NABAK COMPOSITE

**نابک کامپوزیت**

عرضه‌کننده محصولات کامپوزیتی FRP/GRP

TECHNICAL DATA SHEET

برگه اطلاعات فنی

# لوله کامپوزیتی FRP

## FRP / GRP COMPOSITE PIPE



PRODUCT SERIES

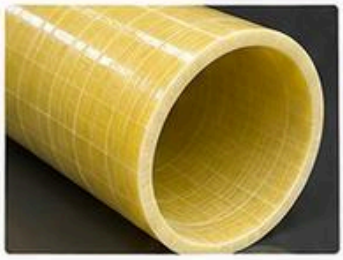
**FRP/GRP COMPOSITE PIPE**



**کاربردها**



**رنگ‌ها و سطح**



**مشخصات فنی**



**انواع قطر و ضخامت**

NBK-TDS-PIPE-01 | REV 1.0

**لوله کامپوزیتی FRP نابک کامپوزیت** (FRP / GRP Composite Pipe) با روش رشته‌پیچی از الیاف شیشه پیوسته و رزین پلی‌استر، وینیل‌استر یا اپوکسی تولید می‌شود؛ لوله‌ای سبک، بدون زنگ‌زدگی و رسوب، با سطح داخلی صاف و عمر طراحی ۵۰ ساله که جایگزین لوله فولادی، چدن داکتیل و بتنی در انتقال آب، فاضلاب، آب دریا، مواد شیمیایی و سیالات صنعتی است.

| DN 25 – 600 | PN 6 – 32 | SN 2500 – 10000 | C = 150 |
|---|---|---|---|
| قطر استاندارد (بزرگ‌تر به سفارش) | کلاس فشار (bar) | کلاس سفتی (N/m²) | ضریب هیزن-ویلیامز |

## لوله کامپوزیتی FRP (لوله GRP و GRE) چیست؟

**لوله کامپوزیتی** که با نام‌های **لوله FRP**، **لوله GRP**، **لوله GRE**، **لوله GFRP**، **لوله فایبرگلاس** و **لوله رشته‌پیچی** شناخته می‌شود، با پیچیدن رشته‌های پیوسته الیاف شیشه آغشته به رزین روی یک ماندرل چرخان تولید می‌شود. زاویه پیچش رشته‌ها (معمولاً ±۵۵ درجه) طوری انتخاب می‌شود که لوله کامپوزیتی تنش حلقوی ناشی از فشار داخلی و تنش محوری را به نسبت بهینه تحمل کند. پس از پخت، لوله FRP از روی ماندرل خارج، بریده و سر آن برای اتصال ماشین‌کاری می‌شود.

FRP نام عمومی پلیمرهای تقویت‌شده با الیاف است؛ GRP (یا GFRP) کامپوزیت FRP با الیاف شیشه و رزین پلی‌استر یا وینیل‌استر، و GRE نوع اپوکسی آن است. همه این لوله‌های کامپوزیتی در یک ویژگی مشترک‌اند: دیواره آن‌ها زنگ نمی‌زند، به حفاظت کاتدی و پوشش نیاز ندارد و سطح داخلی صاف آن در طول عمر رسوب و زبری نمی‌گیرد.

## ساختار دیواره لوله کامپوزیتی

| آستر داخلی (Liner) | لایه سازه‌ای | لایه بیرونی | سر اتصال |
|---|---|---|---|
| لایه غنی از رزین با Veil و مت به ضخامت ۰٫۵ تا ۲٫۵ mm؛ مانع خوردگی و نفوذ سیال. | رشته‌پیچی ±۵۵° الیاف شیشه پیوسته؛ تحمل فشار داخلی، بار خاک و تنش محوری. | رزین با افزودنی ضد UV برای محافظت در برابر آفتاب، سایش و هوازدگی. | سر نر و مادگی ماشین‌کاری‌شده، شیار اورینگ یا فلنج کامپوزیتی یکپارچه. |

