اثر مقاومت لغزشي فيوز بر ظرفيت نهايي ميانقاب مهندسي دارای فيوز لغزان با استفاده از تحليل اجزاء محدود

مجيد محمدي[i] *؛ كامياررضا رياضي[ii]

چكيده

ميانقابها از المان‌هاي موثر بر رفتار سازه هستند كه بر اساس آيين‌نامه‌ها يا بايد ضمن تامين مقاومت كافي عرضي به صورت موثر از قاب جدا شوند يا اثر سازه‌اي آنها در تحليل و طراحي در نظر گرفته شود. بر خلاف اين موضوع در بيش‌تر حالات از اثر ميانقاب در سازه صرفنظر مي‌شود كه دليل اصلي آن نبود خواص مهندسي و به خصوص شكل‌پذيري است. در سال‌هاي اخير ميانقابي پيشنهاد شده است كه در ارتفاع مياني خود داراي فيوز لغزان اصطكاكي با مقاومت لغزشي قابل تنظيم است. مطالعه آزمايشگاهي اين نوع ميانقاب روي تعداد محدودي نمونه، حكايت از رفتار شكل‌پذير اين نوع ميانقاب دارد؛ ضمن اينكه مقاومت نهايي آن را نيز مي‌توان با تنظيم فيوز، به مقدار دلخواه درآورد. با توجه به كم بودن اطلاعات بدست آمده از آزمايش براي بررسي رفتار اين ميانقاب، در اين تحقيق تلاش شده رفتار اينگونه ميانقاب‌ها با استفاده از روش تحليل اجزاء محدود، بررسي و ارتباط ميان مقاومت لغزشي فيوز با مقاومت نهايي چنين ميانقابي مورد بررسي قرار گيرد. در اين راستا از نرم‌افزار آباكس[1] كه توانايي خوبي در طراحي رفتار غيرخطي و مسائل تماسي دارد استفاده شده است. بدين جهت، ابتدا درستي نتايج تحليل، با داده‌هاي آزمايشگاهي بررسي شد و پس از اطمينان از درستي طراحي و نتايج تحليلي، اثر مقاومت‌هاي متفاوت فيوز بر مقاومت ميانقاب مطالعه شد. در پايان، نتايج تحليل‌هاي انجام شده نشان مي‌دهد كه افزايش مقاومت لغزشي فيوز باعث افزايش مقاومت قاب مركب داراي فيوز شده ولي از حدي خاص به بعد مقاومت نهايي قاب ميانپر ثابت باقي خواهد ماند؛ همچنين استفاده از اين نوع ميانقاب در قاب مركب باعث مي‌شود كه قاب و ميانقاب بصورت بهينه از ظرفيت خود استفاده نمايند.

كلمات كليدي

ميانقاب مهندسي، فيوز لغزان، مقاومت نهايي، تحليل اجزاء محدود

Influence of the Fuse Sliding Stength 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 confirmed through experimental studies. In this paper finite element analysis results of the fused infills

تاريخ دريافت مقاله:۱۳۹۰/۱۰/۱۴

تاريخ اصلاحات مقاله:۱۳۹۱/۲/۹

i*نويسنده مسئول و استاديار، پژوهشكده مهندسي سازه، پژوهشگاه بين المللي زلزله شناسي و مهندسي زلزله m.mohammadigh@iiees.ac.ir

ii دانشجوي كارشناسي ارشد، دانشگاه آزاد اسلامي واحد علوم تحقيقات تهران؛ Kamy_272@yahoo.com

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.

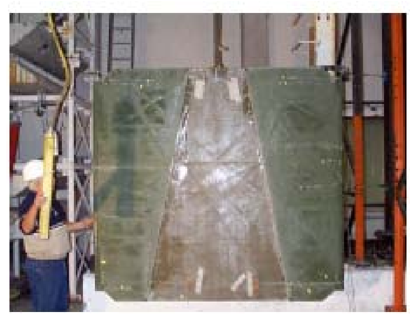
KEYWORD

Engineered infill, sliding fuse, ultimate strength, finite element

۱- مقدمه

با توجه به اثر زياد ميانقاب در افزايش سختي، مقاومت نهايي و ميرايي سازه، نبايد از اثر اين المان در سازه صرفنظر نمود. از طرفي متاسفانه ميانقاب‌هاي رايج و معمولي بدون شکل‌پذيري لازم براي تحمل نيروهاي ناشي از زلزله هستند. بنابراين تحقيقات وسيعي در دنيا براي يافتن ميانقاب‌هاي با شکل‌پذيري بالا که ميانقاب مهندسي ناميده مي‌شوند آغاز شده است.

در روش‌هاي مقاوم‌سازي ساختمان‌ها که در آن توجه خاصي به اثر ميانقاب‌ها مي‌شود نيز توجه خاصي به دستيابي به ميانقاب شکل‌پذير شده است. در اين راستا برخي محققين به استفاده از مصالح خاص در ديوار، روي آورده‌اند که در اين بين برخي براي ساخت ديوار از مصالح غير متداول استفاده نموده‌اند که نمونه‌اي از آن که از شبکه کامپوزيت پليمري ساخته شده در شکل (۱) نشان داده شده است [۶] و برخي ديگر مصالح نوين و از جمله مصالح الياقي پليمر را براي ديوار به کار برده‌اند [۷].



شکل (۱) : ميانقاب داراي شبکه کامپوزيت پليمري[٦]

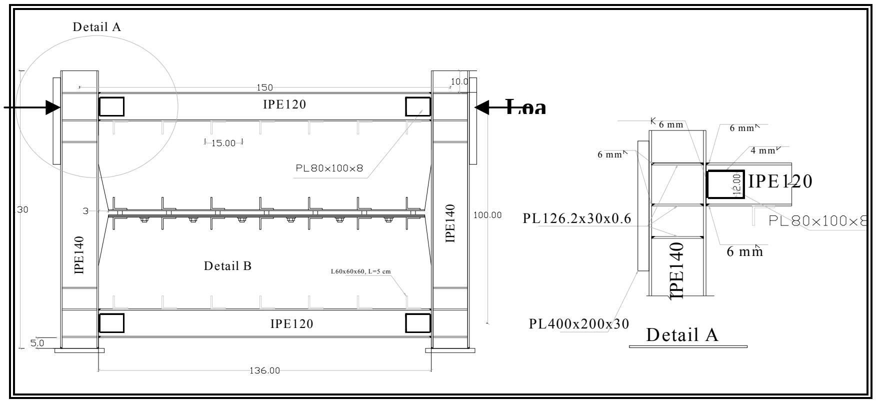
يکي از ميانقاب‌هاي مهندسي که مورد بحث اين مقاله است، ميانقابي از جنس بتن الياقي بوده که در ارتفاع مياني خود داراي يک فيوز لغزان با مقاومت لغزشي قابل تنظيم است. نتايج آزمايشگاهي[۴] نشان داد که با تنظيم فيوز، مي‌توان مقاومت نهايي اين نوع ميانقاب را بهبود بخشيد. بر اساس اين نتايج، اين نوع ميانقاب علاوه بر اينکه از شکل‌پذيري قابل توجهي برخوردار است داراي ميرايي زيادي است؛ ضمن اينکه مقاومت آن به مراتب بيشتر از نمونه مشابه بدون فيوز است.

