TECHNICAL DATA SHEET
برگه اطلاعات فنی

میلگرد ساده کامپوزیتی FRP

FRP / GRP SMOOTH REBAR



PRODUCT SERIES
FRP/GRP SMOOTH REBAR



کاربردها



رنگ‌ها و سطح



مشخصات فنی



انواع قطر و ابعاد

میلگرد ساده کامپوزیتی FRP ناباک کامپوزیت (Smooth FRP / GRP Rebar) یک میله توپر پالتروژن از کامپوزیت GFRP است که الیاف شیشه پیوسته آن به‌صورت کاملاً موازی در جهت طول قرار دارند؛ میلگردی با مقاومت کششی دو برابر میلگرد فولادی، یک‌چهارم وزن آن، بدون زنگ‌زدگی، غیرمغناطیسی و عایق الکتریکی برای داول روسازی بتنی، مهار با چسب، میله‌های کششی و کاربردهای صنعتی و عایق.

Ø 6 – 32 mm	700 – 1100 MPa	≈ 50 GPa	≈ 27%
قطر میلگرد کامپوزیتی	مقاومت کششی تضمینی	مدول الاستیسیته کششی	وزن میلگرد فولادی هم‌قطر

میلگرد ساده کامپوزیتی FRP (میلگرد GFRP صاف) چیست؟

میلگرد ساده کامپوزیتی که با نام‌های **میلگرد کامپوزیتی**، **میلگرد FRP**، **میلگرد GFRP**، **میلگرد فایبرگلاس**، **میلگرد غیرفلزی** و **میلگرد ساده FRP** شناخته می‌شود، با فرایند پالتروژن تولید می‌شود: ده‌ها رشته روونگ الیاف شیشه پیوسته از حمام رزین وینیل‌استر یا اپوکسی عبور کرده، در قالب گرد گرم‌شده به قطر نهایی شکل گرفته و پخت می‌شوند. نتیجه، میلگرد GFRP با بیش از ۷۰ درصد وزنی الیاف شیشه، مقطع یکنواخت و سطح صاف است.

FRP نام عمومی پلیمرهای تقویت‌شده با الیاف است و GFRP (یا GRP) کامپوزیت FRP با الیاف شیشه است. برخلاف میلگرد فولادی، میلگرد کامپوزیتی رفتار **کاملاً الاستیک تا لحظه گسیختگی** دارد (بدون تسلیم)، مدول آن حدود یک‌چهارم فولاد است و در محیط‌های قلیایی، کلریدی و مرطوب دچار خوردگی نمی‌شود.

میلگرد ساده یا آجدار؟ سطح صاف میلگرد ساده کامپوزیتی، چسبندگی مکانیکی محدودی با بتن ایجاد می‌کند. به همین دلیل میلگرد ساده FRP برای کاربردهایی انتخاب می‌شود که **لغزش در بتن مطلوب است** (داول درز روسازی)، انتقال بار با **چسب یا مهار مکانیکی** انجام می‌شود، یا اصلاً بتن در کار نیست. برای آرماتوربندی سازه‌ای بتن طبق ACI 440.1R و ASTM D7957، میلگرد GFRP با سطح آجدار یا ماسه‌پاشی‌شده لازم است.

کاربردهای میلگرد ساده کامپوزیتی

داول روسازی بتنی
داول FRP در درزهای انقباضی جاده، فرودگاه و کف صنعتی؛ بدون زنگ و ترک ناشی از خوردگی

مهار با چسب (کاشت)
میلگرد GFRP کاشته‌شده با چسب اپوکسی در بتن، سنگ و دیوار

میله کششی و مهار
تای‌راد و مهار با صفحه و گوه یا رزوه در سازه‌های ضد خوردگی

سازه‌های عایق و غیرمغناطیسی
پست برق، اتاق MRI، فونداسیون ترانسفورماتور و تجهیزات حساس

