بسم الله الرحمن الرحيم

٤٦/٨٢

پایان‌نامه کارشناسی ارشد

۱۳۸۲ /۶/ ۱۰

مدلسازی تحلیلی روشهای RBS و HAUNCH
در مقاوم‌سازی لرزه‌ای اتصالات صلب فولادی و مقایسه فنی آنها

دانشجو: نوید نستار

استاد راهنما: دکتر فریبرز ناطقی الهی

۴۹۱۸۲

استاد راهنما:

دکتر فریبرز ناطقی الهی

استاد مدعو:

دکتر محمود یحیایی

۱۳۸۲ /۶/ ۱۰

استاد ممتحن داخلی:

دکتر عبدالرضا سروقدمقدم

مدیر تحصیلات تکمیلی:

فهرست مندرجات

عنوان	صفحه
۱- مرور ادبیات فنی	۲
۱-۱- مقدمه	۳
۱-۲- مرور مکتوبات	۴
۲- خرابیهای رایج در اتصالات قبل از نورثریج	۱۳
۲-۱- خرابی تیر	۱۵
۲-۲- خرابی بال ستون	۱۷
۲-۳- خرابیها، نقوص و ناپیوستگی‌های جوش	۱۹
۲-٤- خرابی وصله برشی	۲۱
۲-۵- خرابی منطقه گره	۲۲
۳- اصول و روشهای مقاوم‌سازی لرزه‌ای اتصالات صلب فولادی	۲۴
۳-۱- مقاوم‌سازی لرزه‌ای	۲۵
۳-۱-۱- آئین‌نامه‌ها و استانداردهای موجود	۲۵
۳-۱-۲- اهداف و معیارهای مقاوم‌سازی	۲۶
۳-۱-۲-۱- مقاوم‌سازی ساده شده	۲۷
۳-۱-۲-۲- مقاوم‌سازی سیستماتیک	۲۸
۳-۲- روشهای مقاوم‌سازی اتصالات صلب فولادی	۲۹
۳-۲-۱- جزئیات اتصالات واجد شرایط	۲۹
۳-۲-۲- روشهای مقاوم‌سازی مورد تأیید برای اتصالات از طریق قوی کردن اتصال	۲۹
۳-۲-۲-۱- اتصال دارای بال جوش شده غیرمسلح بهبود یافته	۳۰
۳-۲-۲-۲- اتصال دارای بازوی جوش شده در پائین	۳۴
۳-۲-۲-۳- اتصال دارای بازوی جوش شده در پائین و بالا	۳۵
۳-۲-۲-٤- اتصال دارای ورق تقویت کننده بال	۳۸

فهرست مندرجات

عنوان	صفحه
۳-۲-۳- روش ضعیف کردن مقطع تیر یا کاهش مقطع تیر (RBS)	۳۹
۳-۲-٤- قابهای ممانگیر و اتصالات صلب جدید	۴۱
۳-۲-۵- اتصالات انحصاری	۴۲
۳-۲-۵-۱- اتصال با ورق جانبی	۴۳
۳-۲-۵-۲- اتصال با شکاف جان	۴۴
۳-۲-۵-۳- اتصال طاقچه پیچ شده	۴۶
٤- بررسی و توضیحات درخصوص روش RBS	۴۸
٤-۱- معرفی روش RBS	۴۹
٤-۲- مزایای اتصال دارای تیر با مقطع کاهش یافته (RBS)	۵۰
٤-۳- استخوان شعاعی و برتری آن نسبت به سایر استخوانها	۵۳
٤-٤- مروری بر نتایج آزمایشات روی نمونه‌های RBS	۵۶
٤-۵- طراحی RBS	۵۷
٤-۵-۱- اندازه‌های RBS	۶۰
٤-۵-۲- روش گام به گام برای طراحی مقطع RBS	۶۰
٤-۵-۳- نکات اضافی مهم در طراحی مقاطع RBS	۶۵
۵- بررسی و توضیحات کامل درخصوص روش HAUNCH	۶۹
۵-۱- معرفی	۷۰
۵-۲- نتایج آزمایشهای موجود	۷۱
۵-۳- مدلسازی تحلیلی اتصال دارای بازو (HAUNCH)	۷۱
۵-٤- انتقال نیروی برشی و توزیع تنشهای داخلی	۷۳
۵-۵- مدل ساده شده اتصال دارای بازوی جوش شده	۷۴
۵-۵-۱- دیاگرام ممان تیر	۷۴

