

کابل و کاربرد آن در سازه‌ها

تألیف:

دکتر نادر فلاحتی

مهندس محمد کشمیری

دکتر محمد یکرنگ‌نیا



شماره ۵۱۲

سرشناسه: فنائی، نادر، ۱۳۵۶ -

عنوان و نام پدیدآور: کابل و کاربرد آن در سازه‌ها/تالیف نادر فنائی، محمد کشمیری، محمد یکرنگ‌نیا.
مشخصات نشر: تهران: دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، انتشارات، ۱۴۰۰.

مشخصات ظاهری: ۴۳۰ ص.

ISBN: 978-622-6655-92-7

شابک: ۹۷۸-۶۲۲-۶۶۵۵-۹۲-۷

وضعیت فهرست نویسی: فیا

موضوع: سازه‌های کابلی -- استانداردها/Cable structures -- Standards

موضوع: کابل‌ها -- استانداردها/Cables -- Standards

شناسه افزوده: کشمیری، محمد، ۱۳۷۰ -

شناسه افزوده: یکرنگ‌نیا، محمد، ۱۳۶۳ -

رده‌بندی کنگره: TA۶۶۰

رده‌بندی دیویی: ۶۲۴/۱۷۷۴

شماره کتابشناسی ملی: ۸۷۷۹۷۷۶

press.kntu.ac.ir

ناشر: دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

عنوان: کابل و کاربرد آن در سازه‌ها

مؤلفان: دکتر نادر فنائی، دکتر محمد کشمیری و دکتر محمد یکرنگ‌نیا

ویرایش: دوم

نوبت چاپ: دوم

تاریخ انتشار: دی ۱۴۰۲

شمارگان: ۲۰۰ جلد

صفحه‌آرایی: مجتبی نظریگی

چاپ و صحافی: آرمانسا

قیمت: ۳۲۳,۰۰۰ تومان

تمام حقوق برای ناشر محفوظ است

خیابان میرداماد غربی - شماره ۴۷۰ - انتشارات دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی - تلفن: ۸۸۸۸۱۰۵۲

میدان ونک - خیابان ولی عصر (عج) - بالاتر از چهارراه میرداماد - شماره ۲۶۲۶ - مرکز پخش و فروش انتشارات

تلفن: ۸۸۷۷۲۲۷۷ رایانامه: press@kntu.ac.ir - تارنما (فروش برخط): press.kntu.ac.ir

پیشگفتار مؤلفین

کابل‌های فولادی با داشتن مشخصات فنی خوب قابل قبول می‌توانند در تحمل نیروهای کششی در بخش‌های مختلف سازه نقش مؤثری را ایفاء نمایند. از جمله مزایای این کابل‌ها می‌توان به قابل توجه بودن مقاومت کششی، انعطاف‌پذیری بسیار بالا، سهولت اجرا، سبک و کم حجم بودن در مقایسه با تیرهای فولادی و بتنی که بار مرده قابل توجهی دارند و مقرون به صرفه بودن عملیات اجرایی تقویت سازه با استفاده از کابل‌ها اشاره کرد. متأسفانه این عضو سازه‌ای ارزشمند که روز به روز دامنه کاربردش در مهندسی عمران بیشتر می‌شود، تا کنون مغفول مانده است و کتابی در مورد خواص آن و کاربردهای متنوعش در مهندسی عمران به رشته تحریر در نیامده است.

