

## طراحی و ساخت پلی اتیلن بوردار و اندازه گیری پارامترهای نوترونی آن

اسدی امیرآبادی، اسکندر<sup>۱\*</sup> - سلطانی، زهرا<sup>۲</sup> - اطاعتی، غلامرضا<sup>۲</sup> - بیگزاده، امیرمحمد<sup>۲</sup>

بیات، اسماعیل

۱- دانشگاه پیام نور، واحد تهران مرکز - دانشکده علوم پایه - گروه فیزیک

۲- دانشگاه صنعتی امیر کبیر - دانشکده مهندسی هسته‌ای و فیزیک

### چکیده

صنعت کامپوزیت های پلیمری امروزه به طور وسیعی در جهان پا گرفته و متعاقب آن پیشرفت‌هایی نیز در داخل کشور توسط پژوهشگاه پلیمر و پتروشیمی ایران حاصل شده است. بحث استفاده از کامپوزیت‌ها در صنعت هسته‌ای، آن را تحت عنوان کامپوزیت‌های پیشرفته در عرصه جدیدی از صنعت مطرح می‌نماید که متناسفانه حساسیت آن، اصولاً اطلاعات زیادی از آن در دسترس نیست. در این پژوهش ساخت کامپوزیت با افزودنی‌های مختلف بور و درصد‌های ترکیبی ۱، ۵ و ۲۰ درصد به دو صورت آزمایشگاهی و صنعتی انجام شد. در نهایت مشخصات مکانیکی و جذب نوترونی آن‌ها اندازه‌گیری شد. لازم به ذکر است که فرایند ساخت این دو تا حدودی بسیار زیادی به همدیگر شبیه می‌باشد. ساخت این نوع از کامپوزیت‌ها به صورت صنعتی با ضخامت  $2\text{ mm}$  الی  $200\text{ mm}$  با عرض  $2200\text{ mm}$  و هر طولی متناسب با نیاز کاربر امکان پذیر است

### ۱- مقدمه

نوترون‌های سریع در اثر پراکندگی‌های مکرر به وسیله هسته‌های کربن و هیدروژن قسمت اعظمی از انرژی خود را از دست داده، کند شده و در نهایت حرارتی می‌شوند. لذا افزودن ماده‌ای به ترکیب پلی اتیلن که بتواند جاذب خوبی برای نوترون حرارتی باشد سودمند است. این مواد افزودنی به گونه‌ای انتخاب می‌شوند که دارای سطح مقطع جذب نوترون حرارتی بالایی باشند. از این مواد می‌توان به کادمیم، لیتیم، بور و ترکیبات آن مانند اکسید بور، نیتريد بور و کاربید بور اشاره نمود. لذا این مواد گزینه مناسبی جهت جذب نوترون‌های حرارتی هستند و در صورت ترکیب با پلیمرها علاوه بر کاهش دز نوترون گرمایی در بیرون حفاظ، احتمال اندرکنش‌هایی مانند  $(n,\gamma)$  و تولید گاماها‌ی پر انرژی ثانویه را در داخل حفاظ کم می‌کنند. درصد ترکیب این حفاظ‌ها با توجه به نوع کاربرد آنها با هم فرق می‌کنند [۱].

\* E-mail: Asadi\_04@yahoo.com

به طور خلاصه برخی از مهمترین کاربردهای حفاظ‌های پلی‌اتیلن بوردار به شرح ذیل می‌باشد:

- ۱- استفاده در راکتورهای هسته‌ای جهت جلوگیری از تابش و نشت نوترون.
- ۲- جلوگیری از آثار مخرب تشعشعات مواد رادیواکتیو به خصوص نوترون بر روی پناگاه‌ها، سنگرها و ادوات زرهمی.
- ۳- حمل و نقل ایمن چشمه‌های نوترون.

