NABAK COMPOSITE

نابک کامپوزیت

عرضه‌کننده محصولات کامپوزیتی FRP/GRP

TECHNICAL DATA SHEET

برگه اطلاعات فنی

مفتول کامپوزیتی FRP

FRP / GRP COMPOSITE WIRE ROD



PRODUCT SERIES

FRP/GRP COMPOSITE WIRE ROD



انواع قطر و ابعاد



مشخصات فنی



رنگ‌ها و سطح



کاربردها

NBK-TDS-WR-01 | **REV 1.0**

مفتول کامپوزیتی FRP ناباک کامپوزیت (FRP / GRP Composite Wire Rod) یک میله نازک و انعطاف‌پذیر از کامپوزیت GFRP پالتروژن است که به‌صورت کلاف بلند عرضه می‌شود؛ مفتولی با مقاومت کششی بیش از ۱۰۰۰ MPa، بدون زنگ‌زدگی، عایق الکتریکی و حرارتی و حدود یک‌چهارم وزن مفتول فولادی که جایگزین مفتول گالوانیزه و سیم فولادی در پیوند دیوار، تاکستان، حصار، مش و عضو کششی کابل می‌شود.

Ø 2 – 10 mm	1000 – 1300 MPa	≈ 0.4 W/m·K	≤ 3000 m
قطر مفتول کامپوزیتی	مقاومت کششی	رسانایی حرارتی (فولاد ≈ ۵۰)	طول مفتول در هر کلاف

مفتول کامپوزیتی FRP (مفتول GFRP) چیست؟

مفتول کامپوزیتی که با نام‌های **مفتول FRP**، **مفتول GFRP**، **مفتول فایبرگلاس**، **میلگرد کلافی کامپوزیتی**، **سیم کامپوزیتی** و **مفتول غیرفلزی** شناخته می‌شود، با پالتروژن پیوسته روونگ الیاف شیشه در رزین وینیل‌استر یا اپوکسی تولید می‌شود. تفاوت مفتول کامپوزیتی با میلگرد کامپوزیتی، **قطر کم و انعطاف‌پذیری** آن است: مفتول GFRP پس از پخت، بدون شکستن الیاف روی قرقره یا کلاف با قطر بزرگ پیچیده می‌شود و در محل با طول دلخواه بریده می‌شود.

FRP نام عمومی پلیمرهای تقویت‌شده با الیاف است و GFRP (یا GRP) کامپوزیت FRP با الیاف شیشه است. در مفتول فایبرگلاس، بیش از ۷۵ درصد وزن را الیاف شیشه پیوسته و موازی تشکیل می‌دهند؛ به همین دلیل مفتول کامپوزیتی در کشش بسیار مستحکم است، اما رسانایی حرارتی و الکتریکی آن صدها برابر کمتر از مفتول فولادی است.

انواع مفتول کامپوزیتی ناباک کامپوزیت

مفتول ساده صاف
مفتول GFRP با سطح صاف برای تاکستان، حصار، قیم گیاه و عضو کششی کابل

مفتول ماسه‌پاشی‌شده
مفتول کامپوزیتی با سطح زبر برای چسبندگی بهتر در ملات، گچ و بتن

مفتول آجدار نازک
مفتول FRP با آج مارپیچ برای پیوند دیوار و تقویت درز ملات آجرکاری

عضو کششی فیبر نوری
مفتول فایبرگلاس دقیق و یکنواخت برای مرکز کابل‌های فیبر نوری و مخابراتی

مفتول رنگی
مفتول کامپوزیتی زرد، سبز، طبیعی و مشکی برای شناسایی و کاربردهای نمایان

مفتول عایق
مفتول GFRP با رزین اپوکسی برای قطعات الکتریکی و عایق‌کاری حرارتی

مزایای مفتول FRP نسبت به مفتول فولادی

- **ضد زنگ:** مفتول کامپوزیتی در خاک، کود، ملات، آب شور و هوای مرطوب زنگ نمی‌زند و لکه زنگ روی نما ایجاد نمی‌کند.
- **پل حرارتی نزدیک به صفر:** رسانایی حرارتی مفتول GFRP حدود یک‌صدم فولاد؛ مناسب پیوند دیوارهای عایق‌دار.
- **عایق الکتریکی و غیرمغناطیسی:** بدون خطر برق‌گرفتگی در حصار و تاکستان؛ بدون تداخل در کابل‌های مخابراتی.
- **سبک:** مفتول فایبرگلاس حدود ۲۷ درصد وزن مفتول فولادی هم‌قطر؛ متراژ بسیار بیشتر در هر کلاف.
- **کشسان و بدون خم دائمی:** مفتول FRP پس از خم شدن صاف برمی‌گردد و مانند مفتول فولادی کج و تاب‌دار نمی‌شود.
- **مقاومت کششی بالا:** مفتول کامپوزیتی Ø4 حدود ۱۵ kN نیروی کششی نهایی دارد؛ بیش از دو برابر مفتول فولادی معمولی.