با توجه به محدوديت‌هاي موجود در کارهاي آزمايشگاهي، فقط تعداد بسيار محدودي از ميانقاب داراي فيوز لغزان، آزمايش شد [۴]. با توجه به نوپا بودن اين نوع ميانقاب و کمبود مطالعات تحليلي و آزمايشگاهي براي بررسي رفتار آن، دراين تحقيق سعي شد با استفاده از تحليل المان محدود غير خطي و با استفاده از نرم‌افزار آباکس که توانايي خوبي در طراحي مسائل شامل سطوح تماس دارد؛ رفتار چنين ميانقاب‌هايي مورد مطالعه قرار گيرد. به اين ترتيب که پس از کاليبره نمودن نمونه-هاي طراحي شده با نمونه‌هاي آزمايش شده و حصول اطمينان از درستي تحليل‌ها، اثر مقاومت‌هاي لغزشي مختلف فيوز بر رفتار و به خصوص مقاومت نهايي چنين ميانقاب‌هايي مورد بررسي قرار گرفت تا در صورت نياز بتوان با تنظيم مقاومت لغزشي فيوز، مقاومت نهايي ميانقاب مهندسي را به اندازه دلخواه تنظيم نمود.

۲- معرفي قاب مرکب با ميانقاب داراي فيوز برشي لغزان (نمونه آزمايشگاهي)

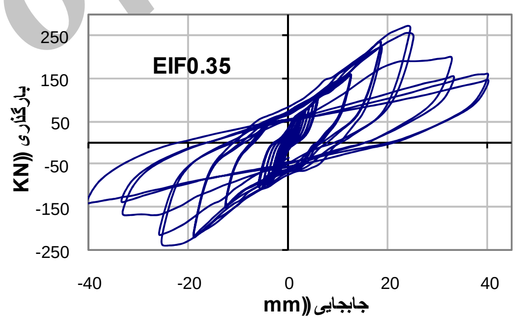
اين نوع قاب به‌گونه‌اي است که ميانقاب آن داراي عملکرد برشي بوده و از دو قسمت بالايي و پاييني تشکيل شده است که در ارتفاع مياني خود داراي فيوز برشي لغزان است. فيوز داراي دو صفحه فلزي است که روي همديگر قرار گرفته و از اصطکاک موجود بين آنها در هنگام لغزش براي کنترل رفتار سازه استفاده مي‌شود. ضمنا اتصال ديوار با تيرهاي بالايي و پاييني به‌وسيله تعدادي برشگير تامين مي‌شود.

در چنين ميانقابي با ايجاد لغزش در فيوزهاي برشي، دو قسمت بالايي و پاييني ميانقاب داراي حرکت نسبي در راستاي همديگر و در راستاي بارگذاري خواهند بود و اين حرکت باعث مي‌شود که ديوار در محل استقرار فيوز با ستون تماس يافته و برش به نسبت زيادي در ستون بوجود آيد که ممکن است منجر به شکست ستون شود؛ بنابراين براي مقابله با اين مشکل، ناحيه مياني ميانقاب بصورت پخ خورده با فاصله مناسب از ستون (۳ سانتي‌متر از طرفين فيوز) اجرا شد. جزئيات اين نوع قاب ميانپر در شکل (۲) آمده است:

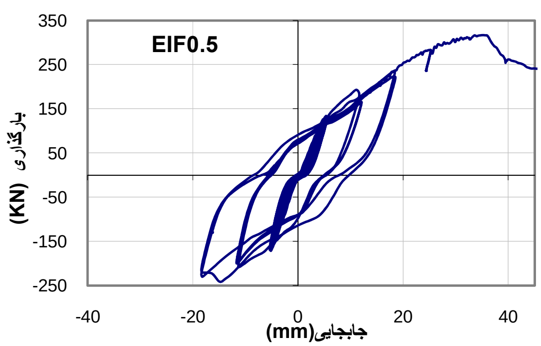


شكل (۲): جزئيات قاب مركب با ميانقاب داراي فيوز لغزان، طراحي شده درآزمايشگاه و تحليل [۴]

همانگونه كه در شكل (۲) مشاهده مي‌شود، فيوز برشي لغزان به صورت افقي و در ارتفاع مياني ميانقاب مهندسي بكار برده مي‌شود. مقاومت لغزشي فيوز توسط چند پيچ پيش‌كشيده تامين مي‌شود كه چنانچه نيروي برشي وارد به فيوز از اين مقاومت بيش‌تر رود فيوز دچار لغزش شده و با اين عملكرد از تخريب ديوار جلوگيري مي‌شود.



الف: نمونه $EIF0.35$



ب:نمونه $EIF0.50$

شكل (۳): نمودار هيسترزيس نمونه‌هاي آزمايشگاهي قاب مركب با ميانقاب داراي فيوز لغزان [۴]

در اين زمينه در مرجع [۴]، دو نمونه ميانقاب مهندسي آزمايش شده بود كه به ترتيب *EIF0.35* و *EIF0.5* ناميده شده كه داراي نيروي آستانه لغزش ۵۰/۸۵ ^{KN} و ۷۲/۶۴ ^{KN} بودند. نتايج به‌دست آمده از آزمايش اين دو نمونه در شكل (۳) نشان داده شده است. همانگونه كه ديده مي‌شود با افزايش مقاومت لغزشي فيوز از *EIF0.35* به *EIF0.5* مقاومت نهايي آنها نيز به مقدار محسوسي افزايش يافته و از ۲۶۷ به ۳۱۵ كيلونيوتن رسيده است. در اين مقاله تلاش شده رابطه بين مقاومت لغزشي فيوز و ظرفيت نهايي ميانقاب با فيوز توسط روش‌هاي تحليلي مشخص شود.

۳- معرفي روش تحليل و نرم‌افزار بكار رفته

در اين تحقيق براي انجام تحليل‌ها، از روش المان محدود توسط نرم‌افزار آباكس استفاده شد. مهم‌ترين علت استفاده از اين نرم‌افزار، توانايي و قدرت مناسب آن در تحليل همزمان مسائل پلاستيسيته و تماسي است كه در اين تحقيق نيز با مسايل مرتبط با سطوح تماسي كه اساس كار فيوز هاي لغزشي است درگير مي باشد.

در اين نرم‌افزار از تحليل عمومي استاتيكي[۲] استفاده شده كه مخصوص تحليل مسائل استاتيكي بصورت خطي و غير خطي است و با توجه به اينكه اين تحليل از نوع كنترل تغييرمكان[۳] است، نتايج حاصل از تحليل هر نمونه بصورت نمودار نيروي اعمالي-جابجايي ارائه مي‌شود.

۴- جزئيات طراحي ميانقاب در نرم‌افزار آباكس

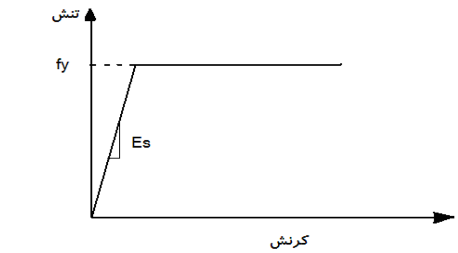
گفتني است كه بر اساس مرجع [٤]، قاب مركب داراي ميانقاب مهندسي كه مورد آزمايش قرار گرفت يک دهانه مقياس شده (باضريب مقياس ۱:۳) از يک ساختمان واقعي بود. با توجه به اينكه اولين مرحله انجام تحليل بررسي درستي نتايج تحليلي با آزمايشگاهي بود بنابراين ابتدا قاب نشان داده شده در شكل (۲) در نرم‌افزار آباكس به شرح ذيل طراحي شد.

