاومت نهایی قاب مرکب با میانقاب مهندسی دارای این فیوز [۳]

۷- بررسی سهم قاب از نیروهای وارده بر قاب

مرکب دارای این فیوز

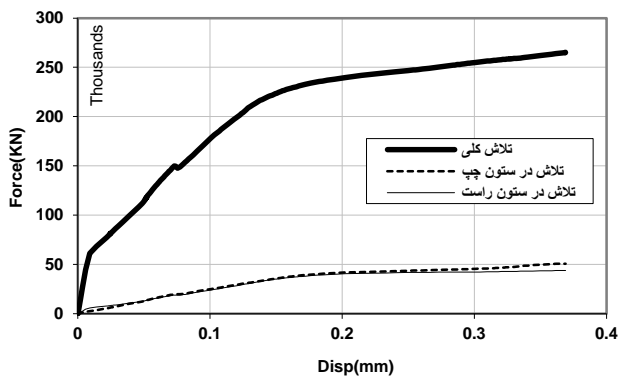
با توجه به اینکه مقاومت قاب مرکب برابر حاصل جمع مقاومت‌های دیوار و قاب نبوده و اندرکنش بین آنها نیز اهمیت دارد، ممکن است این سوال مطرح شود که در قاب مرکب با میانقاب دارای فیوز برشی لغزان، قاب چه سهمی از نیروهای وارده را به خود اختصاص می‌دهد. در این قسمت در عمل نقش حضور فیوز ملموس‌تر خواهد شد، بنابراین بررسی کوتاهی نیز در این زمینه بر روی نتایج تحلیلی دو نمونه آزمایشگاهی $EIF0.35$ و نمونه $EIF0.5$ انجام شد که در آن برش‌های موجود در ستون‌های سمت چپ و وسط ستون سمت راست مورد توجه قرار گرفت. در ضمن برای تعیین نقش فیوز، برای نمونه‌ای با قاب بدون فیوز (که با مشخصات نمونه $EIF0.35$ طراحی شده) نیز این کار انجام و با نتایج نمونه‌های فیوزدار مقایسه شد که در جدول (۵) خلاصه شده است:

افزایش نیروی آستانه لغزش فیوز بی اثر بوده و کمکی به افزایش مقاومت نهایی قاب میانپر نمی‌نماید. برای بررسی بهتر این نتایج، نمودار شکل (۱۵) از جدول (۴) حاصل شده است که این نمودار علاوه بر تایید این بیانات، موید این امر است که مقاومت نهایی این سازه با تنظیم آستانه لغزش فیوز لغزان، قابل کنترل است.

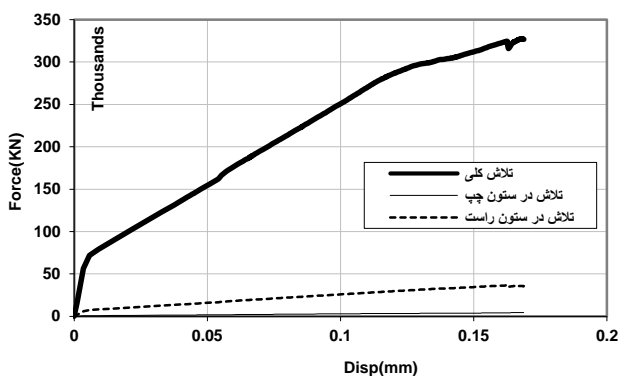
جدول ۴: بررسی اثر پیش‌کشیدگی پیچ‌های فیوز برشی لغزان بر مقاومت نهایی قاب مرکب با میانقاب دارای این فیوز [۳]

مقاومت نهایی قاب مرکب (KN)	نیروی آستانه لغزش فیوز (KN)	نیروی کشش هر پیچ از فیوز (KN)
۲۲۷/۲۳۰	۰	۰
۲۶۶/۲۳۵	۵۱/۲۴۹	۲۸/۴۷۲
۲۷۹/۷۹۰	۷۳/۵۵۹	۴۰/۸۶۶
۳۰۳/۷۸۸	۱۱۷/۰۰۰	۶۵/۰۰۰
۳۲۵/۰۸۶	۱۶۲/۰۰۰	۹۰/۰۰۰
۳۴۴/۱۴۲	۱۹۵/۲۲۸	۱۰۸/۴۶۰
۳۵۵/۳۸۰	۲۱۵/۷۲۳	۱۱۹/۸۴۶
۳۷۳/۵۷۱	۲۸۲/۱۷۵	۱۵۶/۷۶۴
۳۷۳/۳۶۶	۳۱۵/۸۲۸	۱۷۵/۴۶۰
۳۷۲/۵۸۷	۳۶۶/۳۶۷	۲۰۳/۴۸۲
۳۷۲/۴۲۰	۳۹۵/۶۱۱	۲۱۹/۷۸۴
۳۳۰/۱۰۵	بینهایت	فیوز بدون لغزش

در پایان نمودار زمان-نیروی عنوان شده برای بررسی بهتر این وضعیت آورده شده است.



