

دانشگاه شهید باهنر کرمان

دانشکده فنی

بخش مهندسی عمران

پروژه درس طراحی ساختمان ها در برابر زلزله

طراحی لرزه ایی دودکش های بتن مسلح و تعیین ضریب رفتار دودکش مشخص

استاد راهنما : جناب آقای دکتر شجاعی

دانشجو : امین رضا درتاج

87542005

تابستان 88

- 1- مقدمه.....2
- 2- اجزاء دودکش و طراحی آنها.....2
- 3- بررسی آزمایشگاهی رفتار دودکش های بتن مسلح.....11
- 4- پاسخ غیرالاستیک دودکش های بتن مسلح.....24
- 5- محاسبه ضریب رفتار برای یک دودکش با استفاده از تحلیل استاتیکی غیر خطی.....26
- 6- محاسبه ضریب رفتار.....37
- 7- نتیجه گیری.....42
- 8- مراجع.....43

1- مقدمه

با عنایت به آهنگ پرشتاب صنعتی شدن کشور و توجه به توسعه روزافزون نیروگاه ها و کارخانه های صنعتی، لزوم ساخت دودکشها به منظور انتقال مواد مضر و آلاینده به ارتفاعات بالای سطح زمین امری ضروری می باشد. از آنجا که دودکشها در زمره سازه های لاغر و بلند قرار می گیرند مطالعه رفتار دینامیکی و روش تحلیل آنها در برابر تحریکات زلزله دقت بیشتری را می طلبد. در این پژوهش سعی شده است رفتار دودکش های بتن مسلح در حالت غیرخطی مورد تدقیق بیشتر قرار گیرد و در باره این که آیا اساساً این نوع دودکش ها می توانند وارد مرحله غیرخطی شوند یا خیر، بحث شود. در پایان جهت بررسی رفتار غیر خطی، یک دودکش بتن مسلح با ابعاد مشخص مدلسازی و تحلیل استاتیکی غیرخطی می شود.

2- اجزاء دودکش و طراحی آنها

دودکشها سازه هایی طرهایی و بلند هستند که برای انتقال گازهای مضر از سطح زمین به یک سطح مرتفع جهت دورکردن آنها از محیط زندگی طراحی و استفاده می شوند. ارتفاع دودکشها بر اساس شرایط محیطی منطقه و سرعت گاز خروجی تولید شده توسط کارخانه های صنعتی انتخاب می شوند.

اولین مرتبه در ساندلند انگلستان از بتن برای ساختن یک دودکش بتنی ساده و غیر مسلح به ارتفاع 19 متر استفاده شد. پس از آن به علت مقبولیت بتن و خود ایستا بودن دودکشهای بتن مسلح استفاده از این نوع دودکشها گسترش چشمگیری یافت. تاکنون دودکشهای مرتفع زیادی در دنیا ساخته شده است که بلندترین آنها 380 متر ارتفاع دارد. اصول طرح و ساخت دودکشها کاملاً شبیه برج های مخابراتی و تفریحی می باشند.

2-1 اجزاء دودکش ها

1-1-1 پوشش داخلی دودکش

پوشش داخلی دودکش که وظیفه اصلی آن حفاظت از بتن در مقابل اجزای خورنده گازهای ورودی به دودکش و فراهم کردن سرعت خروج مناسب برای گازهاست از اجزای بسیار مهم

دودکش‌های بتن مسلح می‌باشد. پوشش‌های داخلی معمولاً در یک یا چند لایه و از مصالح مختلف مانند فولاد - آجر نسوز - فایبر گلاس - فیوزد سیلکا ساخته می‌شوند. در خیلی از دودکش‌هایی که بوسیله آجر پوشش داخلی شده‌اند حملات اسیدی در بتن پوسته دیده شده است که علت آن عبور گازهای داغ از لابلای آجرها و تمرکز آنها در روی بتن سرد می‌باشد. این حملات اسیدی به علت وجود سولفوریک‌های موجود در گازهای دودکش می‌باشد. یک راه حل خوب برای جلوگیری از حملات اسیدی استفاده از پوشش داخلی مستقل (خودایستا) فولادی می‌باشد. در اغلب دودکش‌های ساخته شده در دهه‌های اخیر از پوشش داخلی فولادی استفاده شده که نتایج حاصل در مقابل حملات اسیدی نیز بسیار عالی بوده است. پوشش داخلی یکی از حساس‌ترین اجزاء دودکش می‌باشد. گزارشاتی که از زلزله‌های اخیر بدست آمده حاکی از تخریب سریع پوشش داخلی بویژه از نوع آجر نسوز بوده است.

2-1-2 پوسته بتن مسلح دودکش

پوسته بتنی دودکش نقش اسکلت و پایداری در مقابل بارهای وارده بر دودکش را بر عهده دارد. بارهای وارده بر پوسته دودکش عبارتند از:

(1) بار مرده: این بارها ناشی از وزن پوسته دودکش و پوشش داخلی و دیگر تجهیزات نگهداری و بازرسی است.

(2) بار باد: بارهای جانبی که باعث ایجاد تنش‌های طولی و حلقوی در پوسته دودکش می‌شوند.

(3) بار زلزله: بارهایی افقی که باعث ایجاد تنش‌های طولی در پوسته دودکش می‌شوند.

بار بحرانی طراحی دودکش معمولاً ترکیبی از بار مرده حداقل به علاوه بار حداکثر ناشی از لنگر خمشی طولی ناشی از باد یا زلزله می‌باشد.

طراحی پوسته بتنی دودکش کاملاً متفاوت با طراحی ساختمان‌های بتنی معمولی می‌باشد زیرا در سیستم‌های سازه‌ای ساختمان‌ها توابع قیدی و الزامات زیبایی زیادی اثرگذارند و بهینه‌سازی هزینه در آنها معمولاً به سادگی و با تکرار انتخاب‌ها به جای کمینه کردن مصالح مورد نیاز بدست می‌آید در مقابل پوسته دودکش‌ها تعداد اندکی تابع قیدی دارند و به وسیله بهینه کردن پروفیل

آنها برای کمینه کردن هزینه های ناشی از بتن مسلح و پی صورت می پذیرد. معمولاً طراح برای انتخاب قطر و ضخامت و درصد فولاد طولی آزادی عمل لازم را دارد و تنها محدودیت در انتخاب ارتفاع و قطر بالای دودکش می باشد. قطر بالای دودکش معمولاً با توجه به سرعت گازهای خروجی و نوع پوشش و ارتفاع به صورت تابعی از شرایط محیطی، که گازها باید در آن آزاد شوند انتخاب می شوند.

1-2 روشهای طراحی دودکش ها بر اساس آیین نامه های دنیا

در این بخش توصیه های آیین نامه های معتبر در زمینه طراحی سازه ایی دودکش، با توجه ویژه به بار زلزله بحث می شود و در پایان روش حالت حدی نهایی برای تعیین ظرفیت باربری مقطع توضیح داده خواهد شد. شرایط بهره برداری مثل گرادیان حرارتی در ضخامت پوسته دودکش که منجر به ایجاد تنش ها و کرنش های حرارتی می شوند در روش طراحی حالت حدی نهایی از اهمیت کمتری برخوردار هستند به همین لحاظ در این پژوهش نگاه خاصی به آنها نشده است و تمرکز بیشتر بر روی رفتار لرزه ایی دودکش ها می باشد.

بارگذاری زلزله: بیشتر آیین نامه های معتبر دنیا استفاده از آنالیز شبه دینامیکی الاستیک که از یک طیف پاسخ استفاده می کند را، برای محاسبه شدت و توزیع نیروی زلزله پیشنهاد می کنند. طیف پاسخ طرح (DRS) در آیین نامه های مختلف به صورت زیر پیشنهاد شده است.

$$DRS = (a.C.S). (IF). \left(\frac{LF}{R}\right)$$

که در رابطه فوق :

(a.C.S) طیف پاسخ الاستیک با توجه به نوع منطقه طرح دودکش

IF ضریب اهمیت دودکش

LF ضریب بار نهایی

R ضریب پاسخ یا ضریب رفتار دودکش برای لحاظ کردن رفتار غیر خطی دودکش

μ ضریب شکل پذیری موثر که طیف پاسخ الاستیک را به طیف پاسخ غیر الاستیک به صورت زیر اصلاح می کند.

$$\mu = \frac{R_w}{(IF, LF)}$$

ضریب شکل پذیری تعریف شده برای دودکش توسط آیین نامه ها کمتر از مقادیری هستند که برای سازه های ساختمانی تعریف شده اند. علت کم بودن ضریب شکل پذیری اعتقاد این آیین نامه ها به رفتار شکننده و این که در این نوع سازه ها نامعینی کافی وجود ندارد است. در جدول زیر مقادیر ارائه شده برای ضریب رفتار و ضریب شکل پذیری توسط برخی آیین نامه های مطرح آورده شده است.

Code	IF	LF	R	μ
CICIND	1.0	1.4	1.0	0.7
ACI307-95/98	1.0	1.43/1.87	1.33	0.7/0.9
EC8	1.4	1.0	2-3	1.4-2.1
UBC-97	1.0	1.0	2.9	2.9
iran-2800	1.0	1.4	5	3.6

آیین نامه CICIND1998

مقدار (DRS) در آیین نامه CICIND بسیار محافظه کارانه است و فرض این آیین نامه این است که رفتار دودکش های بتنی بلند در بارهای دینامیکی شکننده است و باید تحت زلزله نهایی رفتاری الاستیک از خود نشان دهند. در نتیجه در این آیین نامه دودکش برای مقاومت طرح می شود و یک سازه (Force Controlled) می باشد، ضریب شکل پذیری برای آن بی معنا و ضریب رفتار آن برابر واحد است.

آیین نامه ACI 307-95/98

فلسفه طرح این آیین نامه بسیار شبیه به آیین نامه CICIND است اگر چه مقدار ضریب رفتار $R=1.33$ پیشنهاد شده است اما ضریب بار نهایی γ برابر 1.43 است که باعث خنثی شدن اثر ضریب رفتار می شود.

$$\left(\frac{LF}{R}\right) = \frac{1.43}{1.33} = 1.07 > 1$$

از رابطه بالا نتیجه می شود که طرح این آیین نامه بیش مقاومت (overdesign) یا دست بالا است و دودکش در حالت الاستیک باقی می ماند. اما در این آیین نامه توجه خاصی به طراحی پی دودکش شده است.

$$\left(\frac{LF}{R}\right) = \frac{1.87}{1.33} = 1.406 > 1$$

آیین نامه EC8-3

آیین نامه اروپا برخلاف آیین نامه هایی که تا کنون بحث شدند اجازه می دهد تا نیروی ناشی از زلزله به واسطه رفتار غیرخطی به اندازه $R=3$ کاهش یابد و اصول طرح ظرفیت را فراهم آورد. اصول طرح ظرفیت تشکیل یک مفصل پلاستیک را با تعیین کردن ضریب اضافه مقاومتی برابر

$$1.1 \times (0.8 + 0.2R) = 1.54 \quad \text{for } R = 3$$

برای دودکش دیکته می کند و ضریب رفتار برای نواحی دورتر از ناحیه تشکیل مفصل پلاستیک را برابر 2 فرض می کند.

آیین نامه UBC-97

این آیین نامه برای دودکش هایی که در نیروگاه های تولید برق به کار گرفته شده اند و نیاز استفاده تمام وقت از آنها می باشد ضریب اهمیت را برابر واحد پیشنهاد می کند در حالی که دیگر آیین نامه -

ها برای همه دودکش‌ها ضریب اهمیت را واحد پیشنهاد می‌کنند. در این آیین نامه مقدار ضریب رفتار جهت کاهش مقدار برش پایه $R=2.9$ پیشنهاد شده است. مقدار برش پایه در تحلیل استاتیکی در این آیین نامه برابر است با

$$V = 0.56 . a . IF \times W$$

در رابطه فوق a برابر ضریب شتاب مبنای طرح و W وزن کل سازه می باشد.

