

خصوصیات فیزیکی PUR (Rigid Foam)

تهیه و تنظیم: حمیدرضا جعفری

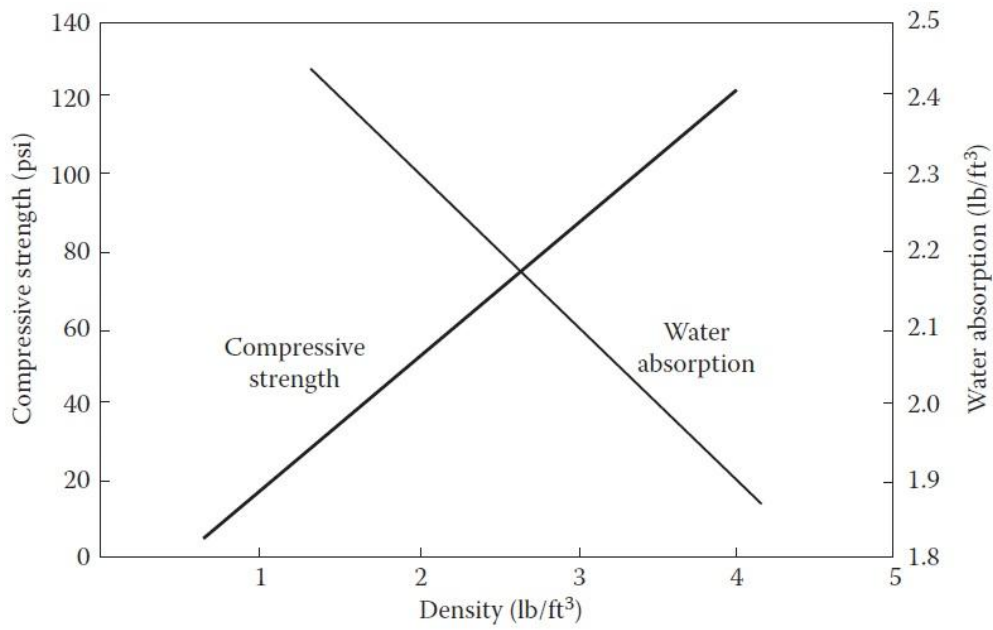
در یک سیستم مشخص، خواص فوم را می توان صرفاً با تغییر در دانسیته فوم پلی یورتان کنترل نمود. خواص فیزیکی فوم پلی یورتان مانند استحکام فشاری، مقاومت کششی، استحکام خمشی، مقاومت برشی و استحکام به ضربه، رسانایی حرارتی، نرخ جذب آب و ضریب کشسانی تا حد زیادی به دانسیته فوم پلی یورتان بستگی دارد.