## مزایای لوله FRP نسبت به لوله فولادی و چدنی

- **بدون خوردگی:** لوله کامپوزیتی در آب شور، فاضلاب، خاک خورنده و مواد شیمیایی زنگ نمی‌زند؛ بدون حفاظت کاتدی.
- **سبک:** لوله GRP حدود یک‌چهارم وزن لوله فولادی و یک‌دهم لوله بتنی؛ حمل و نصب بدون ماشین‌آلات سنگین.
- **سطح داخلی صاف:** ضریب هیزن-ویلیامز ۱۵۰ ثابت در طول عمر؛ افت فشار و هزینه پمپاژ کمتر.
- **ضربه قوچ کمتر:** سرعت موج فشار در لوله FRP حدود نصف فولاد؛ افزایش فشار ناگهانی کمتر.
- **عایق حرارتی و الکتریکی:** بدون جریان سرگردان و خوردگی الکتروشیمیایی.
- **عمر ۵۰ ساله:** طراحی بر پایه مقاومت بلندمدت ۵۰ ساله و هزینه چرخه عمر پایین.

## کاربردهای لوله کامپوزیتی FRP

| آب و فاضلاب | آب دریا و آب‌شیرین‌کن | صنایع شیمیایی |
|---|---|---|
| خطوط انتقال آب شرب، فاضلاب ثقلی و تحت فشار با لوله GRP | آبگیر و خروجی آب‌شیرین‌کن، خنک‌کاری ساحلی | انتقال اسید، قلیا، آب نمک و پساب صنعتی با لوله FRP وینیل‌استر |
| **نفت و گاز** | **نیروگاه و برج خنک‌کننده** | **کشاورزی و آبیاری** |
| آب تزریقی، آب همراه نفت و خطوط آتش‌نشانی با لوله GRE | خطوط آب گردشی و خنک‌کن با قطر بزرگ | خطوط اصلی آبیاری تحت فشار و انتقال آب کشاورزی |

## جدول قطر و ضخامت لوله کامپوزیتی

### جدول ۱ — ضخامت کل دیواره (mm) لوله FRP رشته‌پیچی با سفتی SN 5000 (شامل آستر)

| قطر نامی DN (mm) | قطر خارجی PN16 (mm) | PN 10 | PN 16 | PN 25 | PN 32 | وزن PN16 (kg/m) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| ۲۵ | ۲۹٫۰ | ۲٫۰ | ۲٫۰ | ۲٫۰ | ۲٫۰ | ۰٫۳۲ |
| ۵۰ | ۵۴٫۰ | ۲٫۰ | ۲٫۰ | ۲٫۰ | ۲٫۰ | ۰٫۶۲ |
| ۸۰ | ۸۴٫۰ | ۲٫۰ | ۲٫۰ | ۲٫۳ | ۲٫۸ | ۰٫۹۸ |
| ۱۰۰ | ۱۰۴٫۰ | ۲٫۰ | ۲٫۰ | ۲٫۷ | ۳٫۳ | ۱٫۲۲ |
| ۱۵۰ | ۱۵۶٫۶ | ۳٫۳ | ۳٫۳ | ۴٫۳ | ۵٫۲ | ۳٫۰۲ |
| ۲۰۰ | ۲۰۸٫۰ | ۴٫۰ | ۴٫۰ | ۵٫۳ | ۶٫۶ | ۴٫۸۷ |
| ۲۵۰ | ۲۵۹٫۴ | ۴٫۷ | ۴٫۷ | ۶٫۴ | ۸٫۰ | ۷٫۱۵ |
| ۳۰۰ | ۳۱۱٫۰ | ۵٫۵ | ۵٫۵ | ۷٫۵ | ۹٫۳ | ۱۰٫۰ |
| ۴۰۰ | ۴۱۳٫۸ | ۶٫۹ | ۶٫۹ | ۹٫۶ | ۱۲٫۱ | ۱۶٫۸ |
| ۵۰۰ | ۵۱۶٫۸ | ۸٫۴ | ۸٫۴ | ۱۱٫۷ | ۱۴٫۸ | ۲۵٫۵ |
| ۶۰۰ | ۶۱۹٫۸ | ۹٫۹ | ۹٫۹ | ۱۳٫۹ | ۱۷٫۵ | ۳۶٫۰ |

ضخامت با فرمول‌های ۱ و ۳ (صفحه ۴): بیشینه ضخامت لازم برای فشار (تنش حلقوی مجاز ۶۰ MPa) و برای سفتی SN 5000 ($E_h$ = 20 GPa)، به‌علاوه آستر ۰٫۵ mm (DN<150) یا ۱ mm. در PN10 و PN16، سفتی حلقوی ضخامت را تعیین می‌کند و در PN25 و PN32 فشار. ضخامت حداقل اجرایی ۲ mm است. جدول مثال محاسباتی است؛ ضخامت هر سفارش بر اساس شرایط کاری، دما و استاندارد پروژه تعیین می‌شود. طول استاندارد لوله ۶ و ۱۲ متر.

