

## رفتار قابهای بتن مسلح با بتن پرمقاومت در برابر بارگذاری ضربه ای

مجید قیومی ، دانشجوی کارشناسی مهندسی عمران دانشکده فنی دانشگاه تهران<sup>۱</sup>  
سید محمود مصباح نمینی ، دانشجوی کارشناسی مهندسی عمران دانشکده فنی دانشگاه تهران<sup>۲</sup>  
رضا علاقه بندیان ، استادیار گروه مهندسی عمران دانشکده فنی دانشگاه تهران<sup>۳</sup>

### چکیده

قابهای بتن مسلح علاوه بر تحمل بارهای سرویس و زلزله ممکن است تحت بارهای ضربه ای ناشی از حوادث ناگهانی قرار گیرند. شناخت بهتر رفتار قابها بعنوان عناصری که وظیفه اصلی محافظت سازه در برابر اینگونه بارهای ناگهانی را دارند ، می تواند در کاهش آسیب پذیری و تخریب سازه موثر باشد . در راستای بررسی رفتار سازه ها در برابر چنین بارگذاریهایی تعداد ۸۰ نمونه قاب بتنی یک طبقه یک دهانه تحت بارگذاری ضربه ای بصورت سقوط آزاد یک وزنه از ارتفاع های معین قرار گرفت . وزن و ابعاد قاب ها محدود و مقدار آرماتورها یکسان بوده است . و فقط با تغییر شکل کلی قاب و جزئیات میلگرد گذاری و تغییر مقاومت بتن اقدام به بهینه سازی رفتار قاب در برابر بار ضربه ای گردید. نتایج نشان داد که استفاده از ویژگی قوسی در قاب باعث افزایش مقاومت ضربه ای می گردد. آرماتور فشاری تأثیری در افزایش مقاومت خمشی نداشته و با فرض ثابت بودن مقدار فولاد طولی تغییر محل فولاد کششی به فشاری باعث افت مقاومت می شود. با فرض بکارگیری مقدار فولاد عرضی ثابت و فقط تغییر زاویه فولادگذاری عرضی می توان شکست را کنترل کرده و از بروز شکستهای زودرس برشی جلوگیری نمود. افزایش بیش از حد مقاومت فشاری بتن باعث ترد شکنندگی موضعی بلوک فشاری و کاهش مقاومت ضربه ای می گردد.

*واژه های کلیدی: قاب بتن مسلح ، بتن پرمقاومت ، بارگذاری ضربه ای*

### ۱- مقدمه

باتوجه به اهمیت بررسی بارگذاری ضربه ای در سازه های بتن مسلح سعی شد تا این موضوع در یک شرایط مدل شده خاص بررسی گردد. بارگذاری ضربه ای می تواند به گونه های مختلف بر روی سازه های گوناگون اعمال شود که از میان آنها در این پروژه بررسی رفتار یک قاب دوعدی بتن مسلح با شرایط ویژه و خاص تحت بارگذاری ضربه ای سقوط آزاد در وسط دهانه هدف انجام پروژه قرار گرفت . البته عامل اصلی که باعث انجام پروژه گردید شرکت در مسابقات بین المللی ACI ، در قسمت مسابقه سازه محافظ بتنی بود که همه ساله توسط این موسسه برگزار می گردد. باتوجه به انجام این مسابقه تصمیم بر این گرفته شد تا در کنار کار تحقیقاتی در راستای شرکت در مسابقه این پروژه توانایی ارائه یک نتیجه گیری علمی را نیز داشته باشد . باتوجه به پیچیده بودن رفتار این سازه مدل ، قابلیت بررسی در چند جنبه مجزا وجود داشت . بر همین اساس حدود ۸۰ نمونه آزمایش -----

۱- تهران ، میدان انقلاب ، دانشگاه تهران ، دانشکده فنی [mghayoomi@civil.ut.ac.ir](mailto:mghayoomi@civil.ut.ac.ir)

۲- تهران ، میدان انقلاب ، دانشگاه تهران ، دانشکده فنی [mesbah@civil.ut.ac.ir](mailto:mesbah@civil.ut.ac.ir)

۳- تهران ، میدان انقلاب ، دانشگاه تهران ، دانشکده فنی [rezaalan@civil.ut.ac.ir](mailto:rezaalan@civil.ut.ac.ir)

ساخته شد تا با تغییر دادن چهار پارامتر اصلی طرح اختلاط بتن ، جنس و چیدمان فولاد مصرفی و شکل قالب بندی چگونگی شکست این قاب مورد تحقیق قرار گیرد.