فهرست مندرجات

عنوان	صفحه
۵-۵-۲- سازگاری تغییرشکلها بین تیر و بازو	۷۵
۵-۶- تنشهای کششی در جوشهای شیاری بال تیر	۷۷
۵-۷- اندازه بال بازو	۷۹
۵-۸- اندازه جان بازو	۸۱
۵-۹- ملاحظات دیگر در طراحی	۸۱
۵-۹-۱- ابعاد هندسی اولیه بازو	۸۱
۵-۹-۲- نیروی برشی و ممان پلاستیک طراحی تیر	۸۲
۵-۹-۲-۱- مقاومت جاری شدن مورد انتظار فولاد	۸۲
۵-۹-۲-۲- ضریب افزایش مقاومت مصالح	۸۲
۵-۹-۳- شرایط ستون قوی – تیر ضعیف	۸۴
۵-۹-۴- مقاومت برشی منطقه گره دوگانه	۸۵
۵-۹-۵- مقاومت برشی اتصال موجود جان تیر	۸۵
۵-۹-۶- طراحی جوش	۸۶
۵-۹-۷- سخت‌کننده‌های مورب جان تیر	۸۵
۵-۹-۸- ورقهای پیوستگی	۸۶
۵-۱۰- روش گام به گام جهت طراحی بازوی جوش شده	۸۶
۵-۱۱- نتیجه‌گیری	۸۷
۶- بررسی آزمایشات انجام شده روی نمونه‌های RBS و HAUNCH	۸۸
۶-۱- روشهای مقاوم‌سازی بکار رفته روی نمونه‌های آزمایش و ملاحظات طراحی آنها	۸۹
۶-۱-۱- دلایل اصلی رفتار ضعیف اتصالات ممانگیر قبل از نورثریج	۸۹
۶-۱-۲- دو روش مقاوم‌سازی بکار رفته (RBS و HAUNCH)	۸۹
۶-۱-۲-۱- روش RBS	۹۰
۶-۱-۲-۲- روش HAUNCH	۹۰

فهرست مندرجات

عنوان	صفحه
۶-۱-۳- ملاحظات دیگر	۹۰
۶-۲- هدف از آزمایشها	۹۱
۶-۳- شرح نمونه‌های آزمایشی	۹۱
۶-۳-۱- جزئیات اتصالات RBS	۹۳
۶-۳-۲- جزئیات اتصالات HAUNCH	۹۳
۶-۳-۳- جزئیات دال بتنی	۹۴
۶-۴- پروسه انجام آزمایش	۹۵
۶-۵- رفتار سایکلیک نمونه‌های RBS	۹۶
۶-۵-۱- نمونه‌های NIST-1C و NIST-1 (نمونه‌های RBS)	۹۶
۶-۵-۱-۱- *رفتار عمومی و مدهای خرابی*	۹۶
۶-۵-۱-۲- *پاسخ مشاهده شده*	۹۷
۶-۵-۲- نمونه‌های RBS بهبود یافته (NIST-3C و NIST-3)	۱۰۰
۶-۵-۲-۱- *رفتار عمومی و مد خرابی*	۱۰۰
۶-۵-۲-۲- *پاسخ مشاهده شده*	۱۰۰
۶-۶- رفتار سایکلیک نمونه‌های HAUNCH (NIST-2C و NIST-2)	۱۰۲
۶-۶-۱- رفتار عمومی و مد خرابی	۱۰۲
۶-۶-۲- پاسخ مشاهده شده	۱۰۲
۶-۷- اثرات دال بر رفتار اتصالات ممانگیر فولادی	۱۰۶
۶-۷-۱- الگوهای ترک خوردگی دال	۱۰۶
۶-۷-۲- پروفیل کرنش در دال بتنی	۱۰۶
۶-۷-۳- پروفیل کرنش در عمق تیر	۱۰۷
۶-۷-۴- مدهای کمانشی تیر	۱۰۷
۶-۷-۵- مقاومت خمشی تیر	۱۰۸
۶-۸- نتیجه‌گیری	