۴-۱- معرفي مصالح بكار رفته در تحليل

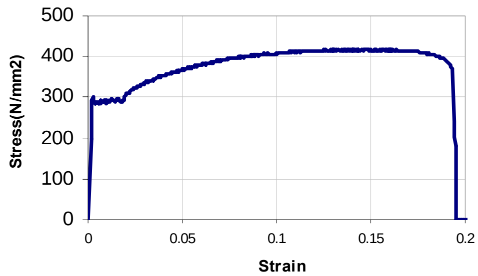
با توجه به اينكه تعريف دقيق خصوصيات مصالح براي نرم‌افزارها بسيار مشكل و گاهي غير ممكن است، در بسياري موارد الزاما بايد ساده‌سازي‌هايي براي تعريف آنها انجام شود. بنابراين در اين تحقيق، كليه مصالح بكار رفته از جنس مواد ايزوتروپيک بوده و ضريب پواسون مصالح فلزي ۰/۳ در نظر گرفته شده است. مشخصات مكانيكي مصالح مصرفي براي طراحي‌هاي لازم به شرح جدول (۱) بوده كه البته همه اين فرضيات بر پايه نتايج حاصل از انجام آزمايش بر روي مصالح مصرفي در مطالعه آزمايشگاهي است [۴]. گفتني است كه مشخصات فولاد مصرفي براي ساير اقلام فولادي از قبيل نبشي‌ها و ورق‌ها، با توجه به اثر اندک مشخصاتشان در نتايج آزمايشگاهي به صورت دو خطي و با مشخصات فولاد متداول در نظر گرفته شد كه در شكل (۴) ديده مي‌شود و مشخصات مفروض براي آنها در جدول (۱) آمده است. نمودار تنش كرنش مصالح اعضاي قاب و همچنين نمودار مشابه براي آرماتورهاي Φ8 كه در ديوار به كار رفته‌اند در شكل‌هاي (۵) و (۶) نشان داده شده‌اند. اطلاعات بيشتر در مورد نمونه‌هاي آزمايشگاهي در مرجع [۴] موجود است.

براي معرفي مشخصات مكانيكي بتن اليافي ميانقاب، از آنجا كه فقط آزمايش انجام شده بر روي بتن، آزمايش مقاومت فشاري بوده (نتايج حاصل از دو نمونه آزمايشگاهي مرجع [۴])، ساير مشخصات بتن به كمک روابط آيين‌نامه ACI [۸] و روابط پلاستيسيته [۱] بدست آمد كه البته گفتني است فقط معرفي بتن الياف‌دار، از روابط مرجع [۱۰] كه در جدول زير آمده است استفاده شده است. مشخصات اين نوع بتن در نمونه‌هاي آزمايشگاهي با استفاده از روابط جدول (۲) محاسبه و براي طراحي بكار گرفته شد.

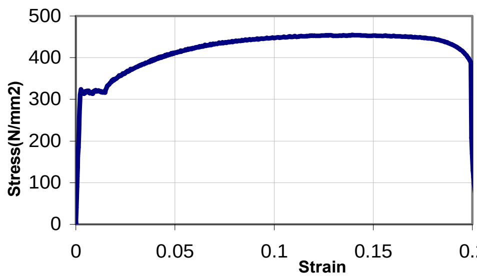
براي حصول نمودار رفتار فشاري بتن اليافي، از فرضيات آيين‌نامه ACI كه براي به‌دست آوردن منحني تنش-كرنش بتن معمولي در حالت فشار (بر اساس مرجع[۲, ۷]) به‌كار مي‌رود استفاده شد كه عبارتند از: ۱- رفتار بتن تا ۴۵% مقاومت نهايي آن به صورت خطي است، ۲- شكست بتن و از دست دادن كامل مقاومت آن در كرنش حدود ۰/۰۰۳ رخ مي‌دهد.



شكل (۴): منحني دو خطي ساده‌سازي شده تنش-كرنش فولاد [۱]

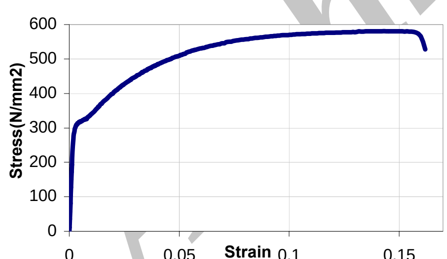


الف: IPE120



ب: IPE140

شكل (۵): نمودارتنش-كرنش IPE120 و IPE140 حاصل از نتايج آزمايش‌ها [۴]



شكل (۶): نمودارتنش-كرنش آرماتور Φ8 حاصل از نتايج آزمايش‌ها [۴]

جدول (۱): مشخصات مصالح فلزي بر اساس آزمايش‌ها [۴]

نام	محل استفاده	مدول الاستيسيته Kg/cm^2	مقاومت تسليم شدگي Kg/cm^2	مقاومت نهايي Kg/cm^2	كرنش تسليم شدگي
IPE120	تير هاي قاب	۱۹۱۱۸۱۱	۳۰۵۴	۴۲۴۴	۰/۰۰۲۰۶۷
IPE140	ستونهاي قاب	۲۰۱۷۶۰۰	۳۲۸۳	۴۵۸۳	۰/۰۰۲۰۴۷
ميلگرد $\phi 8$	ميلگرد ميانقاب	$۱/۷۵×۱۰^۶$	۳۲۰۰	۵۹۱۸	-
نبشي و ورقها	اقلام متفرقه	$۲/۱×۱۰^۶$	۲۴۰۰	-	-

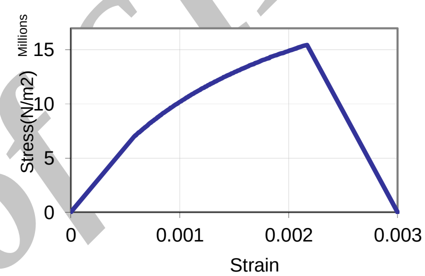
ضمنا براي معرفي بتن در نرم‌افزار آباکس از گزينه خرابي پلاستيسيته بتن[۴] استفاده شد. جزئيات نمودار تنش-کرنش رفتار فشاري بتن نمونه‌هاي مورد بحث بر اساس رابطه (۱) از مرجع[۱] محاسبه شده و به نرم‌افزار معرفي شدند:

که در آن $f'c$ مقاومت مشخصه بتن و ε کرنش در هر لحظه و ε_0 کرنش متناظر مقاومت نهايي (جدول۲) هستند. در پايان، نمودارهاي نشان داده شده در شکل (۷) در تحليل به کار گرفته شد:

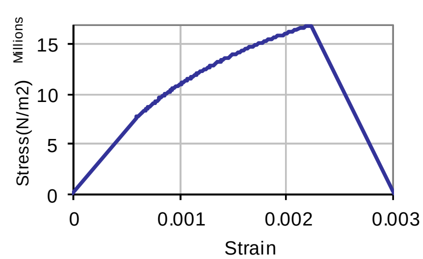
$$\sigma_c = \frac{1.8\times f'_c \times (\varepsilon/\varepsilon_0)}{1+(\varepsilon/\varepsilon_0)^2} \qquad (۱)$$

جدول ۲ : مشخصات مکانيکي بتن اليافي بکار رفته در نمونه‌ها در اين تحقيق [۱۰]