خواص عمومی فوم سخت پلی یورتان

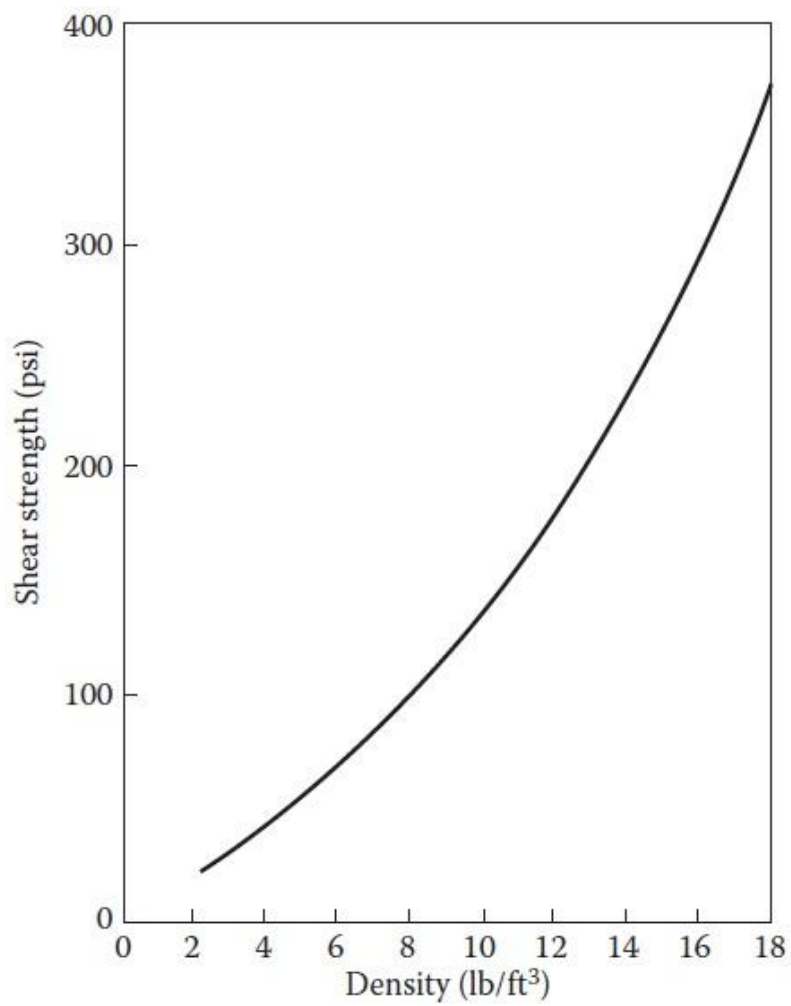
برخی از خواص عمومی فوم سخت پلی یورتان (فوم ریجید) پایه پلی اتری یا پلی استری عبارتند از:

- قابلیت تشکیل فوم در محل پاشش یا ریزش
 - تنوع در دستیابی به دامنه وسیعی از خواص فیزیکی
 - خواص استحکام بالا همزمان با سبک وزن بودن
 - دارای خواص عایق حرارتی مناسب
 - قابلیت چسبیدگی بالا به فلز، چوب، شیشه و سرامیک
- وزن معادل مولکولی پلی ال تاثیر قابل توجهی بر خواص نهایی فوم پلی یورتان دارد. به طور کلی، با کاهش میانگین وزن معادل مولکولی پلی ال از ۳۰۰ به ۱۰۰، خواص فوم سخت پلی یورتان نهایی بدین شکل تغییر می کند:
- افزایش استحکام فشاری فوم پلی یورتان
 - افزایش سهم سلول های بسته در فوم
 - کاهش نرخ نفوذ بخار آب به درون فوم پلی یورتان
 - کاهش جذب آب
 - افزایش مقاومت حرارتی فوم پلی یورتان
 - کاهش نرخ افت گاز در سیستم های پف زای حلالی
 - تمایل بیشتر به شکنندگی در فوم
 - تمایل به سوختن فوم پلی یورتان
 - افزایش قیمت تمام شده هر کیلو فوم پلی یورتان

به علاوه، با کاهش وزن معادل مولکولی پلی ال، واکنش گرمازا با شدت بیشتری در حین تشکیل فوم پیش می رود. در یک سیستم پلی ال مشخص، خواص فوم را می توان صرفاً با تغییر در دانسیته فوم پلی یورتان کنترل نمود. خواص فیزیکی فوم پلی یورتان مانند استحکام فشاری، مقاومت کششی، استحکام خمشی، مقاومت برشی و استحکام به ضربه، رسانایی حرارتی، نرخ جذب آب و ضریب کشسانی تا حد زیادی به دانسیته فوم پلی یورتان بستگی دارد. شکل ۱ نحوه تغییرات خواص استحکام فشاری و جذب آب در فوم سخت پلی یورتان (فوم ریجید) با تغییرات دانسیته فوم را نشان می دهد. شکل ۲ نیز تاثیر دانسیته بر استحکام برشی فوم سخت پلی یورتان را نمایش می دهد.