الف-نمونه دارای فیوز برشی لغزان



ب-نمونه فاقد فیوز

شکل (۱۶): نمایش تنش کل و سهم ستون‌های چپ و راست نمونه $EIF0.35$ در لحظه بروز مقاومت نهایی [۳]

در نمودارهای فوق منظور از ستون راست، ستون نزدیک به محل اعمال بار و ستون چپ ستون دورتر از محل اعمال بار است.

با نگاهی اجمالی به نمودارها دیده می‌شود که در نمونه‌های دارای فیوز، در لحظات اولیه و در لحظات بروز لغزش فیوز، قاب سهم کمی از نیرو را تحمل می‌نماید و بیشترین سهم به میانقاب می‌رسد ولی در مقاومت‌های بالاتر (مقاومت نهایی قاب مرکب دارای فیوز) سهم قاب افزایش می‌یابد؛ ضمن اینکه توزیع نیرو بین ستون‌ها در قاب دارای فیوز، مساوی‌تر از توزیع آن در حالت بدون فیوز است. بدون فیوز، ستون سمت چپ سهم بسیار ناچیزی از نیرو را تحمل می‌نماید)

۸- نتیجه گیری

با توجه به اثر بسیار زیاد میانقاب در افزایش مقاومت نهایی و سختی قاب میانپیر و نبود شکل‌پذیری مناسب در آنها، به تازگی انواع جدیدی از میانقاب مطرح شده‌اند که سختی و مقاومت آن

جدول ۵: سهم قاب از تنش کل قابل تحمل قاب مرکب مهندسی در

لحظه آغاز لغزش در فیوز [۳]

نمونه	نیروی کل (KN)	سهم قاب از نیروی کل (KN)	درصد سهم قاب
$EIF0.35$	۶۸/۳	۱۰/۲	۱۵٪
$EIF0.5$	۷۰	۹/۴	۱۳/۴٪
بدون فیوز	۸۸/۶	۱۰	۱۱/۳٪

جدول ۶: سهم قاب از تنش کل قابل تحمل قاب مرکب مهندسی پس از

لغزش فیوز [۳]

نمونه	نیروی کل (KN)	سهم قاب از نیروی کل (KN)	درصد سهم قاب
$EIF0.35$	۲۶۵	۹۴/۷	۳۵/۷٪
$EIF0.5$	۲۷۵	۹۲/۳	۳۳/۵٪
بدون فیوز	۳۲۷	۴۰	۱۲/۳٪

از نتایج جدول (۵) دیده می‌شود که بدون حضور فیوز، در لحظه معادل آغاز لغزش (نسبت به حالتی که فیوز وجود دارد) قاب، سهم کمی از تنش‌های وارده را دارد که حدود ۱۰ درصد است ولی با وجود فیوز، سهم قاب در همان لحظه حدود ۱۵ درصد است.

از نتایج جدول (۶) نیز می‌توان چنین برداشت نمود که در لحظه بروز مقاومت نهایی قاب مرکب بدون فیوز، قاب باز هم سهم اندکی در حدود ۱۰ درصد می‌برد. این بدان معنی است که همواره سهم قاب از ابتدا تا انتهای بارگذاری تقریباً یکی است و قاب از بیش‌ترین توان خود در مشارکت نیروها استفاده نخواهد نمود. ولی با حضور فیوز، سهم قاب حدود ۳۵ درصد خواهد بود که نشان می‌دهد اگر میانقاب دارای فیوز برشی لغزان باشد، قاب از مقاومت برشی بیشتری استفاده خواهد نمود. گفتنی است که مقاومت گسیختگی برشی ستون بر اساس مبحث دهم مقررات ملی ساختمان ایران [۵] برابر است با:

$$\phi R_n = 0.6 \times f_u \times A_{nv} \quad (۳)$$

که در آن برای مقاطع خالص برشی $\phi = 0.75$ و R_n گسیختگی برشی مقطع کلی بر اساس حالات حدی تسلیم و f_u مقاومت کششی فولاد و A_{nv} سطح مقطع برشی است که برای ستون‌های مورد مطالعه ما داریم:

$$\begin{aligned} \phi R_n &= 0.6 \times f_u \times A_{nv} \\ \Rightarrow 0.75 \times R_n &= 0.6 \times 3700 \times (2 \times 16.4) \end{aligned}$$

$$\Rightarrow R_n = 97.088^{KN}$$

بنابراین با توجه به این رابطه و نتایج موجود در جدول (۶) دیده می‌شود که با وجود فیوز، قاب از حداکثر مقاومت برشی خود استفاده می‌نماید که در حدود ۹۷ کیلونیوتن است.

قابل تنظیم بوده و شکل‌پذیری قابل قبولی دارند که به دلیل این خواص آنها را میانقاب‌های مهندسی می‌نامند.

در بین میانقاب‌های مهندسی، میانقاب دارای فیوز برشی لغزان، روشی بسیار نوین برای افزایش مقاومت نهایی و شکل‌پذیری و نیز افزایش میرایی قاب مرکب است که البته این عوامل با تنظیم مقاومت لغزشی فیوز برشی لغزان بکار رفته در آن قابل کنترل است.