## ۲- اصول طراحی کامپوزیت

به منظور طراحی اصولی یک محصول کامپوزیتی جنبه‌های مختلفی شامل تحلیل نظری مواد کامپوزیت، فرایندهای تولید، آزمون‌های کنترل کیفی و استانداردهای مورد استفاده را بایستی در نظر گرفت. بر این اساس مراحل طراحی کامپوزیت‌ها در ۵ بخش مهم خلاصه شده است:

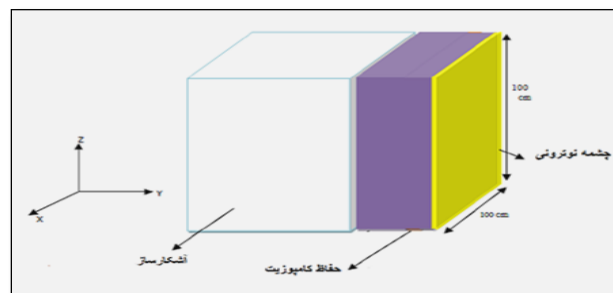
- ۱- گردآوری اطلاعات، آنالیز و انتخاب مواد
- ۲- انجام محاسبات: روشهای تحلیلی و عددی طراحی
- ۳- طراحی فرمولاسیون کامپوزیت
- ۴- طراحی فرایند تولید
- ۵- انجام آزمونهای مختلف

### ۱-۲- گردآوری اطلاعات، آنالیز و انتخاب مواد

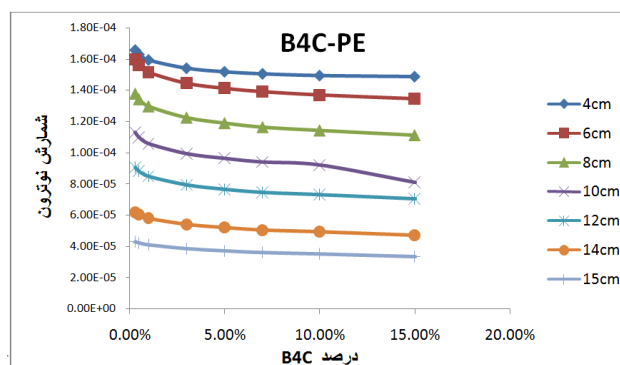
نکته مهم در انتخاب پایه کامپوزیت، در نظر گرفتن واکنش‌های نوترون با هریک از عناصر و نیز بررسی میزان دانسیته اتم‌های هیدروژن به منظور کندسازی نوترون‌ها است. در نهایت پایه کامپوزیت، پلیمرهایی از خانواده ترموپلاست‌ها مانند پلی‌پروپیلن، پلی‌اتیلن ترفتالات، پلی‌متیل متاآکریلات، پلی‌آمید، پلی‌یورتان، پلی‌استایرن و پلی‌اتیلن بررسی شد. در نهایت برای ساخت نمونه آزمایشگاهی از پلی‌اتیلن سنگین با شاخص جریان مذاب (g/10 min) ۰.۳۵ و چگالی (g/cm<sup>3</sup>) ۰.۹۵۹ و درجه HB ۰.۳۵ محصول شرکت پتروشیمی بندر امام به عنوان پایه پلیمر استفاده شد. انتخاب درجه مناسب پلی‌اتیلن برای تولید محصولی با کیفیت عالی نکته بسیار مهمی می‌باشد. به طوریکه برای ساخت نمونه صنعتی از ترکیب درجه‌های پلی‌اتیلن سنگین X<sup>3</sup> و پلی‌اتیلن سبک DPE ۰.۷۵ برای تولید نمونه ورق صاف با ظاهری عالی استفاده شد. درجه‌های انتخاب شده نمونه صنعتی مناسب برای ساختن ورق و درجه HB ۰.۳۵ مورد استفاده نمونه آزمایشگاهی درجه‌ی مناسب تزریق می‌باشد.

## ۲-۲- انجام محاسبات: روشهای تحلیلی و عددی طراحی

هدف از انجام شبیه‌سازی، یافتن درصد مناسب ترکیبات بور در کامپوزیت می‌باشد. بدین منظور از هندسه‌ای مطابق (شکل ۱) استفاده شد. جهت بررسی اثر حفاظ‌های طراحی شده در مقابل نوترون‌ها، از چشمه نوترونی  $^{241}\text{Am-Be}$  با طیف انرژی در بازه  $11.3\text{ MeV} - 10\text{ keV}$  استفاده شد. چشمه‌ی سطحی یکسو شده با مساحت  $50$  سانتیمتر مربع و در جهت منفی محور  $Y$ ها تابش می‌کند. و مساحت این چشمه به گونه‌ای می‌باشد که تمامی سطح حفاظ را پوشش می‌دهد. نتایج حاصل از شبیه‌سازی در (شکل ۲) آمده است. همانطور که از این نمودار مشاهده می‌شود شمارش نوترون‌ها با افزایش درصد ذرات تا حدود  $5\%$  کاهش می‌یابد و بعد از آن تقریباً روند ثابتی دارد لذا در ساخت کامپوزیت‌های صنعتی از  $5\%$  وزنی ماده تقویت کننده (کاربید بور) استفاده شد.



