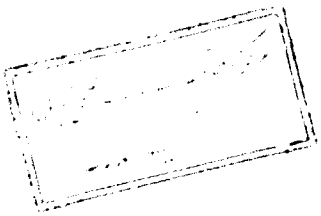
٢٦٧٣١
ب

۱۲۲۸ / ۲۷ / ۱۱



بنام خدا

دانشگاه علم وصنعت ایران

دانشکده عمران

بارگذاری و طراحی سیلوهای بتنی در آئین نامه های مختلف و ارزیابی رفتار لرزه ای آنها

مهدی بیرونی کاشانی

پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد

در رشته عمران (گرایش مهندسی زلزله)

اساتید راهنما : دکتر مرتضی زاهدی - دکتر احمد نیکنام

4056,2

آبان ۱۳۷۷

۲۲۷۳۱ آ

تقدیم به حضرت ولیعصر (عج)

و پدر و مادر وهمسرم

چکیده

سیلوها از جمله ساختمانهای صنعتی هستند که برای ذخیره سازی مواد دانه ای مختلف واز آنجمله گندم که محصولی استراتژیک است بکار می روند.

در مورد سیلوها تا کنون در کشور تحقیقات جامعی انجام نگرفته وآئین نامه خاصی دراین زمینه تدوین نگردیده است و بنابراین مهندسین طراح آئین نامه های کشورهای دیگر را مورد استفاده قرار می دهند. بررسی ها نشان می دهد که این آئین نامه ها در بعضی موارد اختلافات قابل توجهی با یکدیگر دارند وجا دارد بررسی ومطالعه ای درباره ضوابط آنها درکنار یکدیگر انجام گیرد و مقایسه ای بین نتایج آنها بعمل آورده شود. تا برای مهندسین ومحققین اختلاف بین این ضوابط آشکارتر گردد وآنها با شناخت بهتر و عمیقتری به انتخاب آئین نامه طراحی مبادرت ورزند .

سیلوها تحت بارهای مختلفی از جمله بار مرده و بار ناشی از مواد ذخیره ای وزلزله وباد وبارهای ناشی از حرارت و خزش بتن و... قرار دارند که مهمترین و مؤثرترین آنها در طراحی , بارهای ناشی از مواد ذخیره ای وبار زلزله می باشد. در این تحقیق مقایسه هایی در مورد این بارها در آئین نامه های کشورهای امریکا, استرالیا ,آلمان , هند و ایران (آئین نامه شماره ۲۸۰۰) انجام گرفته و نتایج ونمودارهای مربوطه در متن پایان نامه ارائه گردیده است.

در محاسبه مقدار بار زلزله برای طراحی سازه ها پارامترهایی مانند پریود طبیعی سازه , میرائی و ضریب رفتار نقش اصلی را به عهده دارند. یکی از فصول پایان نامه به روشهای تعیین این پارامترها اختصاص داده شده است و نتایج تحقیقات انجام شده آورده شده است.

در فصل آخر چند نمونه کندوی بتن آرمه ذخیره گندم برای بار ناشی از زلزله طبس آنالیز خطی وغیر خطی دینامیکی و برای بار استاتیکی جانبی آنالیز غیر خطی , به روش افزایشی گام به گام, انجام شده است. این آنالیزها با استفاده از نرم افزار ANSYS صورت گرفته است و طی آن منحنی های تغییر مکان- برش پایه برای آنها ترسیم گردیده است . سپس با توجه به این منحنی ها مقادیرضرایب شکل پذیری , اضافه مقاومت و در نهایت ضریب رفتار سیلوها محاسبه و نتایج با مقادیر بیان شده در آئین نامه مقایسه گردیده است.

قدردانی

سپاس و ستایش ایزد منان که توفیق گردآوری این مجموعه و ارائه آن به جامعه مهندسین کشور عزیزمان ایران را به من ارزانی داشت.

بدینوسیله از راهنمائیهای پرارزش و سودمند اساتید محترم آقایان دکتر احمد نیکنام و دکتر مرتضی زاهدی که در تهیه این مجموعه متحمل زحمات فراوانی شده و راهنمائی‌های ایشان راهگشای مشکلات بوده کمال تشکر و قدردانی بعمل می‌آید و توفیق ایشان را از درگاه خداوند متعال مسئلت دارم.

