



بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

سازه‌های بتن آرمه

تسلیح شده با میلگردهای کامپوزیت پلیمری

تألیف و تدوین:

دکتر اصغر وطنی اسکویی

عضو هیأت علمی دانشگاه تربیت مدرس شهید رجائی

سرشناسه	: وطنی اسکویی، اصغر، ۱۳۲۷ -
عنوان و نام پدیدآور	: سازه‌های بتن آرمه تسلیح شده با میلگردهای کامپوزیت پلیمری / تالیف 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	: فیبا
یادداشت	: واژه‌نامه.
یادداشت	: کتابنامه: ص. [۲۷۰ - ۲۷۲].
یادداشت	: نمایه.
موضوع	: بتن تقویت‌شده با الیاف
موضوع	: Fiber reinforced concrete
موضوع	: میل‌گردگذاری
موضوع	: Reinforcing bars
موضوع	: ساختمان‌سازی با بتن مسلح
موضوع	: Reinforced concrete construction
موضوع	: مواد چندسازه پلیمری
موضوع	: Polymeric composites
موضوع	: پلاستیک تقویت شده با الیاف
موضوع	: Fiber-reinforced plastics
موضوع	: سازه‌های بتنی -- طرح و ساختمان
موضوع	: Concrete structures -- Design and construction
شناسه افزوده	: دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی
شناسه افزوده	: Shahid Rajaei Teacher Training University
زده بندی کنگره	: ۱۳۹۶ و عس/۴۴۴TA
زده بندی دیویی	: ۱۸۳۴۱/۶۲۴
شماره کتابشناسی ملی	: ۴۷۲۲۹۱۷



دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی

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
چاپ اول	: اول - بهار ۱۳۹۶
چاپ دوم	: دوم - بهار ۱۳۹۸
انتشارات	: دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی
لیتوگرافی	: رجا نقشینه
چاپ	: شریف
طراح جلد	: دکتر محسن حسن پور
ناظر چاپ	: محمد معتمدی نژاد
صفحه‌آرا	: نیره فیروزی
کارشناسان	: طاهره کیا/ علی رضایی اهوآونئی
شمارگان	: ۵۰۰ جلد
قیمت	: ۴۵۰,۰۰۰ ریال
شابک	: ۹۷۸-۶۰۰-۶۵۹۴-۸۸-۰
ISBN:	۹۷۸-۶۰۰-۶۵۹۴-۸۸-۰

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

نشانی: تهران، لویزان - کد پستی ۱۵۸۱۱-۱۶۷۸۸ - صندوق پستی ۱۶۳ - ۱۶۷۸۵ - تلفن: (۲۶۳۲) ۹ - ۲۲۹۷۰۰۶۰، تلفکس: ۲۲۹۷۰۰۴۲، پست الکترونیکی: Publish@sru.ac.ir، وب سایت: http://Publish.sru.ac.ir

