بسم الله الرحمن الرحيم

١٣٨٧١٤

دانشگاه ارومیه

ارزیابی مقاومت شبکه‌های دو لایه فضاکار کش‌بستی در برابر خرابی پیش‌رونده

پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد

عیسی قدیریان

استاد راهنما: دکتر محمد رضا شیدایی

۱۳۸۹/۴/۸

دانشکده فنی – مهندسی

گروه عمران

تهیه مدرک

زمستان ۱۳۸۸

۱۳۸۷۱۴

آقای عیسی قدیریان

پایان‌نامه به تاریخ ۸۸/۱۱/۱۸ شماره ۲۶۷-۱ مورد پذیرش هیات محترم داوران با رتبه و نمره (۱۸) قرار گرفت.

۱- استاد راهنما و رئیس هیئت داوران : محمدرضا شیدان

۲- استاد مشاور :

۳- داور خارجی :

۴- داور داخلی : علیرضا شاه نوری ۸۸/۱۲/۸

۶- نماینده تحصیلات تکمیلی : دکتر نوذری

حق طبع این مدرک متعلق به دانشگاه ... است

تقدیم به

پدر و مادر بزرگوارم

تقدیر و تشکر

اینک که کار نگارش این پایان‌نامه به یاری ایزدی به اتمام رسیده است، بر خود لازم می‌دانم از زحمات تمامی بزرگوارانی که هر یک در تهیه و گردآوری این تحقیق، یاریگر اینجانب بوده‌اند تشکر و قدردانی نمایم.

در ابتدا مراتب قدردانی و تشکر خود را از زحمات پدر، مادر و خانواده عزیزم که دلسوزانه در تمامی مراحل زندگی راهنما و پشتیبان همیشگی اینجانب بوده‌اند اعلام می‌دارم. از زحمات جناب آقای دکتر شیدایی استاد راهنمایم که در تهیه این پایان نامه همواره از راهنمایی‌های راه‌گشای ایشان برخوردار بودم، تشکر می‌نمایم. از اساتید بزرگوار، آقایان: دکتر سعید منیر و دکتر منافپور که زحمت داوری این پایان‌نامه را بر عهده داشتند، سپاس گزاری می‌نمایم. در انتها از تمامی دوستان عزیزم، آقایان: آرش نوروزی، محمد قلعه برخورداری، فرید حکمتی، مجتبی ابراهیمیان، علی سیفی، مهدی زارع، یاسر سام خانیانی، حسام الدین منصورنیا، ابراهیم ملا اکبری، ابراهیم عرب مختاری، سید علی حسینی، رحیم کیان، صلاح الدین زرین، منصور نادری، نیما وظیفه خواه، سجاد نصیری، فرهاد خلیلی، سالار زارعی، سعید یاورزاده، عسگر عباداللهی، امید حقیقی، سید علی میر مقتدایی، محمد کوشا، مصطفی ملاعلی، علی اکبر حسنی، مهران زمانی، حسین کاظمی، مرتضی ثابت، علی جهانگیری، حسین کردار، محی‌الدین دشتی، سید کاظم طوهامی، محسن فرضی، بهمن ملکی پور، اسدالله آقاگلی و علی احمدی‌نژاد تشکر می‌نمایم.

فهرست مطالب

چکیده فارسی..... ۱

فصل اول: مقدمه

۱-۱- سازه‌های فضاکار ۲

۱-۲- سازه‌های فضاکار کش‌بستی..... ۳

۱-۳- لزوم بررسی گسیختگی ناگهانی کابل، در سازه‌های کش‌بستی..... ۴

۱-۴- اهداف و روند انجام تحقیق..... ۵

۱-۵- رئوس مطالب پایان نامه..... ۶

فصل دوم: سازه‌های فضا کار کش‌بستی

۲-۱- مقدمه..... ۷

۲-۲- تقسیم بندی سازه‌های فضاکار..... ۷

۲-۳- نقش کابل در سازه‌های فضاکار..... ۸

۲-۳-۱- سیستم‌های زنجیروار..... ۸

۲-۳-۲- سیستم‌های قوسی..... ۹

۲-۳-۳- سیستم‌های تیری..... ۱۱

۲-۴- سازه‌های کش‌بستی..... ۱۱

۲-۴-۱- مقدمه..... ۱۲

۲-۴-۲- سیمپلکس‌های کش‌بستی..... ۱۳

۲-۴-۳- مکانیک سازه‌های کش‌بستی و سازه‌های اتصال مفصلی دارای مکانیزم..... ۱۴

۲-۴-۴- طبقه بندی سیستم‌های اتصال مفصلی..... ۱۵

۲-۴-۴-۱- مشخصات سیستم‌های با هندسه شکل پذیر..... ۱۷

۲-۴-۵- شرایط تعادل سیمپلکس‌های کش‌بستی..... ۱۹

۲-۴-۶- فرم-یابی سازه‌های کش‌بستی..... ۲۱

۲-۴-۶-۱- کنترل فرم..... ۲۲

۲-۴-۶-۲- کنترل نیرو..... ۲۳

۲-۴-۶-۲-۱- رویکردهای فرم-یابی یک پارامتری..... ۲۳

۲-۴-۶-۲-۲- رویکردهای فرم-یابی چند پارامتری..... ۲۵

۲-۴-۶- بافتارهای مختلف سازه‌های کش‌بستی..... ۲۵

۲-۴-۷- چینش سلول‌های کش‌بستی..... ۲۵
۲-۴-۷-۱-بافتارهای ناپیوسته اعضای فشاری..... ۲۷
۲ -۴-۷-۲- بافتارهای صلب و انعطاف‌پذیر ناپیوسته اعضای فشاری..... ۲۸
۲-۴-۷-۲-۱- بافتارهای انعطاف پذیر..... ۲۸
۲-۴-۷-۲-۲- بافتارهای صلب هندسی..... ۳۰
۲-۴-۷-۳- بافتارهای پیوسته اعضای فشاری..... ۳۱
۲-۴-۷-۳-۱- بافتارهای صلب و انعطاف پذیر پیوسته اعضای فشاری..... ۳۱
۲-۵-خلاصه..... ۳۴

