NABAK COMPOSITE

PL · مقاله فنی



# ساخت پروفیل کامپوزیت
# به روش پالتروژن

## Pultrusion of FRP Profiles — A Practical Guide

از روونگ و رزین تا پروفیل نهایی: مواد، پارامترهای فرایند، عیوب رایج و کنترل کیفیت

1. قفسه الیاف — Creel
2. آغشته‌سازی رزین — Resin bath
3. شکل‌دهی اولیه — Preforming
4. قالب گرم — Heated die
5. کشنده — Puller
6. برش — Cut-off saw

واحد فنی **نابک کامپوزیت** · ویرایش ۱/۰ · آبان ۱۴۰۵

۰۹۱۲۳۹۶۳۰۷۸ ۰۲۱-۴۸۸۱۲۱۲۴ www.nabakcomposite.com

PL02

# پالتروژن چیست؟

پروفیل‌های کامپوزیتی FRP (پلیمر تقویت‌شده با الیاف) به‌خاطر وزن کم، مقاومت مکانیکی بالا، مقاومت در برابر خوردگی و عمر طولانی، در بسیاری از صنایع جایگزین فولاد، آلومینیوم و چوب شده‌اند. رایج‌ترین و اقتصادی‌ترین روش تولید آن‌ها **پالتروژن (Pultrusion)** است.

پالتروژن فرایندی پیوسته برای ساخت پروفیل‌های FRP است. واژه Pultrusion از دو بخش Pull (کشیدن) و Extrusion (شکل‌دهی) ساخته شده است. برخلاف اکستروژن که مواد با فشار به داخل قالب رانده می‌شوند، در پالتروژن الیاف آغشته به رزین با سیستم کشش از داخل قالب گرم **کشیده** می‌شوند؛ رزین در قالب پخت می‌شود و پروفیل سخت و آماده از آن خارج می‌شود.

این فناوری در دهه ۱۹۵۰ میلادی توسعه یافت و امروز یکی از پیشرفته‌ترین و قابل‌اعتمادترین روش‌های تولید محصولات کامپوزیتی است.



خروج پروفیل کامپوزیتی از خط پالتروژن

| پیوسته | یکنواخت | بالا | خودکار |
|---|---|---|---|
| طول نامحدود | سطح مقطع ثابت | درصد الیاف | تولید انبوه اقتصادی |

PL03

# مراحل فرایند پالتروژن




شماتیک خط پالتروژن

### ۱. قفسه الیاف (Creel)

رووینگ‌های الیاف شیشه و مت‌ها از قفسه با کشش کنترل‌شده تغذیه می‌شوند.

### ۲. آغشته‌سازی رزین

در حمام رزین باز یا با تزریق رزین در محفظه بسته؛ روش تزریق کنترل بهتر رزین، کیفیت بالاتر و بخارات کمتر دارد.

### ۳. پیش‌فرم (Preforming)

صفحات هدایت‌کننده رزین اضافه را خارج و الیاف را منظم و نزدیک شکل نهایی می‌کنند.

### ۴. پخت در قالب گرم

قلب فرایند: رزین در قالب فولادی گرم واکنش می‌دهد و سخت می‌شود؛ دمای نامناسب باعث ترک داخلی، تنش پسماند و تاب برداشتن می‌شود.

### ۵. سیستم کشش

کشنده پروفیل را با سرعت ثابت می‌کشد؛ سرعت کشش بر کیفیت پخت، سطح و خواص مکانیکی اثر مستقیم دارد.

### ۶. برش و عملیات نهایی

اره پروازی پروفیل را در طول دلخواه برش می‌دهد؛ سوراخ‌کاری، ماشین‌کاری و بسته‌بندی در ادامه انجام می‌شود.