سازمان اطلاعات و آمار علمی ایران
تهیه و ارائه

فهرست مندرجات

عنوان	صفحه
۷- مدلسازی کامپیوتری اتصالات RBS و HAUNCH و مقایسه نتایج با آزمایشات انجام‌شده	۱۱۰
۷-۱- اصول مدلسازی کامپیوتری اتصال	۱۱۱
۷-۲- مدلسازی کامپیوتری انجام گرفته در این پایان‌نامه	۱۱۱
۷-۳- مدلسازی اتصال RBS	۱۱۱
۷-۳-۱- مراحل مدلسازی	۱۱۱
۷-۳-۱-۱- ایجاد هندسه مدل	۱۱۲
۷-۳-۱-۲- تعریف رفتار مصالح	۱۱۲
۷-۳-۱-۳- المان مورد استفاده جهت مش‌بندی	۱۱۳
۷-۳-۱-٤- مش‌بندی مدل	۱۱۳
۷-۳-۱-۵- شرایط تکیه‌گاهی	۱۱۳
۷-۳-۲- بارگذاری مدل	۱۲۶
۷-٤- مدلسازی اتصال HAUNCH	۱۴۳
۷-۵- نکات قابل توجه در مدلسازی و اجرای برنامه	۱۴۳
۷-٦- مقایسه نتایج بدست آمده از تحلیل با آزمایشات انجام شده	۱۴۳
۷-٦-۱- بررسی روابط بار – تغییرمکان اتصال RBS	۱۴۳
۷-٦-۲- بررسی روابط بار – تغییرمکان اتصال HAUNCH	۱۴۶
۷-٦-۳- بررسی کرنش برشی در اتصال HAUNCH	۱۴۶
۷-٦-۳-۱- بررسی کرنش برشی در منطقه گره اصلی (گیج R3)	۱۴۶
۷-٦-۳-۲- بررسی کرنش برشی در منطقه گره فرعی (گیج R4)	۱۴۹
۷-٦-۳-۳- بررسی کرنش برشی در جان تیر (گیج R7)	۱۴۹
۷-٦-۳-٤- بررسی کرنش برشی در جان بازو (گیج R6)	۱۵۲
۷-۷- نتیجه‌گیری	