رديف	مشخصات مورد نياز بتن اليافي	رابطه پيشنهادي بر اساس مرجع ۱۰	$EIF0.50$	$EIF0.35$
۱	مقاومت فشاري نمونه استوانه اي f'_c	$f'_{cF} = 0.84 f'_{cu} + 0.046 f'_{cu} RI + 1.02 RI (MPa)$	۱۵۷/۲ Kg/cm^2	۱۷۲/۶ Kg/cm^2
۲	مقاومت کششي ترک خوردگي f_t	$f_{spcF} = 0.63(f'_{cu})^{0.5} + 0.288(f'_{cu})^{0.5} RI + 0.052 RI (MPa)$	۳/۲۹ MPa	۳/۴۶ MPa
۳	ضريب پواسون υ	$\upsilon_{cF} = 0.01(f'_{cu})^{0.167} + 0.0001 f'_{cu} RI + 0.012 RI$	۰/۲۳۶۲	۰/۲۳۹۸
۴	مدول الاستيسيته	$E_{cF} = 4.58(f'_{cu})^{0.5} + 0.42(f'_{cu}) RI + 0.39 RI (GPa)$	۲۳۱۶۱۶ MPa	۲۴۵۰۶/۳ MPa
۵	کرنش متناظر با مقاومت نهايي ε_0	$\varepsilon_{0cF} = [493.4(f'_u)^{0.3943} + 3.5788 f'_{cu} RI + 484.95 RI] \times 10^{-6}$	۰/۰۰۱۸۱۴	۰/۰۰۱۸۷۷



الف : $f'c=$ ۱۵۷/۲ Kg/cm^2



ب: $f'c=$ ۱۷۲/۶ Kg/cm^2

شکل (۷): نمودار تنش-کرنش بتن اليافي حاصل از نتايج آزمايشگاه و تئوري‌هاي پلاستيسيته[۳]

براي معرفي رفتار کششي بتن اليافي، مقاومت کششي f_t و انرژي کششي نهايي $G_f (N/m)$، نياز است که f_t در جدول (۲) محاسبه شود و G_f بر اساس مرجع[۱] از رابطه ۲ بدست خواهد آمد:

$$G_F = 2.5\times\alpha_0 \left(\frac{f'_c}{0.051}\right)^{0.46}\left(1+\frac{d_a}{11.27}\right)^{0.22}\left(\frac{w}{c}\right)^{-0.3} \qquad (۲)$$

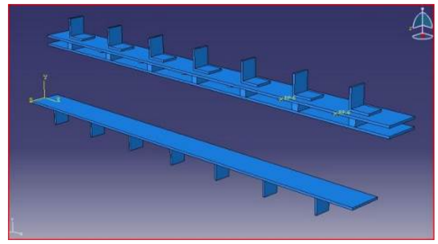
$$\Rightarrow \begin{Bmatrix} for EIF0.50 = 66.78 \, N/m \\ for EIF0.35 = 69.72 \, N/m \end{Bmatrix}$$

که در آن f'_c مقاومت مشخصه بتن(MPa) و $\frac{w}{c}$ نسبت آب به سيمان، d_a بزرگ‌ترين اندازه سنگدانه و α_0 ضريبي است که در صورت استفاده از مصالح شکسته برابر ۱/۴۴ خواهد بود. بر اساس فرضيات مرجع [٤]، $\frac{w}{c}=$ ۰/۷ و $d_a=$ ۱۵^{mm} است.

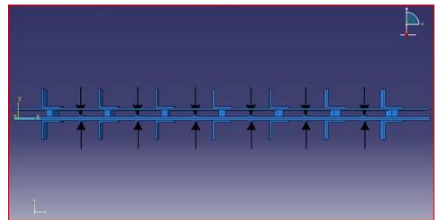
هرچند که اين رابطه متعلق به بتن معمولي بوده ولي به دليل کمبود مطالعات در اين زمينه بتن اليافدار و همچنين اثر اندک آن در نتايج نهايي، با تقريب اندکي براي بتن اليافي نيز بکار گرفته شد.

۴-۲- طراحي قطعات بکار رفته در نرم‌افزار آباکس براي اجراي تحليل المان محدود

-فيوز لغزان: مهم‌ترين طراحي اين تحقيق، طراحي فيوز برشي لغزان بود زيرا حساسيت ويژه‌اي برخوردار بود (شکل ۸-الف). در آزمايش‌هاي مرجع [۴] پيچ‌هاي تنظيمي به تعداد ۶ عدد در فضاي بين برشگيرها و به فاصله ۱۸ سانتي‌متر از يکديگر قرار گرفته بودند که با شل و سفت نمودن و پيش کشيده کردن آنها مقدار مقاومت لغزشي فيوز تنظيم مي‌شد. در اين تحقيق براي طراحي راحت‌تر، به جاي پيچ، جفت نيروهايي برابر با مقدار نيروي پيش‌کشيدگي پيچ‌ها قرار داده شدند (شکل ۸-ب). با زياد و کم نمودن اين نيروها در عمل کار سفت و شل نمودن پيچ‌ها و در نتيجه کنترل نيروي آستانه لغزش فيوز انجام مي‌شد. مقدار اين نيروها در نمونه $EIF0.50$ برابر با ۳۸/۴۱ KN و در نمونه $EIF0.35$ برابر با ۲۶/۷۶ KN بود.



الف: فيوز مدلسازي شده

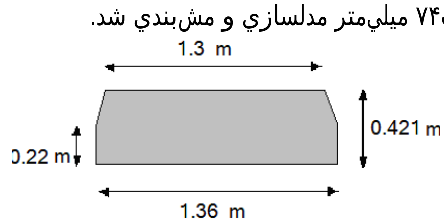


ب: بارهاي اعمال شده به فيوز جهت مدلسازي عملكرد نيروي پيچ ها

شكل (۸): فيوز برشي لغزان طراحي شده در نرم‌افزار آباكس [۳]

ساختار فيوز به گونه‌اي است كه فقط در جهت طولي امكان لغزش داشته و صفحات نمي‌توانند در جهت عرضي نسبت به يكديگر بلغزند. بنابراين در طراحي، فقط امكان لغزش طولي به صفحات داده شد.

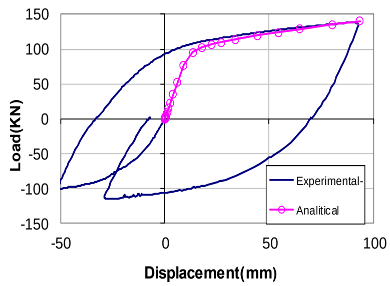
- ميانقاب: ديوار نمونه آزمايشگاهي از دو قطعه تشكيل شده بود كه قسمت زيرين آن در شكل (۹) ديده مي‌شود و در طراحي نيز اين دو قسمت مانند نمونه آزمايشگاهي با ضخامت۷۴ ميلي‌متر مدلسازي و مش‌بندي شد.



