

مقاوم سازی و بهسازی سازه‌های فولادی با ورق‌های FRP در برابر بارگذاری لرزه‌ای، ضربه، خستگی و انفجار

مقاوم‌سازی و بهسازی سازه‌های فولادی با ورق‌های FRP

در برابر بارگذاری لرزه‌ای، ضربه، خستگی و انفجار



مترجم: دکتر پویا آرزومند امیددی لنگرودی
ویراستار: مهندس علیرضا صالحین



مؤلفان: شیبائو-لینگ ژائو، لیلی هو

مترجم: دکتر پویا آرزومند امیددی لنگرودی

ویراستار: مهندس علیرضا صالحین



نشر علمی صالحین

نام کتاب: مقاوم سازی و بهسازی سازه های فولادی با ورق های FRP در برابر بارگذاری لرزه ای، ضربه، خستگی و انفجار

مؤلف: شیائو-لینگ ژائو، لیلی هو

مترجم: دکتر پویا آرزومند امیدى لنگرودی

ویراستار: مهندس علیرضا صالحین

سال چاپ: ۱۴۰۴

نوبت چاپ: اول

شمارگان: ۱۰۰

بها: ۵۵۰۰۰۰۰

شابک: ۹۷۸-۶۲۲-۸۹۶۷۵-۷-۸

حق چاپ برای نشر علمی صالحین محفوظ می باشد

نشانی مرکز پخش: تهران، خیابان انقلاب، روبروی در اصلی دانشگاه، پاساژ فروزنده، طبقه اول

واحد ۴۱۹ تلفن: ۰۹۱۲۴۸۸۶۴۹۸ - ۸۸۲۸۳۶۹۸ - ۶۶۹۶۸۶۱۴ - ۰۹۱۲۵۰۱۰۰۳۰

ميثاق نامه حقوقی مالکيت فکری و شرايط بهره‌برداری انتشارات علمی صالحين

حق نشر (Copyright) ۱۴۰۴

این ميثاق نامه، ميان «انتشارات علمی صالحين» (که از این پس «ناشر» نامیده می‌شود) از یک سو و «کاربر/خریدار اثر» (که از این پس «کاربر» نامیده می‌شود) از سوی دیگر، منعقد شده و ناظر بر کلیه نسخ چاپی و دیجیتال آثار منتشره توسط ناشر می‌باشد. تهیه، خرید، دانلود، دسترسی یا استفاده از هر یک از آثار ناشر، به منزله قبول کامل و بی‌قید و شرط مفاد این ميثاق نامه از سوی کاربر است.

ماده ۱: تعاریف و دامنه شمول اثر

۱-۱. تعریف «اثر»

«اثر» شامل، اما نه محدود به، کلیه موارد زیر است:

۱. متون، نگارش‌ها، گفتارهای مکتوب، جملات، مثال‌ها، تمرین‌ها، پرسش‌ها و پاسخ‌ها؛
۲. نگاره‌ها، تصاویر، نمودارها، جدول، شکل‌ها، دیگرام‌ها، داده‌نماها (اینفوگرافیک) و هر نوع محتوای بصری؛
۳. طرح جلد، صفحه‌آرایی (Layout)، تایپوگرافی، طراحی گرافیکی، نشانه‌ها (لوگوها) و اجزای بصری هویت اثر؛
۴. کدهای منبع و کدهای اجرایی (در نسخه‌های دیجیتال و تعاملی)، افزونه‌ها، اسکریپت‌ها، فایل‌های همراه و بسته‌های نرم‌افزاری وابسته؛
۵. فراداده‌ها (Metadata)، ساختار سازماندهی محتوا، نمایه‌ها، فصل‌بندی، شماره‌گذاری‌ها و هرگونه معماری اطلاعاتی اثر؛
۶. هرگونه محتوای مکمل (ضمائم، پیوست‌ها، بانک پرسش و پاسخ، محتواهای دانلودی ویدئوها و فایل‌های صوتی اختصاصی که ارتباط مستقیم با اثر دارند).

۱-۲. دامنه حقوق مادی

کلیه حقوق مادی (Economic Rights) ناشی از پدیدآوردن و نشر این اثر، شامل و نه محدود به:

حق تکثیر، نشر، پخش، عرضه، اجرا، ترجمه، اقتباس، توزیع، در دسترس‌گذاری (Making Available) واکزاری بهره‌برداری و بهره‌برداری در هر قالب و فرمت (چاپی، صوتی، تصویری، الکترونیکی، تعاملی، چندرسانه‌ای) و در هر بستر (فیزیکی، سایبری، شبکه‌های بسته، سامانه‌های آموزشی، اپلیکیشن‌های موبایل، متاورس و سایر فضاهای واقعی یا مجازی که اکنون موجود است یا در آینده ایجاد شود)، به موجب قراردادهای معتبر قانونی، به صورت انحصاری، مطلق، غیرقابل رجوع و برای تمام مدت حمایت قانونی به ناشر تعلق دارد. هیچ شخص حقیقی یا حقوقی بدون اخذ مجوز کتبی و جداگانه از ناشر، حق استفاده از این حقوق را ندارد، مگر در حدود استثنائات قانونی مصرح در این ميثاق نامه.

۱-۳. حقوق معنوی اثر

حقوق معنوی اثر، از جمله حق انتساب اثر به نام پدیدآورنده/پدیدآورندگان و حق تمامیت اثر، طبق ماده ۴ «قانون حمایت حقوق مؤلفان، مصنفان و هنرمندان مصوب ۱۳۴۸» برای پدیدآورنده/پدیدآورندگان محفوظ است.

با این حال:

۱. حق انحصاری پیگیری و صیانت از حقوق معنوی اثر، در برابر هرگونه تحریف، تغییر، حذف یا آسیب به تمامیت اثر، به ناشر تفویض شده است؛
۲. ناشر مجاز است در چارچوب قرارداد یا پدیدآورنده و با رعایت قوانین لازم‌الاجرا، نسبت به ویرایش ویراسته‌های جدید، اصلاحات علمی، ادبی، فنی و ظاهری اثر اقدام نماید، بدون آن‌که این اقدامات به معنای نقض حقوق معنوی پدیدآورنده باشد، مشروط به حفظ اصول اساسین انتساب و اصالت علمی/ادبی.

۱-۴. دامنه شمول شخصی و مکانی

این ميثاق نامه نسبت به کلیه کاربران، خریداران، استفاده‌کنندگان و هر شخصی که به هر نحو متعارف یا غیرمتعارف به اثر دسترسی پیدا می‌کند (اعم از افراد حقیقی، حقوقی، نهادهای آموزشی، سازمان‌ها، کتابخانه‌ها، موسسات، پلتفرم‌ها و سامانه‌های آنلاین)، در هر نقطه از قلمرو جمهوری اسلامی ایران و همچنین خارج از آن، در حدودی که قوانین ایران و قواعد حقوق بین‌الملل خصوصی اجازه می‌دهد، نافذ و لازم‌الاجراست.

ماده ۲: ماهیت حقوقی تملک و بهره‌برداری

۲-۱. تفکیک مالکیت فیزیکی و مالکیت فکری (نسخ چاپی)

خرید نسخه فیزیکی اثر، صرفاً موجب انتقال مالکیت بر «عین کالا» (صفحات، جلد، چاپ فیزیکی) مطابق با مقررات عقد بیع در قانون مدنی می‌شود. این خرید:

۱. هیچ‌گونه حقی نسبت به مالکیت محتوای اثر، حق تکثیر، حق نشر، حق ترجمه، حق اقتباس، حق اسکن یا هر نوع بهره‌برداری تجاری از محتوای اثر برای خریدار ایجاد نمی‌کند؛
۲. تحت هیچ عنوان، قاعده‌ای به نام «مالکیت نسخه»، «استفاده متصفانه» یا «استفاده آموزشی» مجوزی برای اسکن کامل یا جزئی، فتوکپی گسترده، تهیه نسخه دیجیتال، انتشار در گروه‌ها و کانال‌ها یا ذخیره‌سازی در سرورهای شخصی/سازمانی در مقیاس فراتر از استفاده شخصی و محدود نیست؛
۳. هرگونه اسکن، فتوکپی یا تکثیر سیستماتیک (به‌ویژه برای استفاده در کلاس‌های درس، موسسات آموزشی، آموزشگاه‌ها، سامانه‌های LMS، یا در قالب بسته‌های آموزشی) بدون مجوز کتبی ناشر ممنوع و مشمول ضمانت اجرای ماده ۳ و ۹ است.

۲-۲. پروانه بهره‌برداری (License) در نسخ دیجیتال

دریافت، دانلود، دسترسی یا استفاده از نسخه‌های الکترونیکی و دیجیتال اثر (اعم از PDF، ePub، اپلیکیشن، محتوای آنلاین، فایل صوتی/تصویری و نظایر آن)، ماهیت «بیع» ندارد؛ بلکه اعطای یک پروانه بهره‌برداری محدود (License Agreement) از سوی ناشر به کاربر است. این پروانه:

۱. شخصی است؛ فقط مختص شخصی است که هزینه را پرداخت کرده یا حساب کاربری به نام او ثبت و تأیید شده است؛
۲. محدود است؛ صرفاً برای مطالعه و استفاده متعارف و شخصی کاربر بوده و فاقد هرگونه حق تکثیر، انتشار، توزیع، نمایش عمومی، آموزشی یا تجاری است، مگر آن‌که مجوزی کتبی و جداگانه از ناشر اخذ شده باشد؛
۳. غیرانحصاری است؛ ناشر می‌تواند پروانه‌های مشابه را به اشخاص دیگری نیز اعطا کند؛
۴. غیرقابل انتقال است؛ کاربر حق فروش، انتقال واکزاری، اجاره، امانت دادن، هدیه واکزاری لایسنس، انتقال حساب کاربری، اشتراک‌گذاری حساب، یا در اختیار گذاشتن نام کاربری و رمز عبور خود به اشخاص ثالث را ندارد؛
۵. موقت و قابل تعلیق/فسخ است؛ ناشر حق دارد در صورت نقض مفاد این ميثاق نامه، نقض حقوق مالکیت فکری، یا سوءاستفاده از حساب کاربری، دسترسی کاربر به نسخه دیجیتال را به‌طور موقت یا دائم تعلیق یا فسخ نماید، بدون آن‌که کاربر مستحق هرگونه مطالبه خسارت یا استرداد وجه باشد.

۲-۳. حساب کاربری و احراز هویت

کاربر مسئول صحت و نگهداری اطلاعات حساب خود است. هرگونه استفاده از حساب کاربری به نام کاربر، در حکم استفاده‌ی خود کاربر تلقی می‌شود و کاربر در برابر ناشر نسبت به آن مسئول است، مگر آن که به‌طور مستند، سوءاستفاده غیرمجاز توسط ثالث را اثبات کند.

ماده ۳: ممنوعیت‌های صریح و نقض کی‌رایت

هرگونه فعل یا ترک فعلی که منجر به نقض حقوق انحصاری ناشر گردد، مستند به مواد ۱، ۲، ۳، ۴، ۲۳ و ۲۴ «قانون حمایت حقوق مؤلفان، مصنفان و هنرمندان مصوب ۱۳۴۸» و نیز مواد ۶۱ و ۷۴ «قانون تجارت الکترونیکی» و مواد ۲۵ تا ۲۷ قانون جرایم رایانه‌ای، جرم و تخلف مدنی تلقی شده و علاوه بر الزام به جبران کامل خسارات وارده (اعم از مادی، معنوی و از دست رفتن منافع آینده، خسارت به شهرت و برند ناشر)، موجب پیگرد کیفری (حبس و جزای نقدی) خواهد بود. مصادیق نقض، حصری نبوده و شامل موارد زیر و هر مورد مشابه است:

۳-۱. بازتولید و تکثیر غیرمجاز

۱. هرگونه عکس‌برداری، اسکن، فتوکپی جزئی یا کامل، ضبط صوتی (روخوانی متن)، بازنویسی دستی یا تایپی، OCR و ذخیره‌سازی محتوای اثر در پایگاه‌های داده و آرشیوهای دیجیتال، خارج از استفاده‌ی شخصی محدود کاربر؛

۲. تکثیر نسخه‌های دیجیتال (کپی فایل‌ها، تهیه نسخه‌های متعدد، شکستن قفل‌ها و حذف محدودیت‌های کی‌پی).

۳-۲. توزیع، در دسترس‌گذاری و انتشار شبکه‌ای

بارگذاری (Upload)، اشتراک‌گذاری، ارسال، نشر یا در دسترس‌گذاری اثر (کامل یا بخش‌های اساسی آن) در:

۱. وبسایت‌ها وبلاگ‌ها، انجمن‌ها، پلتفرم‌های محتوا؛
۲. فضای ابری (Cloud)، سامانه‌های ذخیره‌سازی، درایوهای اشتراکی؛
۳. شبکه‌های اجتماعی (از جمله ولی نه محدود به: تلگرام، اینستاگرام واتساپ، سروش، ایتا و سایر پلتفرم‌ها)؛
۴. سامانه‌های اشتراک فایل (FTP، P2P، Torrent عمومی) و اینترنت‌ها و شبکه‌های داخلی سازمانی؛
۵. گروه‌ها و کانال‌های آموزشی، دانشگاهی، مدرسه‌ای و موسسات خصوصی.

۳-۳. آثار اشتقاقی و تبدیلی بدون مجوز

هرگونه ایجاد، تولید یا انتشار آثار مبتنی بر این اثر، بدون اخذ مجوز کتبی و صریح از ناشر، از جمله:

۱. ترجمه به هر زبان؛
۲. تلخیص، خلاصه‌نویسی سیستماتیک، بازاریابی محتوا، تدوین جزوات یا کتاب‌های کمک‌آموزشی مبتنی بر اثر؛
۳. تبدیل به نمایشنامه، فیلم‌نامه، سناریو، محتوای آموزشی ویدیویی یا صوتی؛
۴. تولید کتاب کار، بانک سوال، آزمون، دوره‌های آنلاین یا حضوری، مبتنی بر ساختار یا محتوای اثر؛
۵. «خلاصه‌سازی سازمانی» برای توزیع درون سازمان‌ها، دانشگاه‌ها یا موسسات آموزشی.