شکل ۱: چیدمان آزمایش جهت شبیه سازی با کد MCNP



شکل ۲: نتایج حاصل از شبیه سازی با کد MCNP

## ۲-۳- طراحی فرمولاسیون کامپوزیت

به منظور بررسی تاثیر میزان ماده تقویت کننده در خواص نهایی کامپوزیت، نمونه های کامپوزیت با ترکیبی از ۰، ۱، ۲، ۵ و ۱۰ درصد وزنی از تقویت کننده با توجه به نمونه های صنعتی و نیز نتایج شبیه سازی تعیین گردید. با توجه به اینکه پلی اتیلن مورد استفاده در این پروژه دارای دانسیته ۰٫۹۵۹ گ/سم<sup>۳</sup> می باشد، برای محاسبه جرم مناسب با توجه به حجم قالب به شکل زیر عمل شد. ابتدا دانسیته کل آمیزه محاسبه و سپس دانسیته در حجم قالب ضرب گردید. عدد حاصل بیانگر مقدار کل جرم آمیزه است. سپس با ضرب کردن این عدد در درصد های تقویت کننده، جرم تقویت کننده نیز محاسبه شد. در این مرحله پلی اتیلن و ترکیبات بور توزین و آماده اختلاط شدند.

## ۲-۴- طراحی فرایند تولید

فرایند تولید شامل اختلاط بهینه ماتریس پلیمر و تقویت کننده و ساخت صفحات می باشد. برای رسیدن به کامپاندی یکنواخت اختلاط همگن اجزای تشکیل دهنده اهمیت زیادی دارد به طوری که مرحله اختلاط را می توان مهمترین و اساسی ترین مرحله در تعیین کارایی کامپوزیت و رسیدن به خواص مورد نظر دانست. عدم توزیع یکنواخت تقویت کننده در پلیمر سبب نایکنواختی و تجمع و کلوخه ای شدن ذرات تقویت کننده می شود و این نایکنواختی در ساختار، خواص را نیز تحت تاثیر قرار می دهد.

به منظور اختلاط با توجه به شرایط فرآیند و محصول می توان از روش های اکستروژن، آسیاب، مخلوط کن داخلی، توربو میکسر و روش های دیگری استفاده نمود. در این پروژه تقریباً تمامی روش های اختلاط به صورت تجربی بررسی و در نهایت از اکسترودر دو مارپیچ ناهمسوگرد استفاده شد. در این تحقیق تنظیم پارامترهای دستگاه مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفت. محصول خروجی از دستگاه اکسترودر به صورت گرانول با ابعاد حدود ۲ میلی متر می باشد. ساخت صفحات آزمایشگاهی استفاده از دستگاه پرس داغ و به طریق قالب گیری فشاری تهیه شدند. بدین صورت که از آمیزه بدست آمده توسط اکسترودر به مقدار معینی در قالبی به ضخامت ۲ میلیمتر ریخته و صفحات تفلونی بر روی آن قرار داده شدند و در نهایت تحت فشار و دمای حاصل از دستگاه پرس داغ صفحات آزمایشگاهی تهیه شد. این روش برای ساخت صفحات به ضخامت ۲ الی ۵ میلیمتر روشی عالی و محصول نیز از کیفیت بسیار عالی برخوردار است. ولی در ضخامت های بالاتر چنین روشی منجر به تولید یک ورق صاف و یکنواخت با مشخصات عالی نخواهد شد لازم به ذکر است که عدم انتقال حرارت مناسب در ضخامت های بالا و نیز خنک سازی غیر یکنواخت از جمله این عوامل است.

در تولید صنعتی از ترکیب سه نوع پلی اتیلن سبک، سنگین و سبک خطی استفاده شد. در مرحله اختلاط نیز از اکسترودر صنعتی استفاده شد و برای ساخت صفحات از ماشین اکسترودر تولید ورق استفاده شد و محصول خروجی به شکل صفحاتی با ضخامت دلخواه متناسب با نیاز کاربر از ۲ تا ۲۰۰ میلیمتر تولید شد.