## ۲- مشخصات نمونه ها

حداقل ابعاد درونی نمونه مستطیلی به طول ۳۲/۵ سانتیمتر و عرض ۲۱ سانتیمتر و حداکثر ابعاد بیرونی نمونه مستطیلی به طول ۴۵ سانتیمتر و عرض ۲۵ سانتیمتر بود ، همچنین پایه ستونها حداکثر عرض ۵ و طول ۲۰ سانتیمتر داشت . حداکثر وزن نمونه ها برابر ۳/۵ کیلوگرم در نظر گرفته شد. تعداد ۸ آرماتور طولی با قطر ۱/۶ میلیمتر در هر عرض مقطع بکار برده شد و از خاموتهایی با همان قطر در حداقل فاصله ۲/۵ سانتیمتر استفاده شد. مصالح مورد استفاده عبارت بودند از : سیمان تیپ ۱ ، سنگدانه (تولیدات شرکتهای خلیج ، متوساک و لیکا و آرملات ونیز سنگدانه کوارتز) ، پودر میکروسیلیس ، آب و فوق روانساز mva محصول شرکت آتروپات .

## ۳- معیار شکست

آنچه که در ابتدا پیش فرض مسابقه قرار گرفته بود شکستن تخم مرغی بود که در زیر سازه قرار گرفت ولی بجهت نزدیک کردن آزمایش به آنالیز تجربی و بیان علمی آن معیار شکست عبارت شد از خرابی کل قاب و یا خیز بیش از ۱۰ سانتیمتر وسط دهانه قاب و یا همچنین عدم پایداری سازه .

## ۴- نحوه انجام آزمایش

آزمایش طبق مقررات موسسه بین المللی ACI انجام می گرفت ، به این ترتیب که یک وزنه ۸/۵ کیلوگرمی بصورت سقوط آزاد از ارتفاع های مشخص در وسط دهانه تیر ها می گردید. ارتفاع سقوط از ۰/۵ متر شروع شده و به ترتیب در هر مرحله با اضافه شدن ۰/۵ متر دیگر تا ارتفاع ۳ متر ادامه می یافت تا در نهایت ۵ ضربه از ارتفاع ۳ متری وارد گردد.

تکیه گاههای پای ستون ها به حالت نیمه گیردار قرار گرفته می شد ، به این ترتیب که در خارج هردو پایه تکیه داده شده ولی تنها یکی از پایه ها از داخل فیکس می شد. سازه در برابر واژگونی حین ضربه زدن محافظت می گردید. ونیز بعد از وارد شدن هر ضربه پایداری سازه چک می شد. ضمناً برای هر نمونه قابی شکل در روز بتن ریزی سه مکعب بتنی ۵×۵×۵ سانتیمتر ساخته شده تا از روی آنها مقاومت فشاری بتن در روز انجام آزمایش اندازه گیری گردد.

## ۴- جداول طرح اختلاط

در آزمایش های انجام شده مجموعاً ۱۰ طرح اختلاط اصلی مورد استفاده قرار گرفت که در ادامه در جدول (۱) آمده است . همچنین در این طرحها از ۶ سبک دانه بندی مختلف بهره گرفته شد که در جدول شماره (۲) ارائه گردیده است.

ساخت نمونه ها به این صورت بود که ابتدا مخلوط سیمان و میکروسیلیس را مخلوط کرده و سپس آب را اضافه کرده تا خمیر ماتریس سیمان تشکیل شود . آنگاه سنگدانه را اضافه نموده و مقداری داخل میکسر هم زده تا بتن تازه تولید شود. عمل آوری نمونه های ساخته شده یک سیر پیش رونده داشته است . در خلال انجام آزمایش ها ابتدا عمل آوری بصورت نگهداری هفت روزه در آب سرد بعد از باز کردن قالب انجام می گرفت .

اما سپس با بررسی مطالعات انجام شده ونتیجه آزمایشها اعم از مقاومت فشاری و تست ضربه این سیستم به عمل آوری طبق روند زیر مبدل گردید وبصورت ابتدا یک روز نمونه داخل قالب ، یک روز داخل آب سرد، سه روز داخل آب گرم ۸۰ درجه ( در خلال عمل آوری دقت می شد که صعود و نزول دمای آب به آرامی صورت پذیرد) عمل آوری انجام گرفت .