## کلاس‌های فشار و سفتی لوله GRP

### جدول ۲ — کلاس فشار اسمی

| کلاس | فشار کاری (bar) | فشار آزمون کارخانه (bar) |
|---|---|---|
| PN 6 | ۶ | ۹ |
| PN 10 | ۱۰ | ۱۵ |
| PN 16 | ۱۶ | ۲۴ |
| PN 25 | ۲۵ | ۳۷٫۵ |
| PN 32 | ۳۲ | ۴۸ |

### جدول ۳ — کلاس سفتی حلقوی

| کلاس | SN (N/m²) | کاربرد |
|---|---|---|
| SN 2500 | ۲۵۰۰ | روزمینی و دفن کم‌عمق |
| SN 5000 | ۵۰۰۰ | دفن معمولی (استاندارد) |
| SN 10000 | ۱۰۰۰۰ | دفن عمیق، ترافیک سنگین، خلأ |

## انواع اتصال لوله کامپوزیتی

**نر و مادگی چسبی**
اتصال مخروطی با چسب اپوکسی؛ رایج در لوله GRE صنعتی

**کوپلینگ با اورینگ**
اتصال آب‌بند لاستیکی با امکان انحراف زاویه‌ای؛ نصب سریع خطوط آب

**اورینگ قفل‌شونده**
تحمل نیروی محوری بدون بلوک بتنی در خطوط تحت فشار

**فلنج کامپوزیتی**
اتصال به شیر، پمپ و تجهیزات؛ استاندارد سوراخ‌کاری ANSI یا DIN

**لب‌به‌لب لمینیتی**
اتصال دائمی با لایه‌گذاری الیاف و رزین روی محل درز

**اتصالات**
زانو، سه‌راهی، تبدیل و درپوش کامپوزیتی هم‌کلاس لوله

**کلاس فشار یا کلاس سفتی؟** در لوله کامپوزیتی دو مشخصه مستقل وجود دارد: کلاس فشار PN توان تحمل فشار داخلی و کلاس سفتی SN توان تحمل بار خاک، ترافیک و خلأ را نشان می‌دهد. برای خطوط مدفون کم‌فشار (فاضلاب ثقلی) SN تعیین‌کننده است و برای خطوط تحت فشار روزمینی PN؛ لوله GRP هر پروژه با ترکیب مناسب PN و SN سفارش داده می‌شود.

## خواص مکانیکی و فیزیکی لوله کامپوزیتی رشته‌پیچی

### جدول ۴ — خواص مرجع لایه سازه‌ای لوله FRP با زاویه پیچش ±۵۵°

| خاصیت | روش آزمون | حلقوی (Hoop) | محوری (Axial) |
|---|---|---|---|
| مقاومت کششی | ASTM D2290 / D2105 | ۲۰۰ – ۲۵۰ MPa | ۸۰ – ۱۰۰ MPa |
| مدول الاستیسیته | ASTM D2105 / D2412 | ۱۸ – ۲۵ GPa | ۹ – ۱۲ GPa |
| مقاومت بلندمدت ۵۰ ساله (HDB / LTHS) | ASTM D2992 / ISO 14692 | ۱۰۰ – ۱۵۰ MPa | — |
| ضریب پواسون | — | ۰٫۵۵ – ۰٫۶۵ (حلقوی-محوری) | ۰٫۳ – ۰٫۴ |
| ضریب انبساط حرارتی | ASTM D696 | — | ۱۸ – ۲۵ ×۱۰⁻⁶ /°C |
| چگالی | ASTM D792 | ۱٫۸ – ۲٫۰ g/cm³ | |
| رسانایی حرارتی | — | ۰٫۲۵ – ۰٫۳۵ W/m·K | |
| زبری مطلق سطح داخلی | — | ≈ ۰٫۰۱ mm (هیزن-ویلیامز C = 150) | |