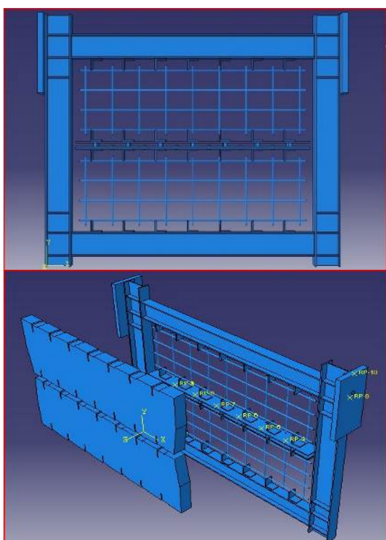
شكل (۹): شكل نمايي ميانقاب طراحي شده [۴]

- آرماتورگذاري: براي طراحي هندسي شبكه آرماتور-گذاري، از ۴ قطعه استوانه‌اي به قطر ۸ ميلي‌متر و طول‌هاي ۱/۲۷ متر (براي آرماتورهاي افقي) و ۹ عدد به طول ۰/۴ متر براي آرماتورهاي قائم استفاده شد. فواصل اين شبكه فولادي مانند نمونه آزمايشگاهي [٤]، در جهت افقي ۱۵ سانتي‌متر و در جهت عمودي ۱۰ سانتي‌متر بوده است كه در شكل (۱۱) ديده مي شود. در اين طراحي براي در نظر گرفتن اثر آج و خم انتهايي ميلگردها، از قيدي ميان بتن و ميلگرد استفاده شد كه در طول ميلگرد بطور پيوسته با هم درگير باشند.

- اتصالات قاب: براي طراحي اتصالات صلب در نرم‌افزار، قطعات با استفاده از گزينه تركيب قطعات[۵] بصورت يكپارچه در آمده كه در اينصورت بال تيرها كاملا به ستون متصل شده و بنابراين مي‌توان اتصال تير به ستون را مطابق آنچه در آزمايش بود به صورت گيردار فرض نمود. ضمن اينكه تحليل قاب خالي و مقايسه با نتايج آزمايشگاهي يک قاب خالي، درستي اين طراحي را تاييد مي‌نمايد كه مقايسه نتايج تحليل و آزمايشگاهي در شكل (۱۰) آمده است.



شكل (۱۰): نمودار جابجايي-نيرو براي مقايسه‌ي نتايج تحليلي و آزمايشگاهي در قاب خالي بدون هر گونه ميانقابي [۳]



شكل (۱۱): قاب مركب طراحي شده در نرم‌افزار آباكس [۳]

۴-۳- معرفي المان‌هاي مورد استفاده در طراحي قطعات مختلف در نرم‌افزار آباكس

در اين تحقيق از حالت سه بعدي براي طراحي استفاده شده و همه‌ي قطعات از نوع توپر[۶] و از نظر تغيير شكل‌پذيري، به حالت تغيير شكل پذير هستند. همه المان‌هاي اين قطعات از نوع المان حجمي استاندارد بوده و براي مش‌بندي قطعات از المان-هاي محيط پيوسته استفاده شده است. در المان‌بندي مذكور كه در عمل نقش تقسيم‌بندي قطعات به المان‌هاي كوچكتر را دارد، در همه قطعات، از مش‌بندي آزاد و با استفاده از المان چهار وجهي استفاده شده زيرا اين نوع مش‌بندي براي قطعاتي با

اشكال متفاوت و نامنظم بسيار مناسب بوده و استثنا در اين مورد، مش‌بندي ميلگردها بوده كه از مش‌بندي توسط نقطه مرجع[7] استفاده شده است.

۴-۴- طراحي بر هم كنش‌ها

پر كاربردترين نوع بر هم كنش در اين تحقيق، تماس سطح به سطح[8] است كه براي معرفي تماس بين سطوح مختلف معرفي شده است و موارد كاربرد آن، تماس و برهم كنش بين دو صفحه فيوز لغزان، ستون و ميانقاب، تير و ميانقاب، صفحات فيوز و ميانقاب و نبشي‌ها و ميانقاب است. در معرفي خواص اين بر هم كنش‌ها، براي بيان رفتار تماس در جهت مماس بر سطوح[9]، اصطكاك با ضريب اصطكاك ۰/۳ [۴] استفاده شده است. طراحي عمود بر سطح[10] نيز بصورتي انجام شده كه دو جسم تماس يافته پس از برخورد، در هم نفوذ ننموده و پس از اتمام برخورد، از هم جدا مي‌شوند. در شكل (۱۲) تماس بين نبشي و ميانقاب به صورت نمايي نشان داده شده است.

۴-۵- معرفي شرايط مرزي و بارهاي وارد با قاب ميانپر

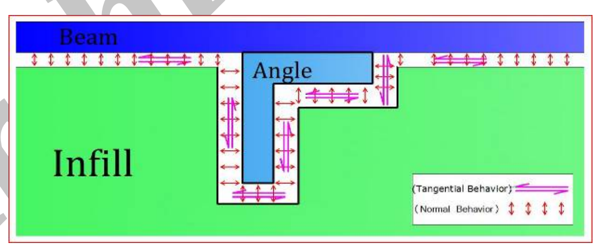
تكيه‌گاه ستون‌ها به زمين طبق با آزمايش‌هاي مرجع[٤]، بصورت گيردار طراحي شده و درجات آزادي جابجايي و دوراني در راستاي هر سه محور صفر در نظر گرفته شد. با توجه به اينكه اين تحليل از نوع كنترل جابجايي بوده و جابجايي قاب مركب در محور خود قاب مد نظر است (محور x كه در شكل (۱۱) نشان داده شده‌اند)، در اينجا، بجاي اعمال بار جانبي، جابجايي در راستاي محور x- بصورت بارگذاري يک جهته تا رسيدن به مقاومت نهايي سازه اعمال شد.

۵- بررسي درستي نتايج آزمايشگاهي و تحليلي

پس از طراحي نمونه آزمايش شده در نرم‌افزار و اجراي تحليل، نتايج تحليلي و آزمايشگاهي در جدول (۳) با هم مقايسه شدند:

از جدول (۳) ديده مي‌شود كه در نمونه‌هاي مورد تحليل، برابري بسيار خوبي بين نتايج آزمايشگاهي و تحليلي به خصوص در مقاومت نهايي وجود دارد و درصد خطاي بوجود آمده نيز احتمالا به اين دليل است كه بتن ميانقاب اين نمونه در آزمايشگاه در اثر بروز پديده آبرفتگي به طور كامل به قاب نچسبيده و درزي بين ميانقاب و قاب ايجاد شده كه اين مسئله باعث افزايش اندكي در جابجايي نهايي و كاهش در سختي اوليه نمونه آزمايشگاهي شده است. گفتني است از آنجا كه هدف اصلي اين تحقيق برآورد رابطه بين مقاومت لغزشي فيوز و ظرفيت نهايي ميانقاب مهندسي است دقت موجود در مقاومت نهايي‌هاي برآورد شده كفايت لازم را دارند. بر اساس اين نتايج، هر چه نيروي آستانه لغزش افزايش مي‌يابد، مقاومت نهايي نيز افزايش ولي جابجايي متناظر با آن(شكل پذيري) كاهش مي‌يابد (شكل ۱۳).

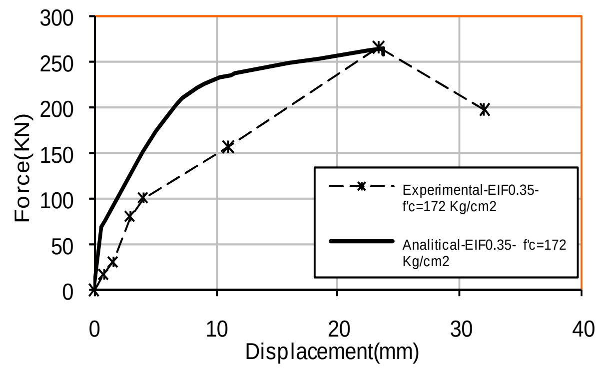
براي مقايسه بهتر نتايج آزمايشگاهي وتحليلي كه در جدول (۳) ديده شد، شكل (۱۳) نمودار نيرو-جابجايي مربوطه را نشان مي‌دهد. در اين نمودار، منحني‌هاي پر رنگ‌تر نتايج تحليلي و نمودار خط چين نتايج آزمايشگاهي را نشان مي‌دهد.