مفتول کامپوزیتی یا میلگرد کامپوزیتی؟ مفتول FRP قطر ۲ تا ۱۰ میلی‌متر دارد، کلافی و انعطاف‌پذیر است و برای مهار، پیوند، کشش و تقویت سبک به کار می‌رود. برای آرماتوربندی سازه‌ای تیر، دال و دیوار بتنی، میلگرد آجدار کامپوزیتی با طراحی طبق ACI 440 لازم است؛ برگه فنی آن جداگانه در دسترس است.

جدول قطر و مشخصات مفتول کامپوزیتی

جدول ۱ — مشخصات مفتول GFRP بر اساس قطر (ρ = 2.1 g/cm³، E = 50 GPa)

قطر (mm)	سطح مقطع (mm²)	وزن (g/m)	طول در کلاف ۱۰۰ kg (m)	مقاومت کششی (MPa)	نیروی کششی نهایی (kN)	سختی محوری EA (kN)	حداقل قطر کلاف (mm)
۲	۳٫۱۴	۶٫۶	۱۵ ۱۶۰	۱۳۰۰	۴٫۱	۱۵۷	۲۷۰
۳	۷٫۰۷	۱۴٫۸	۶ ۷۴۰	۱۲۵۰	۸٫۸	۳۵۳	۴۰۰
۴	۱۲٫۵۷	۲۶٫۴	۳ ۷۹۰	۱۲۰۰	۱۵٫۱	۶۲۸	۵۳۵
۵	۱۹٫۶۳	۴۱٫۲	۲ ۴۲۵	۱۱۵۰	۲۲٫۶	۹۸۲	۶۷۰
۶	۲۸٫۲۷	۵۹٫۴	۱ ۶۸۵	۱۱۰۰	۳۱٫۱	۱۴۱۴	۸۰۰
۷	۳۸٫۴۸	۸۰٫۸	۱ ۲۴۰	۱۰۸۰	۴۱٫۶	۱۹۲۴	۹۳۵
۸	۵۰٫۲۷	۱۰۵٫۶	۹۴۵	۱۰۵۰	۵۲٫۸	۲۵۱۳	۱۰۷۰
۱۰	۷۸٫۵۴	۱۶۴٫۹	۶۰۵	۱۰۰۰	۷۸٫۵	۳۹۲۷	۱۳۳۵

مقادیر با فرمول‌های صفحه ۴ محاسبه شده‌اند؛ حداقل قطر کلاف با کرنش مجاز نگهداری ۰٫۷۵٪. مقاومت کششی مفتول کامپوزیتی در قطرهای کوچک بیشتر است، چون الیاف به‌طور یکنواخت‌تر بار می‌گیرند. مقادیر محدوده‌های رایج بازار هستند و مقدار تضمینی هر سفارش با آزمون کشش تعیین می‌شود.

بسته‌بندی و شکل عرضه مفتول GFRP

جدول ۲ — شکل‌های عرضه مفتول کامپوزیتی

شکل عرضه	قطر (mm)	وزن یا طول	قطر داخلی کلاف (mm)	توضیح
قرقره (Drum)	۲ – ۳	۲۰۰۰ – ۱۰۰۰۰ m	≤ ۴۰۰	عضو کششی کابل فیبر نوری؛ باز شدن یکنواخت در خط تولید
کلاف کوچک	۳ – ۶	۵۰ / ۱۰۰ / ۲۰۰ m	≤ ۸۰۰	پیوند دیوار، باغ و تاکستان، مصرف خرده
کلاف صنعتی	۴ – ۱۰	۵۰ – ۱۰۰ kg	۱۲۰۰ – ۱۵۰۰	بسته‌بندی با تسمه و پالت برای پروژه‌ها
شاخه برش‌خورده	۲ – ۱۰	۰٫۲ تا ۶ m	—	پیوند دیوار آماده، قیم گیاه و پایه حصار