شکل ۱- تغییرات خواص استحکام فشاری و جذب آب در فوم سخت پلی یورتان با دانسیته

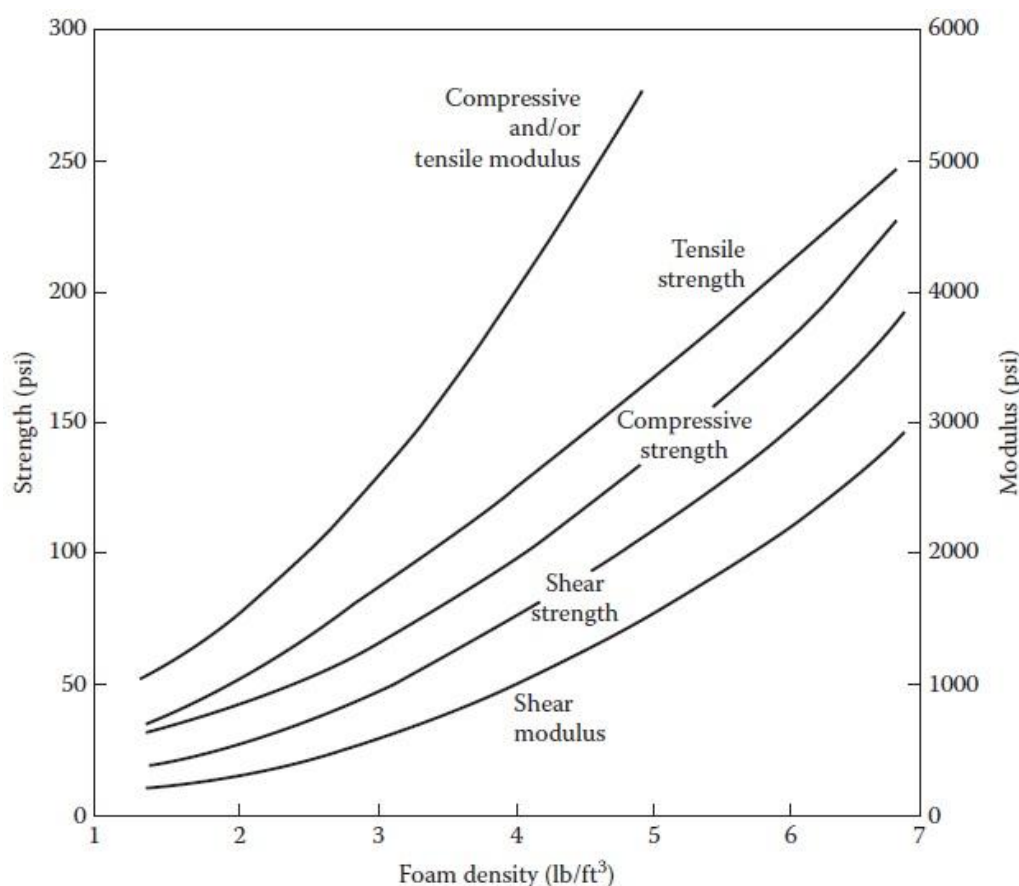


شکل ۲- تاثیر دانسیته بر استحکام برشی فوم سخت پلی یورتان

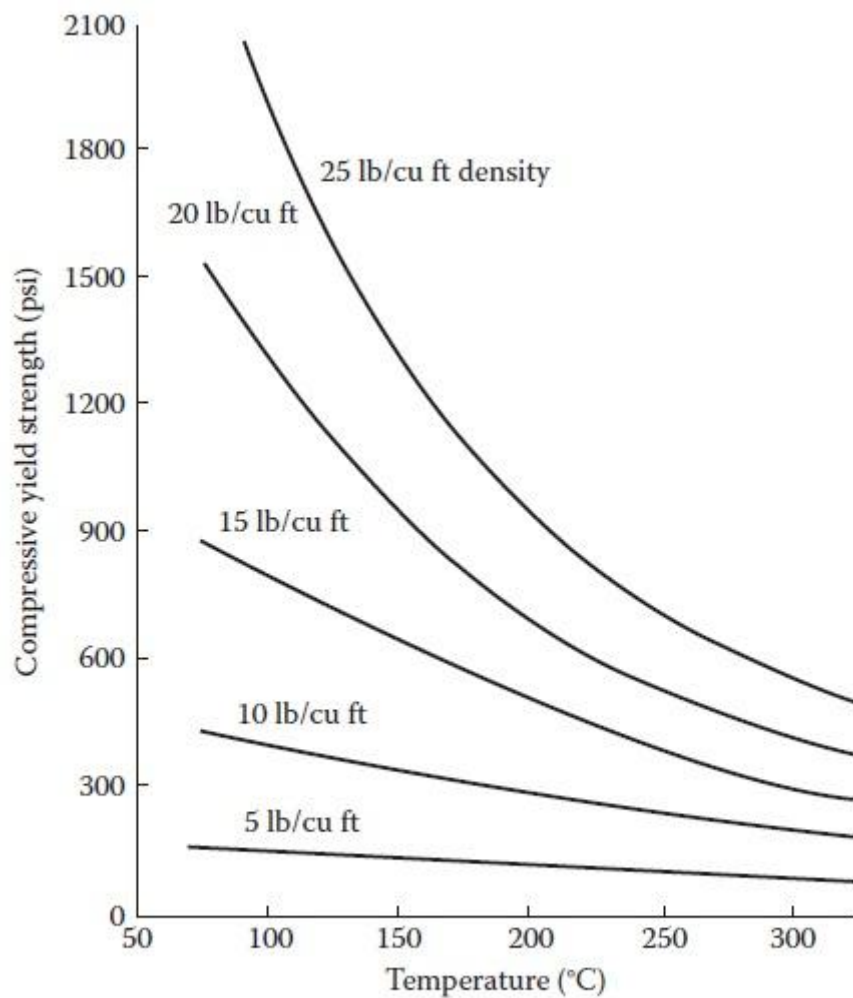
میزان سلول های بسته موجود در فوم سخت پلی یورتان علاوه بر وزن معادل مولکولی پلی ال ، بستگی به مقدار پیوند دهنده های عرضی و سورفاکتانت های مورد استفاده در حین فوم کردن دارد. در **فوم اسپری پلی یورتان**، میزان میکس کردن مواد اولیه پلی یورتان (پلی ال و ایزوسیانات) تاثیر زیادی بر میزان سلول های بسته فوم سخت پلی یورتان دارند. باید یادآور شد که در اکثر کاربردهای فوم سخت پلی یورتان، داشتن حداکثر سلول بسته در فوم مورد نیاز می باشد. به عبارتی، وجود سهم بالایی از سلول های بسته در فوم پلی یورتان برای به حداقل رساندن جذب آب، کاهش نفوذ رطوبت و بخار آب و حفظ گازهای عامل پف زا در داخل فوم ضروری است. معمولا فوم سخت پلی یورتان دارای درصد بالایی از سلول های بسته می باشد (۹۰٪). البته در دیگر کاربرد فوم پلی یورتان، همانند **فوم صندلی**، کاهش تعداد سلول های بسته در فوم مطلوب می باشد.

خواص فیزیکی و مکانیکی فوم سخت پلی یورتان (Rigid Foam)