۳-۴. بهره‌برداری تجاری و سازمانی ثانویه

۱. فروش مجدد نسخه‌های دیجیتال یا فیزیکی فراتر از انتقال معمول مالکیت نسخه‌ی فیزیکی در حد متعارف مصرف‌کننده؛
۲. اجاره دادن نسخه‌های چاپی یا دیجیتال در مقیاس تجاری، به استثنای کتابخانه‌های عمومی یا دانشگاهی که دارای مجوز و قرارداد کتبی معتبر با ناشر هستند؛
۳. استفاده از اثر در بسته‌های آموزشی انتفاعی، دوره‌ها، کارگاه‌ها، کلاس‌ها، سامانه‌های LMS و پلتفرم‌های آموزشی، بدون قرارداد مکتوب و مجوز ناشر.

۳-۵. مسئولیت مشترک در نقض

هر شخصی که آگاهانه و عامدانه:

۱. در تهیه، تکثیر، انتشار، توزیع یا تسهیل دسترسی غیرمجاز به اثر مشارکت کند؛
 ۲. از نسخه‌های غیرمجاز استفاده‌ی انتفاعی یا آموزشی نماید؛
- شریک یا معاون در نقض حقوق ناشر تلقی شده و مسئولیت تضامنی در جبران خسارات و تحمل مجازات‌های مقرر خواهد داشت.

ماده ۴: هوش مصنوعی، داده‌کاوی و فناوری‌های نوین

با توجه به پیشرفت‌های فناوری اطلاعات، هوش مصنوعی و داده‌کاوی و به منظور صیانت از حقوق مالکیت فکری ناشر و پدیدآورندگان، موارد زیر صراحتاً ممنوع بوده و نقض آن به منزله سرقت محتوای علمی/ادبی و نقض حقوق مؤلف محسوب می‌شود:

۴-۱. داده‌کاوی و پردازش ماشینی (Data Mining & Text)

۱. هرگونه استخراج ماشینی متن، تحلیل خودکار داده‌ها، خزش (Crawling)، اسکرپینگ (Scraping)، اندیس‌گذاری سیستماتیک و استخراج انبوه محتوا، چه توسط اشخاص حقیقی و چه توسط ربات‌ها، خزنده‌ها، اسکرپت‌ها و نرم‌افزارها، بدون مجوز کتبی ناشر؛
۲. ایجاد پایگاه داده، کورپوس (Corpus)، مجموعه آموزشی یا منابع زبان/متن مبتنی بر اثر.

۴-۲. استفاده در آموزش و بهبود سامانه‌های هوش مصنوعی

استفاده از تمام یا بخشی از این اثر، به‌عنوان:

۱. «داده ورودی» (Input Data) در مقیاس سازمانی یا گسترده؛
۲. «داده آموزشی» (Training Set) یا «داده ارزیابی» (Evaluation Data)؛
۳. داده جهت «تنظیم دقیق» (Fine-tuning) هر نوع سامانه هوش مصنوعی، مدل‌های زبانی بزرگ (LLMs)، سامانه‌های ترجمه ماشینی، هوش مصنوعی مولد (Generative AI)، سامانه‌های پیشنهادگر (Recommender Systems) و هرگونه الگوریتم یادگیری ماشین؛

بدون اخذ مجوز کتبی و قراردادی جداگانه از ناشر، ممنوع است.

۴-۳. تولید خودکار محتوای مشتق از اثر

استفاده از تجهیزاتی هوش مصنوعی یا نرم‌افزارها برای تولید خروجی‌هایی که به صورت اساسی مبتنی بر متن، ساختار، مثال‌ها، تمرین‌ها یا پرسش‌های این اثر بوده و جایگزین تجاری یا آموزشی اثر محسوب شوند، بدون مجوز کتبی ناشر، ممنوع و مشمول مسئولیت‌های مقرر در این میثاق‌نامه است.

ماده ۵: استثنائات قانونی و حدود استفاده مجاز

صرفاً استفاده‌هایی که مشمول ماده ۷ «قانون حمایت حقوق مؤلفان» و سایر استثنائات محدود قانونی باشد، بدون اخذ مجوز اضافی، مجاز تلقی می‌شود. این استفاده‌ها شامل:

۱. نقل قول مستقیم یا غیرمستقیم از بخش‌های مختصر اثر، منحصرأ برای اهداف نقد، تحلیل، آموزش و پژوهش علمی، در حدی که به ماهیت رقابتی با اثر منجر نشود و جایگزین خرید اثر یا استفاده از نسخه‌های قانونی آن نگردد؛
۲. استفاده در فعالیت‌های آموزشی و پژوهشی در حدی که از حد «استفاده‌ی منصفانه‌ی واقعی» (در مفهوم قانونی آن) فراتر نرفته و به توزیع گسترده یا سیستماتیک منتهی نشود. شرط الزامی: در تمامی موارد فوق؛
۱. ذکر کامل منبع (عنوان اثر، نام مؤلف/پدیدآورنده، نام ناشر، سال نشر و در صورت امکان شماره صفحه) الزامی است؛
۲. عدم ذکر منبع، حتی در استفاده‌ی جزئی، سرقت علمی (Plagiarism) محسوب شده و علاوه بر مسئولیت اخلاقی و حرفه‌ای، می‌تواند موجب مسئولیت مدنی و انتظامی در مراجع ذی‌ربط گردد؛
۳. اگر برداشت از اثر از حد نقل قول محدود فراتر رود و ماهیت جایگزین تجاری/آموزشی پیدا کند، نیازمند اخذ اجازه کتبی و قراردادی از ناشر خواهد بود.

ماده ۶: تدابیر فنی حفاظتی (DRM)، امنیت و مهندسی معکوس

۶-۱. تدابیر فنی حفاظتی

در صورتی که اثر (فیزیکی یا دیجیتال) حاوی یکی از موارد زیر باشد:

۱. قفل‌های نرم‌افزاری (DRM)، محدودیت‌های کپی/چاپ، کدهای فعال‌سازی؛
۲. واترمارک (Watermark) آشکار یا پنهان، شماره سریال، کدهای رهگیری؛
۳. هولوگرام، برچسب‌های امنیتی، یا هرگونه تدابیر حفاظتی فنی دیگر؛

هرگونه اقدام جهت:

- خنثی‌سازی، شکستن قفل، کرک (Crack)، حذف یا تغییر واترمارک،
- مهندسی معکوس، دی‌کامپایل (Decompile)، دی‌کد (Decode)،
- دور زدن یا تضعیف تدابیر حفاظتی،

طبق مواد ۷۱ تا ۷۳ قانون تجارت الکترونیکی و مواد ۲۵ تا ۲۷ قانون جرایم رایانه‌ای، جرم مستقل محسوب شده و مستوجب مجازات حبس و جریمه نقدی است.

۶-۲. تجهیزات و خدمات واسط

استفاده از هرگونه نرم‌افزار وب‌سایت، افزونه، اپلیکیشن، VPN، ربات یا هر خدمت واسط که به صورت مستقیم یا غیرمستقیم، برای شکستن DRM، حذف واترمارک، داندلود غیرمجاز، ضبط جریان (Stream) محافظت‌شده یا اشتراک‌گذاری غیرمجاز محتوا به کار می‌رود، ممنوع است. کاربرد در استفاده از چنین تجهیزاتی، مسئولیت کامل حقوقی و کیفری عمل خود را می‌پذیرد.

ماده ۷: سلب مسئولیت (Disclaimer) و حدود ضمانت

۷-۱. ماهیت علمی/آموزشی محتوا

ناشر و پدیدآورندگان، نهایت تلاش خود را برای صحت، دقت، اتقان علمی و فنی و به‌روز بودن محتوا به کار بسته‌اند. با این وجود:

۱. هیچ‌گونه ضمانتی (صریح یا ضمنی) مبنی بر بی‌عیب بودن، بدون خطا بودن، کامل بودن، همیشگی بودن به‌روزرسانی، یا تناسب محتوا برای یک هدف خاص (Fitness for a Purpose) ارائه نمی‌شود؛
۲. محتوا جایگزین مشاوره تخصصی حرفه‌ای (در حوزه‌هایی مانند پزشکی، حقوقی، مالی، فنی و...) نیست و کاربرد در صورت نیاز، مکلف به مراجعه به متخصص ذی‌صلاح است.

۷-۲. محدودیت مسئولیت ناشر

۱. مسئولیت هرگونه استفاده از اطلاعات، دستورالعمل‌ها، توصیه‌ها، مثال‌ها یا داده‌های موجود در این اثر و عواقب ناشی از آن (اعم از خسارات مستقیم، غیرمستقیم، تبعی، جانی، مالی، از دست رفتن داده، از دست رفتن فرصت تجاری یا آموزشی) تماماً بر عهده کاربر است؛
۲. در هر حال، در صورتی که به موجب رأی قطعی مرجع صالح، مسئولیت مدنی ناشر در قبال کاربر احراز گردد، سقف مسئولیت مالی ناشر در هر دعوا و نسبت به هر کاربر، حداکثر معادل مبلغ واقعی پرداختی آن کاربر برای خرید اثر مربوطه خواهد بود؛
۳. ناشر در قبال خسارات ناشی از موارد خارج از کنترل متعارف خود (قوه قاهره/فورس ماژور)، از جمله اختلالات زیرساختی اینترنت، حملات سایبری، محدودیت‌های حکومتی یا قطعی سرویس‌های ثالث، مسئولیتی نخواهد داشت.

۷-۳. عدم تضمین تداوم دسترسی دیجیتال

در مورد نسخه‌های دیجیتال و آنلاین:

۱. ناشر حق دارد در هر زمان، به تشخیص خود، نسبت به به‌روزرسانی، تغییر، انتقال به پلتفرم دیگر، یا خاتمه عرضه‌ی نسخه‌ی دیجیتال اقدام نماید؛
۲. ناشر تلاش متعارف خود را برای اطلاع‌رسانی قبلی و فراهم کردن راه‌حل جایگزین به کار می‌بندد ولی تضمینی برای تداوم نامحدود دسترسی ارائه نمی‌کند.

ماده ۸: قانون حاکم، حل اختلاف و صلاحیت محلی

۸-۱. قانون حاکم

این میثاق‌نامه از هر حیث، اعم از اعتبار، تفسیر، اجرا، نقض و آثار آن، تابع قوانین و مقررات لازم‌الاجرای جمهوری اسلامی ایران است.

۸-۲. حل اختلاف و مرجع صالح

در صورت بروز هرگونه اختلاف، ادعا، مطالبه یا دعوا ناشی از یا مرتبط با این میثاق‌نامه و آثار ناشر:

۱. ناشر حق دارد حسب صلاحدید خود، موضوع را از طریق مراجع قضایی صالح یا از طریق داوری پیگیری نماید؛
۲. در صورت انتخاب مرجع قضایی، دادگاه‌های عمومی حقوقی و کیفری مستقر در شهر تهران (یا محل اقامتگاه قانونی ناشر در زمان طرح دعوا) صالح خواهند بود؛
۳. کاربر با تهیه این اثر، صلاحیت محلی دادگاه‌های تهران را پذیرفته و حق هرگونه ایراد به صلاحیت محلی را از خود سلب و ساقط می‌نماید؛
۴. در صورت توافق جداگانه بر داوری، حدود و شرایط داوری در قرارداد یا الحاقیه مربوط تعیین می‌گردد.

ماده ۹: ضمانت اجرا، جبران خسارت و هزینه‌های دادرسی

۹-۱. تعهد به جبران کامل خسارت

کاربر متعهد می‌گردد در صورت نقض هر یک از مفاد این میثاق‌نامه یا هرگونه نقض حقوق مالکیت فکری ناشر:

۱. کلیه خسارات وارده به ناشر، شامل زیان‌های مالی مستقیم، از دست رفتن سود، کاهش فروش، لطمه به شهرت تجاری و برند و خسارات ناشی از توزیع نسخه‌های غیرمجاز را جبران نماید؛
۲. کلیه هزینه‌های دادرسی، کارشناسی، حق‌الزحمه کارشناسان رسمی، هزینه‌های اجرایی و حق‌الوکاله وکیل منتخب ناشر را، بر اساس قرارداد وکیل با ناشر، بدون هیچ‌گونه قید و شرط پرداخت نماید؛
۳. این تعهد، مانع از پیگیری کیفری ناقض در مراجع صالح نبوده و در کنار مسئولیت کیفری قابل اعمال است.

۹-۲. مسئولیت اشخاص حقوقی

- در صورتی که نقض حقوق ناشر از سوی نهادهای، موسسات آموزشی، شرکت‌ها، دانشگاه‌ها یا سایر اشخاص حقوقی صورت گیرد:
۱. شخص حقوقی مزبور نسبت به اعمال مدیران، کارکنان، مدرسان، دانشجویان یا اشخاص وابسته‌ای که تحت نظارت او مرتکب نقض شده‌اند، در حدود قوانین مرتبط، مسئول خواهد بود؛
 ۲. ناشر مجاز است برای جبران خسارت، علیه شخص حقوقی و اشخاص حقیقی دخیل، به‌صورت توأمان یا جداگانه، طرح دعوا نماید.

۹-۳. تعلیق یا قطع دسترسی به نسخه‌های دیجیتال

- در صورت احراز ظن قوی یا اثبات نقض مفاد این میثاق‌نامه از سوی کاربر:
۱. ناشر حق دارد بدون نیاز به اخطار قبلی، دسترسی کاربر به حساب کاربری، نسخه‌های دیجیتال، به‌روزرسانی‌ها و خدمات جانبی مرتبط را به‌طور موقت یا دائم تعلیق یا قطع نماید؛
 ۲. در این صورت، کاربر حق مطالبه استرداد وجه، خسارت یا هر ادعای دیگر را نخواهد داشت.