در این جا شایسته است از همکاری شرکت سانو و شرکت فجر و توسعه که با دادن اطلاعات در مورد طراحی سیلو، بنده را در انجام این امر یاری کردند نیز کمال تشکر را بنمایم.

همچنین از سایر اساتید محترم بخش مهندسی عمران که در طی دوران تحصیل افتخار استفاده از محضر ایشان را داشته‌ام و کلیهٔ دوستانی که از آنها چیزی آموخته‌ام نهایت قدردانی و سپاسگزاری می‌شود.

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل اول: کلیات و آشنائی اجمالی با انواع سیلو ۱

۱ـ۱ـ مقدمه ۲

۱ـ۲ـ هدف و ضرورت پژوهش ۳

۱ـ۳ـ بررسی سوابق پژوهش ۴

۱ـ۴ـ مراحل پژوهش ۵

۱ـ۵ـ سیلوها ۶

۱ـ۶ـ تاریخچهٔ نگهداری و انبارهای مواد ذخیره‌ای ۶

۱ـ۷ـ سازه و تاسیسات سیلوها ۷

۱ـ۸ـ اشکال مختلف کندوها ۹

۱ـ۹ـ تاثیر شکل کندو در نیروهای ناشی از فشار مواد ذخیره‌ای ۱۲

فصل دوم: مقایسه بارگذاری و طراحی سیلو در بعضی آئین‌نامه‌های معتبر دنیا و نظرات محققین ۱۴