**تقدیم به روح پر فتوح پدر و مادر
عزیز و بزرگوارم**

و

او

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	۱-۲-۲- وزن مخصوص
۳۴	۲-۲-۲- انبساط حرارتی
۳۵	۳-۲-۲- مقاومت کششی
۳۶	۴-۲-۲- ضریب ارتجاعی کششی
۳۶	۵-۲-۲- مقاومت فشاری
۳۶	۶-۲-۲- ضریب ارتجاعی فشاری
۳۷	۷-۲-۲- مقاومت برشی
۳۷	۸-۲-۲- خزش و گسیختگی ناشی از خزش
۴۰	۳-۲- بررسی عملکرد کششی میلگرد کامپوزیت FRP
۴۰	۱-۳-۲- چگونگی پر کردن لوله‌های فولادی برای مهار کردن میلگردها
۴۱	۲-۳-۲- مدل‌سازی نظری میلگردهای FRP
۴۲	۴-۲- رفتار بنیادی و مشخصات مواد
۴۳	۱-۴-۲- مقادیر طراحی
۴۳	۲-۴-۲- رفتار خمشی
۴۵	۳-۴-۲- ترک‌های ناشی از خمش
۴۶	۴-۴-۲- تغییر شکل
۴۶	۵-۲- سطح بیرونی میلگردهای کامپوزیتی
۴۸	۶-۲- وسایل مکانیکی مهار میلگرد
۵۴	۷-۲- مشخصات فیزیکی و مکانیکی
۵۶	۸-۲- خستگی
۵۶	۹-۲- عوامل تأثیر گذار بر مشخصات مکانیکی کامپوزیت‌ها
۵۷	۱-۹-۲- پیرشدگی فیزیکی ماتریس پلیمر
۵۷	۲-۹-۲- تأثیرات حرارتی - رطوبتی
۵۸	۳-۹-۲- محیط قلبیایی
۵۸	۴-۹-۲- تأثیر دمای پایین
۵۹	۵-۹-۲- تأثیر یخ زدن و ذوب شدن
۵۹	۶-۹-۲- 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- حداقل میلگرد خمشی
۷۸	۳-۵- برش و طراحی عضو برای برش
۸۰	۳-۵-۱- حداقل میلگرد برشی
۸۲	۳-۵-۲- کنترل برش برای دال دوطرفه با میلگرد FRP
۸۲	۳-۵-۳- طول مهاری
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	۴-۲-۵- میلگردهای افقی و عمودی
۱۳۱	۵-۲-۵- شالوده دیوار
۱۳۲	۳-۵- عملکرد دیوار برشی
۱۳۳	۱-۳-۵- شکل پذیری دیوارهای برشی تسلیح شده با میلگردهای کامپوزیت پلیمری
۱۳۸	۴-۵- ضریب تغییرشکل
۱۳۸	۵-۵- محاسبه ضریب رفتار R
۱۴۰	۶-۵- طولی از عضو که در آن مفصل پلاستیک می‌شود
۱۴۵	۷-۵- منابع

۱۴۷ فصل ششم: کنترل پهنای ترک در اعضای تسلیح شده با میلگرد کامپوزیت

پلیمری

۱۴۷	۱-۶- مقدمه
۱۴۹	۲-۶- پهنای ترک با توجه به معیارهای ACI ۴۴۰-۱R-۰۶
۱۵۰	۳-۶- پهنای ترک برحسب معیار ژاپن JSCE (۱۹۹۷)
۱۵۹	۴-۶- گسیختگی ناشی از خزش
۱۶۰	۵-۶- حد تنش گسیختگی ناشی از خزش
۱۶۱	۶-۶- مثال درباره‌ی خزش
۱۶۳	۷-۶- منابع

۱۶۵ فصل هفتم: پیوستگی میلگردهای کامپوزیت پلیمری با بتن

۱۶۵	۱-۷- مقدمه
۱۶۶	۲-۷- پارامترهای تأثیر گذار بر روی پیوستگی میلگرد با بتن
۱۶۶	۱-۲-۷- قطر میلگرد
۱۶۶	۲-۲-۷- شرایط سطح میلگرد
۱۶۷	۳-۲-۷- جنس و مشخصات مکانیکی بتن
۱۶۷	۴-۲-۷- شرایط تنش عرضی در بتن حول میلگردها
۱۶۷	۵-۲-۷- موقعیت نسبی میلگردها و برای آنها
۱۶۷	۶-۲-۷- 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- آرایش و آزمایش نمونه‌ها
۱۷۹	۷-۵-۳- داده‌های آزمایش و بحث در نتایج آن
۱۸۸	۷-۶- افزایش پیوستگی میلگرد با بتن
۱۹۱	۷-۷- مدل‌های خرابی
۱۹۴	۷-۸- بررسی مقاومت پیوستگی (تنش پیوستگی) میلگردها در بتن
۱۹۷	۷-۹- منابع

فصل هشتم: شالوده‌های منفرد

۱۹۹	۸-۱- مقدمه
۱۹۹	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 بارمحوری 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 درصد میلگرد بالانس
۲۶۴	۸-۸-۸- ظرفیت خمشی
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 ابعاد مختلف نیاز به دانش‌های نو بنیان را ایجاب 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 ساخت‌وساز سعی می‌کنند با استفاده از میلگردهای کامپوزیت ترکیبی که علاوه بر شکل‌پذیری مناسب برای مقابله با تلاش‌های ناشی از زلزله (تنش، تغییر مکان و ماندان)، 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 تسلیح کننده بتن می‌شود. برای شرایط متهاجم و خورنده برای افزایش دوام و کاهش هزینه‌های نگهداری راهکارهایی همچون استفاده از فولاد زنگ نزن، پوشش رنگ پودری اپوکسی، پوشش روی‌اندود و مانند آن نتوانسته است به اندازه استفاده از عناصر متشکل الیاف مسلح شده کامپوزیتی (FRP) مثمر ثمر باشد.