ماده ۱۰: نسخه‌های جدید، اصلاح و تغییر شرایط

۱-۱۰. ویراست‌ها و نسخه‌های جدید اثر

- ناشر مجاز است در هر زمان نسبت به:
۱. انتشار ویراست‌های جدید اثر،
 ۲. افزودن یا حذف فصل‌ها، مثال‌ها، تمرین‌ها،
 ۳. اصلاح خطاها و به‌روزرسانی علمی و فنی محتوا،
- اقدام نماید. کاربر با خرید یک نسخه، صرفاً مالک همان ویراست/نسخه است و نسبت به دریافت رایگان ویراست‌های بعدی، حق نخواهد داشت، مگر آن‌که ناشر صریحاً چنین حق را اعلام کند.

۲-۱۰. اصلاح و به‌روزرسانی میثاق‌نامه

- ناشر حق دارد در هر زمان، به تشخیص خود:
۱. مفاد این میثاق‌نامه را اصلاح، تکمیل یا به‌روزرسانی نماید؛
 ۲. نسخه‌ی جدید میثاق‌نامه را از طریق وب‌سایت، پلتفرم، یا همراه نسخه‌های جدید آثار منتشر کند.
- تداوم استفاده کاربر از آثار و خدمات ناشر پس از انتشار نسخه‌ی جدید میثاق‌نامه، به منزله قبول مفاد اصلاح‌شده خواهد بود. در مورد کاربران نسخه‌های صرفاً چاپی، نسخه‌ی مندرج در تاریخ خرید، مبنای خواهد بود، مگر آن‌که کاربر به‌طور آگاهانه نسخه‌ی جدید را نیز بپذیرد (مثلاً با ایجاد حساب کاربری آنلاین یا استفاده از خدمات دیجیتال).

ماده ۱۱: سایر مقررات

۱-۱۱. تفکیک‌پذیری (Severability)

- در صورتی که هر یک از مفاد این میثاق‌نامه، به موجب رأی قطعی مرجع صالح، باطل، غیرقابل اجرا یا خلاف قانون تشخیص داده شود، این امر تأثیری بر اعتبار و قابلیت اجرای سایر مفاد نداشته و سایر بندها به قوت خود باقی خواهند ماند.

۲-۱۱. تفسیر به نفع ناشر

- در موارد ابهام، اجمال یا تعارض ظاهری میان مفاد این میثاق‌نامه و سایر اطلاعات عمومی منتشره توسط ناشر (مانند بروشورها، تبلیغات و اطلاعیه‌ها)، ملاک، متن حاضر و تفسیر حقوقی به‌نفع حفظ حقوق مالکیت فکری ناشر خواهد بود، مگر آن‌که سند مکتوب و امضاشده‌ی دیگری بین ناشر و کاربر وجود داشته باشد که صریحاً بر این متن مقدم شده باشد.

۳-۱۱. اولویت نسخه فارسی

- در صورت تهیه ترجمه‌ای از این میثاق‌نامه به زبان‌های دیگر، در صورت بروز هرگونه اختلاف در تفسیر، نسخه فارسی معیار و حاکم خواهد بود.

فهرست مطالب

فصل ۱: مقدمه	۲۷
فصل ۲: کامپوزیت‌های FRP و فلزات	۴۴
فصل ۳: رفتار چسبندگی بین FRP و فلز	۵۶
فصل ۴: تقویت خمشی تیرهای فولادی و کامپوزیت فولاد-بتن با FRP	۱۰۳
فصل ۵: تقویت اعضای فشاری	۱۶۸
فصل ۶: تقویت لهدگی جان در تیرهای تحت اثر نیروهای تکیه‌گاهی انتهایی	۲۳۰
فصل ۷: بهبود عملکرد خستگی	۲۶۹
فصل ۸: ارتقای عملکرد تحت بارگذاری سیکلی با تغییر شکل زیاد، ضربه و انفجار	۳۳۰
واژه نامه تخصصی	۳۴۹

مقدمه مترجم

سازه‌های فولادی در طول چرخه بهره‌برداری خود همواره در معرض عوامل مخرب و تغییرات شرایط بارگذاری قرار دارند. عواملی نظیر خستگی ناشی از بارهای تناوبی در پل‌ها و سازه‌های صنعتی، خوردگی محیطی، تغییر در آیین‌نامه‌های بارگذاری و ارتقای سطح انتظارات عملکردی، لزوم بازنگری در ظرفیت باربری و در بسیاری از موارد، تقویت اعضای سازه‌ای را ایجاد می‌کند. در کنار این موارد آسیب‌رسان تدریجی، رخداد‌های حادی مانند زمین‌لرزه‌های شدید، بارهای ضربه‌ای و انفجار، نیازمند سطح بالایی از مقاومت، سختی و شکل‌پذیری در زیرساخت‌های فلزی هستند.

روش‌های سنتی بهسازی سازه‌های فولادی عمدتاً بر پایه اتصال ورق‌های تقویتی فولادی از طریق جوشکاری یا پیچ‌ومهره استوار بوده‌اند. این رویکردها اگرچه از منظر تئوریک ظرفیت مقطع را افزایش می‌دهند، اما در عمل با چالش‌های مهندسی متعددی روبه‌رو هستند. افزایش قابل‌توجه وزن مرده سازه، ایجاد تمرکز تنش در نواحی جوشکاری‌شده یا سوراخ‌کاری‌شده، کاهش مقاومت خستگی در محل اتصالات، استعداد بالای خوردگی گالوانیک و همچنین مشکلات اجرایی در فضاهای محدود با دسترسی دشوار، از جمله محدودیت‌های ذاتی روش‌های سنتی محسوب می‌شوند.

در دهه‌های اخیر، معرفی و توسعه مواد پلیمری تقویت‌شده با الیاف (FRP) به عنوان یک جایگزین نوین و کارآمد، تحولی بنیادین در مهندسی مقاوم‌سازی ایجاد کرده است. اگرچه پیشینه استفاده از این متریال کامپوزیتی در مهندسی عمران عمدتاً به مقاوم‌سازی سازه‌های بتن‌آرمه بازمی‌گردد، اما تحقیقات گسترده و تجربیات میدانی نشان داده‌اند که اتصال مهاربندی‌شده یا چسبانده‌شده ورق‌ها و لمینیت‌های FRP به سطوح فلزی، بهبود چشمگیری در رفتار مکانیکی این اعضا به همراه دارد. نسبت بسیار بالای مقاومت به وزن، مقاومت ذاتی در برابر خوردگی، ضخامت بسیار کم (که محدودیت‌های معماری را به حداقل می‌رساند) و سهولت و سرعت بالای اجرا، دلایل اصلی اقبال روزافزون جامعه مهندسی به این فناوری است.

اثر پیش رو با عنوان «مقاوم‌سازی و بهسازی سازه‌های فولادی با ورق‌های FRP در برابر بارگذاری لرزه‌ای، ضربه، خستگی و انفجار»، تلاشی منسجم و جامع برای تبیین مبانی رفتاری و اصول طراحی این سیستم‌های تقویتی است. شالوده اصلی درک این سیستم‌ها، شناخت دقیق ویژگی‌های مکانیکی کامپوزیت‌های FRP و فلزات پایه است. اما نقطه بحرانی و تعیین‌کننده در موفقیت این روش، مکانیزم انتقال تنش در سطح مشترک رزین و فولاد است. درک پدیده‌هایی نظیر توزیع تنش‌های برشی و نرمال در لایه چسب، طول مؤثر چسبندگی و مدهای مختلف گسیختگی (از جمله جداشدگی ورق یا گسیختگی چسب)، پیش‌نیاز قطعی برای ورود به فاز محاسبات سازه‌ای است که در فصول ابتدایی این نوشتار به دقت کالبدشکافی شده‌اند.

در سطح بررسی اعضا، این کتاب به صورت تفکیک‌شده به ارزیابی ارتقای ظرفیت خمشی تیرهای فولادی و مقاطع کامپوزیت فولاد-بتن می‌پردازد. چگونگی چیدمان لایه‌های پلیمری برای کنترل خیز و افزایش لنگر پلاستیک مقطع، از مباحث کلیدی این بخش است. همچنین، رفتار اعضای تحت فشار نظیر ستون‌ها و مهاربندها که همواره مستعد پدیده کمناش موضعی و کلی هستند، با استفاده از تکنیک‌های محصورسازی یا اتصال جانبی FRP مورد تحلیل قرار گرفته است. یکی از وجوه تمایز این اثر علمی، پرداختن به آسیب‌پذیری‌های موضعی مقاطع فولادی نظیر پدیده لهیدگی جان در نواحی اعمال بارهای متمرکز و تکیه‌گاهی است که نشان از نگاه خرد و کلان مؤلفان به مسائل پایداری سازه دارد. فراتر از بارهای استاتیکی معمول، آنچه پایداری زیرساخت‌های حیاتی را تهدید می‌کند، بارهای دینامیکی و چرخه‌ای است. پدیده خستگی به عنوان عامل پنهان بسیاری از گسیختگی‌های ناگهانی در سازه‌های فولادی، از طریق کاهش تمرکز تنش در نوک ترک‌ها و تأخیر در رشد ترک با استفاده از وصله‌های FRP، به طور مؤثری قابل مهار است. در

نهایت، تمرکز بخش‌های پایانی کتاب بر روی شرایط بارگذاری حاد (نظیر چرخه‌های تغییر شکل بزرگ ناشی از زلزله، بارهای ناشی از برخورد و موج انفجار) مرزهای دانش فعلی در زمینه تاب‌آوری سازه‌ای را به تصویر می‌کشد. در این شرایط، نقش سیستم‌های FRP نه تنها در تأمین مقاومت، بلکه در حفظ یکپارچگی و جلوگیری از فروریزش پیش‌رونده غیرقابل انکار است.

ترجمه و ارائه این اثر تخصصی به زبان فارسی، با توجه به فقر منابع علمی در حوزه بهسازی فلزات با کامپوزیت‌ها، اقدامی ارزشمند در مسیر بومی‌سازی دانش مهندسی سازه است. ساختار منطقی کتاب که از مباحث متالورژیک و شیمیایی چسب‌ها آغاز شده و تا پیچیده‌ترین تحلیل‌های دینامیکی غیرخطی امتداد می‌یابد، این مجلد را به منبعی مرجع برای پژوهشگران، دانشجویان تحصیلات تکمیلی و مهندسان محاسب تبدیل کرده است. امید است مطالعه دقیق این اثر، راهگشای ارتقای ایمنی و توسعه روش‌های نوین در پروژه‌های مقاوم‌سازی زیرساخت‌های کشور باشد.

در پایان، بر خود لازم می‌دانم از زحمات جناب مهندس علیرضا صالحین به عنوان ویراستار علمی اثر، که با دقت نظر خود بر غنای متن افزودند و همچنین از «انتشارات علمی صالحین» جهت اهتمام در چاپ و نشر این اثر با بالاترین استانداردهای کیفی، کمال تشکر و قدردانی را داشته باشم. بی‌شک هیچ اثری خالی از اشکال نیست؛ لذا از اساتید، متخصصان و دانشجویان گرامی تقاضا دارم نظرات و پیشنهادهای ارزشمند خود را جهت بهبود چاپ‌های آتی با اینجانب در میان بگذارند.

دکتر پویا آرزومند لنگرودی

زمستان ۱۴۰۴

پیشگفتار ویرایش اول

تعداد قابل توجهی از سازه‌های فلزی در حال فرسودگی و پیر شدن هستند. روش متداول تعمیر یا تقویت سازه‌های فلزی فرسوده، اغلب شامل استفاده از صفحات حجیم و سنگینی است که نصب آن‌ها دشوار بوده و مستعد خوردگی و همچنین خستگی (Fatigue) خود صفحات می‌باشند. پلیمر مسلح به الیاف (FRP) پتانسیل بالایی برای تقویت سازه‌های فلزی نظیر پل‌ها، ساختمان‌ها، سکوها، فراساحلی، خطوط لوله و سازه‌های جبرئیل دارد.

دانش موجود در زمینه سیستم کامپوزیت «پلیمر مسلح به الیاف کربن (CFRP)» ممکن است به دلیل تفاوت متمایز بین مکانیزم‌های جداشدگی (Debonding) آن‌ها و همچنین حالات خرابی منحصر به فرد در اعضاء و اتصالات فولادی، برای سیستم «CFRP-فولاد» قابل اجرا نباشد. چندین راهنمای طراحی و اجرایی در زمینه تقویت سازه‌های فلزی با FRP در انگلستان، ایالات متحده، ایتالیا و ژاپن منتشر شده است. با این حال، موضوعات زیر به تفصیل پوشش داده نشده‌اند: رفتار اتصال بین FRP و فلز، تقویت اعضاء فشاری، تقویت اعضاء لوله‌ای فولادی، تقویت در برابر لهیدگی جان (Web Crippling) مقاطع فولادی و تقویت به منظور بهبود عملکرد خستگی و لرزه‌ای.

این کتاب نه تنها شامل توصیفات و توضیحات مفاهیم پایه است و تحقیقات انجام شده تا به امروز در زمینه تقویت سازه‌های فلزی با FRP را خلاصه می‌کند، بلکه توصیه‌هایی را نیز برای طراحی ارائه می‌دهد. مراجع جامع و موضوعی در سراسر کتاب آورده شده است. این اثر برای مهندسان سازه، پژوهشگران و دانشجویان دانشگاه که به تکنیک تقویت با FRP علاقه‌مند هستند، مناسب است.

این کتاب شرح جامعی از رفتار و طراحی سازه‌های فلزی تقویت‌شده با FRP، به ویژه سازه‌های فولادی، بر اساس تحقیقات موجود در سطح جهانی ارائه می‌دهد. فصول ۱ و ۲ به تشریح کاربردها، راهنمای طراحی موجود و ویژگی‌های خاص کامپوزیت‌های FRP در چارچوب استفاده از آن‌ها در تقویت سازه‌های فلزی می‌پردازند. فصل ۳ به رفتار اتصال بین FRP و فلز اختصاص دارد. تقویت اعضاء در فصل ۴ (خمشی)، فصل ۵ (فشاری) و فصل ۶ (نیروهای تکیه‌گاهی/باربری) پوشش داده شده است. فصل ۷ توصیفی از بهبود عملکرد خستگی ارائه می‌دهد.