۲ـ۱ـ مقدمه ۱۵

۲ـ۲ـ بارگذاری سیلوها ۱۵

۲ـ۲ـ۱ـ بار مرده ۱۶

۲ـ۲ـ۲ـ فشارهای ناشی از مواد ذخیره شده ۱۷

۲ـ۲ـ۲ـ۱ـ روش رانکین ۱۸

۲ـ۲ـ۲ـ۲ـ روشن جانسن ۱۹

۲ـ۲ـ۲ـ۳ـ روش ریمبرت ۲۰

۲ـ۲ـ۲ـ۴ـ آئین‌نامه آمریکا ۲۲

۲ـ۲ـ۲ـ۵ـ آئین‌نامه استرالیا ۲۲

۲ـ۲ـ۲ـ۶ـ آئین‌نامه هند ۲۵

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

۲ـ۲ـ۷ـ مقایسه فشار جانبی در آئین نامه‌های مطرح شده ۲۷

۲ـ۲ـ۸ـ مقایسه فشارهای جانبی نتیجه کار بعضی محققین با آئین‌نامه‌ها ۳۰

۲ـ۲ـ۹ـ نتایج تحقیقات جدید ۳۵

۲ـ۳ـ اثر مجموعهٔ کندوهای مدور چسبیده به هم روی یکدیگر ۳۶

۲ـ۴ـ اثر اختلاف حرارت داخل و خارج کندو ۳۹

۲ـ۴ـ۱ـ آئین‌نامه آمریکا ۴۰

۲ـ۴ـ۲ـ آئین‌نامه استرالیا ۴۰

۲ـ۴ـ۳ـ آئین‌نامه هند ۴۱

۲ـ۵ـ بار باد ۴۲

۲ـ۶ـ اثر زلزله بر سیلو ۴۲

۲ـ۶ـ۱ـ آئین‌نامه آمریکا ۴۲

۲ـ۶ـ۲ـ آئین‌نامه استرالیا ۴۳

۲ـ۶ـ۳ـ آئین‌نامه ایران ۴۴

۲ـ۶ـ۴ـ مقایسه اجمالی آئین‌نامه فوق ۴۵

۲ـ۳ـ توضیحات تکمیلی ۴۵

فصل سوم: محاسبهٔ یک نمونه سیلوی منفرد ۴۷

۳ـ۱ـ مقدمه ۴۸

۳ـ۲ـ فرضیات طراحی ۴۸

۳ـ۳ـ محاسبهٔ بارهای ناشی از مواد ذخیره‌ای ۴۹

۳ـ۳ـ۱ـ محاسبه با ترکیب اول مشخصات گندم ۵۱

۳ـ۳ـ۲ـ محاسبه با ترکیب دوم مشخصات گندم ۵۲

۳ـ۳ـ۳ـ محاسبه با ترکیب سوم مشخصات گندم ۵۳

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

۳ـ۳ـ۴ـ محاسبه با ترکیب چهارم مشخصات گندم ۵۴
۳ـ۳ـ۵ـ نتایج چهار حالت فوق ۵۵
۳ـ۴ـ محاسبات زلزله ۵۸
۳ـ۴ـ۱ـ روش معادل استاتیکی ۵۹
۳ـ۴ـ۲ـ روش شبه دینامیکی ۶۰
۳ـ۵ـ محاسبهٔ بارهای محوری و لنگر خمشی با ضریب ۶۲
۳ـ۶ـ کنترل ضخامت بدنه سیلو ۶۶
۳ـ۷ـ کنترل تنشهای فشاری در جداره سیلو ۶۷
۳ـ۸ـ کنترل عرض ترک و تعیین فولادهای حلقوی لازم ۶۸
۳ـ۹ـ محاسبهٔ فولادهای قائم در دیواره سیلو ۷۱
۳ـ۱۰ـ نتیجهٔ محاسبات ۷۲
فصل چهارم: آشنائی با نرم‌افزار ۷۵
۴ـ۱ـ مقدمه ۷۶
۴ـ۲ـ نصب نرم‌افزار روی کامپیوتر ۷۷
۴ـ۳ـ اجرای برنامه Ansys ۷۸
۴ـ۴ـ وارد کردن اطلاعات به برنامه ۷۸
۴ـ۴ـ۱ـ ساختن مدل ۷۹
۴ـ۴ـ۲ـ تعیین درجات گیرداری و بارگذاری و آنالیز ۸۲
۴ـ۴ـ۳ـ مرور بر نتایج تحلیل ۸۴
۴ـ۴ـ۳ـ۱ـ ذخیره کردن نتایج ۸۴
۴ـ۴ـ۳ـ۲ـ ملاحظهٔ نتایج روی شکل سازه ۸۴
۴ـ۴ـ۴ـ خروج از Ansys ۸۴

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

۴ـ۴ـ۵ـ آنالیز مجدد برنامه ۸۴

۴ـ۵ـ بررسی صحت کار با Ansys ۸۵

۴ـ۵ـ۱ـ آنالیز مودال ۸۵

۴ـ۵ـ۲ـ آنالیز غیر خطی استاتیکی گام به گام ۸۶

۴ـ۵ـ۳ـ آنالیز دینامیکی تاریخچه زمانی ۸۸

۴ـ۵ـ۴ـ آنالیز دینامیکی پاندول وارونه ۹۰

۴ـ۶ـ اطلاعات ورودی در مدلهای فوق ۹۲

فصل پنجم: خصوصیات دینامیکی کندوها ۹۳

۵ـ۱ـ مقدمه ۹۴

۵ـ۲ـ روشهای تجربی تعیین خصوصیات دینامیکی کندوها ۹۵

۵ـ۲ـ۱ـ آزمایش ارتعاشات آزاد ۹۵

۵ـ۲ـ۲ـ آزمایش ارتعاشات اجباری ۹۵

۵ـ۲ـ۳ـ آزمایش میز لرزان ۹۷

۵ـ۲ـ۴ـ آزمایش ستون تشدید و برش نوسانی ۹۷

۵ـ۲ـ۵ـ آزمایش ارتعاشات محیطی ۹۸

۵ـ۳ـ روشهای غیر تجربی تعیین خصوصیات دینامیکی کندوها ۹۸

۵ـ۳ـ۱ـ تعیین پرید طبیعی ۹۹

۵ـ۳ـ۲ـ تعیین درصد میرائی ۱۱۱

۵ـ۴ـ آنالیز غیر خطی کندوها تحت بار جانبی زلزله ۱۱۶

۵ـ۴ـ۱ـ رفتار مفروض برای مصالح بتن ۱۱۸

۵ـ۴ـ۲ـ آنالیز غیر خطی با بار جانبی معادل استاتیکی به صورت افزایشی ۱۲۲

۵ـ۴ـ۳ـ تعیین ضریب رفتار و آنالیز غیر خطی دینامیکی ۱۲۵

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل ششم: جمع‌بندی و ارائه پیشنهادات ۱۳۳