جدول ۱- طرحهای اختلاط مصالح

شماره طرح اختلاط	عیار سیمان (کیلوگرم بر متر مکعب)	نسبت آب به سیمان	درصد میکروسیلیس در کل مواد سیمانی	درصد فوق روانساز	نوع دانه بندی (جدول ۲)	وزن مخصوص تئوری $kg/m^3$	متوسط مقاومت فشاری نمونه های مکعبی MPa
۱	۱۰۰۰	۰/۲۱	۱۵	۳	۱	۲۲۴۱	۹۵
۲	۱۰۰۰	۰/۲۱	۱۵	۴	۱	۲۳۵۵	۹۵
۳	۱۵۰۰	۰/۱۵	۱۵	۳/۵	۱	۲۳۸۵	۱۲۰
۴	۶۰۰	۰/۳۵	۱۵	۳	۱	۲۳۱۱	۷۰
۵	۱۰۰۰	۰/۱۹	۱۵	۳	۳	۲۲۵۷	۹۰

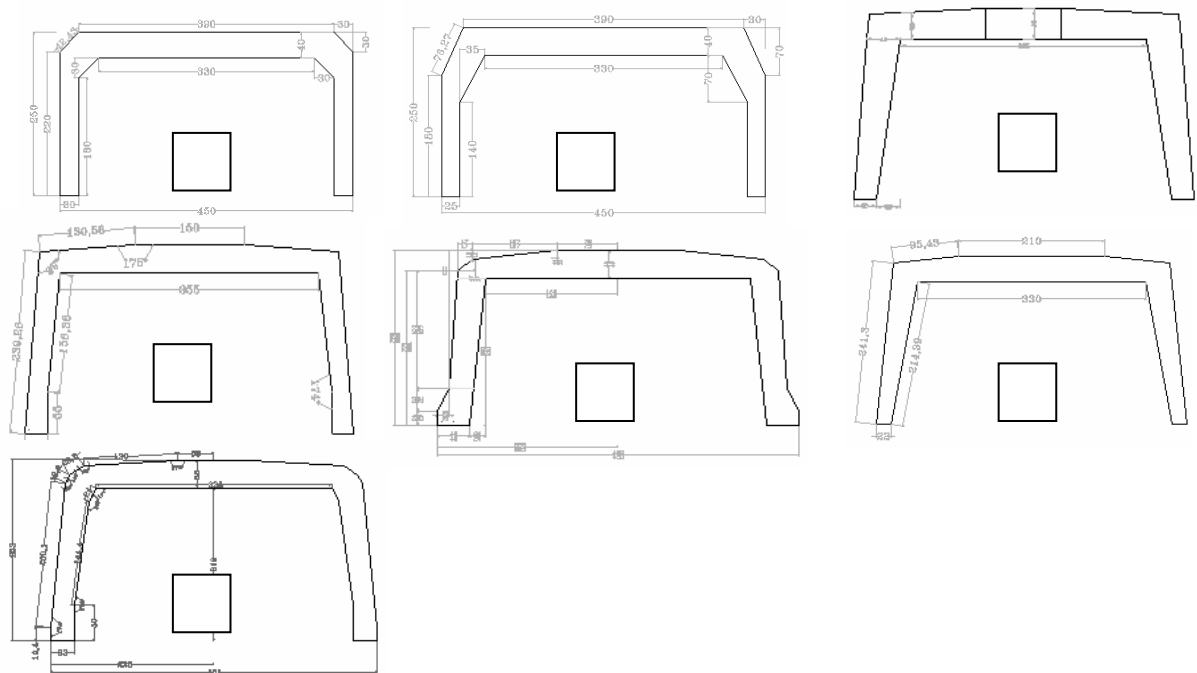
۶	۱۷۵۰	۰/۱۳۵	۲۰	۳	۴	۲۳۸۴	۱۴۰
۷	۱۰۰۰	۰/۲۱	۱۵	۴	۵	۱۹۵۷/۳	۹۰
۸	۱۰۰۰	۰/۱۸	۲۰	۳	۲	۲۴۰۴/۲	۱۱۰
۹	۱۰۰۰	۰/۲۱	۵۰	۳	۱	۲۲۱۴/۳	۱۰۰
۱۰	۵۷۵	۰/۲۵	۱۳	۳	۶	۲۵۰۸/۳	۷۵