فصل ۴ توسط پروفسور جین-گوآنگ تنگ (Jin-Guang Teng) از دانشگاه پلی تکنیک هنگ کنگ و دکتر دیلوم فرناندو (Dilum Fernando) از دانشگاه کوئینزلند تألیف شده است. من از نظرات پروفسور جین-گوآنگ تنگ در مورد سه فصل اول؛ دکتر یو (بری) بای از دانشگاه موناخ در مورد فصول ۲ و ۳؛ پروفسور دینار کاموتیم (Dinar Camotim) از دانشگاه فنی لیسبون، پروفسور امیر فام (Amir Fam) از دانشگاه کوئینز و پروفسور امر شعت (Amr Shaat) از دانشگاه عین شمس در مورد فصل ۵؛ پروفسور بن یانگ از دانشگاه هنگ کنگ در مورد فصل ۶؛ و پروفسور سینگ-پینگ چو از دانشگاه فناوری نانیانگ سنگاپور و پروفسور هیتوشی ناکامورا (Hitoshi Nakamura) از دانشگاه متروپولیتن توکیو در مورد فصل ۷ قدردانی می‌کنم. من از دکتر محمد الچالاکانی در کالج‌های عالی تکنولوژی، کالج مردان دبی، برای بررسی مثال‌های طراحی در فصول ۵ و ۶ تشکر می‌کنم.

پیشگفتار ویرایش دوم

باعث خرسندی بسیار ماست که پس از گذشت ۱۲ سال از انتشار ویرایش نخست ویرایش دوم این کتاب را ارائه می‌دهیم. در دهه گذشته، پیشرفت‌های چشمگیر و جدیدی در حوزه سازه‌های فلزی تقویت‌شده با FRP حاصل شده است. در واقع، تعداد مقالات منتشر شده در ۱۰ سال اخیر، بیش از دو برابر کل مقالات منتشر شده پیش از سال ۲۰۱۳ است. در ویرایش دوم این کتاب، این تحولات جدید گنجانده شده‌اند. این موارد شامل کاربردهای میدانی اخیر FRP در تقویت سازه‌های فولادی، اپوکسی اصلاح‌شده با نانولوله‌های کربنی (CNT)، روش آزمون غیرمخرب (NDT) برای رفتار اتصال، اثر

شرایط محیطی و بارگذاری انفجار بر مقاومت اتصال، تقویت اعضای فولادی تحت برش و پیچش، تقویت فولاد خوردگی‌یافته، تقویت ستون‌های فولادی با استفاده از CFRP پیش‌تنیده، اندرکنش جدشدگی (Debonding) و رشد ترک، تقویت خستگی تیرهای با مقطع توخالی مستطیلی و تیورق‌های فولادی در حالت برش، تقویت اتصالات مختلف تحت بارگذاری خستگی و بهبود عملکرد دینامیکی تحت بارگذاری چرخه‌ای با تغییرشکل‌های بزرگ، بارگذاری ضربه و بارگذاری انفجار و موارد دیگر می‌باشد.

افراد بسیاری ما را در موفقیت ویرایش اول این کتاب یاری کردند. نام این عزیزان در پیشگفتار و بخش تقدیر و تشکر ویرایش نخست ذکر شده است. ما از افراد زیر برای ارائه اسناد، داده‌ها یا تصاویر ضروری برای ویرایش دوم کتاب سپاسگزاریم:

پروفسور بن یانگ (Ben Young) از دانشگاه پلی‌تکنیک هنگ‌کنگ، دکتر سابرینا فوزیا (Sabrina Fawzia) از دانشگاه فناوری کوئینزلند، پروفسور الیاس غفوری (Elyas Ghafoori) از دانشگاه لایب‌نیتس هانوفر (LUH)، پروفسور لی-وی تونگ (Le-Wei Tong) از دانشگاه تونگجی، پروفسور چینگ-یوان وانگ (Qing-Yuan Wang) از دانشگاه سیچوان، دکتر سیلوین شاتنیه (Sylvain Chataigner) از دانشگاه گوستاو ایفل، دکتر محمد افتخارالاسلام (Md Iftekhharul Alam) از دانشگاه فناوری کوئینزلند و پروفسور مایک آر. بامباخ (Mike R. Bambach) از دانشگاه سیدنی. همچنین مایل هستیم از ایمی رگ (Aimee Wragg)، اندرو کارمونت (Andrew Carmount) و تونی مور (Tony Moore) در انتشارات تیلور و فرانسیس (Francis & Taylor) برای کمک‌هایشان در هموارسازی مسیر انتشار کتاب تشکر کنیم.

مایه افتخار ماست که در ۱۲ سال گذشته با همکاران زیر در زمینه تقویت با FRP همکاری داشته‌ایم: پروفسور ریاض المهدیدی (Riadh Al-Mahaidi) در دانشگاه فناوری سوینبرن استرالیا؛ پروفسور پنگ فنگ (Peng Feng) در دانشگاه چین‌هوا چین؛ دکتر مایک بامباخ (Mike Bambach) در دانشگاه سیدنی استرالیا؛ پروفسور الیاس غفوری (Elyas Ghafoori) در دانشگاه لایب‌نیتس هانوفر (LUH) آلمان؛ دکتر سابرینا فوزیا (Sabrina Fawzia) در دانشگاه فناوری کوئینزلند استرالیا؛ پروفسور مسعود متولی (Masoud Motavalli) در EMPA سوئیس؛ پروفسور سامی ریزکالا (Sami Rizkalla) در دانشگاه ایالتی کارولینای شمالی آمریکا؛ پروفسور ون‌هوی دوان (Wenhui Duan) در دانشگاه موناخ استرالیا؛ اساتید لیوی تونگ (Lewei Tong)، شیانگلین گو (Xianglin Gu)، تائو چن (Tao Chen)، چیان-چیان یو (Qian-Qian Yu) در دانشگاه تونگجی چین؛ پروفسور محمد الجالاکانی (Mohamed Elchalakani) در دانشگاه استرالیای غربی؛ دکتر محسن امرایی (Mohsen Amraei) در دانشگاه تورکو فنلاند؛ پروفسور های-تائو وانگ (Hai-Tao Wang) در دانشگاه هوهای چین؛ و پروفسور جیان یانگ (Jian Yang) در دانشگاه شانگهای جیاو تونگ چین.

ما از نظرات پروفسور الیاس غفوری در دانشگاه لایب‌نیتس هانوفر (LUH) و دکتر سژه وانگ (Sizhe Wang) در دانشگاه فناوری نانیانگ سنگاپور در خصوص فصل ۱، پروفسور یو (بری) بای (Yu (Barry) Bai) در دانشگاه موناخ در خصوص فصول ۲ و ۳، پروفسور چائو وو (Chao Wu) در کالج امپریال لندن در خصوص فصل ۴، پروفسور محمد الجالاکانی در دانشگاه استرالیای غربی در خصوص فصل ۵، پروفسور بن یانگ در دانشگاه پلی‌تکنیک هنگ‌کنگ در خصوص فصل ۶، پروفسور سینگ-پینگ چیو (Sing-Ping Chiew) در دانشگاه فناوری نانیانگ سنگاپور در خصوص فصل ۷ و دکتر سابرینا فوزیا در دانشگاه فناوری کوئینزلند استرالیا در خصوص فصل ۸ قدردانی می‌کنیم.

شیائو-لینگ ژائو (Xiao-Ling Zhao) لیلی هو (Lili Hu)

نمادها

در این کتاب از نمادهای زیر استفاده شده است. در مواردی که نسبت‌های بدون بعد (nondimensional ratios) مطرح هستند، صورت و مخرج کسر هر دو با واحدهای یکسانی بیان می‌شوند. واحدهای ابعادی برای طول و تنش در تمام عبارات یا معادلات، به ترتیب میلی‌متر (mm) و مگاپاسکال (N/mm^2) در نظر گرفته می‌شوند، مگر اینکه به طور خاص واحد دیگری ذکر شده باشد. هنگامی که بیش از یک معنی به یک نماد اختصاص داده شده باشد، معنای صحیح آن از متنی که در آن استفاده شده، مشخص خواهد بود. برخی از نمادها در این فهرست نیامده‌اند زیرا تنها در یک بخش خاص استفاده شده و در همان زمینه محلی به خوبی تعریف شده‌اند.

نماد	شرح
A	مساحت اینرسی مقطع ترک‌خورده
A_{CFRP}	مساحت کامپوزیت‌های CFRP
A_{corner}	مساحت گوشه در مقاطع قوطی‌شکل (SHS)
$A_{eff,eq}$	مساحت مؤثر مقطع فولادی معادل
$A_{eff,flange}$	عرض مؤثر بال در مقطع ناودانی لبه‌دار (lipped channel)
$A_{eff,lip}$	عرض مؤثر لبه در مقطع ناودانی لبه‌دار
$A_{eff,s}$	مساحت مؤثر مقطع ناودانی لبه‌دار
$A_{eff,web}$	عرض مؤثر جان در مقطع ناودانی لبه‌دار
A_{es}	مساحت مقطع عرضی یک مقطع فولادی معادل
A_{frp}	مساحت مقطع عرضی لمینت FRP
A_g	ضریب پیش‌نمایی (Preexponential factor)
A_h	مساحت محصور در خط مرکزی مقطع دایره‌ای توخالی (CHS)
A_s	مساحت مقطع عرضی مقطع فولادی
A_t	مساحت مقطع عرضی مقطع معادل در مدل ستون کوتاه (Stub column) شعت (Shaht) و فام (Fam)
A_1	مساحت مقطع عرضی تیر فولادی
C	ثابت تجربی مرتبط با مصالح
C_{co}	ضریب مقاومت اسمی لهیدگی جان (Web crippling)
C_{ad-FRP}	ضریب چسب FRP-برای مقاومت اسمی لهیدگی جان
C_{end}	خاصیت (C_m) در حالت نهایی (پس از انتقال شیشه‌ای)
C_h	ضریب لاغری جان
$C_{initial}$	خاصیت (C_m) در حالت اولیه (دمای محیط)
C_m	خواص مصالح تحت حاکمیت رزین، نظیر مدول خمشی، مدول برشی، یا مقاومت برشی
C_N	ضریب طول تکیه‌گاه (Bearing length)
C_{Nh}	ضریب مقاومت اسمی لهیدگی جان پس از در نظر گرفتن اثر طول تکیه‌گاه
C_R	ضریب شعاع گوشه (داخلی)
C_s	ثابت مربوط به SDIF
D	قطر یال (Chord) در اتصالات T/Y

صلبیت خمشی تبدیل یافته (Transformed)	D_t
مدول الاستیسیته (Elastic modulus)	E
مدول الاستیسیته چسب	E_a
انرژی فعال سازی (Activation energy)	$E_{A,g}$
مدول الاستیسیته آلومینیوم	E_{Al}
مدول معادل کامپوزیت ها	E_c
مدول الاستیسیته CFRP	E_{CFRP}
مدول الاستیسیته CHS	E_{CHS}
مدول الاستیک معادل لایه CFRP در جهت برش	E_{eq}
مدول الاستیک فشاری لایه- i ام CFRP	E_{fi}
مدول الاستیسیته FRP	E_{frp}
مدول الاستیک در حالت شیشه ای (Glassy state)	E_G
مدول یانگ الیاف کربن طولی در کشش	$E_{L,t,cs}$
مدول یانگ الیاف کربن طولی در فشار	$E_{L,c,cs}$
مدول الاستیک در حالت لاستیکی (Rubbery state)	E_R
مدول الاستیسیته فولاد	E_{steel}
مدول یانگ الیاف کربن عرضی در کشش	$E_{T,t,cs}$
مدول یانگ الیاف کربن عرضی در فشار	$E_{T,c,cs}$
مدول الاستیسیته یک صفحه ایزوتروپیک	$E_{\backslash}$
مدول الاستیک صفحه کامپوزیت فولاد-BFRP	E_I
سختی پس از تسلیم صفحه کامپوزیت فولاد-BFRP	E_{II}
مدول های الاستیک لایه های CFRP در جهت x	E'_x
مدول های الاستیک لایه های CFRP در جهت y	E'_y
ضریب اصلاح وابسته به اندازه ترک	F
نیروی تحمل شده توسط کامپوزیت های CFRP	F_c
ضریب اصلاح برای شکل ترک	F_e
ضریب اصلاح برای گرادیان تنش	F_g
ضریب اصلاح برای خروج از مرکزیت ترک نسبت به محور مرکزی صفحه	F_h
ضریب کاهش برای خواص مصالح آرماتور CFRP برای تعمیر دوطرفه	$F_{p,DB}$
ضریب کاهش برای خواص مصالح آرماتور CFRP برای تعمیر یک طرفه	$F_{p,SG}$
ضریب اصلاح برای ترک سطحی یا نیروی تحمل شده توسط ورق فولادی	F_s
ضریب دما	F_T
ضریب اصلاح برای ضخامت و عرض محدود صفحه	F_t
ضریب کاهش SIF با در نظر گرفتن تأثیر طول ترک و عرض CFRP	F_w
ضریب کاهش عرض اتصال (حد بالا) برای ورق فولادی CCT تقویت شده یک طرفه	$F_{w,SG,upper}$
ضریب کاهش عرض اتصال (میانگین) برای ورق فولادی CCT تقویت شده یک طرفه	$F_{w,SG,mean}$