رنگ و سطح مفتول فایبرگلاس

جدول ۳ — گزینه‌های رنگ، سطح و رزین

گزینه	مشخصه	کاربرد پیشنهادی
طبیعی کرم و سبز روشن	رزین وینیل‌استر بدون رنگ‌دانه	پیوند دیوار، مش، مصرف صنعتی
زرد و سبز	رنگ‌دانه در کل مقطع + افزودنی ضد UV	تاکستان، باغ، حصار و کاربردهای روباز
مشکی	رنگ‌دانه کربن با پایداری UV بالا	حصار برقی، کاربرد طولانی در آفتاب
صاف براق	پالتروژن بدون پوشش	عضو کششی کابل، تاکستان، قیم
ماسه‌پاشی یا آج مارپیچ	زبری و درگیری مکانیکی	ملات، گچ، بتن سبک و آجرکاری

راهنمای انتخاب قطر مفتول کامپوزیتی

جدول ۴ — قطر پیشنهادی مفتول GFRP بر اساس کاربرد

کاربرد	قطر پیشنهادی (mm)	سطح	نکته
عضو کششی کابل فیبر نوری	۲ – ۳ (قطر کمتر به سفارش)	صاف دقیق	تلرانس قطر ±۰٫۰۵ mm و یکنواختی کامل
پیوند دیوار و نمای آجری	۴ – ۶	ماسه‌ای یا آجدار	طول گیرایی ≥ ۵۰ mm در هر جداره
مش گچ، ملات و بتن سبک	۳ – ۵	ماسه‌ای	شبکه با فاصله ۵۰ تا ۲۰۰ mm
داربست تاکستان و باغ	۳ – ۵	صاف رنگی ضد UV	جایگزین مفتول گالوانیزه نمره ۱۲ تا ۱۴
حصار و حصار برقی	۴ – ۸	صاف مشکی یا زرد	عایق ذاتی؛ بدون نیاز به مقره
قوس گلخانه کوچک و قیم	۶ – ۱۰	صاف	شعاع قوس ≥ ۱۰۰ d

خواص مکانیکی، فیزیکی و الکتریکی مفتول کامپوزیتی

جدول ۵ – خواص مرجع مفتول GFRP پالتروژن

خاصیت	روش آزمون	واحد	مقدار رایج
درصد وزنی الیاف شیشه	ASTM D2584	%	۷۵ – ۸۳
چگالی	ASTM D792	g/cm³	۲٫۰۵ – ۲٫۱۵
مقاومت کششی	ASTM D3916	MPa	۱۰۰۰ – ۱۳۰۰
مدول الاستیسیته کششی	ASTM D3916	GPa	۴۸ – ۵۵
کرنش گسیختگی	ASTM D3916	%	۲٫۲ – ۲٫۶
مقاومت خمشی	ASTM D4476	MPa	۱۱۰۰ – ۱۴۰۰
جذب آب ۲۴ ساعته	ASTM D570	%	≤ ۰٫۱
ضریب انبساط حرارتی طولی	ASTM E831	C°/ ۱۰⁻⁶	۵ – ۷
رسانایی حرارتی	–	W/m·K	۰٫۳ – ۰٫۵
مقاومت حجمی	ASTM D257	Ω·cm	≥ ۱۰¹⁴
دمای کاری پیوسته	–	C°	-۴۰ تا +۸۰ (اپوکسی تا +۱۲۰)

ASTM D3916 و D4476 روش‌های رایج آزمون کشش و خمش میله‌های پالتروژن هستند. مقادیر، محدوده‌های مرجع صنعت کامپوزیت FRP و GFRP است و نتایج آزمایشگاهی اختصاصی ناباک کامپوزیت نیستند.