کشاورزی و محوطه
قیم درخت، پایه داربست انگور، حصار و پایه‌های ضد پوسیدگی

صنعت و تجهیزات
میله عایق، محور سبک، فنر و تقویت قطعات کامپوزیتی

مزایای میلگرد ساده کامپوزیتی FRP

- **بدون خوردگی:** میلگرد کامپوزیتی در نمک یخ‌زدایی، آب دریا، فاضلاب و خاک سولفاته زنگ نمی‌زند؛ ترک و پوسته شدن بتن ناشی از زنگ‌زدگی حذف می‌شود.
- **سبک:** میلگرد GFRP حدود یک‌چهارم وزن میلگرد فولادی؛ حمل دستی، بارگیری و نصب سریع‌تر.
- **مقاومت کششی بالا:** مقاومت کششی میلگرد FRP دو تا سه برابر تنش تسلیم میلگرد فولادی معمولی است.
- **عایق الکتریکی:** بدون جریان القایی و مسیر زمین؛ مناسب پست برق، ریل و حفاظت کاتدی.
- **غیرمغناطیسی و شفاف در برابر امواج:** مناسب اتاق MRI، فرودگاه، رادار و تجهیزات اندازه‌گیری.
- **برش آسان:** میلگرد فایبرگلاس با دستگاه حفاری و TBM بریده می‌شود؛ کاربرد در دیواره‌های موقت تونل (Soft-Eye).

جدول قطر، وزن و مقاومت میلگرد کامپوزیتی

جدول ۱ — مشخصات میلگرد ساده GFRP (ρ = 2.1 g/cm³، E = 50 GPa)

قطر (mm)	سطح مقطع (mm²)	وزن FRP (g/m)	وزن فولاد هم‌قطر (g/m)	مقاومت کششی تضمینی f_{fu}^* (MPa)	نیروی کششی نهایی (kN)	کرنش گسیختگی (%)
۶	۲۸٫۳	۵۹	۲۲۲	۱۱۰۰	۳۱٫۱	۲٫۲
۸	۵۰٫۳	۱۰۶	۳۹۵	۱۰۵۰	۵۲٫۸	۲٫۱
۱۰	۷۸٫۵	۱۶۵	۶۱۷	۱۰۰۰	۷۸٫۵	۲٫۰
۱۲	۱۱۳٫۱	۲۳۸	۸۸۸	۹۵۰	۱۰۷٫۴	۱٫۹
۱۴	۱۵۳٫۹	۳۲۳	۱۲۰۸	۹۲۰	۱۴۱٫۶	۱٫۸
۱۶	۲۰۱٫۱	۴۲۲	۱۵۷۸	۹۰۰	۱۸۱٫۰	۱٫۸
۱۸	۲۵۴٫۵	۵۳۴	۱۹۹۸	۸۸۰	۲۲۳٫۹	۱٫۸
۲۰	۳۱۴٫۲	۶۶۰	۲۴۶۶	۸۵۰	۲۶۷٫۰	۱٫۷
۲۲	۳۸۰٫۱	۷۹۸	۲۹۸۴	۸۳۰	۳۱۵٫۵	۱٫۷
۲۵	۴۹۰٫۹	۱۰۳۱	۳۸۵۳	۸۰۰	۳۹۲٫۷	۱٫۶
۲۸	۶۱۵٫۸	۱۲۹۳	۴۸۳۴	۷۵۰	۴۶۱٫۸	۱٫۵
۳۲	۸۰۴٫۲	۱۶۸۹	۶۳۱۳	۷۰۰	۵۶۳٫۰	۱٫۴

مقاومت کششی میلگرد کامپوزیتی با افزایش قطر کاهش می‌یابد (اثر برش‌لنگی Shear Lag در مقاطع بزرگ). مقادیر f_{fu}^* محدوده‌های رایج بازار میلگرد GFRP هستند و مقدار تضمینی هر سفارش با آزمون ASTM D7205 تعیین می‌شود. نیرو و کرنش با فرمول‌های ۲ و ۳ (صفحه ۴) محاسبه شده‌اند.