فصل سوم: مروری بر مطالعات انجام گرفته بر روی سازه‌های فضاکار کش‌بستی

۳-۱- مقدمه..... ۳۶
۳-۲- مروری بر مطالعات انجام گرفته بر روی سازه‌های کش‌بستی..... ۳۶
۳-۲-۱- مطالعات استاتیکی..... ۳۶
۳-۲-۲- مطالعات دینامیکی..... ۴۲
۳-۲-۳- کنترل..... ۴۳
۳-۲-۴- ریاضیات..... ۴۷
۳-۲-۵- بیولوژی..... ۴۸
۳-۳- مروری بر مطالعات انجام گرفته در زمینه حذف ناگهانی اعضا در سازه‌های فضاکار..... ۵۱
۳-۴- خرابی پیش‌رونده..... ۵۳
۳-۴-۱- روش‌های کاهش خرابی پیش‌رونده..... ۵۳
۳-۴-۱-۱- روش مسیر جایگزین خطی استاتیکی..... ۵۴
۳-۴-۱-۲- روش مسیر جایگزین غیر خطی استاتیکی..... ۵۵
۳-۴-۱-۳- روش مسیر جایگزین غیر خطی دینامیکی..... ۵۵
۳-۴-۲- مکانیزم‌های خرابی سازه‌های فضاکار با اتصالات مفصلی..... ۵۶
۳-۵- خلاصه..... ۵۸

فصل چهارم: بررسی تحلیلی مدل‌سازی گسیختگی کابل در سازه‌های کش‌بستی

۴-۱- مقدمه..... ۶۱
۴-۲- مدل‌سازی دینامیکی پدیده گسیختگی ناگهانی اعضای کششی..... ۶۲
۴-۳- بافتارهای مورد مطالعه..... ۶۴

۴-۳-۱-ترازهای پیش‌تنیدگی..... ۶۷
۴-۳-۲-ضرایب میرایی..... ۶۹
۴-۳-۳- رفتار تنش-کرنش محوری اعضای کششی و فشاری..... ۶۹
۴-۴- بررسی رفتار خرابی شبکه‌های تخت کش‌بستی تحت بارهای ثقلی..... ۷۱
۴-۵- بررسی اثرات گسیختگی ناگهانی کابل بر روی شبکه‌های تخت کش‌بستی..... ۷۲
۴-۵-۱- بررسی اثرات گسیختگی ناگهانی کابل بر روی شبکه شماره ۱ ..... ۷۳
۴-۵-۱-۱- نتایج تحلیل دینامیکی سازه به ازای گسیختگی کابل R_1..... ۷۴
۴-۵-۱-۲- نتایج تحلیل دینامیکی سازه به ازای گسیختگی کابل R_2..... ۷۸
۴-۵-۲- بررسی اثرات گسیختگی ناگهانی کابل بر روی شبکه شماره ۲ ..... ۸۴
۴-۵-۲-۱- نتایج تحلیل دینامیکی سازه به ازای گسیختگی کابل R_1..... ۸۴
۴-۵-۲-۲- نتایج تحلیل دینامیکی سازه به ازای گسیختگی کابل R_2..... ۸۹
۴-۶- بررسی اثرات گسیختگی ناگهانی کابل بر روی شبکه شماره ۳ ..... ۹۴
۴-۶-۱-۱- نتایج تحلیل دینامیکی سازه به ازای گسیختگی کابل R_1..... ۹۴
۴-۶-۱-۲- نتایج تحلیل دینامیکی سازه به ازای گسیختگی کابل R_2..... ۹۹
۴-۶-۲-مقایسه حساسیت شبکه‌های کش‌بستی مورد بررسی نسبت به حذف ناگهانی اعضای بحرانی..... ۱۰۴
۴-۷- جمع بندی و نتیجه گیری..... ۱۰۵

فصل پنجم: نتیجه گیری
۵-۱- مقدمه..... ۱۰۷
۵-۲- نتایج..... ۱۰۷
۵-۳- پیشنهاد برای تحقیقات آتی..... ۱۰۹

مراجع..... ۱۱۰

پیوست الف: فرم-یابی چند پارامتری و شرایط تعادل سیستم‌های مشبک فضاکار
الف-۱-فرم-یابی چند پارامتری..... ۱۱۷
الف-۱-۱- تعادل سیستم‌های مشبک خود-تنیده..... ۱۱۹
الف-۱-۲- پروسه فرم-یابی سیستم‌های مشبک خود-تنیده..... ۱۱۹