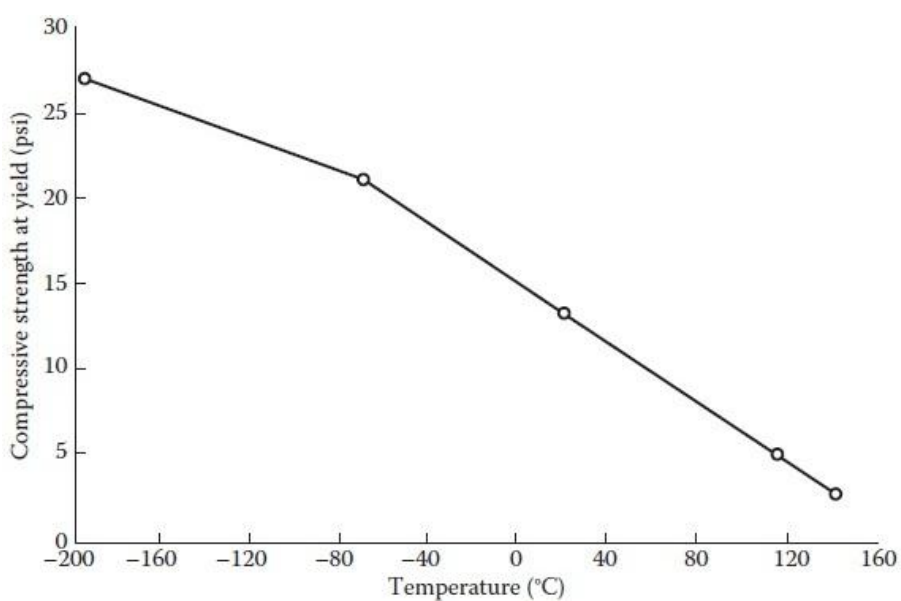
فوم سخت پلی یورتان (فوم ریجید) معمولا دارای دانسیته ای بین ۸ تا ۳۲۰ کیلوگرم بر متر مکعب می باشد. البته مصرف فوم های سخت با دانسیته های بالاتر برای کاربردهایی مانند قطعات دکوراتیو و پایه صندلی که به **فوم چوب** معروفند نیز اخیرا در حال افزایش است. لازم به توضیح است تولید فوم سخت پلی یورتان با دانسیته کمتر از ۲۴ کیلوگرم بر متر مکعب به طور ابعادی ناپایدار است و عملا غیر قابل استفاده می باشد. شکل ۳ تاثیر دانسیته بر خواص مکانیکی فوم سخت پلی یورتان را نشان می دهد. این نمودار تا دانسیته ۱۱۰ کیلوگرم بر متر مکعب را پوشش می دهد. شکل ۴ نیز استحکام فشاری فوم سخت پلی یورتان با تغییرات دانسیته را نشان می دهد. همانطور که در شکل مشهود است، با افزایش دانسیته فوم، استحکام فشاری افزایش می یابد و همچنین استحکام فشاری با افزایش دمای فوم پلی یورتان (به ویژه در دانسیته های بالاتر) کاهش می یابد. شکل ۵ نیز تاثیر دما بر فوم سخت پلی یورتان در دامنه وسیعی از دما را نشان می دهد.