شکل عرضه و بسته‌بندی میلگرد FRP

جدول ۲ — طول و شکل عرضه میلگرد ساده کامپوزیتی

قطر (mm)	شکل عرضه	طول	توضیح
۶ – ۱۰	کلاف یا شاخه	کلاف ۵۰ تا ۱۰۰ m یا شاخه ۶ / ۱۲ m	قطر داخلی کلاف ≥ ۱۲ m برای جلوگیری از آسیب الیاف
۱۲ – ۱۶	شاخه مستقیم	۶ / ۱۲ m و برش سفارشی	بسته‌های دسته‌بندی‌شده با تسمه پلاستیکی
۱۸ – ۳۲	شاخه مستقیم یا قطعه داول	۶ / ۱۲ m یا قطعه ۳۰۰ تا ۵۰۰ mm	داول آماده با سر پخ‌خورده و پوشش انتهایی

رنگ و سطح میلگرد ساده GFRP

جدول ۳ — گزینه‌های رنگ، رزین و سطح

گزینه	مشخصه	توضیح
رنگ طبیعی (کرم / سبز روشن)	رزین وینیل‌استر بدون رنگ‌دانه	رایج‌ترین رنگ میلگرد کامپوزیتی؛ امکان دیدن یکنواختی الیاف
زرد، سبز، مشکی	رنگ‌دانه در کل مقطع	شناسایی قطر یا پروژه، کاربردهای نمایان و کشاورزی
رزین وینیل‌استر	مقاومت قلیایی عالی	گزینه استاندارد برای تماس با بتن و خاک
رزین اپوکسی	Tg و دوام شیمیایی بالاتر	کاربردهای خاص صنعتی و دمای بالاتر
سطح صاف (Smooth)	پالتروژن بدون پوشش	داول، مهار با چسب، کاربردهای غیربتنی

متراژ در هر تن: طول میلگرد در یک تن برابر $L = 10^6 / w$ (متر) است. برای قطر ۱۲، میلگرد کامپوزیتی حدود ۴۲۰۰ متر و میلگرد فولادی حدود ۱۱۳۰ متر در هر تن دارد؛ بنابراین هزینه حمل و جابه‌جایی میلگرد FRP به ازای هر متر حدود یک‌چهارم فولاد است.

خواص فیزیکی و مکانیکی میلگرد کامپوزیتی

جدول ۴ — خواص مرجع میلگرد GFRP و الزامات حداقل ASTM D7957

خاصیت	روش آزمون	مقدار رایج میلگرد ساده GFRP	حداقل ASTM D7957
درصد وزنی الیاف شیشه	ASTM D2584 / D3171	۷۵ – ۸۲٪	≥ ۷۰٪
چگالی	ASTM D792	۲٫۰ – ۲٫۱ g/cm³	—
مدول الاستیسیته کششی	ASTM D7205	۴۸ – ۵۵ GPa	≥ ۴۴٫۸ GPa
مقاومت کششی تضمینی	ASTM D7205	۷۰۰ – ۱۱۰۰ MPa (جدول ۱)	بر اساس نیروی حداقل هر سایز
مقاومت برشی عرضی	ASTM D7617	۱۵۰ – ۲۰۰ MPa	≥ ۱۳۱ MPa
جذب رطوبت (۲۴ ساعت)	ASTM D570	≥ ۰٫۱۵٪	≥ ۰٫۲۵٪
دمای انتقال شیشه‌ای Tg	ASTM E1356 / E1640	۱۰۵ – ۱۳۰ °C	≥ ۱۰۰ °C
درجه پخت رزین	ASTM E2160	≤ ۹۵٪	≤ ۹۵٪
ضریب انبساط حرارتی طولی / عرضی	ASTM E831	۶ – ۱۰ / ۲۱ – ۳۰ ×۱۰⁻⁶/°C	—
مقاومت چسبندگی به بتن	ASTM D7913	کم (سطح صاف)	≥ ۷٫۶ MPa (آجدار)