ضریب کاهش عرض اتصال (حد پایین) برای ورق فولادی CCT تقویت شده یک‌طرفه	$F_{w,SG,lower}$
ضریب کاهش عرض اتصال (حد بالا) برای ورق فولادی CCT تقویت شده دوطرفه	$F_{w,DB,upper}$
ضریب کاهش عرض اتصال (میانگین) برای ورق فولادی CCT تقویت شده دوطرفه	$F_{w,DB,mean}$
ضریب کاهش عرض اتصال (حد پایین) برای ورق فولادی CCT تقویت شده دوطرفه	$F_{w,DB,lower}$
مقاومت نهایی اتصال (باند) تحت بار استاتیکی	F_{λ}
مقاومت نهایی اتصال تحت بار استاتیکی برای اتصال چسبی که دچار شکست جداشدگی (Debonding) می‌شود	$F_{\lambda,d}$
مقاومت نهایی اتصال پس از تعداد مشخصی سیکل خستگی	F_{γ}
مدول برشی	G
مدول برشی چسب	G_a
مدول برشی چسب در دمای معین T	$G_a(T\#)$
انرژی شکست بین‌فازی تعریف شده توسط سطح زیر منحنی لغزش-پیوند (bond-slip)	G_f
انرژی شکست	G_F
انرژی شکست در دمای معین T	$G_F(T\#)$
ممان اینرسی مقطع ترک‌نخورده	I
ممان اینرسی پایه یا دستک پیش‌تنیدگی (prestressing chair)	I_{ca}
ممان دوم سطح (ممان اینرسی) کامپوزیت‌های CFRP	I_f
ممان دوم سطح لایه-i ام CFRP	I_{fi}
ممان دوم سطح مقطع فولادی	I_s
ممان دوم سطح مقطع فولادی تقویت شده	I_t
ممان دوم سطح تیر فولادی	I_{λ}
ضریب شدت (Intensity factor)	K
سختی فتر	$K_{\lambda,a}$
ضریب شدت تنش (SIF) هنگام وقوع ریز-جداشدگی (micro-debonding)	K_{debond}
سختی الاستیک بین‌فازی	K_E
سختی الاستیک بین‌فازی در دمای معین T	$K_E(T\#)$
ضریب اثر تغییر شکل برشی تیر فولادی در غفوری و متولی (۲۰۱۳)	K_{GM}
سختی فتر قبل از شل شدن CFRP (slack) سمت مقعر	$K_{\lambda,\lambda}$
سختی فتر بعد از شل شدن CFRP سمت مقعر	$K_{\lambda,\lambda}$
سختی نرمال لایه چسب	K_n
ضریب شدت تنش (SIF) بدون در نظر گرفتن جداشدگی در نوک ترک	$K_{no,d}$
سختی محوری CFRP	K_p
ضریب شدت تنش در نوک ترک یا سختی برشی لایه چسب	K_s
سختی نرم‌شده (Softened stiffness)	K_s
سختی نرم‌شده در دمای معین T	$K_s(T\#)$
حداقل ضریب شدت تنش	$K_{s,min}$
ضریب شدت تنش (SIF) با در نظر گرفتن جداشدگی در نوک ترک	$K_{with,d}$
طول اتصال یا طول ستون یا طول تیر	L

طول مهر یا طول ستون فولادی	L_a
طول اتصال مؤثر	L_e
طول اتصال مؤثر در دمای معین T	$L_e(T)$
طول صفحه FRP	L_{frp}
فاصله کرنش سنج-I ام از انتهای آزاد صفحه CFRP	L_i
لنگر خمشی خارجی	M
لنگر کمانش جانبی غیرالاستیک	$M_{b,rd}$
لنگر خمشی مقطع ترک خورده تیر	M_c
لنگر کمانش جانبی الاستیک	M_{cr}
ظرفیت لنگر دینامیکی CFST تقویت شده با CFRP	M_D
ظرفیت لنگر پلاستیک در واحد عرض	M_p
لنگر در هر دو مفصل (Hinges)	$M'pMp'$
لنگر خمشی خالص تیر فولادی	M_s
ظرفیت حمل لنگر نهایی	M_u
ظرفیت لنگر درون صفحه ای مقطع دارای صفحه FRP با فرض شکست ناشی از پارگی FRP	$M_{u,frp}$
لنگر وارد بر مقطع در فاصله X از انتهای صفحه	$M(x)$
لنگر مقطع زمانی که عمق تار خنثی برابر با X است	M_x
ظرفیت لنگر تسلیم پس از تقویت	$M_y^{str.}$
تعداد سیکل های خستگی یا ذوب-یخبندان؛ نیروی محوری اضافی وارد بر ستون از طرف CFRP پیش تنیده	N
نیروی پیش تنیدگی اولیه در صفحه FRP	N_1
طول تکیه گاه (Bearing length)	N_l
نیروی محوری تیر فولادی-I شکل	N_a
بار بحرانی الاستیک برای کمانش پیچشی	N_{cr}
ظرفیت کمانش کلی الاستیک	$N_{c,E}$
ظرفیت کمانش موضعی	$N_{c,L}$
ظرفیت کمانش اعوجاجی (Distortional)	$N_{c,D}$
بار کمانش اعوجاجی الاستیک بحرانی ستون	N_D
عمر خستگی ورق فولادی	$N_{FM,s}$
عمر خستگی ورق فولادی تقویت شده با چندین لایه ورق CFRP با تعمیر دوطرفه	$N_{FM,DB}$
عمر خستگی ورق فولادی تقویت شده با چندین لایه ورق CFRP با تعمیر یک طرفه	$N_{FM,SG}$
بار کمانش موضعی الاستیک بحرانی ستون	N_L
عمر خستگی پیش بینی شده با در نظر گرفتن جداشدگی (debonding)	$N_{P,s,d}$
کل ظرفیت باربری ستون کوتاه تقویت شده با CFRP	$N_{SHSwithCFRP}$
ظرفیت مقطع-T شکل (سه راهی) بدون تقویت FRP	$N_{s,T}$
ضخامت FRP در اتصالات T/Y	n_{tFRP}
ظرفیت تسلیم CHS	$N_{y,s}$

نیروی محوری وارد بر مقطع در فاصله X از انتهای صفحه	$N(x)$
بار اعمالی	P
بارگذاری محوری	P_A
بار تسلیم گوشه	P_B
مولفه بار	P_C
نیرو در چسب	P_a
ظرفیت کمانش محاسبه شده توسط حالت کمانش i	$P_{b,TH,i}$
ظرفیت کمانش با استفاده از تئوری هو و فنگ ۲۰۲۲	$P_{b,TH}$
نیرو در کامپوزیت‌های معادل	P_c
نیرو در الیاف FRP	P_f
حداکثر بار اعمالی در آزمون خستگی یا حداکثر ظرفیت تئوری	P_{max}
کل نیروی لایه‌برداری (peeling force) که باید توسط دورپیچ انتهایی FRP تحمل شود	P_n
مقاومت اسمی لهیدگی جان (web crippling)	P_{nom}
مقاومت اسمی لهیدگی جان با در نظر گرفتن اثر تقویت CFRP	P_{p1}
مقاومت اسمی لهیدگی جان پس از در نظر گرفتن اثر طول تکیه‌گاه	P_{p2}
نیروی تحمل شده توسط ورق فولادی	P_s
ظرفیت نهایی تحت بارگذاری دینامیکی	$P_{u,d}$
ظرفیت نهایی تحت بارگذاری استاتیکی	$P_{u,s}$
ظرفیت باربری نهایی در دمای معین T	$P_{ult}(T)$
بار تسلیم	Q_y
انرژی کرنش کششی چسب	R_a
قطر پیچ رزوه‌دار	R_{bolt}
ظرفیت تکیه‌گاهی جان (Web bearing capacity)	R_b
ظرفیت کمانش تکیه‌گاهی جان	R_{bb}
ظرفیت تسلیم تکیه‌گاهی جان	R_{by}
شعاع خارجی CHS	R_{CHS}
شعاع خارجی مقطع نهایی پس از تقویت	R_f
ثابت جهانی گازها	R_g
اندازه ناحیه پلاستیک	R_p
بارگذاری IOF	R^*
نیروی تامین‌کننده تکیه‌گاه جانبی مؤثر برای مقاومت در برابر کمانش	S
سختی محوری چسب بین فولاد و کامپوزیت FRP	S_a
سختی محوری کامپوزیت FRP متشکل از الیاف FRP و چسب سازگار	S_c
سختی محوری ورق فولادی	S_s
نیروی افقی تامین شده توسط صفحات CFRP در سمت چپ	S_l
نیروی افقی تامین شده توسط صفحات CFRP در سمت راست	S_r
میانگین ضخامت کل نمونه در محل اتصال یا دما	T

پیش‌تنیدگی CFRP	T_i
نیروی پیش‌تنیدگی CFRP در سمت چپ پس از بارگذاری	T_l
نیروی پیش‌تنیدگی CFRP در سمت راست پس از بارگذاری	T_r
ضخامت یال (Chord) در اتصالات T/Y	T_c
دمای انتقال شیشه‌ای	T_g
پیش‌تنیدگی بهینه	$T_{opt,H}$
نیروی پیش‌تنیدگی اولیه CFRP که مربوط به مرز حالت‌های کم‌انرژی ۲ و ۳ است	T_{rrb}
نیروی برشی	V
ظرفیت برشی پلاستیک	V_p
ظرفیت برشی نهایی	V_u
نیروی برشی وارد بر مقطع در فاصله x از انتهای صفحه	$V(x)$
عرض ورق یا صفحه CFRP	W_c
عرض ورق فولادی	W_s
مدول مقطع عرضی فولاد	$W_{s,s}$
تفاوت موقعیت تار خشی در مقاطع ترک‌نخورده و ترک‌خورده	Y_c
طول ترک خستگی یا طول تکیه‌گاهی نهایی	a
نصف طول ترک جداسازی، که پس از آن ریز-جداسازی (micro-debonding) در نوک ترک رخ می‌دهد	a_d
اندازه نهایی ترک	a_f
اندازه اولیه ترک	a_i
طول ورق فولادی در برش	a_1
طول تکیه‌گاهی که ظرفیت‌های کم‌انرژی متقارن و پادمتقارن را معادل می‌سازد	a_{mix}
فاصله بین تکیه‌گاه تا نزدیکترین انتهای تقویت صفحه FRP	a_n
طول تکیه‌گاهی اولیه	a_0
عرض کلی بال مقطع فلزی	b
عرض چسب	b_a
طول پخش بار تکیه‌گاهی	b_b
عرض کامپوزیت FRP	b_c
عرض اینرسی پایه پیش‌تنیدگی (Prestressing chair)	b_{ca}
بیضی با نیم‌قطر بزرگ	b_d
عرض مؤثر بلوک بتنی در مقطع کامپوزیت فولاد-بتن	b_e
عرض بال- i ام مقطع- I شکل ($i = 1, 2, \dots$)	$b_{f,i}$
عرض بال مقطع ناودانی لبه‌دار (Lipped channel)	b_{flange}
عرض لمینت FRP	b_{frp}
عرض لبه (Lip) مقطع ناودانی لبه‌دار	b_{lip}
عرض FRP	b_p
طول تکیه‌گاه یا عرض فولاد	b_s

b_{space}	فضای رزرو شده برای پیچ‌ها و سایر اجزا در پایه پیش‌تندگی و مهار
b_{web}	عرض جان مقطع ناودانی لبه‌دار
b_x	فاصله مرکز CFRP تا مرکز پیچ در پایه پیش‌تندگی
b_r	عرض داخلی مقطع قوطی (SHS)
c_d	بیضی با نیم‌قطر کوچک
$c1, c2, c3$	ضرایب مدل در یک مدل لغزش-پیوند (Bond-slip) یکپارچه
d_d	نسبت SIF (ضریب شدت تنش) تحت هر تنش اسمی با در نظر گرفتن جداشدگی در نوک ترک به حالتی که جداشدگی در نوک ترک در نظر گرفته نشود
$d_{eff,eq}$	قطر مؤثر مقطع فولادی معادل
d_{es}	قطر خارجی مقطع CHS معادل
d_s	قطر خارجی مقطع CHS
d_f	عمق بال مقطع LSB
e	خروج از مرکزیت بارگذاری خارجی فشاری
f_c	مقاومت فشاری دینامیکی
f_{co}	مقاومت فشاری بتن
f_{cs}	مقاومت فشاری استاتیکی بتن
f_{cu}	مقاومت فشاری مکعبی بتن
f_p	مقاومت CFRP
f_t	مقاومت کششی دینامیکی
$f_{t,a}$	مقاومت کششی چسب
f_u	مقاومت کششی نهایی فلز
f_y	تنش تسلیم کششی فلز
h	ارتفاع مقطع یا عمق بخش مسطح جان
h_c	ارتفاع بلوک بتنی در مقطع کامپوزیت فولاد-بتن
k	ضریب طول مؤثر ستون‌ها
k'	ضریب مدل در یک مدل لغزش-پیوند یکپارچه
k_e	ضریب طول کمانش مؤثر تعریف شده در استاندارد AS ۴۱۰۰
k_i	ضریب استفاده شده برای تعریف سطح کرنش در لایه- i ام نسبت به کرنش در فولاد
k_n	سختی خارج از صفحه چسب
k_t	سختی درون صفحه‌ای چسب در جهت عرضی
k_{t1}	نسبت بدون بعد t_{CFRP}/t_s
k_u	سختی درون صفحه‌ای چسب در جهت طولی
k_r	ضریب بین کرنش در دومین لایه ورق الیافی و ورق فولادی
$k_{r,normal}$	مقدار k_2 در دمای محیط
k_σ	نسبت بدون بعد σ_{CFRP}/σ_y
m	ثابت تجربی مرتبط با مصالح
m_r	ضریب راه حل کلی برای تنش برشی بین‌فازی در غفوری و متولی (۲۰۱۳)