PL04

# مواد اولیه

## الیاف تقویت‌کننده

| الیاف | ویژگی | کاربرد |
|---|---|---|
| **شیشه** | اقتصادی، مقاومت بالا، پرکاربردترین | بیشتر پروفیل‌های صنعتی |
| **کربن** | وزن بسیار کم، سختی بسیار بالا، گران‌تر | سازه‌های سبک و سفت |
| **بازالت و آرامید** | مقاومت حرارتی یا ضربه‌ای ویژه | کاربردهای خاص |

## رزین‌ها

| رزین | ویژگی |
|---|---|
| **پلی‌استر** | اقتصادی؛ کاربرد عمومی |
| **وینیل‌استر** | مقاومت شیمیایی بالا؛ محیط خورنده |
| **اپوکسی** | خواص مکانیکی و چسبندگی عالی |
| **گرمانرم (PET، PA)** | در حال توسعه؛ قابلیت بازیافت بهتر |

## افزودنی‌ها

### ضدشعله

افزایش مقاومت در برابر آتش.

### پایدارکننده UV

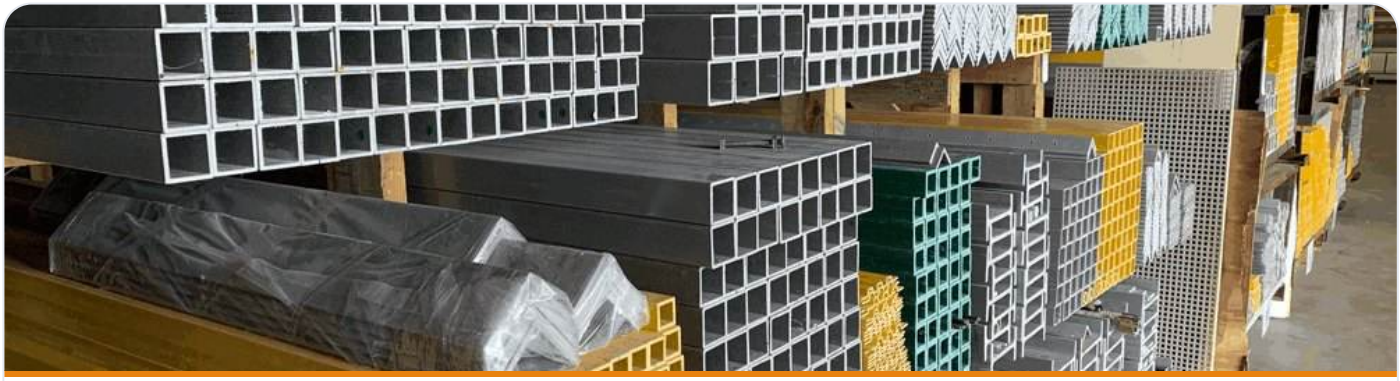
حفظ رنگ و سطح در فضای باز.

### پرکننده

بهبود سطح و کنترل جمع‌شدگی.

### رنگ‌دانه و جداکننده قالب

رنگ یکنواخت و جدا شدن آسان از قالب.



پروفیل‌های پالتروژن کامپوزیتی در انبار

PL05

# کنترل کیفیت و عیوب رایج

## پارامترهای کلیدی فرایند

- سرعت کشش
- ویسکوزیته رزین؛ طبق برگه فنی رزین و دمای کارگاه
- توزیع یکنواخت دمای قالب
- کشش و آرایش الیاف
- درصد الیاف به رزین

## عیوب رایج

- حباب سطحی
- زبری سطح
- ترک داخلی
- تغییر ابعاد و تاب برداشتن
- حفره (Void)

### روش‌های کنترل کیفیت

| آزمون | هدف |
|---|---|
| **DSC** | میزان پخت رزین و دمای انتقال شیشه‌ای |
| **اولتراسونیک** | تشخیص حفره‌ها و جدایش داخلی |
| **اندازه‌گیری ابعاد** | تطبیق با تلرانس نقشه |
| **کشش و خمش** | مقاومت و مدول طولی |
| **فشار و برش** | رفتار مقطع زیر بار |
| **درصد الیاف (سوزاندن)** | نسبت الیاف به رزین |

### چرا مهم است؟

پروفیل پالتروژن با پخت ناقص یا حفره داخلی ممکن است ظاهر سالمی داشته باشد اما زیر بار زودتر از انتظار بشکند. گواهی آزمون هر بچ را از تأمین‌کننده بخواهید.