کتاب پیش رو با عنوان «کابل و کاربرد آن در سازه‌ها» که در ده فصل تنظیم شده است، اولین کتاب فارسی است که به صورت تخصصی به موضوع کابل و استفاده از آن در رشته مهندسی عمران پرداخته است. در فصل‌های اول و دوم این کتاب، به اجزای کابل و آزمایش‌های مربوطه، خواص کابل مانند مدول الاستیسیته و همچنین پدیده وادادگی تنش و عوامل موثر بر روی این پدیده پرداخته شده است. در فصل سوم، تغییر شکل کابل تحت اثر وزن کابل، نیروی متمرکز و نیروی گسترده یکنواخت در مبداء و انتهای کابل‌ها و در فصل چهارم کتاب، ارتعاش آزاد کابل معلق و سرعت انتشار امواج در کابل در مبداء و انتهای کابل‌ها بررسی شده است. در فصل پنجم کتاب، کاربرد کابل در پل‌ها و در فصل ششم کتاب، کاربرد کابل در مهاربندهای کابلی - استوانه‌ای، ضریب رفتار این مهاربندها و مقایسه عملکرد آن‌ها با مهاربندهای کابلی - ضربدری بحث شده و تأثیر میزان پیش تنیدگی کابل‌ها بر روی زمان تناوب سازه‌های مهار شده بررسی شده است. در ادامه در فصل هفتم کتاب، کاربرد کابل در مقاوم‌سازی ساختمان‌های بتن مسلح بررسی شده و نحوه کنترل خرابی پیش‌رونده با استفاده از مهاربند کابلی تشریح شده است. کاربرد کابل در اتصالات مرکزگرا از دیگر مباحث این کتاب در فصل هشتم بوده که در آن، اثر وادادگی تنش بر روی سختی این نوع اتصالات و همچنین بر روی نمودارهای هیستریزس آن، بحث گردیده است. برای اولین بار، موضوعی تحت عنوان کنترل خیز تیرهای فولادی بلند با استفاده از کابل‌های پیش‌تیده در فصل نهم این کتاب ارائه شده است. این فصل خاص کتاب، حاصل پایان‌نامه کارشناسی ارشد دانشجوی استعداد درخشان دانشکده عمران دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین

طوسی، خانم مهندس فاطمه پرتوی بوده و نسخه اولیه این فصل نیز توسط ایشان نوشته شده است و مؤلفان کتاب از ایشان نهایت تشکر و قدردانی را دارند. در نهایت در فصل دهم کتاب، نحوه مدل سازی کابل ها در نرم افزار آلمان محدود آباکوس به طور کامل تشریح شده است. مؤلفان کتاب بر خود لازم می دانند از خانم مهندس مهتاب سادات رضوی که در بازخوانی دقیق متن و انجام اصلاحات کتاب، کمک بسیار ارزنده ای نمودند، تشکر و قدردانی خود را اعلام کنند. همچنین از آقای مهندس سید هومن حسینی که در ابتدای کار تألیف کتاب، کمکهای قابل توجهی را به مؤلفان کتاب کردند، تشکر می شود. کار طراحی جلد کتاب بر عهده سرکار خانم آنکه چهارزاد بوده و مؤلفان کتاب بر خود لازم می دانند از ایشان تشکر کنند. همچنین از کلیه زحمات کارشناس محترم انتشارات دانشگاه، جناب آقای حسن صالحی و همچنین ناظر محترم چاپ دانشگاه، جناب آقای عباسعلی گرنامی قدردانی می شود.

در این ویرایش کتاب که ویرایش دوم محسوب می شود، ۶۲ صفحه در انتهای فصل ششم به کتاب اضافه شده است. بخش اول مطالب اضافه شده، مربوط به ضرایب عملکرد لرزه ای سیستم مهاربندی کابلی - استوانه ای بوده که بر اساس روش پیشنهادی FEMA P695، ضریب رفتار، ضریب اضافه مقاومت و ضریب تشدید تغییر مکان محاسبه و ارائه شده است. بخش دوم مطالب اضافه شده به کتاب، در مورد بهبود عملکرد لرزه ای قاب خمشی فولادی در سیستم مهاربند کابلی - استوانه ای است که توسط میراگرهای فولادی ربع حلقه در انتهای هر یک از کابل ها، این کار انجام شده است. امید است کتاب حاضر با گشایش فصلی نو در شناخت و استفاده از کابل فولادی در مهندسی سازه، زمینه شکوفایی پژوهش، به کارگیری و تولید آن را در کشور عزیزمان ایران، بیش از پیش فراهم سازد. دانشجویان و مهندسان عزیز می توانند پیشنهادات ارزشمند خود را از طریق ایمیل nader_fanaie@yahoo.com به اطلاع مؤلفان کتاب برسانند.