ASTM D7957 مشخصات میلگرد GFRP توپر برای آرماتور بتن است و الزام چسبندگی آن تنها با سطح آجدار یا ماسه‌پاشی‌شده تأمین می‌شود؛ میلگرد ساده کامپوزیتی سایر الزامات ماده را برآورده می‌کند. مقادیر، محدوده‌های رایج صنعت کامپوزیت FRP و GFRP هستند و نتایج آزمایشگاهی اختصاصی نابک کامپوزیت نیستند.

مقایسه میلگرد کامپوزیتی با میلگرد فولادی

جدول ۵ — میلگرد ساده GFRP در برابر میلگرد فولادی، فولاد اپوکسی و استیل

ویژگی	میلگرد FRP	فولاد معمولی S400	فولاد با پوشش اپوکسی	استیل ضدزنگ
چگالی (g/cm³)	۲٫۱	۷٫۸۵	۷٫۸۵	۸٫۰
مقاومت کششی (MPa)	۷۰۰ – ۱۱۰۰	تسلیم ۴۰۰ / نهایی ۶۰۰	تسلیم ۴۰۰	تسلیم ۵۰۰ – ۶۵۰
مدول الاستیسیته (GPa)	≈ ۵۰	۲۰۰	۲۰۰	۲۰۰
رفتار تا گسیختگی	الاستیک خطی، بدون تسلیم	شکل‌پذیر	شکل‌پذیر	شکل‌پذیر
خوردگی در کلرید و قلیا	ندارد	شدید	در محل آسیب پوشش	کم
رسانایی الکتریکی / مغناطیسی	عایق / ندارد	دارد	دارد	دارد / کم
خم‌کاری در کارگاه	ممکن نیست	آسان	با احتیاط	آسان
رفتار در آتش	افت مقاومت بالای Tg	خوب	خوب	عالی

دوام میلگرد GFRP در شرایط محیطی

جدول ۶ — رفتار میلگرد کامپوزیتی در محیط‌های خورنده و دمایی

شرایط	روش ارزیابی	رفتار میلگرد ساده GFRP وینیل‌استر
محیط قلیایی بتن (pH ≈ ۱۳)	ASTM D7705 / ACI 440.3R	حفظ بخش عمده مقاومت کششی؛ ضریب C_E این اثر را پوشش می‌دهد
کلرید و نمک یخ‌زدایی	—	بدون خوردگی و انبساط؛ مزیت اصلی میلگرد FRP
چرخه یخ‌بندان و ذوب	—	بدون آسیب در میلگرد با جذب رطوبت کم
اشعه UV (انبار روباز)	—	تخریب سطحی رزین؛ میلگرد را پوشانده و دور از آفتاب نگه دارید
دمای بالا و آتش	—	افت سختی نزدیک Tg؛ پوشش بتن کافی و حفاظت آتش لازم است

پوشش بتن: به دلیل انبساط عرضی بیشتر میلگرد کامپوزیتی (۲۱ تا ۳۰ ×۱۰⁻⁶) نسبت به بتن، پوشش بتن روی میلگرد GFRP دست‌کم برابر قطر میلگرد و نه کمتر از ۲۰ تا ۲۵ mm توصیه می‌شود تا در گرما ترک طولی ایجاد نشود.

فرمول‌های مقطع و ماده میلگرد GFRP

۱. سطح مقطع و وزن میلگرد

$$A = \frac{\pi\, d^2}{4}\ ,\quad w = \rho \cdot A \quad [\text{g/m}]$$

Ø12: A = 113.1 mm²؛ w = 2.1 × 113.1 ≈ 238 g/m (فولاد: 7.85 × 113.1 ≈ 888 g/m)

۲. نیروی کششی نهایی

$$T_u = f_{fu}^{*} \cdot A$$

Ø12 با f_{fu}^{*} = 950 MPa: T_u = 950 × 113.1 ≈ 107 kN

۳. کرنش گسیختگی (رفتار خطی)

$$\varepsilon_{fu} = \frac{f_{fu}}{E_f}$$

950 / 50 000 ≈ 1.9٪؛ میلگرد کامپوزیتی تا این کرنش بدون تسلیم کاملاً الاستیک است.