**جدول ۲- دانه بندی سنگدانه های استفاده شده در طرحهای اختلاط مختلف**

درصد برداشته شده از روی الک										
شماره دانه بندی	الک ۵ میلیمتر	الک ۴ میلیمتر	الک ۲ میلیمتر	الک ۱ میلیمتر	الک ۰/۵ میلیمتر	الک ۰/۲۵ میلیمتر	الک ۰/۱۲۵ میلیمتر	زیرالکی		جنس سنگدانه
۱	-	۲/۲	۷/۸	۲۰	۳۰	۲۵	۱۵		خلیج - متوساک*	
۲	-	۲/۲	۷/۸	۲۰	۳۰	۲۵	۱۵		کوارتز	
۳	-	-	-	۳۰	لیکا ۳۰	۲۵	۱۵		خلیج - لیکا	
۴	-	-	-	-	-	۲۵	۵۷	۱۸	کوارتز	
۵	-	۲/۲	۷/۸	لیکا ۲۰	لیکا ۳۰	۲۵	۱۵		خلیج - لیکا	
۶	-	در این سنگدانه محصول تولیدی کارخانه خود دانه بندی شده و دارای طرح اختلاط بود							آرمات	
* دانه های خلیج و متوساک دارای خواص و رفتار تقریباً یکسانی هستند.										

## ۶- طرحهای قالب و آرماتوربندی

در طی این پروژه از تعداد ۷ قالب بهره برداری شد که نمای شماتیک آنها در شکل (۱) آمده است. قالبهای ساخته شده از دو جنس چوبی و فلزی بودند که هر کدام دارای امتیازها و معایبی نسبت به دیگری می باشد. در استفاده از قالب چوبی کار کردن راحت تر و سفت شدن سریعتر را داریم و در استفاده از قالب فلزی سطحی صافتر و تازه تر وجود دارد. ترکیب های آرماتور گذاری در مقطع تیر یا ستون بصورت ۴-۴ (۴ عدد فشاری - ۴ عدد کششی)، ۳-۵، ۲-۶، ۱-۷ و ۰-۸ قرار گرفتند. خاموت گذاری با حداقل فاصله مجاز ۲/۵ سانتیمتر انجام گرفت ولی زاویه قرارگیری خاموتها در طول پروژه تغییر داده شد.



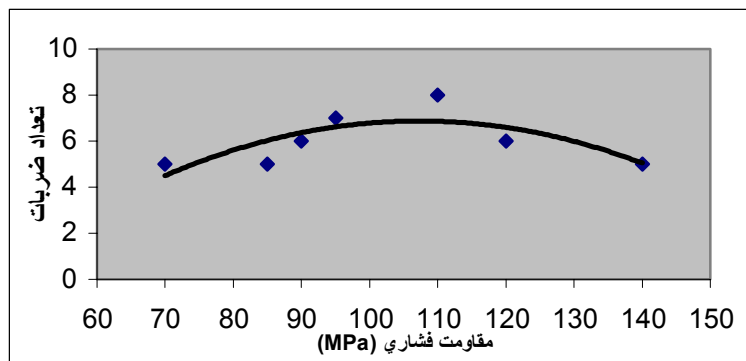
شکل ۱- طرح قالبهای مختلف مورد استفاده در پروژه

## ۷- بررسی اثر طرح اختلاط روی رفتار قاب

در نگاه اول به مسئله راه حلی که در ابتدا به ذهن می رسد این است که با افزایش مقاومت بتن ، مقاومت بهتری را در قابها شاهد خواهیم بود . اما در عمل بعضا با افزایش مقاومت فشاری بتن مقاومت کلی قاب دچار کاهش گردید. طبق آزمایشهای انجام گرفته بر روی طرحهای اختلاط های گوناگون که در بخش ۵ ذکر گردید ، هدف اول بالا بردن مقاومت بوده است . البته باید به این نکته هم توجه نمود که بعلت استفاده از دانه های ریز و ناگزیر بودن از تراکم مناسب به علت قرار گیری بتن در میان قفسه آرماتور امکان دستیابی به بتن با مقاومت پایین وجود نداشت .

کار با طرح اختلاط شماره ۱ شروع شد . برای بالا بردن مقاومت فشاری بتن از چند روش می توان استفاده کرد . در ابتدا سعی شد تا نسبت آب به سیمان را کاهش داده و عیار را افزایش دهیم . ولی باید این نکته مد نظر قرار گیرد که قالب مورد استفاده کوچک بود و بتن باید به اندازه کافی روان می شد تا در میان آرماتور جایگیری نماید و ویرنه کردن اثر مطلوب خود را داشته باشد. وگرنه سطح بتن سریع پیر شده و نمی توان آنرا صاف نمود. به همین منظور به همراه کاهش نسبت آب به سیمان عیارسیمان را بالا برده ویا از مواد فوق روان ساز برای حفظ روانی بهره گرفته شد. یعنی طرح اختلاط از ۱ به ۳ و سپس به ۵ تغییر داده شد. مسلما با این سیر، مقاومت فشاری بتن افزایش می یابد که نتایج آزمایشهای مقاومت مکعب بتنی نیز همین را نشان می دهد . اما نکته جالب این بود که رفتار قاب چیز دیگری را نشان داد ، که نتایج آن در نمودار شکل (۲) آمده است . لازم به ذکر است که تمام نتایج شکل (۲) از آزمایش روی قالب ۴ و طرح آرماتور بندی ۲-۶ بدست آمده اند.