الیاف پلیمری 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 ارزان تر بودن آن نسبت به دیگر الیاف است.

از دیرباز تاکنون تحقیقات گسترده‌ای در زمینه پیشگیری از خوردگی میلگردهای فولادی مسلح کننده 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 تمامی سازه‌ها در حال‌ای از ابهام باقی گذاشته بود به منظور رفع مشکلات فوق استفاده از نسل جدیدی از میلگردها 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 قرار گیری 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 به کار رفته در طراحی سازه‌های بتنی تسلیح شده با این

نوع میلگردها متفاوت تر 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 رجائی در اردیبهشت‌ماه 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 دوست‌محمدی و پویا وطنی‌اسکویی تشکر ویژه بنمایم. امید است با راهنمایی‌های شما عزیزان بتوانم اشکالات این اثر را در چاپ‌های بعدی برطرف نمایم.

اصغر وطنی اسکویی

فصل اول

مواد و مصالح

واژه‌های کلیدی: مواد کامپوزیتی، رزین‌ها، الیاف، افزودنی‌ها.

۱-۱- مقدمه

بعد از جنگ جهانی دوم نیاز صنایع هوافضا به مصالح سبک‌تر و مقاوم‌تر از جمله فولاد باعث تولید الیاف مسلح شده کامپوزیتی (FRP) شده و کاربرد آن عصر جدیدی را در صنایع هوافضا ایجاد کرد. در سال‌های اخیر با توجه به مزایای الیاف مسلح شده کامپوزیت پلیمری (FRP) استفاده از آن در صنعت ساختمان به‌طور روزافزونی رشد کرده است. استفاده از الیاف مسلح شده کامپوزیتی (FRP) سابقاً در صنایع نظامی، دریایی، کشتی‌رانی، ورزشی، هوایی و پزشکی استفاده بیشماری داشته و دارد و با ارزان‌تر شدن هزینه تولید، این نوع الیاف برای بهسازی، مقاوم‌سازی سازه‌های آسیب‌پذیر، تعمیر و ترمیم سازه‌های آسیب‌دیده، استفاده به‌عنوان میلگرد در سازه‌های جدید، استفاده از آن به‌عنوان قالب ماندگار سازه‌ای در سازه‌های دریایی و پایه پل‌ها در صنعت ساختمان استفاده می‌شود. این مورد باعث گسترش دانش تولید مصالح کامپوزیتی و همچنین تدوین آیین‌نامه‌ها و دستورالعمل‌های طراحی سازه‌ها شده است. ویژگی‌هایی همچون مقاومت بالا، نارسانا

بودن الکتريسته ای، مقاومت در برابر ميدان‌های مغناطیسی، سبک بودن و مقاومت در شرایط محیطی خورنده و مهاجم به صورت مستقیم و غیرمستقیم در نگهداری، مقاومت، پایداری، دوام، سبک‌سازی و ارزان‌تر شدن سازه‌ها اثرگذار بوده است.