۴. مدول طولی (قانون اختلاط)

$$E_f = V_f E_g + (1 - V_f)\, E_m$$

V_f = 0.65، E_g = 72 GPa، E_m = 3.5 GPa → E_f ≈ 48 GPa؛ نزدیک مدول اندازه‌گیری‌شده میلگرد GFRP

فرمول‌های طراحی میلگرد FRP طبق ACI 440.1R

۵. مقاومت طراحی با ضریب محیطی

$$f_{fu} = C_E \cdot f_{fu}^{*}\ ,\quad \varepsilon_{fu} = C_E \cdot \varepsilon_{fu}^{*}$$

شرایط بهره‌برداری	ضریب C_E برای GFRP
بتن دور از خاک و هوای آزاد (داخلی)	۰٫۸
بتن در تماس با خاک یا در معرض هوای آزاد	۰٫۷

Ø12 در معرض هوا: f_{fu} = 0.7 × 950 = 665 MPa

۶. محدودیت تنش دائمی (گسیختگی خزشی)

$$f_{f,s} \le 0.20 \cdot f_{fu}$$

میلگرد GFRP زیر بار دائم دچار گسیختگی خزشی می‌شود. Ø12: $f_{f,s}$ ≤ 0.2 × 665 = 133 MPa → بار دائمی مجاز ≈ 133 × 113.1 ≈ 15 kN

۷. جایگزینی میلگرد فولادی: معیار مقاومت و معیار سختی

$$A_{f,\sigma} = A_s \cdot \frac{f_y}{f_{fu}}\ ,\quad A_{f,E} = A_s \cdot \frac{E_s}{E_f}$$

مثال — فولاد Ø12 هر ۲۰۰ mm (A_s = 565 mm²/m، f_y = 400 MPa):

Strength: A_f = 565 × 400 / 665 ≈ 340 mm²/m → GFRP Ø12 @ 330 mm

Stiffness: A_f = 565 × 200 / 50 ≈ 2260 mm²/m → GFRP Ø20 @ 135 mm

جایگزینی تک‌به‌تک میلگرد فولادی با میلگرد کامپوزیتی صحیح نیست؛ به دلیل مدول کمتر، طراحی معمولاً با کنترل ترک و خیز (حالت بهره‌برداری) تعیین می‌شود و باید توسط مهندس سازه طبق ACI 440.1R یا CSA S806 انجام شود.

طراحی داول کامپوزیتی در روسازی بتنی

۸. تنش لهیدگی بتن زیر داول (رابطه فریبرگ / تیموشنکو)

$$\beta = \left(\frac{K\,d}{4\,E\,I}\right)^{1/4},\quad y_0 = \frac{P_t\,(2+\beta\,z)}{4\,\beta^3\,E\,I},\quad \sigma_b = K\cdot y_0$$

K مدول تکیه‌گاه داول (≈ 407 N/mm³)، z عرض درز، P_t بار منتقل‌شده به یک داول، $I = \pi d^4/64$

مثال — داول P_t = 8 kN، z = 6 mm، E = 50 GPa، FRP Ø32، بتن f'c = 30 MPa:

$\beta \approx 0.0335$ /mm ; $y_0 \approx 0.045$ mm ; $\sigma_b \approx 18.5$ MPa (steel dowel Ø32: ≈ 12.7 MPa)

$f_{b,allow} = (4 - d_{in})/3 \times f'c = (4 - 1.26)/3 \times 30 \approx 27.4$ MPa ≥ 18.5 ✓

به دلیل مدول کمتر، تنش لهیدگی زیر داول کامپوزیتی بیشتر از داول فولادی هم‌قطر است؛ برای بارهای سنگین، قطر بزرگ‌تر یا فاصله کمتر داول FRP انتخاب می‌شود. سطح صاف میلگرد ساده دقیقاً همان چیزی است که داول برای لغزش آزاد در درز نیاز دارد.

