

بررسی و تحلیل استاندارد (CTI-STD-137 فارسی)

مشخصات استاندارد قطعات سازه‌ای فایبرگلاس پالتروود شده (FRP) جهت استفاده در برج‌های خنک‌کننده

نوع سند: گزارش تحلیلی و راهنما

تهیه‌کننده: واحد فنی [RMS Cooling](#)

تاریخ تهیه: مرداد ۱۴۰۵

موضوع: مروری بر رویه‌ها و الزامات کلیدی استاندارد CTI-137

تذکر: این سند صرفاً جنبه تحلیلی و آموزشی داشته و جایگزین مطالعه استاندارد اصلی نیست.

۱. دامنه کاربرد و کلیات (Scope & General)

این سند ارائه دهنده توصیه‌ها و الزامات فنی در خصوص طبقه‌بندی، مواد اولیه، تolerانس‌های ابعادی، خواص فیزیکی و مکانیکی، و کنترل کیفیت مقاطع سازه‌ای ساخته‌شده از رزین‌های تقویت‌شده با الیاف شیشه (FRP) به روش پالتروژن (Pultrusion) است که در ساخت برج‌های خنک‌کننده به کار می‌روند.

فرایند پالتروژن (Pultrusion Process) چیست؟

پالتروژن فرایندی پیوسته است که در آن الیاف فایبر پس از عبور از حمام رزین مایع، وارد قالبی گرم می‌شوند. در داخل قالب، واکنش شیمیایی آغاز شده و رزین سخت می‌شود. سازه خروجی پس از خنک‌کاری توسط کشش‌برهای مداوم کشیده شده و در ابعاد مورد نظر برش می‌خورد.

۲. طبقه‌بندی محصولات و رزین‌ها (Classification)

۲.۱ طبقه‌بندی بر اساس نوع محصول: (Types)

- تیپ: (Type I) I میله‌ها و شمش‌های پالتروود شده بدون ویل (Veil) سطحی سنتتیک.
- تیپ: (Type II) II ورق‌های تخت پالتروود شده دارای ویل سطحی پلی‌استر یا سنتتیک.
- تیپ: (Type III) III مقاطع استاندارد سازه‌ای (مانند I-Beam, Channel, Box) همراه با ویل سطحی سنتتیک.
- تیپ: (Type IV) IV محصولات سفارشی یا تغییر یافته بنا به توافق خریدار و سازنده.

۲.۲ طبقه‌بندی بر اساس گرید رزین: (Resin Grades)

ویژگی کندسوزی (Retardancy Flame)	پایه رزین (Resin Base)	گرید رزین
دارای انتشار شعله ۲۵ یا کمتر (ASTM E-84) یا UL94 V-0	پلی‌استر ایزوفتالیک (Isophthalic)	Grade 1
بدون افزودنی کندسوز (Standard)	پلی‌استر ایزوفتالیک	Grade 2
دارای انتشار شعله ۲۵ یا کمتر (ASTM E-84) یا UL94 V-0	وینیل استر (Vinyl Ester)	Grade 3
بدون افزودنی کندسوز (Standard)	وینیل استر	Grade 4
میزان کندسوزی طبق توافق طرفین مشخص می‌شود	سایر رزین‌ها (سفارشی)	Grade 5

۳. مواد اولیه و ساختار (Materials & Construction)

- الیاف تقویتی: الیاف شیشه از انواع A, C, E یا S به صورت رووینگ پیوسته، نمد با رشته‌های پیوسته، پارچه‌های بافته‌شده یا یک‌جهته.
- رزین‌ها: عمدتاً ایزوفتالیک پلی‌استر یا وینیل استر همراه با افزودنی‌های تثبیت‌کننده UV، پیگمنت رنگ و کندسوزکننده.
- ویل سطحی یا ژل کوت (Surfacing Veil): لایه‌ای نازک که در بیرونی‌ترین سطح قطعه قرار می‌گیرد. وظیفه اصلی آن بهبود ظاهر، افزایش مقاومت شیمیایی، مقاومت در برابر جو و جلوگیری از عریان شدن الیاف شیشه در اثر UV یا سایش است.