آیین نامه Iran Code -2800

در این آیین نامه برای دودکش هایی که زمان تناوب آنها بیش از 0.5 ثانیه باشد بکارگیری تحلیل دینامیکی الزامی است و توزیع نیروی ناشی از زلزله نیز به مانند سازه های ساختمانی توصیه شده است. نکته قابل تامل و توجه در این آیین نامه مقدار ضریب شکل پذیری بالای 3.6 است که با توجه به اینکه در ایران آیین نامه طراحی کامل و شفاف برای دودکش ها و برج های مخابراتی وجود ندارد و هیچ پیشنهادی برای استفاده از آیین نامه های بین المللی خاصی نیز صورت نگرفته است چگونه می توان از چنین سازه خاصی انتظار چنین شکل پذیری زیادی را داشت.

نتیجه گیری :

آیین نامه های CICIND و ACI307 پیشنهاد کرده اند که دودکش در زمان زلزله طرح باید در حالت خطی و الاستیک باقی بماند اما آیین نامه های EC-8 و UBC97 و Iran Code -2800 اجازه خارج شدن سازه از حالت الاستیک و بروز شکل پذیری و کاهش نیروهای وارده به سازه و در پی آن کاهش هزینه های ساخت را می دهند. این دو تفاوت از آنچا ناشی می شوند که در یک دیدگاه فرض می شود که رفتار دودکش ترد و شکننده است و در دیدگاه دیگر رفتار شکل پذیر هرچند کمتر از سازه های ساختمانی برای دودکش فرض شده است.

1-2-1 طراحی بر اساس حالت حدی نهایی

رفتار سازه ایی پوسته دودکش در حالت حدی نهایی زمانی که مقاومت مقطع از طلب بارهای جانبی از سازه بیشتر باشد مطلوب به نظر می‌رسد.

1-1-2-1 طلب (Demand) نهایی

ترکیب بار بحرانی برای طرح سازه ایی پوسته دودکش ترکیبی از بار مرده G و بار باد W و یا بار زلزله E به صورت زیر است.

$$X_U = \gamma_g G + \gamma_w W_{so} + \gamma_e E_{475}$$

Action	CICIND			ACI		
Along Wind	1.0	1.6-1.2	-	0.9	1.7	-
Across Wind	1.0	1.2	-	0.9	1.4	-
Earthquake	1.0	-	1.4	0.9	-	1.87/1.43

ضرایب بار ارائه شده توسط آیین‌نامه‌ها برای بارهای زلزله و باد به ترتیب برای احتمال وقوع 475 سال و 50 سال در نظر گرفته شده‌اند.

آیین نامه CICIND ضریب بار برای بارهای مرده را برابر واحد توصیه می‌کند اما در مقابل آیین-نامه ACI ضریب بار مرده را 0.9 در نظر گرفته است. علت زیاد بودن ضرایب بار باد احتمال وقوع گردباد و ترنادو می‌باشد.

1-2-2-1 مقاومت نهایی

برای تعیین مقاومت نهایی خمشی مقاطعی که در دودکش‌ها استفاده می‌شود از منحنی‌های تداخلی که توسط آیین‌نامه‌ها پیشنهاد می‌توان استفاده کرد. ذکر این نکته ضروری است که برای تعیین مقاومت مقطع از بلوک معادل تنش ویتنی استفاده می‌شود. نمونه ایی از این نمودارهای تداخلی را می‌توان در [] یافت.

3-2 عملکرد دودکش های بتن مسلح در زلزله های گذشته

طی گزارشات موجود در طی زلزله های گذشته تنها دو دودکش واژگونی کامل داشته اند. یکی از آنها در چین و دیگری در ترکیه باقی گزارشات بیانگر تخریب جزئی و ترک خوردگی های سطحی و نیمه سطحی در پوسته دودکش هستند. در ادامه به بررسی این گزارشات می پردازیم.

1-3-1 (سال 1976 زلزله تانگشان - چین

بر اساس گزارشات موجود دودکش های کوتاهتر از 100 متر آسیب جدی ندیدند و تنها ترک خوردگی های غیرعمیق در آنها رخ داده است در حالی که در یک دودکشی با ارتفاع 180 متر ترک خوردگی های بسیار عمیقی در ارتفاع 132 متری آن رخ داد که باعث واژگونی آن گردید. شکست دودکش در ارتفاعی برابر 0.75 ارتفاع دودکش نشان دهنده اهمیت مودهای بالای ارتعاشی در دودکش های بلند می باشد. متأسفانه هیچگونه اطلاعاتی از طرح این دودکش در دسترس نیست و فقط از عکس های پس از تخریب این دودکش به نظر می رسد که درصد فولادهای طولی آن ناچیز بوده است و همین امر باعث شکست زودرس آن شده است.

1-3-2 (زلزله 1999 ازمیت - ترکیه

یک زلزله با قدرت 7.4 در مقیاس امواج درونی زمین ریشتر با عمق کانونی حدودا 17 کیلومتر در روز 17 آگوست سال 1999 در ازمیت ترکیه رخ داد. مدت زمان این زلزله 45 ثانیه و حداکثر شتاب آن هم بین 0.3 – 0.4 گزارش شده است. یک پالایشگاه نفت در فاصله 20 کیلومتری از مرکز زلزله در شهر کورنز که دارای 6 دودکش بلند بتنی بود آسیب جدی دید. در این کارخانه ارتفاع دودکش ها بین 95-115 متر و پوشش داخلی آنها از آجر نسوز بوده است. طبق گزارشات یکی از دودکش های 95 متری هیچ آسیبی ندید و چهار دودکش دیگر چادر فروریختن پوشش داخلی شدند. یک دودکش با ارتفاع 115 متر در ارتفاع 30 متری از کف در نزدیکی بازوهای دودکش دچار گسیختگی شدید شد لازم به ذکر است که طراحی این سازه با آیین نامه- ACI307-68 صورت گرفته بود و آنچه از عکس های این واقعه بر می آید شکست ترد با مقدار

فولاد کم بوده است. معمولاً بازشو ها و سوراخ های بازرسی از نقاط ضعیف دودکش ها هستند که باید با توجه ویژه تقویت گردند

نتیجه گیری :

اکثر دودکش های بتن مسلح رفتار رضایت بخشی از خود در برابر زلزله های اخیر نشان داده اند و فقط تعداد کمی از آنها دچار فروریزش کلی شدند و هر دو آنها به علت کم بودن مقدار فولاد طولی خود دچار شکست شده اند.

پس از بررسی آیین نامه ها به این نتیجه رسیدیم که تفاوت ضوابط آنها به علت تفاوت دیدگاه آنها است. در دیدگاه اول فرض این است که دودکش بتن مسلح رفتاری شکننده دارد و در نتیجه باید در زلزله به صورت الاستیک رفتار کند و دیدگاه دوم این است که دودکش می تواند رفتاری پلاستیک داشته باشد و از خود شکل پذیری نشان دهد. اما کدام دیدگاه به واقعیت نزدیکتر است؟ جواب این سوال فقط با انجام یک آزمایش واقعی یا بررسی رفتار دودکش ها در زلزله های گذشته بدست می آید. گزارشات چگونگی رفتار دودکش ها در زلزله های گذشته چندان کامل نیست که بخواهیم با استناد به آنها تصمیم گیری کنیم در نتیجه باید به دنبال آزمایشات باشیم. در ادامه پژوهش گزارش و برنامه یک آزمایش انجام شده توسط آقای جان. ویلسون در دانشگاه ملبورن که زمینه تحقیقاتی ایشان رفتار لرزه ایی دودکش های بتن مسلح است مورد بررسی قرار می گیرد.

3- بررسی آزمایشگاهی رفتار دودکش های بتن مسلح

برای بررسی رفتار غیرخطی دودکش های بتن مسلح تحت بارهایی سیکلی شدید چهار نمونه آزمایشگاهی با مشخصات هندسی یکسان و مشخصات فولادگذاری متفاوت تحت آزمایش قرار گرفتند. این نمونه ها به صورت قطعه هایی از دودکش های واقعی که رفتارشان مثل تیرهای طره است به صورت افقی قرار گرفتند تا اعمال بار دینامیکی به آنها سهل تر باشد. انتهای این نمونه های آزمایشگاهی به صفحات تخت بتنی با ضخامت 32 سانتی متر (مانند یک سر شمع) متصل شدند پایه های بتنی به تکیه گاه قوی فولادی مهار شدند. این نمونه ها با ضوابط لرزه ایی طراحی شدند و از لحاظ تناسبات مانند دودکش های واقعی بودند. قطر خارجی نمونه ها حدوداً 1194 میلیمتر و ضخامت آنها 30 سانتی متر بوده و در نتیجه نسبت قطر به ضخامت نمونه ها برابر 40 است که مانند دودکش های واقعی است. مقاومت فشاری بتن مورد استفاده در این آزمایشات 30 مگاپاسکال و مقاومت حد تسلیم فولادها 400 مگاپاسکال بوده است. برای شبیه سازی نیروی محوری ناشی از وزن بالای مقطع دودکش از دو عدد کابل با نیروی پیش تنیدگی 113 کیلونیوتن در هر کدام استفاده شد. جهت اعمال بار یکنواخت و غیر مستقیم به نوک دودکش از یک رابط استوانه ایی فولادی به طول 2.45 متر استفاده شده بود که ارتباط و اتصال آنها به هم توسط 12 عدد تسمه فولادی صورت پذیرفت. طول نمونه های آزمایشگاهی برابر 2.20 متر و اعمال نیروی دینامیکی توسط جکی با توان حداکثر 2500 تن با دامنه حرکت حداکثر 12.5 سانتی متر صورت گرفت. میلگردهای مورد نیاز برای مسلح کردن نمونه ها شامل میلگردهای طولی و حلقوی با نسبتهای مختلف در نمونه ها قرار گرفته که در جدول مشخصات فولادگذاری آورده شده است.

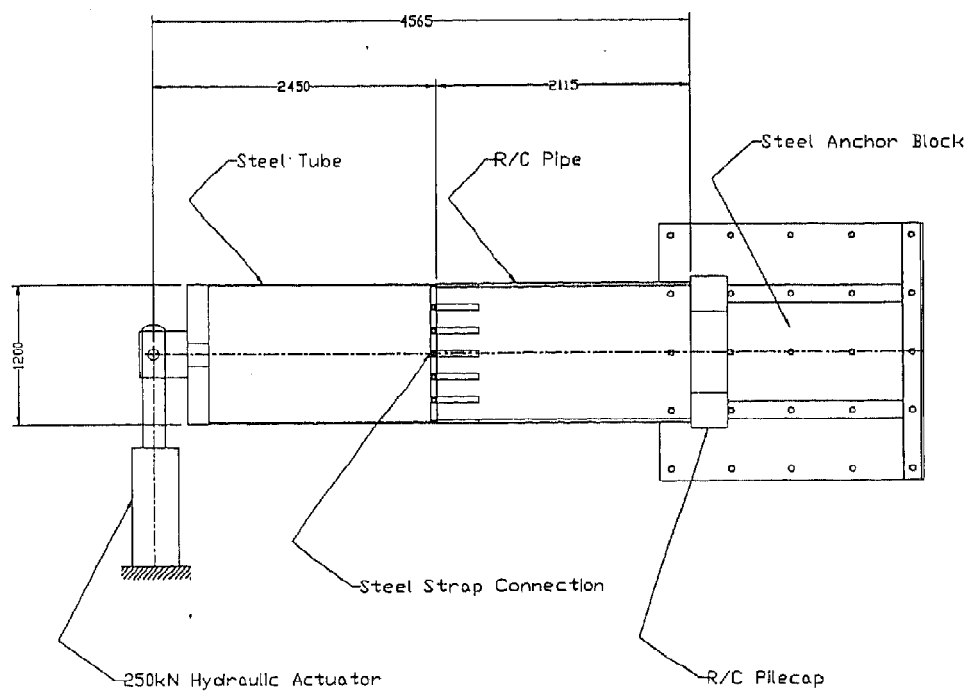
مشخصات فولادگذاری	Unit1	Unit2	Unit 3	Unit 4
ρ_v	0.90%	0.25%	0.25%	0.85%
ρ_n	0.75%	0.75%	0.25%	0.75%
ε_u	11%	20%	0.20%	20%