نادر فنائی، محمد کشمیری، محمد یکرنگ نیا

اسفند ۱۴۰۰

فصل اول - کابل فولادی و اجزای آن	۱
۱-۱ مقدمه	۱
۲-۱ مفتول فولادی	۲
۲-۲-۱ تولید مفتول	۴
۳-۲-۱ مفتول‌های مقاوم در برابر خوردگی	۶
۴-۲-۱ آزمایش کشش مفتول	۸
۵-۲-۱ دوام و مقاومت خستگی مفتول	۱۱
۳-۱ رشته‌ها	۳۱
۱-۳-۱ رشته‌های دایره‌ای	۳۱
۲-۳-۱ رشته‌های با تاب متقاطع	۳۲
۳-۳-۱ رشته‌های با تاب موازی	۳۳
۴-۳-۱ رشته‌های با تاب مربع	۳۴
۵-۳-۱ رشته‌های شکل داده شده	۳۴
۶-۳-۱ رشته‌های فشرده	۳۵
۴-۱ مغزی کابل	۳۶
۱-۴-۱ مغزی فیبری	۳۷
۲-۴-۱ مغزی فولادی	۴۱
۵-۱ روغن کاری	۴۴
۱-۵-۱ مصرف روغن	۴۴
۲-۵-۱ تأثیر روغن کاری در دوام کابل	۴۵
فصل دوم - خواص کابل فولادی	۴۷
۱-۲ مقدمه	۴۷
۲-۲ طبقه‌بندی کابل‌ها بر پایه عملکرد	۴۷
۳-۲ طبقه‌بندی کابل‌ها براساس بافت کابل	۴۹
۱-۳-۲ کابل‌های مارپیچی	۴۹

۵۱	۲-۳-۲ کابل‌های رشته‌ای
۵۴	۳-۳-۲ انواع کابل ویژه
۵۵	۴-۲ نیروی پارگی کابل
۵۹	۵-۲ شکل و فرم رشته و مفتول در کابل
۶۰	۶-۲ کشش در کابل‌ها
۶۰	۱-۶-۲ تنش در کابل‌های مستقیم
۶۱	۲-۶-۲ تأثیر نسبت پواسون
۶۲	۳-۶-۲ نیروی کششی ثانویه
۶۳	۴-۶-۲ مدول کشسانی کابل
۶۴	۷-۲ امواج و ارتعاشات
۶۴	۱-۷-۲ امواج طولی
۶۸	۲-۷-۲ امواج عرضی
۶۹	۸-۲ پیچش و سختی پیچشی
۷۰	۱-۸-۲ تعریف کابل غیر چرخشی (غیر پیچشی)
۷۰	۲-۸-۲ کابل مقید شده در برابر چرخش در دو انتها
۷۱	۳-۸-۲ تنش مفتول ناشی از پیچش کابل
۷۱	۴-۸-۲ نیروی حدی
۷۱	۹-۲ پدیده وادادگی در کابل‌های پیش تنیده
۷۲	۱-۹-۲ تأثیر مدت زمان بر روی پدیده وادادگی
۷۳	۲-۹-۲ تأثیر نوع فولاد بر روی پدیده وادادگی
۷۳	۳-۹-۲ تأثیر تنش اولیه بر روی پدیده وادادگی
۷۵	۴-۹-۲ تأثیر درجه حرارت بر روی پدیده وادادگی
۷۷	فصل سوم- استاتیک کابل‌ها
۷۷	۱-۳ مقدمه
۷۷	۲-۳ پروفیل پارابولیک و اثرات صلبیت خمشی
۷۸	۳-۳ پاسخ به بار نقطه‌ای