## ۲-۵- نمونه سازی و انجام آزمون های مختلف

آزمایش های تعیین خواص فیزیکی مکانیکی، به منظور تعیین کیفیت کامپوزیت ضروری است. به منظور انجام دقیق آزمون ها و تکرار پذیری مناسب، انجام آنها باید بر اساس یک روش استاندارد صورت پذیرد. در جدول زیر به طور خلاصه مهمترین آزمون های خواص مکانیکی کامپوزیت ها آورده شده است.

جدول ۱: میانگین نتایج آزمون های انجام شده بر روی پلی اتیلن با ۵ درصد بور و مقایسه با محصول مشابه کمپانی مارشیلد

MarShield	مقدار	واحد	استاندارد	خواص مکانیکی
۱٫۰۱	۱٫۰۲	g/cc	ASTM D۷۹۲	چگالی
۱۶٫۶	۲۴٫۵	Mpa	ASTM D۱۳۸	استحکام کششی
۰٫۷۶۸	۰٫۷۹۰	Gpa	ASTM D۱۳۸	مدول یانگ
۴	۵	%	ASTM D۱۳۸	افزایش طول در شکست
۷۱	۶۷		ASTM D۲۲۴۰	سختی
۰٫۴۸۱	۰٫۵۶۵	J/cm	ASTM D۲۵۶	ضربه آیزود
۱۲۸	۱۳۷	°c	ASTM D۳۴۱۸	دمای ذوب
۱۹۸	۲۰۱	µm/m°c	ASTM E۸۳۱	ضریب انبساط حرارتی
-----	۸۰	%		درصد بلورینگی

برای انجام آزمون هسته ای حفاظ و اندازه گیری میزان تضعیف نوترون در حفاظ های کامپوزیت از چشمه نوترونی ۵ کوری  $^{241}\text{Am-Be}$  و آشکارساز  $\text{BF}_3$  استفاده شد.

چشمه مورد استفاده در فاصله تقریبی ۳۰ سانتی متر از آشکار ساز نوترون‌های حرارتی قرار گرفته است، بلوک‌های از جنس پلی‌اتیلن خالص با ضخامت ۷٫۵ سانتی متر به عنوان کند کننده در جلوی چشمه رادیوایزوتوپی  $^{241}\text{Am-Be}$  قرار داده شد. میزان تضعیف نوترون‌ها در حفاظ‌های ساخته شده ۱ اینچ با درصد‌های متفاوت از ذرات کاربرد بور در جدول زیر آورده شده است.

جدول ۲: نتایج آزمون هسته‌ای

نوع حفاظ	$\left(\frac{I}{I_0}\right)$
PE	٪۹۱
$\text{B}_4\text{C-PE}$ ۱٪	٪۷۵
$\text{B}_4\text{C-PE}$ ۲٫۵ %	٪۳۲
$\text{B}_4\text{C-PE}$ ۵ %	٪۲۱

### ۳- بحث و نتیجه‌گیری

پلیمرها توانایی متفاوتی در پذیرش ناخالصی (جاذب نوترون) دارند و اغلب این ترکیبات اولاً با محدودیت مقدار ناخالصی قابل تزریق و ثانیاً وجود حفره‌هایی درون کامپوزیت روبرو خواهند بود. بنابراین تولید کامپوزیت عالی علاوه بر انتخاب جاذب، نیاز به طراحی فرآیند مناسب جهت اختلاط مواد افزودنی نظیر جذب کننده و ساخت نهایی کامپوزیت خواهد داشت. فرآیند ساخت از نکات تکنیکی بالایی برخوردار است به گونه‌ای که جهت ساخت هر نوع کامپوزیت لازم و ضروری است دما، دور میکسر و اکسترودر و روش خنک‌سازی متفاوتی بدست آید، در صورت مناسب نبودن دما و دور دستگاه، کیفیت اختلاط مواد مناسب نیست و نیز کامپوزیت خواص مکانیکی لازم را ندارد. آزمایش‌های تعیین خواص فیزیکی مکانیکی، به منظور بهبود کیفیت و کارایی تولید قطعات کامپوزیت نیز ضروری است. در نهایت پلی‌اتیلن ساخته شده با ۵٪ کاربرد بور، باعث ۷۹٪ کاهش شارنوترون‌های حرارتی شد که در مقایسه یا پلی‌اتیلن خالص با کاهش حدود ۹٪ بسیار قابل توجه است.

### مراجع

[۱] G.F., Knoll, "Radiation Detection and Measurement.", Wiley Press, New York, ۲۰۰۰