### جدول ۵ — رزین و دمای کاری لوله

| رزین | دمای کاری حداکثر | کاربرد غالب |
|---|---|---|
| پلی‌استر ایزوفتالیک (GRP) | ≈ ۵۰ – ۶۰ °C | آب، فاضلاب، آبیاری |
| وینیل‌استر (GRP-VE) | ≈ ۹۰ – ۱۰۰ °C | اسید، قلیا، کلر، آب دریا |
| اپوکسی آمین (GRE) | ≈ ۹۳ °C | نفت، آب تزریقی، آتش‌نشانی |
| اپوکسی انیدرید (GRE) | ≈ ۱۱۰ – ۱۲۰ °C | آب داغ و سیالات دمای بالا |

### جدول ۶ — استانداردهای مرجع

| استاندارد | موضوع |
|---|---|
| ISO 14692 | لوله GRP صنایع نفت و گاز |
| AWWA C950 / M45 | لوله فایبرگلاس تحت فشار آب |
| ISO 10639 / 10467 | لوله GRP آب و فاضلاب |
| ASTM D2996 | لوله رشته‌پیچی RTRP |
| ASTM D2412 / D1599 | سفتی لوله / ترکیدن |

## مقایسه لوله کامپوزیتی با سایر لوله‌ها

### جدول ۷ — لوله FRP در برابر لوله فولادی، چدن داکتیل، پلی‌اتیلن و PVC

| ویژگی | لوله کامپوزیتی FRP | فولادی | چدن داکتیل | پلی‌اتیلن HDPE | PVC |
|---|---|---|---|---|---|
| خوردگی | ندارد | شدید (نیاز به پوشش) | نیاز به پوشش | ندارد | ندارد |
| وزن DN400 (kg/m، تقریبی) | ۱۷ – ۲۵ | ۶۰ – ۹۰ | ۹۰ – ۱۱۰ | ۴۵ – ۷۰ | ۲۵ – ۳۵ |
| هیزن-ویلیامز C در طول عمر | ۱۵۰ | ۱۰۰ – ۱۲۰ | ۱۰۰ – ۱۳۰ | ۱۵۰ | ۱۵۰ |
| سرعت موج فشار (m/s، تقریبی) | ۴۰۰ – ۶۰۰ | ۱۰۰۰ – ۱۳۰۰ | ۱۰۰۰ – ۱۲۰۰ | ۲۰۰ – ۳۵۰ | ۳۵۰ – ۴۵۰ |
| فشار در قطر بزرگ | بالا | بالا | بالا | محدود (دیواره ضخیم) | محدود |
| دمای کاری | تا ≈ ۱۰۰ °C | بالا | بالا | تا ≈ ۴۰ °C (کاهش فشار) | تا ≈ ۴۵ °C |

مقادیر محدوده‌های رایج صنعت لوله کامپوزیتی FRP، GRP و GRE هستند و نتایج آزمایشگاهی اختصاصی نابک کامپوزیت نیستند؛ مقاومت بلندمدت هر سری تولید با آزمون ASTM D2992 یا ISO 14692 تعیین می‌شود.

**انتخاب رزین لوله کامپوزیتی:** برای آب شرب، رزین و آستر دارای تأییدیه تماس با آب آشامیدنی (مانند NSF/ANSI 61 یا WRAS) لازم است. برای اسیدها، قلیاها، هیپوکلریت و آب دریای گرم، لوله FRP با رزین وینیل‌استر و آستر C-Glass یا Veil مصنوعی ضخیم‌تر انتخاب کنید. برای فشار و دمای بالا در نفت و گاز، لوله GRE اپوکسی گزینه استاندارد طبق ISO 14692 است.