پیوست ب: مقاطع..... ۱۲۰

پیوست ج: ارزیابی صحت مدل‌سازی

ج-۱- مقایسه نتایج مدل‌سازی مولفان با Kebiche و همکاران ۱۲۲

پیوست د: نمودارهای نیروهای پیش‌تنیدگی اعضای شبکه‌های ۲ و ۳

د-۱- شبکه ۲ ..... ۱۲۵

د-۲- شبکه ۳ ..... ۱۲۶

چکیده انگلیسی ۱۲۷

عنوان و صفحه جداول

فصل دوم..... ۷

جدول ۲-۱: مشخصات سیستم‌های اتصال مفصلی..... ۱۶

فصل چهارم..... ۶۱

جدول ۴-۱: مشخصات مکانیکی و هندسی شبکه‌ها..... ۶۶

جدول ۴-۲: نتایج تحلیل مقادیر ویژه..... ۶۹

پیوست الف..... ۱۲۱

جدول ب-۱: مشخصات مقاطع لوله‌ای استفاده شده در شبکه‌های مورد برزسی..... ۱۲۱

جدول ب-۲: مشخصات مقاطع کابلی استفاده شده در شبکه‌های مورد بررسی..... ۱۲۱

عنوان و صفحه اشکال

فصل اول..... ۲

شکل ۱-۱: شبکه دولایه فضاکار..... ۲

شکل۱-۲: شبکه دولایه کش‌بستی..... ۳

شکل ۱-۳: اتصال توپ در کابل‌ها..... ۴

فصل دوم..... ۷

شکل ۲-۱: تقسیم‌بندی سازه‌های فضاکار..... ۷

شکل ۲-۲: سیستم‌های زنجیروار..... ۹

شکل ۲-۳: سازه‌های قوسی تقویت شده با کابل..... ۱۰

شکل ۲-۴: استفاده از کابل در پوسته‌های شبکه‌ای به عنوان عنصر پایدار کننده سازه..... ۱۱

شکل ۲-۵: نقش کابل در سازه‌های تیری..... ۱۱

شکل ۲-۶: سازه‌های کش‌بستی اولیه..... ۱۲

شکل ۲-۷: سیمپلکس‌های کش‌بستی..... ۱۳

شکل ۲-۸: چند وجهی‌های کش‌بستی..... ۱۴

شکل ۲-۹: مکانیزم محدود و بسیار محدود..... ۱۵

شکل ۲-۱۰: طبقه بندی سیستم‌های اتصال مفصلی..... ۱۶

شکل۲-۱۱: مشخصات مدل دو کابلی دارای مکانیزم..... ۱۸

شکل۲-۱۲: مشخصات مکانیکی مدل دو کابلی با تغییر مکان‌های اولیه متفاوت..... ۱۸

شکل۲-۱۳: کش‌بستی نامعین سینماتیکی..... ۱۹

شکل ۲-۱۴: کش‌بستی نامعین سینماتیکی..... ۱۹

شکل ۲-۱۵: هندسه متعادل بدون خود-تنیدگی..... ۲۰

شکل ۲-۱۶: رابطه r و θ..... ۲۰

شکل ۲-۱۷: منشوری‌های مراتب بالاتر با بیش از یک زاویه چرخش نسبی..... ۲۱

شکل ۲-۱۸:از چهار ضلعی به سیمپلکس چهار وجهی متقاطع Saint Andrew..... ۲۲

شکل ۲-۱۹: فرم-یابی به روش Emmerich..... ۲۳

شکل ۲-۲۰: سه ضلعی منشوری ساعتگرد وپادساعتگرد..... ۲۴

شکل ۲-۲۱: بافتارهای کش‌بستی با چینش یک طرفه..... ۲۶

شکل ۲-۲۲: چینش دو طرفه سلول‌های کش‌بستی و تشکیل شبکه کش‌بستی..... ۲۶

شکل ۲-۲۳: سلول تصحیح شده برای چینش سه‌بعدی..... ۲۶

فصل چهارم ۶۱
شکل ۴-۱: بافتار هندسی شبکه شماره ۱ ..... ۶۶
شکل ۴-۲: بافتار هندسی شبکه شماره ۲ ..... ۶۶
شکل ۴-۳: بافتار هندسی شبکه شماره ۳ ..... ۶۷
شکل ۴-۴: نمودار تنش در اعضای شبکه۱ به ازای پیش‌تنیدگی ۰/۸s ۶۸
شکل ۴-۵: نمودار تنش در اعضای شبکه ۱ به ازای پیش‌تنیدگیs ۶۸
شکل ۴-۶: نمودار تنش در اعضای شبکه ۱ به ازای پیش‌تنیدگی۱/۲s ۶۸
شکل ۴-۷: نمودار تنش-کرنش اعضای کششی ۷۰
شکل ۴-۸: نمودار بار-تغییر مکان محوری اعضای شبکه‌های ۱، ۲ و۳ ..... ۷۰
شکل ۴-۹: نمودار تنش- کرنش محوری ایده‌آلی اعضای فشاری شبکه‌های ۱، ۲ و۳ ..... ۷۰
شکل۴-۱۰: نمودار بار-تغییرمکان شبکه‌های مورد بررسی ۷۴
شکل ۴-۱۲: نمودار نیرو-تغییر مکان کابل R_1 ..... ۷۴
شکل ۴-۱۳: نمودار زمان-تغییرمکان گره ۱ به ازای گسیختگی کابلR_1 ..... ۷۴
شکل ۴-۱۴: نمودار تنش در اعضای شبکه ۱ به ازای گسیختگی کابل R_1 تحت پیش‌تنیدگی ۰/۸s ۷۵
شکل ۴-۱۵: نمودار تنش در اعضای شبکه ۱ به ازای گسیختگی کابل R_1 تحت پیش‌تنیدگی s ۷۶
شکل ۴-۱۶: نمودار تنش در اعضای شبکه ۱ به ازای گسیختگی کابل R_1 تحت پیش‌تنیدگی ۱/۲s ۷۷
شکل ۴-۱۷: نمودار تنش-پیش‌تنیدگی به ازای گسیختگی کابل R_1 در اعضای بحرانی شبکه ۱ ..... ۷۸
شکل ۴-۱۸: نمودار نیرو-تغییر مکان کابل R_2 ..... ۷۹
شکل ۴-۱۹: نمودار زمان-تغییرمکان گره۱ به ازای گسیختگی کابلR_2 ..... ۷۹
شکل ۴-۲۰: نمودار زمان-تغییرمکان گره۲ به ازای گسیختگی کابلR_2 ..... ۷۹
شکل ۴-۲۱: نمودار تنش در اعضای شبکه ۱ به ازای گسیختگی کابل R_2 تحت پیش‌تنیدگی ۰/۸s ۸۰
شکل ۴-۲۲: نمودار تنش در اعضای شبکه ۱ به ازای گسیختگی کابل R_2 تحت پیش‌تنیدگی s ۸۱
شکل ۴-۲۳:نمودار تنش در اعضای شبکه ۱ به ازای گسیختگی کابل R_2 تحت پیش‌تنیدگی ۱/۲s ۸۲
شکل ۴-۲۴: نمودار تنش-پیش‌تنیدگی در اعضا به ازای گسیختگی کابل R_2 در اعضای بحرانی شبکه ۱ ..... ۸۳
شکل ۴-۲۵: نمودار بار- تغییر مکان شبکه ۱ به ازای پیش‌تنیدگی ۰/۸s ۸۳
شکل ۴-۲۶: نمودار بار-تغییر مکان شبکه ۱ به ازای پیش‌تنیدگیs ۸۳
شکل۴-۲۷: نمودار بار-تغییر مکان شبکه ۱ به ازای پیش‌تنیدگی ۱/۲s ۸۳
شکل ۴-۲۸: اعضای بحرانی شبکه شماره ۲ ..... ۸۵
شکل ۴-۲۹: نمودار نیرو- تغییر طول کابلR_1 ..... ۸۵
شکل ۴-۳۰: نمودار زمان-تغییرمکان گره ۱ به ازای گسیختگی کابلR1 ..... ۸۵