مقایسه مفتول کامپوزیتی با مفتول‌های فلزی

جدول ۶ – مفتول GFRP در برابر مفتول گالوانیزه، مفتول استیل و آرامید

ویژگی	مفتول FRP	مفتول گالوانیزه	مفتول استیل	میله آرامید
چگالی (g/cm³)	۲٫۱	۷٫۸۵	۸٫۰	۱٫۳۵
مقاومت کششی (MPa)	۱۰۰۰ – ۱۳۰۰	۴۰۰ – ۵۵۰	۶۰۰ – ۹۰۰	۱۸۰۰ – ۲۴۰۰
مدول (GPa)	۵۰	۲۰۰	۱۹۰	۶۰ – ۱۲۰
رسانایی حرارتی (W/m·K)	۰٫۴	۵۰	۱۶	۰٫۰۴
خوردگی در ملات و خاک	ندارد	پس از از بین رفتن روی	کم	ندارد
رسانایی الکتریکی	عایق	رسانا	رسانا	عایق
قیمت	متوسط	کم	زیاد	بسیار زیاد

کاربردهای مفتول کامپوزیتی FRP

پیوند دیوار (Wall Tie)
اتصال دو جداره دیوار و نمای آجری بدون پل حرارتی و زنگ‌زدگی

تاکستان و باغات
مفتول داربست انگور، کیوی و درختان میوه؛ بدون زنگ در خاک و کود

حصار و حصار برقی
سیم و پایه حصار عایق برای دامداری و محوطه

کابل فیبر نوری
عضو کششی مرکزی (FRP Strength Member) غیرفلزی و سبک

مش گچ، ملات و بتن سبک
شبکه مفتول GFRP برای جلوگیری از ترک بدون خطر زنگ‌زدگی

گلخانه و قیم گیاه
قوس تونل‌های کم‌ارتفاع و قیم گیاهان با مفتول فایبرگلاس

فرمول‌های مقطع، وزن و مقاومت مفتول کامپوزیتی

۱. سطح مقطع و وزن هر متر

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

Ø6: A ≈ 28.3 mm²؛ w = 2.1 × 28.3 ≈ 59.4 g/m (مفتول فولادی ≈ 222 g/m)

۲. نیروی کششی نهایی و مجاز

$$T_u = f_u \cdot A\ ,\quad T_a = C_E \cdot 0.2 \cdot T_u$$

Ø4: T_u = 1200 × 12.57 ≈ 15.1 kN. برای بار دائمی در فضای باز (C_E = 0.7، حد خزشی ۰٫۲): T_a ≈ 2.1 kN

۳. سختی محوری و ازدیاد طول

$$K = E \cdot A\ ,\quad \Delta L = \frac{T \cdot L}{E \cdot A}$$

Ø4 با T = 1 kN و طول ۱۰۰ m: ΔL = 1000 × 100 000 / 628 300 ≈ 159 mm

۴. مقاومت ویژه (نسبت مقاومت به وزن)

$$L_{br} = \frac{f_u}{\rho \cdot g}$$

طول خودگسیختگی: مفتول GFRP ≈ 1200×10⁶ / (2100 × 9.81) ≈ 58 km؛ مفتول گالوانیزه ≈ 6.5 km

فرمول‌های کلاف و خمش مفتول FRP

۵. حداقل قطر کلاف و قرقره (کرنش مجاز خمشی)

$$D_{min} = \frac{d}{\varepsilon_a}\ ,\quad \sigma_b = E \cdot \frac{d}{D}$$

برای نگهداری طولانی در کلاف (حدود یک‌سوم کرنش گسیختگی). Ø6: D_{min} = 6 / 0.0075 = 800 mm؛ روی کلاف ۱۲۰۰ mm: σ_b = 50 000 × 6 / 1200 = 250 MPa (≈ ۲۳٪ مقاومت کششی)

۶. طول مفتول در یک کلاف

$$L = \frac{M}{w}$$

کلاف ۱۰۰ kg مفتول Ø6: L = 100 000 / 59.4 ≈ 1684 m

۷. تعداد دور کلاف

$$n = \frac{L}{\pi \cdot D_m}\ ,\quad D_m = \frac{D_{in} + D_{out}}{2}$$

D_{in} = 1.2 m، D_{out} ≈ 1.3 m: n ≈ 1684 / (π × 1.25) ≈ 429 دور

۸. قطر خارجی کلاف

$$D_{out} = \sqrt{\left(D_{in}^2 + \frac{L \cdot d^2}{H \cdot \varphi} \right)}$$

Ø6، L = 1684 m، D_{in} = 1.2 m، H = 0.3 m: D_{out} = √(1.44 + 1684 × 3.6×10⁻⁵ / 0.255) ≈ 1.30 m. φ ضریب انباشتگی ≈ 0.85، H ارتفاع کلاف

چرا قطر کلاف مهم است؟ مفتول کامپوزیتی رفتار کاملاً کشسان دارد؛ اگر در قطر کمتر از D_{min} پیچیده یا تا شود، الیاف شیشه در سطح بیرونی خم می‌شکنند. همیشه کلاف مفتول GFRP را با قطر داخلی جدول ۱ و جدول ۲ نگه دارید و باز کنید.