۴-۳	پاسخ به بار گستره یکنواخت.....	۸۳
۵-۳	روابط انرژی.....	۸۴
۶-۳	پاسخ غیرکشسان.....	۸۷
۷-۳	مشخصات تنش- کرنش فولاد کابل ها.....	۸۸
۸-۳	ظرفیت کشسان.....	۸۹
۹-۳	ظرفیت نهایی.....	۹۱
۱۰-۳	باربرداری پس از بارگذاری غیرکشسان.....	۹۲
۹۵	فصل چهارم- دینامیک کابل ها.....	
۱-۴	مقدمه.....	۹۵
۲-۴	تئوری خطی ارتعاش آزاد کابل معلق.....	۹۷
۳-۴	حرکت خارج از صفحه.....	۹۹
۴-۴	حرکت درون صفحه.....	۹۹
۵-۴	پاسخ دینامیکی خطی کابل معلق تخت.....	۱۰۷
۶-۴	تئوری های غیرخطی.....	۱۱۱
۱-۶-۴	تئوری ارتعاش غیرخطی کابل تخت کشیده شده.....	۱۱۲
۲-۶-۴	موج های تنش کشسان و پلاستیک در کابل ها.....	۱۱۵
۱۱۹	فصل پنجم- کاربرد کابل در پل ها.....	
۱-۵	مقدمه.....	۱۱۹
۲-۵	عوامل انتخاب نوع یک پل.....	۱۲۰
۱-۲-۵	محل احداث یک پل.....	۱۲۰
۲-۲-۵	کاربرد تعریف شده برای پل.....	۱۲۰
۳-۲-۵	وع پی طراحی شده برای پل و تکیه گاه های آن.....	۱۲۰
۴-۲-۵	نوع مصالح مصرفی در سازه پل.....	۱۲۰
۵-۲-۵	نوع عرشه پل.....	۱۲۰
۶-۲-۵	عوامل اقتصادی.....	۱۲۱
۷-۲-۵	معماری و زیبایی سازه پل.....	۱۲۱

۱۲۱	۳-۵ قسمت‌های اصلی باربر یک پل
۱۲۱	۴-۵ انواع پل‌ها بر اساس عناصر سازه‌ای
۱۲۲	۱-۴-۵ پل‌های تخت
۱۲۲	۲-۴-۵ پل‌های خرابایی
۱۲۳	۳-۴-۵ پل‌های قوسی
۱۲۳	۵-۵ پل‌های کابلی
۱۲۶	۶-۵ انواع و نحوه عمل پل‌های کابلی
۱۲۸	۷-۵ پل‌های کابلی ترکیه‌ای
۱۳۱	۸-۵ پل کابلی معلق با کابل سهمی
۱۳۳	۹-۵ منابع ارتعاشی در پل‌های کابلی
۱۳۳	۱-۹-۵ ارتعاش ناشی از باد
۱۳۳	۲-۹-۵ ارتعاش ناشی از باد پل‌ها
۱۳۴	۳-۹-۵ تحریک پارامتری
۱۳۴	۱۰-۵ میرایی در پل‌ها
۱۳۴	۱-۱۰-۵ میرایی مقاوم
۱۳۵	۲-۱۰-۵ میرایی فعال
۱۳۷	۱۱-۵ پل‌های کابلی معروف دنیا
۱۴۳	فصل ششم - کاربرد کابل در مهاربندها
۱۴۳	۱-۶ مقدمه
۱۴۳	۲-۶ سیستم مهاربند کابلی - استوانه‌ای
۱۴۵	۳-۶ اثرات صلبیت استوانه
۱۵۲	۴-۶ اثرات پیش‌تنیدگی کابل‌ها
۱۵۵	۵-۶ تأثیر ابعاد استوانه صلب در رفتار مهاربند کابلی - استوانه‌ای
۱۵۵	۱-۵-۶ تأثیر طول استوانه
۱۵۶	۲-۵-۶ تأثیر قطر داخلی استوانه
۱۵۸	۶-۶ تأثیر زلزله حوزه نزدیک در رفتار مهاربندها

