



مشخصات فنی میلگرد های FRP

مرکز فولاد ایران

(CFRP/GFRP/AFRP)

جهت ساخت سازه های مقاوم و مقاوم سازی سازه ها





میلگرد FRP:

میلگرد کامپوزیتی ترکیبی از الیاف پیوسته ای (شیشه، آرامید، کربن، بازالت و ...) که با ملات رزینی که قادر می سازد الیاف با یکدیگر به عنوان یک المان واحد عمل کنند با روش های تولید خاص ساخته شده است. طبق معیار **ASTM D2584** حدود ۷۰ درصد حجم میلگرد را الیاف تشکیل می دهد

رزین:

رزین مورد استفاده گرماگیرش یا **Thermoset** از جمله پلی استر، وینیل استر و اپوکسی می باشد.

روش تولید:

روش تولیدی که سبب قرار گرفتن رشته های پیوسته الیاف در کنار یکدیگر به همراه ملات رزین می شود، مواد **FRP** را قادر می سازد تا آرماتوری مناسب برای سازه های بتنی به دست آید. فرایند تولید تحت گزارش **ACI 440R-07** موسوم به کشش رانی یا **Pultrusion Process** از متداول ترین روش های تولید است.

مزایای آرماتور های FRP:

از جمله مزایای میلگرد های **FRP** می توان به وزن کم، مقاومت زیاد، دوام، مقاومت در برابر خوردگی، مقاومت در برابر مواد شیمیایی و محیطی، تراوایی الکترو مغناطیس و مقاومت در برابر ضربه اشاره نمود.

میلگرد کامپوزیتی با الیاف آرامید AFRP	میلگرد کامپوزیتی با الیاف کربن CFRP	میلگرد کامپوزیتی با الیاف شیشه GFRP	
ویژگی کیفی			
++++	++++	++++	مقاومت کشش
++++	++++	++++	مقاومت خمشی
+++	+	++++	ویژگی الکتریکی
++++	++++	++++	مقاومت گرمایی
+++	+++	+++	مقاومت رطوبتی
++	+	++	رنگ پذیری

+ ضعیف ++ متوسط +++ خوب ++++ عالی

مشخصات فیزیکی و مکانیکی :

میلگرد های FRP ایزوتروپ و نا همسانگرد هستند و در راستای محور طولی (محور قوی)، که رزین در راستای عمود بر الیاف نقش بار بری دارد. مشخصات مکانیکی این میلگرد ها بر خلاف فولاد، بسته به نوع الیاف و رزین تفاوت قابل ملاحظه ای دارد. همچنین عواملی مثل حجم و جهت قرار گیری الیاف و مقدار آن، تاثیرات ابعادی مقطع و کنترل کیفیت در حین تولید نقش اساسی در تولید محصول ایفا می کند. علاوه بر این، عوامل متاثر از مدت و تاریخچه بارگذاری و دما و طوبت باعث تغییر برخی مشخصات مکانیکی میلگرد های FRP خواهد شد.

الیاف آرامید AFRP	الیاف کربن CFRP	الیاف شیشه GFRP	Steel	جنس میلگرد ویژگی
مشخصات میلگرد پلیمری و فولادی (با فرض اینکه الیاف بین ۵۰ تا ۷۰ درصد میلگرد باشد).				
ندارد	ندارد	ندارد	۵۱۷ تا ۲۷۶	تنش اسمی (Mpa)
۲۵۴۰ تا ۱۷۲۰	۳۶۹۰ تا ۶۰۰	۱۶۰۰ تا ۴۸۳	۶۹۰ تا ۴۸۳	مقاومت کششی
۱۲۵ تا ۴۱	۵۸۰ تا ۱۲۰	۵۱ تا ۳۵	۲۰۰	مدول الاستیسیته (Gpa)
ندارد	ندارد	ندارد	۰/۲۵ تا ۰/۱۴	کرنش تسلیم %
۴/۴ تا ۹/۱	۱/۷ تا ۰/۵	۳/۱ تا ۱/۲	۱۲ تا ۶	کرنش گسیختگی %
۱۴۰۰ تا ۱۲۵۰	۱۶۰۰ تا ۱۵۰۰	۲۱۰۰ تا ۱۲۵۰	۷۹۰۰	چگالی (kg/m^3)
ضریب انبساط حرارتی میلگرد ها ($\times 10^{-6}/C^{\circ}$)				
-۲ تا -۶	۰ تا -۹	۱۰ تا ۶	۱۱/۷	در جهت طولی (αL)
۸۰ تا ۶۰	۱۰۴ تا ۷۴	۲۳ تا ۲۱	۱۱/۷	در جهت عرضی (αT)
ضریب کاهش در شرایط محیطی مختلف				
۰/۹	۱/۰	۰/۸	-	بتن مسلح شده با الیاف کامپوزیتی مستقیما در تماس با شرایط محیطی بیرون و خاک نمی باشد.
۰/۷	۰/۹	۰/۸	-	بتن مسلح شده با الیاف کامپوزیتی مستقیما در تماس با شرایط محیطی بیرون و خاک می باشد.