شكل (۱۲): نمايش اندركنش در تماس بين نبشي و ميانقاب[۳]

جدول ۳: نتايج حاصل از آزمايش و تحليل المان محدود در ميانقاب مهندسي داراي فيوز لغزان [۳]

نام نمونه	مقاومت مشخصه بتن (Kg/cm^2)	نيروي آستانه لغزش فيوز (KN)	مقاومت نهايي حاصل از آزمايشگاه: مقاومت نهايي (KN)	مقاومت نهايي حاصل از آزمايشگاه: جابجايي (mm)	مقاومت نهايي حاصل از تحليل آباكس: مقاومت نهايي (KN)	مقاومت نهايي حاصل از تحليل آباكس: جابجايي (mm)	درصد خطا: مقاومت نهايي	درصد خطا: جابجايي
$EIF0.35$	۱۷۲/۶	۵۰/۸۵	۲۶۷	۲۳/۳۰	۲۶۶/۲۳۵	۲۳/۶۷	% ۰/۲۸۶	% -۱/۶۱
$EIF0.50$	۱۵۷/۲	۷۲/۶۴	۳۱۶	۳۴	۲۷۹/۴۳۱	۱۹/۹۳۷	% ۱۱/۴۷	% ۴۱/۳۶



شکل (۱۳): نمودارهاي جابجايي-نيرو براي نمايش مقايسه نتايج حاصل از تحليل و آزمايشگاه (نمونه $EIF0.35$) [۳]

بررسي ديگري که براي کنترل درستي طراحي انجام شده صورت گرفت نمونه بتني بدون فيوز و برشگير بود. قبلا نشان داده شده است که مقاومت نهايي چنين نمونه‌اي را مي‌توان با دقت خوبي از فرمول پيشنهادي مينستون که در فيما-۳۵۶ [۹] و نشريه ۳۶۰ [۲] گفته شده است محاسبه نمود. با استفاده از اين رابطه، مقاومت نهايي قاب مرکبي با ميانقاب بدون آرماتور و برشگير و فيوز ۱۶۴ کيلونيوتن بدست خواهد آمد، در حاليکه نتايج تحليل المان محدود چنين قاب ميانپري، مقاومت نهايي ۱۶۱ کيلونيوتن را حاصل مي‌نمايد که هم‌خواني بسيار مناسبي با عدد حاصل از فرمول مينستون داشته و دقت لازم را هم از نظر مقاومت نهايي و هم از نظر سختي اوليه دارد.

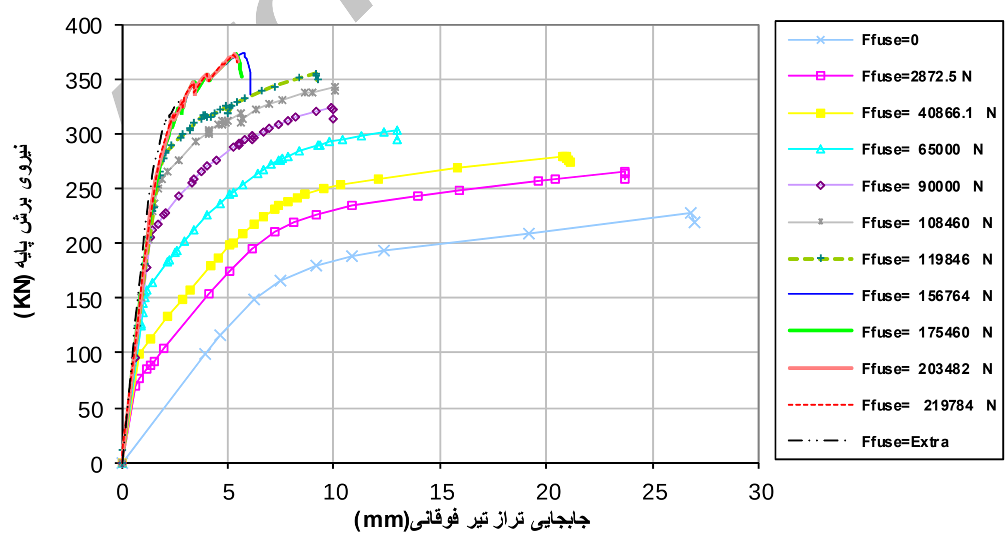
۶- بررسي اثر نيروي آستانه لغزش فيوز لغزان در قاب مرکب با ميانقاب مهندسي داراي اين فيوز

براي بررسي اثر نيروهاي آستانه لغزش فيوز بر رفتار قاب مرکب با ميانقاب مهندسي داراي اين نوع فيوز، ضمن ثابت نگهداشتن همه‌ي عوامل و فقط با تغيير نيروهاي پيش‌کشيدگي پيچ‌هاي فيوز و سپس تحليل قاب ميانپر، نمودارهاي جابجايي-نيروي حاصل از اين تحليل‌ها، به صورت نشان داده شده در شکل (۱۴) بدست مي‌آيد. در اين شکل تغييرات نيروي اعمال شده به تراز تير بالايي قاب ميانپر در مقابل تغييرمکان نقطه اعمال بار نشان داده شده است.

همانگونه که در نمودارهاي شکل (۱۴) ديده مي‌شود، با افزايش نيروي پيش‌کشيدگي پيچ‌هاي فيوز، مقاومت نهايي قاب مرکب گفته شده افزايش يافته ولي از شکل‌پذيري آن کاسته مي‌شود. جدول زير نتايج حاصل از تحليل است:

بر اساس نتايج تحليلي براي قاب مرکب با ميانقاب مهندسي داراي فيوز بدون لغزش (با نيروي آستانه لغزش بينهايت)، مقاومت نهايي برابر ۳۳۰ کيلونيوتن بدست آمد ولي با استفاده از فيوز لغزان مي‌توان اين مقدار را تا ۳۷۳/۵ کيلونيوتن افزايش داد.

در جدول (۴) ديده مي‌شود که با افزايش نيروي پيش-کشيدگي پيچ‌هاي فيوز که افزايش نيروي آستانه لغزش فيوز برشي لغزان را نيز در پي دارد، مقاومت نهايي سازه مورد بررسي افزايش مي‌يابد ولي اين روند تا نيروي پيش‌کشيدگي پيچ‌هاي فيوز به ميزان ۱۵۶/۷۶۴ کيلونيوتن (مقاومت نهايي ۳۷۳ کيلو نيوتن) پيش مي‌رود و از آن به بعد با افزايش اين نيرو، مقاومت نهايي تقريبا ثابت باقي مي‌ماند؛ به بيان ديگر افزايش مقاومت لغزشي فيوز تا حد مشخصي مي‌تواند باعث افزايش مقاومت نهايي قاب ميانپر داراي فيوز شود ولي بعد از آن،

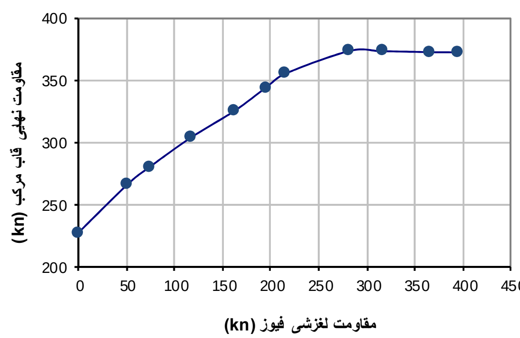


شکل (۱۴): نمودار جابجايي-نيروي قاب مرکب با ميانقاب مهندسي داراي فيوز لغزان با نيروهاي آستانه لغزش مختلف [۳]

افزايش نيروي آستانه لغزش فيوز بي اثر بوده و كمكي به افزايش مقاومت نهايي قاب ميانپر نمي‌نمايد. براي بررسي بهتر اين نتايج، نمودار شكل (۱۵) از جدول (۴) حاصل شده است كه اين نمودار علاوه بر تاييد اين بيانات، مويد اين امر است كه مقاومت نهايي اين سازه با تنظيم آستانه لغزش فيوز لغزان، قابل كنترل است.