شکل ۴-۳۱:نمودار تنش در اعضای شبکه ۲ به ازای گسیختگی کابل R_1 تحت پیش‌تنیدگی ۰/۸s ۸۶
شکل ۴-۳۲: نمودار تنش در اعضای شبکه ۲ به ازای گسیختگی کابل R_1 تحت پیش‌تنیدگی s ۸۷
شکل ۴-۳۳: نمودار تنش در اعضای شبکه ۲ به ازای گسیختگی کابل R_1 تحت پیش‌تنیدگی ۱/۲s ۸۸
شکل ۴-۳۴:نمودار تنش-پیش‌تنیدگی در اعضا به ازای گسیختگی کابل R_1 در اعضای بحرانی شبکه ۲ ..... ۸۹
شکل ۴-۳۵: نمودار زمان-تغییرمکان گره ۱ به ازای گسیختگی کابل R_2 ..... ۹۰
شکل ۴-۳۶: نمودار نیرو-تغییرطول کابل R2 ..... ۹۰
شکل ۴-۳۷:نمودار بار-تغییر مکان شبکه۲ (پیش‌تنیدگی ۰/۸s) ۹۰
شکل ۴-۳۸: نمودار بار-تغییر مکان شبکه ۲ (پیش‌تنیدگیs) ۹۰
شکل ۴-۳۹: نمودار بار-تغییر مکان شبکه ۲(پیش‌تنیدگی ۱/۲s) ۹۰
شکل ۴-۴۰: نمودار تنش در اعضای شبکه ۲ به ازای گسیختگی کابل R_2 با پیش‌تنیدگی ۰/۸s ۹۱
شکل ۴-۴۱: نمودار تنش در اعضای شبکه ۲ به ازای گسیختگی کابل R_2 با پیش‌تنیدگی s ۹۲
شکل۴-۴۲:نمودار تنش در اعضای شبکه ۲ به ازای گسیختگی کابل R_2 با پیش‌تنیدگی ۱/۲s ۹۳
شکل ۴-۴۳: نمودار تنش-پیش‌تنیدگی در اعضا به ازای گسیختگی کابل R_2 در اعضای بحرانی شبکه ۲ ..... ۹۴
شکل ۴-۴۴: سازه شماره ۳ ..... ۹۵
شکل ۴-۴۵: نمودار بار-تغییر طول کابل R_1 ..... ۹۵
شکل ۴-۴۶: نمودار زمان-تغییرمکان گره ۱ به ازای گسیختگی کابل R_1 ..... ۹۵
شکل ۴-۴۷: نمودار تنش در اعضای شبکه ۳ به ازای گسیختگی کابل R_1 تحت پیش‌تنیدگی ۰/۸s ۹۶
شکل ۴-۴۸: نمودار تنش در اعضای شبکه ۳ به ازای گسیختگی کابل R_1 تحت پیش‌تنیدگی s ۹۷
شکل ۴-۴۹: نمودار تنش در اعضای شبکه ۳ به ازای گسیختگی کابل R_1 تحت پیش‌تنیدگی ۱/۲s ۹۸
شکل ۴-۵۰: نمودار تنش-پیش‌تنیدگی در اعضا به ازای گسیختگی کابل R_1 در اعضای بحرانی شبکه ۳ ..... ۹۹
شکل ۴-۵۱: نمودار زمان-تغییرمکان گره ۱ به ازای گسیختگی کابل R_2 ..... ۱۰۰
شکل ۴-۵۲:نمودار بار-تغییر طول کابلR2 ..... ۱۰۰
شکل ۴-۵۳: نمودار بار-تغییرمکان شبکه ۳(پیش‌تنیدگی ۰/۸s) ۱۰۰
شکل ۴-۵۴: نمودار بار-تغییرمکان شبکه ۳(پیش‌تنیدگی s) ۱۰۰
شکل ۴-۵۵: نمودار بار-تغییرمکان شبکه ۳(پیش‌تنیدگی ۱/۲s) ۱۰۰
شکل ۴-۵۶: نمودار تنش در اعضای شبکه ۳ به ازای گسیختگی کابل R_2 تحت پیش‌تنیدگی ۰/۸s ۱۰۱
شکل ۴-۵۷: نمودار تنش در اعضای شبکه ۳ به ازای گسیختگی کابل R_2 تحت پیش‌تنیدگی s ۱۰۲
شکل ۴-۵۸: نمودار تنش در اعضای شبکه ۳ به ازای گسیختگی کابل R_2 تحت پیش‌تنیدگی ۱/۲s ۱۰۳
شکل ۴-۵۹: نمودار تنش-پیش‌تنیدگی در اعضا به ازای گسیختگی کابل R_2 در اعضای بحرانی ۱۰۴
شکل ۴-۶۰: نمودار پیش‌تنیدگی در مقابل نسبت ظرفیت باربری نهایی سازه معیوب(حذف R_1) بر ظرفیت نهایی باربری