1-3 بارگذاری نمونه ها

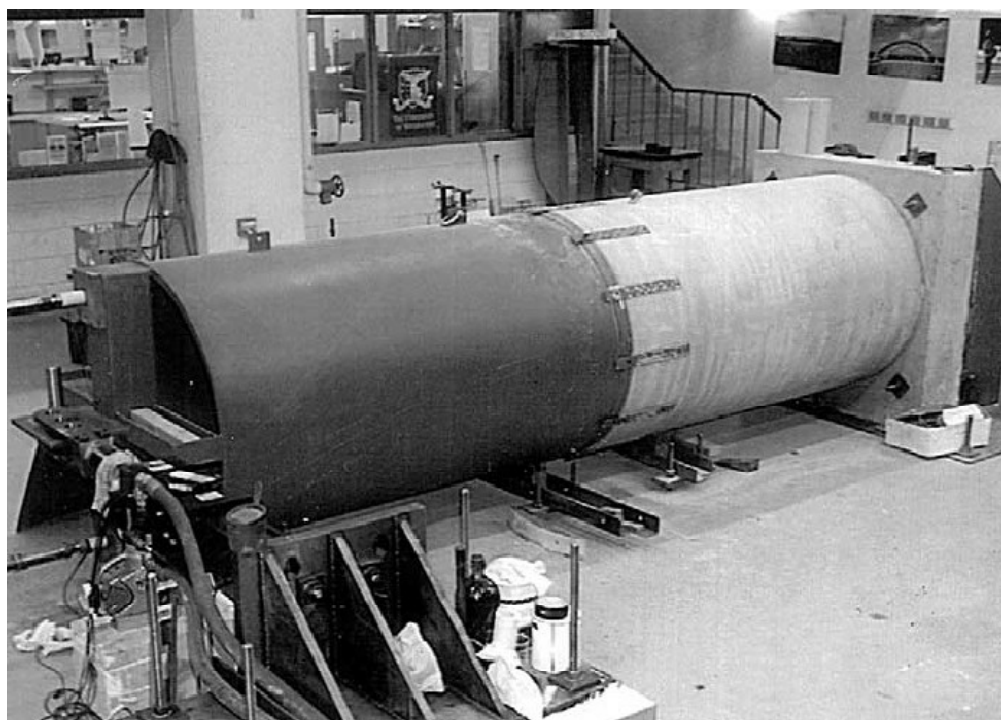
در این آزمایش از روش رایج و مقبول بارگذاری شبه استاتیکی استفاده شد. در روش شبه استاتیکی نمونه برای یک جابجایی فزاینده تحت یک الگو خاص معین به جلو حرکت داده می شود و برای بازگشت سعی نمی شود که به همان کرنش اولیه و یا جابجایی مشخص یک زلزله دست یابد بلکه نمونه تحت یک تعداد معین بارگذاری جابجایی کنترل شده در چند سیکل به صورت استاتیکی قرار می گیرد. بسیاری از محققان از این روش در آزمایشات خود استفاده کرده اند و علت مقبولیت زیاد این روش درک بهتر رفتار و شکل پذیری و رابطه بار- انحناء و بار- خیز می شود زیرا محقق می تواند اثرات کاهش سختی را در تمام سیکل ها دنبال کند.

Property	Parameter	Units	Unit 1	Unit 2	Unit 3	Unit 4
Geometry	D	mm	1200	1200	1200	1200
	t	mm	30	30	30	30
	L	mm	4.565	4.565	4.265	4.565
Long. Reo	-	-	ϕ5.8@95	ϕ5.8@245	ϕ5.8@245	ϕ5.8@80
	ρ_v	%	0.93	0.36	0.36	1.10
	$\rho_v(400)$	%	0.90	0.25	0.25	0.85
	f_y	MPa	320	220	220	200
	f_3	MPa	390	270	270	300
	f_u	MPa	440	370	370	400
	ϵ_u	%	11	20	20	20
Hoop Reo	-	-	ϕ4.8@80	ϕ4.8@80	ϕ4.8@240	ϕ4.8@80
	ρ_h	%	0.75	0.75	0.25	0.75
Capacity	$M_u(f_y)$	KNm	309	179	179	271
	$V_u(f_y)$	KN	67	39	42	59
	$M_u(f_3)$	KNm	349	185	185	342
	$V_u(f_3)$	KN	77	40	43	75

مشخصات نمونه های آزمایشگاهی



محل قرارگیری اجزاء نمونه ها



تصویر نمونه ساخته شده و آماده برای آزمایش

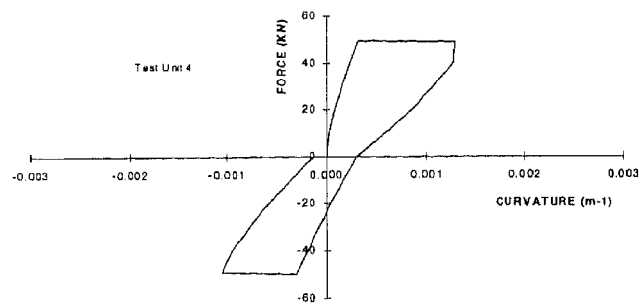
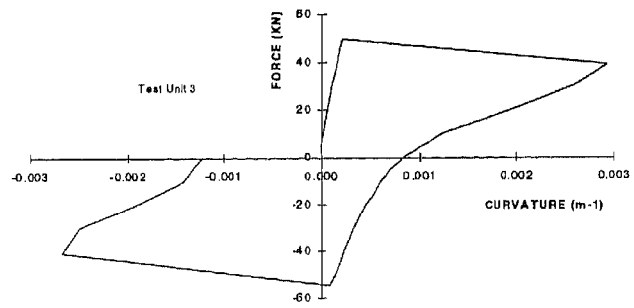
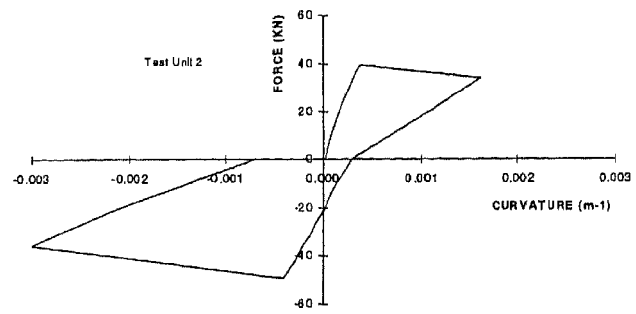
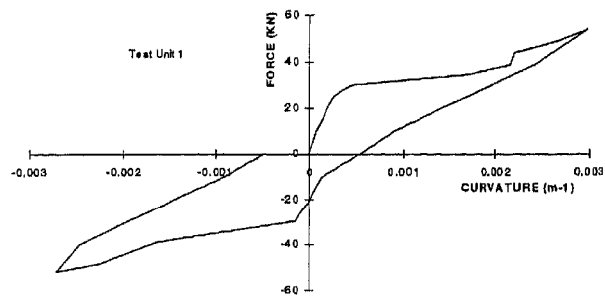
2-3 بررسی نتایج آزمایش

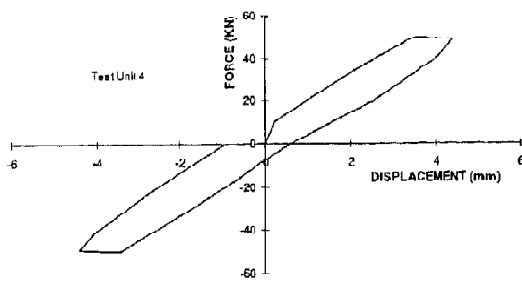
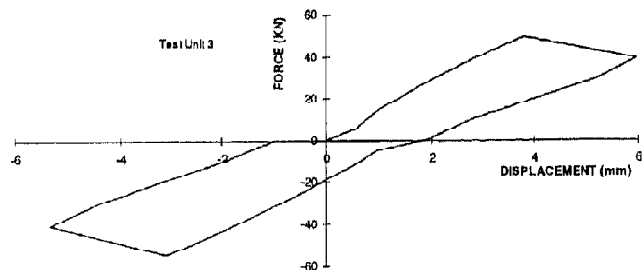
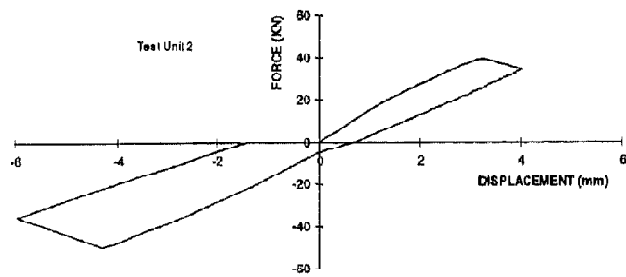
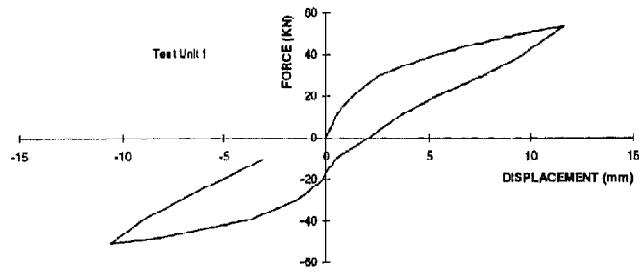
- اولین ترک خوردگی در همه نمونه‌ها در محل اولین میلگرد حلقوی از کف تکیه‌گاه به وجود آمد این ترک باعث کاهش سختی کل نمونه‌ها و افزایش انحناء آنها شد. لنگر ترک خوردگی حداقل برای نمونه 1 برابر 137 kN.m و برای نمونه 2 برابر 242 kN.m ثبت شد. این لنگرها به ترتیب برای تنش کششی ترک خوردگی $2.1 - 4.5 \text{ Mpa}$ که در جدول زیر آمده است ثبت شده‌اند. اگر دقت شود این تنش‌ها در حدود مقدار تنش مدول گسیختگی $0.6\sqrt{f'_c}$ که برای بتن $f'_c = 40 \text{ Mpa}$ برابر 3.8 Mpa است می‌باشند.
- تسلیم اولیه در میلگردهای طولی در نمونه 1 در یک لنگر تسلیم که بیشتر از لنگر ترک خوردگی است رخ می‌دهد در عوض به علت بیشتر بودن مقاومت کششی 2 و 3 و 4 فوراً پس از ترک خوردگی تسلیم در میلگردها رخ می‌دهد.
- تغییرمکان در هنگام تسلیم در نمونه‌های 1 و 4 به صورت $\Delta y_4^* = 4.4 \text{ mm}$ و $\Delta y_1^* = 6.8 \text{ mm}$ ثبت شد که علت آن تشکیل ترک حلقوی قبل از تسلیم در نمونه 1 است اما 4 تسلیم و ترک خوردگی توانان رخ می‌دهند.
- مقدار EI سکانتی در زمان تسلیم برای هر کدام از نمونه‌ها مقداری بین $0.2 EI_g - 0.1 EI_g$ ثبت شده است.

Parameter	Units	Unit 1	Unit 2	Unit 3	Unit 4
M_{cr}^*	KNm	137	192/242	213/235	237
V_{cr}^*	KN	30	42/53	50/55	52
f_t^*	MPa	2.1	3.2/4.5	3.8/4.4	4.5
M_y^*	KNm	200	160	170	224
V_y^*	KN	44	35	40	49
ϕ_y^*	m^{-1}	2.2E-3	2.4 E-3	2.8 E-3	1.2 E-3
Δ_y^*	Mm	6.8	5.0	5.7	4.4
EI_{sec}/EI_g	-	0.16	0.11	0.10	0.29
$V_u(f_3)$	KN	77	40	43	75
ϕ_{yu}^*	m^{-1}	3.8 E-3	2.7E-3	3.0E-3	1.8E-3
Δ_{yu}^*	Mm	11.9	5.7	6.1	6.6

نتایج آزمایشگاهی

همانگونه که از نمودارهای نیرو- تغییر مکان و نیرو-انحناء ترسیم شده برای سیکل دیده می شود محل شروع اولین ترک و اولین تسلیم شدگی قابل تشخیص است.





