



دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی

بسم الله الرحمن الرحيم

سازدهای بتن آرمه

تسلیح شده با میلگردهای خاصیت پلیمری

تألیف و تدوین:

دکتر اصغر وطنی اسکویی

عضو هیأت علمی دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی

سرشناسه	: وطنی اسکویی، اصغر، ۱۳۳۷ -
عنوان و نام پدیدآور	: سازه‌های بتن آرمه تسلیح شده با میلگردهای کامپوزیت پلیمری / تألیف و تدوین اصغر وطنی اسکویی؛ ویراستار علمی و ادبی عباس مالیان.
مشخصات نشر	: تهران: دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی، ۱۳۹۶.
مشخصات ظاهری	: ز، ۳۰۴ ص: مصور، جدول، نمودار.
شابک	: ۹۷۸-۶۰۰-۶۵۹۴-۸۸-۰
وضعیت فهرست نویسی	: فیپا
یادداشت	: واژه‌نامه.
یادداشت	: کتابنامه: ص. (۲۷۰ - ۲۷۲).
یادداشت	: نمایه.
موضوع	: بتن تقویت شده با الیاف
موضوع	: Fiber reinforced concrete
موضوع	: میل گردگذاری
موضوع	: Reinforcing bars
موضوع	: ساختمان سازی با بتن مسلح
موضوع	: Reinforced concrete construction
موضوع	: مواد چندسازه پلیمری
موضوع	: Polymeric composites
موضوع	: پلی متیک تقویت شده با الیاف
موضوع	: Fiber reinforced plastics
موضوع	: سازه‌های بتن آرمه - طرح و ساختمان
موضوع	: Concrete structure Design and construction
شناسه افزوده	: دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی
شناسه افزوده	: Shahid Rajaee Teacher Training University
رده بندی کنگره	: ۱۳۹۶ س ۶/ ۴۴۴ TA
رده بندی دیویی	: ۶۲۴/۱۸۳۴۱
شماره کتابشناسی ملی	: ۴۷۳۳۹۱۷



پایگاه نشر و توزیع

عنوان	: سازه های بتن آرمه تسلیح شده با میلگردهای کامپوزیت پلیمری
تألیف و تدوین	: دکتر اصغر وطنی اسکویی، عضو هیأت علمی دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی
ویراستار علمی و ادبی	: دکتر عباس مالیان
نوبت چاپ	: اول - بهار ۱۳۹۶
انتشارات	: دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی
لیتوگرافی	: رجاء نقاشینه
چاپ	: شریف
طراح جلد	: دکتر محسن حسن پور
ناظر چاپ	: محمد معتمدی نژاد
صفحه‌آرا	: نیره فیروزی
کارشناسان	: طاهره کیا/ علی رضایی اهوآئونی
شمارگان	: ۱۰۰۰ جلد
قیمت	: ۲۰۰,۰۰۰ ریال
شابک	: ۹۷۸-۶۰۰-۶۵۹۴-۸۸-۰
ISBN: 978-600-6594-88-0	

کلیه حقوق این اثر برای مؤلفان و مترجمان و دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی محفوظ است.

نشانی: تهران، لویزان - کد پستی ۱۵۸۱۱-۱۶۷۸۸ - صندوق پستی ۱۶۳ - تلفن: (۲۶۳۲) ۰۶۰ - ۲۲۹۷۰۰۷۰.

۲۲۹۷۰۰۷۰، تلفکس: ۲۲۹۷۰۰۴۲، پست الکترونیکی: Publish@srutu.edu، وب سایت: http://Publish.srttu.edu

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
ذ	پیشگفتار
۱	فصل اول: مواد و مصالح
۱	۱-۱- مقدمه
۴	۲-۱- مواد کامپوزیت
۵	۳-۱- پلیمرها
۸	۱-۳-۱- رزین‌های گرماسخت
۱۶	۲-۳-۱- رزین‌های گرمانرم
۱۸	۴-۱- انواع الیاف به کار رفته در میلگردهای کامپوزیت
۲۰	۱-۴-۱- الیاف شیشه
۲۳	۲-۴-۱- الیاف کربن
۲۵	۳-۴-۱- الیاف آرامید
۲۵	۴-۴-۱- الیاف بازالت
۲۶	۵-۱- افزودنی‌ها
۲۸	۶-۱- افزودنی‌های تثبیت‌کننده حرارتی
۲۹	۷-۱- منابع
۳۱	فصل دوم: میلگردهای کامپوزیتی
۳۱	۱-۲- مقدمه