طبق آنچه که در نمودار دیده می شود در ابتدا یک صعود در ضربات با افزایش مقاومت فشاری که تحت اثر افزایش عیار و کاهش آب به سیمان است ، وجود دارد تا به یک نقطه ماکزیمم می رسد و سپس نمودار نزولی می شود. علت این موضوع می تواند ترد شکنندگی بالای بتن پرمقاومت باشد که در برخورد بار ضربه ای خرد شده و با ازبین رفتن سریع بتن فشاری رفتار خمشی بتن آرمه مختل می گردد.



شکل ۲- نمودار تغییرات مقاومت ضربه ای در برابر مقاومت فشاری

در یک حرکت دیگر سعی شد تا افزایش مقاومت فشاری از طریق افزایش مقاومت داخلی سنگدانه ها تامین شود به همین دلیل بجای سنگدانه های خلیج و متوساک که در ابتدا مورد استفاده قرار گرفت از سنگدانه کوارتز استفاده شد. فاصله نتایج این دو گزینه بسیار گویا و قابل بررسی بود بطوریکه موجب شد تا از این نوع سنگدانه بهره برداری گردد. (طرح اختلاط ۲). اما مشکل این دانه ها وزن مخصوص بالای آنها بود. برای کاهش وزن دو راه وجود داشت یکی استفاده از دانه های سبکی همچون لیکا و دیگری کار روی طرح قالب. مورد اول رد شد چون با آزمایش دو طرح اختلاط سبک و نیمه سبک (۵ و ۷) دیده شد که مقاومت بتن اعم از فشاری و خمشی که در ارتباط مستقیم با هم هستند به شدت کاهش یافته و در ضمن مشکل خرد شدن هم وجود دارد و بناچار تنها گزینه بررسی روی طرح قالب برای کاهش وزن انتخاب گردید.

میکروسلیس ماده ای است که باعث سرعت یافتن عملیات افزایش مقاومت بتن در دماهای بالا می شود، به همین دلیل در جهت سرعت زمان آزمایش از این ماده استفاده گردید. وزن مخصوص پایین این ماده ذهنیت کاهش وزن نمونه را با افزایش درصد آن نسبت به کل مواد سیمانی بوجود آورد که در طرح اختلاط ۹ دیده می شود. اما نتیجه مطلوب نبود و همان اثر ترد شکنندگی سیمان را در مقیاسی وسیعتر نشان داد و بتن پوک حاصله مورد استفاده قرار نگرفت.

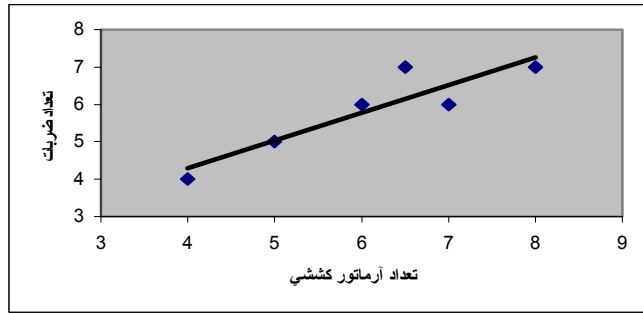
مسئله ای که ذهن را به خود مشغول کرده بود، پدیده *spalling* بتن یعنی خرد شدن و ریزش تکه های بتن ناشی از ضربه بود. ایده ای که به ذهن رسید این بود که به سراغ سنگدانه های با مقاومت سایشی بالا برویم که از سنگدانه آرمات در طرح اختلاط استفاده گردید. این دانه ها گرچه از خرد شدن کاستند ولی مقاومت فشاری پایین آنها گسیختگی ناگهانی را در سازه بوجود می آورد و باعث شد که استفاده از آنها بدست فراموشی سپرده شود.