شکل ۳- تاثیر دانسیته بر خواص مکانیکی فوم سخت پلی یورتان

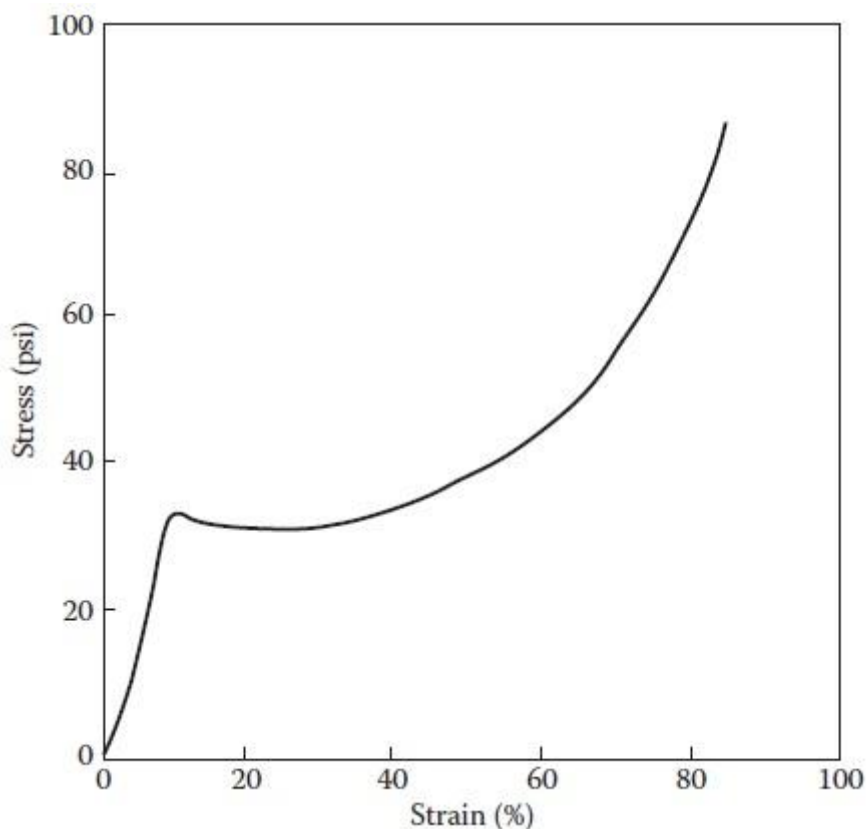


شکل ۴- استحکام فشاری فوم سخت پلی یورتان با تغییرات دانسیته



شکل ۵- تاثیر دما بر فوم سخت پلی یورتان

جدول ۱ خواص مکانیکی فوم سخت پلی یورتان را نشان می دهد. جالب توجه است که استحکام فشاری یا تراکمی در راستای عمود بر رشد فوم تقریباً نصف استحکام فشاری در راستای موازی با رشد فوم می باشد. جدول ۲ نیز مقاومت فشاری فوم سخت پلی یورتان پلی اتری و پلی استری در دانسیته های مختلف را با هم مقایسه کرده است. در رابطه با استحکام فشاری باید اشاره کرد که در فوم سخت پلی یورتان معمولاً یک ناحیه الاستیک وجود دارد که در آن میزان تنش تقریباً با میزان کرنش متناسب است. با این وجود، آنها به طور کامل از قانون هوک تبعیت نمی کنند. در شکل ۸۰۶، تنش اولیه تقریباً متناسب با کرنش است و یک بازگشت الاستیک وجود دارد. بالای نقطه تسلیم، فوم بازگشت الاستیک کمتری از خود نشان می دهد. اگر فوم پلی یورتان بیشتر از نقطه تسلیم متراکم شود، ساختار فوم مچاله می شود. در فوم های با دانسیته پایین (کمتر از ۶۴ کیلوگرم بر متر مکعب)، تنش لازم برای مچاله کردن فوم پلی یورتان برابر مقدار تنش در نقطه تسلیم است. ناحیه ثابت می تواند تا تراکم ۷۰٪ در فوم های با دانسیته پایین گسترش یابد. در دانسیته های بالاتر، شدت فلات کاهش می یابد و تنش لازم برای مچاله کردن فوم با افزایش کرنش بیشتر می شود.



نمودار تنش-کرنش فوم سخت پلی یورتان با دانسیته ۳۲ کیلوگرم بر متر مکعب

اکثر فوم های سخت (فوم ریجید) پلی یورتان دارای خاصیت ناهمسانگرد هستند بدین معنا که در جهت افزایش ارتفاع فوم (رایز) مقاومت بالاتری نسبت به جهت عمود بر آن دارند. این خاصیت ناهمسانگردی معمولاً در موارد فوم قالبی یا پانل هایی که فوم در فاصله عمودی طولانی رشد می کند مشهود است. در چنین شرایطی، (فوم قالبی یا پانلی با ارتفاع رشد بالا)، یک فوم سخت دارای استحکام تراکمی تقریباً دو برابر در موازات فوم نسبت به جهت عمود بر رشد فوم است. در فوم های قالبی، با اعمال بار اضافی بر قالب می توان اختلاف در خواص فیزیکی فوم در جهت عمودی و افقی را به حداقل رساند اما در عین حال دانسیته فوم پلی یورتان نهایی افزایش خواهد یافت.

جدول ۱- خواص فیزیکی فوم سخت پلی یورتان

Density (lb/ft ³) ASTM D1622	1.5–2.0
Tensile strength (psi) ASTM D1623	30–40
Compression strength at yield (psi) ASTM D1621	
Parallel to foam rise	20–45
Perpendicular to foam rise	10–25
Compression at yield (%)	5–10
Closed cells (%) ASTM D1940	92–98
Dimensional stability (% volume change)	
at 70°C, 100% RH, 2 weeks	7–15
at 100°C, 2 weeks	5–10
at – 40°C, 2 weeks	0–2

جدول ۲- تغییرات استحکام فشاری فوم سخت پلی یورتان با دانسیته

Density (lb/ft ³)	Compressive Strength (Parallel to Foam Rise)	
	Polyether Types	Polyester Types
2	30–40	25–40
3	65–70	40–50
6	210–220	120–160
9	400	240–280
12	560	400–440