۶ـ۱ـ خلاصهٔ نتایج فصول گذشته ۱۳۴

۶ـ۲ـ پیشنهادات ۱۳۵

فصل هفتم: پیوست ۱۳۶

پیوست ۷ـ۱: ضریب افزایش فشارهای قائم و افقی در آئین‌نامه آمریکا ۱۳۷

پیوست ۷ـ۲: فایل خروجی کامپیوتری برای پرید طبیعی و جرم موثر در ۲۰ مود اول سیلوی مورد طراحی ۱۳۷

پیوست ۷ـ۳: فایل خروجی کامپیوتری در سه مود اول فعال سیلوی مورد طراحی ۱۴۰

پیوست ۷ـ۴: فایل ورودی کامپیوتری مدل ستونی سیلو با رفتار خطی ۱۴۳

پیوست ۷ـ۵: فایل ورودی کامپیوتری المان محدود سیلو با رفتار خطی ۱۴۴

پیوست ۷ـ۶: فایل خروجی کامپیوتری جرم موثر سیلو در هر مود (ارتفاع سیلو ۸۰ متر) ۱۴۷

پیوست ۷ـ۷: فایل خروجی کامپیوتری جرم موثر سیلو در هر مود (ارتفاع سیلو ۲۰ متر) ۱۴۸

پیوست ۷ـ۸: فایل ورودی Ansys برای کندوی شماره یک ۱۴۹

پیوست ۷ـ۹: فایل خروجی انتخابی Ansys برای کندوی شماره یک ۱۵۴

پیوست ۷ـ۱۰: فایل خروجی برنامه فرترن شامل تغییر مکان و برش پایه بر حسب زمان ۱۶۱

مراجع ۱۶۵

فهرست اشکال

عنوان **صفحه**

شکل (۱ـ۱) مجموعهٔ سازه و تاسیسات یک سیلوی گندم ۸

شکل (۱ـ۲) سیلوی جو در شهر استراسبورگ فرانسه..... ۱۰

شکل (۱ـ۳) سیلوی گندم و آرد در شهر منچستر انگلستان ۱۱

شکل (۱ـ۴) انواع کندوها و قیفهای تخلیه ۱۲

شکل (۱ـ۵) انواع کندوهای گروهی ۱۳

شکل (۲ـ۱) نیروهی وارده به جداره ناشی از مواد ذخیره شده..... ۱۹

شکل (۲ـ۲) مقادیر ضریب فشار جانبی در آئین نامه استرالیا..... ۲۳

شکل (۲ـ۳) مقادیر ضریب افزایش فشار قائم و جانبی در سیلو..... ۲۴

شکل (۲ـ۴) نمودار فشار در ارتفاع سیلو..... ۲۷

شکل (۲ـ۵) فشارهای وارده بر قیف تخلیه..... ۲۸

شکل (۲ـ۶) مقایسهٔ مقادیر فشارهای جانبی در چند آئین‌نامه ۲۹

شکل (۲ـ۷) مقایسهٔ مقادیر فشارهای جانبی در چند آئین‌نامه ۳۰

شکل (۲ـ۸) بارهای افقی به هنگام تخلیه مرکزی مدلهای سیلو (ماده مورد آزمایش گندم) ۳۱

شکل (۲ـ۹) بارهای افقی به هنگام تخلیه مرکزی مدلهای سیلو (ماده مورد آزمایش ماسه کوارتزی)..... ۳۱

شکل (۲ـ۱۰) بارهای افقی به هنگام تخلیه مرکزی مدلهای سیلو (ماده مورد آزمایش جو) ۳۲

شکل (۲ـ۱۱) بارهای افقی به هنگام تخلیه مرکزی مدلهای سیلو (ماده مورد آزمایش ذرت)..... ۳۲

شکل (۲ـ۱۲) بارهای افقی به هنگام تخلیه مرکزی مدلهای سیلو (ماده مورد آزمایش ماسه کوارتزی) نتایج آزمایشات آقایان wenzel و Frese..... ۳۳

شکل (۲ـ۱۳) بارهای افقی به هنگام تخلیه مرکزی مدلهای سیلو (ماده مورد آزمایش ماسه کوارتزی) نتایج آزمایشات آقایان Richards و vanzanten و Mooij..... ۳۴