PL06

# مزایا، اقتصاد و کاربردها

به‌خاطر اتوماسیون بالا و تولید پیوسته، هزینه نیروی کار در پالتروژن پایین است و در تیراژ متوسط و بالا، هزینه تولید هر متر پروفیل به‌طور قابل توجهی کمتر از روش‌های دستی مانند لایه‌گذاری دستی (Hand Lay-up) است.

### زیرساخت و عمران

تیر، ستون، میلگرد FRP، عرشه پل، نرده و پله.

### صنایع شیمیایی و نفت

گریتینگ، سینی کابل، نردبان صنعتی و سازه‌های مقاوم به خوردگی.

### برق و انرژی

کراس آرم، پروفیل عایق، سازه پنل خورشیدی و نیروگاه بادی.

### حمل‌ونقل و کشاورزی

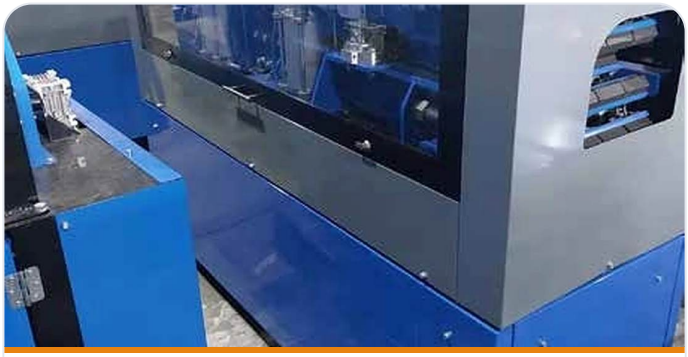
قطعات سبک سازه‌ای، فنر تخت، اسکلت گلخانه و قیم.

**چرا پروفیل پالتروژن؟**

| ویژگی | پروفیل پالتروژن FRP | فولاد |
|---|---|---|
| **وزن** | حدود یک‌چهارم | سنگین |
| **خوردگی** | ندارد | نیاز به پوشش |
| **هدایت برق** | عایق | رسانا |
| **نگهداری** | حداقلی | رنگ دوره‌ای |



خط پالتروژن صنعتی



قالب و سیستم کشش خط پالتروژن

PL07

# آینده فناوری و جمع‌بندی

### پالتروژن تزریقی
کاهش انتشار بخارات و افزایش کیفیت آغشته‌سازی.

### گرمایش مایکروویو
کاهش زمان پخت و افزایش سرعت تولید.

### رزین‌های گرمانرم
امکان بازیافت بهتر محصولات.

### تولید هوشمند
حسگرها و پایش برخط برای کنترل کیفیت و بهینه‌سازی.

## جمع‌بندی

پالتروژن یکی از پیشرفته‌ترین و اقتصادی‌ترین روش‌های تولید پروفیل‌های FRP است که کیفیت یکنواخت، استحکام بالا، دقت ابعادی و هزینه مناسب را با هم فراهم می‌کند. با توسعه رزین‌های جدید و هوشمندسازی خطوط، نقش پروفیل‌های پالتروژن در ساختمان، حمل‌ونقل، انرژی و صنایع شیمیایی پررنگ‌تر خواهد شد.

پروفیل‌ها و محصولات پالتروژن ناباک: پروفیل‌های کامپوزیتی · تیر I · ناودانی · قوطی مربع · گریتینگ پالترود · چکیده کتاب Pultrusion for Engineers

**استعلام قیمت و مشاوره فنی — ناباک کامپوزیت**

دفتر مرکزی: ۰۲۱-۴۸۸۱۲۱۲۴ · فروش: ۰۹۱۲ ۳۹۶ ۳۰۷۸ · درخواست پیش‌فاکتور آنلاین