سازه کامل تحت بارهای ثقلی..... ۱۰۵

پیوست ج..... ۱۲۲

شکل ج-۱: مشخصات هندسی و بارگذاری سیستم چهار عضو فشاری..... ۱۲۲

شکل ج-۲: رفتار کششی و فشاری سیستم کش‌بستی چهار عضو فشاری..... ۱۲۳

شکل ج-۳: رفتار خمشی سیستم کش‌بستی چهار عضو فشاری..... ۱۲۳

پیوست د..... ۱۲۶

شکل د- ۱: نمودار تنش در اعضای شبکه۲ به ازای پیش‌تنیدگی ۰/۸s..... ۱۲۵

شکل د-۲: نمودار تنش در اعضای شبکه۲ به ازای پیش‌تنیدگیs..... ۱۲۵

شکل د-۳: نمودار تنش در اعضای شبکه۲ به ازای پیش‌تنیدگی۱/۲s..... ۱۲۵

شکل د-۴: نمودار تنش در اعضای شبکه۳ به ازای پیش‌تنیدگی ۰/۸s..... ۱۲۶

شکل د-۵: نمودار تنش در اعضای شبکه۳ به ازای پیش‌تنیدگیs..... ۱۲۶

شکل د-۶: نمودار تنش در اعضای شبکه۳ به ازای پیش‌تنیدگی۱/۲s..... ۱۲۶

چکیده:

سازه‌های فضاکار به گروهی از سازه‌ها اطلاق می‌شود که رفتار مسلط سه بعدی دارند. عملا اصطلاح سازه فضاکار برای مجموعه خانواده‌ای از سازه‌ها استفاده می‌شود که شامل شبکه‌ها، طاقها، برجها، شبکه‌های کابلی، سیستم‌های پوسته‌ای و غشایی، ساختارهای تاشو و ترکیبات کش‌بستی می‌شود. سیستم‌های کش‌بستی، سیستم‌های مشبک فضا کاری هستد که سختی آنها به وسیله حالت خود تنیدگی در تعادل بین اعضای کششی و فشاری ایجاد می‌شود. اعضای سازه‌های کش‌بستی را از نظر نوع عملکرد، اعضای منحصرا کششی یا کابل و اعضای فشاری یا میله تشکیل می‌دهند. به علت وجود کابل در سیستم‌های کش‌بستی، سختی این سازه‌ها در نتیجه خودتنیدگی که منجر به حذف مکانیزم‌های بسیار محدود در این سیستم‌ها می‌شود، حاصل می‌گردد.

تاکنون توجه تعدادی از محققان فعال در زمینه سازه های فضاکار به بررسی رفتار پایداری و استخراج پاسخ‌های دینامیکی سازه‌های فضاکار خرپایی در اثر حذف ناگهانی و تدریجی اعضا جلب شده است؛ اما متاسفانه علیرغم نقش بسیار با اهمیت کابل در سیستم‌های کش‌بستی و پیرو آن اهمیت خرابی آنها، تاکنون تحقیقات در خور توجهی در این زمینه صورت نگرفته است. در این تحقیق سعی شده است با بررسی اثرات گسیختگی ناگهانی کابل بر روی سه شبکه کش‌بستی نمونه، تحت ترازهای مختلف پیش‌تنیدگی، به ارزیابی حساسیت این نوع از سازه‌ها در مقابل خرابی پیش‌رونده پرداخته شود.

در این تحقیق ابتدا سازه‌های کش‌بستی تعریف و بافتارهای متفاوت آنها توصیف شده است. سپس به مرور مهمترین تحقیقات انجام شده در زمینه سازه‌های کش‌بستی و همچنین معرفی خرابی پیش‌رونده و راه‌های جلو گیری از این پدیده پرداخته شده است. سپس، پس از تایید صحت مدل‌سازی المان محدود، اقدام به مدل‌سازی پدیده گسیختگی ناگهانی کابل و بررسی اثرات آن بر روی رفتار پایداری سازه که شامل تغییر ناگهانی در خیز سازه و افزایش قابل توجه تنش در بعضی از اعضا بوده، پرداخته شده است. در پایان با استفاده از روش مسیر جایگزین غیر خطی دینامیکی، حساسیت سازه‌های تخت کش‌بستی با در نظر گرفتن پارامترهای مختلف طراحی این سازه‌ها، در مقابل گسیختگی ناگهانی اعضای کششی مورد ارزیابی قرار گرفته است. مهمترین نتایجی که از این تحقیق حاصل شد عبارت بودند از: علی‌رغم اثرات شدید دینامیکی گسیختگی ناگهانی کابل در شبکه‌های تخت کش‌بستی، به علت انعطاف‌پذیری و تمامیت سازه‌ای بالای این سازه‌ها و همچنین مکانیزم منحصر به فرد آنها در بازتوزیع نیروهای دینامیکی ناشی از خرابی ناگهانی اعضای کابلی، این سازه‌ها را می‌توان سازه‌هایی مقاوم در برابر خرابی پیش‌رونده دانست؛ با بزرگتر شدن نسبت طول به دهانه این سازه‌ها، به دلیل افزایش تعداد اعضا، حساسیت این سازه‌ها نسبت به گسیختگی ناگهانی اعضای کابلی کاهش یافته و مسیرهای جایگزین بیشتری برای باز توزیع نیروها فراهم می‌شود؛ با افزایش نسبت طول به دهانه این سازه‌ها و کاهش حساسیت آنها نسبت به گسیختگی ناگهانی اعضای کابلی، تحلیل استاتیکی سازه(با حذف عضو) با تقریب قابل قبولی می‌تواند برای ارزیابی مقاومت این سازه‌ها در مقابل خرابی ناگهانی کابل مورد استفاده قرار گیرد.