این میانقاب، از جنس بتن الیافی یا بتن معمولی مسلح شده و دارای آرماتور است که در ارتفاع میانی خود دارای یک فیوز برشی لغزان است. مقاومت لغزشی فیوز با تنظیم نیروی پیش-کشیدگی پیچ‌های آن قابل تنظیم است. با توجه به اینکه تاکنون فقط تعداد محدودی آزمایش بر روی این میانقاب انجام شده و امکان بررسی رفتار این سازه بطور دقیق فراهم نبوده، در این تحقیق سعی شد با استفاده از تحلیل المان محدود غیرخطی و پس از اطمینان از درستی تحلیل با مقایسه آنها با نتایج موجود آزمایشگاهی، به بررسی رفتار این نوع میانقاب پرداخته شود. نتایج نشان می‌دهد که وجود فیوز برشی در میانقاب، سبب افزایش مقاومت نهایی قاب می‌شود به طوری که در نمونه‌های

مورد مطالعه، ظرفیت نهایی قاب مرکب بدون فیوز برشی ۳۳۰ کیلو نیوتن بوده، در حالی که مقاومت نهایی قاب میانپر مشابه و دارای فیوز لغزان تا ۲۷۳ کیلو نیوتن به دست آمد. همچنین بر اساس نتایج تحلیل المان محدود ارائه شده در این بررسی، با افزایش نیروی پیش‌کشیدگی پیچ‌های فیوز (افزایش نیروی آستانه لغزش فیوز برشی لغزان)، مقاومت نهایی سازه مورد نظر افزایش می‌یابد ولی پس از حد خاصی (در اینجا حدود ۱۵۶ کیلو نیوتن)، مقاومت نهایی تقریباً ثابت باقی می‌ماند. هرچند که وجود فیوز باعث افزایش ظرفیت تغییرشکل قاب میانپر می‌شود ولی افزایش مقاومت لغزشی فیوز از شکل‌پذیری میانقاب می‌کاهد.

به علاوه با استفاده از فیوز برشی لغزان می‌توان از ظرفیت‌های قاب و دیوار بصورت بهینه استفاده نمود که حالت ایده‌آلی است. در این صورت دیوار تا زمانی که قاب تقریباً به حد نهایی ظرفیت برشی خود نرسیده دچار تخریب نمی‌شود. این در حالی است که در قاب بدون فیوز، از بار اعمالی، سهم یکی از ستون‌ها نزدیک به صفر است و دیوار پیش از رسیدن قاب به ظرفیت خود دچار تخریب می‌شود.

۹- منابع

- [۱] اصفهانی، محمدرضا، "مکانیک شکست بتن"، انتشارات دانشگاه امیر کبیر (پلی تکنیک تهران)، چاپ اول، ۱۳۸۶
- [۲] دستور العمل بهسازی لرزه ای ساختمانهای موجود، نشریه شماره ۳۶۰، معاونت امور فنی، دفتر امور فنی، تدوین معیارها و کاهش خطرپذیری ناشی از زلزله، سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور، ۱۳۸۵
- [۳] ریاضی کامیاررضا، "تحلیل المان محدود و ارائه فرمولی برای محاسبه مقاومت نهایی میانقاب مهندسی دارای فیوز لغزان"، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم تحقیقات تهران، ۱۳۹۰
- [۴] محمدی، مجید، "بررسی رفتار و راه های تنظیم میانقاب مهندسی"، با همکاری وحید اکرمی، پروژه، پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله، ۱۳۸۷.
- [۵] مقررات ملی ساختمان ایران، "مبحث دهم: طرح و اجرای ساختمان های فولادی"، دفتر تدوین و ترویج مقررات ملی ساختمان، معاونت امور مسکن و ساختمان، وزارت مسکن و شهرسازی، ۱۳۸۷.
- [۶] Amjad J. Aref and Woo-Young Jung, "Energy-Dissipating Polymer Matrix Composite-Infill Wall System for Seismic Retrofitting", Journal of Structural Engineering, Vol. 129, No. 4, pp. 440-448, 2003.
- [۷] Amjad J Aref, "Advanced Composite Multi-infill Panels for Seismic Retrofit", Conference Proceeding Paper, Structures 2001: A Structural Engineering Odyssey, Section: 14, Chapter: 5, pp. 1-13, 2001.
- [۸] Building Code Requirements for Structural Concrete(ACI 318-08) and Commentary, 2008.
- [۹] FEMA-356, Prestandard and Commentary for the Sismic Rehabilitation of Buildings, FEDERAL EMERGENCY MANAGEMENT AGENCY, 2000.
- [۱۰] Job Thomas and Ananth Ramaswamy, "Mechanical Properties of Steel Fiber-Reinforced Concrete", JOURNAL OF MATERIALS IN CIVIL ENGINEERING, ASCE, 2007.

۱۰- زیر نویس ها

^۱ ABAQUS

^۲ Static, General

- ‡ Displacement Control
- ‡ Concrete Damage Plasticity
- Δ Merge
- ‡ Solid
- ‡ Sweep-Hex
- ^ Surface-to-surface contact (Standard)
- ‡ Tangential Behavior
- ‡ Normal Behavior