فهرست اشکال

عنوان **صفحه**

شکل (۲ـ۱۴) مقایسه بارهای افقی آزمایشات با آئین‌نامه‌ای چند کشور (ماده مورد آزمایش گندم)..... ۳۴

شکل (۲ـ۱۵) افزایش فشار جانبی در محل شروع قیف ۳۵

شکل (۲ـ۱۶) افزایش طول حلقه کندو و شعاع آن تحت بار جانبی یکنواخت ۳۶

شکل (۲ـ۱۷) کندوی کناری پر..... ۳۷

شکل (۲ـ۱۸) کندوی وسطی پر..... ۳۷

شکل (۲ـ۱۹) کندوی گوشه پر..... ۳۸

شکل (۲ـ۲۰) کندوی میانی پر ۳۹

شکل (۲ـ۲۱) کندوی وسطی پر..... ۳۹

شکل (۳ـ۱) ابعاد اولیه سیلو با ظرفیت تقریبی ۱۳۰۰۰ متر مکعب ۴۹

شکل (۳ـ۲) منحنی حداکثر فشار قائم و افقی در کندوی نمونه ۵۷

شکل (۳ـ۳) منحنی حداقل و حداکثر فشار ناشی از اصطکاک مواد ذخیره شده با جدارهٔ کندوی نمونه ۵۸

شکل (۳ـ۴) بار جانبی زلزله به روش استاتیکی معادل در آئین نامه ۲۸۰۰ ایران..... ۶۰

شکل (۳ـ۵) ارتعاش جانبی کندو در مود اول موثر ۶۳

شکل (۳ـ۶) ارتعاش جانبی کندو در مود دوم موثر ۶۴

شکل (۳ـ۷) ارتعاش جانبی کندو در مود سوم موثر ۶۴

شکل (۳ـ۸) ارتعاش کندو در مود تغییر شکل قائم ۶۴

شکل (۳ـ۹) دیاگرام اندرکنش نیروی محوری لنگر خمشی ظرفیت مقطع کندو در محل اتصال به فونداسیون..... ۷۳

شکل (۳ـ۱۰) دیاگرام اندرکنش نیروی محوری لنگر خمشی ظرفیت مقطع کندو در محل اتصال‌بلافاصله بالای قیف..... ۷۴

فهرست اشکال

عنوان **صفحه**

شکل (۴ـ۱) مشخصات ستون طره‌ای برای آنالیز مودال ۸۶

شکل (۴ـ۲) دیوار بتنی تحت بارگذاری جانبی افزایندهٔ گام به گام ۸۷

شکل (۴ـ۳) منحنی تنش کرنش بتن ($f_c' = ۲۱۰ \frac{kg}{cm^2}$) ۸۷

شکل (۴ـ۴) نمودار تغییر مکان بالای دیوار در برابر نیروی افقی اعمالی ۸۸

شکل (۴ـ۵) مدل استفاده شده برای مقایسه آنالیز تاریخچه زمانی در Ansys و Sap90 .. ۸۹

شکل (۴ـ۶) شتاب ورودی در آنالیز با Ansys و Sap90 ..... ۸۹

شکل (۴ـ۷) مقایسه نتایج آنالیز دینامیکی خطی Sap90 با غیر خطی Ansys ۹۰

شکل (۴ـ۸) مدل پاندول وارونه برای آنالیز دینامیکی غیر خطی ۹۱

شکل (۴ـ۹) شتاب سینوسی افزاینده برای آنالیز غیر خطی پاندول وارونه ۹۱

شکل (۴ـ۱۰) منحنی تغییر مکان در برابر برش پایه برای تحلیل غیر خطی پاندول وارونه ۹۲

شکل (۵ـ۱) تغییرات دامنه بر حسب فرکانس تحریک ۹۶

شکل (۵ـ۲) تغییر شکل مدل ستونی کندو در مول اول ارتعاش ۱۰۲

شکل (۵ـ۳) تغییر شکل مدل ستونی کندو در مول دوم ارتعاش ۱۰۲

شکل (۵ـ۴) تغییر شکل مدل ستونی کندو در مود سوم ارتعاش ۱۰۳

شکل (۵ـ۵) تغییر شکل مدل ستونی کندو در مود چهارم ارتعاش ۱۰۳

شکل (۵ـ۶) تغییر شکل مدل المان محدود کندو در مود اول ارتعاش (معادل مود اول فعال) ۱۰۴