فصل اول

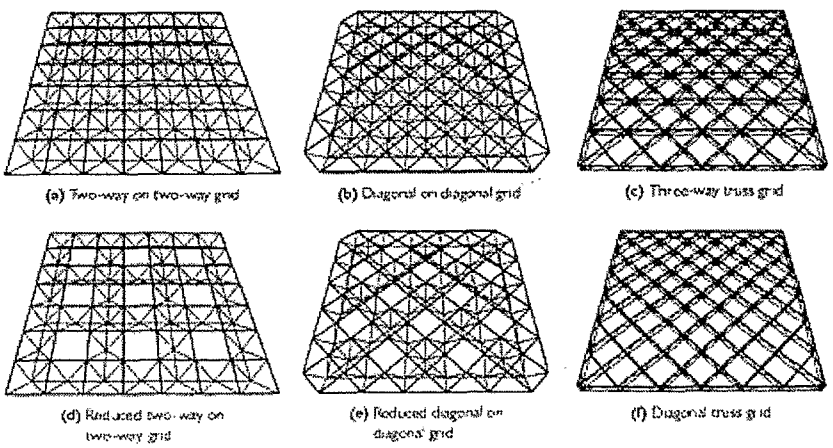
مقدمه

۱-۱- سازه‌های فضاکار[1]

سازه‌های فضاکار به گروهی از سازه‌ها اطلاق می‌شود که رفتار مسلط سه بعدی دارند. در این سازه‌ها بر خلاف سازه‌های مسطح نظیر خرپای صفحه‌ای، مجموعه تاشه، بارهای خارجی، نیروهای داخلی و تغییر مکان‌های سازه‌ای فقط در فضای سه بعدی قابل تعریف می‌باشند. به عبارت دیگر یک سازه فضا کار را به هیچ روی نمی‌توان به صورت یک سیستم صفحه‌ای، تصور، تحلیل و طراحی نمود.

معرفی فوق، یک تعریف ریخت شناسانه از سازه‌های فضاکار است. درهرحال عملا به مجموعه سازه‌های مشابهی سازه فضاکار اطلاق می‌شود که شامل شبکه‌ها، طاق‌ها، برج‌ها، شبکه‌های کابلی، سیستم‌های پوسته‌ای و غشایی[2]، ساختارهای تاشو[3] و ترکیبات کش‌بستی[4] می‌شود. این سازه های اشکال بسیار متنوعی را به خود می‌گیرند و مصالح مختلفی نیز از جمله فولاد، آلومینیوم، چوب، بتن، ترکیبات مسلح شده با الیاف شیشه و یا مواد ترکیبی در ساخت آنها به‌کار می‌روند. شاید بشود در یک تقسیم بندی کلی، سازه‌های فضاکار را به سه دسته زیر تقسیم کرد:

۱- سازه های فضاکار مشبک[5]: شامل اجزای جدا ازهم، عمدتا کشیده و میله‌ای به همراه عناصر گره‌ای هستند(شکل ۱-۱)؛



شکل ۱-۱: شبکه دولایه فضاکار

1. Space Structure
2. Membranes
3. Foldable Assemblies
4. Tensegrity
5. Lattice Space Structure

۲- سازه‌های فضاکار ممتد[1]: مانند دالها، پوسته‌ها و غشاءها؛

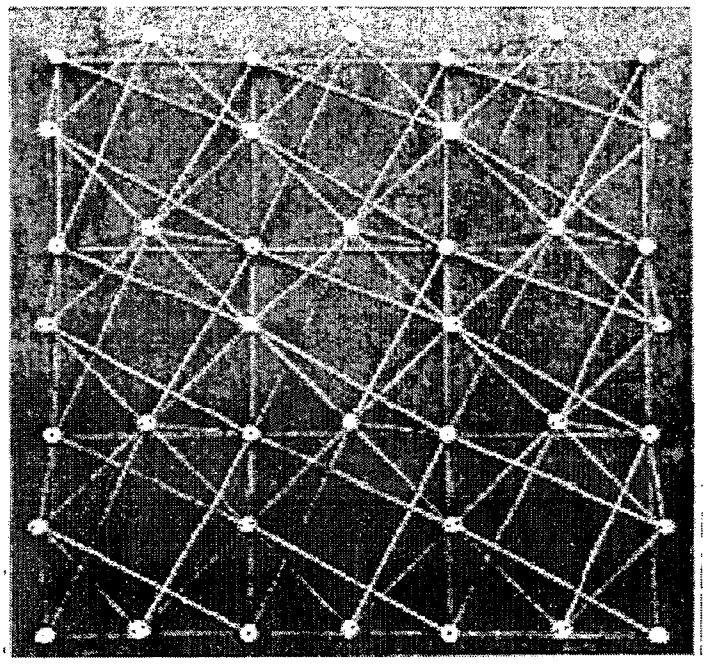
۳- سازه‌های فضاکار دوشکلی[2]: ترکیبی از اجزای مجزا و ممتد هستند.

۱-۲- سازه‌های فضاکار کش‌بستی:

از ساخت اولین سازه کش‌بستی توسط Johanson کمتر ار ۹۰ سال می‌گذرد، بنابراین می‌توان این نوع از سازه‌ها را جوانترین عضو خانواده بزرگ سازه‌های فضا کار نامید(Motro, 1992) . "سیستم‌های کش‌بستی، سیستم‌های مشبک فضا کاری هستد که سختی آنها به وسیله حالت خود-تنیدگی[3] ایجاد می‌شود"، تعریف فوق که توسط Motro بیان شده است را شاید بتوان جامع‌ترین تعریفی دانست که تاکنون از سازه‌های کش‌بستی به عمل آمده است.