الیاف کربن:

از جمله الیافی که مصرف زیاد در میلگرد های FRP دارد، نوع کربن است که مقاوم ترین و سبکترین الیاف بوده.

ضریب الاستیسیته طولی الیاف : ۳۹۰ GPa - ۱۲۰

ضریب الاستیسیته عرضی: ۲۰ GPa - ۱۲

قطر الیاف: ۱۰ - ۴ μm

نوع الیاف	وزن مخصوص kg/m^3	قطر μm	مقاومت کششی Mpa	ضریب الاستیسیته Gpa	کرنش کششی نهایی %
کربن	کربن مدول بالا	۷/۵	۱۸۰۰	۴۰۰	۱/۵
	کربن مقاومت بالا	۷/۵	۲۶۰۰	۲۴۰	۰/۸

الیاف شیشه:

بیشترین استفاده در صنعت کامپوزیت را الیاف شیشه دارد و طبق جدول در تیپ های E تا HM معرفی شده است. از جمله مزایای این الیاف ارزانی و مقاومت کششی و بالا است.

نوع الیاف	وزن مخصوص kg/m^3	قطر μm	مقاومت کششی Mpa	ضریب الاستیسیته Gpa	کرنش کششی نهایی %	ضریب انبساط گرمایی $10^{-6}/C^{\circ}$	ضریب پوسیدگی	توضیحات
نوع E	۲۵۴۰	۳-۲۰	۳۴۵۰	۷۲/۴	۲/۴	۵	۰/۲۲	بیشترین استفاده، ارزانتر، مقاومت خستگی مناسب
نوع S	۲۴۹۰	۸-۱۳	۴۵۸۰	۸۵/۵	۳/۳	۲/۹	۰/۲۲	مقاومت و ضریب الاستیسیته بیشتر نسبت به نوع E
نوع AR	۲۲۷۰	۱۰	۳۳۰۰	۶۹	۲-۳	-	-	مقاوم در برابر محیط قلیایی
نوع C	۲۴۵۰	-	۳۳۱۰	۶۹	-	۶/۳	-	مقاوم در برابر محیط قلیایی و اسیدی
نوع D	۲۱۴۰	-	۲۵۰۰	۵۵	-	۳/۱	-	مقاوم در برابر جریان الکتریسیته
نوع HM	۲۸۹۰	-	۳۴۰۰	۱۱۰/۴	-	۳/۱	-	مقاومت و ضریب الاستیسیته بالا

افزودنی ها:

افزودنی ها به مصالح اصلی کامپوزیت ها اضافه می شوند تا بعضی از خواص سیستم را بهبود دهند تا محصولی ارزانتر با کیفیت مورد نیاز و پایدار حاصل شود. سایز افزودنی نباید از ۱۰ میکرو متر بزرگتر باشد و کامپوزیت وطن این مقدار را به میزان ۵ الی ۸ میکرو متر رعایت می کند. از جمله افزودنی ها می توان به کربنات کلسیم، میکرو بالن، آلومینیوم تری هیدرات، انتیموان تری اکسید، آلومینیوم سیلیکات (رس کائولن) و استایرن اشاره کرد. علاوه بر این در پلیمر ترموپلاست (پلی اتیلن، پلی متیل اکریات، پلی وینیل استات و پلی کاپرولاکتون) های اضافه شده با روش گرما نرم معمولا با مونومر استایرن ترکیب می شوند.

برش دادن:

برش دادن میلگرد های FRP از میلگرد های فولادی بسیار ساده تر است و با یک اره آهن بری، اره نواری یا هر وسیله برشی سخت میتوان آن را برش داد.

خم کردن:

بر خلاف میلگرد فولادی، میلگرد های FRP بعلاوه تمرکز تنش در محور ضعیفشان و شکست الیاف، بوسیله فک در کارگاه خم نمی شود روشهای ساده ایجاد طول مهاری برای این نوع میلگردها وجود دارد همچنین در صورت نیاز به خم و قلاب توسط شرکت کامپوزیت وطن در محل کارخانه طبق سفارش مشتری، انجام می گردد.