## طراحی دیواره لوله کامپوزیتی

### ۱. تنش حلقوی و ضخامت لازم برای فشار (بارلو)

$$\sigma_h = \frac{P \cdot D_m}{2\,t_s} \le \sigma_a\,, \quad t_s = \frac{P \cdot D_m}{2\,\sigma_a}\,, \quad \sigma_a = \frac{HDB}{FS}$$

$t_s$ ضخامت سازه‌ای (بدون آستر)، $D_m$ قطر میانگین، HDB مقاومت حلقوی بلندمدت. با HDB ≈ 120 MPa و $\sigma_a$ = 60 MPa. FS = 2: لوله DN200 PN16 ($t_s$ = 3.0 mm، $D_m$ ≈ 205 mm): $\sigma_h = 1.6 \times 205 / 6 \approx 54.7$ MPa ≤ 60 ✓

### ۲. سفتی حلقوی SN (ISO 7685)

$$SN = \frac{E_h \cdot I}{{D_m}^3}\,, \quad I = \frac{{t_s}^3}{12}$$

DN200: SN = 20 000 × 2.25 / 205³ ≈ 5.22×10⁻³ N/mm² ≈ 5220 N/m² ≥ SN 5000 ✓

### ۳. ضخامت لازم برای سفتی

$$t_s = D_m \cdot \left(\frac{12 \cdot SN}{E_h}\right)^{1/3}$$

DN400: $t_s \approx 5.9$ mm ،$E_h$ = 20 GPa → $t_s \approx 0.0144\,D_m$ و SN 5000

### ۴. سفتی لوله در آزمون صفحه موازی (ASTM D2412)

$$PS = \frac{E_h\,I}{0.149\,r^3}$$

DN200 با r = 102.5 mm: PS = 45 000 / (0.149 × 1.077×10⁶) ≈ 0.28 N/mm/mm ≈ 280 kPa (حدود ۴۰ psi)

### ۵. فشار بحرانی کمانش (خلأ و فشار خارجی)

$$P_{cr} = \frac{2\,E_h}{1-\nu^2}\left(\frac{t_s}{D_m}\right)^3$$

DN200 SN5000: $P_{cr} \approx 43\,956 \times (3/205)^3 \approx 0.138$ MPa = 1.38 bar؛ برای خلأ کامل با FS = 2.5 لازم است ≤ 2.5 bar → کلاس SN 10000 یا ضخامت بیشتر انتخاب شود.

## لوله کامپوزیتی مدفون

### ۶. تغییر شکل قطری لوله مدفون (رابطه آیووای اصلاح‌شده، AWWA M45)

$$\frac{\Delta y}{D} = \frac{D_L \cdot K \cdot q}{0.149\,PS + 0.061\,E'} \le 5\%$$

**مثال — لوله GRP DN200 SN5000، عمق دفن ۲ m، خاک $\gamma$ = 19 kN/m³، بار زنده ۱۰ kPa، خاکریز با تراکم متوسط:**

$q = 19 \times 2 + 10 = 48$ kPa ; $D_L = 1.5$ ; $K = 0.1$ ; $PS = 280$ kPa ; $E' \approx 6900$ kPa

$\Delta y/D = 1.5 \times 0.1 \times 48 / (0.149 \times 280 + 0.061 \times 6900) \approx 7.2 / 462.6 \approx 1.6\,\% \le 5\,\%$ ✓

مدول واکنش خاک 'E (کیفیت خاکریز و تراکم اطراف لوله) نقش بسیار بیشتری از سفتی خود لوله کامپوزیتی دارد؛ به همین دلیل اجرای درست بستر و خاکریز، مهم‌ترین عامل عملکرد لوله FRP مدفون است.

**چرا مقاومت بلندمدت؟** لوله کامپوزیتی تحت فشار دائم به‌تدریج دچار کاهش مقاومت (خزش و ترک‌خوردگی ریز رزین) می‌شود. به همین دلیل طراحی بر پایه HDB (ASTM D2992) یا LTHS (ISO 14692)، یعنی مقاومت برون‌یابی‌شده به ۵۰ سال، انجام می‌شود و نه مقاومت کوتاه‌مدت ترکیدن؛ مقاومت کوتاه‌مدت لوله GRP معمولاً ۲ تا ۳ برابر HDB است.

## هیدرولیک و ضربه قوچ در لوله FRP

### ۷. افت فشار (هیزن-ویلیامز)

$$h_f = \frac{10.67 \cdot L \cdot Q^{1.852}}{C^{1.852} \cdot D^{4.87}}$$

DN200، Q = 40 L/s، L = 1 km: لوله FRP (C = 150) → $h_f \approx 6.5$ m؛ فولاد کهنه (C = 100) → ≈ 13.8 m. نیمی از انرژی پمپاژ صرفه‌جویی می‌شود.