در سال‌های نه‌چندان دور فولاد تنها راه مسلح‌سازی بتن به‌شمار می‌رفت. فولاد نقش عنصر کششی و بتن نقش عنصر فشاری را به عهده داشت. ولی ترکیب کلرید و کربناسیون در محیط‌های مرطوب باعث زوال بتن و خوردگی میلگرد می‌شود. در نتیجه سازه کارایی خود را از دست خواهد داد؛ گرچه راهکارهایی برای رفع این مشکل همچون میلگرد زنگ نزن، پوشش روی‌اندود میلگرد، استفاده از رنگ و رزین الکترواستاتیک، پوشش سطح بتن و یا میلگرد با رزین‌های اپوکسی و مانند آن برای محیط‌های خورنده استفاده گردیده است. در دهه ۶۰ میلادی، مسائل خوردگی در پل‌های بزرگراه و سازه‌های بتنی مسلح به فولاد شروع به ظهور کرد. مخلوط‌های نمک و شن که برای ذوب کردن برف و یخبندان بر سطح جاده ریخته می‌شود، خوردگی میلگردهای فولادی را تسریع می‌کند. اثرات ناشی از خوردگی فولاد، به علت افزایش حجم موجب شکست در بتن می‌گردند. نخستین راه کار ایجاد پوشش گالوانیزه و مانند آن بر روی میلگردها بود. این راه‌حل به‌زودی جذابیت خود را به دلایل متعددی از دست داد، که عمدتاً به دلیل واکنش الکترولیت بین فولاد و پوشش روی بود، که حفاظت از خوردگی را کاهش می‌داد. در اواخر دهه ۶۰ میلادی، شرکت‌های زیادی پوشش‌های اسپری الکترواستاتیکی^۱ با باند آمیختگی^۲ یا همان رزین پودری را برای خطوط لوله نفت و گاز ایجاد کردند. در اوایل دهه ۷۰ میلادی، اداره کل بزرگراه‌های فدرال در کشور آمریکا گزارشی برای ارزیابی بیش از ۵۰ نوع پوشش میلگردهای فولادی منتشر کرد. این گزارش منجر به استفاده کنونی از میلگردهای فولادی با پوشش اپوکسی شد. در سال ۱۹۵۴ برای اولین بار گلدس ورثی امکان استفاده از روش پولاتراشن برای تولید میلگردهای کامپوزیتی را پیشنهاد داد و مفید بودن استفاده از این نوع میلگردها در بتن‌های مسلح که در معرض خوردگی می‌باشند را بیان کرد. در اواخر سال‌های ۱۹۸۰ استفاده از میلگردهای کامپوزیتی راهکار مؤثری برای تسلیح بتن مخصوصاً برای شرایط محیطی شروع گردید. کامپوزیت‌های مسلح شده با الیاف ترکیبی است از رزین و الیاف با مقاومت و ضریب ارتجاعی بالا که دارای پیوستگی مناسبی با بتن بوده و به راحتی می‌توان آن را به اشکال مختلف درآورد. هر یک از مصالح ترکیبی دارای ویژگی‌های مکانیکی، فیزیکی و شیمیایی خود را دارا می‌باشد. ولی الیاف نقش تعیین‌کننده در باربری سیستم را داراست و رزین علاوه بر پیوستگی، یکپارچگی الیاف را تأمین می‌کند. همچنین

^۱ Electrostatic-Spray

^۲ Fusion-Bonded

در بعضی شرایط رزین نقش دوام بخشی الیاف برای شرایط محیطی را نیز تأمین می‌کند. اصلی‌ترین الیاف به کار رفته در کامپوزیت شیشه، کربن، آرامید و بازالت می‌باشد؛ گرچه الیاف دیگری نیز هست که کاربرد کمتری دارد. مهم‌ترین دلیل استفاده از میلگردهای کامپوزیت پلیمری علاوه بر سبکی وزن و مقاومت کششی بالای این نوع میلگرد، مقاومت آن در برابر خوردگی محیطی می‌باشد. میسن و بنتیا^۱ [۱-۱] در سال ۲۰۰۹ گزارشی دادند که در کشور آمریکا تعداد ۱۶۰۰۰ پل بتنی که در آن‌ها از میلگردهای فولادی استفاده شده نیاز به ترمیم و تقویت دارند. مفتی^۲ و همکارانش [۲-۱] در سال ۲۰۰۷ گزارشی از بازدیدهای میدانی و آزمایش‌ها از پل‌های بتنی که در تسلیح آن از میلگردهای کامپوزیتی استفاده شده بود و از زمان ساخت آن ۵ الی ۸ سال می‌گذشت، هیچ‌گونه مشکل و ضعفی را گزارش نکردند.

میلگردهای کامپوزیت پلیمری FRP (میلگرد FRP) از نظر شکل ظاهری مشابه میلگردهای متداول فولادی هستند، ولی به جای فولاد از الیاف مخصوص با مقاومت بسیار بالا به همراه یک نوع رزین پلیمری در ساخت آن استفاده شده است. میلگردهای کامپوزیت پلیمری FRP به عنوان جایگزینی مناسب برای میلگردهای فولادی در بسیاری از سازه‌های بتنی به کار رفته و می‌رود. میلگردهای کامپوزیت پلیمری FRP ناهادی الکتریکی و مغناطیسی بوده و در برابر خوردگی مقاوم می‌باشند، با استفاده از میلگردهای کامپوزیت پلیمری FRP می‌توان از مشکلات تداخل الکترومغناطیسی و خوردگی فولاد اجتناب نمود. علاوه بر این مقاومت کششی بالای میلگردهای کامپوزیت FRP آن‌ها را جایگزین مناسبی برای تقویت کششی در بتن می‌گرداند.