- ۶-۷ مقایسه سیستم مهاربند کابلی - ضربدری و کابلی - استوانه‌ای ۱۵۹
- ۶-۸ نتایج تحلیل غیرخطی سیستم کابلی - استوانه‌ای و ضربدری ۱۵۹
- ۶-۸-۱ زمان تناوب اصلی سازه‌ها ۱۵۹
- ۶-۸-۲ منحنی هیستریزیس قاب‌ها ۱۶۰
- ۶-۸-۳ توزیع تغییر مکان نسبی طبقات در ارتفاع قاب‌ها ۱۶۰
- ۶-۸-۴ نیروی فشاری ستون‌های مجاور مهاربندها ۱۶۱
- ۶-۸-۵ تنش در کابل‌های مهاربندی ۱۶۱
- ۶-۸-۶ تحلیل بار افزون و ضریب رفتار ۱۶۲
- ۶-۹ ضریب رفتار سیستم مهاربندی کابلی - استوانه‌ای ۱۶۳
- ۶-۹-۱ تحلیل دینامیکی افزایشی، IDA ۱۶۵
- ۶-۹-۲ تغییرات ضریب رفتار با تغییر مقاطع تیر و ستون ۱۶۷
- ۶-۹-۳ تحلیل حساسیت ضریب رفتار به طول و قطر داخلی استوانه و تنش پیش‌تنیدگی کابل‌ها ۱۶۸
- ۶-۹-۴ تغییرات دوره تناوب با تغییر کرنش پیش‌تنیدگی کابل‌ها ۱۷۱
- ۶-۹-۵ ارائه رابطه ضریب رفتار برای سیستم مهاربندی کابلی - استوانه‌ای ۱۷۲
- ۶-۱۰ ضرایب عملکرد لرزه‌ای سیستم‌های دوگانه با فلج‌خمش معمولی و مهاربندی کابلی - استوانه‌ای ۱۷۳
- ۶-۱۰-۱ تحلیل استاتیکی غیرخطی بار افزون ۱۷۶
- ۶-۱۰-۲ تحلیل دینامیکی افزایشی ۱۷۹
- ۶-۱۰-۳ بررسی کفایت سازه‌ها و تعیین ضرایب لرزه‌ای ۱۸۷
- ۶-۱۱ سیستم مهاربند کابلی - استوانه‌ای بهسازی شده توسط میراگرهای فولادی ربع حلقه قابل استفاده در مقاوم سازی لرزه‌ای قاب‌های خمشی فولادی ۱۸۸
- ۶-۱۱-۱ استفاده از ربع حلقه‌های تسلیم شونده در سیستم مهاربند کابلی - استوانه‌ای ۱۹۶
- ۶-۱۱-۲ تحلیل ربع حلقه‌ها با روش کار حداقل ۱۹۸
- ۶-۱۱-۳ طراحی ربع حلقه‌های فولادی براساس تشکیل اولین مفصل پلاستیک ۲۰۴
- ۶-۱۱-۴ طراحی ربع حلقه‌ها بر اساس مقاومت نهایی (طراحی بر اساس ظرفیت) ۲۰۶
- ۶-۱۱-۵ مدلسازی اجزاء محدود میراگرهای ربع حلقه فولادی ۲۱۵

۶-۱۱-۶	بررسی مدل‌سازی اجزاء محدود یک قاب خمشی فولادی مجهز به سیستم مهاربندی	۲۲۱
	حلقه-کابل-استوانه.....	
۲۳۱	فصل هفتم- کاربرد کابل در مقاوم‌سازی.....	
۲۳۱	۱-۷ مقدمه.....	
۲۳۱	۲-۷ استفاده از کابل برای مقاوم‌سازی ساختمان‌های بتنی.....	
۲۳۳	۱-۲-۷ تعیین محل بهینه عبور کابل از کف هر طبقه.....	
۲۳۴	۲-۲-۷ مزایای سیستم کابلی برای مقاوم‌سازی ساختمان‌های بتنی.....	
۲۳۴	۳-۷ استفاده از کابل برای مقاوم‌سازی دیوارهای بنایی غیر مسلح.....	
۲۳۸	۴-۷ استفاده از کابل به عنوان ستون دوخت.....	
۲۴۵	۵-۷ جلوگیری از خراب شدن ساختمان‌ها با استفاده از کابل.....	
۲۴۶	۱-۵-۷ حمله به ساختمان به استفاده از مواد منفجره.....	
۲۴۷	۲-۵-۷ استفاده از مهاربندی برای جهت جلوگیری از خرابی پیش رونده طبقات.....	
۲۴۸	۳-۵-۷ طراحی و ساخت نمونه‌های آزمایشی.....	
۲۴۹	۴-۵-۷ فرایند انجام آزمایش.....	
۲۵۰	۵-۵-۷ تحلیل نمونه‌ها قبل از آزمایش.....	
۲۵۱	۶-۵-۷ تحقیقات با استفاده از آزمایش.....	
۲۵۳	۷-۵-۷ نتایج نهایی.....	
۲۵۵	فصل هشتم- کاربرد کابل در اتصالات مرکزگرا.....	
۲۵۵	۱-۸ مقدمه.....	
۲۵۷	۲-۸ ویژگی‌های اتصال.....	
۲۵۸	۳-۸ رفتار مکانیکی اتصالات PTED.....	
۲۶۱	۴-۸ مروری بر پیشینه اتصال.....	
۲۷۴	۵-۸ بررسی اثر بارگذاری آتش بر رفتار اتصال.....	
۲۷۶	۱-۵-۸ مدل‌سازی اجزای محدود اتصال مرکزگرا.....	
۲۷۹	۲-۵-۸ مدل‌سازی اجزای محدود اتصال با نبشی جان تحت اثر بارگذاری آتش.....	
۲۸۳	۳-۵-۸ مدل‌سازی اجزای محدود اتصال مرکزگرا تحت اثر بارگذاری آتش.....	