## ۸- بررسی اثرات چیدمان آرماتور و خاموت

همانطور که گفته شد تعداد آرماتورهای طولی مجاز در هر مقطع ۸ عدد بود. به همین دلیل با انجام چند آزمایش و بررسی حالت های ترکیبی فشاری و کششی و نیز محل های خم آرماتور طولی سعی شد تا حالت بهینه پیدا شود. این موضوع بطور مفصل در مقاله دیگری که در همین کنفرانس ارائه شده بیان گردیده است (مصباح ۱۳۸۲) و در اینجا تنها به ذکر نتایج اکتفا می شود.

پس از بررسی و مشاهده نتایج دیده شد که هر چه تعداد آرماتور کششی بیشتر باشد، مقاومت بهتری خواهیم داشت که در نتیجه تمام ۸ آرماتور به قسمت کششی مقطع منتقل شد. گرچه شاید وجود مقاومت فشاری مزایایی چون نگهداری بهتر قفسه، خاموت بندی راحت تر، و از همه مهمتر افزایش شکل پذیری و خرد نشدن بتن را به همراه داشته باشد. اما وجود مسئله کلیدی پروژه یعنی مقاومت در برابر تعداد ضربات بیشتر عاملی بود تا از وجود آن صرف نظر شود. اما این مسئله روشن است که

در صورت نبودن محدودیت در تعداد آرماتور وجود حداقلی از نوع فشاری مفید خواهد بود. اثر تعداد آرماتور کششی در مقاومت ضربه ای قاب مورد آزمایش در نمودار شکل (۳) که از آزمایش روی قالب ۴ بدست آمده ارائه شده است.



شکل ۳- نمودار تاثیر تعداد آرماتور کششی در مقاومت ضربه ای

اما مسئله مهمی که تغییرات آن تغییرات اساسی در مود شکست قاب ایجاد کرد شیوه چیدن خاموت ها بود. لذا برای جلوگیری از بروز شکست برشی در قاب لزوم وجود خاموت یا آرماتور عرضی احساس گردید. در ابتدا خاموت ها بصورت عرضی قرار داده می شدند اما باز هم از منطقه بدون خاموت شاهد شکست برشی بودیم. لذا طرح وجود خاموت در هر مقطع یعنی استفاده از خاموت مایل ارائه شد و خاموتها با زاویه ۴۵ درجه بسته شدند. نتیجه این کار چنان خوب بود که استفاده از این نوع خاموت گذاری در ادامه کار به امری ضروری تبدیل شد.

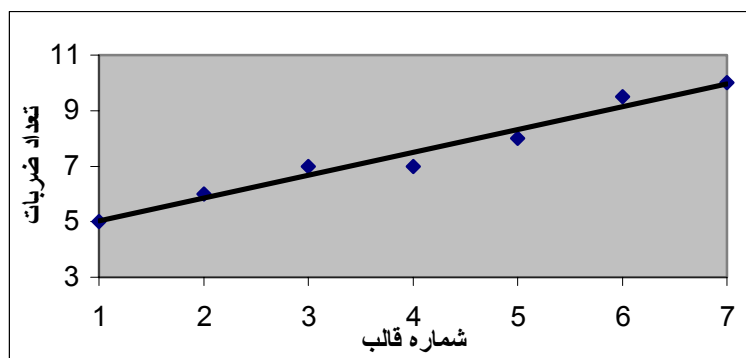
## ۹- بررسی طرحهای قالب

همانطور که در بخش ۶ گفته شد ۷ طرح مورد بررسی قرار گرفت که در هر مرحله پیشرفتی در کار و رفع نواقصی امکان پذیر گردید. قالب ۱ ساده ترین نوع و حالت ابتدایی بود که البته بعد از مطالعات تئوریک ارائه گردید. سپس در قالب ۲ با ایجاد ماهیچه بیشتر و شیب کمتر سعی شد تا محل اتصال تیر وستون تقویت شود و نیز ماهیچه با ملایمت به ستون برسد. اما مشکل اینجا بود که همواره شکست در محل رسیدن ماهیچه به ستون رخ می داد و چون این ترک زود بوجود می آمد سرعت هم باز شده و باعث خرابی می گردید. پس وجود ماهیچه مناسب بود ولی باید بگونه ای پیوسته به ستون می رسید و دارای شکستگی نبود.