باینکه از تحقیق ناوی و نئوورث^۳ در مورد استفاده از الیاف و میلگردهای پلیمری در بتن حدود نیم‌قرن می‌گذرد [۳-۱]؛ ولی اولین بار در سال ۱۹۹۷ در کشور ژاپن این نامه طراحی و اجرای سازه‌های بتن مسلح با میلگردهای کامپوزیت پلیمری توسط انجمن مهندسين عمران^۴ تدوین گردید [۴-۱] و بعداً در سال ۲۰۰۱، ACI-۴۴۰ اولین ویرایش راهنمای طراحی و اجرای سازه‌های بتن مسلح با میلگردهای کامپوزیتی را منتشر نمود [۵-۱]؛ گرچه در سال ۱۹۹۶ گزارشی مبسوطی توسط ACI-۴۴۰ ارائه گردیده بود [۶-۱]. در کشور ایران برای اولین بار در مبحث نهم مقررات ملی-۱۳۹۲ [۷-۱] ویژگی‌های و مشخصات میلگردهای کامپوزیت پلیمری ارائه گردید. ولی نحوه اجرا، طراحی و استفاده از آن ارائه نشده است. در سال‌های اخیر در تولید کیفی و کمی میلگردهای

^۱ Meisen and Banthia

^۲ Mufti

^۳ Nawy and Neuwerth

^۴ JSCE

کامپوزیتی رشد زیادی دیده شده است و متعاقب آن قیمت آن کاهش شدیدی داشته است. با توجه به مزایای میلگردهای کامپوزیتی و کمبود اطلاعات طراحی به زبان فارسی سعی بر تهیه این کتاب گردید. در این کتاب علاوه بر ویژگی‌های الیاف و رزین، عملکرد و معیارهای طراحی انواع میلگردها ارائه شده است. شایان ذکر است در این کتاب از میلگردهای تنیده و ترکیبی بحثی انجام نمی‌شود.

۱-۲- مواد کامپوزیت

کامپوزیت‌ها نوعی از جامدات هستند. کلمه "کامپوزیت" برای هر ترکیبی از دو یا چند ماده مجزا با یک واسطه قابل شناسایی بین آن‌ها اطلاق می‌شود که اغلب با یک محدوده میانی (مانند روکش سطحی به کاررفته در اجزای سازنده برای بهبود چسبندگی آن جزء به ملات پلیمری)، به کار می‌رود. کامپوزیت پلیمری FRP از ترکیب الیاف آغشته به رزین تشکیل می‌شود.

گرچه این کامپوزیت‌ها، به عنوان پلیمرهای مسلح به الیاف تعریف شده است، لکن در مورد کاربردهای سازه‌ای مانند بتن مسلح به کامپوزیت‌های FRP دست کم یکی از مواد به کاررفته باید از الیاف پلیمری باشد. در مورد استفاده از رزین‌های پلیمرهای گرماسخت، الیاف معمولاً سخت‌تر و قوی‌تر از رزین می‌باشد. لکن چنانچه از الیاف منقطع در قالب استفاده شود، درصد حجمی باید بیش‌تر از ۱۰ درصد باشد به طوری که نقش تسلیحی قابل توجهی داشته باشد.

عملکرد هر یک از کامپوزیت‌ها وابسته به موادی است که کامپوزیت‌ها از آن ساخته شده‌اند، همچنین وابسته به نحوه قرارگیری بخش اصلی باربر کامپوزیت (الیاف مسلح کننده) و اثر متقابل مواد (الیاف و رزین) می‌باشد. اغلب مکتوبات منتشر شده درباره کامپوزیت‌ها، در خصوص بتن‌های مسلح کامپوزیت، ذکر کرده‌اند که الیاف مسلح کننده، عامل اصلی باربری المان سازه‌ای می‌باشد. باید گفت که الیاف مسلح کننده جزء سازه‌ای اصلی در کامپوزیت‌ها می‌باشند، لکن لازم است نقش مهمی که رزین پلیمری ایفا می‌کند بررسی و درک شود. در حقیقت نقش ملات پلیمری، انتقال تنش بین الیاف مسلح کننده و سازه پیرامونی، همچنین محافظت الیاف از آسیب‌های محیطی و مکانیکی می‌باشد.

بعضی مزایا و معایب کامپوزیت را می‌توان به صورت جدول ۱-۱ می‌توان برشمرد. لازم است دقت شود که نقص و مشکل کیفیت در سازه‌های کامپوزیتی به سه علت زیر مربوط می‌شود:

الف- طراحی بد، ب- مصالح نامناسب و ج- اشتباه روند تولید