۴. معیارهای طراحی و ضریب اثر دما (Design Criteria & Temperature Effect)

مقاومت مکانیکی کامپوزیت‌های FRP در دماهای بالا کاهش می‌یابد. برای قطعاتی از برج خنک‌کننده که در دمای بالاتر از 25°C کار می‌کنند، مقادیر طراحی باید توسط ضرایب تصحیح دمایی کاهش یابند.

نکته مهم طراحی: کلیه قطعات سازه‌ای برج خنک‌کننده باید حداقل برای حداکثر دمای آب گرم پیش‌بینی شده در شرایط بحرانی (بیش از 100°C) طراحی شوند تا اثرات خاموش بودن فن، ماندن برج در هوای گرم و نوسانات بار حرارتی جبران شود.

جدول ضرایب تصحیح افت مقاومت در اثر دما:

دما ($^{\circ}\text{C}$ / $^{\circ}\text{F}$)	مقاومت فشاری (پلی‌استر)	مقاومت فشاری (وینیل)	مدول کششی (پلی‌استر)	مدول کششی (وینیل)
25°C / 77°F	1	1	1	1
38°C / 100°F	1	1	0.9	0.85
52°C / 125°F	0.95	0.9	0.8	0.7
66°C / 150°F	0.9	0.85	0.8	0.5
79°C / 175°F	0.88	NA	0.75	NA
93°C / 200°F	0.85	NA	0.5	NA

۵. کنترل کیفیت و ساخت (Quality Assurance & Workmanship)

- ظاهر و عیوب بصری: طبق استاندارد ASTM D-4385 در سطح پذیرش ۳
- آببندی برش‌ها: بر اساس تحقیقات، آببندی و رزین‌کاری لبه‌های برش‌خورده یا سوراخ‌کاری شده تأثیر مثبتی در عملکرد سازه نداشته و الزامی نیست.
- سیستم تضمین کیفیت سازنده: شامل بازرسی مواد اولیه (رزین و الیاف)، سنجش درصد الیاف (Glass Content)، آزمون‌های مکانیکی داخلی، سنجش مدول الاستیسیته و ارائه گواهی مطابقت. (Certificate of Conformance)

۶. خلاصه خواص مکانیکی و فیزیکی حداقل (Minimum Properties)

ورق (Plate)	مقاطع وینیل استر	مقاطع پلی استر	استاندارد تست	خاصیت مکانیکی / فیزیکی
20,000 psi (137.9 MPa)	30,000 psi (206.8 MPa)	30,000 psi (206.8 MPa)	ASTM D638	استحکام کششی طولی (Tensile LW)
1.8×10^6 psi (12.4 GPa)	2.6×10^6 psi (17.9 GPa)	2.5×10^6 psi (17.2 GPa)	ASTM D638	مدول کششی طولی (Tensile Modulus LW)
30,000– 35,000 psi	30,000 psi (206.8 MPa)	30,000 psi (206.8 MPa)	ASTM D790	استحکام خمشی طولی (Flexural LW)
24,000 psi (165.4 MPa)	30,000 psi (206.8 MPa)	30,000 psi (206.8 MPa)	ASTM D695	استحکام فشاری طولی (Compressive LW)
40	45	45	ASTM D2583	سختی بارکول (Hardness Barcol)
0.60% Ma	0.60% Max	0.60% Max	ASTM D570	جذب آب ۲۴ ساعته (Absorption Water)

سلب مسئولیت: این سند صرفاً خلاصه و برداشتی فنی از استاندارد CTI STD-137 جهت آشنایی اولیه کارشناسان است و جایگزین نسخه رسمی و به روز رسانی شده سازمان CTI نمی باشد. مسئولیت استفاده از این اعداد در محاسبات نهایی سازه بر عهده طراحان و مهندسان مربوطه است.