### ۸. سرعت موج و ضربه قوچ (ژوکوفسکی)

$$a = \sqrt{\left(\frac{K/\rho}{1 + K\,D\,/\,(E_h\,t)}\right)}\,, \quad \Delta P = \rho\, a\, \Delta V$$

DN200، ΔV = 1.5 m/s: لوله FRP (t = 4.0 mm) → a ≈ 580 m/s و ΔP ≈ 8.6 bar؛ فولاد (t = 6.35 mm) → a ≈ 1280 m/s و ΔP ≈ 19.2 bar

## حرارت و تکیه‌گاه لوله روزمینی

### ۹. انبساط و نیروی محوری حرارتی

$$\Delta L = \alpha\, L\, \Delta T\,, \quad F = E_a \cdot A \cdot \alpha \cdot \Delta T$$

DN200، $\alpha = 22\times10^{-6}$، ΔT = 40 °C: ۱۰ متر لوله آزاد ΔL ≈ 8.8 mm؛ لوله مهارشده ($E_a$ = 10 GPa، A ≈ 2560 mm²): F ≈ 22.5 kN؛ بسیار کمتر از لوله فولادی هم‌قطر

### ۱۰. فاصله تکیه‌گاه لوله روزمینی

$$L_s = \left(\frac{384\, E_a\, I \cdot \delta_a}{5\, w}\right)^{1/4}$$

w وزن لوله پر از آب بر واحد طول، $\delta_a$ خیز مجاز (≈ ۱۲٫۷ mm). DN100 PN16 پر از آب: w ≈ 0.089 N/mm → $L_s \approx 3.1$ m (برای دهانه پیوسته تا حدود ۲۰٪ بیشتر)

## راهنمای نصب لوله کامپوزیتی

**۱ حمل و انبار:** لوله FRP را با تسمه پارچه‌ای بلند کنید؛ از زنجیر، کشیدن روی زمین و ضربه به سر لوله بپرهیزید.

**۲ بستر ترانشه:** بستر یکنواخت ماسه‌ای یا شن ریزدانه به ضخامت ۱۰۰ تا ۱۵۰ mm بدون سنگ تیز آماده کنید.

**۳ اتصال:** سر لوله و کوپلینگ را تمیز و روان‌کاری کنید و با جک یا تیرک به‌صورت محوری جا بیندازید؛ ضربه ممنوع.

**۴ خاکریز:** اطراف لوله کامپوزیتی را لایه‌لایه با خاک دانه‌ای متراکم کنید تا 'E مورد نیاز تأمین شود (فرمول ۶).

**۵ بلوک رانش:** در زانوها، سه‌راهی‌ها و انتهای خط، بلوک بتنی یا اتصال قفل‌شونده برای مهار نیروی رانش پیش‌بینی کنید.

**۶ آزمون فشار:** خط را پیش از خاکریز نهایی با ۱٫۵ برابر فشار کاری آزمون هیدرواستاتیک کنید.

## آیا لوله کامپوزیتی برای آب شرب مناسب است؟

بله؛ لوله GRP با آستر و رزین مورد تأیید تماس با آب آشامیدنی، طعم و بو ایجاد نمی‌کند و چون زنگ و رسوب نمی‌گیرد، کیفیت آب را در طول عمر خط حفظ می‌کند.

## لوله FRP در برابر اشعه خورشید مقاوم است؟

لایه بیرونی لوله کامپوزیتی روزمینی با افزودنی ضد UV یا رنگ پلی‌یورتان محافظت می‌شود؛ بدون آن، سطح رزین در بلندمدت کدر و الیاف نمایان می‌شود.

**استعلام قیمت لوله کامپوزیتی FRP:** قطر، کلاس فشار و سفتی، نوع سیال و دما، نوع رزین، نوع اتصال، طول خط و شرایط دفن یا روزمینی 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 لوله کامپوزیتی FRP، GRP و GRE و استانداردهای ISO 14692 و AWWA C950 تهیه شده و جنبه راهنما دارد. مثال‌ها آموزشی‌اند و طراحی خط لوله باید توسط مهندس انجام شود. نابک کامپوزیت حق اصلاح مشخصات فنی را بدون اطلاع قبلی محفوظ می‌دارد.