نحوه حمل:

همچون میلگردهای پوشش داده شده گالوانیزه و یا با اپوکسی می باشد

نحوه بستن میلگردها به همدیگر:

با توجه به اینکه مفتولها نقش سازه ای ندارند میلگردهای کامپوزیتی را هم می توان بوسیله سیم مفتولهای فولادی به همدیگر وصل کرد و هم بوسیله سیم های پلیمری (برای محل هایی که جریان ناهادی الکتریسته نیاز است) استفاده کرد

نحوه اتصال میلگردها به همدیگر:

در اتصال میلگردهای کامپوزیتی همچون میلگردهای فولادی می توان هم پوشانی لازم با توجه به طول مهاری انجام داد و هم بوسیله کوپلر های مخصوص اتصال را برقرار کرد.

مهيار ميلگرد ها:

به توجه به اينکه مقاومت ميلگردهای کامپوزيت FRP در راستای عرضی و عمود بر الياف کم می باشد نمی توان اين ميلگردها را همچون ميلگردهای فولادی لای فک دستگاہ آزمایش کشش قرار داد چون ممکن است فک باعث له شدگی چسب و الياف می شود. در عين حال نيروی انتقال يافته توسط مهيار می تواند سبب شکست موضعی FRP در منطقه مهيارى به علت تمرکز تنش گردد. روشن است که، استفاده از مهيار طویل تر برای کاهش تنش های منطقه مهيارى در بسياری موارد غير عملی است. مقدار مهيار شدگی ميلگرد ها با توجه به قطر آنها متفاوت می باشد.

حد اقل طول غلاف بتنی (mm)	ضخامت دیواره غلاف بتنی (mm)	قطر خارجی غلاف فولادی (mm)	قطر ميلگرد کامپوزيتی d_b (mm)	نوع ميلگرد کامپوزيتی
۳۰۰	۴/۸	۳۵	۶/۴	(ميلگرد جنس شیشه) GFRP
۳۰۰	۴/۸	۳۵	۹/۵	(ميلگرد جنس شیشه) GFRP
۳۸۰	۴/۸	۴۲	۱۳	(ميلگرد جنس شیشه) GFRP
۳۸۰	۴/۸	۴۲	۱۶	(ميلگرد جنس شیشه) GFRP
۴۶۰	۴/۸	۴۸	۱۹	(ميلگرد جنس شیشه) GFRP
۴۶۰	۴/۸	۴۸	۲۲	(ميلگرد جنس شیشه) GFRP
۴۶۰	۴/۸	۳۵	۹/۵	(ميلگرد جنس کربن) CFRP

STANDARDES:

ACI 440.1R-15: Guide for the Design and Construction of Structural Concrete Reinforced with Fiber-Reinforced Polymer Bars"ACI Committee 440

ACI 440.8-13: Specification for Carbon and Glass Fiber-Reinforced Polymer (FRP) Materials Made by Wet Layup for External Strengthening of Concrete and Masonry Structures "ACI Committee 440

ACI 440.9R-15: Guide to Accelerated Conditioning Protocols for Durability Assessment of Internal and External Fiber-Reinforced Polymer (FRP) Reinforcement" ACI Committee 440

ACI 440.3R-04 "Guide for Test Methods for Fiber Reinforced Polymers (FRP) for Reinforcing and Strengthening Concrete Structures"

ACI 440.4R-04 "Pre stressing Concrete Structures with FRP Tendons"

S806-12 March 2012" Design and construction of building structures with fiber-reinforced polymers"

Fib Bulletin No. 40, "FRP Reinforcement in RC Structures"

CNR-DT 204/2006, "Guide for the Design and Construction of Concrete Structures Reinforced with Fiber Reinforced Polymer Bars" DIN-1045-1

ASTM D7205 / D7205M-06, Standard Test Method for Tensile Properties of Fiber Reinforced Polymer Matrix Composite Bars,2011

ASTM D2584, Standard Test Method for Ignition Loss of Cured Reinforced Resins, 2011

BRI, 1995, Guidelines for Structural Design of FRP Reinforced Concrete Building Structures, Building Research Institute, Japan

JSCE, 1997, Recommendation for Design and Construction of Concrete Structures using Continuous Fiber Reinforcing Materials, Concrete Engineering Series 23, Japan Society of Civil Engineers, Tokyo, Japan

ISO 1006-1200 " Fibre-reinforced polymer (FRP) reinforcement of concrete — Test methods — Part 1: FRP bars and grids

پایان