جدول ۴: بررسي اثر پيش‌كشيدگي پيچ‌هاي فيوز برشي لغزان بر مقاومت نهايي قاب مركب با ميانقاب داراي اين فيوز[۳]

نيروي كشش هر پيچ از فيوز(KN)	نيروي آستانه لغزش فيوز(KN)	مقاومت نهايي قاب مركب(KN)
۰	۰	۲۲۷/۲۳۰
۲۸/۴۷۲	۵۱/۲۴۹	۲۶۶/۲۳۵
۴۰/۸۶۶	۷۳/۵۵۹	۲۷۹/۷۹۰
۶۵/۰۰۰	۱۱۷/۰۰۰	۳۰۳/۷۸۸
۹۰/۰۰۰	۱۶۲/۰۰۰	۳۲۵/۰۸۶
۱۰۸/۴۶۰	۱۹۵/۲۲۸	۳۴۴/۱۴۲
۱۱۹/۸۴۶	۲۱۵/۷۲۳	۳۵۵/۳۸۰
۱۵۶/۷۶۴	۲۸۲/۱۷۵	۳۷۳/۵۷۱
۱۷۵/۴۶۰	۳۱۵/۸۲۸	۳۷۳/۳۶۶
۲۰۳/۴۸۲	۳۶۶/۲۶۷	۳۷۲/۵۸۷
۲۱۹/۷۸۴	۳۹۵/۶۱۱	۳۷۲/۴۲۰
فيوز بدون لغزش	بينهايت	۳۳۰/۱۰۵



شكل (۱۵): اثر تغييرات مقاومت لغزشي فيوز برشي لغزان بر مقاومت نهايي قاب مركب با ميانقاب مهندسي داراي اين فيوز [۳]

۷- بررسي سهم قاب از نيروهاي وارده بر قاب مركب داراي اين فيوز

با توجه به اينكه مقاومت قاب مركب برابر حاصل جمع مقاومت‌هاي ديوار و قاب نبوده و اندركنش بين آنها نيز اهميت دارد، ممكن است اين سوال مطرح شود كه در قاب مركب با ميانقاب داراي فيوز برشي لغزان، قاب چه سهمي از نيروهاي وارده را به خود اختصاص مي دهد. در اين قسمت در عمل نقش حضور فيوز ملموس‌تر خواهد شد، بنابراين بررسي كوتاهي نيز در اين زمينه بر روي نتايج تحليلي دو نمونه آزمايشگاهي $EIF0.35$ و نمونه $EIF0.5$ انجام شد كه در آن برش‌هاي موجود در ستون‌هاي سمت چپ و وسط ستون سمت راست مورد توجه قرار گرفت. در ضمن براي تعيين نقش فيوز، براي نمونه‌اي با قاب بدون فيوز (كه با مشخصات نمونه $EIF0.35$ طراحي شده) نيز اين كار انجام و با نتايج نمونه‌هاي فيوزدار مقايسه شد كه در جدول (۵) خلاصه شده است:

جدول ۵: سهم قاب از تنش كل قابل تحمل قاب مركب مهندسي در لحظه آغاز لغزش در فيوز [۳]

نمونه	نيروي كل(KN)	سهم قاب از نيروي كل(KN)	درصد سهم قاب
$EIF0.35$	۶۸/۳	۱۰/۲	% ۱۵
$EIF0.5$	۷۰	۹/۴	% ۱۳/۴
بدون فيوز	۸۸/۶	۱۰	% ۱۱/۳

جدول ۶: سهم قاب از تنش كل قابل تحمل قاب مركب مهندسي پس از لغزش فيوز[۳]

نمونه	نيروي كل(KN)	سهم قاب از نيروي كل(KN)	درصد سهم قاب
$EIF0.35$	۲۶۵	۹۴/۷	% ۳۵/۷
$EIF0.5$	۲۷۵	۹۲/۳	% ۳۳/۵
بدون فيوز	۳۲۷	۴۰	% ۱۲/۳

از نتايج جدول (۵) ديده مي‌شود كه بدون حضور فيوز، در لحظه معادل آغاز لغزش (نسبت به حالتي كه فيوز وجود دارد) قاب، سهم كمي از تنش‌هاي وارده را دارد كه حدود ۱۰ درصد است ولي با وجود فيوز، سهم قاب در همان لحظه حدود ۱۵ درصد است.

از نتايج جدول (۶) نيز مي‌توان چنين برداشت نمود كه در لحظه بروز مقاومت نهايي قاب مركب بدون فيوز، قاب باز هم سهم اندكي در حدود ۱۰ درصد مي‌برد. اين بدان معني است كه همواره سهم قاب از ابتدا تا انتهاي بارگذاري تقريبا يكي است و قاب از بيش‌ترين توان خود در مشاركت نيروها استفاده نخواهد نمود. ولي با حضور فيوز، سهم قاب حدود ۳۵ درصد خواهد بود كه نشان مي‌دهد اگر ميانقاب داراي فيوز برشي لغزان باشد، قاب از مقاومت برشي بيشتري استفاده خواهد نمود. گفتني است كه مقاومت گسيختگي برشي ستون بر اساس مبحث دهم مقررات ملي ساختمان ايران [۵] برابر است با:

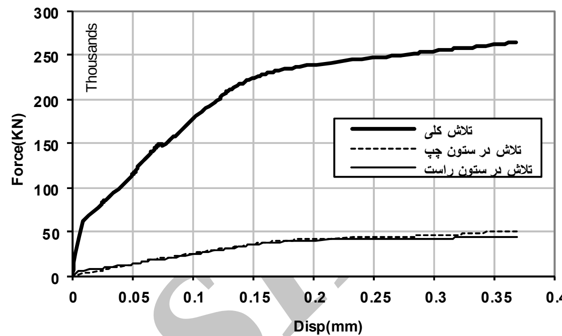
$$\phi R_n = 0.6 \times f_u \times A_{nv} \qquad (۳)$$

كه در آن براي مقاطع خالص برشي $\phi = ۰/۷۵$ و R_n گسيختگي برشي مقطع كلي بر اساس حالات حدي تسليم و f_u مقاومت كششي فولاد و A_{nv} سطح مقطع برشي است كه براي ستون‌هاي مورد مطالعه ما داريم:

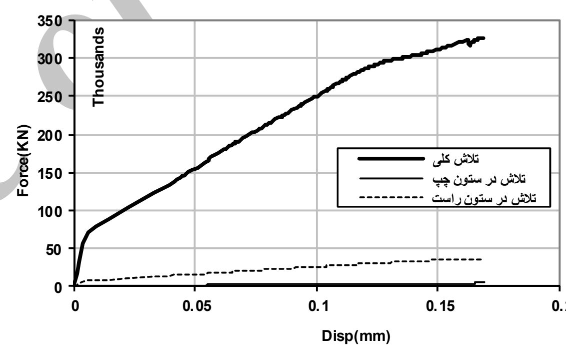
$$\phi R_n = 0.6 \times f_u \times A_{nv}$$
$$\Rightarrow 0.75 \times R_n = 0.6 \times 3700 \times (2 \times 16.4)$$
$$\Rightarrow R_n = 97.088^{KN}$$

بنابراين با توجه به اين رابطه و نتايج موجود در جدول (۶) ديده مي‌شود که با وجود فيوز، قاب از حداکثر مقاومت برشي خود استفاده مي‌نمايد که در حدود ۹۷ کيلونيوتن است.