۳۴	۲-۲- مشخصات فیزیکی و مکانیکی
۳۴	۲-۲-۱- وزن مخصوص
۳۴	۲-۲-۲- انبساط حرارتی
۳۵	۲-۲-۳- مقاومت کششی
۳۶	۲-۲-۴- ضریب ارتجاعی کششی
۳۶	۲-۲-۵- مقاومت فشاری
۳۶	۲-۲-۶- ضریب ارتجاعی فشاری
۳۷	۲-۲-۷- مقاومت برشی
۳۷	۲-۲-۸- خزش و گسیختگی ناشی از خزش
۴۰	۲-۳- بررسی عملکرد کششی میلگرد کامپوزیت FRP
۴۰	۲-۳-۱- چگونگی بر کردن لوله‌های فولادی برای مهار کردن میلگردها
۴۱	۲-۳-۲- مداسازی طری میلگردهای FRP
۴۲	۲-۴- رفتار بنیادی از مشامات مواد
۴۳	۲-۴-۱- مقادیر طرا
۴۳	۲-۴-۲- رفتار خمشی
۴۵	۲-۴-۳- ترک‌های ناشی از خم
۴۶	۲-۴-۴- تغییر شکل
۴۶	۲-۵- سطح بیرونی میلگردهای کامپوزیتی
۴۸	۲-۶- وسایل مکانیکی مهار میلگرد
۵۴	۲-۷- مشخصات فیزیکی و مکانیکی
۵۶	۲-۸- خستگی
۵۶	۲-۹- عوامل تأثیر گذار بر مشخصات مکانیکی کامپوزیت‌ها
۵۷	۲-۹-۱- پیرشدگی فیزیکی ماتریس پلیمر
۵۷	۲-۹-۲- تأثیرات حرارتی - رطوبتی
۵۸	۲-۹-۳- محیط قلبایی
۵۸	۲-۹-۴- تأثیر دمای پایین
۵۹	۲-۹-۵- تأثیر یخ زدن و ذوب شدن
۵۹	۲-۹-۶- رطوبت

۶۰	۲-۹-۷- آتش و حرارت
۶۲	۲-۹-۸- اشعه ماوراء بنفش
۶۲	۲-۹-۹- خوردگی
۶۶	۲-۱۰- منابع

۶۷	فصل سوم: طراحی تیر با میلگرد کامپوزیت پلیمری بر مبنای تنش نهایی
۶۷	۳-۱- مقدمه
۷۳	۳-۲- معیارهای حالت گسیختگی کششی
۷۵	۳-۳- حالت گسیختگی فشاری
۷۶	۳-۴- حداتین مایکرو خمشی
۷۸	۳-۵- برش و طراحی عضو برای برش
۸۰	۳-۵-۱- حداقل میلگرد برشی
۸۲	۳-۵-۲- کنترل برش با استفاده از دوطرفه با میلگرد FRP
۸۲	۳-۵-۳- طول مهار
۸۳	۳-۶- منابع

۱۰۷	فصل چهارم: طراحی اعضای تحت بار محوری (ستون)
۱۰۷	۴-۱- مقدمه
۱۱۴	۴-۲- گام های لازم برای طراحی ستون های تسلیح شده با میلگردهای کامپوزیتی
۱۱۶	۴-۳- کنترل لاغری
۱۱۸	۴-۴- دیاگرام اندرکنش بارمحوری- لنگر خمشی
۱۱۸	۴-۴-۱- سطح مقطع مربع- مستطیل
۱۲۰	۴-۴-۲- سطح مقطع دایروی شکل
۱۲۷	۴-۵- منابع

۱۲۹	فصل پنجم: دیوار برشی تسلیح شده با میلگردهای کامپوزیت پلیمری
۱۲۹	۵-۱- مقدمه
۱۳۰	۵-۲- پارامترهای تأثیر گذار بر عملکرد دیوار برشی
۱۳۰	۵-۲-۱- نسبت ابعادی دیوار
۱۳۱	۵-۲-۲- المان ها و اجزای مرزی
۱۳۱	۵-۲-۳- درزهای اجرایی

۱۳۱	۵-۲-۴- میلگردهای افقی و عمودی
۱۳۱	۵-۲-۵- شالوده دیوار
۱۳۲	۵-۳- عملکرد دیوار برشی
۱۳۳	۵-۳-۱- شکل پذیری دیوارهای برشی تسلیم شده با میلگردهای کامپوزیت پلیمری
۱۳۸	۵-۴- ضریب تغییر شکل
۱۳۸	۵-۵- محاسبه ضریب رفتار R
۱۴۰	۵-۶- طولی از عضو که در آن مفصل پلاستیک می شود
۱۴۵	۵-۷- منابع