فهرست اشکال

شکل (۱-۱): اتصال رایج ممانگیر فولادی قبل از ۱۹۹٤

شکل (۱-۲):منطقه شروع ترک در اتصالات تیر به ستون

شکل (۱-۳): شکست در درزهای تیر به ستون

شکل (۱-٤): شکستهای ستون

شکل (۱-۵): شکست عمودی اتصال ورق برشی تیر

شکل (۲-۱): اجزای اتصال صلب

شکل (۲-۲): انواع خرابی‌های تیر

شکل (۲-۳): انواع خرابی‌های ستون

شکل (۲-٤): انواع خرابی جوش

شکل (۲-۵): انواع خرابی وصله برشی

شکل (۲-٦): انواع خرابی منطقه گره

شکل (۳-۱): اتصال دارای بال جوش شده غیرمسلح بهبود یافته

شکل (۳-۲): نیازمندی‌های جوشکاری در اتصال دارای بال جوش شده غیرمسلح بهبود یافته

شکل (۳-۳): اتصال دارای بازوی جوش شده در پائین

شکل (۳-٤): اتصال دارای بازوی جوش شده در پائین و بالا

شکل (۳-۵): اتصال دارای ورق تقویت کننده بال

شکل (۳-٦): نمایی از مقاطع RBS

شکل (۳-۷):اتصال انحصاری دارای ورق جانبی جهت کاربرد در سازه‌های موجود

شکل (۳-۸): اتصال انحصاری با شکاف جان

شکل (۳-۹): اتصال طاقچه پیچ شده

فهرست اشکال

شکل (۵-۹): شرایط فشردگی برای جان بازو

شکل (۵-۱۰): نمودار SDR در مقابل α

شکل (۵-۱۱): محل فرضی مفاصل پلاستیک در تیر

شکل (۵-۱۲): بررسی شرایط ستون قوی – تیر ضعیف

شکل (٦-۱): ست‌آپ آزمایش

شکل (٦-۲): جزئیات اتصال ممانگیر قبل از نورثریج

شکل (٦-۳): جزئیات اتصال مقاوم‌شده به روش RBS

شکل (٦-٤): جزئیات اتصال مقاوم‌شده به روش بازوی جوش شده (HAUNCH)

شکل (٦-۵): پلان دال بتنی

شکل (٦-٦): جزئیات دال بتنی

شکل (٦-۷): پروتکل بارگذاری بکار رفته در آزمایش (ATC 1992)