تعداد لایه‌های FRP در یک سمت اتصال	n
تعداد ورق‌های GFRP	n_{GFRP}
تعداد لایه‌های طولی FRP	n_L
تعداد لایه‌های عرضی FRP	n_T
ثابت مربوط به SDIF	p
نیروی محوری روی تیر فولادی	p_s
بار تسلیم پس از تقویت	$p_y^{str.}$
سطح پیش‌تندیدگی نهایی CFRP	$p.$
نیروی محوری روی CFRP	p_v
شعاع ژیراسیون (Radius of gyration)	r
شعاع گوشه خارجی مقطع SHS نورد سرد	r_{ext}
شعاع گوشه داخلی مقطع SHS یا RHS نورد سرد	r_{int}
شعاع داخلی مقطع ناودانی	r_i
شعاع ژیراسیون مقطع کامپوزیت	r_t
لغزش نسبی در مدل لغزش-پیوند یکپارچه	s
ضخامت دیواره	t
ضخامت چسب بین ورق فولادی و اولین لایه CFRP	t_a
ضخامت یک لایه چسب	t_{a_layer}
ضخامت مهاربند (Brace) در اتصالات T/Y	t_b
ضخامت ورق CFRP (شامل ورق‌های CFRP و چسب)	t_{CFRP}
ضخامت یک لایه ورق CFRP	t_{CFRP_plate}
ضخامت یک لایه صفحه الیافی CFRP	t_{CFRP_sheet}
ضخامت کامپوزیت FRP	t_c
ضخامت پایه پیش‌تندیدگی	t_{ca}
ضخامت مقطع CHS	t_{CHS}
ضخامت کل فولاد و مقاطع جایگزین شده	t_{es}
ضخامت ناشی از تقویت CFRP	$t_{es,cs}$
ضخامت بال مقطع فلزی	t_f
ضخامت لایه-i CFRP	t_{fi}
ضخامت FRP	t_{frp}
ضخامت ورق الیاف کربن طولی	$t_{L,cs}$
ضخامت بال مقطع I-شکل	t_{sf}
ضخامت دیواره مقطع CHS یا SHS یا ناودانی	t_{st}
ضخامت ورق فولادی	t_{steel}
ضخامت مقطع فولادی تقویت‌شده	t_t
ضخامت ورق الیاف کربن عرضی	$t_{T,cs}$

ضخامت کل CFRP و SHS	t_{total}
ضخامت جان مقطع فلزی	t_w
ضخامت جان معادل	t_{we}
نقص اولیه (Initial imperfection) در وسط دهانه	$v_{om,}$
عمق تار خنثی مقطع I- شکل (یا مقطع I ورق کاری شده) از بالای مقطع	x
موقعیت تار خنثی	y_n
موقعیت تار خنثی اعضای SHS با تقویت CFRP	y_{na}
ضریب تقویت الیاف یا زاویه بین CFRP و محور ستون فولادی	α
زاویه الیاف برای سمت خارج	α_F
ثابت مقطع اعضای فشاری	α_b
ضریب کاهش لاغری عضو تعریف شده در AS 4100	α_c
درجه تبدیل انتقال شیشه‌ای	α_g
ضریب قید پلاستیک (Plastic constraint factor)	α_p
نسبت a_1 به b	α_r
لغزش در نقطه عطف منحنی معادل دوخطی بار-لغزش، یا حداکثر لغزش الاستیک	α_s
ضریب مربوط به مقادیر متغیر مدول برشی چسب در دماهای مختلف	α_T
زاویه الیاف برای وسط	β
نسبت قطر مهاربند (Brace) به قطر یال (Chord)	β_{bc}
نسبت سختی بین کامپوزیت‌های CFRP و ورق فولادی CCT برای تعمیر دوطرفه	β_{DB}
زاویه شیب ترک	β_c
نسبت آسیب (Damage ratio)	β_d
نرخ گرمایش ثابت	β_h
نسبت مدولی (Modular ratio) مرتبط با الیاف طولی	β_L
معکوس صلبیت مماسی اولیه منحنی پاسخ بار-لغزش	β_r
نسبت سختی بین کامپوزیت‌های CFRP و ورق فولادی CCT برای تعمیر یک‌طرفه	β_{SG}
نسبت مدولی مرتبط با الیاف عرضی	β_T
ضریب اصلاح E_c	β_{TE}
زاویه الیاف برای پایین	γ
ضریب ایمنی مصالح برای بتن	γ_c
ضریب تخریب سختی صفحه کامپوزیت فولاد-BFRP	γ_{de}
کرنش برشی الاستیک چسب	γ_e
کرنش برشی الاستیک چسب در دمای معین (T)	$\gamma_e(T)$
ضریب ایمنی جزئی برای کامپوزیت‌های FRP	γ_{frp}
ضریب ایمنی جزئی برای خمش	γ_{M1}
کرنش برشی پلاستیک چسب	γ_p
کرنش برشی پلاستیک چسب در دمای معین (T)	$\gamma_p(T)$
ضریب ایمنی مصالح برای فولاد یا ضریب شکل (نسبت M_p به M_y)	γ_s

نسبت نصف قطر یال (Chord) به ضخامت یال	γ_1
لغزش در مدل لغزش-پیوند	δ
حداکثر لغزش در مدل لغزش-پیوند	δ_f
پارامتر لغزش-پیوند بدون سیکل‌های ذوب-یخبندان برای اتصالات CFRP فولاد	$\delta_{f, \cdot}$
حداکثر لغزش	δ_{max}
حداکثر لغزش در دمای معین (T)	$\delta_{max}(T)$
لغزش نهایی	δ_{ult}
لغزش نهایی در دمای معین (T)	$\delta_{ult}(T)$
تغییر شکل نهایی	δ_u
تغییر شکل متناظر با بار تسلیم	δ_y
لغزش اولیه در مدل لغزش-پیوند	δ_1
پارامتر لغزش-پیوند بدون سیکل‌های ذوب-یخبندان برای اتصالات CFRP فولاد	$\delta_{1, \cdot}$
لغزش در پایان کفه (Plateau) در مدل لغزش-پیوند	δ_r
پارامتر لغزش-پیوند بدون سیکل‌های ذوب-یخبندان برای اتصالات CFRP فولاد	$\delta_{r, \cdot}$
کرنش فشاری بتن در اولین لحظه رسیدن به اوج تنش محوری	ϵ_{co}
کرنش فشاری نهایی بتن	ϵ_{cu}
میانگین کرنش لمینت FRP	ϵ_{frp}
کرنش حدی لمینت FRP	ϵ_{frpl}
کرنش در مقاومت جداشدگی میانی	$\epsilon_{frp,l}$
میانگین کرنش ورق فولادی	ϵ_s
قرائت کرنش سنج- i ام شمارش شده از انتهای آزاد صفحه CFRP	ϵ_i
کرنش در مقطع ترک‌خورده صفحات تقویت شده با تعمیر یک‌طرفه	$\epsilon_{s,SG}$
کرنش در مقطع ترک‌خورده صفحات تقویت شده با تعمیر دوطرفه	$\epsilon_{s,DB}$
کرنش در سطح بالایی بال بالا (فشاری) مقطع I-شکل	$\epsilon_{s,c}$
کرنش در سطح پایینی بال تحتانی (کششی) مقطع I-شکل	$\epsilon_{s,t}$
کرنش در عمق h_i از بالای مقطع I-شکل	$\epsilon_{s,i}$
کرنش کششی اولیه	$\epsilon_{t,i}$
کرنش کششی نهایی کامپوزیت‌های CFRP	$\epsilon_{u,CFRP}$
مؤلفه‌های کرنش صفحه میانی مرتبط با صفحه X	ϵ_{x0}
مؤلفه‌های کرنش صفحه میانی مرتبط با صفحه Y	ϵ_{y0}
ضریب جایگزینی در غفوری و متولی (۲۰۱۳)	Φ
نرخ کرنش	$\dot{\epsilon}$
نرخ کرنش برشی چسب	$\dot{\epsilon}_a$
نرخ کرنش استاتیکی	$\dot{\epsilon}_s$
نسبت فاصله بین مهاربندها به قطر یال	ζ
نسبت ضخامت FRP به ضخامت یال/مهاربند	η

ضریبی برای محاسبه مقاومت چسبندگی (پیوند)	η_b
نسبت ضخامت FRP به ضخامت مهاربند	η_B
نسبت ضخامت FRP به ضخامت یال	η_c
توابع هندسه تیر	η_v, η_r
زاویه تغییر شکل	θ
زاویه بین صفحه جان و صفحه سطح تکیه‌گاهی	θ_{bw}
زاویه یال و مهاربند در اتصالات T/Y	θ_{bc}
زاویه جهت‌گیری واقعی الیاف	θ_f
زاویه باندپیچی (Winding) GFRP	θ_w
نصف طول موج یا نسبت لاغری	λ
تابعی از طول ترک تیر یا درصد رشد ترک در امتداد ورق فولادی CCT	λ_c
لاغری المان برای مقطع CHS معادل	λ_{es}
ضریب راه حل کلی برای تنش برشی بین‌فازی در غفوری و متولی (۲۰۱۳)	λ_g
ضریب پواسون فولاد	ν
ضریب پواسون چسب	ν_a
نسبت $\epsilon_{x0} - \epsilon_{y0}$	ν'_{xy}
سرعت برشی	ν_γ
ضریب تناسب	ξ
نسبت مدول الاستیسیته FRP در امتداد الیاف به مدول الاستیسیته فولاد	ξ_{bc}
لاغری اصلاح شده عضو فشاری	λ_n
لاغری المان	λ_s
لاغری بدون بعد	λ_T
توابع طول ترک	λ_v, λ_r
ضریب کاهش وینتر (Winter) در مدل ستون کوتاه بمباخ و همکاران	ρ_c
ضریب کاهش وینتر در مدل اصلاح شده EC ^۳	ρ_{es}
نسبت سطح مقطع در مدل ستون شعت (Shaht) و فام (Fam)	ρ_f
تنش اسمی	σ
تنش فشاری بتن	σ_c
تنش CFRP	σ_{CFRP}
تنش کمناش الاستیک صفحه کامپوزیت	$\sigma_{cr,cs}$
تنش کمناش الاستیک	σ_{ese}
میانگین تنش لمینت FRP	σ_{frp}
مقاومت نهایی لمینت FRP	$\sigma_{frp,u}$
تنش پارگی کششی FRP	$\sigma_{frp,rupt}$
مقدار حداکثر تنش سیکلی اعمال شده	σ_{max}
مقدار حداقل تنش سیکلی اعمال شده	σ_{min}
تنش نرمال بین‌فازی در فاصله X از انتهای صفحه	$\sigma_n(x)$

تنش اسمی در ورق فولادی	σ_o
تنش بازشدگی ترک (Crack-opening)	σ_{op}
میانگین تنش روی مقطع فولادی	σ_s
تنش میانگین در مقطع اسمی ورق فولادی برای تعمیر دوطرفه	$\sigma_{s,DB}$
تنش میانگین در مقطع اسمی ورق فولادی برای تعمیر یک طرفه	$\sigma_{s,SG}$
تنش فولاد در عمق h_i از بالای یک مقطع I-شکل	$\sigma_{s,i}$
تنش تسلیم یک تیر با مقطع I-شکل	$\sigma_{s,y}$
تنش کششی نهایی چسب	σ_{u-ad}
تنش تسلیم گوشه‌ها در مقطع SHS نورد سرد	$\sigma_{y,c}$
تنش تسلیم فولاد	σ_y
تنش تسلیم معادل برای وجوه مسطح در مقطع SHS نورد سرد	$\sigma_{y,s,eq}$
تنش تسلیم معادل برای گوشه‌ها در مقطع SHS نورد سرد	$\sigma_{y,c,eq}$
تنش پیوند (Bond stress) بین‌فازی	τ
رابطه تنش پیوند بین‌فازی و لغزش نسبی بین FRP و بستر چسبانده شده	$\tau(s)$
تنش برشی بین‌فازی در فاصله x از انتهای صفحه	$\tau(x)$
نسبت ضخامت مهاربند (Brace) به ضخامت یال (Chord) در اتصالات T/Y	τ_{bc}
تنش برشی بحرانی	τ_{cr}
تنش برشی تسلیم	τ_y
تنش برشی در نقطه میانی بین کرنش سنج I-ام و کرنش سنج (I-1)-ام	$\tau_{i+1/2}$
حداکثر تنش برشی در مدل لغزش-پیوند	τ_f
حداکثر تنش برشی در مدل لغزش-پیوند در دمای معین (T)	$\tau_f(T)$
نسبت ضخامت FRP به ضخامت دیواره یال در اتصالات T/Y	τ_{FRP}
پارامتر لغزش-پیوند بدون سیکل‌های ذوب-یخبندان برای اتصالات CFRP-فولاد	$\tau_{max,}$
حداکثر تنش پیوند	τ_{max}
حداکثر تنش پیوند در دمای معین (T)	$\tau_{max}(T)$
تنش برشی برای نمونه تقویت شده	τ_t
ضریب ظرفیت	ϕ
انحنای تیر با عمق تار خنثی x	ϕ_x
ضریب مقاومت	ϕ_w
ضریب کاهش مقاومت مرتبط با کماتش کلی (خمشی یا خمشی-پیچشی)	χ
زاویه عملکرد میدان کششی نشان داده شده در صفحه مستطیلی تقویت شده با CFRP	φ
ضریب کاهش SCF در اتصالات K gap مقطع CHS تقویت شده با CFRP	ψ
ضریب کاهش تنش خمشی	ψ_b
اندازه ناحیه پلاستیک	ω
تغییر شکل تحت بار تکیه‌گاهی (Bearing load)	Δ
دامنه مؤثر SIF (ضریب شدت تنش)	ΔK_{eff}

دامنه مؤثر SIF برای صفحات CCT با تعمیرات یک‌طرفه	$\Delta K_{eff,SG}$
دامنه مؤثر SIF برای صفحات CCT با تعمیر دوطرفه	$\Delta K_{eff,DB}$
دامنه ضریب شدت تنش در نوک ترک در ورق فولادی	ΔK_s
کاهش نیروی پیش‌تنیدگی CFRP	ΔT_c
تغییر در نیروی CFRP ناشی از جابجایی جانبی	ΔT_e
ضریب شدت تنش آستانه که در کمتر از آن ترک خستگی رشد نمی‌کند	ΔK_{th}
ضریب شدت تنش برای صفحات CCT با CFRP	$\Delta K_{s,CFRP}$
ضریب شدت تنش برای صفحات CCT با CFRP برای تعمیر یک‌طرفه	$\Delta K_{s,CFRP,SG}$
ضریب شدت تنش برای صفحات CCT با CFRP برای تعمیر دوطرفه	$\Delta K_{s,CFRP,DB}$
جابجایی جانبی ستون فولادی	Δ_x
جابجایی محوری ستون فولادی	Δ_y
دامنه تنش (Stress range)	$\Delta\sigma$

۲. اختصارات (Abbreviations)

این جدول شامل لیست الفبایی مخفف‌ها و نام‌های سازمان‌ها و روش‌های ذکر شده در کتاب است.