فصل ششم: کنترل پهنای ترک در اعضای تسلیم شده با میلگرد کامپوزیت پلیمری

۱۴۷	۶-۱- مقدمه
۱۴۹	۶-۲- پهنای ترک با توجه به معیارهای ACI ۴۴۰-۱R
۱۵۰	۶-۳- پهنای ترک بر حسب معیار JSCE (۱۹۹۷)
۱۵۹	۶-۴- گسیختگی ناشی از خزش
۱۶۰	۶-۵- حد تنش گسیختگی ناشی از خزش
۱۶۱	۶-۶- مثال درباره ی خزش
۱۶۳	۶-۷- منابع

فصل هفتم: پیوستگی میلگردهای کامپوزیت پلیمری با بتن

۱۶۵	۷-۱- مقدمه
۱۶۶	۷-۲- پارامترهای تأثیر گذار بر روی پیوستگی میلگرد با بتن
۱۶۶	۷-۲-۱- قطر میلگرد
۱۶۶	۷-۲-۲- شرایط سطح میلگرد
۱۶۷	۷-۲-۳- جنس و مشخصات مکانیکی بتن
۱۶۷	۷-۲-۴- شرایط تنش عرضی در بتن حول میلگردها
۱۶۷	۷-۲-۵- موقعیت نسبی میلگردها و برای آنها
۱۶۷	۷-۲-۶- نوع میلگرد
۱۶۸	۷-۲-۷- شرایط محیطی

۱۶۸	۷-۲-۸- رزین
۱۷۱	۷-۳- روش آزمایش برای تعیین مقاومت باند میلگردهای FRP با آزمایش بیرون کشیدگی
۱۷۲	۷-۳-۱- اهمیت و مورداستفاده
۱۷۳	۷-۴- آزمایش بیرون کشیدگی میلگرد
۱۷۴	۷-۴-۱- نمونه‌گیری
۱۷۵	۷-۵- آزمایش‌های بیرون کشیدگی (Pullout) مستقیم میلگرد GFRP از بتن
۱۷۵	۷-۵-۱- آماده‌سازی نمونه‌های بیرون کشیدگی
۱۷۹	۷-۵-۲- رایش و آزمایش نمونه‌ها
۱۷۹	۷-۵-۳- داده‌های آزمایش و بحث در نتایج آن
۱۸۸	۷-۶- افزایش پیرستگی میلگرد با بتن
۱۹۱	۷-۷- مدل‌های خرابی
۱۹۴	۷-۸- بررسی مقاومت پیوستگی تنس (پیرستگی) میلگردها در بتن
۱۹۷	۷-۹- منابع

۱۹۹	فصل هشتم: شالوده‌های منفرد
۱۹۹	۸-۱- مقدمه
۲۰۰	۸-۲- معیارهای طراحی شالوده‌های منفرد
۲۰۰	۸-۲-۱- ضوابط کلی طراحی مطابق با آیین‌نامه بتن ایران (آبا)
۲۰۴	۸-۳- آزمایش‌های شالوده و دال بتنی مسلح
۲۱۲	۸-۴- آزمایش‌های شالوده‌های مقیاس حقیقی
۲۱۲	۸-۴-۱- اهداف آزمایش‌ها و مشخصات نمونه‌ها
۲۱۴	۸-۴-۲- محاسبات سازه‌ای اولیه
۲۱۸	۸-۴-۳- نحوه ساخت و جزئیات اجرایی نمونه‌های مقیاس واقعی شالوده در آزمایشگاه
۲۲۱	۸-۵- آرایش آزمایش‌ها و دریافت داده‌ها
۲۲۴	۸-۶- نتایج آزمایش‌های مربوط به شالوده‌ها
۲۲۴	۸-۶-۱- داده‌های آزمایش و بحث در نتایج آن
۲۴۰	۸-۷- مثال شالوده منفرد