۶-۸	پدیده وادادگی تنش.....	۲۸۶
۷-۸	سیستم‌های مرکزگرا.....	۲۸۶
۸-۸	تأثیر وادادگی تنش بر روی عملکرد سیستم‌های مرکزگرا.....	۲۸۶
۱-۸-۸	برآورد میزان وادادگی تنش.....	۲۸۶
۲-۸-۸	مدل‌سازی اجزای محدود قاب فلزی دارای اتصال مرکزگرا.....	۲۸۷
۳-۸-۸	مدل‌سازی هندسه.....	۲۸۷
۴-۸-۸	انتخاب مش و صفحات تماسی.....	۲۸۸
۵-۸-۸	بارگذاری و شرایط مرزی.....	۲۸۹
۶-۸-۸	صحت سنجی مدل اجزای محدود.....	۲۹۰
۹-۸	بررسی سیستم مرکزگرا تحت پدیده وادادگی تنش.....	۲۹۱
۱-۹-۸	بررسی سختی اتصال مرکزگرا تحت پدیده وادادگی تنش.....	۲۹۱
۲-۹-۸	بررسی اتصال مرکزگرا تحت وادادگی تنش در بارگذاری چرخه‌ای.....	۲۹۴
فصل نهم - استفاده از کابل‌های پیش‌تنیده برای کنترل خیز و ارتعاش تیرها.....		
۱-۹	مقدمه.....	۳۰۳
۲-۹	پیش‌تنیده کردن تیر فولادی I شکل متقارن کابل فولادی.....	۳۰۳
۳-۹	فرضیات تحلیل.....	۳۰۴
۴-۹	افزایش نیروی پیش‌تنیدگی کابل فولادی روی یک تیر تحت بار گسترده یکنواخت.....	۳۰۵
۱-۴-۹	محاسبه افزایش نیروی پیش‌تنیدگی کابل فولادی در تیر دوسر مفصل همراه با آرایش V	
	شکل کابل.....	۳۰۵
۲-۴-۹	محاسبه افزایش نیروی پیش‌تنیدگی کابل فولادی در تیر دوسر مفصل همراه با آرایش V	
	شکل اصلاح شده کابل.....	۳۰۷
۳-۴-۹	محاسبه افزایش نیروی پیش‌تنیدگی کابل فولادی در تیر دوسر مفصل همراه با دو آرایش V	
	شکل نامتقارن کابل.....	۳۰۹
۴-۴-۹	رابطه افزایش نیروی پیش‌تنیدگی کابل فولادی در تیر دوسرگيردار همراه با آرایش V شکل	
	کابل.....	۳۱۲