در پايان نمودار زمان-نيروي عنوان شده براي بررسي بهتر اين وضعيت آورده شده است.



الف- نمونه داراي فيوز برشي لغزان



ب- نمونه فاقد فيوز

شکل (۱۶): نمايش تنش کل و سهم ستون‌هاي چپ و راست نمونه $EIF0.35$ در لحظه بروز مقاومت نهايي[۳]

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

با نگاهي اجمالي به نمودارها ديده مي‌شود که در نمونه‌هاي داراي فيوز، در لحظات اوليه و در لحظات بروز لغزش فيوز، قاب، سهم کمي از نيرو را تحمل مي‌نمايد و بيشترين سهم به ميانقاب مي‌رسد ولي در مقاومت‌هاي بالاتر (مقاومت نهايي قاب مرکب داراي فيوز) سهم قاب افزايش مي‌يابد؛ ضمن اينکه توزيع نيرو بين ستون‌ها در قاب داراي فيوز، مساوي‌تر از توزيع آن در حالت بدون فيوز است. بدون فيوز، ستون سمت چپ سهم بسيار ناچيزي از نيرو را تحمل مي‌نمايد)

۸- نتيجه گيري

با توجه به اثر بسيار زياد ميانقاب در افزايش مقاومت نهايي و سختي قاب ميانپر و نبود شکل‌پذيري مناسب در آنها، به تازگي انواع جديدي از ميانقاب مطرح شده‌اند که سختي و مقاومت آن قابل تنظيم بوده و شکل‌پذيري قابل قبولي دارند که به دليل اين خواص آنها را ميانقاب‌هاي مهندسي مي‌نامند.

در بين ميانقاب‌هاي مهندسي، ميانقاب داراي فيوز برشي لغزان، روشي بسيار نوين براي افزايش مقاومت نهايي و شکل-پذيري و نيز افزايش ميرايي قاب مرکب است که البته اين عوامل با تنظيم مقاومت لغزشي فيوز برشي لغزان بکار رفته در آن قابل کنترل است.

اين ميانقاب، از جنس بتن اليافي يا بتن معمولي مسلح شده و داراي آرماتور است که در ارتفاع مياني خود داراي يک فيوز برشي لغزان است. مقاومت لغزشي فيوز با تنظيم نيروي پيش-کشيدگي پيچ‌هاي آن قابل تنظيم است. با توجه به اينکه تاکنون فقط تعداد محدودي آزمايش بر روي اين ميانقاب انجام شده و امکان بررسي رفتار اين سازه بطور دقيق فراهم نبوده، در اين تحقيق سعي شد با استفاده از تحليل المان محدود غيرخطي و پس از اطمينان از درستي تحليل با مقايسه آنها با نتايج موجود آزمايشگاهي، به بررسي رفتار اين نوع ميانقاب پرداخته شود.

نتايج نشان مي‌دهد که وجود فيوز برشي در ميانقاب، سبب افزايش مقاومت نهايي قاب مي‌شود به‌طوري که در نمونه‌هاي مورد مطالعه، ظرفيت نهايي قاب مرکب بدون فيوز برشي ۳۳۰ کيلو نيوتن بوده، در حالي که مقاومت نهايي قاب ميانپر مشابه و داراي فيوز لغزان تا ۳۷۳ کيلونيوتن به‌دست آمد. هم‌چنين بر اساس نتايج تحليل المان محدود ارائه شده در اين بررسي، با افزايش نيروي پيش‌کشيدگي پيچ‌هاي فيوز (افزايش نيروي آستانه لغزش فيوز برشي لغزان)، مقاومت نهايي سازه مورد نظر افزايش مي‌يابد ولي پس از حد خاصي (در اينجا حدود ۱۵۶ کيلونيوتن)، مقاومت نهايي تقريبا ثابت باقي مي‌ماند. هرچند که وجود فيوز باعث افزايش ظرفيت تغييرشکل قاب ميانپر مي‌شود ولي افزايش مقاومت لغزشي فيوز از شکل‌پذيري ميانقاب مي‌کاهد.

به علاوه با استفاده از فيوز برشي لغزان مي‌توان از ظرفيت‌هاي قاب و ديوار بصورت بهينه استفاده نمود که حالت ايده‌آلي است. در اين صورت ديوار تا زماني که قاب تقريبا به حد نهايي ظرفيت برشي خود نرسيده دچار تخريب نمي‌شود. اين در حالي است که در قاب بدون فيوز، از بار اعمالي، سهم يکي از ستون‌ها نزديک به صفر است و ديوار پيش از رسيدن قاب به ظرفيت خود دچار تخريب مي‌شود.

۹- منابع

[۱] اصفهاني، محمدرضا، "مكانيک شكست بتن" ، انتشارات دانشگاه امير كبير (پلي تكنيک تهران)، چاپ اول، ۱۳۸۶

[۲] دستور العمل بهسازي لرزه اي ساختمانهاي موجود، نشريه شماره ۳۶۰، معاونت امور فني، دفتر امور فني، تدوين معيارها و كاهش خطرپذيري ناشي از زلزله، سازمان مديريت و برنامه ريزي كشور، ۱۳۸۵

[۳] رياضي كامياررضا ، "تحليل المان محدود و ارائه فرمولي براي محاسبه مقاومت نهايي ميانقاب مهندسي داراي فيوز لغزان"، پايان نامه كارشناسي ارشد، دانشگاه آزاد اسلامي واحد علوم تحقيقات تهران، ۱۳۹۰

[۴] محمدي ، مجيد ، "بررسي رفتار و راه هاي تنظيم ميانقاب مهندسي" ، با همكاري وحيد اكرمي ، پروژه ، پژوهشگاه بين المللي زلزله شناسي و مهندسي زلزله ، ۱۳۸۷.

[۵] مقررات ملي ساختمان ايران، "مبحث دهم: طرح و اجراي ساختمان هاي فولادي"، دفتر تدوين و ترويج مقررات ملي ساختمان، معاونت امور مسكن و ساختمان، وزارت مسكن و شهرسازي، 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 Siesmic Rehabilition 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- زير نويس ها

[۱] ABAQUS

[۲] Static,General

[۳] Displacement Control

[۴] Concrete Damage Plasticity

[۵] Merge

[۶] Solid

[۷] Sweep-Hex

[۸] Surface-to-surface contact (Standard)

[۹] Tangential Behavior

[۱۰] Normal Behavior