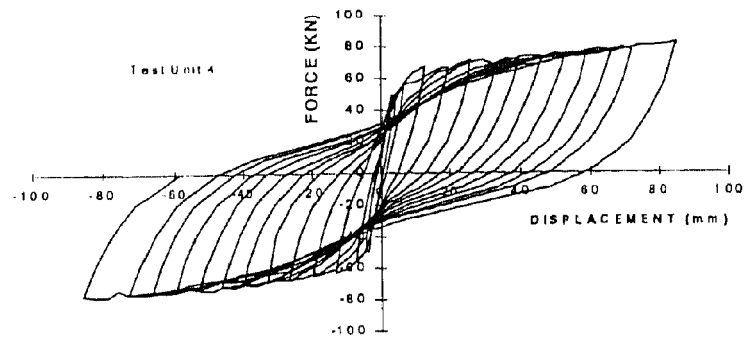
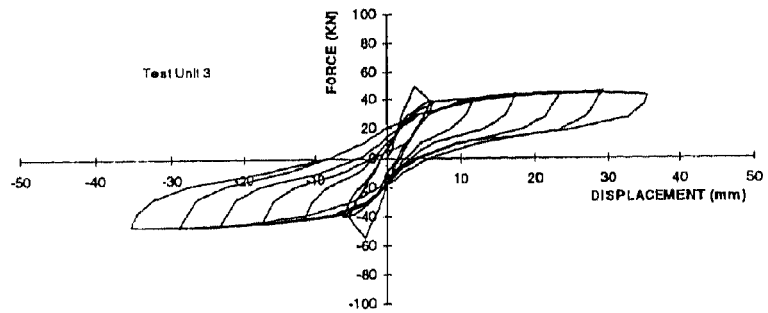
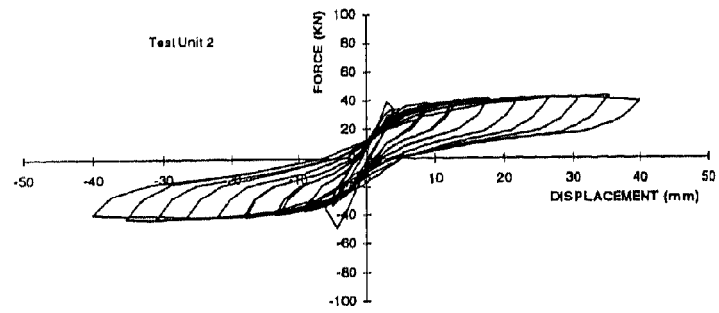
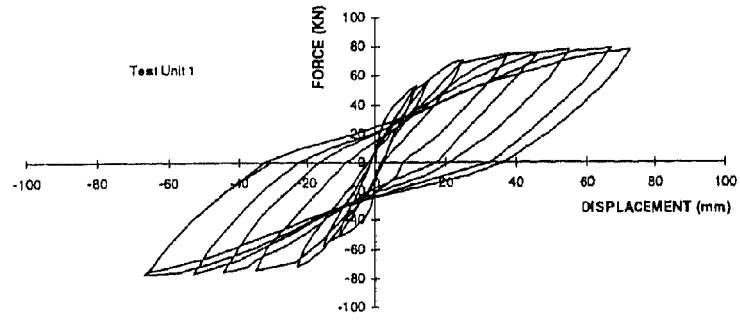
3-3 رفتار غیرخطی نمونه ها پس از تسلیم میلگردها

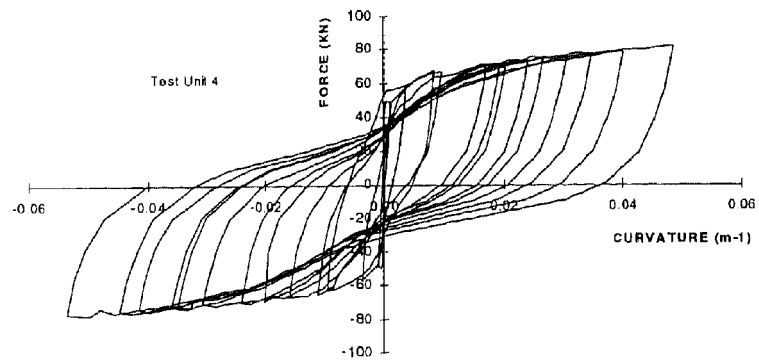
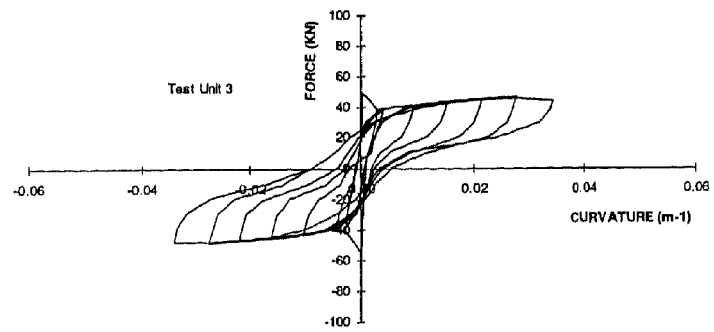
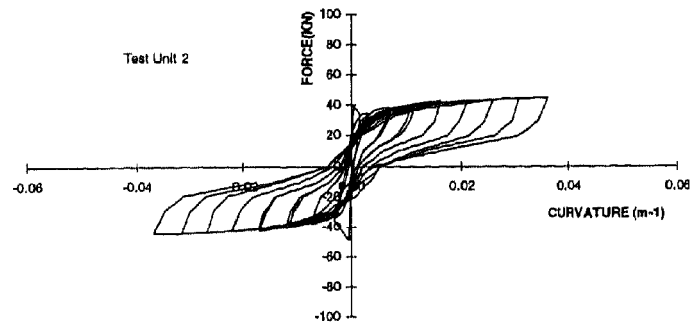
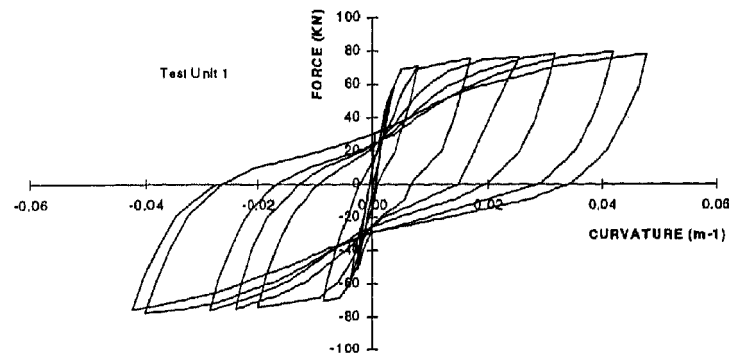
برای 4 نمونه آزمایشی که تحت تغییر مکان کنترل شده در هر سیکل قرار گرفته اند جابجایی ها به صورت زیر ثبت و در ذیل آنها مقدار ضریب شکل پذیری موثر برای هر نمونه در هر سیکل محاسبه شده است. معمولاً در هر نمونه جابجایی ضریب شکل پذیری یک واحد افزایش می یابد به غیر از Unit 2.

Unit 1	Cycle #	1	2	3	4	5	6	7	8
	Displ. (mm)	11.6	15	24	36	45	54	67	69
	μ	1.0	1.3	2.0	3.1	3.8	4.5	5.6	5.8
Unit 2	Cycle #	1	2	3	4	5	6	7	8
	Displ. (mm)	5.0	5	9	9	13	13	18	18
	μ	0.9	0.9	1.6	1.6	2.3	2.3	3.2	3.2
	Cycle #	9	10	11	12				
	Displ. (mm)	22	26	31	35				
	μ	3.9	4.6	5.4	6.1				
Unit 3	Cycle #	1	2	3	4	5	6	7	
	Displ. (mm)	5.7	6	12	18	23	29	35	
	μ	0.9	1.0	2.0	3.0	3.8	4.8	5.7	
Unit 4	Cycle #	1	2	3	4	5	6	7	8
	Displ. (mm)	4.4	7	13	20	26	31	40	45
	μ	0.7	1	2	3	3.9	4.7	6.1	6.8
	Cycle #	9	10	11	12	13			
	Displ. (mm)	53	59	66	72	85			
	μ	8.0	8.9	10.0	10.9	12.9			

هر چهار نمونه تحت آزمایش رفتار شکل‌پذیر و پایدار برای بارگذاری چرخه‌ایی از خود نشان می‌دهند. شکل‌پذیر بودن و پایداری از روی منحنی‌های هیسترزیس که در اشکال زیر برای نمونه‌ها آورده شده است قابل مشاهده است. قابل ذکر است که در این منحنی‌ها اثرات $p-\Delta$ با اعمال دو نیروی پیش‌تنیدگی لحاظ شده است.

در نمونه‌های 1 و 4 ترک‌های زیادی وجود دارند که سیکل‌های مختلف بارگذاری باز و بسته می‌شوند. در این نمونه‌ها عرض ترک‌ها با افزایش کرنش در فولادها زیاد می‌شوند. اما در مقابل در نمونه‌های 2 و 3 فقط یک ترک محیطی در محل نزدیکترین میلگرد حلقوی به پایه نمونه‌ها رخ می‌داد و باقی ارتفاع بدون ترک باقی می‌ماند و این رفتاری ناپسند است.





شکل منحنی هیستریزیس برای همه نمونه‌ها پایدار است با اینکه جابجایی‌ها افزایش می‌یابند و فولادها وارد مرحله سخت شدگی کرنشی می‌شوند و لنگرهای خمشی افزایش می‌یابند. کاهش در سختی همراه با افزایش شکل پذیری از مشخصه‌های بسته شدن ترک‌های عمیق و کاهش یافتن سختی بتن و کاهش سختی فولاد به علت پدیده باشینگر است. شکل باریک شده منحنی‌های هیستریزیس برای اعضای با بار محوری اندک کاملاً عادی است و به پدیده **Pinching** معروف است.

2-4 حالت شکست در نمونه‌ها

بارگذاری نمونه‌ها تا گسیختگی مقاطع ادامه پیدا کرد تا حالت شکست و گسیختگی آنها مشخص شوند. تمام مقاطع به یک طریق گسیخته شدند و آن هم کمانش فولادهای طولی در فشار و بعد از آن پارگی در فولادهای کششی که نشان از باند قوی میلگردها دارد. همانگونه که در مشخصات نمونه‌ها گفته شد کرنش نهایی فولادهای نمونه 1 برابر 11 درصد بود که از شکل پذیری کمی برخوردار بود و به همین علت هم شکستی ناگهانی و نابهنگام از خود نشان داد. اولین گام در شکست نمونه‌ها پرت شدن پوشش بتنی بود که این پرت شدن پوشش باعث افزایش طول مهار شده میلگردهای طولی به فاصله بین دو میلگرد حلقوی می‌شد که باعث کمانش زود هنگام فولاد های طولی در فشار می‌شود از طرف دیگر افزایش کرنش کششی میلگردها باعث کاهش سختی آنها و کاهش مدول الاستیسیته آنها به علت پدیده باشینگر می‌شود که بار کمانشی آنها را در سیکل‌های بعدی کاهش می‌دهد.

2-4 نتایج کلی آزمایش

- هر چهار نمونه مقطع لوله‌ای بتن مسلح تحت بارگذاری سیکلی از خود رفتاری شکل پذیر و پایدار نشان دادند.
- عملکرد غیرخطی اکثراً به علت گسترش و افزایش کرنش‌های کششی بزرگ در میلگردهای شکل پذیر رخ می‌دهد و تنها سهم کمی از آن ناشی از کرنش فشاری بتن در کنار محور خنثی است.