اعضای تشکیل دهنده سازه‌های کش‌بستی از نظر نوع عملکرد عبارتند از اعضای منحصرا کششی وفشاری که به ترتیب با نام‌های کابل[4] و میله[5] شناخته می‌شوند(شکل۱-۲). در این سیستم‌ها به هرگره حداقل یک عضو فشاری و سه عضو کششی متصل می‌باشند (Honor, 1994). به علت وجود کابل در سیستم‌های کش‌بستی، سختی این سازه‌ها در نتیجه خود-تنیدگی که منجر به حذف مکانیزم‌های بسیار محدود در این سیستم‌ها می‌شود، حاصل می‌گردد(Motro 2003).

از مهمترین مزایای سازه‌های کش‌بستی می‌توان به شکل‌پذیری بالا، سبکی و زیبایی معماری منحصر به فرد این سازه‌ها اشاره کرد.



شکل۱-۲: شبکه دولایه کش‌بستی(Motro, 2003)

1. Continues space Structure
2. Biform Space Structure
3. Self Stressing
4. Cable
5. Strut

۱-۳- لزوم بررسی گسیختگی[1] ناگهانی کابل، در سازه‌های کش‌بستی

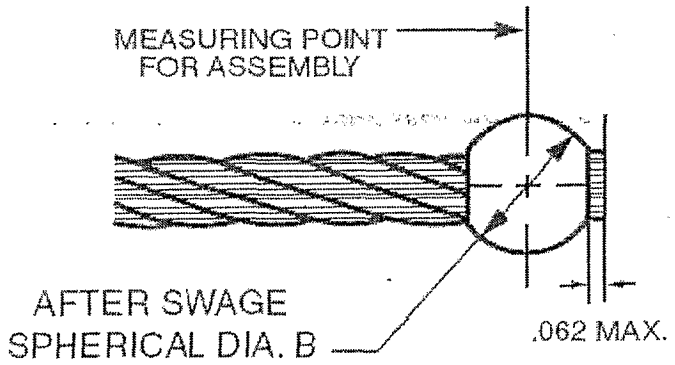
یکی از عواملی که می‌تواند منجر به حذف ناگهانی یک عضو از سیستم سازه‌ای شود ضعف در اتصالات اعضا می‌باشد، اتصال کابل در سیستم‌های سازه‌ای با دشواری‌های خاص خود همراه می‌باشد، به عنوان مثال اتصال توپ که برای اتصال کابل در سیستم‌های سازه‌های به کار می‌رود(شکل ۱-۳) و در سیستم‌های کش‌بستی بیشترین رواج را دارد، در بهترین شرایط اجرا تنها قادر به تحمل ۸۰٪ ظرفیت نهایی عضو می‌باشد(CarlStahl, 2006). با توجه به تعداد بسیار زیاد این اتصالات در سازه‌های کش‌بستی(به ازای هر کابل دو عدد) و احتمال وجود خطا در اجرا طبیعی است که می‌بایست خطر حذف ناگهانی کابل در این سیستم‌ها بر اثر ضعف در اتصالات در نظر گرفته شود. از دیگر عواملی که باعث ایجاد گسیختگی در اعضای کابلی می‌شوند، می‌توان به ضعف مصالح، ضربه، انفجار، عملیات‌های خرابکاری و... اشاره کرد.

به طور کلی از مهمترین علل برای بررسی اثرات گسیختگی ناگهانی کابل، می‌توان به موارد ذیل اشاره کرد:

۱- مطالعات علمی زیادی در مورد بررسی رفتار پایداری سازه‌های فضاکار، پس از ایجاد خرابی در اعضای آنها، صورت گرفته است، ولی به علت اینکه مکانیزم پایداری سازه‌های کش‌بستی کاملا متفاوت از دیگر سازه‌های فضاکار می‌باشد، نتایج به دست آمده از تحقیقات فوق به هیچ وجه قابل تعمیم به سازه‌های کش‌بستی نیست.

۲- کابل را می‌توان عضو منحصر به فرد سازه‌های کش‌بستی نامید، به گونه‌ای که اصولا این سازه‌ها بدون وجود کابل قابل تعریف نمی‌باشد. بیشتر مطالعات مشابه انجام گرفته در زمینه گسیختگی اعضای کششی مربوط به پیش گسیختگی اعضای کششی می‌باشد و تاکنون مطالعات جامعی در مرحله پس‌گسیختگی اعضای کششی صورت نگرفته‌است.

۳- گسیختگی ناگهانی اعضای کششی در سازه‌های کش‌بستی دارای ماهیتی کاملا دینامیکی است که باعث ایجاد نیروهای اضافی در اعضای سازه‌ای می‌شود و ممکن است منجر به خرابی پیش‌روند در سازه شود.



شکل ۱-۳: اتصال توپ در کابل‌ها(CarlStahl, 2006)

1. Rupture

۴- بیشتر تحقیقات مشابه انجام گرفته در زمینه گسیختگی اعضای کششی در سازه‌های کش‌بستی، بر اساس تحلیل‌های استاتیکی بوده که برای مدل سازی پدیده گسیختگی ناگهانی کابل، که دارای ماهیتی دینامیکی است، مناسب نمی‌باشد.

۵ - نبود آیین نامه‌ای جامع برای سازه‌های فضاکار مشکلات زیادی را برای طراحان ایجاد کرده است که این امر در ارتباط با سازه‌های کش‌بستی بیش از دیگر سازه‌های فضاکار نمود پیدا می‌کند. مطالعه اثرات دینامیکی گسیختگی ناگهانی اعضای کابلی در رفتار خرابی سازه، شامل تغییرات ناگهانی در نیروی اعضا، ایجاد سرعت وشتاب در گره‌ها، تغییرات آنی در خیز، کاهش سختی و همچنین ارزیابی بروز خرابی پیش‌رونده در سازه جهت ایجاد آیین نامه مختص سازه‌های فضاکار بسیار مفید می‌نماید.