۵-۴-۹	رابطه افزایش نیروی پیش‌تنیدگی کابل فولادی در تیر دوسرگیردار همراه با آرایش ۷ شکل	۳۱۳
۶-۴-۹	رابطه افزایش نیروی پیش‌تنیدگی کابل فولادی در تیر دوسرگیردار همراه با دو آرایش ۷	۳۱۴
۷-۴-۹	رابطه افزایش نیروی پیش‌تنیدگی کابل فولادی در تیر طره همراه با کابل.....	۳۱۶
۵-۹	خیز.....	۳۱۶
۱-۵-۹	خیز حداکثر تیر دوسرمفصل، دوسرگیردار و طره بدون کابل تحت اثر بار گسترده یکنواخت.....	۳۱۷
۲-۵-۹	محاسبه خیز حداکثر تیر دوسر مفصل همراه با آرایش ۷ شکل کابل.....	۳۱۷
۳-۵-۹	محاسبه خیز حداکثر تیر دوسر مفصل همراه با آرایش ۷ شکل اصلاح شده کابل.....	۳۱۹
۴-۵-۹	محاسبه خیز حداکثر تیر دوسرمفصل همراه با دو آرایش ۷ شکل نامتقارن کابل.....	۳۲۰
۵-۵-۹	رابطه خیز حداکثر تیر دوسرگیردار همراه با آرایش ۷ شکل کابل.....	۳۲۱
۶-۵-۹	رابطه خیز حداکثر تیر دوسرگیردار همراه با آرایش ۷ شکل اصلاح شده کابل.....	۳۲۱
۷-۵-۹	رابطه خیز حداکثر تیر دوسرگیردار همراه با دو آرایش ۷ شکل نامتقارن کابل.....	۳۲۲
۸-۵-۹	رابطه خیز حداکثر تیر طره همراه با کابل.....	۳۲۲
۶-۹	بسامد طبیعی.....	۳۲۲
۱-۶-۹	محاسبه بسامد زاویه‌ای طبیعی ارتعاش سیستم با صلبیت و جرم گسترده با استفاده از روش رابلی.....	۳۲۳
۷-۹	کنترل صحت روابط تئوری خیز و بسامد طبیعی تیرها با مدل‌سازی در نرم‌افزار آباکوس... ۳۳۶	
۱-۷-۹	کنترل صحت روابط تئوری خیز با مدل‌سازی در نرم‌افزار آباکوس.....	۳۳۸
۲-۷-۹	کنترل صحت روابط تئوری بسامد طبیعی با مدل‌سازی در نرم‌افزار آباکوس.....	۳۴۰
۸-۹	مقایسه نمودارهای لنگر خمشی تیر بدون کابل و همراه با کابل.....	۳۴۱
۱-۸-۹	مقایسه نمودارهای لنگر خمشی تیر دوسر مفصل بدون کابل و همراه با کابل.....	۳۴۱
۲-۸-۹	مقایسه نمودارهای لنگر خمشی تیر دوسرگیردار بدون کابل و همراه با کابل.....	۳۴۲
۳-۸-۹	مقایسه نمودارهای لنگر خمشی تیر طره بدون کابل و همراه با کابل.....	۳۴۳
۹-۹	تأثیر طول کابل افقی بر خیز بیشینه تیر دوسر مفصل و دوسر گیردار همراه با آرایش ۷ شکل	
۳۴۴	اصلاح شده کابل.....	

۱۰-۹	تأثیر طول a بر خیز بیشینه تیر دوسر مفصل و دوسر گیردار همراه با دو آرایش ۷ شکل
۳۴۶	نامتقارن کابل.....
۳۴۸	۱۱-۹ نتیجه گیری.....
۳۴۹	فصل دهم - مدل سازی عددی کابل ها.....
۳۴۹	۱-۱۰ مقدمه.....
۳۴۹	۲-۱۰ ارتعاش یک کابل تحت کشش.....
۳۵۰	۳-۱۰ بیان مسأله.....
۳۵۱	۴-۱۰ نحوه مدل سازی.....
۳۵۱	۱-۴-۱۰ گام اول: ساخت هندسه مدل (ماژول Part).....
	۲-۴-۱۰ گام دوم: تعریف ویژگی های مصالح و سطح مقطع و نسبت دادن آنها به هندسه ایجاد شده
۳۵۳	(ماژول Property).....
۳۵۷	۳-۴-۱۰ گام سوم: سرهم بندی اجزا (ماژول Assembly).....
۳۵۸	۴-۴-۱۰ گام چهارم: تعریف نوع تحلیل و خروجی های مورد نیاز (ماژول Step).....
۳۶۳	۵-۴-۱۰ گام پنجم: تعریف بارها و شرایط تکیه گاهی (ماژول Load).....
۳۶۵	۶-۴-۱۰ مش بندی قسمت های مختلف مدل (ماژول Mesh).....
۳۶۷	۷-۴-۱۰ تعریف Job (ماژول Job).....
۳۶۸	۸-۴-۱۰ بررسی نتایج و Post-Processing (ماژول Visualization).....
۳۷۲	۵-۱۰ دستورات فایل ورودی مثال.....
۳۷۵	پیوست اول - نمایه موضوعات.....
۳۷۹	پیوست دوم - فهرست واژگان فارسی به انگلیسی.....
۳۹۱	پیوست سوم - فهرست واژگان انگلیسی به فارسی.....
۴۰۳	مراجع.....