- مقاومت ترک خوردگی نمونه های 2 و 3 از لنگر ظرفیت نهایی مقاطع لوله‌ای فراتر است و تنها یک ترک حلقه‌ای در آنها رخ می‌دهد. این نوع عملکرد به شدت نامطلوب است زیرا یک طول قابل قبول برای مفصل پلاستیک نمی‌تواند در مقطع شکل بگیرد و تمام عملکرد غیر خطی در محدوده ترک محدود می‌شود که مطلوب نیست.
- درصد فولادهای طولی بیشتر نمونه های 1 و 4 بیشتر بودن ظرفیت لنگر نهایی مقاطع را از لنگر ترک خوردگی آنها تضمین می‌کند و این منجر به شکل گیری تعداد ترکهای زیاد در طول عضو می‌شود. در نتیجه تشکیل یک مفصل پلاستیک با طول قابل قبول نزدیک پایه دودکش ها و افزایش انحناء و افزایش چرخش در مفصل پلاستیک انتظار می‌رود و این رفتار مطلوبی است.
- تغییر مکان جانبی نسبی برای نمونه 1 برابر 1.5% و برای نمونه 2 برابر 1.8% ثبت شده که بیشتر از مقدار 0.8% است که برای نمونه های دیگر ثبت شده است.

4- پاسخ غیرالاستیک دودکش های بتن مسلح

از آزمایشات انجام شده به این نتیجه رسیدیم که دودکش های بتن مسلح می توانند رفتار غیر ارتجاعی ایمنی داشته باشند اما کیفیت این رفتار به درصد فولاد طولی وابسته است. زیرا تامین کننده این شکل پذیری میلگردهای کششی می باشند. از نتایج آزمایش شرح داده شده در این پژوهش می توان برای توسعه یک روند تحلیل دینامیکی غیرخطی مطمئن جهت برآورد پاسخ دودکش های بتن مسلح بلند استفاده کرد.

تاکنون روشهای تحلیل دودکشها در برابر بارهای ناشی از زلزله محدود به روشهای دینامیکی خطی از جمله روش طیف پاسخ (شبه دینامیکی) و یا تاریخچه زمانی خطی مودال می شد. روش تحلیل شبه دینامیکی خطی یا همان تحلیل طیفی برای تحلیل دودکش ها حدود 30 سال پیش توسط RUMMAN ارائه گردیده و او همچنین یک ضریب جهت برآورد زمان تناوب طبیعی در هر مود و برای شکل مود برای دودکش هایی با تغییرات خطی قطر و ضخامت ابداع کرد.

این روشها بسیار مفید و قابل استفاده برای تحلیل های دستی در نبود بسته های نرم افزار اجزاء محدود هستند. در این روش دودکش مدل شده مانند یک تیر طره بدون جرم و با جرم های متمرکز شده در گره ها که در این گره ها خصوصیات هندسی مقطع در نظر گرفته شده است. در این تحلیل باید خصوصیات مقطع به صورت ترک نخورده در نظر گرفته شوند و تعداد حداقل 10 گره باید در هر دودکش لحاظ شود تا بتوان اثر مدهای بالاتر را در نظر گرفت. روش مودال به طور دقیق پاسخ دودکش های بلند بتن مسلح را در حالت ارتجاعی نشان می دهند که با نتایج آزمایشگاهی در حالت ارتجاعی تطابق کامل دارند. مطالعات و تحقیقات زیادی بر روی دودکش ها در حالت ارتجاعی انجام شده است که برای نمونه می توان فعالیت های اوموته در ژاپن بر روی دودکش 180 متری – آداچی بر روی دودکش 200 متری – کاپسارو سه دودکش 160 - 250 - 300 متری را یادآور شد. در نتایج این محققان می توان تطابق کامل با روابط تئوریک را یافت.

در محدوده غیرخطی آزمایشات کمی صورت گرفته به طوری که فقط در کشور ژاپن آقای اوموته چهار مدل فیزیکی مقیاس شده از دودکش با ارتفاع 3.0 متر و ضخامت 25 میلیمتر که قطر آنها

به طور خطی از 280mm در کف به 180mm در نوک کاهش می‌یافت را بر روی میز لرزان تحت آزمایش قرار داد. در این تحقیقات نسبت قطر به ضخامت بین 7-11 بود که از مقدار واقعی موجود که عدد 40 است بسیار کمتر است. در این تحقیق نشان داده شد که زمان تناوب طبیعی در حالت ترک خورده 1.5 برابر حالت الاستیک است و مقدار سختی نیز حدود 2.25 برابر کاهش می‌یابد یعنی $(0.44 EI_g)$. این اولین تجربه در زمینه آزمایشات دودکش‌ها در حالت غیرخطی بود.

در محدوده غیرخطی تحقیقات و مدل سازی ریاضی نیز صورت گرفت که در آنها دودکش با روش اجزاء محدود و یا مدل ساخته شده با المان فریم با جرم های متمرکز شده در نقاط گره ایی مدل شد و برای مدلسازی رفتار غیر خطی از یک مدل سه خطی که مشخص کننده ترک خوردگی – تسلیم – حالت نهایی است استفاده شده شد. انطباق خوبی بین نتایج حاصل از مدلسازی ریاضی و نتایج آزمایشات آقای اوموته بدست آمد ولی مقدار تغییر مکان بدست آمده از نتایج تحلیلی بیشتر از نتایج آزمایشگاهی بود که دلیل آن هم در نظر نگرفتن سختی پیچشی در مدل‌های ریاضی بود.

روسینیک نیز مطالعاتی برای بررسی ضوابط طرح لرزه ایی دودکش‌ها در آیین نامه EC-8 در دو رفتار خطی و غیر خطی انجام داد او برای تحلیل دودکش در حالت غیر خطی از نرم افزار DRAIN 2D استفاده کرد. در این تحقیق هم از روش جرم متمرکز شده در گره‌ها استفاده شد. استفاده از مدل مفصل پلاستیک گسسته نسبت به مدل المانهای لایه ایی پیوسته مدل واقع بینانه تری است زیرا در روش اول اثرات ترک خوردگی به گونه ایی لحاظ می شود. در ادامه روشی جدید برای تحلیل پلاستیک دودکش های بتن مسلح با توجه به نتایج آزمایشگاهی ارائه خواهد شد.

3-1 روش جدید تحلیل غیر خطی دودکش های بتن مسلح

پاسخ یک دودکش بلند بتن مسلح که تحت تحریک پایه زلزله قرار می‌گیرد می‌تواند توسط مدل گسسته یا پیوسته اجزاء محدود مدل شود. برای انجام این تحلیل باید 7 گام انجام شود. در این روش فرض بر این است که دودکش بر اساس یک طرح لرزه ایی درست طرح شده و رفتاری شکل پذیری دارد و می‌تواند وارد حالت غیر خطی شود.

گام های تحلیل تاریخچه زمانی غیر خطی دودکش

(1) دودکش مانند یک تیر طره با جرمهای متمرکز شده در گره ها مدل می شود و اتصال بین گره ها توسط المان هایی است که مشخصات هندسی متوسط مقاطع ابتدا و انتها را در بر می گیرد.

(2) مفاصل پلاستیک در پایین هر المان در گره های مربوطه با توجه به لنگرهای محاسبه شده برای ظرفیت تسلیم و نهایی مقطع اختصاص داده می شود. طول مفصل پلاستیک با توجه به نتایج آزمایشگاهی برابر 20 درصد قطر دودکش در همان المان توصیه می شود.

(3) لنگر تسلیم برابر 70 درصد لنگر نهایی مقطع در نظر گرفته می شود.

(4) رفتار هیسترتیک مفاصل پلاستیک با روش تکدا (Tekda) اصلاح شده در نظر گرفته می شود زیرا نزدیکترین مدل ارائه شده به نتایج آزمایشگاهی است.

(5) مقدار $0.5EI_g$ برای در نظر گرفتن ترک خوردگی و کاهش سختی ناشی از ترک خوردگی در نظر گرفته می شود.

(6) معیار خرابی مدل دودکش بر اساس ظرفیت آستانه شکل پذیری انحنایی $\mu_\phi^c = \frac{\phi_u}{\phi_y}$

است. فرض کنید یک انحاء تسلیم به صورت زیر تعریف شود $\phi_y = \frac{M_y}{(0.5 EI_g)}$. ظرفیت شکل پذیری انحنایی μ_ϕ^c در هر مفصل پلاستیک از رابطه زیر محاسبه می شود. در رابطه زیر ρ درصد فولاد طولی می باشد.

$$\mu_\phi^c(0.5 EI_g) = 250 \times 10^3 \quad a_3 = n.(-6.5 + 0.4\rho) - 0.5 \quad n = \frac{f}{f'_c}$$

(7) حداقل برای سه شتابنگاشت باید دودکش تحت آنالیز دینامیکی تاریخچه زمانی قرار گیرد و حداکثر شکل پذیری انحنایی طلب زلزله ها در هر مفصل محاسبه شود زمانی که این مقدار از ظرفیت شکل پذیری انحنایی دودکش مورد نظر بیشتر شود آنگاه دودکش واژگون می شود.

5- محاسبه ضریب رفتار برای یک دودکش با استفاده از تحلیل استاتیکی غیر خطی

هدف اصلی در طراحی لرزه‌ای بر این مبنا است که رفتار دودکش در مقابل نیروهای ناشی از زلزله های کوچک بدون هیچگونه خسارت در محدوده خطی مانده و در مقابل نیروهای ناشی از زلزله های شدید ضمن حفظ پایداری کلی خود شکست مطمئن داشته باشد. همانگونه که در این پژوهش توضیح داده شد دودکش‌ها می‌توانند وارد مرحله غیر خطی شوند و در نتیجه می‌توان دودکش را مانند دیگر سازه‌ها برای نیروی ناشی از زلزله کمتری نسبت به نیروی واقعی که به آن وارد می‌شود طرح کرد که این خود باعث اقتصادی شدن طرح می‌شود. بنابراین اگر رفتار دودکش وارد مرحله غیر خطی شود برای طراحی آن نیاز به یک تحلیل غیرخطی می‌باشد که به دلیل پرهزینه بودن این روش و عدم گستردگی برنامه‌های تحلیل غیرخطی و سهولت روش ارتجاعی روشهای تحلیل و طراحی ارتجاعی و با نیروی کاهش یافته زلزله صورت می‌گیرد. کاهش مقاومت سازه از مقاومت ارتجاعی مورد نیاز عموماً با استفاده از ضرایب کاهش مقاومت انجام می‌شود. بدین منظور آیین نامه‌های طراحی برای بدست آوردن نیروهای وارد بر دودکش بر اساس زمان تناوب نیروی لرزه‌ای برای طراحی در حالت ارتجاعی را بدست می‌آورند و برای لحاظ کردن اثر رفتار غیر خطی و اتلاف انرژی بر اثر رفتار هیسترتیک و میرایی این نیروی ارتجاعی را به وسیله ضریب کاهش مقاومت به نیروی طراحی تبدیل می‌کنند.