قالب ۳ مدلی بود که در آن سعی شد تا حتی المقدور به قوس نزدیک شویم. نتایج این طرح عموماً خوب بود ولی اشکال عمده ای که وجود داشت این بود که به علت رعایت اشل ها مجبور می شدیم تا پای ستون را نازک کنیم. از طرفی استفاده از قاب قوسی شکل باعث انتقال مستقیم نیرو بصورت فشاری از محل اعمال بار به کف پایه ستون گردیده و لذا افزایش نیروی فشاری باعث خرد شدن و تخریب پای ستون شد. بنابراین در قالب ۴ سعی شد تا حالتی بهینه از شکل قوسی و عرض مناسب ستون و پای ستون را با هم داشته باشیم. که موجب ایجاد قالبی مناسب در حد خود گردید.

در قالب ۵ سعی شد تا ارتفاع تیر نسبت به قالب ۴ افزایش یافته و این افزایش وزن با ایجاد پخی در گوشه های بتن کششی جبران گردید. در اینجا نیز چون افزایش ارتفاع تیر باعث افزایش مدول مقطع و ظرفیت مقطع می گردید، شاهد افزایش ضربات بودیم.

تا این مرحله نتیجه معقول بود اما دیگر تا چندین آزمایش شاهد پیشرفتی نبودیم تا اینکه طرح افزایش ضخامت تیر در بعد سوم در وسط دهانه ارائه گردید که در قالب ۶ اجرا گردید و باعث شد تا به ضربات انتهایی نزدیک شویم. اما وزن ما از محدوده مجاز خارج شد و بناچار از ضخامت ستون کاسته شد، چون نمی توانستیم از ضخامت تیر به علت باربری اصلی بکاهیم. همانطور که دیده شد هر طرح دارای مزایا و معایبی است. اما در نهایت ایده قالب ۷ که ترکیبی از قالبهای ۵ و ۶ بود ارائه گردید که باعث شد تا پروژه را به ۱۰ ضربه هدف برساند. البته کمی مشکل اضافه وزن وجود داشت که با ایجاد پخی در گوشه های بتن کششی جبران گردید. برای دید بهتر مسئله در نمودار شکل (۴) حداکثر تعداد ضربات مقاومت بازای هر طرح قالب با آرماتور ۲-۶ آمده است.



شکل ۴- نمایش تغییرات مقاومت ضربه ای در قالبهای مختلف

### ۱۰- بررسی مود شکست قابها

در قابهای مدل شده در این آزمایش تنها دو مود شکست وجود داشت یکی مود شکست برشی و دیگری خمشی. البته گاهی رفتار پیچشی هم بوجود می آمد که به علت نقص در بارگذاری بوده است. هر کدام از ارکان تیر و ستون می توانند بصورت خمشی یا برشی گسیخته شده و بشکنند. اگر به رفتار تیر نگاه کنیم می بینیم که شکست خمشی در تیر بیشتر در وسط دهانه اتفاق افتاده است. رفتار خمشی نسبت به رفتار برشی دارای مقاومت و شکل پذیری بالاتری بود. البته عیب اصلی این نوع رفتار خیز بیش از اندازه تیر در ضربات بالاتر بود. اما رفتار برشی بیشتر در دو منطقه یکی در کنار استوانه ضربه و دیگری در نزدیکیهای اتصال تیر و ستون روی می دهد. اولین مورد اصلا خوشایند نیست و باید از آن جلوگیری نمود اما مورد دوم اگر بوجود آید می تواند انرژی زیادی را مستهلک نماید. چون این حقیقت وجود دارد که اولین منطقه تخریب بار بیشتری را گرفته و بیشتر از بین می رود. با مشاهدات انجام شده این نتیجه قابل استنباط است که اگر همان رفتار خمشی را دنبال کنیم و راهکاری را بتوان پیدا کرد تا خیز کمتری را شاهد باشیم جوابها رضایتبخش تر خواهد بود. از جمله این روشها استفاده از آرماتورهای با مقاومت بالاتر و استفاده از ۸ آرماتور همگی بصورت کششی می باشد. برای نیل به این منظور و جلوگیری از بروز شکست برشی از خاموتهای مایل استفاده گردید.

در رابطه با ستون هم این دو رفتار قابل بررسی است و در اینجا نیز رفتار خمشی مناسب تر است چون رفتار برشی نتایجی چون پیچیدن آرماتورها خارج از صفحه شدن بارگذاری و خیز زیاد را خواهیم داشت و لذا خاموت مایل در ستون هم بکار گرفته شد. در تصاویر گنجانده شده در شکل (۵) این رفتارها بهتر قابل ملاحظه اند.