اختصار	شرح کامل انگلیسی	ترجمه فارسی
AA	Aluminium Association	انجمن آلومینیوم
ACFM	Alternating Current Field Measurement	اندازه‌گیری میدان جریان متناوب (روش آزمون)
ACPD	Alternating Current Potential Drop	افت پتانسیل جریان متناوب (روش آزمون)
AISI	American Iron and Steel Institute	موسسه آهن و فولاد آمریکا
AISC	American Institute of Steel Construction	موسسه ساخت و ساز (سازه‌های) فولادی آمریکا
ASI	Australian Steel Institute	موسسه فولاد استرالیا
AS/NZS...	Australian/New Zealand Standard	استانداردهای استرالیا/نیوزلند (کدهای مختلف)
ASTM	American Society for Testing and Materials	انجمن مواد و آزمون آمریکا
AS ۴۱۰۰	Australian bridge design standard AS ۴۱۰۰	استاندارد طراحی پل استرالیا AS ۴۱۰۰
ATC	Applied Technology Council	شورای فناوری کاربردی
BEM	Boundary element method	روش المان مرزی
BFRP	Basalt fibre-reinforced polymer	پلیمر تقویت شده با الیاف بازالت
BRB	Buckling restraint brace	مهاربند کمانش تاب (مهاربند محدودکننده کمانش)
C	Cohesive failure	شکست چسبندگی (شکست در داخل چسب)
CCD	Charge-coupled device	دستگاه جفت‌کننده بار (نوعی سنسور تصویر)
CCT	Centre-cracked tensile (steel plates)	کشش ترک‌دار مرکزی (صفحات فولادی)
CDIF	Dynamic increase factor for comp. strength of concrete	ضریب افزایش دینامیکی برای مقاومت فشاری بتن
CFRP	Carbon fibre-reinforced polymer	پلیمر تقویت شده با الیاف کربن
CFST	Concrete-filled steel tubular	لوله فولادی پر شده با بتن

مقطع توخالی دایره‌ای (لوله)	Circular hollow section	CHS
انجمن تحقیقات و اطلاعات صنعت ساخت و ساز	Construction Industry Research and Information Association	CIRIA
نانو لوله کربنی	Carbon nanotube	CNT
پروفیل تغییر مکان باز شدگی ترک	Crack opening displacement profile	CODP
بهسازی پیش تنیده غیر چسبنده تماسی	Contact prestressed un-bonded retrofit	CPUR
انجمن استانداردهای کانادا	Canadian Standards Association	CSA
ضریب انبساط حرارتی	Coefficient of thermal expansion	CTE
لایه لایه شدن (جداشدگی لایه‌ای) CFRP	Delamination of the CFRP	D
(تعمیر) دوطرفه	Double-sided (repair)	DB
آنالیز مکانیکی حرارتی دینامیکی	Dynamic Mechanical Thermal Analysis	DMTA
کالریمتری روبشی تفاضلی	Differential Scanning Calorimetry	DSC
روش تنش مستقیم	Direct stress method	DSM
درجه خمش موضعی	Local degree of bending	DoB
دورپیچ کردن قطری	Diagonal wrapping	DW
یوروکد ۳ (استاندارد اروپایی سازه‌های فولادی)	Eurocode ۳	EC۳
انتهای یک بال	End-One-Flange	EOF
انتهای دو بال	End-Two-Flange	ETF
روش اجزاء محدود	Finite element method	FEM
پلیمر تقویت شده با الیاف	Fibre-reinforced polymer	FRP
بهسازی پیش تنیده غیر چسبنده تخت	Flat prestressed un-bonded retrofit	FPUR
دورپیچ کردن کامل	Full wrapping	FW
پلیمر تقویت شده با الیاف شیشه	Glass fibre-reinforced polymer	GFRP
گیگاپاسکال (واحد فشار)	Gigapascal	GPa
گرم بر لیتر	Gram per liter	g/L
منطقه متأثر از حرارت (در جوشکاری)	Heat affected zone	HAZ
نوعی CFRP با مدول الاستیسیته ۱۸۰.۵ گیگاپاسکال	CFRP has an elastic modulus of ۱۸۰.۵ GPa	HIT
مدول بالا	High modulus	HM
ساعت	Hour	h
شکست در فصل مشترک CFRP/چسب	Failure in the CFRP/adhesive interface	I
موسسه مهندسان عمران	Institution of Civil Engineers	ICE
دورپیچ کردن قطری معکوس	Inverted diagonal wrapping	IDW
موسسه بین‌المللی FRP در ساخت و ساز	International Institute for FRP in Construction	IIFC
داخلی یک بال	Interior-One-Flange	IOF
داخلی دو بال	Interior-Two-Flange	ITF
انجمن ساخت و ساز فولادی ژاپن	Japan Society of Steel Construction	JSSC

کیلو نیوتن	Kilonewton	kN
مکانیک شکست الاستیک خطی	Linear Elastic Fracture Mechanics	LEFM
تیرهای فولادی سبک (LiteSteel)	LiteSteel beams	LSB
مگاپاسکال	Megapascal	MPa
متر	Metre	m
میلی‌متر	Millimetre	mm
آزمون‌های غیر مخرب	Nondestructive testing	NDT
بهسازی پیش‌تنیده غیر چسبنده	Prestressed un-bonded retrofit	PUR
عضو فولادی تقویت شده با CFRP پیش‌تنیده	Prestressed CFRP-strengthened steel member	PCSSM
مقطع توخالی مستطیلی (قوطی)	Rectangular hollow section	RHS
ضریب تمرکز تنش	Stress concentration factor	SCF
ضرایب تمرکز تنش در موقعیت‌های خاص (پاشنه، پنجه، زین و ...) در اتصالات لوله‌ای	(Various specific SCF conditions)	SCF...
ضریب افزایش دینامیکی فولاد (با در نظر گرفتن نرخ کرنش)	Steel dynamic increase factor...	SDIF
(تعمیر) یک‌طرفه	Single-sided (repair)	SG
مقطع توخالی مربعی	Square hollow section	SHS
ضریب شدت تنش	Stress intensity factor	SIF
شکست در زنگ‌زدگی ناشی از خوردگی	Failure in the corrosion rust	R
آنالیز ترمومکانیکی	Thermo-Mechanical Analysis	TMA
ضریب افزایش دینامیکی برای مقاومت کششی بتن	Dynamic increase factor for tensile strength of concrete	TDIF
بهسازی پیش‌تنیده غیر چسبنده دوزنقه‌ای	Trapezoidal prestressed un-bonded retrofit	TPUR
بهسازی پیش‌تنیده غیر چسبنده مثلثی	Triangular prestressed un-bonded retrofit	TriPUR
هیئت تحقیقات حمل و نقل	Transportation Research Board	TRB
مدول فوق‌العاده بالا	Ultra high modulus	UHM
ماوراء بنفش	Ultraviolet	UV
وزن	Weight	WT

فصل ۱: مقدمه

۱.۱ کاربردهای پلیمرهای مسلح شده با الیاف (FRP) در مقاوم‌سازی سازه‌های فلزی

پلیمر مسلح شده با الیاف (FRP) یک ماده کامپوزیت است که از یک ماتریس پلیمری تقویت شده با الیاف ساخته می‌شود. این الیاف معمولاً از جنس شیشه، کربن یا آرامید هستند، در حالی که پلیمر معمولاً از نوع پلاستیک‌های گرماسخت (ترموست) اپوکسی وینیل استر یا پلی استر است. مواد FRP به طور معمول در صنایع هوافضا، خودروسازی، دریایی و ساخت و ساز مورد استفاده قرار می‌گیرند. مواد FRP دارای نسبت مقاومت به وزن بالایی بوده و از مقاومت مناسبی در برابر خوردگی و حملات محیطی برخوردارند (Hollaway and Head, ۲۰۰۱).

شمار زیادی از سازه‌های فلزی در زیرساخت‌های جاده‌ای و ریلی، ساختمان‌ها، معادن، حمل و نقل و صنایع تفریحی در حال پیر شدن و فرسودگی هستند. روش متداول برای تعمیر یا مقاوم‌سازی سازه‌های فلزی فرسوده، برش و تعویض ورق‌ها یا اتصال ورق‌های فولادی خارجی است. این ورق‌ها معمولاً حجیم و سنگین بوده، نصب آن‌ها دشوار است و علاوه بر اینکه مستعد خستگی (Fatigue) خود ماده هستند، در معرض خوردگی نیز قرار دارند. مواد FRP از پتانسیل لازم برای مقاوم‌سازی سازه‌هایی نظیر پل‌ها، ساختمان‌ها، سکوهای فراساحلی، خطوط لوله و سازه جرثقیل‌ها برخوردار هستند. از این مواد به طور گسترده‌ای برای مقاوم‌سازی سازه‌های بتنی استفاده شده است (Neale, ۲۰۰۰; Teng et al., ۲۰۰۲; Nanni, ۲۰۰۳; Rizkalla et al., ۲۰۰۳; TRB, ۲۰۰۳; Oehlers and Seracino, ۲۰۰۴). نخستین کاربرد میدانی استفاده از FRP برای مقاوم‌سازی سازه‌های فلزی در مهندسی عمران، در پل تیکفورد (Tickford Bridge) در بریتانیا (Lane and Ward, ۲۰۰۰) و پل نهر کریستینا (Christina Creek Bridge) در ایالات متحده آمریکا (Miller et al., ۲۰۰۱) به ثبت رسیده است. استفاده از چنین مواد پیشرفته‌ای برای مقاوم‌سازی سازه‌های فلزی، به یک گزینه جذاب تبدیل شده است (Cadei et al., ۲۰۰۴; Hosseini et al., ۲۰۱۹).

این کتاب به موضوع مقاوم‌سازی سازه‌های فلزی با استفاده از FRP می‌پردازد. مواد FRP در دو شکل (ورق‌های صلب یا Plates و ورق‌های الیاف خشک یا Dry fibre sheet، همان‌طور که در شکل ۱.۱ (الف) و (ب) نشان داده شده است) وجود دارند. ورق الیاف خشک بسیار انعطاف‌پذیر بوده و امکان شکل‌دهی به انواع فرم‌ها را فراهم می‌سازد. چسب‌های مختلفی برای اتصال FRP مورد استفاده قرار می‌گیرند و از جمله چسب‌های متداولی که در مقاوم‌سازی سازه‌های فلزی با FRP به کار می‌روند، می‌توان به ۴۲۰ Araldite و ۳۰ Sikadur اشاره کرد (شکل ۱.۱ (پ)). سازه‌های فلزی شامل مواردی می‌شوند که از چدن، فولاد کربنی، آلومینیوم، فولاد ریخته‌گری شده و فولاد ضدزنگ ساخته شده‌اند.

خلاصه‌ای از برخی کاربردهای میدانی در جدول ۱.۱ برای سازه‌های چدنی/آهن چکش‌کار شده (آهن نرم) و در جدول ۱.۲ برای سازه‌های فولادی و آلومینیومی ارائه شده است. کاربردها شامل پل‌های چدنی، تیرهای پل فولادی، پایه‌ها و اعضای خرابایی، تیرهای فولادی در ساختمان‌ها، سازه‌های جرثقیل، خطوط لوله و سازه‌های تابلوی بالای سری بزرگراه از نوع خرابای آلومینیومی می‌باشد.



(الف)



(ب)



(ج)

شکل ۱.۱ تصویری از (الف) ورق صلب پلیمر مسلح شده با الیاف کربن (CFRP)، (ب) ورق الیاف کربن خشک و (ج) چسب.