5-1 مبانی روش تحلیل استاتیکی غیر خطی

روش تحلیل استاتیکی غیر خطی فزاینده یا به عبارتی تحلیلی مود فروریزش یکی از تکنیک های ساده موثر و پذیرفته شده برای پیش بینی پاسخ لرزه ای قبل از تحلیل دینامیکی است. تحلیل استاتیکی غیر خطی فزاینده می تواند توالی تسلیم اعضاء ظرفیت شکل پذیری بالقوه و کفایت مقاومت جانبی سازه را مشخص می کند. در این نوع تحلیل سازه تحت یک توزیع بار جانبی مشخص به صورت نموی افزایشی یا فزاینده مورد تحلیل غیر خطی قرار می گیرد. دستگاه معادلاتی که در این روش حل می گردد به صورت زیر است.

$$[K_t]\{\Delta_u\} = \{\Delta F\} + C_{corr}\{\Delta F_{err}\}$$

که در این رابطه $[K_t]$ ماتریس سختی مماسی سازه، $\{\Delta u\}$ بردار نموی تغییر مکان های جانبی $\{\Delta F\}$ ، بردار نموی بار جانبی، C_{corr} ضریب تصحیح، $\{\Delta F_{err}\}$ بردار نیروهای نامتعادل در سازه است. تحلیل غیر خطی فزاینده می تواند با کنترل نیرو یا با تغییر مکان انجام شود. در حالت تحلیل با کنترل نیرو سازه تحت توزیع بار جانبی به صورت افزایشی قرار گرفته و تغییر مکانهای افزایشی محاسبه می شوند. در حالت کنترل تغییر مکان سازه تحت پروفیل تغییر مکان افزایشی قرار گرفته و نیروهایی که برای ایجاد این تغییر مکان ها مورد نیاز است محاسبه می شوند. برای تعیین ضریب رفتار یک سازه مشخص باید منحنی ظرفیت آن سازه ترسیم شود منحنی ظرفیت از تحلیل استاتیکی غیر خطی سازه بدست می آید که محور افقی آن جابجایی نقطه هدف سازه و محور قائم آن برش پایه مورد نیاز برای رسیدن به آن تغییر مکان است. پس از ایده ال کردن منحنی ظرفیت می توان با استفاده از روش های موجود ضریب رفتار سازه مورد نظر را محاسبه کرد.

توزیع بار جانبی می تواند یکی از انواع زیر انتخاب شود.

(الف) توزیع یکنواخت

(ب) توزیع مثلث وارونه

(ج) توزیع توانی تعمیم یافته

(د) توزیع قابل انطباق با مد شکل.

در این پژوهش قصد بدست آوردن ضریب شکل پذیری و در ادامه آن ضریب رفتار یک دودکش بتن مسلح با ابعاد مشخص و معین را داریم. برای رسیدن به مقدار ضریب شکل پذیری باید دودکش در یک نرم افزار به صورت کامل و میلگرد گذاری شده مدل شود و با استفاده از نرم افزار تحلیل استاتیکی غیر خطی انجام شود. در ادامه مراحل طراحی این دودکش آورده شده است.

5-2 طراحی دودکش مورد مطالعه

دودکش بتن مسلح با ارتفاع 30 متر و دارای مقطع دایره ای با قطر خارجی 4 متر در پائین و قطر خارجی 1.5 متر در بالا می باشد. ضخامت پوسته بتن دودکش در تراز +0.00، 50 سانتی متر و در تراز 30 متر 21.5 سانتی متر می باشد. دیواری به ضخامت 10 سانتی متر از کف تا تراز +30.00 متر از آجر نسوز جهت عایق بندی در داخل دودکش اجرا شده است.

مشخصات مواد و مصالح :

در این پروژه از بتن با مقاومت فشاری 250 کیلوگرم بر سانتی متر مربع با مدول الاستیسیته 24000 کیلوگرم بر سانتی متر مربع و آرماتور نوع AIII با $f_y = 4000 \text{ Kg/cm}^2$ استفاده شده است.

نرم افزارهای مورد استفاده :

از نرم افزار Sap 2000 V. 12 جهت مدلسازی استفاده شده است. متأسفانه علیرغم اینکه شرکت تولید کننده نرم افزار طراحی المانهای پوسته بتنی را یکی از توانایی های این نسخه اعلام کرده اند اما نرم افزار قادر به طراحی نمی باشد که به همین لحاظ طرح به صورت دستی انجام و در مدلسازی از آن استفاده شد. جهت محاسبات سازه ایی از المان فریم استفاده شده است اما جهت تحلیل های غیر خطی از مدل اجزاء محدود با المان پوسته (SHELL) استفاده شده است.

بارگذاری

بارگذاری ثقلی

تنها بار ثقلی که در این پروژه وجود دارد وزن دودکش و جدار داخلی آجری آن است که جزء بارهای مرده محسوب می شوند. در این پروژه بارهای ثقلی ناشی از وزن دودکش بطور خودکار توسط نرم افزار در نظر گرفته می شود اما وزن جدار داخلی به صورت دستی محاسبه می شود و به نرم افزار داده می شود.

$$\text{وزن مخصوص آجر نسوز } 1200 \text{ کیلوگرم بر متر مکعب.} \quad 1200 \times 0.1 = 120 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

بارگذاری زلزله :

ضریب C بصورت زیر محاسبه می شود :

$$A = 0.30 \quad (\text{شهرستان کرمان})$$

$$R = 5 \quad (\text{مطابق جدول شماره 5، استاندارد 2800 ایران})$$

$$T = KL^2 \sqrt{\frac{q}{gEI}} = 1.29 \times 3000^2 \sqrt{\frac{131.94}{981 \times 2.4 \times 10^5 \times 8.42 \times 10^8}} = 0.30 \text{Sec}$$

محاسباتی از نرم افزار با استفاده از مدل اجزاء محدود $T = 0.32 \text{Sec}$

نکته :طبق تبصره آیین نامه 2800 برای تعیین زمان تناوب باید ترک خوردگی در نظر گرفته شود و برای در نظر گرفتن آن باید ضریب ممان /اینرسی تیرها 0.5 و ستون ها 1 فرض شود. در این پروژه عملکرد دودکش مانند ستون با حرکت جانبی فرض شده است.

$$T_0 = 0.5 \quad \text{زمین نوع II}$$

$$\rightarrow B = 1.5 + 1 = 2.5$$

$$\rightarrow B = 2.5 \rightarrow C = \frac{ABI}{R} = 0.15$$

$$B/R = 0.5 \quad ok$$

آیین نامه 2800 توصیه می کند توزیع نیروی زلزله در ارتفاع مانند ساختمان های معمولی است اما با توجه به گسترده بودن جرم دودکش باید آن را به قطعات یا سگمنت هایی تقسیم کرده و نیروی متمرکز زلزله به مرکز جرم آن قسمت وارد شود. دودکش به 6 قطعه 5 متری تقسیم می شود و برای طراحی نیز از همین قطعات استفاده می شود.

نیروی زلزله در ترازهای مختلف مطابق جدول زیر محاسبه می شود :

نیروی زلزله در ترازهای مختلف دودکش

تراز	ارتفاع	جرم (Ton)	$H_i (m)$	$F_i (Ton)$
1	0-5	59.53	2.411	2.153
2	5-10	47.62	7.401	5.286
3	10-15	37.07	12.388	6.887
4	15-20	27.81	17.371	7.245
5	20-25	19.88	22.348	6.66
6	25-30	14.21	27.376	5.84
		$\Sigma = 206.16ton$		

$$V = 0.15 \times (206.16 + 21.83) = 34.2ton$$

بارگذاری باد

بارگذاری باد طبق توصیه مبحث ششم از مقررات ملی ساختمان انجام شد.

$$q = 84.5 \frac{kg}{m^2} \quad \text{(کرمان) فشار مبنای باد}$$

$$P = C_e \cdot C_q \cdot q$$

$$C_q = 0.8$$

ارتفاع	0-10	10-20	20-30
C_e	2	2.2	2.4

$$P = 2 \times 0.8 \times 84.5 = 135.2 kg/m^2$$

برای ارتفاع 0 - 10

$$P = 2.2 \times 0.8 \times 84.5 = 148.72 kg/m^2$$

برای ارتفاع 10 - 20

$$P = 2.4 \times 0.8 \times 84.5 = 162.24 kg/m^2$$

برای ارتفاع 20 - 30

بارگذاری حرارتی

با توجه به اینکه گرادیان حرارتی بین فضای داخل و خارج دودکش وجود دارد، لذا بارگذاری حرارتی نیز در مدل انجام می شود. به این منظور اختلاف دمای سطح داخلی پوسته دودکش بر اساس شرایط استفاده از آن با دمای سطح خارجی پوسته (T_x) بر ضخامت جداره دودکش تقسیم و بعنوان گرادیان حرارتی در مدل وارد می شود.

توضیح اینکه دمای متوسط حداقل روزانه در محل پروژه 6- درجه سانتیگراد بر اساس بند 4-1-1 گزارش FEP(164) در نظر گرفته شده است و حداقل دمای ساعتی هوا 18- درجه سانتیگراد می باشد و از آنجا که اثرات دما همراه با اثرات زلزله با احتمال فراگذشت 2% در 50 سال یا دوره بازگشت 2475 سال بصورت ترکیب بار در نظر گرفته می شود، لذا احتمال وقوع زلزله طراحی و دمای حداقل ساعتی بسیار کم می باشد، لذا جهت اطمینان بیشتر اثرات دما با در نظر گرفتن دمای حداقل ساعتی به میزان 18- درجه سانتیگراد در محاسبات وارد گردیده است.

$$T_{air} = 25^{\circ}C = T_i$$

$$K_i = 38 \text{ Watt/m}^2 \cdot \text{kelvin}$$

$$T_{ambient} = -18^{\circ}C = T_0$$

$$K_0 = 68 \text{ Watt/m}^2 \cdot \text{kelvin}$$

$$\Delta T = 31^{\circ}C$$

$$C_c = 1.73 \text{ Watt/m} \cdot \text{kelvin}$$

روشهای تحلیل

جدول ترکیب بار نیز به شرح زیر می باشد:

ردیف	ترکیب بارگذاری	ردیف	ترکیب بارگذاری
1	DL+EX	4	DL+WIND+TEMP
2	DL+WIND	5	DL+EX
3	DL+EX+TEMP	6	0.9DL+1.43EX

نتایج تحلیل

کنترل تغییر مکان جانبی دودکش

$$\Delta_{\max} = 3.33h \quad h(m), \Delta_{\max}(mm) \quad (\text{مطابق توصیه ACI 307-2002})$$

$$\rightarrow \Delta_{\max} = 3.33 \times 45 = 150mm = 15cm$$

$$\Delta_{cal} = 2.5 \text{ cm} < 10 \text{ cm} \quad O.K.$$

طراحی پوسته دودکش

طراحی پوسته مطابق فصل پنجم آئین نامه ACI307 و به روش مقاومت حد نهایی انجام می شود. در این روش کرنش فشاری تار انتهایی بتن برابر 0.003 در نظر گرفته می شود و از بلوک مستطیلی ویتنی و یا هر توزیع قابل قبول دیگری می توان استفاده کرد. در این روش از ضریب کاهش مقاومت 0.7 برای مقاومت عمودی و ضریب 0.9 برای مقاومت محیطی استفاده می شود.

ترکیبات طراحی نیز بر اساس حالت حد نهایی و بصورت زیر تعریف می شود:

$$U_v = \text{مقاومت عمودی لازم} = \begin{cases} 1.4D \\ 1.1D+1.4T+1.3W \\ 0.9D+1.4T+1.3W \end{cases}$$

$$U_c: \text{لازم محیطی مقاومت} : 1.05T + 1.3W$$

که در آن D بار مرده و W بار باد و T اثرات درجه حرارت می باشد. اثر زلزله نیز در این ترکیبات با جایگزینی 1.1E در W انجام می شود.

طراحی آرماتورهای عمودی پوسته

برای طرح میلگردهای قائم با استفاده از نتایج تحلیل که از نرم افزار بدست آمده است و با نمودارهای تداخلی مربوط به اینگونه مقاطع میلگردها طرح می شوند. باید دقت شود که حداقل

درصد میلگرد طولی 0.0025 می باشد. برای لایه داخل قطر میلگرد نباید از 12 میلیمتر کمتر و فاصله آنها نباید از 30 سانتی متر کمتر باشد.