قاب نمایش داده شده در تصویر اول همانطور که گفته شد یک ترک خمشی در وسط دهانه و نیز دو ترک برشی در یک سوم دهانه از دو طرف دیده می شود. عموماً ترکهای براشی و خمشی در همین دو منطقه بحرانی دیده می شود. تصویر دوم نشان می دهد که در یک مقطع از ۶ آرماتور کششی استفاده شده که در نتیجه تحت بارگذاری و در ضربه هفتم هر شش آرماتور پاره شده اند. در تصویر سوم طرح قالب شماره ۷ دیده می شود که قاب بصورت خمشی شکسته و تنها چند ترک برشی نه چندان مهم در ضربات انتهایی مشاهده می شود.

در دو تصویر چهارم و پنجم که مربوط به یک آزمایش هستند دیده می شود که در ابتدا یک ترک خمشی در وسط دهانه بوجود آمده ولی در ادامه ناگهان یک ترک برشی تیر بوجود آمده و بسرعت گسترش یافته تا اینکه باعث شکست زودرس برشی و تخریب کلی سازه شده است که علت این امر استفاده از خاموتهای قائم در قاب می باشد. همانطور که گفته شد و از تصاویر هم آشکار است رسیدن به رفتار کاملاً خمشی گزینه مناسب و بهتری می باشد.



شکل ۵- نمایش مود های مختلف شکست قاب



## ۱۱- نتیجه گیری

نتایج نشان می دهد که تحت بارگذاری ضربه ای در این پروژه طرحی که در آن قاب تا انتهای ۱۰ ضربه سالم بماند وجود ندارد و همواره شاهد شکستهایی بوده ایم. به همین دلیل در جهت مقاومت در برابر بارگذاری می بایست شکستها و رفتار قاب در مسیری که باعث کمترین آسیب جدی شود ، هدایت گردند. همچنین اگرچه بحث شکل پذیری و استهلاک انرژی بحثی قابل توجه است اما در اینجا آنچه مهمتر و کارآمد تر جلوه می کند نیاز به مقاومت تا حد ممکن و خیز حداقل می باشد.

با مشاهده نتایج آزمایشها می توان دریافت که افزایش بیش از حد مقاومت فشاری بتن - با افزایش عیارسیمان و کاهش نسبت آب به سیمان - مورد استفاده در قاب همواره در جهت بالا بردن باربری ضربه ای قاب نبوده و یک مقاومت بهینه و حداکثر بهترین مقاومت ضربه ای را نشان داده است . اگرچه بالا بردن مقاومت داخلی سنگدانه ها همواره باعث افزایش باربری ضربه ای گردید.

با توجه به محدودیت آرماتور طولی در هر مقطع نتایج نشان داد که وجود هر ۸ آرماتور طولی ممکن در قسمت کششی مقطع برای دستیابی به بیشترین مقاومت ضربه ای لازم و ضروری است . اگرچه در صورت نبودن محدودیت در استفاده از آرماتور طولی وجود مقدار حداقل آرماتور فشاری جهت شکل پذیری و قفسه بندی راحتتر ، مفید می باشد.

با بررسی دو مود شکست برشی و خمشی دیده شد که نزدیک تر شدن به شکست خمشی در تیر وستون باعث افزایش مقاومت ضربه ای گردیده است . برای رسیدن به این هدف از آرماتور های عرضی (خاموت ) به صورت مایل با زاویه قرار گیری ۴۵ درجه در حداقل فاصله مجاز یعنی ۲/۵ سانتیمتر بهره گرفته شد.

همچنین هر چه شکل قالب به شکل قوس نزدیک تر گردید مقاومت قاب بالاتر می رفت . اما محدودیت های ابعادی و وزن رسیدن به قوس کامل را غیر ممکن می ساخت .

با عنایت به همه مطالب عنوان شده یک طرح نهایی که دارای برتری نسبی بر سایر طرحها می باشد قابل ارائه است . در این طرح نهایی استفاده از طرح قالب شماره ۷ ، طرح آرماتور بندی ۸-۰ و طرح اختلاط بتن ۲ پیشنهاد می شود.

## ۱۲- فهرست مراجع

- مصباح نمینی ، م؛ قیومی ، م؛ علاقه بندیان ، ر ، " اثر مقاومت و شکل پذیری فولاد در مقاومت ضربه ای قابهای با بتن پرمقاومت ۱۲۹۶"، دهمین کنفرانس دانشجویان مهندسی عمران ، دانشگاه صنعتی امیر کبیر (۱۳۸۲)

- American Concrete Institute, Annual Student Concrete Egg Protection Device Competition Rules, Spring Convention , Vancouver, Canada , 2003