۹. طول کاشت میلگرد با چسب

$$l_b = \frac{N}{\tau_b \cdot \pi \cdot d}$$

N = 20 kN، Ø12، $\tau_b \approx 6$ MPa (چسب اپوکسی روی سطح سمباده‌خورده):

$l_b \approx 88$ mm → حداقل اجرایی ۱۰d = ۱۲۰ mm

۱۰. فاصله داول‌ها در عرض دال

$$n = \frac{B}{s} - 1,\quad P_t \approx \frac{\eta \cdot P_{axle}/2}{n_{eff}}$$

B عرض دال، s فاصله داول (۳۰۰ mm رایج)، η سهم انتقال بار (≈ ۰٫۴۵)، n_{eff} داول‌های مؤثر زیر چرخ

راهنمای اجرا و نگهداری میلگرد کامپوزیتی

۱ حمل و انبار: میلگرد FRP را روی تکیه‌گاه‌های با فاصله ≥ ۲ m، دور از آفتاب مستقیم و بدون کشیدن روی زمین نگه دارید.

۲ برش: میلگرد کامپوزیتی را با صفحه الماسه یا اره ساینده ببرید؛ قیچی میلگرد و ضربه الیاف را خرد می‌کند.

۳ عدم خم‌کاری: میلگرد GFRP پخت‌شده را خم یا گرم نکنید؛ قطعات خم‌دار باید پیش از پخت در کارخانه تولید شوند.

۴ بستن: برای بستن میلگردها از سیم پلاستیکی، بست کمربندی یا سیم روکش‌دار استفاده کنید.

۵ داول: داول FRP را موازی محور دال و سطح جاده با سبد نگهدارنده نصب کنید؛ نیمی از طول داول را برای لغزش روان‌کاری کنید.

۶ ایمنی: هنگام برش از ماسک، عینک و دستکش استفاده کنید؛ گرد الیاف شیشه را با جاروبرقی جمع‌آوری کنید.

آیا میلگرد کامپوزیتی در خاک و آب شور دوام دارد؟

بله؛ میلگرد GFRP با رزین وینیل‌استر برای سازه‌های ساحلی، اسکله، دیوار حائل دریایی و فونداسیون در خاک سولفاته از گزینه‌های اصلی ضد خوردگی است.

داول کامپوزیتی چه مزیتی بر داول فولادی دارد؟

داول FRP در درز روسازی زنگ نمی‌زند و قفل نمی‌شود؛ بنابراین حرکت انبساطی دال آزاد می‌ماند و ترک‌خوردگی و پوسته شدن لبه درز کاهش می‌یابد.

استعلام قیمت میلگرد ساده کامپوزیتی FRP: قطر، طول شاخه یا قطعه، تعداد یا متراژ، نوع رزین، رنگ و کاربرد (داول، کاشت، صنعتی) را اعلام کنید.

نابک سازه گستر | nabakcomposite.com | 021 4881 2124 | موبایل 0912 396 3078 | اینستاگرام @nabak.composite

سلب مسئولیت: اطلاعات این برگه فنی بر پایه داده‌های عمومی و رایج صنعت کامپوزیت FRP و GFRP و استانداردهای ACI 440 و ASTM D7957 تهیه شده و جنبه راهنما دارد. طراحی سازه‌ای با میلگرد کامپوزیتی باید توسط مهندس سازه انجام شود. نابک کامپوزیت حق اصلاح مشخصات فنی را بدون اطلاع قبلی محفوظ می‌دارد.