به منظور لحاظ نمودن اثرات درجه حرارت در ترکیبات باری که در آنها اثرات درجه حرارت وجود دارد حد جاری شدن فولاد و مقاومت فشاری بتن با توجه به فرمولهای ارائه شده در ACI-307 و مقادیر تنش های حرارتی محاسبه شده در بند 2-3-6 کاهش داده می شوند.

$$f'_y(v) = f_y - \frac{1.4}{1+r_1}(f_{STV} - \gamma_1 f''_{STV}) = 400 - \frac{1.4}{1+1}(47.86 - 1 \times 7.77) = 371 \approx 370 \text{ MPa} \longrightarrow 3700 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

$$f''_c(v) = f'_c - 1.4 f''_{CTV} = 25 - 1.4 \times 2.24 = 21.8 \approx 21 \text{ MPa} \longrightarrow 210 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

جهت کنترل نیروهای داخلی بدنه دودکش، یک مدل با المان فریم ایجاد شد و مقاطع بصورت متغیر تعریف شد. بارگذاری این مدل نیز مشابه با مدل اصلی انجام می شود. لنگرها و نیروهای محوری در ترازهای مختلف و تحت ترکیبات مختلف در جدول (3) آمده است:

مقادیر لنگرها و نیروی محوری در ترازهای مختلف پوسته بتنی (تن و متر)

0.9DL+1.3W		1.1DL+1.3W		0.9DL+1.43EX		1.1DL+1.43EX	
P	M3	P	M3	P	M3	P	M3
-205.01	209.18	-250.57	209.18	-205.01	806.67	-250.57	806.67
-148.04	139.26	-180.94	139.26	-148.04	571.09	-180.94	571.09
-101.79	85.08	-124.41	85.08	-101.79	362.55	-124.41	362.55
-65.04	45.46	-79.49	45.46	-65.04	197.89	-79.49	197.89
-36.62	19.11	-44.76	19.11	-36.62	83.96	-44.76	83.96
-15.34	4.50	-18.75	4.50	-15.34	19.84	-18.75	19.84

لذا بر اساس لنگرها و نیروهای محوری بدست آمده و با توجه به مرجع [3] مقادیر فولاد های طولی پوسته به صورت زیر بدست می آید.

طراحی آرماتورهای عمودی پوسته بتنی دودکش

تراز	0.9D+1.43SPEC		ρ_t	میلگردهای خارج پوسته	میلگردهای داخل پوسته
	$P_u(ton)$	$M_u(ton.m)$			
25-30	-250.57	806.67	0.0025		
20-25	-180.94	571.09	0.0025		
15-20	-124.41	362.55	0.0025		
10-15	-79.49	197.89	0.0025		
5-10	-44.76	83.96	0.0025		
0-5	-18.75	19.84	0.0025		

بررسی اثرات حرارت

با توجه به اینکه دمای داخل دودکش برابر 25 درجه و دمای خارج برابر 18- در نظر گرفته شده است، لذا طبق روابط زیر تنشهای فشاری قائم در بتن و فولاد لایه داخل محاسبه می شود:

$$T_{air} = 25^{\circ}C = T_i \quad K_i = 38 \text{ Watt} / m^2 \cdot \text{kelvin}$$

$$T_{ambient} = -18^{\circ}C = T_o \quad K_o = 68 \text{ Watt} / m^2 \cdot \text{kelvin}$$

$$C_c = 1.73 \text{ Watt} / m \cdot \text{kelvin} \quad \Delta T = 31^{\circ}C$$

$$T_x = \frac{td_{ci}}{C_c d_c} \left[\frac{T_i - T_o}{\frac{1}{K_i} + \frac{td_{ci}}{C_c d_c} + \frac{d_{ci}}{K_o d_{co}}} \right] = \frac{0.5 \times 3}{1.73 \times 4} \left[\frac{43}{\frac{1}{38} + \frac{0.5 \times 3}{1.73 \times 4} + \frac{3}{68 \times 4}} \right] \approx 37^{\circ}C$$

تنش های حرارتی عمودی در داخل دودکش

$$f_{CTV}'' = \alpha_{te} \cdot C \cdot T_x \cdot E_c$$

$$f_{STV}'' = \alpha_{te} (C - 1 + \gamma_2) \cdot T_x \cdot n E_c$$

$$\alpha_{te} = 0.0000117 \quad 1/^{\circ}C$$

$$E_c = 15000 \sqrt{250} = 2.4 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$$

$$n = 10 \quad \gamma_1 = 0.66 \quad \gamma_2 = 0.9 \quad \rho = 0.0025$$

$$C = -\rho n (\gamma_1 + 1) + \sqrt{[\rho n (\gamma_1 + 1)]^2 + 2\rho n [\gamma_2 + \gamma_1(1 - \gamma_2)]} = 0.183$$

تنش فشاری قائم در بتن لایه داخل

$$f_{CTV}'' = 11.7 \times 10^{-6} \times 0.183 \times 37 \times 2.4 \times 10^5 = 19.0 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

تنش فشاری قائم در فولاد لایه داخل

$$f_{STV}'' = 11.7 \times 10^{-6} (0.183 - 1 + 0.9) \times 37 \times 10 \times 2.4 \times 10^5 = 56 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

تنش کششی عمودی در فولاد لایه خارجی

$$f_{STV} = \alpha_{te} \cdot (\gamma_2 - C) \cdot T_x \cdot E_s = 11.7 \times 10^{-6} (0.9 - 0.183) \times 37 \times 2.1 \times 10^6 = 652 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

تنش فشاری محیطی در لایه داخلی بتن پوسته

$$f_{CTC}'' = \alpha_{te} \cdot C' \cdot T_x \cdot E_c$$

$$C' = -\rho' n (\gamma'_1 + 1) + \sqrt{[\rho' n (\gamma'_1 + 1)]^2 + 2\rho' n [\gamma'_2 + \gamma'_1(1 - \gamma'_2)]}$$

$$\rho' = \Phi 14 @ 300 \text{ mm} \rightarrow \rho' = \frac{2 \times 1.13}{30 \times 50} = 0.0015 \geq 0.001$$

$$\gamma' = 1 \quad \gamma'_2 = 0.90$$

$$C' = -0.0015 \times 10(1+1) + \sqrt{[0.0015 \times 10(1+1)]^2 + 2 \times 0.0015 \times 10} = 0.261$$

تنش فشاری محیطی در بتن لایه داخل

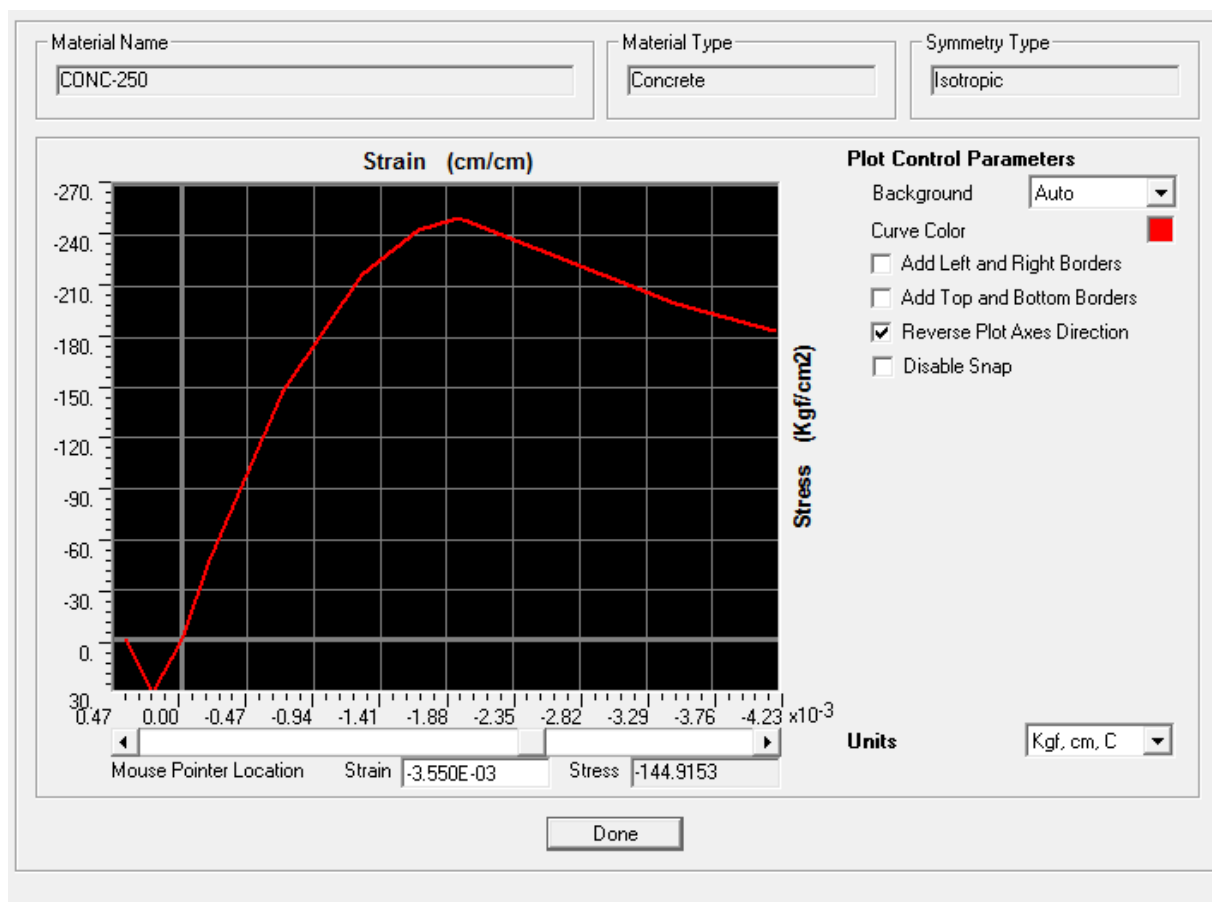
$$f''_{CTC} = 11.7 \times 10^{-6} \times 0.261 \times 37 \times 2.4 \times 10^5 = 28.3 \frac{kg}{cm^2}$$

تنش کششی محیطی در فولاد لایه خارجی

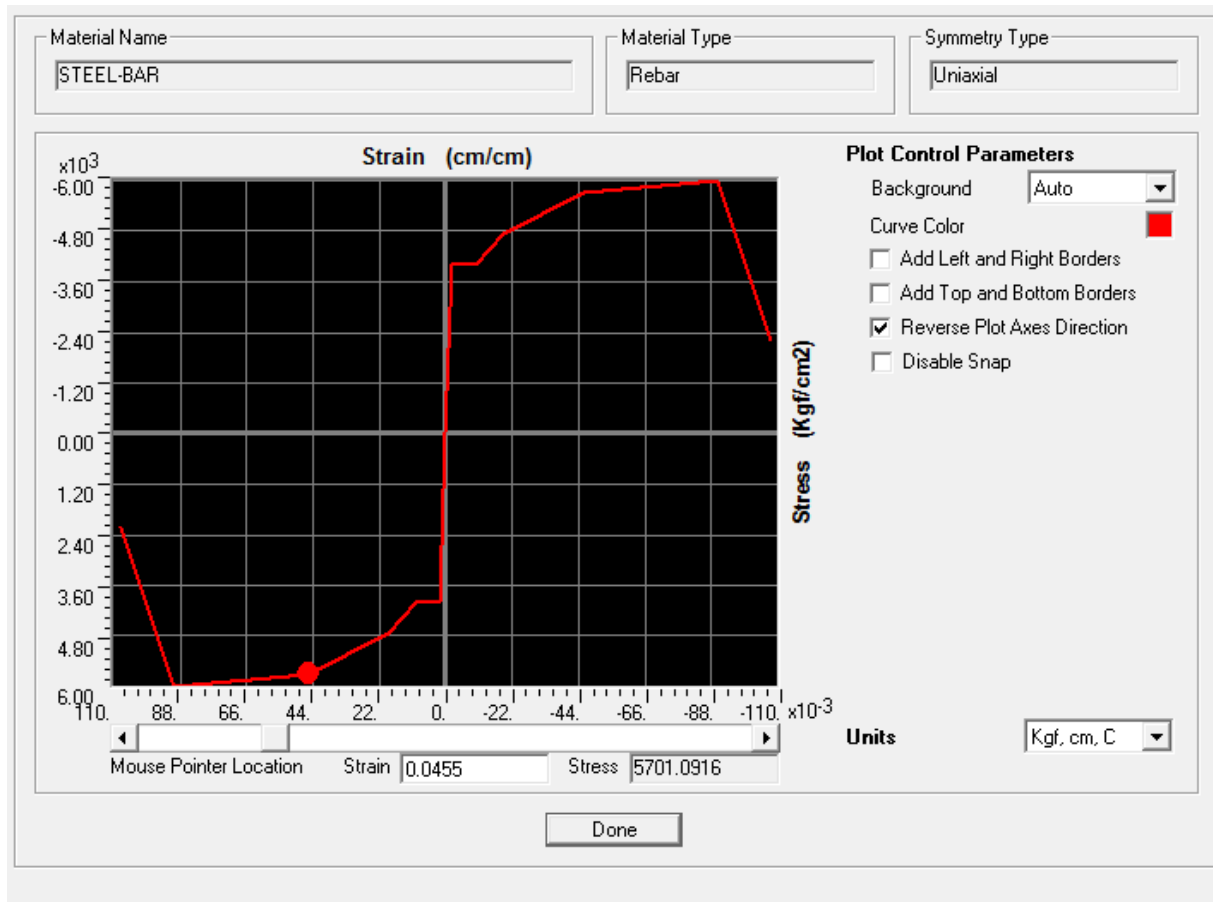
$$f_{STC} = \alpha_{tc} \cdot (\gamma'_2 - c') \cdot T_x \cdot E_s = 11.7 \times 10^{-6} \times (0.9 - 0.261) \times 37 \times 2.1 \times 10^6 = 580 \frac{kg}{cm^2}$$