۲۴۱	۸-۷-۱- خلاصه طراحی
۲۴۱	۸-۷-۲- گام ۱) تعریف مشخصات بتن
۲۴۳	۸-۷-۳- گام ۲) محاسبه بارمحموری و لنگر خمشی در حالت سرویس
۲۴۴	۸-۷-۴- گام ۳) انجام برآورد اولیه (شامل سطح مقطع و عمق شالوده)
۲۵۵	۸-۷-۵- گام ۴) محاسبه و طراحی میلگردهای FRP برای ظرفیت خمشی
۲۶۰	۸-۷-۶- گام ۵) کنترل خزش و تنش گسیختگی
۲۶۱	۸-۸-۱- مثال دال بتنی تسلیح شده با میلگرد کامپوزیت پلیمری
۲۶۱	۸-۸-۱- مشخصات میلگردها
۲۶۲	۸-۸-۲- مشخصات بتن
۲۶۲	۸-۸-۳- بارگذاری
۲۶۲	۸-۸-۴- میلگرد حرارتی
۲۶۳	۸-۸-۵- تعیین حداقل و حداکثر فاصله میلگرد های طولی
۲۶۳	۸-۸-۶- میلگردهای طراحی شده توسط نرم افزار
۲۶۴	۸-۸-۷- محاسبه دینامیک میلگرد بالانس
۲۶۴	۸-۸-۸- ظرفیت نامشروع
۲۶۵	۸-۸-۹- ظرفیت برشی
۲۶۶	۸-۸-۱۰- لنگر و برش تحلیل
۲۶۶	۸-۸-۱۱- محاسبه تار خنثی
۲۶۷	۸-۸-۱۲- کنترل ترک خوردگی
۲۷۰	۸-۹- منابع
۲۷۳	واژه نامه فارسی انگلیسی
۲۸۰	واژه نامه انگلیسی فارسی
۲۸۷	نمایه

پیشگفتار

بعد از جنگ جهانی دوم، نیاز صنایع هوا فضا به مصالح سبک‌تر و مقاوم‌تر از فولاد باعث تولید الیاف مسلح شده کامپوزیتی (FRP) گردید و کاربرد آن عصر جدیدی را در صنایع هوا فضا ایجاد کرد. گسترش و کاربردی شدن علوم در ایجاد مختلف نیاز به دانش‌های نو بنیان را ایجاد می‌نماید. فناوری‌های نوین برای بهسازی و ساخت سازه‌های بتنی نیز از این امر مستثنی نیست و امروزه شاهد گسترش این مهم در دنیا به خصوص کشورهای توسعه یافته می‌باشیم چراکه توسعه پایدار بدون استفاده گسترده از الیاف کامپوزیت پلیمری در تمامی زمینه‌ها امکان‌پذیر نمی‌باشد. تأثیر مفید و مؤثر استفاده علمی از محصولات پلیمری در بهبود عملکرد سازه‌های بتنی در سال‌های اخیر به اثبات رسیده است که ضرورت آشنایی بیش‌تر با این مواد را توجیه می‌نماید؛ بنابراین با پیشرفت‌های علم و فناوری، امروزه متخصصان امر ساخت و ساز سعی می‌کنند با استفاده از میلگردهای کامپوزیت ترکیبی که علاوه بر شکل‌پذیری مناسب برای اعمال بارهای ناشی از زلزله (تنش، تغییر مکان و مانند آن)، از سایر جنبه‌های مؤثر بر سازه مانند وزن کم، مقاومت بالا، سهولت کاربرد و طول عمر طولانی نیز بهره‌مند است. ارزان‌تر بودن این نوع میلگردها (حدود یک و نیم برابر ارزان‌تر از فولاد) در مقایسه با میلگردهای فولادی سبب کاهش هزینه ساخت سازه می‌گردد. این نوع میلگردها علاوه بر بهسازی، در ترمیم سازه‌های آسیب دیده و به‌عنوان میلگرد در سازه‌های جدید صنعت ساخت استفاده می‌شود. این مورد باعث ارتقاء دانش تولید بهتر مصالح کامپوزیت پلیمری است.

سازه‌های بتنی تسلیح شده با میلگرد فولادی اغلب ممکن است در معرض چرخه‌تر و خشک شدن (WD)، نمک، آب‌وهوای گرم مرطوب، انجماد و ذوب (FT) و نمک‌زدایی (بر اثر آب شدن

یخ در آب و هوای سرد) و بسیاری از دیگر شرایط محیط‌های مهاجم شدید قرار گیرند که این مورد می‌تواند سازه‌های بتنی متداول را دچار زوال کند. ترکیب کلریدها با کربناسیون در محیط مرطوب باعث خوردگی فولاد گردیده و می‌تواند باعث زوال عناصر سازه‌ای که در آن‌ها از فولاد استفاده شده است گردد؛ به‌عنوان مثال یون کلر در بتن باعث خوردگی فولاد تسلیح‌کننده بتن می‌شود. برای شرایط مهاجم و خورنده برای افزایش دوام و کاهش هزینه‌های نگهداری راهکارهایی همچون استفاده از فولاد زنگ‌نزن، پوشش رنگ پودری اپوکسی، پوشش روی‌اندود و مانند آن نتوانسته است به اندازه استفاده از عناصر متشکل الیاف مسلح شده کامپوزیتی (FRP) مشمر ثمر باشد.