شکل (٦-۸): الگوی جاری شدن و مد خرابی تیر دو از نمونه NIST-1

شکل (٦-۹): روابط نیرو – تغییرمکان برای نمونه‌های RBS

شکل (٦-۱۰): مقایسه بین ظرفیتهای چرخش پلاستیک و استهلاک انرژی

شکل (٦-۱۱): مد خرابی نمونه NIST-3C

شکل (٦-۱۲): روابط نیرو – تغییرمکان برای نمونه‌های RBS بهبود یافته

شکل (٦-۱۳): مدهای کمانشی و جاری شدن نمونه‌های HAUNCH

شکل (٦-۱٤): روابط نیرو – تغییرمکان برای نمونه‌های HAUNCH

شکل (٦-۱۵): مقایسه کرنشهای برشی در نمونه NIST-2C

شکل (٦-۱٦): پروفیل‌های کرنش دال بتنی

فهرست اشکال

شکل (٦-١٧): پروفیل کرنش خمشی در عمق تیر نمونه NIST-2C

شکل (٦-١٨): منحنی نیرو – تغییرمکان برای تیر دو

شکل (٧-١): نمای سه بعدی نقاط کلیدی مدل RBS

شکل (٧-٢): نمای از جلو و از بالای نقاط کلیدی مدل RBS

شکل (٧-٣): نمای سه بعدی خطوط مدل RBS

شکل (٧-٤): نمای از جلو و از بالای خطوط مدل RBS

شکل (٧-٥): نمای سه بعدی سطوح مدل RBS

شکل (٧-٦): نمای از جلو و از بالای سطوح مدل RBS

شکل (٧-٧): نمای سه بعدی سطوح مش‌بندی شده مدل RBS

شکل (٧-٨): نمای از جلو و از بالای سطوح مش‌بندی شده مدل RBS

شکل (٧-٩): نمای سه بعدی مش‌بندی با ضخامت مدل RBS

شکل (٧-١٠): نمای از جلو و از بالای مش‌بندی با ضخامت مدل RBS

شکل (٧-١١): نمای سه بعدی گره‌های مدل RBS

شکل (٧-١٢): نمای از جلو و از بالای گره‌های مدل RBS

شکل (٧-١٣): مدل رفتاری مصالح شماره ١

شکل (٧-١٤): مدل رفتاری مصالح شماره ٢

شکل (٧-١٥): مدل رفتاری مصالح شماره ٣

شکل (٧-١٦): مدل رفتاری مصالح شماره ٤

شکل (٧-١٧): مدل رفتاری مصالح شماره ٥

شکل (٧-١٨): نمای سه بعدی نقاط کلیدی مدل HAUNCH

فهرست اشکال

شکل (۷-۱۹): نمای از جلو و از بالای نقاط کلیدی مدل HAUNCH

شکل (۷-۲۰): نمای سه بعدی خطوط مدل HAUNCH

شکل (۷-۲۱): نمای از جلو و از بالای خطوط مدل HAUNCH

شکل (۷-۲۲): نمای سه بعدی سطوح مدل HAUNCH

شکل (۷-۲۳): نمای از جلو و از بالای سطوح مدل HAUNCH

شکل (۷-۲٤): نمای سه بعدی سطوح مش‌بندی شده مدل HAUNCH

شکل (۷-۲۵): نمای از جلو و از بالای سطوح مش‌بندی شده مدل HAUNCH

شکل (۷-۲٦): نمای سه بعدی مش‌بندی با ضخامت مدل HAUNCH

شکل (۷-۲۷): نمای از جلو و از بالای مش‌بندی با ضخامت مدل HAUNCH

شکل (۷-۲۸): نمای سه بعدی گره‌های مدل HAUNCH

شکل (۷-۲۹): نمای از جلو و از بالای گره‌های مدل HAUNCH

شکل (۷-۳۰): منحنی بار – تغییرمکان حاصل از آزمایش نمونه RBS

شکل (۷-۳۱): منحنی بار – تغییرمکان حاصل از تحلیل نمونه کامپیوتری RBS

شکل (۷-۳۲): منحنی بار – تغییرمکان حاصل از آزمایش نمونه HAUNCH

شکل (۷-۳۳): منحنی بار – تغییرمکان حاصل از تحلیل نمونه کامپیوتری HAUNCH

شکل (۷-۳٤): محل قرارگیری گیج‌های کرنش در نمونه HAUNCH

شکل (۷-۳۵): منحنی کرنش برشی حاصل از آزمایش نمونه HAUNCH در محل گیج R3

شکل (۷-۳٦): منحنی کرنش برشی حاصل از تحلیل نمونه کامپیوتری HAUNCH در محل گیج R3

شکل (۷-۳۷): منحنی کرنش برشی حاصل از آزمایش نمونه HAUNCH در محل گیج R4

شکل (۷-۳۸): منحنی کرنش برشی حاصل از تحلیل نمونه کامپیوتری HAUNCH در محل گیج R4

شکل (۷-۳۹): منحنی کرنش برشی حاصل از آزمایش نمونه HAUNCH در محل گیج R7

فهرست اشکال

شکل (۷-٤۰): منحنی کرنش برشی حاصل از تحلیل نمونه کامپیوتری HAUNCH در محل گیج R7

شکل (۷-٤۱): منحنی کرنش برشی حاصل از آزمایش نمونه HAUNCH در محل گیج R6

شکل (۷-٤۲): منحنی کرنش برشی حاصل از تحلیل نمونه کامپیوتری HAUNCH در محل گیج R6

فهرست جداول

جدول (۲-۱): انواع خرابی‌های تیر

جدول (۲-۲): انواع خرابی‌های ستون

جدول (۲-۳): انواع خرابی‌ها، نقوص و ناپیوستگی‌های جوش

جدول (۲-٤): انواع خرابی وصله برشی

جدول (۲-۵): انواع خرابی منطقه گره

جدول (۳-۱): آئین‌نامه‌ها، استانداردها و دستورالعمل‌های قابل‌استفاده در مقاوم‌سازی لرزه‌ای سازه‌های WSMF