6- محاسبه ضریب رفتار

پس از طراحی سازه دودکش نوبت به مدل کردن اجزاء محدود دودکش با المان SHELL غیر خطی با میلگردگذاری مشخص می رسد که در نرم افزار Sap2000 صورت می گیرد. برای تحلیل از دو روش تحلیل غیر خطی استاتیکی کنترل نیرو برای بارهای ثقیلی و کنترل تغییر مکان برای بار جانبی استفاده می شود. مشخصات بتن و فولاد برای تحلیل غیر خطی به صورت زیر است

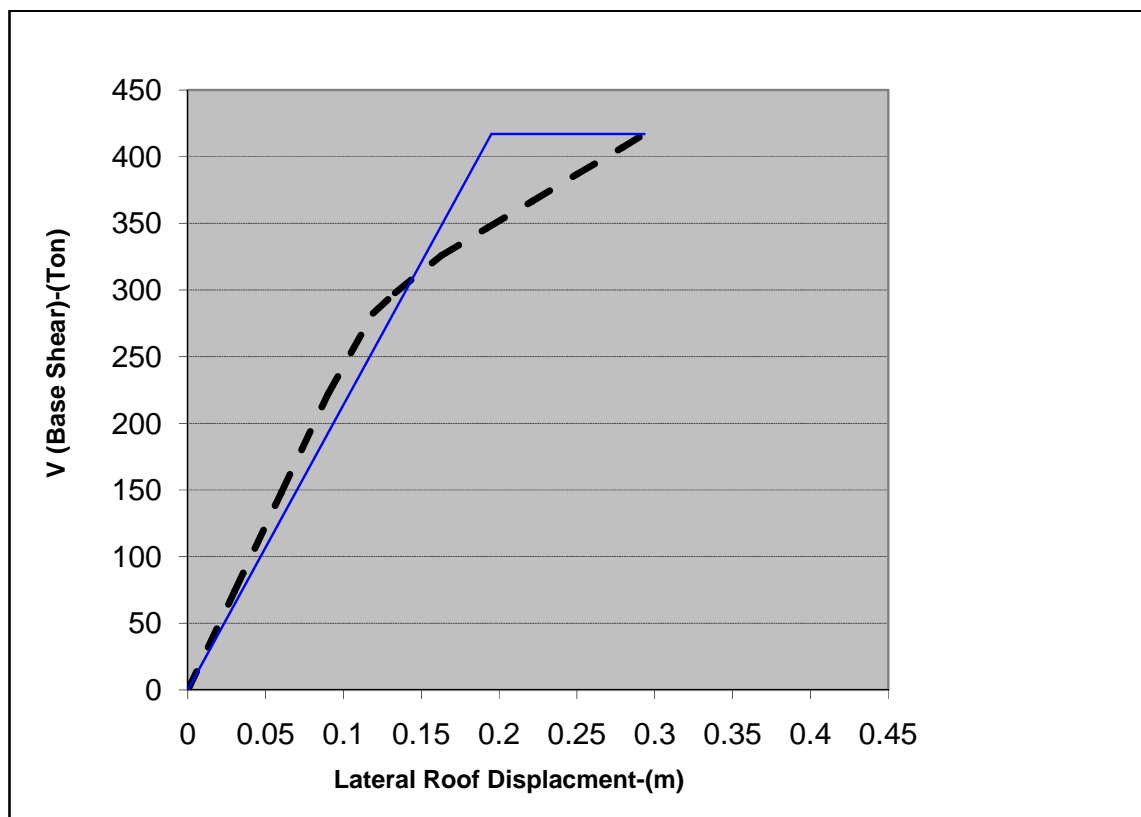


نمودار تنش- کرنش بتن معرفی شده به نرم افزار



نمودار تنش-کرنش میلگردهای طولی و حلقوی معرفی شده به نرم افزار

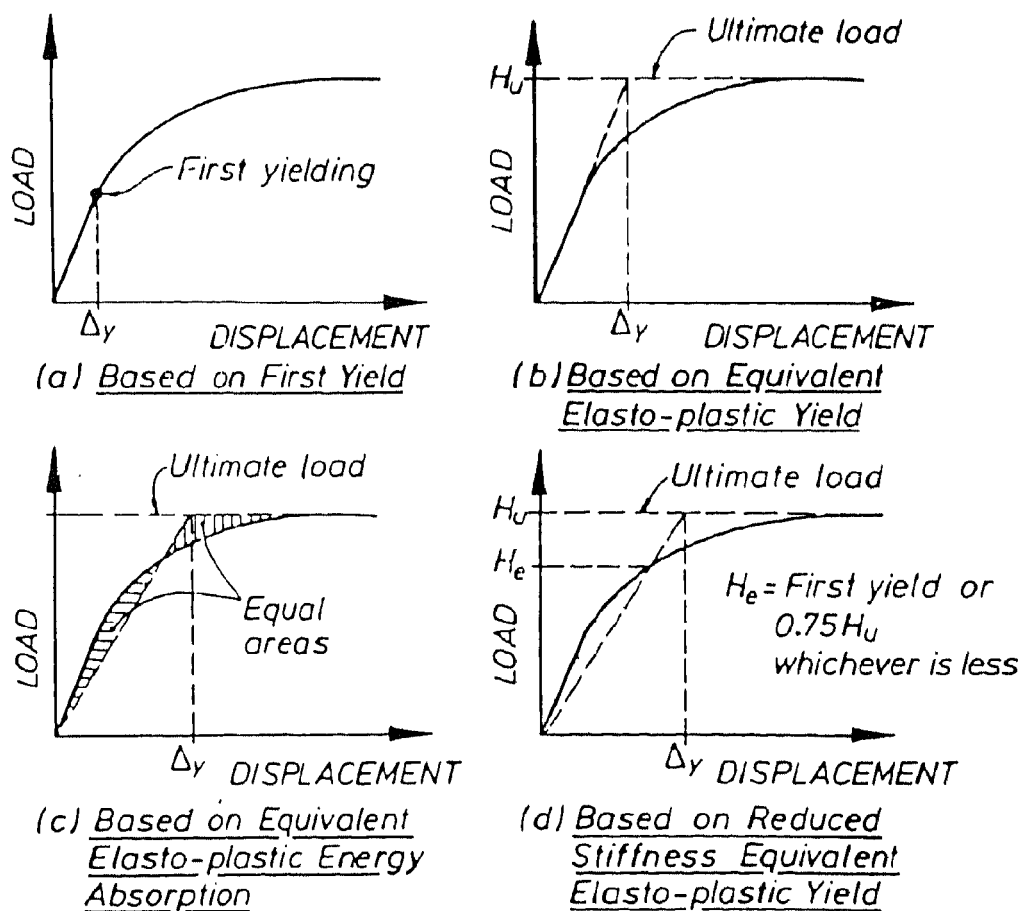
مقدار جابجایی هدف در نوک دودکش برابر 0.3 متر (دریفت 1 درصد) در نظر گرفته می شود. منحنی ظرفیت سازه به صورت زیر بدست می آید. با توجه به نمودار ظرفیت بدست آمده دیده می شود که سختی سازه پس از تسلیم کاهش می یابد اما مقدار آن زیاد نیست زیرا این نرم افزار قابلیت مدل کردن و در نظر گرفتن ترک خوردگی را ندارد. در نمودار زیر منحنی ظرفیت با خط چین و منحنی ایده ال شده با خط پر نشان داده شده است



نقطه تقاطع دو خط مستقیم دارای مختصات زیر است.

$$\Delta = 0.2 \text{ m} \quad V = 314.25 \text{ Ton}$$

برای ایده آل کردن یا دوطبی کردن منحنی ظرفیت روشهای مختلفی وجود دارد که در شکل زیر نشان داده شده است. برای سازه های ساختمانی معمولاً از حالت اول استفاده می شود زیرا طبق تحقیقات پاولی به حالت واقعی نزدیکتر است اما برای دودکش ها جان ویلسون پیشنهاد می کند از رابطه d برای دوطبی کردن منحنی ظرفیت استفاده کند.



روشهای مختلف ایده ال کردن منحنی ظرفیت

توصیه ویلسون استفاده از روش (d) جهت دو خطی کردن منحنی ظرفیت دودکش می باشد.

با توجه به رابطه ضریب شکل پذیری

$$\mu = \frac{\Delta_u}{\Delta_y} = \frac{0.3}{0.2} = 1.5$$

روبط متعددی محققان برای ارتباط دادن بین μ ، R ، سازه های ساختمانی ارائه کردند که از آنها می توان به روش نیومارک- هال، روش میراندا- برترو، روش کراوینگر - ناصر اشاره کرد. اما برای دودکش ها رابطه ای مشخص توسط محققان ارائه نشده و فقط آیین نامه رابطه زیر را ارائه کرده اند

$$\mu = \frac{R_w}{(\text{IF} \cdot \text{LF})} \quad \mu = \frac{R_s}{\text{IF}} \quad R_s = \mu \cdot \text{IF} \quad R_w = \mu \cdot \text{IF} \cdot \text{LF}$$

$$R_w = \mu \cdot \text{IF} \cdot \text{LF} = 1.4 \times 1.5 = 2.1$$

7- نتیجه گیری

- 1) با توجه به مطالب فوق به این نتیجه می رسیم که می توان به شکل پذیری دودکش های بتن مسلح اعتماد کرد و برای اقتصادی تر شدن طرح می توان از ضریب کاهش نیرو در حالت ارتجاعی یا ضریب رفتار استفاده کرد.
- 2) ضرایب رفتاری که توسط آیین نامه ها توصیه شده در محدوده 2-3 می باشد در حالی که آیین نامه 2800 ایران عدد 5 را پیشنهاد می کند.
- 3) بررسی آزمایش انجام شده توسط آقای ویلسون نشان داد مقدار فولاد حداقل (0.0025) که توسط آیین نامه ها توصیه شده باعث کوتاه شدن طول مفصل پلاستیک و عدم ایجاد رفتار مطلوب در دودکش در حالت غیر خطی می شود.

This document was created with Win2PDF available at <http://www.daneprairie.com>.
The unregistered version of Win2PDF is for evaluation or non-commercial use only.