با توجه به مطالب اشاره شده در بالا لزوم بررسی دقیقتر رفتار پایداری سازه‌های کش‌بستی، برای نیل به طراحی ایمن و اقتصادی این سازه‌ها بیش از پیش احساس می‌شود.

۱-۴- اهداف و روند انجام تحقیق

با توجه به نقش لاینفک کابل در سازه‌های کش‌بستی و لزوم تحقیقات بیشتر در زمینه بررسی رفتار پایداری این سازه‌ها، در این پروژه سعی شده است تا اثرات گسیختگی ناگهانی کابل بر روی رفتار پایداری سازه‌های کش‌بستی تخت، مورد بررسی قرار گیرد ودر پایان حساسیت این سازه در مواجهه با خطر بروز خرابی پیش‌رونده بر اثر گسیختگی ناگهانی اعضای کابلی، مورد ارزیابی قرار گیرد.

مطالعات انجام شده در این زمینه بر روی سه شبکه دولایه‌ای متشکل از واحدهای چهار گوش هرمی[1] که به صورت پیوسته عضو فشاری به یکدیگر اتصال یافته‌اند، انجام گرفته‌است.

خلاصه اهداف مورد نظر در این پایان نامه شامل موارد زیر می‌باشد:

۱- مدل سازی عناصر محدود سازه‌های کش‌بستی؛

۲- شبیه سازی گسیختگی ناگهانی کابل و وارد نمودن اثرات دینامیک این پدیده در مدل‌سازی؛

۳- بررسی پایداری سازهای کش‌بستی بعد از گسیختگی ناگهانی اعضای کششی بحرانی این سازه‌ها؛

۴ - ارزیابی ظرفیت نهایی سازه‌های کش‌بستی بعد از ایجاد گسیختگی در اعضای کششی؛

۵- مقایسه نتایج تحلیل‌های دینامیکی با استاتیکی؛

۶- ارزیابی حساسیت سازه‌های تخت کش‌بستی در مواجه با خرابی پیش‌رونده.

1. Square truncated pyramid

۱-۵- رئوس مطالب پایان نامه

در ادامه رئوس مطالب پایان‌نامه به تفکیک هر فصل به قرار ذیل خواهد بود:

مطالب این پایان نامه در پنج فصل تنظیم شده است. در فصل اول به عنوان مقدمه کار، به معرفی اجمالی سیستم-های کش‌بستی و همچنین روند کار این تحقیق پرداخته شد.

در فصل دوم ابتدا به تعریف سازه‌های کش‌بستی پرداخته شده و مفاهیم بنیادی که در ارتباط با کش‌بستی‌ها وجود دارد از قبیل شکل‌یابی و مکانیزم‌های موجود در این نوع از سازه‌ها، شرح داده می‌شود. در ادامه این فصل انواع روش‌های اتصال سیمپلکس‌های کش‌بستی و همچنین بافتارهای پیوسته و ناپیوسته عضو فشاری ایجاد شده با این روش‌های اتصال، که به صورت شبکه‌های صلب و یا انعطاف‌پذیر هندسی می‌باشند، معرفی می‌گردند.

فصل سوم این تحقیق به مرور مطالعات انجام شده بر روی سازه‌های کش‌بستی اختصاص یافته‌است. بخش اعظم این فصل به مروری بر مطالعات انجام گرفته بر روی رفتار استاتیکی و دینامیکی، مباحث مربوط به ریاضیات و فرم-یابی و زمینه‌های تحقیقاتی کنترل و بیولوژی سازه‌های کش‌بستی اختصاص دارد. در ادامه این فصل به بررسی تحقیقات انجام شده در زمینه حذف عضو و خرابی پیش‌رونده در سازه‌های فضاکار و کش‌بستی پرداخته می‌شود.

در فصل چهارم ابتدا به معرفی پدیده گسیختگی ناگهانی کابل و توضیحاتی در مورد نحوه مدل‌سازی تئوریک این پدیده پرداخته می‌شود. در ادامه شبکه‌های تخت کش‌بستی مورد بررسی در این تحقیق و نحوه طراحی آنها شرح داده می-شود. در بخش بعدی این فصل پس از ارائه توضیحاتی پیرامون نحوه مدل‌سازی گسیختگی ناگهانی کابل، نوع تحلیل‌های انجام گرفته به وسیله نرم افزار و همچنین نحوه شناسایی اعضای بحرانی سازه، اقدام به بررسی اثرات دینامیکی و استاتیکی گسیختگی ناگهانی اعضای کابلی بحرانی سازه، در تراز بار بهره‌برداری سازه شده و اثرات دینامیکی ناشی از این پدیده بر روی رفتار خرابی سازه، شامل تغییرات ناگهانی در نیروی اعضا، ایجاد سرعت وشتاب در گره‌ها، تغییرات آنی در خیز و کاهش سختی سازه، با استفاده از نرم افزار المان محدود ABAQUS و با انجام تحلیل دینامیکی غیر خطی، مورد مطالعه قرار می‌گیرد. در ادامه مقادیر پاسخ دینامیکی واکنش اعضا با مقادیر متناظر بدست آمده از تحلیل استاتیکی غیرخطی مقایسه شده ودر پایان حساسیت سازه در مواجهه با خطر بروز خرابی پیش‌رونده بر اثر گسیختگی ناگهانی اعضای کابلی، مورد ارزیابی قرار می‌گیرد.

فصل آخر پایان‌نامه به ارائه نتایج بدست آمده از فصل پنجم اختصاص می‌یابد.