جدول ۱.۱: خلاصه برخی کاربردهای میدانی FRP در تقویت سازه های چدنی/آهن چکش کار شده

نام سازه، مکان، سال ساخت/تقویت	نوع سازه	نوع تقویت (Strengthening)	مراجع
پل تیکفورد (Tickford Bridge) انگلستان، ۱۹۹۹/۱۸۱۰	قدیمی ترین پل جاده ای چدنی فعال در جهان	CFRP به روش لایه چینی تر (Wet lay-up) (ضخامت نهایی تا ۱۰ میلی متر)	Lane and Ward (۲۰۰۰)
پل هایث (Hythe Bridge) انگلستان، ۱۹۹۹/۱۸۶۱	تیرهای چدنی، طاق های ضربی آجری	چهار صفحه CFRP پیش تنیده که به هر یک از ۱۶ تیر چسبانده شد تا ظرفیت باربری افزایش یابد.	Luke (۲۰۰۱)
مسیرهای سرپوشیده ۱۲ و ۵۸ (Covered ways) متروی لندن، ۱۹۹۹/۱۸۶۰	طاق های ضربی آجری متکی بر تیرهای چدنی	صفحات CFRP به زیر تیرها چسبانده شد تا از تنش بیش از حد هنگام کار روی پی دیوار تونل جلوگیری شود.	Church and Silva (۲۰۰۲)
ایستگاه شادول (Shadwell station) متروی لندن، ۲۰۰۰/۱۸۷۶	۱۸ ستون چدنی با مقطع صلیبی در شفت تهویه آجری	استفاده از تا ۲۶ لایه CFRP با مدول فوق العاده بالا (UHM) و مقطع توخالی (HS).	Moy et al. (۲۰۰۰) Leonard (۲۰۰۲)
پل کینگ استریت (King Street) ولز، ۲۰۰۰/۱۸۷۰	پل راه آهن شامل شش تیر چدنی که طاق های آجری را نگه می دارند.	پیش بارگذاری برای آزادسازی تنش ها و انتقال بخشی از بار مرده به FRP؛ چسباندن صفحات CFRP UHM و GFRP به چدن.	Farmer and Smith (۲۰۰۱)
پل ۱ EL ^۳ ، اسکله سوری (Surrey Quays) متروی لندن، ۲۰۰۱/۱۸۶۹	تیرها و ستون های چدنی که طاق های آجری و دال های پرچ شده اولیه را نگه می دارند.	استفاده از CFRP با مدول بالا (HM) برای افزایش ظرفیت باربری پل.	Church and Silva (۲۰۰۲)
پل جاده ای ماندروز (Maunder Road) استوک-آن-ترنت، انگلستان، ۲۰۰۱/۱۸۷۰	تیرهای حمال طاق های آجری، عبور جاده از روی خط راه آهن	استفاده از جک های کاهش بار برای انتقال بخشی از بار مرده به CFRP و افزایش ظرفیت پل برای وسایل نقلیه سنگین.	Canning et al. (۲۰۰۶)
پل کرونا (Corona Bridge)	پل عابر پیاده شامل سه قوس چدنی با دهانه های ۴ متری	قوس ها و بازشوهای تزئینی آن ها به ترتیب با ورق های آرامید سه محوری	Bastianini et al. (۲۰۰۴)

ونیز، ایتالیا، ۲۰۰۱/۱۸۵۰	(Triaxial) و نوارهای تک جهته تقویت شدند.
پل مونشن شتاین (Münchenstein)	پل راه آهن تک دهانه از جنس آهن نورد شده (Wrought iron) پرچی، شامل ۱۰ قاب به طول ۴۵.۲ متر
بازل، سوئیس، ۲۰۱۴/۱۸۹۲	تیرهای عرضی با استفاده از سیستم بهسازی CFRP پیش تنیده غیر چسبیده (Unbonded) تقویت شدند.
Ghafoori et al. (۲۰۱۵)	

جدول ۱.۲: خلاصه برخی کاربردهای میدانی FRP در تقویت سازه های فولادی و آلومینیومی

نام سازه، مکان، سال ساخت/تقویت	نوع سازه	نوع تقویت (Strengthening)	مراجع
پل کانال اسلاتاکس (Slattocks Canal)	تیرهای فولادی پرچ شده طولی اولیه با دال بتن مسلح	صفحات HM CFRP روی تیرهای داخلی اجرا شد که به پل اجازه داد وسایل نقلیه ۴۰ تنی (۲۰۰۱) Luke را تحمل کند.	۲۰۰۰/۱۹۳۶، انگلستان، روچدیل
ساختمان بوتس (Boots building)	تیرهای I- شکل فولادی منحنی دارای خوردگی	الیاف تک جهته برای تقویت خمشی در راستای طول تیر قرار گرفتند؛ جهات الیاف ۹۰-۰ درجه برای مقاومت در برابر بارگذاری برشی و پیچشی ایجاد شده توسط انحنای تیر استفاده شدند.	۲۰۰۱/۱۹۲۱، انگلستان، ناتینگهام
پل کریستینا کریک ۱-۷۰۴	پل تیرورق فولادی با دال بتنی در بزرگراه بین ایالتی ۹۵	پروژه نمایشی برای بررسی دوام خستگی و مقاومت محیطی پیوند چسب.	۲۰۰۱/۱۹۶۲، نیوآرک، دلاور، ۲۰۰۱/۱۹۶۲
پل D ^۶ SA	پل تیرورق پرچ شده اولیه (تیرهای با مقطع I با عرشه چوبی)	UHM CFRP روی تیرهای عرضی اجرا شد؛ طراحی شده برای کاهش تنش های بار زنده و افزایش عمر خستگی.	۲۰۰۲/۱۸۷۰، انگلستان، لندن، اکتون
پل اشلند (Ashland Bridge)	پل کامپوزیت با تیرهای فولادی و دال بتنی	تقویت با صفحه CFRP برای کاهش تنش و افزایش عمر خستگی تیرهای فولادی انجام شد.	۲۰۰۲/۱۸۶۰، اشلند، دلاور، ۲۰۰۲/۱۸۶۰
خرابای آلومینیومی روی مسیر ۸۸	سازه های تابلوی بالای سری بزرگراه از نوع خرابای آلومینیومی	لایه های طولی FRP به اعضای مورب چسبانده شده و دور وتر اصلی پیچیده شدند تا الگوهای V- شکل متناوب را شکل دهند و به دنبال آن لایه های محیطی اضافی برای مهار اجرا شد.	۲۰۰۳/۱۹۹۲، نیویورک، نیوآرک
پل ۷۸۳۸.۵S ۰۹۲	پل کامپوزیت با تیرهای فولادی و دال بتنی	تقویت با صفحه CFRP برای کاهش تنش و افزایش عمر خستگی تیرهای فولادی انجام شد.	شهرستان پوتاواتامی، آیووا، ۲۰۰۳/۱۹۳۸
پل ۳۹۰۳.۰S ۱۴۱	پل بزرگراه با تیرهای ساخته شده (Fabricated) با مقطع I	میله های CFRP به عنوان تاندون استفاده شدند؛ میله های CFRP در سمت پایین جان مهار شدند و سپس پیش تنیدگی به آن ها اعمال شد تا تنش تیرهای فولادی کاهش یابد.	گاتری، آیووا، ۲۰۰۳/۱۹۵۵
پل I-۱۰	پل بزرگراه با تیر I- شکل فولادی و تعمیر با وصله های لایه لایه الیاف بور انجام شد.		Roach et al. (۲۰۰۸)

لاس کروسس، نیومکزیکو، ۲۰۰۸/۱۹۵۷	دیافراگم‌های مهاربندی ضربدری	که با حرارت دهی و عمل‌آوری در دمای ۱۰۷ درجه سانتی‌گراد به مدت ۳ ساعت در محل پروژه سخت شدند.
پل KY۳۲ کنتاکی، آمریکا، ۲۰۱۳/۲۰۰۰	پل جاده‌ای تک‌دهانه به عرض ۶.۹۶ متر و طول عرشه ۶.۷ متر	دال بتن مسلح پل روی پنج تیر فولادی $W14 \times 30$ قرار دارد که با استفاده از صفحات چسبانده‌شده UHM CFRP تقویت شدند.
پل دایموند کریک (Diamond Creek) ملبورن، استرالیا، ۲۰۱۸/۱۸۹۶	پل جاده‌ای متشکل از دو تیر اصلی خربایی پرچ شده از جنس آهن چکش کار شده (Wrought iron)	تیرهای عرضی پروفیل‌های I- شکل فولادی نورد گرم بودند که با استفاده از صفحات CFRP چسبانده‌شده بدون پیش‌تنیدگی و صفحات CFRP پیش‌تنیده غیرچسبنده (Unbonded) تقویت شدند.
پل معلق رونیانگ (Runyang) استان جیانگسو، چین، ۲۰۱۸/۲۰۰۵	پل معلق با دهانه اصلی ۱۴۹۰ متر و شاه‌تیر صندوقه فولادی تخت با دال‌های فولادی اورتوتروپیک ساخته شده از فولاد Q۳۴۵B به عنوان تیر اصلی	اتصالات جوشی دنده-به-دال در دال‌های فولادی اورتوتروپیک با نبشی‌های GFRP چسبانده‌شده خارجی تقویت شدند.
پل جاراما (Jarama Bridge) مادرید، اسپانیا، ۲۰۱۹/۱۹۶۵	پل فولادی پنج دهانه (۱۱۸.۳ متر) با روسازه‌ای متشکل از دو تیرورق اصلی طولی با مقطع I	وصله‌های جوش لب‌به‌لب (Butt weld) با استفاده از صفحات CFRP چسبانده‌شده تقویت شدند.
پل راه‌آهن آباخ (Aabach) لاخن، سوئیس، ۲۰۲۰/۱۹۲۸	پل راه‌آهن فولادی با طول ۳۸.۷ متر و عرض ۵ متر	اتصالات دوبل-نبشی استرینگر-به-تیر کف با استفاده از میله‌های CFRP پیش‌تنیده تقویت شدند.
برج سیگنال G فوجیان، چین، ۲۰۲۳/۲۰۱۴	برج فولادی با ارتفاع ۳۰ متر و تغییرمکان افقی رأس که ۶۷٪ از حد طراحی فراتر رفته بود	برج توسط چهار صفحه CFRP پیش‌تنیده ظرف ۳۰ ساعت تقویت شد (شکل ۱۰.۲ ج).

کاربردهای میدانی تعمیر پل در ایالات متحده توسط میلر و همکاران (۲۰۰۱) و فارز و همکاران (۲۰۰۳) ارائه شده است و موارد مربوط به تعمیر پل‌ها، ساختمان‌ها و لوله‌های زیردریایی در بریتانیا را می‌توان در آثار هالووی و کادی (۲۰۰۲) و موی (۲۰۱۱) یافت. فم و همکاران (۲۰۰۶) یک کاربرد میدانی از تقویت با FRP را برای اتصالات آسیب‌دیده خرابی آلومینیومی سازه‌های تابلوی بالای سری بزرگراه ارائه نمودند. چند کاربرد اخیر در چین (ژانگ و همکاران، ۲۰۱۱؛ JSCE، ۲۰۱۲) و اروپا/استرالیا در اشکال ۱۰.۲ تا ۱۰.۴ نشان داده شده است. از این تقویت‌سازی برای افزایش ظرفیت باربری، سختی، یا عمر خستگی استفاده شد.

۱۰.۲ عملکرد بهبودیافته ناشی از تقویت با FRP

همان‌طور که در کاربردهای میدانی در بخش ۱۰.۱ نشان داده شد، FRP پل‌های فرسوده را تقویت می‌کند تا بارهای ترافیکی بیشتری را تحمل کنند، ظرفیت خمشی و پیچشی اضافی به تیرهای خورده شده در یک ساختمان می‌افزاید تا با افزایش بار طبقات مقابله کنند و ترک‌های خستگی را تعمیر می‌کند تا عمر خستگی شاه‌تیرهای پل و اتصالات خربایی افزایش یابد. عملکرد بهبودیافته ناشی از تقویت با FRP همچنین از طریق پروژه‌های تحقیقاتی مختلفی اثبات شده

است، که در جدول ۱.۳ خلاصه شده‌اند؛ این تحقیقات شامل اعضای خمشی سازه‌ای، اعضای فشاری، اعضای کامپوزیت، جان تیرها و اتصالات تحت بارگذاری استاتیکی و خستگی می‌باشد.

۱.۳ دانش فعلی در مورد تقویت سازه‌های فلزی با FRP

دانش موجود در زمینه سیستم کامپوزیت CFRP-بتن، به دلیل تفاوت فاحش بین مکانیزم جداسازی (Debonding) در سیستم اول و دوم، در کنار مودهای شکست منحصربه‌فرد اعضاء و اتصالات فولادی، ممکن است برای سیستم CFRP-فولاد قابل تعمیم نباشد. جداسازی در سیستم CFRP-بتن عمدتاً ناشی از شکست بتن است، در حالی که ضعیف‌ترین حلقه در سیستم CFRP-فولاد، چسب (Adhesive) می‌باشد. مدول یانگ فولاد حدود شش برابر بتن است. عملکرد کامپوزیت بین CFRP و فولاد متفاوت از عملکرد بین CFRP و بتن خواهد بود. اثر شرایط محیطی (گرمای شدید یا هوای سرد، رطوبت، چرخه‌های حرارتی و اسپری آب نمک) بر شکست ناشی از جداسازی برای این دو سیستم متفاوت است. بتن تمایل به خزش (Creep) و جمع‌شدگی (Shrink) دارد، که از ویژگی‌های فولاد نیست. ناسازگاری ضرایب حرارتی CFRP و بتن ممکن است باعث ایجاد تنش‌های قابل توجهی در خط اتصال (Bond line) در طی نوسانات بزرگ دما شود. تفاوت در ضرایب حرارتی بین فولاد و CFRP حتی بزرگتر است. یک مشکل بالقوه خوردگی گالوانیک مرتبط با تقویت اعضای فولادی با استفاده از CFRP وجود دارد. برخی از مودهای شکست برای اعضاء و اتصالات فولادی منحصربه‌فرد هستند، مانند کمانش موضعی، کمانش کلی، تسلیم (Yielding)، عمل غشایی پس از تسلیم، نرم‌شدگی ناحیه متأثر از حرارت (HAZ) پس از جوشکاری و انتشار ترک خستگی.



شکل ۱.۲ تعمیر خطوط لوله نفت، تیرهای جرثقیل و برج‌های مرتفع در چین با CFRP. (الف)

تعمیر یک خط لوله نفت، داکینگ، چین. (ب) تعمیر یک تیر حمال جرثقیل فولادی. (ج) تعمیر یک برج سیگنال مرتفع.



(الف)



(ب)



(ج)

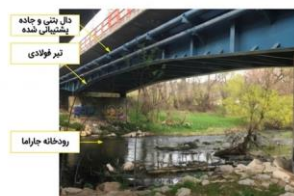
شکل ۱.۳ تعمیر پل‌ها در ژاپن با CFRP. (الف) پل هونجو (Honjo)، ژاپن. (ب) پل هانشین (Hanshin)، ژاپن. (ج) بزرگراه ناگویا.



(الف)



(ب)



(د)



شکل ۱.۴ تعمیر پل‌ها در اروپا و استرالیا با CFRP. (الف) پل مونشن‌شتاین (Münchenstein)، سوئیس (برگرفته از غفوری و همکاران، ۲۰۱۵). (ب) پل دایموند کریک (Diamond Creek)، استرالیا (برگرفته از حسینی و همکاران، ۲۰۱۹). (ج) پل جاراما (Jarama)، اسپانیا (د) پل راه‌آهن آباخ (Aabach)، سوئیس