فرمول‌های کاربردی مفتول FRP

۹. پل حرارتی پیوند دیوار (ضریب انتقال حرارت نقطه‌ای)

$$\chi = \frac{\lambda \cdot A}{L_{ins}} \quad , \quad \Delta U = n_t \cdot \chi$$

مثال — ۴ پیوند Ø4 در هر متر مربع از دیوار با عایق ۱۰۰ mm:

Galvanized steel ($\lambda = 50$): $\Delta U = 4 \times 50 \times 12.57\times10^{-6} / 0.1 \approx 0.025$ W/m²K

Stainless ($\lambda = 17$): $\Delta U \approx 0.0085$ W/m²K ; GFRP ($\lambda = 0.4$): $\Delta U \approx 0.0002$ W/m²K

پیوند دیوار با مفتول کامپوزیتی، اتلاف حرارت ناشی از پیوندها را حدود ۱۲۵ برابر نسبت به فولاد گالوانیزه کاهش می‌دهد و عملاً پل حرارتی ایجاد نمی‌کند.

۱۰. نیروی کشش مفتول تاکستان (رابطه خیز)

$$T = \frac{q \cdot L^2}{8 \cdot f}$$

q بار گسترده (شاخه، برگ و میوه)، L فاصله پایه‌ها، f خیز مجاز. $q = 10$ N/m، $L = 6$ m، $f = 0.15$ m: $T = 300$ N؛ مفتول Ø4 با $T_u \approx 15$ kN

۱۱. تغییر طول حرارتی مفتول در فضای باز

$$\Delta L = \alpha \cdot L \cdot \Delta T$$

ردیف ۱۰۰ m، $\alpha = 6\times10^{-6}$، $\Delta T = 40$ °C → $\Delta L \approx 24$ mm؛ حدود نصف مفتول فولادی و بدون نیاز به کشش مجدد فصلی زیاد

۱۲. تعداد پیوند دیوار

$$N = A_w \cdot n_t + \frac{P_o}{s_o}$$

$n_t \approx 2.5 - 5$ پیوند در m² و پیوند اضافه دور بازشوها با فاصله $s_o \approx 300$ mm. دیوار ۱۰۰ m² با محیط بازشوی ۲۰ m: $N \approx 250 + 67 = 317$

۱۳. طول گیرایی در ملات

$$l_e = \frac{T_d}{\tau_b \cdot \pi \cdot d}$$

مفتول ماسه‌پاشی‌شده Ø4، $\tau_b \approx 3$ MPa در ملات، $T_d = 0.5$ kN: $l_e \approx 13$ mm → حداقل اجرایی ۵۰ mm داخل هر جداره

راهنمای استفاده از مفتول کامپوزیتی

۱ باز کردن کلاف: کلاف را روی دستگاه گردان یا به‌صورت چرخاندن کلاف باز کنید؛ هرگز مفتول را از وسط کلاف بیرون نکشید.

۲ کنترل خم: مفتول GFRP را از قطر حداقل جدول ۱ تندتر خم نکنید؛ خم تند و گره زدن الیاف را می‌شکند.

۳ برش: با سنگ فرز نازک، قیچی مخصوص الیاف یا اره ببرید؛ سر بریده را با سنباده صاف کنید.

۴ اتصال و مهار: در تاکستان و حصار از گیره و بست مخصوص مفتول FRP استفاده کنید؛ گره زدن مفتول مجاز نیست.

۵ کشیدن: مفتول را با کشنده تا نیروی طراحی بکشید و از ضربه و پیچش شدید هنگام کشش بپرهیزید.

۶ ایمنی: هنگام برش از عینک، دستکش و ماسک استفاده کنید و انتهای آزاد کلاف را همیشه مهار کنید.

استعلام قیمت مفتول کامپوزیتی FRP: قطر، متراژ یا وزن، کلاف یا شاخه، نوع سطح (صاف، ماسه‌ای، آجدار)، رنگ و کاربرد 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 تهیه شده و جنبه راهنما دارد. نابک کامپوزیت حق اصلاح مشخصات فنی مفتول کامپوزیتی را بدون اطلاع قبلی محفوظ می‌دارد.