الیاف پرمیری و مقدار در صد آن در مقاومت عناصر متشکل الیاف تسلیح شده کامپوزیتی (FRP) نقش اصلی را دارند؛ گرچه رزین نیز به‌عنوان پیوند دهنده بین الیاف و انتقال تنش بین الیاف نقش مهمی دارد.

بررسی ساختار سازه‌های بتنی در جنوب کشور نشان داد که خوردگی میلگرد فولادی عامل اصلی برای آسیب دیدن بتن در منطقه خلیج فارس بوده و خواهد بود. بر این اساس راه‌حلی برای بهبود عملکرد در برابر خوردگی استفاده از میلگرد GFRP در سازه‌های بتن آرمه بهترین گزینه خواهد بود. از دلایل اصلی استفاده از الیاف شیشه (GFRP) به‌عنوان یک مصالح ساختمانی در سال‌های اخیر ارزان‌تر بودن آن نسبت به دیگر الیاف است.

از دیرباز تاکنون تحقیقات گسترده‌ای در زمینه پیشگیری از خوردگی میلگردهای فولادی مسلح‌کننده سازه‌های بتنی صورت پذیرفته است؛ اخیراً برای جلوگیری از خرابی‌های به‌وجود آمده به علت خوردگی استفاده از میلگردهای کامپوزیتی به‌عنوان مصالح جایگزین مطرح شده است. مواردی همچون پایین بودن ضریب ارتجاعی، کرنش نهایی یا شکست ترد و عدم رفتار نرم و مانند آن استفاده از این محصول را به‌عنوان جایگزین قطعی برای تمام سازه‌ها در هاله‌ای از ابهام باقی گذاشته بود به منظور رفع مشکلات فوق استفاده از نسل جدیدی از مصالح با عنوان میلگردهای با ضریب ارتجاعی بالا، همچنین میلگردهای ترکیبی کامپوزیتی که شرایط شکل‌پذیری مناسب‌تری را ارضا می‌کند پیشنهاد می‌گردد.

استفاده از میلگردهای کامپوزیت پلیمری که از قرارگیری الیاف (کربن- شیشه- آرامید- بازالت و ترکیب الیاف) در ماتریس رزین تشکیل می‌شوند، می‌تواند گزینه و جایگزین مناسبی برای میلگردهای فولادی باشد. خواص مکانیکی میلگردهای کامپوزیت پلیمری متفاوت از میلگردهای فولادی است. بنابراین طراحی و معادلات به‌کار رفته در طراحی سازه‌های بتنی تسلیح‌شده با این

نوع میلگردها متفاوت‌تر از سازه‌های بتنی تسلیح شده با میلگردهای فولادی است. این گونه الیاف عملکرد غیر ایزوتروپ دارد و در راستای الیاف دارای مقاومت کششی خیلی خوب ولی در راستای عمود بر الیاف دارای مقاومت کمی دارد. این خاصیت ناهمسانگرد باعث کاهش مقاومت برشی این نوع میلگردها گردد.

ایده نگارش این کتاب از سال‌ها پیش بعد از بازدید پروژه‌های عمرانی اجرا شده در جنوب کشور مخصوصاً در عسلویه، چابهار، بندرعباس و جزایر قشم و کیش و بازسازی پس از زلزله اهر و ورزقان و نیاز به اجرای شالوده‌های سبک پیش ساخته شکل گرفت و به برگزاری اولین کنفرانس ملی کاربرد کامپوزیت‌ها در صنعت ساخت توسط دانشکده مهندسی عمران دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی در بهمن‌ماه ۱۳۹۵ انجامید. بدین وسیله از تمامی عزیزانی که بصورت مستقیم و غیرمستقیم در شکل‌گیری این اثر نقش داشته‌اند تشکر می‌گردد و لازم است علاوه بر مسئولین و کارمند شرکت تولید کامپوزیت وطن، از آقایان مهندسان آرش قریب‌لو، میلاد بذلی، حامد اشرفی، علیرضا دوست محمدی و یویا وطنی اسکویی تشکر ویژه بنمایم. امید است با راهنمایی‌های شما عزیزان بتوانم اشکالات این اثر را در چاپ‌های بعدی برطرف نمایم.

اصغر وطنی اسکویی