جدول (۳-۱): روشهای مقاوم‌سازی واجد شرایط برای اتصالات فولادی صلب جوشی

جدول (۳-۲): حدود کاربرد اتصال دارای بال جوش شده غیرمسلح بهبودیافته

جدول (۳-۳): حدود کاربرد اتصال دارای بازوی جوش شده در پائین

جدول (۳-٤):حدود کاربرد اتصال دارای بازوی جوش شده در پائین و بالا

جدول (۳-۵): حدود کاربرد اتصال دارای ورق تقویت‌کننده بال

جدول (۳-٦): اطلاعات رفتاری اتصالات صلب واجد شرایط جهت قابهای جدید

جدول (٤-۱): نتایج حاصل از برخی آزمایشات روی اتصالات RBS

جدول (٦-۱): مشخصات فولاد

جدول (۷-۱): ابعاد هندسی مقاطع تیر و ستون

جدول (۷-۲): ابعاد مقطع بازو

چکیده

قابهای ممانگیر فولادی (SMRFs) همواره به عنوان یک سیستم مقاوم اصلی در برابر بارهای جانبی مورد توجه بوده‌اند. توقع از این سیستم همواره بر آن بوده است که رفتاری شکل‌پذیر و قابل اتکا در زلزله‌های قوی از خود نشان دهد. در زلزله ۱۷ ژانویه ۱۹۹۴ نورثریج، برخلاف فرضیات قبلی خرابیهای زیادی در اتصالات ممانگیر در ساختمانهای فولادی بوجود آمد و توانایی این اتصالات در تحمل بار زلزله بدون متحمل شدن خرابیهای قابل ملاحظه زیر سؤال رفت. همین امر باعث گردید تحقیقات گسترده‌ای روی این اتصالات انجام گرفته و روشهای مختلفی برای مقاوم‌سازی اینگونه اتصالات بعد از زلزله نورثریج پیشنهاد شود.

در این پایان‌نامه ابتدا تاریخچه تحقیقات انجام گرفته روی این اتصالات مورد بررسی قرار گرفته است. سپس خرابیهای رایج و مشاهده شده در این نوع اتصالات در اثر زلزله نورثریج مورد بحث قرار گرفته و روشهای مقاوم‌سازی اینگونه اتصالات بیان شده است. در ادامه به توضیح کامل دو روش مقاوم‌سازی: ۱) اتصال دارای تیر با مقطع کاهش یافته (RBS) یا (Reduced Beam Section) و ۲) اتصال دارای بازوی جوش شده در پائین (WBH) یا (Welded Bottom Haunch) که رایج‌ترین و مورد تأیید ترین روشهای مقاوم‌سازی لرزه‌ای اتصالات گیردار فولادی بعد از نورثریج هستند، پرداخته شده و طراحی، کاربرد و رفتار این دو نوع اتصال بطور کامل توضیح داده شده است. سپس نتایج آزمایشات صورت گرفته روی اتصالات مقاوم‌شده به این دو روش که در راستای فاز I پروژه SAC در دانشگاه کالیفرنیا – سن‌دیگو و تحت هدایت پروفسور Chia-Ming Uang انجام گرفته است، بطور کامل مورد بررسی قرار گرفته و نهایتاً مدلسازی کامپیوتری اتصالات مقاوم شده به این دو روش طبق جزئیات آزمایشات فوق توسط نرم‌افزار المان محدود ANSYS صورت گرفته است. در انتها نتایج حاصل از تحلیل کامپیوتری این اتصالات با نتایج حاصل از آزمایشات یاد شده مقایسه شده و دقت مدلسازی مورد بحث قرار گرفته است. تطابق خوب بین گراف‌های بار – تغییرمکان و کرنش حاصل از تحلیل با گراف‌های نظیر حاصل از آزمایش بیانگر خطای متوسط در حدود ۵% بوده که این امر دقت بالای مدلسازی را نشان می‌دهد و بیانگر این نکته است که مدل کامپیوتری ایجاد شده رفتاری کاملاً مشابه با نمونه‌های واقعی از خود نشان می‌دهد.