شکل (۵ـ۷) تغییر شکل مدل المان محدود کندو در مود چهارم ارتعاش معادل مود دوم فعال) ۱۰۴

شکل (۵ـ۸) تغییر شکل مدل المان محدود کندو در مود نوزدهم ارتعاش (معادل مود سوم فعال) ۱۰۵

شکل (۵ـ۹) تغییر شکل مدل المان محدود کندو در مود سوم ارتعاش (دید از کنار ـ مود

فهرست اشکال

عنوان **صفحه**

غیرفعال) ۱۰۶
شکل (۵ـ۱۰) تغییر شکل مدل المان محدود کندو در مود سوم ارتعاش (دید از بالا ـ مود غیرفعال) ۱۰۶
شکل (۵ـ۱۱) تغییر شکل مدل المان محدود کندو در مود اول ارتعاش معادل مود اول فعال) ۱۰۸
شکل (۵ـ۱۲) تغییر شکل مدل المان محدود کندو در مود شانزدهم ارتعاش (نزدیک به مود دوم فعال)..... ۱۰۸
شکل (۵ـ۱۳) تغییر شکل مدل المان محدود کندو در مود بیست و یکم ارتعاش (نزدیک به مودهای غیرفعال) ۱۰۹
شکل (۵ـ۱۴) تغییر شکل مدل المان محدود کندو در مود بیست و سوم ارتعاش (نزدیک به مودهای غیرفعال)..... ۱۰۹
شکل (۵ـ۱۵) تغییر شکل مدل المان محدود کندو در مود سی و یکم ارتعاش (نزدیک به مودهای غیرفعال) ۱۱۰
شکل (۵ـ۱۶) تغییر شکل مدل المان محدود کندو در مود سی و نهم ارتعاش (نزدیک به مود سوم فعال)..... ۱۱۰
شکل (۵ـ۱۷) تاثیر مقدار پر بودن کندو بر میرائی..... ۱۱۲
شکل (۵ـ۱۸) شتاب زلزله طبس ۱۱۳
شکل (۵ـ۱۹) شتاب زلزله ناغان ۱۱۳
شکل (۵ـ۲۰) میزان هم فازی برش پایه و تغییر مکان بالای کندو ۱۱۴
شکل (۵ـ۲۱) تاثیر میرائی انتخابی روی برش پایه کندو..... ۱۱۵
شکل (۵ـ۲۲) تاثیر میرائی انتخابی روی تغییر مکان حداکثر بالای کندو ۱۱۵
شکل (۵ـ۲۳) رفتار بتن در بارهای رفت و برگشتی ۱۱۹

فهرست اشکال

عنوان **صفحه**

شکل (۵ـ۲۴) مدلهای نوع مسینگ. ۱۲۰

الف ـ مدل دو خطی

ب ـ مدل سه خطی

ج ـ مدل رامبرگ ـ اسگود

شکل (۵ـ۲۵) منحنی مادر برای تنش کرنش بتن. ۱۲۱

شکل (۵ـ۲۶) دیاگرام بار جانبی زلزله کندوی شماره یک تا مرحلهٔ تخریب با نیروی افزاینده. ۱۲۳

شکل (۵ـ۲۷) دیاگرام بار جانبی زلزله کندوی شماره دو تا مرحلهٔ تخریب با نیروی افزاینده. ۱۲۴

شکل (۵ـ۲۸) دیاگرام بار جانبی زلزله کندوی شماره سه تا مرحلهٔ تخریب با نیروی افزاینده. ۱۲۴

شکل (۵ـ۲۹) دیاگرام شماتیک رفتار خطی و غیرخطی سازه. ۱۲۵

شکل (۵ـ۳۱) منحنی تغییر مکان حداکثر. برش پایه تحت تحلیل دینامیکی خطی و غیر خطی برای کندوی شماره یک. ۱۳۰

شکل (۵ـ۳۲) منحنی تغییر مکان حداکثر. برش پایه تحت تحلیل دینامیکی خطی و غیر خطی برای کندوی شماره دو. ۱۳۰

شکل (۵ـ۳۳) منحنی تغییر مکان حداکثر. برش پایه تحت تحلیل دینامیکی خطی و غیر خطی برای کندوی شماره سه. ۱۳۱